



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΟΧΗ ΕΩΣ ΤΗΝ ΎΣΤΕΡΗ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ: ΕΛΛΑΔΑ,
ΑΙΓΥΠΤΟΣ, ΕΓΓΥΣ ΑΝΑΤΟΛΗ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΡΩΜΑΪΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΟ
ΠΑΡΚΟ ΡΟΔΙΝΙ»
ΑΪΛΑ ΝΤΙΡΜΙΛΛΗ

ΡΟΔΟΣ, Σεπτέμβριος 2023

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**«ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΟΧΗ ΕΩΣ ΤΗΝ ΎΣΤΕΡΗ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ: ΕΛΛΑΔΑ,
ΑΙΓΥΠΤΟΣ, ΕΓΓΥΣ ΑΝΑΤΟΛΗ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΪΛΑ ΝΤΙΡΜΙΛΛΗ

A.M.: 4352021020

***«Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΡΩΜΑΪΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΟ
ΠΑΡΚΟ ΡΟΔΙΝΙ»***

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΣΤΕΦΑΝΑΚΗΣ ΜΑΝΟΛΗΣ,

ΣΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΟΣ

ΡΟΔΟΣ, Σεπτέμβριος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση αυτής της μελέτης δε θα ήταν δυνατή χωρίς τη συνεισφορά του καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ανδρέα Γεωργόπουλο, με τον οποίο αναπτύξαμε μια άψογη συνεργασία, ώστε ακόμη και οι τεχνικές δυσκολίες ξεπεράστηκαν με υπομονή και πίστη, μέχρι να καταφέρουμε να εκπληρώσουμε τις αρχικές μας προσδοκίες. Του αξίζουν θερμές ευχαριστίες για όλη τη διάθεση και τον χρόνο του, καθώς με βοήθησε ιδιαίτερα στην εξοικείωσή μου με τα προγράμματα λογισμικού για την τρισδιάστατη ανάδειξη του μνημείου.

Επιπλέον θερμές ευχαριστίες οφείλω και στον καθηγητή Κλασικής Αρχαιολογίας-Νομισματικής στο τμήμα Μεσογειακών σπουδών του Πανεπιστημίου Αιγαίου Στεφανάκη Εμμανουήλ για την πολύτιμη καθοδήγηση του, την βοήθεια και την προθυμία του να μου δώσει εξηγήσεις πάνω στο θέμα, και τη διάθεσή του να απαντά αμέσως στις απορίες μου.

Θέλω να ευχαριστήσω βαθιά επιπλέον και την αρχαιολόγο Βασιλική Πατσιαδά για όλη της τη βοήθεια σχετικά με τη ρωμαϊκή γέφυρα της Ρόδου καθώς και για την πρόσβαση στην βιβλιοθήκη της Εφορείας Αρχαιοτήτων στη Ρόδο. Αυτή η μελέτη δε θα μπορούσε να έχει ολοκληρωθεί τόσο άρτια χωρίς την πολύτιμη βοήθειά της.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους φίλους μου για όλη τους την κατανόηση και την υπομονή τους. Υπήρξαν εξαιρετικοί συμπαραστάτες στην προσπάθειά μου, καθώς με ενθάρρυναν και με υποστήριζαν με τον δικό τους μοναδικό τρόπο σε όλη τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού. Συγκεκριμένα ευχαριστώ τους αγαπημένους μου φίλους Ειρήνη, Κατερίνα, Καλλιόπη, Γεωργία, Παραμυθία, Μιχάλης και Άρτεμις. Πίστευαν σε μένα από την αρχή μέχρι το τέλος, ακόμη και όταν περνούσα μεγάλες δυσκολίες. Δεν θα τα είχα καταφέρει χωρίς αυτούς.

Αϊλά Ντιρμιλλή

Σεπτέμβριος 2023

*Στον πολυαγαπημένο μου παππού.
που ταξιδεύει στο απέραντο γαλάζιο ουρανό.*

«...Η δύναμη κάνει κομμάτια τα ανθρώπινα μυαλά και τα ενώνει ξανά σε νέα σχήματα της επιλογής σας...»

Τζορτζ Οργουελ

«...Power is tearing human minds to pieces and putting them together again in new shapes of your own choosing...»

George Orwell

Περιεχόμενα

Συνοτομογραφίες-Βραχυγραφίες.....	9
Περίληψη.....	10
Abstract	11
Εισαγωγή	12
Σκοπός εργασίας.....	15
Κεφάλαιο 1: Η ιστορία της Ρόδου	16
1.1 Η Ρόδος στην αρχαιότητα.....	16
1.1.1 Πρώτα ίχνη κατοίκησης.....	17
1.1.2 Οικονομία	19
1.1.3 Πολεοδομία.....	20
1.1.4 Αναταραχές και συγκρούσεις (4 ^{ος} - 3 ^{ος} αιώνας π. Χ.).....	21
1.2 Η Ρόδος από τα ρωμαϊκά έως τα νεότερα χρόνια.....	23
1.2.1 Η θέση της Ρόδου στο Ρωμαϊκό κόσμο (3 ^{ος} - 1 ^ο αιώνα π. Χ.)	23
1.2.2 Η Ρόδος κατά τους Ρωμαϊκούς Αυτοκρατορικούς Χρόνους	25
Κεφάλαιο 2: Οι ρωμαϊκές γέφυρες.....	27
2.1 Πληροφορίες και ιστορικά στοιχεία για τις γέφυρες.....	28
2.2 Γενικά στοιχεία για τις ρωμαϊκές γέφυρες	34
2.2.1 Η κοινωνική τους σημασία	36
2.2.2 Ρωμαϊκές γέφυρες στην Ελλάδα	41
2.2.3 Ρωμαϊκές γέφυρες σε χώρες της Ευρώπης.....	45
2.3 Η ρωμαϊκή γέφυρα του Αγίου Δημητρίου στη Ρόδο	50
2.3.1 Ιστορικά στοιχεία	51
2.3.2 Ο περιβάλλοντας χώρος- τα μνημεία που περικλείουν την γέφυρα του Αγίου Δημητρίου.....	51
2.3.3 Το φράγμα του Ρέματος του Ροδινίου	52
Κεφάλαιο 3: Σύνομη παρουσίαση των νέων τεχνολογιών για την γεωμετρική τεκμηρίωση.....	58
3.1 Φωτογραμμετρία	59
3.2 Σαρώσεις Laser	71
3.3 Γεωδαισία	75
3.4 Σύνομη παρουσίαση των παραγώγων της γεωμετρικής τεκμηρίωσης.....	78
3.4.1 2Dσχέδια με γραμμές ή ορθοφωτογραφίες	78
3.4.2 3D μοντέλα.....	79
3.5 Τα οφέλη που αποκομίζει ο αρχαιολόγος από την χρήση των νέων τεχνολογιών	82

Κεφάλαιο 4: Γεωμετρική τεκμηρίωση της γέφυρας.....	84
4.1 Περιγραφή της κατάστασης της γέφυρας	85
4.2 Προδιαγραφές γεωμετρικής τεκμηρίωσης.....	86
4.3. Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε	87
4.3.1 Συλλογή δεδομένων	88
4.3.2 Επεξεργασία δεδομένων	89
4.3.3 Δημιουργία βίντεο.....	90
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	91
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	95
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	115

Συντομογραφίες-Βραχυγραφίες Συντομογραφίες κειμενου-καταλογου

<i>YE II B</i>	<i>Υστεροελλαδική YE II B</i>	<i>(1500-1400 π.Χ)</i>	
<i>YE III A1</i>	<i>Υστεροελλαδική YE III A1</i>	<i>(1400-1380 π.Χ)</i>	
<i>YE III A2</i>	<i>Υστεροελλαδική YE III A2</i>	<i>(1380-1330 π.Χ)</i>	
<i>YE III B</i>	<i>Υστεροελλαδική III B</i>	<i>(1330-1190 π.Χ)</i>	
<i>YE III Γ</i>	<i>Υστεροελλαδική III Γ</i>	<i>(1190-1060 π.Χ)</i>	
<i>YEX</i>	<i>Υστερη εποχή του Χαλκού</i>	<i>(1600-1100 π.Χ)</i>	
<i>ASPRS</i>	<i>American Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>	<i>π.Χ</i>	<i>προ Χριστού</i>
<i>CAD</i>	<i>Computer-aided design</i>	<i>Περ.</i>	<i>περίπου</i>
<i>DDSM</i>	<i>Dense Digital Surface Model</i>	<i>πιν.</i>	<i>πίνακας</i>
<i>3D</i>	<i>three-dimensional</i>	<i>Χλμ.</i>	<i>χιλιόμετρα</i>
<i>2D</i>	<i>two-dimensional</i>	<i>BA</i>	<i>Βορειοανατολικά</i>
<i>Et al</i>	<i>et alia</i>	<i>ΝΔ</i>	<i>Νοτιοδυτικά</i>
<i>g</i>	<i>gram</i>		
<i>HDR</i>	<i>High Dynamic Range</i>		
<i>ICP</i>	<i>Iterative Closest Point</i>		
<i>mm</i>	<i>millimetre</i>		
<i>RGB</i>	<i>Red, Green, Blue</i>		
<i>TIN</i>	<i>Triangular irregular network</i>		
<i>UAV</i>	<i>Unmanned aerial vehicle</i>		
<i>USB</i>	<i>Universal Serial Bus</i>		
<i>Αι.</i>	<i>αιώνας</i>		
<i>Αγ.</i>	<i>Αγίου</i>		
<i>εκδ</i>	<i>έκδοση/εκδόσεις</i>		
<i>εκ.</i>	<i>εκατομμύρια</i>		
<i>ΕΣΣΔ</i>	<i>Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δημοκρατιών</i>		
<i>ΗΠΑ</i>	<i>Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής</i>		
<i>κ.α</i>	<i>και άλλα</i>		
<i>μ.</i>	<i>μέτρα</i>		
<i>μ.Χ</i>	<i>μετά Χριστόν</i>		

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εκπληρώθηκε για τις ανάγκες της Διπλωματικής Εργασίας στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Αρχαιολογία της Ανατολικής Μεσογείου από την Προϊστορική εποχή έως την ύστερη αρχαιότητα: Ελλάδα, Αίγυπτος, Εγγύς Ανατολή», στο τμήμα Μεσογειακών σπουδών του Πανεπιστήμιου Αιγαίου.

Αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι η διερεύνηση της χρήσης των νέων τεχνολογιών για τους σκοπούς της τεκμηρίωσης στην επιστήμη της Αρχαιολογίας. Η εφαρμογή της μελέτης αφορά την τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση για αρχαιολογικά μνημεία. Ως βασική μελέτη περίπτωσης της έρευνας αυτής επιλέχθηκε η γέφυρα των ρωμαϊκών χρόνων στο πάρκο Ροδίνι, στη νήσο της Ρόδου, για να αποτυπωθεί σε τρισδιάστατο μοντέλο με τη χρήση των κατάλληλων λογισμικών. Το μνημείο έχει διατηρηθεί σχεδόν ακέραιο μέχρι τη σημερινή εποχή, θυμίζοντας την πλούσια πολιτιστική κληρονομιά του τόπου. Πρόκειται για μια γέφυρα κατασκευασμένη με τον ρωμαϊκό τρόπο, με επίχωση, αυλακωτούς τοίχους, καμάρες και στηθαία.

Η χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας έχει ασφαλώς ενταχθεί στην επιστήμη της Αρχαιολογίας σε μεγάλο βαθμό με το πέρασμα του χρόνου. Η καταγραφή και εικονοποίηση μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, σπαραγμάτων, αλλά και ολόκληρων κτηρίων σε τρισδιάστατες ψηφιακές απεικονίσεις μπορεί να βοηθήσει στη μελέτη τους χωρίς τους περιορισμούς του χώρου και του χρόνου, ενώ είναι και ένα τελευταίο μέτρο για να μη χαθούν πολύτιμες αρχαιολογικές πληροφορίες σε περίπτωση καταστροφής μνημείων ή τεχνέργων από ανθρώπινα λάθη ή φυσικά φαινόμενα. Στα πλαίσια της μελέτης, παρουσιάζεται η ιστορία του νησιού της Ρόδου, από τα παλαιολιθικά χρόνια και μέχρι σήμερα. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή της γέφυρας στο Ροδίνι και παρουσιάζονται οι νέες τεχνολογίες που αξιοποιήθηκαν. Τέλος, αναλύεται η γεωμετρική τεκμηρίωση και παρουσιάζεται η μεθοδολογία χρήσης της, η οποία εφαρμόστηκε σε αυτή τη μελέτη, με αναλυτική περιγραφή των ενεργειών που ακολουθήθηκαν για να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο της γέφυρας μέσα από ειδικό λογισμικό.

Abstract

This Master's Thesis has been written as part of a postgraduate program called «Archeology of the Eastern Mediterranean from Prehistoric Times up to Late Antiquity: Greece, Egypt , Middle East», at the University of the Aegean, Division of Mediterranean Studies in Rhodes.

The object of this study is the investigation of the use of New Technologies for the purposes of documentation in the science of Archaeology. The application of the study concerns the three-dimensional geometric documentation for archaeological monuments. As a basic case study of this research, the bridge of the Roman times in the Rodini Park, on the island of Rhodes, was chosen to be captured in a 3D model using the appropriate software. The monument has been preserved almost intact until today, reminding the rich cultural heritage of the place. It is a bridge built in the Roman style, with embankment, grooved walls, arches and parapets.

The use of digital technology has certainly been integrated into the science of Archeology to a great extent over time. The recording and visualization of cultural heritage monuments, ruins, but also entire buildings in 3D digital images can help to study them without the limitations of space and time, while it is also a last measure to avoid losing valuable archaeological information in case of destruction of monuments or artifacts from human errors or natural phenomena. In the context of the study, the history of the island of Rhodes is presented, from the Paleolithic era until today. Then, a detailed description of the bridge in Rodini is carried out and the new technologies used are presented. Finally, the geometric documentation is analyzed and the methodology of its use, which was applied in this study, is presented, with a detailed description of the actions followed to create the 3D model of the bridge through special software.

Εισαγωγή

Στη συγκεκριμένη διατριβή, το θέμα μελέτης είναι η ρωμαϊκή γέφυρα στο Πάρκο Ροδίνι, εντός της πόλης της Ρόδου. Η γέφυρα αυτή δε βρίσκεται σε περιφραγμένο αρχαιολογικό χώρο, αλλά γίνεται ακόμη και σήμερα αντικείμενο χρήσης από τους περαστικούς από το σημείο. Εντούτοις, το γεγονός ότι χρονολογείται στα Ρωμαϊκά χρόνια και αποτελεί δείγμα της αρχιτεκτονικής των Ρωμαίων ως προς την κατασκευή τέτοιων έργων καθιστά αυτή τη γέφυρα όχι μόνο ένα χρηστικό κτήριο, αλλά και ένα μνημείο που εντάσσεται στην ευρύτερη πολιτιστική κληρονομιά της νήσου της Ρόδου, αλλά και της χώρας μας συνολικά που βρίσκεται στο Ροδίνι, στην πόλη της Ρόδου. Το ιστορικό υπόβαθρο αλλά και το αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον του μνημείου το καθιστούν ένα ιδανικό θέμα για έρευνα.

Όπως προβλέπει ο νόμος (Ν. 3028/2002) στο ελληνικό δίκαιο, ως μνημείο μπορεί να οριστεί ένα εμπράγματο αντικείμενο ή άλλως πολιτιστικό αγαθό, το οποίο μπορεί να αποτελέσει υλική μαρτυρία για το παρελθόν και σχετίζεται με τον πολιτισμό ενός κράτους. Στη νήσο Ρόδο, σώζονται αρχαιότητες, τέχνηρα και διάφορα υλικά που μαρτυρούν την ανθρώπινη δραστηριότητα ήδη από τα προϊστορικά χρόνια, ενώ σημαντικά μνημεία αφορούν όλη τη διάρκεια της ιστορίας του νησιού μέχρι και τον 19^ο αιώνα. Σύμφωνα με τη νομοθεσία αυτή, υπάρχει διάκριση ανάμεσα σε κινητά και ακίνητα μνημεία, με κριτήριο διάκρισης το ότι τα ακίνητα είναι συνδεδεμένα προς το έδαφος/υπέδαφος και δεν μπορούν να μετακινηθούν από αυτό, σε αντίθεση με τα κινητά, όπου υπάρχει δυνατότητα μετακίνησης χωρίς κάποια βλάβη για το τέχνηρα¹. Συναφής με την έννοια του πολιτιστικού αγαθού είναι και η πολιτιστική κληρονομιά. Μια ανασκόπηση ελληνικών και διεθνών βιβλιογραφικών πηγών δείχνει ότι υπάρχει μια τάση οι δύο έννοιες να θεωρούνται ταυτόσημες, αφού αναφέρονται κατά κανόνα στα ίδια υλικά αντικείμενα.

Τέτοιες προβλέψεις υπάρχουν και στο Διεθνές Δίκαιο. Το 1972, υπογράφηκε η Σύμβαση για την Προστασία της Πολιτισμικής Κληρονομιάς. Σε αυτήν προβλέπεται ότι ως στοιχείο τέτοιο μπορεί να θεωρηθεί ένα αρχιτεκτονικό μνημείο, ένα γλυπτό, έρνα έργο ζωγραφικής, αλλά και άλλου είδους κατασκευές που διαθέτουν κάποια στοιχεία αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, όπως τυχόν επιγραφικά μνημεία ή και σπήλαια με ενδιαφέροντα ευρήματα. Παράλληλα, πολιτιστική

¹ Στεφανάκης 2012, 15.

κληρονομιά μπορούν να είναι τα συγκροτήματα και οι χώροι και τοπία που έχουν διαμορφωθεί από τον άνθρωπο, φέροντας όμως και έντονες τις επιδράσεις του φυσικού περιβάλλοντος. Στο ίδιο μήκος κύματος θα χαρακτήριζε κανείς και τον ορισμό που δίνεται από τη Σύμβαση της Χάγης (Προστασία Πολιτιστικών Αγαθών σε Ένοπλη Σύρραξη). Όπως προβλέπει το νομοθέτημα αυτό, πολιτιστικά αγαθά μπορούν να είναι τόσο ακίνητα όσο και κινητά μνημεία που συνδέονται και δηλώνουν στοιχεία πολιτισμού ενός λαού. Συνεπώς, στις κατηγορίες αυτές θα μπορούσαμε να εντάξουμε και τυχόν εκκλησιαστικά μνημεία, διάφορα τέχνηρα αλλά και κτήρια που στεγάζουν κινητά ευρήματα². Με άλλα λόγια, κατανοούμε ότι η περίπτωση κάθε κτηρίου, μνημείου ή και κινητού αντικειμένου μέσα από τα οποία μπορεί να αναδειχθεί ο πολιτισμός και η ιστορία ενός λαού μπορεί να θεωρηθεί πολιτιστική κληρονομιά. Έτσι ακριβώς, και η γέφυρα του Αγ. Δημητρίου που εξετάζουμε αποτελεί ένα αντικείμενο πολιτιστικής κληρονομιάς για το νησί της Ρόδου, καθώς μπορεί να χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, αλλά απηχεί και τη μακραίωνη ιστορία του νησιού και συνεκδοχικά της Ελλάδας μέχρι και τη Νεότερη και Σύγχρονη εποχή.

Η αρμόδια επιστήμη για τη μελέτη των πολιτιστικών αγαθών είναι ασφαλώς η αρχαιολογία, η οποία αποτελεί ιστορική επιστήμη με στόχο την εξέταση των υλικών καταλοίπων της ανθρώπινης δραστηριότητας. Έργο των αρχαιολόγων είναι η εξέταση των μνημείων αλλά και του παρακειμένου χώρου τους, των υλικών αντικειμένων, αλλά και των πνευματικών έργων, όπως για παράδειγμα τα κείμενα και οι επιγραφικές μαρτυρίες της αρχαιότητας³. Η αρχαιολογία, συνεπώς, με βάση τα αντικείμενά της διακρίνεται σε διάφορους τομείς, τόσο αναφορικά με την εποχή (προϊστορική, κλασική, βυζαντινή κ.α.) όσο και αναφορικά με το είδος των καταλοίπων που μελετά (αρχαιομετρία, αρχαιοβοτανική, νομισματική κ.α.)⁴. Εντούτοις δε θα πραγματοποιηθεί εδώ ανάλυση για τους κλάδους της αρχαιολογικής επιστήμης. Σκοπός όλων των κλάδων της αρχαιολογίας είναι σε κάθε περίπτωση ότι μέσα από τη διαδικασία της συστηματικής μελέτης των υλικών καταλοίπων, οι αρχαιολόγοι μπορούν να εξαγάγουν συμπεράσματα για τον τρόπο ζωής και την καθημερινότητα των ανθρώπινων κοινωνιών στο παρελθόν. Έτσι, η Αρχαιολογία είναι ιστορική επιστήμη και μοιράζεται κάποιους από τους στόχους της με την Ιστορία, τη Λαογραφία και άλλες συγγενείς επιστήμες, αλλά αποτελεί εντελώς

² Sonkoly and Vahtikari 2018, 8-9.

³ Στεφανάκης 2012, 15.

⁴ Renfrew and Bahn 2001, 510.

αυτόνομο αντικείμενο⁵. Είναι ασφαλώς μια επιστήμη όπου οι κανόνες μελέτης και εξαγωγής συμπερασμάτων είναι αυστηροί και σε συγκεκριμένα πλαίσια. Οι αρχαιολόγοι θα πρέπει αρχικά να αξιοποιήσουν τις υπάρχουσες θεωρίες, αλλά και συγκεκριμένη μεθοδολογία που ενδείκνυται για κάθε περίπτωση. Δεν υπάρχει κανένας τρόπος να δει κανείς το παρελθόν, γι' αυτό και είναι ιδιαίτερα αναγκαίο τα συμπεράσματα να ακολουθούν τους απαραίτητους κανόνες ώστε να είναι αξιόπιστα⁶. Οι αρχαιολόγοι, συνεπώς, που είναι αφοσιωμένοι στην έρευνα δεν εργάζονται σκληρά μόνο στο πεδίο, αλλά και στη μελέτη των προηγούμενων βιβλιογραφικών πηγών που δίνουν τις ερμηνείες των ευρημάτων. Πρόκειται έτσι για μια επιστήμη με δυσκολίες, η οποία συνδέεται ακόμη και σήμερα με την κοινωνική και πολιτική πραγματικότητα⁷.

Τέλος, επισημαίνεται ότι σήμερα οι αρχαιολόγοι έχουν ακόμη έναν σύμμαχο στην προσπάθειά τους να μελετήσουν και να αναδείξουν τα υλικά κατάλοιπα από το παρελθόν. Οι ψηφιακές τεχνολογίες, που έχουν εισέλθει σταδιακά σε όλα τα επαγγέλματα, έχουν προσφέρει πολλές νέες δυνατότητες και στους αρχαιολόγους. Υπάρχουν λογισμικά και εφαρμογές που επιτρέπουν την ενδελεχή μελέτη και επεξεργασία των αντικειμένων και των μνημείων, την καταγραφή των κυριότερων χαρακτηριστικών τους, καθώς και την ανάδειξη και αποκατάστασή τους⁸. Ορισμένα από αυτά τα εργαλεία είναι η φωτογραμμετρία, η αρχαιομετρία, αλλά και κάθε είδους προγράμματα που βοηθούν στη δημιουργία μοντέλων για τη μελέτη μνημείων και αντικειμένων⁹.

⁵ Renfrew and Bahn 2001, 10-11.

⁶ Moloney 1996, 10-11.

⁷ Renfrew and Bahn 2001, 9.

⁸ Παυλίδης κ.ά 2014, 12.

⁹ Mc Coy and Ladefoged 2009, 263.

Σκοπός εργασίας

Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της ερευνητικής προσπάθειας περιλαμβάνει την αξιοποίηση καινοτόμων τεχνολογιών, ειδικά τρισδιάστατων μοντέλων που χρησιμοποιούνται στον τομέα της αρχαιολογίας, για την τεκμηρίωση και καταγραφή ιστορικών ορόσημων. Ειδικά εστιάζοντας στη ρωμαϊκή γέφυρα που βρίσκεται στην περιοχή Ροδίνη της πόλης της Ρόδου, αυτό το επιλεγμένο μνημείο γίνεται αντικείμενο τρισδιάστατης απεικόνισης μέσα από το ψηφιακό μοντέλο. Αυτή η διαδικασία προσφέρει μια εις βάθος εξερεύνηση των χαρακτηριστικών του μνημείου. Η ανάπτυξη μιας ακριβούς ψηφιακής αποτύπωσης διευκολύνει τη συνολική ανάλυση της αρχιτεκτονικής δομής και άλλων στοιχείων του μνημείου, αποκαλύπτοντας πιθανές άγνωστες πληροφορίες για το μνημείο.

Όσον αφορά τη δομική οργάνωση της παρούσας μελέτης, περιλαμβάνει τέσσερα διακριτά κεφάλαια. Το αρχικό κεφάλαιο εμβαθύνει στην ιστορική εξέλιξη της Ρόδου, ανιχνεύοντας τη μεταμόρφωσή της από την αρχαιότητα έως την αφομοίωσή της στην Ελλάδα σε πιο σύγχρονες εποχές. Προχωρώντας στο δεύτερο κεφάλαιο, πραγματοποιείται μια ολοκληρωμένη βιβλιογραφική έρευνα των ρωμαϊκών γεφυρών στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Αυτή η εξερεύνηση καλύπτει τις μεθοδολογίες κατασκευής τους και περιορίζεται σε μια εξέταση της ρωμαϊκής γέφυρας στη Ρόδο, που περιλαμβάνει τόσο τα αρχιτεκτονικά της χαρακτηριστικά όσο και το περιβάλλον της.

Μετά τη μετάβαση στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται μια συνοπτική επισκόπηση των νέων τεχνολογιών που είναι διαθέσιμες στους αρχαιολόγους για τη γεωμετρική τεκμηρίωση των ιστορικών δομών. Συγκεκριμένα, αυτή η ενότητα υπογραμμίζει τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση αυτών των αναδυόμενων τεχνολογιών.

Ολοκληρώνοντας τη σειρά, το τέταρτο κεφάλαιο περικλείει την πτυχή της έρευνας. Σκιαγραφεί τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται και σκιαγραφεί τις διαδοχικές διαδικασίες που εκτελούνται για την κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου της στοχευόμενης γέφυρας. Η ανάλυση της υλοποίησης του μοντέλου περιλαμβάνει αναφορές σε εξειδικευμένο λογισμικό που αξιοποιήθηκε για την επίτευξη αυτής της οπτικοποίησης.

Κεφάλαιο 1: Η ιστορία της Ρόδου

Η Ρόδος, γνωστή και ως νησί των Ιπποτών, είναι το τέταρτο μεγαλύτερο νησί του Αιγαίου που εντάσσεται στην Ελλάδα, και πράγματι η έκτασή του - 1.400 χλμ² - είναι αντίστοιχη με τη σπουδαιότητά του για την ελληνική ιστορία. Η Ρόδος κατοικήθηκε ήδη από την παλαιολιθική περίοδο και λόγω της ιδιαίτερης γεωγραφικής της τοποθεσίας απασχόλησε σε πολλές περιόδους το ενδιαφέρον μεγάλων ιστορικών προσωπικοτήτων. Είναι η πρωτεύουσα της Δωδεκανήσου και προσφέρει μια ιδιαίτερα πλεονεκτική θέση για το εμπόριο αλλά και για στρατηγικούς λόγους διαχρονικά στην ιστορία της¹⁰. Το νησί ως προς το σχήμα του θυμίζει δελφίني ή και φύλλο δένδρου, και έχει έκταση 77 χλμ. από το ΒΑ ως το ΝΔ άκρο του και μέγιστο πλάτος 35 χλμ (χάρτης 1.1). Η ακτογραμμή της Ρόδου είναι έκτασης 186 χλμ.¹¹.

Για την επιλογή του ονόματος της Ρόδου υπάρχουν αρκετές θεωρίες. Σύμφωνα με τον Bochar, πηγή του ονόματος είναι η λέξη Rod από τη γλώσσα των Φοινίκων, η οποία σημαίνει φίδι. Άλλωστε, όπως και άλλα ελληνικά νησιά, η Ρόδος είχε το προσωνύμιο Οφιούσσα, γιατί σε αυτήν υπήρχε πληθώρα φιδιών¹². Παρόλα αυτά, επικρατέστερη είναι η εκδοχή ότι το όνομα προέρχεται από το ρόδο, που ήταν και το ιερό άνθος του θεού Ήλιου, προστάτη του νησιού, και αναπαρίσταται στα νομίσματα της Ρόδου από τη μία πλευρά. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μια συνοπτική αναφορά στην ιστορία της Ρόδου και στα γεγονότα που έλαβαν χώρα εκεί από τα προϊστορικά χρόνια μέχρι και τη σύγχρονη Ιστορία.

1.1 Η Ρόδος στην αρχαιότητα

Η Ρόδος έχει διανύσει μια αδιάσπαστη ιστορική συνέχεια από τα παλαιολιθικά χρόνια ως την εποχή μας. Οι αρχαιολόγοι έχουν βρει σποραδικά μόνο ευρήματα για την εποχή του Λίθου, αλλά παρόλα αυτά εάν επισκεφθεί κανείς το Μουσείο του νησιού, μπορεί να θαυμάσει στα πλαίσια της προϊστορικής συλλογής πλήθος λίθινων εργαλείων, αλλά και κροκάλες, άγκιστρα και οστρακοειδή που έχουν βρεθεί στα σπήλαια του Αγ. Γεωργίου Καλυθιών αλλά και το Κούμελο, στην περιοχή που ονομάζεται Αρχάγγελος¹³. Περισσότερα εντούτοις μας είναι γνωστά για τη Μεσοελλαδική/Μεσομινωική φάση της Ρόδου, κατά την οποία θεωρείται ότι υπάρχει μετακίνηση πληθυσμών από την Ηπειρωτική Ελλάδα και εξάπλωση ελληνόφωνων

¹⁰ Παπαχριστοδούλου κ.α. 1993, 15.

¹¹ Παπαχριστοδούλου 1994, 12

¹² Ευθυμίου 1961, 17-18

¹³ Κόλλιας 1991, 4

φύλων στο Αιγαίο. Στη Ρόδο θεωρείται ότι κατά την εποχή αυτή και ιδίως περί το 1500 π. Χ., υπήρξε εισροή πληθυσμιακών στοιχείων, τα οποία κατέλαβαν την περιοχή της Ακρόπολης της Ιαλυσού ώστε να οικοδομήσουν εκεί τη νέα πόλη της Αχαΐας. Μέχρι το 1400 π.Χ. θεωρείται ότι αυτό το φύλο έλεγξε σταδιακά όλο το νησί, σηματοδοτώντας και την εξάπλωση των εγκαταστάσεων στο νησί, αλλά και την ανάπτυξη αυτού αναφορικά με τις δραστηριότητες του οικονομικού και του εμπορικού τομέα¹⁴.

1.1.1 Πρώτα ίχνη κατοίκησης

Κατά τη μετάβαση από τη Μέση στην Ύστερη Χαλκοκρατία, οι ανταλλαγές στο Αιγαίο εντάθηκαν, καθώς πολλά από τα κέντρα της εποχής εντάσσονται στο κρητοκυκλαδικό δίκτυο, υιοθετώντας μάλιστα και τη μονάδα βάρους του. Δε μας είναι γνωστό το από πού ακριβώς διέρχονταν οι συνήθεις διαδρομές της εποχής (θα ήταν ίσως αναχρονιστικό να μιλήσουμε για εμπορικούς δρόμους), αλλά το Ανατολικό Αιγαίο, και ιδίως το νότιο τμήμα, μοιάζει να παίζει έναν ιδιαίτερο ρόλο στο διαμετακομιστικό εμπόριο από την Κρήτη προς την Ανατολία και την Αίγυπτο. Κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού, η Ρόδος, έπαιξε σημαντικό ρόλο στα πολιτιστικά και εμπορικά δίκτυα της περιοχής του Αιγαίου¹⁵. Επηρεασμένη από τις γειτονικές Κυκλάδες, την Κρήτη και τις Μυκήνες, η Ρόδος ανέπτυξε μια μοναδική πολιτιστική ταυτότητα ενώ παράλληλα συμμετείχε στα ευρύτερα θαλάσσια δίκτυα της εποχής¹⁶. Το νησί μπορεί να υπερηφανεύεται για πολλούς σημαντικούς αρχαιολογικούς χώρους και εντυπωσιακές ανακαλύψεις που έχουν συν τω χρόνω ρίξει φως στο αρχαίο παρελθόν του. Μια από τις σημαντικότερες πηγές για την κατανόηση της Ύστερης Χαλκοκρατίας στα Δωδεκάνησα είναι ο αρχαιολογικός χώρος της Ιαλυσού στη Ρόδο. Καθώς η επιρροή του μυκηναϊκού πολιτισμού στο Αιγαίο γινόταν εντονότερη, οι Μυκηναίοι φαίνεται ότι ανέπτυξαν διπλωματικές και εμπορικές σχέσεις με το δίκτυο στο οποίο οι Μινωίτες είχαν ακολουθήσει πριν από αυτούς την ίδια διαδικασία. Οι Ρόδιοι πρέπει να είχαν φιλικές σχέσεις συνεργασίας με τους Κρήτες, καθώς στη φάση ΥΕ ΙΙΒ (περ. 1400 π.Χ.) του οικισμού Τριάντα, κοντά στην Ιαλυσό, φαίνεται ότι ο οικισμός ανοικοδομήθηκε μετά από σεισμό, με πλούσια την παρουσία μινωικής κεραμικής. Κατά τις επόμενες περιόδους, ξεκινά η χρήση του νεκροταφείου της

¹⁴ Παπαχριστοπούλου 1994, 57.

¹⁵ Treuil et al. 2015, 379.

¹⁶ Treuil et al. 2015, 465.

Ιαλυσού, καθώς βρίσκεται εκεί να συνυπάρχει μινωική κεραμική (εισηγμένη ή απομίμηση) με μυκηναϊκά αγγεία της ΥΕ ΙΙΒ - ΙΙΑ1 φάσης, δηλαδή γύρω στο 1400 – 1350 π.Χ.¹⁷.

Περισσότερους οικισμούς αποκτά η Ρόδος κατά την ΥΕ ΙΙΑ2 φάση (περ. 1300 π.Χ.). Στην Ιαλυσό, σε εκείνη την περίοδο έχουν χρονολογηθεί 57 τάφοι, πράγμα που υποδηλώνει ευημερία των οικισμών της περιοχής. Στον ίδιο τον οικισμό της Ιαλυσού, υπάρχει πλήρης διακοπή ανάμεσα στις ΥΕ ΙΙΒ και ΥΕ ΙΙΓ (1200 – 1100 π.Χ.) φάσεις, η οποία πιθανώς να συνδέεται με τη γενικότερη κατάρρευση των ανακτορικών κρατών της Εποχής του Χαλκού ανάμεσα στην ΥΕ ΙΙΒ και την ΥΕ ΙΙΓ περίοδο¹⁸. Σημαντικές θέσεις για τη Ρόδο στην Εποχή του Χαλκού, η Ιαλυσός και η Κάμιρος ξεκινούν τότε τη μακράιωνη πορεία τους στον χρόνο. Η Ιαλυσός, στη βορειοδυτική ακτή της Ρόδου, ήταν μια από τις μεγαλύτερες πόλεις του νησιού στην ΥΕΧ. Η Κάμιρος, που βρίσκεται επίσης στη βορειοδυτική ακτή της Ρόδου, ήταν μια άλλη σημαντική πόλη κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού. Η πόλη είχε μια καλά σχεδιασμένη αστική διάταξη και εντυπωσιακές αρχιτεκτονικές δομές, συμπεριλαμβανομένης μιας μνημειακής σκάλας, κτιρίων κατοικιών και ενός συγκροτήματος ναών. Οι ανασκαφές στην Κάμιρο έχουν αποκαλύψει πληθώρα τεχνουργημάτων, όπως αγγεία, ειδώλια και κοσμήματα, ρίχνοντας φως στην καθημερινή ζωή και τις πολιτιστικές πρακτικές της εποχής.

Περαιτέρω, οι ανασκαφές των τελευταίων ετών έχουν δείξει ότι στο διάστημα που ακολούθησε το 1100 π.Χ., πολλοί λαοί κατοίκησαν το νησί της Ρόδου, όπως για παράδειγμα οι Μινωίτες, οι Κάρες, οι Τελχίνες, οι Φοίνικες, οι Δωριείς και άλλοι¹⁹. Ήδη από τις πηγές των αρχαίων ιστορικών, όπως παραδίδει και ο Διόδωρος Σικελιώτης, πρώτη κατοίκηση του νησιού θεωρείται αυτή από τους Τελχίνες. Αυτή η φυλή ανθρώπων δε γνωρίζουμε σε ποιον ακριβώς αρχαιολογικό πολιτισμό αναφέρεται. Επικρατέστερο φαίνεται η προέλευσή τους να είναι εκ της Κρήτης ή της Κύπρου και από εκεί να έφτασαν στη Ρόδο, όπου και εγκαταστάθηκαν.

Στους Τελχίνες αποδίδεται και η ίδρυση των τριών σημαντικότερων πόλεων – κρατών της Ρόδου: της Ιαλυσού, της Καμείρου και της Λίνδου. Ήταν πόλεις ανεξάρτητες, που λειτουργούσαν όπως οι πόλεις κράτη της αρχαιότητας, αλλά σε αρκετές περιστάσεις ακολουθούσαν κοινές πολιτικές για ορισμένες κατηγορίες

¹⁷ Treuil et al. 2015, 466.

¹⁸ Treuil et al. 2015, 467.

¹⁹ Παπαχριστοδούλου 1989, 32- 33.

ζητημάτων²⁰. Τον 6^ο π.Χ. αιώνα, η Κως, η Κνίδος και η Αλικαρνασσός συνέστησαν τη δωρική Εξάπολι, που αποτελούσε θρησκευτική ένωση και είχε ως κέντρο της το ιερό του Απόλλωνος στην Κνίδα (ακρωτήρι Τριόπιο)²¹. Αργότερα, η ένωση αυτή μετονομάζεται σε *Πεντάπολις*, γιατί η Αλικαρνασσός αποπέμπεται από την ένωση. Οι υπόλοιπες πόλεις έκτοτε βρέθηκαν να διατηρούν πιο αυτόνομες πολιτικές και οικονομικές διαδρομές²².

1.1.2 Οικονομία

Οι έρευνες των αρχαιολόγων έχουν βρει επιπροσθέτως ότι οι τρεις αυτές πόλεις-κράτη είχαν παρουσιάσει ήδη από τα αρχαϊκά χρόνια σπουδαίες οικονομικές και εμπορικές επιτυχίες, που οδήγησαν στη μεγάλη ανάπτυξη της Ρόδου, η οποία ήδη είχε αναπτύξει εμπορική επαφή με πολλές από τις πόλεις κράτη που βρέχονταν από το Αιγαίο²³. Αναφορικά με το οικονομικό πεδίο, φαίνεται ότι η Λίνδος ήταν δεινότερη από τις άλλες δύο πόλεις ως προς το εμπόριο και τη ναυτοσύνη των κατοίκων της, ενώ αντίθετα στην Κάμιρο και την Ιαλυσό ανθούσε περισσότερο η γεωργία. Έτσι, το νησί μπορούσε να είναι αυτόρκες από πολλές απόψεις, καθώς υπήρχε επάρκεια προμηθειών αλλά και δυνατότητες περαιτέρω οικονομικής ανάπτυξης μέσα από το εμπόριο²⁴.

Λόγω της ευημερίας, της πολιτιστικής άνθησης του νησιού, καθώς και την δημιουργία σχέσεων με πόλεις-κράτη του αιγαιακού χώρου η Λίνδος, η Ιαλυσός αλλά και η Κάμιρος ακολούθησαν κατά τον 6^ο π.Χ. αιώνα μέχρι και τον συνοικισμό της πόλεως Ρόδου το 408/7 τον συρμό κατά τον οποίο κάθε πόλη επιχειρούσε να κόψει ένα νόμισμα, το οποίο συχνά έφερε παραστάσεις που θύμιζαν μύθους (εικόνες 1.1 και 1.2) ή αφορούσαν το σύμβολο της συγκεκριμένης πόλης (εικόνα 1.3). Οι τρεις πόλεις κόβουν νόμισμα σχεδόν ταυτόχρονα στο β' μισό του αιώνα, αλλά ακολουθούν εντελώς διαφορετικό εικονογραφικό πλαίσιο, ενώ δεν υιοθετούν και τους ίδιους κανόνες σταθμίσεως²⁵.

²⁰ Παπαχριστοδούλου 1994, 64.

²¹ Gabrielsen 2000, 181.

²² Στεφανάκης και Δημητρίου, 2015, 23.

²³ Μαρκέτου και Παπαχριστοδούλου 2005, 364.

²⁴ Στεφανάκης και Δημητρίου, 2015, 23.

²⁵ Στεφανάκης και Δημητρίου, 2015, 24- 25.

1.1.3 Πολεοδομία

Η μελέτη για το σχέδιο του αρχαίου ρυμοτομικού στη νήσο της Ρόδου, η οποία ιδρύθηκε περίπου το 408/7 π.Χ, στο βόρεια άκρο του νησιού, μετά την ενοποίηση των τριών πόλεων κρατών ξεκίνησε κατά τα μέσα του προηγούμενου αιώνα πριν από τις έρευνες που έγιναν στις άλλες δύο πόλεις που αποδίδονται στον Ιππόδαμο τον Μιλήσιο, τον Πειραιά και τους Θουρίους²⁶. Για τον σχεδιασμό της πόλης της Ρόδου, γνωρίζουμε ήδη από τον Στράβωνα, όπου και αποτελεί η μοναδική αρχαία μαρτυρία²⁷.

Για να μπορεί η κατασκευή μιας πόλης να καθρεφτίζει τη δημοκρατική της ιδεολογία, θα πρέπει να περιλαμβάνει κάποια στοιχεία, όπως παρόμοια σπίτια για κάθε περιοχή στην πόλη και για όλους τους πολίτες, ανεξάρτητα από την κοινωνική τους θέση. Αυτό το αίτημα ικανοποίησε για τους Ρόδιους και πολλές άλλες πόλεις στα παράλια του Αιγαίου το Ιπποδάμειο σύστημα, που έλαβε το όνομά του από τον Ιππόδαμο και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα για τον πολεοδομικό σχεδιασμό. Η Ρόδος θεωρείται ότι αποτελεί ένα κορυφαίο παράδειγμα οργάνωσης αρχαίας πόλης με το σύστημα του Ιπποδάμου του Μιλήσιου. Άλλες πόλεις που ήταν γνωστές για την οργάνωσή τους με το σύστημα αυτό ήταν η Μίλητος, ο Πειραιάς και οι Θούριοι²⁸. Βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού είναι η χάραξη δρόμων σε παράλληλες και κάθετες γραμμές, με αποτέλεσμα τη δημιουργία οικοδομικών τετραγώνων και πλατειών. Αν και ο χώρος μοιάζει να διαχωρίζεται, τελικός σκοπός του είναι η διατήρηση της ενότητας, η οποία πηγάζει από την ομοιομορφία του χώρου. Έτσι, το Ιπποδάμειο σύστημα έγινε ένα σύμβολο για τη μετάβαση στους δημοκρατικούς θεσμούς, καθώς έκανε και οπτικά εμφανή την ισότητα των πολιτών. Έτσι, θεσπίστηκε στο ίδιο πλαίσιο και ο τριετής κανόνας, σύμφωνα με τον οποίο την κεντρική εξουσία στην ενιαία ροδιακή δημοκρατία θα ασκούσαν οι εκ περιτροπής εκλεγόμενοι εκπρόσωποι από τους κατοίκους της καθεμίας από τις παλαιές πόλεις-κράτη²⁹.

²⁶ Φιλήμονος-Τσοποτού 2021, 33

²⁷ *Γεωγραφικά* 14, II 9, «ή δὲ πόλις ἐκτίσθη κατὰ τὰ Πελοποννησιακὰ ὑπὸ τοῦ αὐτοῦ ἀρχιτέκτονος, ὡς φασιν, ὑφ' οὗ καὶ ὁ Πειραιεύς».

²⁸ Παπαχριστοδούλου κ.α. 1993, 21

²⁹ Papachristodouloy 1999, 99.

1.1.4 Αναταραχές και συγκρούσεις (4^{ος} - 3^{ος} αιώνας π. Χ.)

Κατά τη διάρκεια του 4^{ου} π.Χ. αιώνα, στη Ρόδο, όπως και σε άλλες ελληνικές πόλεις, επικράτησε η πολιτική αστάθεια και οι συγκρούσεις ανάμεσα στους δημοκρατικούς και τους ολιγαρχικούς. Οι δημοκρατικοί υπερίσχυαν αριθμητικά στο νησί της Ρόδου, πράγμα που φαίνεται άλλωστε και λόγω του ότι το 378 π.Χ. η Ρόδος προσχώρησε στη β' Αθηναϊκή Συμμαχία, που είχε ως στόχο να ανακόψει τις ηγεμονικές τάσεις της Σπάρτης³⁰. Με αυτήν τους την απόφαση, οι Ρόδιοι ανέλαβαν την υποχρέωση να καταβάλουν στη Δήλο, όπου βρισκόταν το ταμείο της Συμμαχίας, 460 τάλαντα ως ετήσιους φόρους, αλλά και να δίνουν ναυτική δύναμη και στρατό ώστε να μπορέσει να συνεχιστεί ο αγώνας κατά των Περσών, που τότε αναμειγνύονταν και πάλι στα ελληνικά πράγματα³¹.

Η Πολιορκία της Ρόδου το 305 π.Χ. αποτέλεσε ένα σημαντικό γεγονός, τόσο για την ιστορία της αρχαίας Ελλάδας όσο και, ειδικότερα, για την ιστορία του νησιού. Οι εμπλεκόμενες δυνάμεις ήταν, αφενός, η πόλη-κράτος της Ρόδου και αφετέρου, οι δυνάμεις του Δημητρίου του Πολιορκητή, γνωστού και ως Δημήτριο Α' της Μακεδονίας. Η Ρόδος, ως πόλη ανεξάρτητη και με επιρροή, αποτελούσε απειλή για τις φιλοδοξίες του Δημητρίου και έτσι έγινε στόχος. Ο στόλος έπλευσε στον κόλπο της Ιαλυσού, σπέρνοντας τρόμο στον πληθυσμό της πόλης. Οι Ρόδιοι, εν όψει της επικείμενης απειλής προκειμένου να υπερασπιστούν την πόλη τους επισκεύασαν τα τείχη τους, οχύρωσαν το λιμάνι τους και ζήτησαν βοήθεια από διάφορους συμμάχους.

Ο Δημήτριος κατασκεύασε πολιορκητικούς πύργους, κριούς και άλλες πολιορκητικές μηχανές για να παραβιάσει τα τείχη της πόλης. Ωστόσο, οι Ρόδιοι, γνωστοί για τις μηχανικές τους ικανότητες, ήταν επιδέξιοι στην αντιμετώπιση των προσπαθειών του εχθρού.³² Χρησιμοποίησαν διάφορες αμυντικές τακτικές και καινοτομίες κατά τη διάρκεια της πολιορκίας, μεταξύ άλλων, και ένα κινητό οπλοστάσιο που ονομαζόταν Ελέπολις. Η Ελέπολις αποτελούσε έναν τεράστιο πολιορκητικό πύργο, πλήρως εξοπλισμένο.

Παρά τα αρχικά πλεονεκτήματα του Δημητρίου από πλευράς πόρων και ανθρώπινου δυναμικού, οι Ρόδιοι επέδειξαν αξιοσημείωτη ανθεκτικότητα και επιμονή, κρατώντας το έδαφος τους και προκαλώντας σημαντικές απώλειες στις

³⁰Nielsen and Gabrielsen 2004, 1206.

³¹Παπαχριστοδούλου 1994, 75.

³² Shipley G. 2015, 572-584

πολιορκητικές δυνάμεις³³. Το 304 π.Χ., ενώ η πολιορκία ήταν ακόμη σε εξέλιξη, ξέσπασε μια σύγκρουση μεταξύ του Δημητρίου και του αντιπάλου του, Πτολεμαίου Α' της Αιγύπτου. Ο Δημήτριος αναγκάστηκε να εγκαταλείψει την πολιορκία της Ρόδου και να αναστρέψει την προσοχή και τις δυνάμεις του για να αντιμετωπίσει τον Πτολεμαίο. Αυτό επέτρεψε στους Ρόδιους να διεκδικήσουν μια ηθική νίκη, καθώς είχαν αντέξει σε μια πολιορκία ενός έτους και είχαν βγει σχετικά αλώβητοι. Οι Ρόδιοι γιόρτασαν την επιτυχή άμυνά τους πουλώντας τον απορριπτόμενο πολιορκητικό εξοπλισμό που άφησε ο Δημήτριος.³⁴

Κατόπιν, έχτισαν τον Κολοσσό, τον θεό Ήλιο, ως φόρο τιμής στην ανεξαρτησία και το θάρρος τους, τον οποίο λάτρευαν και θεωρούσαν προστάτη του νησιού. Ήταν ένα από τα Επτά Θαύματα του Αρχαίου Κόσμου και αποτελούσε σύμβολο δύναμης, πλούτου και πολιτιστικής σημασίας για το νησί της Ρόδου και τον ευρύτερο ελληνικό κόσμο. Το άγαλμα χτίστηκε σε μια μαρμάρινη πλατφόρμα ύψους 15 μέτρων με θέα στην είσοδο του λιμανιού της Ρόδου³⁵ (εικόνα 1.4). Την κατασκευή ανέλαβε να επιβλέψει ο γλύπτης Χάρης από τη Λίνδο. Η διαδικασία κατασκευής περιλάμβανε τη χρήση λιθόπλινθων για να γεμίσει το εσωτερικό του μνημείου, ενώ τα όπλα που είχαν ληφθεί ως λάφυρα από τον στρατό του ηττημένου Δημητρίου Πολιορκητή χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των χάλκινων και σιδερένιων εξαρτημάτων³⁶. Οι ακριβείς λεπτομέρειες της εμφάνισης και της στάσης του αγάλματος παραμένουν αντικείμενο συζήτησης, αλλά ορισμένες περιγραφές υποδηλώνουν ότι στεκόταν με τα πόδια ανοιχτά, πιθανότατα με ένα πόδι σε κάθε πλευρά της εισόδου του λιμανιού. Ωστόσο, η ακριβής θέση του Κολοσσού εντός του λιμανιού παραμένει αβέβαιη³⁷. Αξίζει να σημειωθεί, πως πολλοί αρχαιολόγοι που ασχολήθηκαν με το θέμα αυτό ισχυρίζονται πως ο ναός του Ηλίου βρέθηκε, τελικά, στο παλάτι του Μεγάλου Μαγίστρου. Σύμφωνα με κάποια σχόλια στον Πλάτωνα αναφέρει πως όταν έπεσε ο Κολοσσός, έριξε τα σπίτια που ήταν στην άκρη του περιβόλου. Έτσι, εκεί βρέθηκε το κεφάλι με μία πλάκα με τα ονόματα 70 ιερέων που υπηρέτησαν τον ναό του Ηλίου. Το άγαλμα φέρεται ότι καταστράφηκε το 227 π.Χ. από ένα καταστροφικό σεισμό, όπου μετά την κατάρρευσή του, τα ερείπια του Κολοσσού κείτονταν στο έδαφος για

³³ Shipley G. 2015, 572-584

³⁴ Lefevre F. 2016, 357-355

³⁵ Kebric 2019a, 260.

³⁶ Maryon 1956, 68-86.

³⁷ Αντίθετη γνώμη σε Kebric 2019b, 83-4, υποστηρίζει ότι θα έπρεπε να ήταν σε πιο ψηλό και περίοπτο σημείο και όχι σε τόσο χαμηλό υψόμετρο ώστε να βρίσκεται στο λιμάνι.

πολλούς αιώνες. Αναφέρεται ότι το άγαλμα παρέμεινε στην πεσμένη του κατάσταση για περίπου 800 ή 900 χρόνια πριν αποσυναρμολογηθεί και πουληθεί απλώς για την αξία του μετάλλου του τον 7ο αιώνα μ.Χ. από τους Σαρακηνούς που λεηλάτησαν τον νησί.

1.2 Η Ρόδος από τα ρωμαϊκά έως τα νεότερα χρόνια

1.2.1 Η θέση της Ρόδου στο Ρωμαϊκό κόσμο (3^{ος} - 1^ο αιώνα π. Χ.)

Ο 3^{ος} π.Χ. αιώνας ήταν ιδιαίτερα σημαντικός για τις εξελίξεις σε όλη την Ελλάδα, υπό το πρίσμα και της σταδιακής ανόδου της Ρώμης, που σύντομα θα κατακτούσε όλο τον ελλαδικό χώρο. Η Ρόδος, που συνεργάστηκε με τη Ρώμη, επωφελήθηκε αρχικά σε μεγάλο βαθμό τόσο αποκτώντας πλούτο όσο και εξαπλώνοντας τα εδάφη της, ώστε να γίνει μια από τις πιο σημαντικές ελληνιστικές πόλεις³⁸. Η εδαφική εξάπλωση επήλθε ιδίως μετά την εμπλοκή του νησιού στον Β' Μακεδονικό και στον Αντιοχεικό Πόλεμο, όπου οι Ρόδιοι υποστήριξαν τους Ρωμαίους και κέρδισαν εδάφη αφού υπογράφηκε η Συνθήκη της Απάμειας³⁹.

Κατά τον 3ο και 2ο αιώνα π.Χ., η Ρόδος γνώρισε μια περίοδο ακμής και πολιτικής δύναμης που την ανύψωσε σε σημαντικό πολιτικό, εμπορικό, πολιτιστικό και θρησκευτικό κέντρο στον αρχαίο κόσμο. Οι Ρόδιοι επέστρεψαν στους αθηναϊκούς κόλπους γύρω στο 300 π.Χ. και η κυβέρνησή τους ήταν έξυπνα δομημένη για να εξασφαλίσει μια ισορροπία δυνάμεων. Η εκτελεστική εξουσία της πόλης ασκούνταν από δύο πρυτάνες ετησίως, τους οποίους υποστήριζαν ναυτικοί διοικητές που ονομάζονταν ναύαρχοι ή ναύαρχοι. Επιπλέον, μια Γερουσία προετοίμαζε τα ψηφίσματα που αργότερα υποβλήθηκαν στην έγκριση της Λαϊκής Συνέλευσης. Αυτό το καλά ισορροπημένο σύστημα διακυβέρνησης συνέβαλε στη σταθερότητα και την επιτυχία της Ρόδου κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής.

Μία από τις αξιοσημείωτες πτυχές της Ρόδου κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ήταν η περίφημη Ρητορική Σχολή της. Η σχολή προσέλκυσε διάσημους Έλληνες και Ρωμαίους ρήτορες, και ακόμη και στους ρωμαϊκούς χρόνους, παρέμεινε ιδιαίτερα δημοφιλής και επιρροή. Σημαντικές μορφές όπως ο Αισχίνης, ο Παναίτιος, ο Στρατοκλής, ο Ανδρόνικος, ο Εύδημος, ο Ιερώνυμος, ο Πείσανδρος, ο Σιμμίας και ο Αριστείδης ήταν Ρόδιοι, ενώ λόγιοι όπως ο Ποσειδώνιος και ο Απολλώνιος διέμεναν επίσης στη Ρόδο για μεγάλες περιόδους. Το εμπόριο έπαιξε σημαντικό ρόλο στην

³⁸ Παπαχριστοδούλου κ.α. 1993, 22.

³⁹ Wiemer 2002, 235- 240.

ευημερία του νησιού, με τη Ρόδο να λειτουργεί ως κρίσιμος εμπορικός κόμβος μεταξύ της Αιγύπτου, της Φοινίκης και της Ελλάδας. Οι Ρόδιοι ήταν γνωστοί ως ικανοί ναυτικοί και έμποροι, αναπτύσσοντας ένα μοναδικό εμπορικό και ναυτικό δίκαιο που τηρούσαν στις συναλλαγές τους.

Η τέχνη και ο πολιτισμός άκμασαν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, με τη Ρόδο να γίνεται γνωστή για τη γλυπτική και την εικαστική της τέχνη. Στα αξιοσημείωτα επιτεύγματα περιλαμβάνονται οι πίνακες της πρωτογενούς περιόδου τον 4ο αιώνα π.Χ. και τα γλυπτά του Χάρη τον 3ο αιώνα π.Χ., ο οποίος ήταν υπεύθυνος για τη δημιουργία του περίφημου Κολοσσού της Ρόδου (περίπου 303-291 π.Χ.). Επιπλέον, τον 2ο αιώνα π.Χ., Ρόδιοι γλύπτες ολοκλήρωσαν το περίφημο άγαλμα του Λαοκόοντα και των γιων του. Ο αθλητισμός ενθαρρύνθηκε επίσης στη Ρόδο, αντανακλώντας τη σημασία που έδινε η πόλη στη φυσική κατάσταση και τον ανταγωνισμό.

Συνολικά, ο 3ος και ο 2ος αιώνας π.Χ. σηματοδότησε μια χρυσή εποχή για τη Ρόδο, όπου άκμασε οικονομικά, πολιτικά και πολιτιστικά, αφήνοντας μόνιμη επίδραση στον αρχαίο κόσμο μέσω της συνεισφοράς της στην τέχνη, την εκπαίδευση, το εμπόριο και τη διακυβέρνηση. Ωστόσο, το γεγονός ότι οι Ρόδιοι διάλεξαν τη λάθος πλευρά κατά τη διάρκεια του Γ' Μακεδονικού Πολέμου, επιλέγοντας να συμμαχήσουν με τον Μακεδόνα βασιλιά Περσέα, επέδρασε αρνητικά στην ευημερία του νησιού, που αντιμετώπισε βαριές κυρώσεις από τους Ρωμαίους μετά την ήττα των Μακεδόνων. Η Ρόδος έχασε τα εδάφη που είχε κερδίσει νωρίτερα, ενώ παράλληλα η ίδρυση του ελεύθερου λιμένα της Δήλου απομάκρυνε πολλή από την εμπορική δραστηριότητα του Αιγαίου από τη Ρόδο. Μετά τη Συνθήκη της Ρώμης (164 π.Χ.), το νησί έπαψε ουσιαστικά να είναι ανεξάρτητο και εντάχθηκε στη ρωμαϊκή επικράτεια⁴⁰. Εντούτοις, η Ρόδος δεν έχασε την πολιτισμική της ακμή. Αντίθετα, μέχρι και το τέλος του 1^{ου} π. Χ. αιώνα, το νησί αποτέλεσε ένα πνευματικό κέντρο για τα γράμματα και τις τέχνες, αλλά και εξακολούθησε να έχει εμπορική και ναυτική ισχύ, τουλάχιστον μέχρι τους Μιθριδατικούς Πολέμους και τη λεηλασία του νησιού από τον Κάσσιο το 42 π. Χ.⁴¹.

⁴⁰Παπαχριστοδούλου 1994, 123.

⁴¹Παπαχριστοδούλου κ.α. 1993, 23.

1.2.2 Η Ρόδος κατά τους Ρωμαϊκούς Αυτοκρατορικούς Χρόνους

Η ιστορία της Ρόδου από τα ρωμαϊκά χρόνια μέχρι και τη σύγχρονη εποχή είναι μακρά και έχει πολλές ενδιαφέρουσες πτυχές, καθώς από τον 1ο μ.Χ. αιώνα έως και το 1947, οπότε ενσωματώθηκε στη σύγχρονη Ελλάδα, η Ρόδος αποτέλεσε ένα μέλος της έριδος για διάφορες δυνάμεις και αντιμετώπισε πολλές δύσκολες στιγμές. Κατά την αυτοκρατορική περίοδο της Ρώμης, η Ρόδος τυπικά ήταν ανεξάρτητη, αλλά σταδιακά έγινε τμήμα των ρωμαϊκών επαρχιών που αφορούσαν στη νησιωτική επικράτεια της αυτοκρατορίας (Insularum)⁴². Η Ρόδος, συνεπώς, διατηρούσε μια μοναδική θέση εντός της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, απολαμβάνοντας σχετικά υψηλό βαθμό αυτονομίας και ειδικό καθεστώς ως ελεύθερη πόλη. Αυτό το καθεστώς επέτρεψε στους Ρόδιους να αυτοκυβερνούνται και να διατηρούν τους δικούς τους νόμους και θεσμούς, ενώ εξακολουθούν να υπόκεινται στη ρωμαϊκή εξουσία και να παρέχουν ορισμένες υπηρεσίες και πόρους στην αυτοκρατορία. Το νησί της Ρόδου συνέχισε να ευημερεί κατά τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορική περίοδο λόγω της στρατηγικής του θέσης στην ανατολική Μεσόγειο. Το φυσικό λιμάνι της πόλης την έκανε κρίσιμο κόμβο για το θαλάσσιο εμπόριο και το εμπόριο, προσελκύοντας εμπόρους και πραγματευτές από διάφορα μέρη της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας και όχι μόνο. Καθ' όλη τη διάρκεια των ρωμαϊκών χρόνων, η Ρόδος διατήρησε τη φήμη της ως τρομερής θαλάσσιας δύναμης. Το Ροδιακό Ναυτικό ήταν γνωστό για τις ικανότητές του στη ναυτιλία και η Ρόδος έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην προστασία των εμπορικών δρόμων και στη διασφάλιση της ασφάλειας των ρωμαϊκών πλοίων που ταξίδευαν στην περιοχή.

Το 155 μ. Χ., με το νησί να είναι τμήμα της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, συνέβη ένας ιδιαίτερα καταστροφικός μεγάλος σεισμός, που είχε ως αποτέλεσμα πολλές ανθρώπινες απώλειες αλλά και την καταστροφή των υποδομών. Ο περίφημος Κολοσσός της Ρόδου, το γιγάντιο άγαλμα του θεού Ήλιου, λέγεται ότι κατέρρευσε κατά τη διάρκεια του σεισμού. Αν και το άγαλμα δεν ξαναχτίστηκε ποτέ, η ίδια η πόλη ανακατασκευάστηκε, αν και σε μικρότερη κλίμακα. Το νησί στα επόμενα χρόνια αντιμετώπισε και άλλους ισχυρούς σεισμούς, όπως αυτοί που συνέβησαν και το 178, το 344 και το 515 μ. Χ., πράγμα που σταδιακά οδήγησε στη συρρίκνωση της πόλης, η οποία έφτασε να εκτείνεται μόνο στα όρια του κάστρου⁴³.

⁴² Παπαχριστοδούλου 1994, 141.

⁴³ Παπαδόπουλος 2014, 10.

Η Ρόδος διατήρησε το καθεστώς της ως σημαντικό πολιτιστικό και εκπαιδευτικό κέντρο κατά τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορική περίοδο. Η Σχολή Ρητορικής, που ιδρύθηκε από τον ρήτορα Αισχίνη τον 4ο αιώνα π.Χ., συνέχισε να ανθίζει και να προσελκύει μαθητές από όλη τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία που προσπαθούσαν να κυριαρχήσουν στην τέχνη της ρητορικής και του δημόσιου λόγου. Ενώ η Ρόδος διατήρησε την ακμή και την πολιτιστική της σημασία κατά τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορική περίοδο, η πολιτική της επιρροή σταδιακά μειώθηκε. Με τη συγκέντρωση της εξουσίας στη Ρώμη και την εμφάνιση άλλων πόλεων με επιρροή στην ανατολική Μεσόγειο, η Ρόδος έχασε μέρος της προηγούμενης πολιτικής της σημασίας.

Τον 4ο αιώνα μ.Χ., η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία υπέστη σημαντικές αλλαγές, καθώς χωρίστηκε στη Δυτική Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία και στην Ανατολική Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία, η οποία αργότερα έγινε γνωστή ως Βυζαντινή Αυτοκρατορία. Η Ρόδος έγινε, συνεπώς, μέρος της Ανατολικής Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας και πέρασε στη βυζαντινή κυριαρχία. Κατά τους τελευταίους αιώνες ζωής του Βυζαντίου, από το 1250 έως και το 1309 μ. Χ., το νησί της Ρόδου ήταν κατ' όνομα μέρος της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας, ιδιαίτερα μετά την Άλωση του 1204.

Την περίοδο της Ιπποτοκρατίας η Ρόδος κατακτήθηκε από τους Ιωαννίτες Ιππότες το 1309 μ. Χ. Η παρουσία τους απέτρεψε την προσάρτηση της Ρόδου από την Οθωμανική Αυτοκρατορία για δύο αιώνες, επιτρέποντας στο νησί να αναπτυχθεί σε εμπόριο, στρατιωτική δύναμη, οικονομία και πολιτισμό. Το έτος 1522, κατά την οθωμανική κυριαρχία, οι Ιππότες δέχθηκαν να παραδοθούν, με αποτέλεσμα οι οθωμανικές δυνάμεις εισήλθαν επίσημα στη Ρόδο, στερεοποιώντας τον έλεγχο τους στο νησί. Στη διάρκεια του Ιταλοτουρκικού πολέμου το 1912, η Ιταλία κατέλαβε το νησί της Ρόδου από την Οθωμανική Αυτοκρατορία. Τέλος, στις Συνθήκες Ειρήνης των Παρισίων τον Φεβρουάριο του 1947, η Ρόδος, μαζί με τα υπόλοιπα Δωδεκάνησα, ενώθηκε με την Ελλάδα⁴⁴.

⁴⁴ Καραθανάσης 2001, 51- 53.

Κεφάλαιο 2: Οι ρωμαϊκές γέφυρες

Οι γέφυρες σημειώνονται στον ελλαδικό χώρο ήδη από τα προϊστορικά χρόνια. Αυτό είναι βεβαίως λογικό, καθώς ανέκαθεν οι άνθρωποι είχαν την ανάγκη να περάσουν απέναντι από έναν ποταμό, ένα ρέμα ή ένα χάσμα, μεταφέροντας παράλληλα ζώα ή εμπορεύματα. Οι πρώτες γέφυρες κατασκευάστηκαν από ξύλο και λίθο, ενώ αργότερα που η τεχνογνωσία των κατασκευών έγινε ανώτερη, οι γέφυρες άρχισαν να κατασκευάζονται με πιο σύνθετα υλικά και μεθόδους. Συνεπώς, μπορούμε να αναγνωρίσουμε τρεις διακριτές περιόδους αναφορικά με το κτίσιμο γεφυρών. Η πρώτη εκτείνεται από τα προϊστορικά χρόνια και έως τα πρώτα ρωμαϊκά, η δεύτερη από τον 2^ο π.Χ. ως τον 19^ο μ.Χ. αιώνα, και η Τρίτη αφορά τη σύγχρονη εποχή⁴⁵. Είναι ήδη εμφανές το πόσο σημαντικές είναι για την ιστορία της αρχιτεκτονικής οι ρωμαϊκές γέφυρες, καθώς η τεχνογνωσία τους επέζησε για δύο σχεδόν χιλιάδες χρόνια.

Η μελέτη του τρόπου κατασκευής και της ιστορίας των γεφυρών κρίνεται ως επιβεβλημένη, αφενός επειδή με αυτό τον τρόπο οι τεχνικοί θα μπορέσουν να αποκτήσουν μεγαλύτερη τεχνογνωσία και κατά συνέπεια να σχεδιάσουν γέφυρες που θα έχουν αντοχή στο χρόνο, αξιοποιώντας μεθόδους, εργαλεία και τεχνικές που χρησιμοποιούνταν επιτυχώς κατά τις προγενέστερες χρονικές περιόδους. Αφετέρου, επειδή οι γέφυρες που είχαν κατασκευαστεί στο παρελθόν, είτε διασώζονται ακέραιες μέχρι σήμερα είτε όχι, αποτελούν στοιχεία της ιστορίας και του πολιτισμού εκάστοτε τόπου και συνεπώς δίνεται η δυνατότητα στον άνθρωπο να διευρύνει τους πνευματικούς του ορίζοντες στους τομείς αυτούς⁴⁶.

Συνεπώς, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια βιβλιογραφική επισκόπηση για τις γέφυρες γενικότερα, αλλά και ειδικότερα τις ρωμαϊκές γέφυρες του ελληνικού χώρου, με έμφαση στον τρόπο κατασκευής τους. Κατόπιν, επιχειρείται η αναλυτική περιγραφή για τη γέφυρα του Αγ. Δημητρίου στο Ροδίσι, αλλά και του γενικότερου τοπίου που την περιβάλλει. Δεδομένου ότι η γέφυρα αυτή αποτελεί και τη μελέτη περίπτωσης του ερευνητικού σκέλους της εργασίας, η πραγμάτευσή της με αναλυτικό τρόπο κρίνεται ως απαραίτητη.

⁴⁵Sassi- Perino and Faraggiana 2005, 22.

⁴⁶ Μακρής 2004, 12.

2.1 Πληροφορίες και ιστορικά στοιχεία για τις γέφυρες

Όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό κείμενο του κεφαλαίου, διακρίνονται τρεις ξεχωριστές περιόδους στην κατασκευή των γεφυρών. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη περίοδος εκτείνεται από τους προϊστορικούς έως και τους πρώτους ρωμαϊκούς χρόνους, η δεύτερη περίοδος, όπου υπήρξε και περίοδος ακμής, διήρκησε μέχρι και τις αρχές του 19ου αιώνα, ενώ η τρίτη περίοδος εκτείνεται μέχρι και τη σημερινή εποχή. Ας σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι παρατηρείται μια συνέχεια μεταξύ των τριών αυτών περιόδων, αφού ουσιαστικά βελτιώνονταν σταδιακά τα υλικά, οι τεχνικές και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνταν κατά τα προηγούμενα έτη, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται το τελικό παραγόμενο αποτέλεσμα⁴⁷. Χρήσιμο είναι, στο σημείο αυτό, να παρουσιαστούν εν συντομία τα χαρακτηριστικά των προαναφερόμενων περιόδων, καθώς και ορισμένες γέφυρες που θεωρήθηκαν ως αντιπροσωπευτικά δείγματα κάθε περιόδου.

Πρώτη περίοδος (4000 π.Χ. – 2ος αιώνας π.Χ.)

Κατά την πρώτη ιστορική περίοδο, οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τα υλικά που τους προσέφερε η φύση ώστε να κατασκευάσουν γέφυρες αλλά και μονοπάτια, ενώ η επεξεργασία που κάνανε στα υλικά αυτά ήταν αρκετά περιορισμένη. Επί παραδείγματι, αρχικά τοποθετούσαν κορμούς δέντρων και μεγάλες πέτρες, που έβρισκαν από τον περιβάλλοντα χώρο, ούτως ώστε να είναι σε θέση να διασχίσουν κάποιον μικρό ποταμό ή κάποιο ρέμα. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου το ποτάμι ήταν μεγαλύτερο ή τα νερά αυτού ήταν πιο ορμητικά, επενέβαιναν περισσότερο, στηρίζοντας τις πέτρες και τους κορμούς με λιθόρριπτα βάθρα. Με αυτό τον τρόπο, κατάφερναν να διασχίζουν τα ποτάμια με μεγαλύτερη ασφάλεια.

Από ανασκαφικές έρευνες έχει προκύψει ότι τα πρώτα γεφύρια κατασκευάστηκαν στις ανατολικές χώρες, όπως στην Ασσυρία, στην Αίγυπτο, στην Κίνα και στην Ινδία. Ειδικότερα, σε έρευνες που είχαν γίνει στη Βαβυλώνα και στη Νινεβή, πόλεις που καταστράφηκαν ήδη από το 600 π. Χ., διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν υπολείμματα υπονόμων που ήταν καλυμμένοι με θόλους από σφηνοειδείς πλίνθους, δηλαδή μια πρώιμη μορφή γέφυρας, ενώ αντίστοιχα έρευνες στην Κίνα έδειξαν ότι εκεί κατασκευάστηκαν οι πρώτες πλωτές γέφυρες το 2.000 π. Χ.

⁴⁷ Sassi- Perino and Faraggiana 2005, 22.

Αναφερόμενοι, από την άλλη πλευρά, στην Ελλάδα, έχουν καταγραφεί περίπου είκοσι γέφυρες που κατασκευάστηκαν κατά την πρώτη αυτή περίοδο, περίξ της ακροπόλεως των Μυκηνών, της πεδιάδα της Ναυπλίας και του Θριασίου πεδίου. Η ύπαρξη των γεφυρών αυτών και κυρίως ο τρόπος με τον οποίο είχαν κατασκευαστεί, υποδεικνύει την υψηλή τεχνογνωσία των Μυκηναϊκών τεχνιτών. Πιο συγκεκριμένα, για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνταν μερικώς επεξεργασμένοι μεγάλοι λίθοι, οι οποίοι ήταν συναρμολογημένοι βάσει του πολυγωνικού συστήματος τοιχοδομίας και αποτελούνταν από μία μόνο στενή δίοδο παροχέτευσης του νερού των χειμάρρων, τους οποίους διέσχιζαν. Η δίοδος ήταν είτε τραπεζοειδής είτε τριγωνική είτε κλειδωνόταν με σφηνοειδές έμβολο, ενώ το πλάτος της κυμαινόταν από 0,73μ. έως 3,83μ.

Τέλος, όπως προκύπτει από τον ιστορικό Ηρόδοτο, κατά τον 7ο ή τον 6ο αιώνα π. Χ., κατασκευάστηκαν οι πρώτες ξύλινες γέφυρες, από τους βασιλείς της Αιγύπτου, στον Νείλο και στον Ευφράτη. Οι γέφυρες αυτές είχαν ξύλινους φορείς και πέτρινα βάθρα, ενώ για να συνδέονται οι πέτρες μεταξύ τους, χρησιμοποιούνταν υλικά όπως ο μόλυβδος και ο σίδηρος⁴⁸.

Δεύτερη περίοδος (2ος αιώνας π.Χ. - αρχές του 19ου αιώνα μ. Χ.)

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από ιστορικούς ως η πλέον αποδοτική όσον αφορά στην κατασκευή των γεφυρών, κυρίως επειδή κατά την περίοδο αυτή κυριάρχησαν οι Ρωμαίοι, οι οποίοι θεωρήθηκαν πρωτοπόροι στο συγκεκριμένο τομέα.

Πιο συγκεκριμένα, κατά την εποχή της Ρωμαϊκής κυριαρχίας, αφότου ολοκλήρωσαν την κατασκευή του οδικού δικτύου που θα μπορούσε να συνδέσει την πρωτεύουσα με όλες τις επαρχίες της αυτοκρατορίας, ξεκίνησαν την κατασκευή γεφυρών, ώστε να διασφαλίσουν την ανεμπόδιστη κυκλοφορία τόσο των ανθρώπων και των οχημάτων, όσο και των εμπορευμάτων.

Αναλυτική αναφορά στις ρωμαϊκές γέφυρες και στον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζονταν θα γίνει στο επόμενο υποκεφάλαιο της εργασίας. Ωστόσο, σε αδρές γραμμές θα μπορούσε να αναφερθεί ότι ο λόγος για τον οποίο ακόμα και σήμερα διασώζεται πλήθος γεφυρών εκείνης της εποχής, έγκειται στο ότι τόσο η κατασκευή τους όσο και η προσαρμογή των τόξων πάνω στα βάθρα γινόταν με ιδιαίτερη

⁴⁸ Gonzalez et al 2020, 6.

προσοχή, ακολουθώντας συγκεκριμένα βήματα, ενώ επίσης χρησιμοποιούνταν υλικά που είχαν αντοχή στο χρόνο. Ένα τέτοιο υλικό ήταν, επί παραδείγματι, η χυτή τοιχοδομία, που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως πρόδρομος του τσιμέντου και είχε μονολιθικές ιδιότητες. Με τη χρήση του υλικού αυτού καθίστατο εφικτή η ανάπτυξη ελεύθερων τάξεων και μεγάλων ανοιγμάτων στις γέφυρες. Επίσης, η στατικότητα τους διασφαλιζόταν μεταξύ των άλλων από τη χρήση ορθογωνισμένων λιθόπλινθων ή οπτόπλινθων στην επένδυσή τους.

Περαιτέρω, ας σημειωθεί ότι η ρωμαϊκή τεχνική στην κατασκευή των γεφυρών ακολουθήθηκε τουλάχιστον μέχρι και τον 17^ο αιώνα, ωστόσο σταδιακά περιορίστηκε, επειδή είχε ως αρνητικό το μεγάλο πάχος των βάθρων, γεγονός που δεν επέτρεπε την εύκολη ροή του νερού και καθιστούσε αναγκαία την διαπλάτυνση της κοίτης του ποταμού εκεί όπου βρισκόταν η γέφυρα. Έτσι, από τον 18^ο αιώνα, σταδιακά μειώθηκε το πάχος των βάθρων, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και καινούρια υλικά, όπως ο χυτοσίδηρος και το σκυρόδεμα. Με αυτό τον τρόπο αφενός διασφαλιζόταν η στατικότητα της γέφυρας και αφετέρου μειωνόταν σημαντικά το κόστος κατασκευής της⁴⁹.

Τρίτη περίοδος (αρχές του 19ου αιώνα έως και σήμερα)

Ολοκληρώνοντας τη σύντομη αυτή αναδρομή στην ιστορία των γεφυρών, αναφορά θα πρέπει να γίνει και στην τρίτη περίοδο, οι αρχές της οποίας τοποθετούνται κατά τον 19^ο αιώνα, ενώ διαρκεί έως και τη σημερινή εποχή.

Βασικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης περιόδου είναι ότι ήδη από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα τα υλικά που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή των γεφυρών ήταν πλήρως κατεργασμένα, όπως επί παραδείγματι ο σίδηρος, το ασάλι και το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ιστορικά, η πρώτη σύγχρονη γέφυρα κατασκευάστηκε το 1875 από τον Joseph Monier. Κατόπιν, η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας έπειτα από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο είχε ως αποτέλεσμα να κατασκευαστούν γέφυρες με πιο μεγάλα ανοίγματα και σταθερότητα, κυρίως επειδή χρησιμοποιούταν εκτενώς το προεντεταμένο σκυρόδεμα, που έδινε αυτή τη δυνατότητα στους τεχνίτες.

Με την πάροδο των ετών τόσο οι τύποι όσο και ο τρόπος κατασκευής των γεφυρών δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά. Εκείνο που άλλαξε ήταν τα υλικά, τα οποία

⁴⁹ Gonzalez et al 2020, 7.

σταδιακά είχαν περισσότερες δυνατότητες και έτσι κατέστη εφικτή η κατασκευή γεφυρών με ανοίγματα μεγαλύτερα του ενός χιλιομέτρου. Ωστόσο, δεν θα πρέπει να παραλειφθεί το γεγονός ότι τα υλικά δεν μπορούν να διασφαλίσουν την ποιότητα της κατασκευής, σε περίπτωση που δεν έχουν ληφθεί τα απαιτούμενα μέτρα ασφαλείας. Έτσι, ακόμα και σύγχρονες γέφυρες, έχουν υποστεί σοβαρές βλάβες και φθορές, ακριβώς λόγω της αβλεψίας αυτής⁵⁰.

Περαιτέρω, επιβεβλημένη κρίνεται η αναφορά στα πέτρινα γεφύρια και συγκεκριμένα στις παραμέτρους που λαμβάνονταν υπόψη κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή τους, καθώς και στα μέρη από τα οποία απαρτίζονται. Ο λόγος για τον οποίο αξίζει να γίνει μια σύντομη ανασκόπηση σχετικά με τα δυο αυτά ζητήματα, έγκειται στο ότι η γέφυρα του Αγίου Δημητρίου, η οποία θα μελετηθεί αναλυτικά σε επόμενο υποκεφάλαιο, έχει ως βασικό υλικό την πέτρα, όπως ακριβώς και οι υπόλοιπες ρωμαϊκές γέφυρες που υπάρχουν ακόμα στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Συνεπώς, γνωρίζοντας τις παραμέτρους σχεδιασμού και κατασκευής, αλλά και τα μέρη από τα οποία απαρτίζονταν, ο αναγνώστης της εργασίας θα μπορεί να διαμορφώσει μια πιο πλήρη και σαφή εικόνα για τα πέτρινα γεφύρια, πολλά εκ των οποίων διασώζονται ακέραια ακόμα και σήμερα. Άλλωστε, δε θα πρέπει να παραλειφθεί το γεγονός ότι τα πέτρινα γεφύρια συνιστούν στοιχεία του πολιτισμού και συγκεκριμένα δείγματα της λαϊκής αρχιτεκτονικής και ως εκ τούτου έχουν τόσο ιστορική όσο και πολιτισμική σημασία⁵¹.

Ξεκινώντας, λοιπόν, με τα μέρη από τα οποία απαρτιζόταν μια πέτρινη γέφυρα, πρόκειται για τα τόξα, τα βάθρα, τις προεξοχές, τις ψευτοκαμάρες, τα τοιχεία αντιστήριξης ή διαφορετικά τους πτερυγότοιχους, το οδόστρωμα και το διάδρομο ανάβασης και τέλος τους αρκάδες. Πιο συγκεκριμένα:

- Τα τόξα: Πρόκειται για το σημαντικότερο τμήμα της γέφυρας, ένα στοιχείο που ουσιαστικά συνιστά την ταυτότητά της. Γενικότερα, αναγνωρίζονται οι μονότοξες και οι πολύτοξες γέφυρες, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την επιλογή του αριθμού των τόξων, η κυριότερη παράμετρος που έπρεπε να λάβουν υπόψη οι κατασκευαστές ήταν η θέση στην οποία επρόκειτο να κτιστεί η γέφυρα. Έτσι, οι μονότοξες γέφυρες υπάρχουν κατά κύριο στις ορεινές περιοχές, σε αντίθεση με τις πολύτοξες, οι οποίες χτίζονταν σε ημί- ορεινές και πεδινές περιοχές.

⁵⁰ Gonzalez et al 2020, 8.

⁵¹ Γκράσσο 2007, 7-11.

- Τα βάθρα: Πρόκειται για το μέρος εκείνο της γέφυρας που διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, αφενός επειδή στηρίζει την καμάρα και αφετέρου επειδή επηρεάζει τη στατική της γέφυρας. Για το λόγο αυτό, οι κατασκευαστές φρόντιζαν πάντοτε ώστε τα βάθρα να είναι ενισχυμένα, αφού θα δεχόντουσαν ισχυρές πιέσεις τόσο από το νερό όσο και από τα φερτά υλικά, όπως είναι η λάσπη, τα κλαδιά και οι κορμοί των δέντρων. Αν δεν υπήρχε σχετική πρόβλεψη, τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να φράζουν την δίοδο του νερού και έτσι αυτό να ξεπεράσει το ύψος της γέφυρας.
- Οι προεξοχές: Προκειμένου να μειωθεί η πίεση που ασκούσε το νερό στα βάθρα, οι τεχνίτες κατασκεύαζαν ειδικές προεξοχές, ο ρόλος των οποίων ήταν να κατευθύνουν τη ροή του νερού, ώστε αυτό να κυλά κάτω από τις καμάρες. Οι προεξοχές αυτές ήταν είτε τριγωνικές είτε ημικύκλιες και κατασκευάζονταν στην μπροστινή πλευρά του βάθρου.
- Οι ψευτοκαμάρες: Οι ψευτοκαμάρες αποτελούσαν ουσιαστικά το τμήμα εκείνο της γέφυρας που βρισκόταν πάνω από τα βάθρα, ανάμεσα στις δύο καμάρες και έως το κατάστρωμα. Η συγκεκριμένη κατασκευή γινόταν με τοιχοποιία, είχε σχήμα είτε ημικυκλικό είτε ορθογώνιο και ο ρόλος της ήταν ιδιαίτερα σημαντικός, αφού έτσι ήταν εφικτή η διάβαση φορτίων χωρίς να ελλοχεύει ο κίνδυνος καταπόνησης ή ακόμα και κατάρρευσης της γέφυρας.
- Τα τοιχία αντιστήριξης: Τα τοιχία αντιστήριξης κατασκευάζονταν στο αριστερό και στο δεξί τμήμα της γέφυρας και αποσκοπούσαν στην ενίσχυση των βάθρων, στη διευκόλυνση της ροής του νερού και στη μείωση της πίεσης που αυτό ασκούσε στα βάθρα. Τα τοιχία αυτά, καλούνταν διαφορετικά και ως πτερυγότοιχοι.
- Το οδόστρωμα και ο διάδρομος ανάβασης: Αναφορικά με το οδόστρωμα της γέφυρας, για την κατασκευή του οι τεχνίτες λάμβαναν υπόψη το σχήμα της γέφυρας. Περνώντας, από την άλλη πλευρά, στο διάδρομο ανάβασης, θα πρέπει να σημειωθεί καταρχήν ότι ήταν κατασκευασμένος από πέτρες, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργούνταν με κλίση, ούτως ώστε να γίνεται πιο ομαλά και με μεγαλύτερη ασφάλεια η

μετακίνηση των πεζών και των ζώνων. Στις περιπτώσεις αυτές οι τεχνίτες φρόντιζαν ώστε να τοποθετήσουν και πλατύσκαλα.

- Οι αρκάδες: Επρόκειτο, ουσιαστικά, για όρθιες πέτρες, οι οποίες λειτουργούσαν ως προστατευτικά πεζούλια, ούτως ώστε οι διερχόμενοι να αισθάνονται ασφαλείς. Η τοποθέτησή τους γινόταν και στις δυο πλευρές του οδοστρώματος⁵².

Όσον αφορά, από την άλλη πλευρά, στις παραμέτρους που λαμβάνονταν υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής μιας πέτρινης γέφυρας, πρόκειται για την εποχή, τη θέση, την κατασκευή του τόξου και τη θεμελίωση.

Ξεκινώντας με την *εποχή*, διαχρονικά επιλεγόταν οι γέφυρες να κατασκευάζονται το θέρος, όταν οι βροχοπτώσεις ήταν εξαιρετικά περιορισμένες και συνεπώς δεν υπήρχε κίνδυνος να ανέβει η στάθμη του ποταμού και να ανακύψουν σχετικά προβλήματα.

Περαιτέρω, για να επιλέξουν τη *θέση* όπου θα κατασκευάσουν τη γέφυρα, οι τεχνικοί έπρεπε να λάβουν υπόψη τους τα χαρακτηριστικά της, δηλαδή τον αριθμό των τόξων (μονότοξο, δίτοξο ή τρίτοξο), καθώς και τις διαστάσεις της (μήκος, πλάτος και άνοιγμα της καμάρας). Σε γενικές γραμμές, ωστόσο, επιλεγόταν η θεμελίωση των ακρόβαθρων πάνω σε βράχους, ούτως ώστε να περιοριστεί ο κίνδυνος παράσυρσής τους από τα νερά του ποταμού και κατ' επέκταση να διασφαλιστεί η σταθερότητα της γέφυρας. Ακόμα μια επιλογή που συνήθως γινόταν, ήταν η κατασκευή μικρών τόξων εκεί όπου το πέρασμα του ποταμού ήταν πιο στενό, ούτως ώστε τα τόξα να είναι ασφαλή και να μπορούν να αντέξουν τα βαριά φορτία.

Ακολούθως, όσον αφορά στην *κατασκευή του τόξου*, αξίζει να σημειωθεί ότι επρόκειτο για το πιο απαιτητικό μέρος της εργασίας, αφού εργάζονταν ταυτόχρονα για το σκοπό αυτό δύο συνεργεία τα οποία, όταν συναντιούνταν στην κορυφή σφήνωναν την τελευταία πέτρα, το λεγόμενο κλειδί, που ουσιαστικά κλείδωνε την καμάρα. Αναφορικά με τις πέτρες που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή του τόξου της γέφυρας, ήταν οι θολίτες, που προέρχονταν από λαξευμένο παρόλιθο, είχαν σφηνοειδή μορφή, υψηλή αντοχή και συγκεκριμένες διαστάσεις. Συγκεκριμένα, το μήκος τους ήταν περίπου 30 εκατοστά και το ύψος τους 45 εκατοστά, ενώ το πλάτος κυμαινόταν από 15 έως και 20 εκατοστά.

Τέλος, τα υλικά που χρησιμοποιούνταν για την *θεμελίωση* και για την κατασκευή των υπόλοιπων μερών της γέφυρας ήταν ομοίως πέτρες, ανάλογα με το τι υπήρχε

⁵² Γαλερίδης 1995, 37- 38.

διαθέσιμο στην περιοχή. Οι πιο συνηθισμένες επιλογές, πάντως, ήταν ο ασβεστόλιθος, ο σχιστόλιθος, ο πωρόλιθος και ο γρανίτης, ο οποίος προτιμούταν επειδή αποτελούσε το πιο σκληρό από τα υπόλοιπα πέτρωμα. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την εξωτερική όψη της γέφυρας χρησιμοποιούνταν λαξευτές πέτρες, ενώ για τα υπόλοιπα μέρη, μη επεξεργασμένες πέτρες. Από την άλλη πλευρά, για τα επιχρίσματα χρησιμοποιούνταν συνήθως το ασβεστοκονίαμα και το κουρασάνι, που αποτελούνταν από κεραμίδι, ελαφρόπετρα, ασβέστη και νερό, ενώ τέλος όπου κρινόταν απαραίτητο χρησιμοποιούνταν σιδεριές, οι οποίες καρφώνονταν στο σώμα της γέφυρας, ούτως ώστε να ενισχυθεί η τοιχοδομή της⁵³.

2.2 Γενικά στοιχεία για τις ρωμαϊκές γέφυρες

Η κατασκευή γέφυρας ως τεχνική απασχόλησε τους Ρωμαίους από νωρίς, αλλά κυρίως όταν άρχισαν να επεκτείνουν την επικράτεια των κατακτήσεων τους περί τον 2^ο αι. π.Χ. και έτσι χρειάστηκε να μπορούν να μετακινήσουν εύκολα και γρήγορα τον στρατό τους από το ένα σημείο της αυτοκρατορίας στο άλλο. Έτσι, με στόχο να καταστήσουν εφικτή τη μεταφορά των προμηθειών καθώς και να διατηρήσουν την εμπορική τους ισχύ, οι Ρωμαίοι επιδόθηκαν σε κάθε είδους έργα υποδομής, επιδεικνύοντας αριστοτεχνικές καινοτομίες στην κατασκευή οδών και γεφυρών, αλλά και υδραγωγείων⁵⁴.

Γενικότερα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Ρωμαίοι μηχανικοί υπήρξαν οι πρώτοι που κατανόησαν και ανέπτυξαν τις δυνατότητες του ημικυκλικού τόξου και της θολοδομίας, ενώ εύλογο είναι ότι σταδιακά εξελίχθηκαν. Έτσι, για παράδειγμα, αρχικά κατασκεύαζαν γέφυρες που είχαν λεπτά ημικυκλικά τόξα και βάθρα με υπερβολικό πάχος. Αργότερα, επηρεάστηκαν από τις ανατολίτικες τεχνικές κατασκευής των γεφυρών και κατασκεύαζαν οξύκορφα ή διαφορετικά ψαλιδωτά τόξα, δηλαδή τόξα τα οποία είχαν οξυγώνια θλάση.

Πέραν τούτου, με την πάροδο των ετών κατασκεύασαν υδατογέφυρες, οι οποίες ουσιαστικά εξυπηρετούσαν την υδροδότηση των πόλεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η υδατογέφυρα που κατασκευάστηκε στην Κωνσταντινούπολη την εποχή όπου ήταν αυτοκράτορας ο Ιουστινιανός. Η συγκεκριμένη γέφυρα ήταν πεντάτοξη, είχε δυο διαζώματα και οι

⁵³ Γκράσσο 2007, 16- 18.

⁵⁴ Ρεβιθιάδου- Τσότσου 2015, 43.

διαστάσεις της προκαλούσαν θαυμασμό, αφού είχε μήκος 240 μέτρα και ύψος 33 μέτρα⁵⁵.

Πολλές από τις γνωστότερες και πιο πρώιμες ρωμαϊκές γέφυρες, δηλαδή αυτές που κατασκευάστηκαν κατά τον 2^ο και τον 1^ο π. Χ. βρίσκονται σε χρήση ακόμη και σήμερα, όπως για παράδειγμα οι γέφυρες Rotto και Fabricious στη Ρώμη, η γέφυρα Milvins στη Γαλλία, καθώς και η γέφυρα Alcantara που βρίσκεται στην Ισπανία, η οποία και θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω⁵⁶. Η ρωμαϊκή γέφυρα δεν είναι μόνο ένα άρτιο οικοδόμημα, αλλά και ένα σύμβολο για την αυξανόμενη ισχύ και δόξα της Ρώμης, που εξάπλωσε την τεχνογνωσία τους σε όλο τον τότε γνωστό κόσμο. Πρόκειται για γέφυρες με αξιοθαύμαστη αντοχή που έχουν ήδη επιβιώσει για χιλιάδες χρόνια, λόγω των καινοτομιών και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή τους⁵⁷. Η σχετική βιβλιογραφία έχει αποτυπώσει με ακρίβεια τη διαδικασία της κατασκευής μιας ρωμαϊκής γέφυρας. Αρχικά, έπρεπε να επιλεγεί το κατάλληλο έδαφος για να χτιστεί η γέφυρα στη σωστή θέση, με στόχο τη μέγιστη ευστάθεια. Όπως είναι φυσικό, οι μηχανικοί των Ρωμαίων έχτιζαν συνήθως στο στενότερο σημείο του υδάτινου σώματος που έπρεπε να διασχιστεί και αναζητούσαν τα πιο σταθερά σημεία του εδάφους, ώστε η γέφυρα να αποκτήσει μεγαλύτερη αντοχή και να είναι λιγότερο ευάλωτη σε φυσικές ή ανθρώπινες καταστροφές.

Στη συνέχεια, η γέφυρα σχεδιάζόταν, ώστε να καθοριστούν στοιχεία όπως τα σχήματα και τα μεγέθη. Ασφαλώς σε αυτό έπαιζε ρόλο και ο στόχος της κάθε γέφυρας, όπως το τι είδους φορτία θα έπρεπε να περάσουν από εκεί. Οι Ρωμαίοι βάσιζαν την ευστάθεια της κατασκευής στα τόξα, που αποδίδουν σε ένα κτήριο ίση κατανομή βάρους, ώστε να γίνεται πιο σταθερό. Το επόμενο βήμα ήταν ο καθορισμός του αριθμού και των σχημάτων του λίθου, ξεκινώντας από τα τόξα. Κάθε λίθος επιλεγόταν και κοβόταν στο ορθό τελικό του σχήμα, ενώ στη συνέχεια κατασκευάζονταν σκαλωσιές και χτίζονταν τα θεμέλια, συνήθως ορθογώνια. Μετά την ολοκλήρωση των τόξων, κατασκευαζόταν η βάση της γέφυρας, ενώ στο τέλος προσέθεταν τα διακοσμητικά στοιχεία. Οι Ρωμαίοι είχαν καταλάβει ότι ενώνοντας τα τρία βασικά στηρίγματα της γέφυρας, δηλαδή τα δύο άκρα που ακουμπούσαν εντελώς στη στέρεα γη αλλά και τη βάση της, μπορούσαν να κατασκευάσουν ένα έργο που θα άντεχε το ίδιο του το βάρος και δε θα κινδύνευε να καταρρεύσει.

⁵⁵ Γκράσσο 2007, 15.

⁵⁶ Babic 2013, 61- 62.

⁵⁷ Ρεβιθιάδου- Τσότσου 2015, 43.

Για την κατασκευή της κεντρικής βάσης της γέφυρας, οι Ρωμαίοι κατασκεύαζαν έναν υδατοφράκτη, ώστε να σφραγιστεί το σημείο και να αντληθεί το νερό, για να μπορέσουν να κατασκευάσουν τη βάση. Ήταν μια διαδικασία με αρκετούς κινδύνους, η οποία συνήθως ήταν επιτυχής, αλλά έπαιρνε σημαντικά πολύ χρόνο και υλικά. Για να εμποδίσουν το νερό να υπονομεύσει τη σταθερότητα της κατασκευής ή να διαβρώσει τα θεμέλια του κτίσματος, οι Ρωμαίοι άφηναν κατά κύριο λόγο μια μεγάλη οπή στη γέφυρα, ώστε σε περίπτωση που συνέβαινε πλημμύρα το νερό να μπορούσε να διαφύγει χωρίς να πλήξει το μνημείο⁵⁸.

Τα τόξα της γέφυρας κατασκευάζονταν συχνότερα από κάτω προς τα πάνω, ταυτόχρονα και στις δύο πλευρές. Όταν ολοκληρωνόταν η κατασκευή, τοποθετούνταν ένας λίθος στη μέση, ο οποίος αποκαλείται και κλειδί. Οι λίθοι στα τόξα ήταν συνήθως σφηνοειδείς σε σχήμα, ώστε να διευκολύνεται η κατασκευή. Έτσι, όταν οι κατασκευαστές αφαιρούσαν τα ξύλινα υποστηρίγματα του τόξου, οι πέτρες ακολουθώντας τη βαρύτητα ενώνονταν ορθά μεταξύ τους. Οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν για τις γέφυρές τους κονίαμα (ασβέστης), στο οποίο ενέθεταν συχνά άχυρο, ή ακόμη και αυγά, για να κάνουν το μείγμα πιο σταθερό⁵⁹. Οι Ρωμαίοι, συνεπώς, είχαν αναπτύξει μια αρτιότατη τεχνογνωσία για να κατασκευάζουν γέφυρες, οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις επέδειξαν τόσο μνημειώδη αντοχή στον χρόνο, ώστε να μπορεί κανείς να τις διαβεί και σήμερα με πλήρη ασφάλεια.

2.2.1 Η κοινωνική τους σημασία

Η έρευνα στις αρχαίες ρωμαϊκές γέφυρες διεξάγεται κυρίως από αρχαιολόγους, τοπογράφους και μηχανικούς. Η εστίασή τους είναι στην εξέταση των υλικών στοιχείων, των τεχνικών κατασκευής και των αρχιτεκτονικών επιδράσεων αυτών των γεφυρών στο αστικό περιβάλλον. Δυστυχώς, η ιστορική σημασία αυτών των αρχαίων γεφυρών δεν έχει διερευνηθεί διεξοδικά λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας και της φύσης των υπάρχουσών λογοτεχνικών και επιγραφικών πηγών. Παρά το μεγαλείο και την οπτική τους ελκυστικότητα, οι γέφυρες γενικά θεωρούνται χρηστικές και μοναδικές κατασκευές, περισσότερο παρόμοιες με «υποδομές» παρά μνημεία ιστορικής σημασίας.⁶⁰

⁵⁸ O' Connor 1993, 163- 166.

⁵⁹ Fuentes 2003, 1-2.

⁶⁰ Richardson, 1992, 296–299.

Κατά την αξιολόγηση της κοινωνικής σημασίας των ρωμαϊκών γεφυρών, τα αρχαία αφηγηματικά κείμενα θεωρούνται οι σημαντικότερες ιστορικές πηγές. Ωστόσο, αποτελούν πρόβλημα για την παρούσα μελέτη και πρέπει να εξεταστούν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο. Το κύριο ζήτημα είναι ότι η ρωμαϊκή γραμματεία αναφέρει μόνο εν συντομία τις γέφυρες, συχνά ως υπόβαθρο ή ως επεξηγηματικές πληροφορίες για ένα άλλο κύριο θέμα. Υπάρχουν πολύ λίγες περιπτώσεις όπου λογοτεχνικά, επιγραφικά, νομισματικά, νομικά στοιχεία και αρχαιολογικοί πόροι μπορούν να συνδυαστούν για να σχηματίσουν μια πλήρη ιστορική εικόνα του συγκεκριμένου θέματος. Οι συγγραφείς αυτών των ιστορικών και επίσημων κειμένων είναι πάντα μέλη κοινωνικών ελίτ και το αναγνωστικό κοινό τους είναι εξίσου αποκλειστικό. Ως εκ τούτου, αυτές οι πηγές δεν προσφέρουν μια εικόνα για το πώς οι γέφυρες έγιναν αντιληπτές από άτομα κατώτερης τάξης ή αμόρφωτα άτομα ή από μέλη περιθωριοποιημένων εθνοτήτων και θρησκευτικών ομάδων.⁶¹ Επιπλέον, ο χαρακτήρας και το στυλ των λογοτεχνικών περιγραφών αποτελούν πρόκληση για κειμενικές αναφορές όχι μόνο σε γέφυρες, αλλά σε όλες τις αρχαίες ρωμαϊκές αρχιτεκτονικές δομές.

Σε όλη τη ρωμαϊκή λογοτεχνία, καθώς και σε επίσημα νομικά έγγραφα και καταλόγους, υπάρχουν σταθερές αναφορές στις γέφυρες και την ύπαρξη, τον σκοπό, τη θέση και την εμφάνισή τους. Ωστόσο, δεν υπάρχουν ακριβείς ή οργανωμένες πληροφορίες για το αρχιτεκτονικό πλαίσιο αυτών των κατασκευών, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, της κατασκευής και της πιθανής πολιτικής σημασίας τους.⁶² Παρά αυτό το κενό, οι αρχαίοι συγγραφείς προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις για το ρόλο των γεφυρών στην πολιτική, θρησκευτική, πολιτιστική και κοινωνική σφαίρα της ζωής μέσα στις πόλεις, παρόλο που έγραψαν για αυτά τα θέματα σε διαφορετικά πολιτιστικά, χρονολογικά και γεωγραφικά πλαίσια.⁶³

Είναι γεγονός πως οι γέφυρες συνδέονταν με διάφορες θρησκευτικές, στρατιωτικές και κοινωνικές υποδηλώσεις που επηρέασαν τις προοπτικές των κατοίκων των πόλεων ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά των διελεύσεων ποταμών.⁶⁴ Σύμφωνα με τη ρωμαϊκή βιβλιογραφία, η πρώτη γέφυρα στη Ρώμη ήταν η ξύλινη Pons Sublicius, η οποία ήταν γεμάτη με τελετουργικούς και συμβολικούς τόνους που ήταν πιθανότατα εμφανείς στους κοινούς κατοίκους της πόλης. Η λέξη

⁶¹ Babic, 2013, 61-62.

⁶² O'connor 1993, 188.

⁶³ Taylor, 2000, 131-165

⁶⁴ Taylor, 2002, 1-20.

για τους ιερείς, «pontifices», που σημαίνει γεφυροποιοί, προήλθε από το Pons Sublicius, καθώς οι ιερείς ήταν υπεύθυνοι για την κατασκευή της. Αυτοί οι ιερείς ήταν επίσης υπεύθυνοι για τη συντήρηση της γέφυρας και δεν επιτρεπόταν καμία επισκευή χωρίς την έγκρισή τους. Για λόγους που δεν είναι απολύτως σαφείς, η κατασκευή ή η επισκευή της γέφυρας απαγόρευσε τη χρήση σιδήρου. Αυτό πιθανότατα οφειλόταν σε τελετουργικούς κανονισμούς, καθώς η γέφυρα παρέμεινε ξύλινη μέχρι και την Αυτοκρατορική περίοδο.⁶⁵ Ακόμη και οι ιερές τελετές των Vestal Virgins συνδέονταν με την παλαιότερη εκδοχή της ρωμαϊκής γέφυρας.

Η γέφυρα χρησιμοποιήθηκε κατά καιρούς ως χώρος για την πράξη της ρίψης τελετουργικών αντικειμένων ή ατόμων στον ποταμό ως θυσία στους θεούς. Τον 6ο αιώνα, ο Προκόπιος ανέφερε μια ιστορία βαρβάρων στρατών (ακόμη και χριστιανών) που εκτελούσαν μια ειδωλολατρική θυσία, πετώντας ανθρώπους από τη γέφυρα όσο ήταν ακόμα ζωντανοί. Οι αρχαίοι συγγραφείς εξιστόρησαν σημαντικά πολιτικά και στρατιωτικά γεγονότα που συνέβησαν πάνω ή κοντά σε μια γέφυρα.⁶⁶ Ακόμη και στην αρχαιότητα, μερικές από τις ρωμαϊκές γέφυρες συμβόλιζαν τις στρατιωτικές και πολιτικές στιγμές της πρωτοπορίας στην ιστορία του ρωμαϊκού κράτους.⁶⁷

Η παλαιότερη ρωμαϊκή γέφυρα ήταν το σκηνικό της θρυλικής μάχης που είδε την πτώση της κυριαρχίας των Ετρούσκων και το τέλος της ρωμαϊκής μοναρχίας στη Ρώμη το 509 π.Χ. Ο C. Gracchus προσπάθησε να διαφύγει από την ίδια γέφυρα με τους πολιτικούς του αντιπάλους όταν τον πρόλαβαν. Η γέφυρα Milvian είναι η πιο διάσημη γέφυρα στην ιστορία της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας και συνδέεται με σημαντικά πολιτικά και στρατιωτικά γεγονότα. Κατασκευάστηκε στα βόρεια προάστια της Ρώμης και συνέδεε την πόλη με τη Via Flaminia, η οποία απείχε περίπου 2800 μέτρα από την Porta Flaminia. Η πρώτη εμφάνισή της στα ιστορικά αρχεία είναι στην αφήγηση του Λίβιου για την κατάκτηση από τη Ρώμη των στρατιωτικών δυνάμεων της Καρχηδόνας υπό τον Χάστρομπαλ το 207 π.Χ. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η γέφυρα ορίστηκε ως το κατάλληλο μέρος για τη συνάντηση μεταξύ του ρωμαϊκού λαού και των απεσταλμένων που μετέφεραν τα νέα για τη νίκη επί του Hasdrubal. Ο κόσμος συνέρρευσε στη γέφυρα Milvian για να περιμένει την άφιξη των απεσταλμένων.⁶⁸

⁶⁵ Griffith, 2009, 296–321

⁶⁶ Babic, 2013, 63–65.

⁶⁷ Seppilli, 1977, 272–276.

⁶⁸ Aldrete, 2007, 10–45.

Οι γέφυρες είναι δημόσιες κατασκευές που εξυπηρετούν έναν πρακτικό σκοπό φιλοξενώντας μεγάλους όγκους κυκλοφορίας σε μια σχετικά περιορισμένη περιοχή και διαθέτουν μια εγγενή κοινωνική διάσταση. Αυτή η κοινωνική πτυχή παρουσιάζεται στη ρωμαϊκή λογοτεχνία, η οποία συχνά απεικονίζει τις γέφυρες ως ιδανικές τοποθεσίες για ζητιάνους που ζητούν ελεημοσύνη. Οι πεζοί δεν μπορούν να περάσουν εύκολα απαρατήρητοι ή να αγνοήσουν αυτούς τους ζητιάνους.

Επιπλέον, η γέφυρα και τα περίχωρά της ήταν δημοφιλείς τοποθεσίες για νυχτερινό γλέντι, όπως συνέβαινε κατά τη διάρκεια της βασιλείας του Νέρωνα. Δεδομένου ότι οι γέφυρες ήταν εύκολα προσβάσιμες σε όλους τους Ρωμαίους πολίτες, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η κατασκευή ή η ανακατασκευή μιας γέφυρας θα προκαλούσε μια έντονη συναισθηματική ανταπόκριση, όπως μεγάλη χαρά, όπως είναι εμφανές στη σύντομη αφήγηση του Αμμιανού. Είναι πιθανό ότι η ύπαρξη εξαιρετικά μεγάλων γεφυρών θα μπορούσε να συνδεθεί με αισθήματα υπερηφάνειας. Τα σωζόμενα αρχαία κειμενικά στοιχεία δεν παρέχουν απόδειξη ότι οι γέφυρες θεωρούνταν ως αισθητικά αντικείμενα εκτός από λειτουργικές. Οι συγγραφείς σχολίασαν μόνο περιστασιακά τη συνολική εμφάνιση και την ποιότητα των γεφυρών, δίνοντας λίγη προσοχή σε παράγοντες όπως το υλικό, το μέγεθος, η ηλικία ή συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως οι στενοί χώροι στις γέφυρες της Ρώμης.

Οι κατασκευαστικές διαδικασίες περιεγράφηκαν σπάνια, συνοπτικά και αόριστα, με παραδείγματα όπως η αφήγηση του Livy για την ίδρυση του Pons Aemilius από τον λογοκριτή M. Fulvius Nobilior το 179 π.Χ.. Λόγω της σπανιότητας των κλασικών αφηγηματικών κειμένων στις γέφυρες, οι ιστορικοί πρέπει να βασίζονται σε άλλους κειμενικούς πόρους, όπως το άφθονο επιγραφικό υλικό. Η εξέταση των επιγραφών γεφυρών στο πλαίσιο αυτού του άρθρου αποκαλύπτει τη δική τους μοναδική επικοινωνιακή δύναμη. Εξετάζοντας μεταγενέστερες επιγραφές ρωμαϊκής γέφυρας που βρέθηκαν στη Ρώμη, γίνεται φανερό ότι η γλώσσα και η ρητορική που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα κείμενα ρίχνουν φως στη δυναμική εξουσίας που υπάρχει σε όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης.⁶⁹ Αυτές οι επιγραφές, ως μορφή εμφάνισης αρχιτεκτονικού κειμένου, είναι εγγενώς δημόσιες και επίσημες, τηρώντας το δικό τους σύνολο κανόνων εντός της κλασικής παράδοσης της εποχής. Ως αποτέλεσμα, σε αυτές τις επιγραφές καταγράφονται μόνο επιλεγμένα γεγονότα,

⁶⁹ Eck, 2010, 275–298.

κυρίως αυτά που αφορούν αρχιτεκτονικά επιτεύγματα, καταγεγραμμένα με γενικό τρόπο που τονίζει το όνομα του δωρητή. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν πρακτικές πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία κατασκευής ή τα κίνητρα για επισκευή ή κατασκευή.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, ο τεράστιος όγκος των τιμητικών επιγραφών μαζί με λογοτεχνικά στοιχεία επιτρέπει μια ιστορική εκτίμηση του ρόλου των γεφυρών στην αρχαία Ρώμη. Αυτή η εκτίμηση βασίζεται στην ιδέα ότι μέσα στο κοινωνικό και ιστορικό πλαίσιο των ρωμαϊκών γεφυρών υπάρχουν δύο επίπεδα άρρητου πολιτικού δυναμικού, τα οποία δημιουργούνται τεχνητά για λόγους αφηγηματικής ευκολίας. Στην αρχαιότητα, υπήρχε μια μορφή επικοινωνίας μεταξύ του αυτοκράτορα και των πολιτών που ήταν δημόσια και μεγαλειώδης. Αυτή η επικοινωνία πήρε τη μορφή εντυπωσιακών και ακριβών δημόσιων κτιρίων όπως οβελίσκοι, αφίδες θριάμβου, γέφυρες, βασιλικές και στοές. Τέτοια οικοδομικά έργα απέκτησαν τεράστια πολιτική σημασία λόγω της μνημειώδους εμφάνισής τους, που χρησιμοποιούνται συχνά σε θρησκευτικές γιορτές και γιορτές που σχετίζονται με τα επιτεύγματα και τις εμφανίσεις του αυτοκράτορα.⁷⁰

Αυτοί οι εορτασμοί ενίσχυσαν μια τοποκεντρική και υλιστική στάση απέναντι στον απόλυτο μονάρχη, που αντιπροσωπεύεται είτε ως *princeps inter pares* είτε ως *dominus et deus*. Ένα δεύτερο επίπεδο αρχιτεκτονικής επικοινωνίας θα μπορούσε να εκληφθεί ως αριστοκρατικό ή αναμνηστικό, το οποίο κατέδειξε τις πολιτικές δυνατότητες της δημόσιας λειτουργικής αρχιτεκτονικής. Τα μέλη της ελίτ χρησιμοποίησαν μνημειώδεις και λειτουργικές δημόσιες δομές ως εργαλείο για να εκφράσουν την κοινωνική και οικονομική τους θέση, καθώς και τις αμοιβαίες πολιτικές σχέσεις και την ιεραρχία τους εντός αυτής της υψηλής κοινωνικής κοινότητας. Αυτό αντανακλάται στην εξωτερική διακόσμηση των κτιρίων, ιδιαίτερα μέσω αρχιτεκτονικών επιγραφών και γλυπτών που τοποθετούνταν σε περίοπτη θέση στους δρόμους μπροστά από τα μεγάλα μνημεία ή απευθείας σε γέφυρες.⁷¹

⁷⁰ Marshall, 2003, 321–352.

⁷¹ Kalas, 2010, 21–45

2.2.2 Ρωμαϊκές γέφυρες στην Ελλάδα

Ρωμαϊκές γέφυρες είχαν κατασκευαστεί και στην Ελλάδα, την εποχή που η χώρα αποτελούσε επαρχία της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Μάλιστα, ορισμένες από τις γέφυρες αυτές βρίσκονται σε χρήση μέχρι σήμερα. Εκτός από τη γέφυρα του Αγ. Δημητρίου στο Ροδίσι, που αποτελεί και το πεδίο της μελέτης αυτής, αναφορά θα πρέπει να γίνει στη γέφυρα της Ιεράς Οδού και στο γεφύρι- οχετός του Κεραμεικού, σε εκείνες που υπάρχουν στην είσοδο της Σπάρτης και της Πάτρας, καθώς και στη γέφυρα του Αγγίτη που βρίσκεται στις Σέρρες⁷². Πριν περάσουμε στο κυρίως θέμα της εργασίας, σκόπιμο είναι να παρουσιαστούν εν συντομία οι γέφυρες αυτές και συγκεκριμένα η ιστορία τους αλλά και τα χαρακτηριστικά τους, όσα από αυτά είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία.

Η ρωμαϊκή γέφυρα της Ιεράς Οδού

Σε απόσταση ενός χιλιομέτρου ανατολικά από την είσοδο του ιερού της Δήμητρας στην Ελευσίνα, εκεί όπου η αρχαία Ιερά Οδός ενωνόταν με την κοίτη του Ελευσινιακού Κηφισού – τον Σαρανταπόταμο, όπως καλείται σήμερα- υπήρχε μια ρωμαϊκή γέφυρα, η οποία χρονολογείται από την εποχή που ήταν αυτοκράτορας ο Αδριανός και συγκεκριμένα από το 125 μ. Χ (εικόνα 2.2).

Σύμφωνα με τους ιστορικούς και συγκεκριμένα με τον Πausανία, που ασχολήθηκε εκτενώς με τη συγκεκριμένη γέφυρα, η κατασκευή της κρίθηκε ως απαραίτητη την εποχή εκείνη, αφενός λόγω της μεγάλης πλημμύρας το φθινόπωρο του 125 μ. Χ. , η οποία προκάλεσε σοβαρές ζημιές και αφετέρου λόγω της συχνής υπερχειλίσης του Ελευσινιακού Κηφισού στα νοτιοδυτικά της πεδιάδας, γεγονός που λειτουργούσε ανασταλτικά για την καλλιέργεια της γης μέχρι και τα όρια της πόλης⁷³.

Η γέφυρα αυτή διασώζεται μέχρι και σήμερα και βρίσκεται στην Ελευσίνα, στη θέση «καλό πηγάδι», δίπλα στην Παλαιά Εθνική Οδό. Σύμφωνα με τους μηχανικούς βρίσκεται σε ιδιαίτερα καλή κατάσταση, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στον τρόπο και στο υλικό με το οποίο είχε κατασκευαστεί. Ειδικότερα, η εν λόγω γέφυρα έχει κατασκευαστεί από σκληρό πειραϊκό πορώλιθο, ένα υλικό εξαιρετικής

⁷²Γκράσσο 2007, 16- 17.

⁷³ Miles 2012, 119.

αντοχής, ενώ για την καλύτερη στήριξή της, η κοίτη του ποταμού είναι επιστρωμένη με μεγάλους ογκόλιθους ορθογώνιου σχήματος⁷⁴.

Όσον αφορά, περαιτέρω, στις διαστάσεις της, το συνολικό μήκος της προσεγγίζει τα 50 μέτρα και το πλάτος της τα 5,30 μέτρα. Επίσης, η κεντρική γέφυρα, δηλαδή το κυρίως τμήμα αυτής, περιλαμβάνει τέσσερα τοξωτά ανοίγματα – δυο κεντρικά και δυο ακραία, τα οποία είναι πιο στενά συγκριτικά με τα πρώτα- και έχει συνολικό μήκος 30 μέτρα. Ας σημειωθεί ότι τα τοξωτά ανοίγματα είναι ουσιαστικά λίθινες καμάρες, βαριές και χαμηλές, οι οποίες στηρίζονται σε τρεις πεσσούς, που βρίσκονται θεμελιωμένοι στην παλιά κοίτη του Ελευσινιακού Κηφισού. Τέλος, αναγνωρίζονται δυο επικλινείς προσβάσεις, μια από κάθε πλευρά της γέφυρας, κάθε μια εκ των οποίων έχει μήκος 10 μέτρων. Στη φωτογραφία που ακολουθεί παρουσιάζεται η ρωμαϊκή γέφυρα στον Ελευσινιακό Κηφισό, όπως αυτή διασώζεται μέχρι σήμερα⁷⁵.

Το γεφύρι – οχετός στον Κεραμεικό

Για το συγκεκριμένο γεφύρι η βιβλιογραφία είναι εξαιρετικά περιορισμένη. Γνωστό είναι, ωστόσο, ότι χτίστηκε κατά την ρωμαϊκή περίοδο και συγκεκριμένα τον 2ο αιώνα μ. Χ., ενώ σκοπός του είναι να γεφυρώσει το τμήμα του Ηριδανού ποταμού που βρίσκεται στον Κεραμεικό.

Ένα πολύ ενδιαφέρον αρχιτεκτονικό στοιχείο του συγκεκριμένου γεφυριού είναι ο μαρμάρινος θολωτός μονόλιθος που καλύπτει την κατάντη πλευρά του τόξου⁷⁶.

Η ρωμαϊκή γέφυρα του Ιλισού

Περιορισμένες είναι, ομοίως, οι πληροφορίες σχετικά με την ρωμαϊκή γέφυρα του Ιλισού (εικ. 2.3). Από βιβλιογραφικές πηγές είναι γνωστό ότι, στην αρχαία Αθήνα, στις παρυφές του Αρδηττού, δεξιά του Παναθηναϊκού σταδίου και δίπλα στον Ιλισό ποταμό, είχε κατασκευαστεί ένας ναός που ήταν αφιερωμένος στον θεό Πάνα, στον Αχελώο και στις Νύμφες.

Αργότερα, κατά τη ρωμαϊκή εποχή και συγκεκριμένα τον 2^ο μ. Χ. αιώνα, ο Ηρώδης ο Αττικός κατασκεύασε μπροστά από το Παναθηναϊκό στάδιο μια γέφυρα

⁷⁴ [Ρωμαϊκή Γέφυρα στον Ελευσινιακό Κηφισό \(τμήμα της αρχαίας Ιεράς Οδού\), Δήμος Ελευσίνας \(efada.gr\)](http://efada.gr)

⁷⁵ Miles 2012, 119.

⁷⁶ Μπεληγιάννης και Μπεληγιάννη 2011, 344.

που ένωνε τις δύο όχθες του ποταμού . Η μόνη πληροφορία που υπάρχει για τη συγκεκριμένη γέφυρα, ήταν το υλικό της (μάρμαρο), καθώς και το γεγονός ότι ήταν τρίτοξη.

Επίσης, η ιστορία της συγκεκριμένης γέφυρας είναι πλούσια, αφού καταστράφηκε το 1738 από τον Τούρκο διοικητή της Αθήνας, Χατζή Αλή Χασεκί, ούτως ώστε να χρησιμοποιήσει τα δομικά υλικά για να κατασκευάσει τοίχος. Ωστόσο, περίπου έναν αιώνα αργότερα και συγκεκριμένα το 1850 ξεκίνησε η ανακατασκευή της γέφυρας και του συνόλου του Παναθηναϊκού σταδίου, στα πλαίσια της αναβίωσης των Ολυμπιακών αγώνων στην Αθήνα. Ας σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η καινούρια γέφυρα του Ιλισσού αποτελούσε πιστό αντίγραφο της προγενέστερης, με τη διαφορά ότι το υλικό κατασκευής της ήταν η πέτρα. Τέλος, στα μέσα του 20^{ου} αιώνα και συγκεκριμένα το 1952, η γέφυρα του Ιλισσού κατεδαφίστηκε οριστικά, για τους σκοπούς της υπογειοποίησης του ποταμού και τη μετατροπή του σε λεωφόρο Βασιλέως Κωνσταντίνου⁷⁷.

Η ρωμαϊκή γέφυρα στην Πάτρα

Η συγκεκριμένα γέφυρα, η οποία βρίσκεται στην Πάτρα, εντοπίστηκε μόλις πριν από τέσσερις δεκαετίες και συγκεκριμένα στις αρχές του 1980, κατά τη διάρκεια εργασιών εκσκαφής που γίνονταν ώστε να χτιστεί ένα σπίτι ιδιώτη.

Σύμφωνα με τους μελετητές, αποτελεί την καλύτερα σωζόμενη δίτοξη γέφυρα στην χώρα. Πρόκειται για ρωμαϊκή γέφυρα, η κατασκευή της οποίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ του 2^{ου}- 3^{ου} αιώνα μ. Χ. και βρίσκεται στον ποταμό Καλλίναο, ενώ ήταν ενταγμένη στον επαρχιακό δημόσιο δρόμο που εκείνη την εποχή συνέδεε την Πάτρα με το Αίγιο.

Όσον αφορά στα βασικά χαρακτηριστικά της γέφυρας, ας σημειωθεί καταρχήν ότι το οδόστρωμά της είναι χτισμένο από χαλίκι και στρωμένο με πλάκες, στις οποίες μάλιστα διατηρούνται οι αυλακιές, δηλαδή τα σημάδια που δημιούργησαν κατά την πυκνή διέλευσή τους τα τροχοφόρα οχήματα της εποχής. Επίσης, δεξιά και αριστερά του οδοστρώματος υπάρχει ένα χαμηλό στηθαίο, το οποίο αποσκοπεί να προστατεύσει τους διερχόμενους και έχει χτιστεί από οπτόπλινθους, υλικό το οποίο φαίνεται να κυριαρχεί στη γέφυρα (εικόνα 2.4). Από την άλλη πλευρά, οι πεσσοί της, μέχρι την αρχή των καμαρών, είναι κατασκευασμένοι από πέτρα. Περαιτέρω, για να

⁷⁷ Γεωμυθική 2019, 24 Απριλίου

εξυγιανθεί η κοίτη του Καλλίναου ποταμού και για να θεμελιωθεί η γέφυρα με ασφάλεια, χρησιμοποιήθηκαν υλικά και μέρη από κτήρια της περιοχής που είχαν καταστραφεί σε προγενέστερο χρόνο, όπως για παράδειγμα κίονες και λιθόπλινθους.

Τέλος, μια ενδιαφέρουσα πληροφορία σχετικά με τη γέφυρα είναι ότι κατασκευάστηκε ώστε να αντικαταστήσει μια άλλη, προγενέστερή της, που ακόμα και σήμερα βρίσκεται λίγο πιο νότια, είναι αρκετά μικρότερη, μονότοξη και είχε κατασκευαστεί από πωρόλιθους κατά την διάρκεια του 1^{ου} αιώνα μ. Χ.. Μάλιστα, έπειτα από την κατασκευή της νέας γέφυρας, πραγματοποιήθηκαν εργασίες σμίκρυνσης του ανοίγματος της παλαιάς, ούτως ώστε να διέρχεται μικρότερη ποσότητα νερού, πιθανώς για την άρδευση της περιοχής. Ταυτόχρονα χτίστηκαν και τοίχοι εγκιβωτισμού της κοίτης του ποταμού⁷⁸.

Η ρωμαϊκή γέφυρα στην είσοδο της Σπάρτης

Εντός του ποταμού Ευρώτα και δυτικά της τσιμεντένιας γέφυρας που υπάρχει σήμερα, αναγνωρίζονται τμήματα ποδαρικών μιας αρχαίας ρωμαϊκής γέφυρας, η οποία κατασκευάστηκε τον 1ο αιώνα π. Χ. από τον Ρωμαίο Γάιο Ιούλιο Ευρυκλή⁷⁹. Για τη συγκεκριμένη γέφυρα, δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες στη βιβλιογραφία.

Η γέφυρα του Αγγίτη

Η συγκεκριμένη γέφυρα είναι ρωμαϊκή και διασώζεται μέχρι σήμερα σε αρκετά καλή κατάσταση. Έχει μήκος 59 μέτρα και πλάτος 4,5 μέτρα, ενώ αρχικά αποτελούταν από πέντε οξυκόρυφα τόξα, τέσσερα εκ των οποίων είναι ορατά σήμερα. Η συγκεκριμένη γέφυρα έχει μεταξύ των άλλων πολιτισμική αξία, αφού συνιστά το μοναδικό δείγμα τοξοειδούς γέφυρας στην Ανατολική Μακεδονία.

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατασκευάστηκε σε δυο διαφορετικές περιόδους και συνέχισε να αξιοποιείται επί σειρά ετών. Πιο συγκεκριμένα, σε πρωτόλια μορφή κατασκευάστηκε ήδη από την εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου, ενώ η ανά- κατασκευή και η αξιοποίησή της έγινε κατά την ρωμαϊκή περίοδο.

Έτσι, λοιπόν, στην πρώτη περίοδο, είχε κατασκευαστεί με πελεκητούς πωρόλιθους, οι οποίοι ήταν συνδεδεμένοι μεταξύ τους με ισχυρό ασβεστοκονίαμα. Αντίθετα, στην δεύτερη περίοδο, για την ανά- κατασκευή της γέφυρας αξιοποιήθηκαν

⁷⁸ [070_Rwmaiki_Gefura_Patrwn.pdf \(tap.gr\)](#)

⁷⁹ Κακούρου – Χρόνη 2017, 105.

φυσικοί λίθοι, οι οποίοι ήταν δομημένοι με κονίαμα. Η σημερινή της μορφή, παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί (εικόνα 2.5).

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, πέρα από τις προαναφερόμενες γέφυρες, οι οποίες βρίσκονται σε σχετικά καλή κατάσταση, υπάρχουν και πολλές ακόμα ανά την Ελλάδα, οι οποίες κτίστηκαν κατά την ρωμαϊκή περίοδο, εντούτοις καταστράφηκαν κατά την περίοδο της οθωμανικής κυριαρχίας και έτσι δεν είναι πλέον προσπελάσιμες.

Ενδεικτικά θα μπορούσαν να αναφερθούν προς αυτή την κατεύθυνση τα γεφύρια της Βόρειας Ηπείρου και της Εγνατίας, τα οποία ήταν πολλά στον αριθμό, όπως προκύπτει από τα ερείπια και από τις σχετικές μελέτες. Τα γεφύρια αυτά καταστράφηκαν εν μέρει από τις επιδρομές των Οθωμανών, εντούτοις τα βάθρα τους χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την ανέγερση γεφυριών από τους ίδιους. Παραδείγματα τέτοιων γεφυριών αποτελούν:

- Το γεφύρι τρέι πούντι στην περιοχή Γκράμποβο.
- Η γέφυρα Μογλίτσα στην περιοχή Δεβόλη.
- Οι γέφυρες Χατζημπεκιάρη και Κούκιες στην περιοχή Σκούμπη.
- Οι γέφυρες Τεπελενίου και Μούτσο Χούσο στον ποταμό Αώο.
- Η γέφυρα Σούμπαση στην περιοχή Δρίνο.
- Η γέφυρα Σαρόβας στην περιοχή Οσούμ⁸⁰.

2.2.3 Ρωμαϊκές γέφυρες σε χώρες της Ευρώπης

Αφού εξετάσαμε τις ρωμαϊκές γέφυρες στην Ελλάδα, αντίστοιχα θα παρουσιαστούν και ορισμένες γέφυρες, οι οποίες χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα, σε χώρες της Ευρώπης, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η εκτενής μελέτη τους.

Η ρωμαϊκή γέφυρα Sant Angelo

Σύμφωνα με τις διαθέσιμες πληροφορίες, η γέφυρα του Αγίου Αγγέλου είναι μια ημικυκλική, μη ενισχυμένη ρωμαϊκή τοξωτή γέφυρα που αποτελείται από πέντε τόξα, το καθένα με ακτίνα 9 μέτρων. Το συνολικό μήκος της γέφυρας είναι περίπου 90 μέτρα. Ωστόσο, δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις

⁸⁰ Μαντάς 2008, 46.

της ίδιας της γέφυρας. Οι μόνες πληροφορίες που παρέχονται αφορούν το μήκος των τοίχων που συνδέονται με τη γέφυρα, το οποίο είναι περίπου 12 μέτρα.

Είναι γνωστό ότι το μεγαλύτερο άνοιγμα της Γέφυρας του Αγίου Αγγέλου είναι 18 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι οι διαστάσεις της γέφυρας είναι αρκετά σημαντικές για να υποστηρίξουν αυτό το άνοιγμα (Εικόνα 2.6).⁸¹ Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της γέφυρας Ponte Sant' Angelo επιλέχθηκαν προσεκτικά και φιλοτεχνήθηκαν με ακρίβεια για να εξασφαλίσουν τη μακροζωία της κατασκευής. Το τόξο κατασκευάζεται κυρίως από τραβερτίνη, μια ανοιχτόχρωμη πέτρα κρεμ, η οποία χρησιμοποιήθηκε για το εξωτερικό της καμάρας, ενώ η τούφα, μια πέτρα γκριζού χρώματος, χρησιμοποιήθηκε για το εσωτερικό της καμάρας. Το Falsework, μια προσωρινή κατασκευή στήριξης, χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία κατασκευής για να βοηθήσει στην κατασκευή της γέφυρας. Επιπλέον, τα τόξα στη σειρά θα μπορούσαν να στηρίζονται σε ελαφριά στηρίγματα καθώς η ώθηση ενός τόξου εξουδετερώνει την ώθηση των γειτόνων του, γεγονός που βοήθησε να διασφαλιστεί ότι η γέφυρα θα παρέμενε σταθερή με την πάροδο του χρόνου. Η χρήση μικρών, εύκολα μεταφερόμενων τεμαχίων από τούβλα ή πέτρα ήταν κοινή στην κατασκευή τοξωτών πέτρινων γεφυρών, όπως το Ponte Sant' Angelo. Όλοι αυτοί οι παράγοντες λήφθηκαν υπόψη κατά την κατασκευή της γέφυρας για να διασφαλιστεί ότι θα αντέξει στη δοκιμασία του χρόνου και θα παραμείνει ένα αξιόλογο κομμάτι αρχιτεκτονικής για τους επόμενους αιώνες.⁸²

Ο μοναδικός σχεδιασμός της γέφυρας περιλαμβάνει πολλά βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να παραμείνουν αμετάβλητα για να διασφαλιστεί η δομική ακεραιότητα. Πρώτα και κύρια, η γέφυρα περιλαμβάνει ένα τόξο που χρησιμεύει ως φέρον στοιχείο. Το μήκος του ανοίγματος πρέπει να παραμένει σταθερό, κάτι που είναι απαραίτητο για την κατανομή του βάρους και τη διατήρηση της ισορροπίας εντός της δομής. Επιπλέον, η ανύψωση των άκρων της καμάρας πρέπει να παραμένει αμετάβλητη για να αποφευχθούν τυχόν περιττές καταπονήσεις στα υλικά της γέφυρας. Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας είναι η κλίση της πλάτης, η οποία πρέπει να στερεωθεί για να διατηρηθεί η γεωμετρία της αψίδας και να υποστηριχθεί το συνολικό βάρος της γέφυρας. Οποιαδήποτε απόκλιση από αυτή τη γωνία θα μπορούσε να προκαλέσει αστοχία ή κατάρρευση της γέφυρας.⁸³

⁸¹ Troiano 2003, pp. 86, 94, 100–107.

⁸² Turner 1975, 264-265.

⁸³ D'Amelio 2008, 1000-1012.

Το χρονοδιάγραμμα κατασκευής για το Ponte Sant'Angelo δεν παρέχεται ρητά στο κείμενο, αλλά είναι γνωστό ότι η γέφυρα χτίστηκε κατά την αρχαία ρωμαϊκή περίοδο, όταν οι γέφυρες κατασκευάζονταν χρησιμοποιώντας πέτρα αντί για ξύλο για λόγους ανθεκτικότητας. Αν και το κείμενο δεν παρέχει συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα κατασκευής για τη γέφυρα, υπάρχουν διαφορετικές απόψεις σχετικά με το πότε τελείωσε η γέφυρα. Το σίγουρο είναι ότι η Ponte Sant'Angelo κατασκευάστηκε όταν η Pons Neronianus ήταν ακόμα σε χρήση.⁸⁴

Η ρωμαϊκή υδατογέφυρα Pont Du Gard

Η Pont du Gard, μια γέφυρα που έχει ύψος σχεδόν 50 μέτρα και εκτείνεται στον ποταμό Gard κοντά στη Nîmes, στη Γαλλία, είναι ένα από τα σπουδαιότερα έργα της ρωμαϊκής αυτοκρατορικής εποχής. Η γέφυρα χτίστηκε το 50 μ.Χ. από Ρωμαίους αρχιτέκτονες και υδραυλικούς μηχανικούς για να επιτρέψει στο υδραγωγείο της Nîmes να διασχίσει τον ποταμό Gardon. Η γέφυρα θεωρείται τεχνικό αλλά και καλλιτεχνικό αριστούργημα και μαρτυρεί μοναδικές τις τεχνικές των Ρωμαίων μηχανικών και κατασκευαστών. Το υδραγωγείο αποτελείται από τρία τοξωτά γεφύρια τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο. Τα δύο πρώτα επίπεδα του γεφυριού ήταν κατασκευασμένα από μεγάλους λιθόπλινθους, ενώ το πάνω επίπεδο από μικρά πέτρινα μπάζα. Οι πέτρες της γέφυρας κωδικοποιήθηκαν με αριθμούς και γράμματα που έδειχναν τη θέση τους στο σχήμα συναρμολόγησης. Σήμερα, το Pont du Gard εξακολουθεί να στέκεται ψηλά πάνω από το επίπεδο του ποταμού, 2 χιλιετίες μετά την κατασκευή του, και θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα του ρωμαϊκού πολιτισμού (Εικόνα 2.7).⁸⁵

Αξίζει να σημειωθεί ότι το Pont du Gard κατασκευάστηκε σε μεγάλο βαθμό χωρίς τη χρήση κονιάματος ή σφιγκτήρων. Η πέτρα που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή είναι χονδρόκοκκος μαλακός κοκκινωπός ασβεστόλιθος γνωστός ως

⁸⁴ Montagu 1976, 34-35.

⁸⁵ Smith, 1990, 53-80.

"Pierre de Vers". Τα μπλοκ κόπηκαν με ακρίβεια για να εφαρμόζουν τέλεια μεταξύ τους λόγω της τριβής και της βαρύτητας, εξαλείφοντας την ανάγκη για κονίαμα.⁸⁶ Πολλά τετράγωνα ήταν αριθμημένα και χαραγμένα με τις απαιτούμενες θέσεις για να καθοδηγήσουν τους κατασκευαστές. Αν και λείπει μέρος της λιθοδομής στην κορυφή του υδραγωγείου, υπάρχουν καμάρες κάτω από τη δεύτερη βαθμίδα της γέφυρας, που πιστοποιούν τις πολλαπλές βαθμίδες κατασκευής της⁸⁷.

Η κατασκευή της εξακολουθεί να στέκεται σήμερα ως απόδειξη της ρωμαϊκής αρχιτεκτονικής εφευρετικότητας και της ανθεκτικότητας των τεχνικών δόμησής τους. Πέραν το ότι αυτή η γέφυρα χρησίμευσε ως υδραγωγείο για τη μεταφορά νερού πάνω από τον ποταμό Gardon, είχε και πιο πρακτικό σκοπό ως σημείο διέλευσης των ταξιδιωτών και των εμπορευμάτων τους. Μετά την κατάρρευση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, το Pont du Gard συνέχισε να λειτουργεί ως γέφυρα διοδίων και σημείο διέλευσης για τους ταξιδιώτες.⁸⁸

Η γέφυρα Alcántara

Η γέφυρα Alcántara είναι μια ρωμαϊκή πέτρινη τοξωτή γέφυρα που εκτείνεται στον ποταμό Τάγο στην Alcántara της Ισπανίας. Έχει μήκος 194 μέτρα και πλάτος 8 μέτρα (Εικόνα 2.8^α, 2.8^β). Χτίστηκε τον 2ο αιώνα από τους Ρωμαίους και έχει ύψος πάνω από 70 μέτρα με μια εντυπωσιακή αψίδα στη μέση στολισμένη με επιγραφές. Το όνομα της πόλης, Alcántara, σημαίνει στην πραγματικότητα «Η Γέφυρα» στα αραβικά, υπογραμμίζοντας τη σημασία της γέφυρας για την ιστορία και την ταυτότητα της πόλης. Η γέφυρα προσφέρει εκπληκτική θέα και αποτελεί απόδειξη της ικανότητας και της εφευρετικότητας των αρχαίων Ρωμαίων μηχανικών.⁸⁹

Ο εντυπωσιακός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός της γέφυρας διαθέτει πέντε πυλώνες και δύο στηρίγματα, με έξι τόξα μεταξύ των πυλώνων, με καθαρά ανοίγματα που κυμαίνονται από 13,6 έως 28,8 μέτρα, και χτίστηκε χωρίς κονίαμα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο *opus quadratum* (ρωμαϊκή τετράγωνη κατασκευή).⁹⁰ Παρά τις ζημιές που

⁸⁶ Paillet, 2005, 49-68.

⁸⁷ Hauck, 1986, 105-120.

⁸⁸ Bessac, 2003, 177-198.

⁸⁹ López García, 2001, 56, 76-81.

⁹⁰ Guedes Soares, 2003, 167-180.

προκλήθηκαν στη γέφυρα κατά τη διάρκεια των αιώνων, παραμένει ένα αξιοσημείωτο επίτευγμα μηχανικής και μια απόδειξη της ικανότητας και της εφευρετικότητας των Ρωμαίων κατασκευαστών της. Οι δύο μαρμάρινες πλάκες στην Αψίδα του Θριάμβου, που βρίσκεται στο κέντρο του δρόμου, είναι μια διαρκής υπενθύμιση της ιστορικής και πολιτιστικής σημασίας της γέφυρας, καθώς διατηρεί μια αφιέρωση στον αυτοκράτορα Τραϊανό από τη ρωμαϊκή εποχή⁹¹.

Η ίδια η γέφυρα είναι κατασκευασμένη από γρανίτη, όπου οι πέτρες συνδέονταν με μεταλλικούς βραχίονες, με αποτέλεσμα μια αρμονική και ακριβή κατασκευή με έξι ημικυκλικά τόξα που υποστηρίζονται από πέντε πυλώνες.⁹² Ωστόσο, όμως, η πέτρα ήταν το κύριο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της γέφυρας, που χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση των τοξοθόλων καθώς και για την κατασκευή των κοπτικών υδάτων, των στηρίξεων και των υποστρωμάτων που στήριζαν το βάρος της κατασκευής. Παρά τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή της γέφυρας Alcantara, στέκεται για αιώνες ως απόδειξη της ικανότητας και της εφευρετικότητας των δημιουργών της.⁹³

Η γέφυρα της Canosa di Puglia

Η γέφυρα Canosa di Puglia στην Νότια Ιταλία ανεγέρθηκε αρχικά κατά τον 2ο αιώνα μ.Χ. με σκοπό να διασχίσει τον ποταμό Ofanto κατά μήκος της Via Traiana (εικόνα 2.9). Αυτή η διαδρομή είχε κατασκευαστεί κατόπιν εντολής του αυτοκράτορα Τραϊανού και έωνε τη Ρώμη με το λιμάνι του Μπρίντζι στην ακτή της Αδριατικής Θάλασσας⁹⁴.

Όσον αφορά το ιστορικό της πλαίσιο, η περιοχή της Απουλίας γνωστή ως Tavoliere, με το επίπεδο τοπίο της, είδε τη δημιουργία της εν λόγω γέφυρας να αντιστοιχεί στην ανάπτυξη του οδικού συστήματος. Η τοποθεσία αποδείχθηκε ιδανική όχι μόνο για ταξίδια, αλλά και για διασταυρούμενους δρόμους που οδηγούσαν νότια και ακόμη και προς τα ανατολικά.

Σύμφωνα με τα αρχαία κείμενα η γέφυρα είχε μόνο τρεις καμάρες, με την κεντρική να ξεχωρίζει ως φαρδύτερη και ψηλότερη από τις υπόλοιπες. Παραμένει

⁹¹ Goodman, 2013, pp. 143–157.

⁹² Galliazzo, 2004; pp. 9–23.

⁹³ Crespo, 2007, pp. 243–252.

⁹⁴ Germano, 2022, 1-7

ασαφές εάν υπήρχε γέφυρα σε αυτήν την τοποθεσία πριν από την Αυτοκρατορική εποχή, καθώς η εγκατάσταση αναπτύχθηκε πάνω από ένα προϋπάρχον μονοπάτι που ονομάζεται Via Minucia. Ωστόσο, η ύπαρξη άθικτης πλακόστρωτης βάσης συνεπάγεται μια νέα δημιουργία που συνάδει με τις τεχνικές κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν κατά την Αυτοκρατορική περίοδο.

Οι επιγραφές της ρωμαϊκής εποχής χρησιμεύουν ως τεκμηρίωση των αρχικών προσπαθειών αποκατάστασης του χώρου. Από αυτές τις επιγραφές προκύπτει ότι οι εργασίες έγιναν από τον Σεπτίμιο Σεβήρο και τον Καρακάλλα, καθώς και κατά τη διάρκεια της Τετραρχίας, μια περίοδο που χωρίζει τα τέλη του 3ου αιώνα και τις αρχές του 4ου αιώνα μ.Χ. Οι αναστηλώσεις έγιναν και επί Κωνσταντίνου. Οι επιγραφές, ωστόσο, κάνουν απλώς παροδική αναφορά σε αυτές τις προσπάθειες, χωρίς λεπτομέρειες για συγκεκριμένες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.⁹⁵

2.3 Η ρωμαϊκή γέφυρα του Αγίου Δημητρίου στη Ρόδο

Όπως αναφέραμε νωρίτερα, πολλές από τις ρωμαϊκές γέφυρες που υπάρχουν στην Ελλάδα και την Ευρώπη είναι σε τόσο καλή κατάσταση ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι σήμερα. Η γέφυρα με την οποία ασχολούμαστε σε αυτή τη διπλωματική εργασία βρίσκεται στην πόλη της Ρόδου, στο πάρκο Ροδίνι, ενώνοντας τη Λεωφόρο Ρόδου-Καλλιθέας με τον Άγιο Δημήτριο (εικόνα 2.10). Η γέφυρα αυτή είναι σε πλήρη χρήση ακόμη και σήμερα, και μάλιστα όχι μόνο για τη διέλευση πεζών, αλλά και μηχανοκίνητων οχημάτων. Οι μηχανικοί που μελετούν σήμερα τη γέφυρα εξηγούν ότι η κατάστασή της είναι ακόμη αρκετά καλή, παρόλο που η καταπόνηση που δέχεται από τα βαριά οχήματα ασφαλώς δεν ήταν ένα ενδεχόμενο που είχαν φανταστεί ποτέ οι κατασκευαστές της. Κατά καιρούς πραγματοποιούνται έργα συντήρησης ώστε να μπορεί ακόμη να χρησιμοποιείται με ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν ορισμένα μέρη του μνημείου όπου υπάρχουν μικρές φθορές και ρωγμές στους λίθους. Εκεί το μνημείο έχει υποστεί συμπληρώσεις με μολώματα, με άλλα λόγια, μικρά τετραδάκια που έχουν συνενωθεί με τη χρήση λάσπης. Παράλληλα, η γέφυρα έχει υποστυλώματα στο κάτω κοίλο μέρος, που έχουν τοποθετηθεί πρόχειρα για να ενισχύσουν τη σταθερότητά της ⁹⁶. Στη συνέχεια,

⁹⁵ M. Chelotti et al 1990, 12.

⁹⁶ Oikologiarodiaka 2011, 21 Σεπτεμβρίου.

παρουσιάζεται η ιστορία της συγκεκριμένης γέφυρας, αλλά και του περιβάλλοντος τοπίου και των μνημείων του.

2.3.1 Ιστορικά στοιχεία

Έχει υποστηριχθεί ότι η γέφυρα του Αγ. Δημητρίου είναι η αρχαιότερη στον ελλαδικό χώρο, αν και δεν είναι γνωστό πότε ακριβώς κατασκευάστηκε. Είναι αληθές ότι σε διάφορες περιοχές, όπως η Αργολίδα, υπάρχουν και προϊστορικές κατασκευές που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως γέφυρες, αλλά ασφαλώς δεν είχαν τέτοιου είδους τεχνογνωσία και ήταν συνήθως πολύ μικρότερες, γεφυρώνοντας πολύ μικρότερα χάσματα στη στεριά. Η βιβλιογραφία παρέχει δύο εκδοχές για τη χρονολόγηση της κατασκευής.

Μία άποψη υποστηρίζει ότι η γέφυρα χτίστηκε στα ελληνιστικά χρόνια, περί το 227 π. Χ., μετά από έναν ιδιαίτερα ισχυρό σεισμό που έγινε στην πόλη της Ρόδου. Όσοι υποστηρίζουν αυτή την εκδοχή αναφέρουν ότι στο σημείο αυτό ξεκινούσε η αρχαία οδική αρτηρία Ρ33 που εντασσόταν στο Ιπποδάμειο της πόλης. Η αντίθετη άποψη υποστηρίζει ότι η κατασκευή της γέφυρας έγινε στη ρωμαϊκή εποχή, κυρίως με επιχείρημα τον τρόπο κατασκευής της. Λόγω των τόξων και της τεχνογνωσίας κατασκευής, σε αυτήν την μελέτη έχει υιοθετηθεί η δεύτερη εκδοχή, γι' αυτό και αναφέρουμε τη γέφυρα ως ρωμαϊκή. Δομικά η γέφυρα αποτελείται από δύο ίσα σε μήκος τόξα από επεξεργασμένο πωρόλιθο, οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί χωρίς κάποιο συνδετικό κονίαμα απλώς ο ένας πάνω στον άλλων. Αρχικά, ανάμεσα στα δύο τόξα πρέπει να υπήρχε ένα έμβολο τραπεζοειδούς σχήματος και με ύψος περίπου πέντε δόμων. Σήμερα, το σημείο αυτό έχει καταστραφεί, ενώ οι αρχαιολόγοι που παλαιότερα αναζήτησαν το βάθος του έφτασαν στα 80 εκ. και μετά εγκατέλειψαν την προσπάθεια. Το δε οδόστρωμα και τα στηθαία χρονολογούνται πολύ αργότερα και συμπληρώθηκαν κατά πάσα πιθανότητα επί Οθωμανοκρατίας ή στα σύγχρονα χρόνια⁹⁷.

2.3.2 Ο περιβάλλοντας χώρος- τα μνημεία που περικλείουν την γέφυρα του Αγίου Δημητρίου

Στο ίδιο τοπίο με τη γέφυρα του Αγ. Δημητρίου υπάρχουν και άλλα σημαντικά μνημεία της Ρόδου, όπως το φράγμα στο ρέμα Ροδινίου, αλλά και η νεκρόπολη. Στο

⁹⁷ Oikologicarodiaka 2011, 21 Σεπτεμβρίου.

σημείο αυτό παρατίθεται μια σύντομη περιγραφή για αυτά τα μνημεία, καθώς αποτελούν στοιχεία του αρχαιολογικού τοπίου που μελετάμε.

2.3.3 Το φράγμα του Ρέματος του Ροδινίου

Το φράγμα στο ρέμα του Ροδινίου, είναι στα ανατολικά της γέφυρας και είναι σε αρκετά καλή κατάσταση, καθώς έχουν εκπονηθεί πολλά έργα για να αποκατασταθεί και να αναδειχθεί ο χώρος (εικόνα 2.11). Το φράγμα είναι φτιαγμένο από πωρόλιθο, κυρίως κομμένο σε μεγάλους γωνιολίθους, που πιθανότατα είναι σε δεύτερη χρήση και παλαιότερα ανήκαν σε οχυρώσεις της ελληνιστικής εποχής. Στους αρμούς του φράγματος υπάρχουν μικρότεροι λίθοι και πέτρες, ενώ έχει αξιοποιηθεί και ο φυσικός βράχος. Το φράγμα είναι 10 μέτρα σε μήκος, ενώ το πλάτος ανέρχεται σε πέντε περίπου μέτρα. Προφανώς το συγκεκριμένο κτίσμα χρησιμοποιήθηκε για να διευκολύνει τον έλεγχο των υδάτων στο ρέμα Ροδινίου προτού αυτά εκβάλουν στον κόλπο Ζεφύρου.

Όσον αφορά, από την άλλη πλευρά, στη δομή του, αξ σημειωθεί ότι το ανώτερο τμήμα του έχει πλάτος 2,40 μέτρα, ενώ επίσης υπάρχουν τρεις επάλληλοι δόμοι, ύψους δύοων μέτρων περίπου. Το κεντρικό και το ανατολικό του τμήμα έχει ευθύγραμμη κάτοψη, σε αντίθεση με το δυτικό τμήμα, όπου η κάτοψη έχει κλιμακωτή διαμόρφωση και ανοίγματα ροής νερού στο κάτω μέρος.

Ακόμα, θα πρέπει να γίνει αναφορά στο κατώτερο μέρος του φράγματος. Ειδικότερα, αποτελείται από δυο πέδιλα ή διαφορετικά σκέλη, τα οποία είναι τοποθετημένα στα δυο άκρα, καθώς και ένα υποστύλωμα ανάμεσά τους. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζονται δυο ορθογώνιες διόδους από όπου περνάει το νερό, το ύψος των οποίων είναι 2,60 μέτρα και το πλάτος τους 1,50 μέτρο. Στο εσωτερικό του δυτικού άκρου των διόδων αυτών, υπάρχουν εγκοπές με πλάτος 0,30 και βάθος 0,20 μέτρα, οι οποίες βοηθούν στην κύλιση των πλακών που τις σφραγίζουν και με αυτό τον τρόπο μπορεί να σταματήσει η ροή του νερού προς τις εκβολές του ρεύματος.

Εύλογο είναι, περαιτέρω, ότι το φράγμα έχει κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να συμβαδίζει με τις γεωμορφολογικές ιδιαιτερότητες της περιοχής και να επιτελεί το σκοπό του, δηλαδή την ομαλή ροή των υδάτων, με τον αποτελεσματικότερο δυνατό τρόπο. Η ροή των υδάτων στο συγκεκριμένο σημείο έχει κατεύθυνση από δυσμάς προς ανατολάς, λόγος για τον οποίο τα δύο σκέλη του φράγματος στα άκρα του έχουν κοίλο περίγραμμα με κλίση. Το φράγμα είναι πιο

πλατύ προς τις όχθες και στο κέντρο πιο στενό, ώστε να διευκολύνεται το νερό και στις δύο κατευθύνσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω γίνεται κατανοητή η σύνδεση μεταξύ του φράγματος του Ροδινίου και της ρωμαϊκής γέφυρας του Αγίου Δημητρίου που μελετάται στην παρούσα εργασία. Ειδικότερα, πέραν της γεωγραφικής εγγύτητας, αφού ουσιαστικά το φράγμα βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τη γέφυρα, υπάρχει λειτουργική σχέση μεταξύ τους, από τη στιγμή που το φράγμα επιτρέπει την ομαλή ροή των υδάτων και κατά συνέπεια την μη καταπόνηση των βάθρων της γέφυρας.

Τέλος, σημειώνεται ότι δεν είναι βέβαιο πότε κατασκευάστηκε το φράγμα του Ροδινίου. Υποστηρίζεται ότι βάσει του τρόπου κατασκευής αλλά και του ότι δεν υπάρχουν όστρακα στη θεμελίωση, αυτό πιθανότατα να είναι μεταγενέστερο από τη ρωμαϊκή περίοδο του νησιού. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το ότι ένα υλικό που προσομοιάζει σε τσιμεντοκονίαμα, έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των τοιχωμάτων των διόδων και των εγκοπών της κύλισης των κινητών φρακτών, καθιστά πιθανή την θεμελίωση της κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, αφ' ης στιγμής το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιούταν από τους Ρωμαίους τεχνίτες για την κατασκευή έργων. Συνεπώς, δεν μπορεί να είναι απόλυτα ακριβής η χρονολόγηση της γέφυρας⁹⁸.

Η νεκρόπολη της Ρόδου

Από την άλλη πλευρά, η *νεκρόπολη της Ρόδου*, η οποία είναι στο μέρος Κορακόνερο και ουσιαστικά ανήκει στο ίδιο τοπίο με τη γέφυρα του Αγ. Δημητρίου, μελετάται συστηματικά τα τελευταία χρόνια, αφού συνιστά στοιχείο της ιστορίας και του πολιτισμού του νησιού⁹⁹. Μάλιστα, ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι παρόλο που αποτελεί ένα ιστορικό μνημείο, εντούτοις είναι διαμορφωμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί ταυτόχρονα ως χώρος αναψυχής και περιπάτου για τους κατοίκους και τους τουρίστες. Έτσι, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι, στην νεκρόπολη της Ρόδου, το παρελθόν συναντάται με το παρόν και συνυπάρχουν αρμονικά¹⁰⁰.

Όσον αφορά στο γεωγραφικό προσδιορισμό της νεκρόπολης του Καρακόνερου, ας σημειωθεί ότι βρίσκεται στην ανατολική πλευρά του νησιού, εντός της κοιλάδας του Ροδινίου και εκτείνεται από το νεκροταφείο του Αγίου Δημητρίου, έως και την οδό Ρόδου- Καλλιθέας, όπου ουσιαστικά φτάνει μέχρι και την ακτή.

⁹⁸ Φανταουτσάκη 2006, 1314- 1315.

⁹⁹ Φιλήμονος 1996, 89.

¹⁰⁰ Πατσιαδά 2013, 47.

Άξιο επισήμανσης, επίσης, είναι το γεγονός ότι αποτελεί τμήμα της νεκρόπολης και όχι το σύνολο αυτής. Ειδικότερα, λόγω της ύπαρξης δυο φυσικών κοιλάδων, του Μακρύ Στενού – που βρίσκεται στα δυτικά- και του Ροδινίου – που βρίσκεται στα ανατολικά-, η νεκρόπολη δεν είναι ενιαία, παρά διαχωρίζεται σε τρεις επιμέρους τομείς:

- Στο δυτικό τομέα, ο οποίος εκτείνεται από το νότιο άκρο του λόφου της Ακρόπολης έως και το εσωτερικό της κοιλάδας του Μακρύ Στενού.
- Στον κεντρικό τομέα, ο οποίος βρίσκεται στο λόφο του Κιζίλ Τεπέ, μεταξύ των κοιλάδων του Ροδινίου και του Μακρύ Στενού.
- Στον ανατολικό τομέα που, όπως προαναφέρθηκε, εκτείνεται ανατολικά της κοιλάδας του Ροδινίου και φτάνει μέχρι και την ακτή¹⁰¹.

Στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου δε κρίνεται απαραίτητη η αναφορά στο κεντρικό και στον δυτικό τομέα της νεκρόπολης, παρά μόνο στον ανατολικό, αφού πλησίον αυτού βρίσκεται και η ρωμαϊκή γέφυρα του Αγίου Δημητρίου που αποτελεί αντικείμενο μελέτης της εργασίας.

Πρόκειται, ουσιαστικά, για ένα σύνολο ταφικών κτισμάτων και συγκροτημάτων, τα οποία πρέπει να κατασκευάστηκαν κατά την ύστερη ελληνιστική και τη ρωμαϊκή περίοδο, κατά την οποία σημειωνόταν άνθιση της ταφικής αρχιτεκτονικής στη Ρόδο (εικόνα 2.12). Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο τμήμα της νεκρόπολης, τα ταφικά συγκροτήματα είναι αραιότερα, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο λόγο στη σύσταση του εδάφους, αφού το συστατικό που κυριαρχεί είναι ο αργιλλώδης ασπρόπηλος, το οποίο καθιστά δύσκολη τη λάξευση τάφων και κατ' επέκταση τη δημιουργία συγκροτημάτων.

Ωστόσο, τα υπάρχοντα ταφικά συγκροτήματα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον όσον αφορά στην αρχιτεκτονική τους, ενώ επίσης δίνουν πληροφορίες για την κοινωνικό- οικονομική κατάσταση των κατοίκων του νησιού. Πιο συγκεκριμένα, οι τάφοι κατά κύριο λόγο είναι λαξευμένοι σε πωρόβραχο και όσον αφορά στη μορφή τους, ορισμένοι είναι λακκοειδείς, ενώ ορισμένοι άλλοι, που είναι περισσότερο πολυτελείς, περιλαμβάνουν υπόγειους ταφικούς θαλάμους και αρχιτεκτονικές προσόψεις. Τέτοιες προσόψεις, για παράδειγμα, είναι τοξοστοιχίες ή κίονες που στηρίζουν επιστύλιο με μετόπες και τριγλύφους. Συνεπώς γίνεται κατανοητό ότι το εξωτερικό μέρος του τάφου διαμορφωνόταν βάσει της οικονομικής και κοινωνικής

¹⁰¹ Πατσιαδά 2013, 37- 38.

ισχύος της οικογένειας των θανόντων. Από την άλλη πλευρά, το εσωτερικό του τάφου ήταν ίδιο για όλους, αφού τοποθετούνταν σε θήκες, οι οποίες είναι λαξευμένες στις παρειές των θαλάμων.

Όσον αφορά, γενικότερα, στο χώρο της νεκρόπολης του Καρακόνερου, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αποκαλύφθηκε και αναστηλώθηκε από την Ιταλική Αρχαιολογική Σχολή πριν από το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Οι βωμοί και οι στήλες βρέθηκαν στο χώρο και τοποθετήθηκαν από τους Ιταλούς στις εξέδρες πάνω από τους υπόγειους ταφικούς θαλάμους.

Το αρχαιολογικό τοπίο της νεκρόπολης περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος ταφικών μνημείων, τα οποία είναι εν συντομία τα εξής:

- Ταφικό συγκρότημα γύρω από την περίστυλη αυλή.
- Ανάγλυφες παραστάσεις σε τρεις πλευρές ενός λαξευμένου βράχου -θεωρείται ότι πιθανόν να είναι μέρος ταφικού ιερού.
- Λαξευτές ταφικές κατασκευές που έχουν κατασκευαστεί σε κάθετους βράχους κατά μήκος της οδικής αρτηρίας που συνέδεε στην αρχαία εποχή την πόλη της Ρόδου με τους αγρούς.
- Υπέργειες ταφικές κατασκευές με βάθρα και κρηπιδώματα, που διαθέτουν επίσης κυλινδρικούς επιτύμβιους βωμούς.
- Συγκροτήματα υπογείων θαλάμων.
- Θολωτοί κτιστοί τάφοι¹⁰².

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι εντός των ορίων της νεκρόπολης και συγκεκριμένα στον εξωτερικό χώρο αυτής, πέραν των ταφικών μνημείων, διατηρούνται ακόμα και σήμερα ιερά, τα οποία είναι αφιερωμένα σε αρχαίες θεότητες. Ένα ιδιαίτερο παράδειγμα ιερού που πιθανότατα ανήκε σε αυτήν την κατηγορία, είναι εκείνο που βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο του Καρακόνερου, έχει πείοσχημο λαξευτό περίβολο, ενώ στα τοιχώματά του αναπαρίσταται η επιστροφή του θεού Ηφαίστου στον Όλυμπο. Συνεπώς, το συγκεκριμένο ιερό είναι αφιερωμένο στον Ήφαιστο. Επίσης, πλησίον του ταφικού συγκροτήματος των Πτολεμαίων στο Ροδί, υπάρχουν ακόμα και σήμερα σπηλαιώδεις χώροι που, σύμφωνα με τους ιστορικούς, αποτελούν ιερά.

Τέλος, πέραν της ιστορικής και πολιτισμικής αξίας της, η νεκρόπολη της Ρόδου και συγκεκριμένα ο ανατολικός τομέας αυτής, διακρίνεται και για το φυσικό

¹⁰²Πατσιαδά 2013,38- 44.

της κάλλος. Ειδικότερα, το Ροδίσι, από όπου διέρχεται η νεκρόπολη, είναι αδόμητο, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται από πλούσια βλάστηση, υπόγεια και υπέργεια ύδατα, καθώς και από φυσικούς καταρράκτες, δημιουργώντας έτσι ένα τοπίο μοναδικής αισθητικής, ένα χώρο που προσφέρεται για την αναψυχή των επισκεπτών, ενώ επίσης προσφέρει ευκαιρίες μάθησης, αφού τα ταφικά συγκροτήματα, που παρουσιάζουν ιστορικό και πολιτισμικό ενδιαφέρον, είναι απολύτως εναρμονισμένα με το φυσικό περιβάλλον¹⁰³.

Εν κατακλείδι, στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας έγινε μια εκτενής αναφορά στις γέφυρες (ρωμαϊκές και μη), εστιάζοντας κυρίως στην γέφυρα του Αγίου Δημητρίου στη Ρόδο, καθώς και του χώρου που την περιβάλλει. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, μπορούν να εξαχθούν ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα.

Καταρχήν, διαπιστώθηκε η ανάγκη για καταγραφή και μελέτη των γεφυρών που υπάρχουν στην Ελλάδα και στην Ευρώπη, τόσο εκείνων που κατασκευάστηκαν κατά την ρωμαϊκή περίοδο όσο και των προγενέστερων ή μεταγενέστερων αυτών. Ειδικότερα, παρά το γεγονός ότι διασώζονται και αξιοποιούνται ακόμα πολλές γέφυρες που ανήκουν στην πρώτη και στη δεύτερη περίοδο, δηλαδή από το 4.000 π. Χ. έως και το 1700 μ. Χ., εντούτοις οι πληροφορίες για την ιστορία, τη δομή και τον τρόπο κατασκευής των γεφυρών αυτών είναι εξαιρετικά περιορισμένες, γεγονός που επισημαίνουν μεταξύ των άλλων και οι μελετητές που έχουν ασχοληθεί με το αντικείμενο αυτό. Μάλιστα, το παραπάνω διαπιστώθηκε και κατά τη διαδικασία μελέτης που προηγήθηκε της συγγραφής του παρόντος κεφαλαίου, αφού για τις περισσότερες ρωμαϊκές γέφυρες που παρουσιάστηκαν, οι πηγές και οι πληροφορίες που περιλαμβάνονταν σε αυτές, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ελλιπείς.

Το κενό αυτό που υπάρχει στην ελληνόγλωσση βιβλιογραφία είναι απαραίτητο να καλυφθεί, να υλοποιηθούν και να δημοσιοποιηθούν δηλαδή στοχευόμενες μελέτες για τις ρωμαϊκές – και μη- γέφυρες που διασώζονται ή και αξιοποιούνται μέχρι και σήμερα. Η ανάγκη αυτή έγκειται στο ότι η γέφυρα, πέρα από την πρακτική της αξία, όπου υποβοηθά την μετακίνηση ανθρώπων και εμπορευμάτων, έχει πολιτισμική και ιστορική αξία, γεγονός που δε θα πρέπει να παραγνωρίζεται. Ουσιαστικά, αποτελούν τμήμα του πολιτισμού και της ιστορίας κάθε τόπου και ως εκ τούτου θα πρέπει να γίνουν γνωστές στο ευρύ κοινό. Αυτός,

¹⁰³ Πατσιαδά 2013, 43.

άλλωστε, είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους αποφασίστηκε στο κεφάλαιο αυτό να γίνει μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση στον τομέα της κατασκευής γεφυρών.

Περαιτέρω, από την υπάρχουσα βιβλιογραφία διαπιστώθηκε ότι πράγματι κατά τη ρωμαϊκή περίοδο ο συγκεκριμένος τομέας είχε ανθίσει, αφού κατασκευάστηκαν πλήθος γεφυρών τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες που βρίσκονταν υπό την ρωμαϊκή κυριαρχία. Το γεγονός ότι ένας σημαντικός αριθμός των γεφυρών αυτών διασώζεται μέχρι σήμερα, εκατοντάδες χρόνια μετά από την περίοδο κατασκευής τους, φανερώνει ακριβώς την τεχνογνωσία των Ρωμαίων τεχνιτών και την ορθή αξιοποίηση των υλικών που είχαν στη διάθεσή τους, τα οποία την εποχή εκείνη ήταν περιορισμένα. Επιπρόσθετα, στην βιβλιογραφία τονίζεται η αισθητική των ρωμαϊκών γεφυρών, η οποία θεωρείται υψηλή, αφενός λόγω του κυρίαρχου υλικού κατασκευής της, την πέτρα και αφετέρου λόγω του ότι στην πλειοψηφία τους είχαν περισσότερα από δυο τόξα. Λαμβάνοντας υπόψη το παραπάνω, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι Ρωμαίοι έθεσαν τα θεμέλια και συνέβαλαν καθοριστικά στην ανάπτυξη του τομέα της γεφυροποιίας και για αυτό τα έργα τους εγείρουν το ενδιαφέρον των μελετητών μέχρι σήμερα.

Ένα ακόμα συμπέρασμα που συνάγεται από τη βιβλιογραφική επισκόπηση είναι ότι η γέφυρα του Αγίου Δημητρίου στη Ρόδο, που αποτελεί αντικείμενο ανάλυσης στην παρούσα εργασία, είναι ένα χαρακτηριστικό δείγμα ρωμαϊκής γέφυρας. Το παραπάνω διαπιστώνεται αφενός λόγω της αντοχής της και αφετέρου λόγω του τρόπου με τον οποίο είναι κατασκευασμένη. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά στοιχεία των ρωμαϊκών γεφυρών είναι η αντοχή τους ή διαφορετικά η επιβίωσή τους δια μέσου των αιώνων. Κάτι τέτοιο ισχύει και στην περίπτωση της εξεταζόμενης γέφυρας, η οποία διατηρείται μέχρι σήμερα σε τέτοια κατάσταση ώστε να μπορεί να αξιοποιείται από οχήματα και πεζούς σε καθημερινή βάση. Εύλογο είναι, βέβαια, ότι με την πάροδο των ετών έχουν γίνει έργα επιδιόρθωσης και συντήρησης, ωστόσο το κύριο οικοδόμημα παραμένει αναλλοίωτο, γεγονός που φανερώνει την αντοχή του στο χρόνο. Περνώντας, από την άλλη πλευρά, στα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης γέφυρας, θα πρέπει να γίνει αναφορά στο υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένη, δηλαδή την πέτρα, στο είδος της (δίτοξη), καθώς και στην αρχική κατασκευή του τραπεζοειδούς εμβόλου, το οποίο σήμερα έχει καταστραφεί. Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι η γέφυρα κατασκευάστηκε κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, αφ' ης στιγμής φέρει τα

κύρια χαρακτηριστικά των γεφυρών της εποχής εκείνης. Άλλωστε, από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι και άλλες ρωμαϊκές γέφυρες ανά την Ελλάδα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά, όπως είναι επί παραδείγματι η γέφυρα που βρίσκεται στην είσοδο της Πάτρας. Αβίαστα, λοιπόν, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως η γέφυρα του Αγίου Δημητρίου χρονολογείτε πιθανότατα κατά τη ρωμαϊκή εποχή και συγκεκριμένα μεταξύ του 2^{ου}- 3^{ου} αιώνα μ. Χ.

Από την άλλη πλευρά, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, παρόλο που η ρωμαϊκή γέφυρα του Αγίου Δημητρίου στη Ρόδο συνιστά στοιχείο του πολιτισμού αλλά και της ιστορίας του νησιού, εντούτοις και σε αυτή την περίπτωση οι μελέτες που υπάρχουν διαθέσιμες στην ελληνόγλωσση βιβλιογραφία σχετικά με τη δομή και τα χαρακτηριστικά της είναι ελλιπείς. Συνεπώς διαπιστώνεται ότι υπάρχει κενό στη βιβλιογραφία, το οποίο εν μέρει επιχειρεί να καλύψει η παρούσα ερευνητική εργασία, όπου επιχειρείται η γεωμετρική τεκμηρίωσή της.

Τέλος, από την εξέταση των μνημείων που περιβάλλουν τη ρωμαϊκή γέφυρα του Αγίου Δημητρίου, διαπιστώνεται ότι λειτουργούν ως σύνολο, αφού ουσιαστικά συνδέονται μεταξύ τους – λειτουργικά και αισθητικά- και φανερώνουν την αλληλεπίδραση που υπάρχει μεταξύ του παρελθόντος και του παρόντος, μια αλληλεπίδραση που παρατηρείται και σε πολλά ακόμα μέρη του νησιού.

Κεφάλαιο 3: Σύντομη παρουσίαση των νέων τεχνολογιών για την γεωμετρική τεκμηρίωση

Προτού μπορέσουν να αποκατασταθούν ή να μελετηθούν τα μνημεία και οι αρχαιολογικοί χώροι, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια ακριβής διαδικασία γεωμετρικής τους τεκμηρίωσης. Αυτό αφορά κυρίως τις διαδικασίες που αφορούν τη λήψη, επεξεργασία, αρχειοθέτηση και παρουσίαση όλων των στοιχείων που μπορούν να αξιοποιηθούν για να καθορίσουν τη θέση στον χώρο, την κατάσταση, τα σχήματα και τα μεγέθη του μνημείου, όπως αυτά παρουσιάζονται σε μία χρονική στιγμή στον χώρο¹⁰⁴. Στα πλαίσια αυτού του κεφαλαίου, πραγματοποιείται αναφορά στις τεχνικές και τις μεθόδους που αξιοποιούνται σήμερα από τους αρχαιολόγους προκειμένου να τεκμηριώσουν γεωμετρικά ένα μνημείο. Θα αναλυθούν, ειδικότερα, σε αυτό το σημείο: η φωτογραμμετρία, οι σαρώσεις laser, η γεωδαισία, αλλά και η κατασκευή μοντέλων δύο ή τριών διαστάσεων.

¹⁰⁴ Παυλίδης κ.α 2014, 12.

3.1 Φωτογραμμετρία

Φωτογραμμετρία ονομάζεται «η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσω της διαδικασίας καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και πρότυπων καταγεγραμμένων ακτινοβολούμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και άλλα φαινόμενα» σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ASPRS)¹⁰⁵. Είναι η επιστήμη της χρήσης πολλαπλών φωτογραφιών για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων, έτσι ώστε να μπορούν να παρθούν ακριβείς μετρήσεις από ένα τρισδιάστατο αντικείμενο¹⁰⁶. Η μέθοδος αυτή είναι αξιόπιστη και αντικειμενική, όπου χάρη στις ψηφιακές φωτογραφίες είναι δυνατόν να εντοπιστούν τρισδιάστατες συντεταγμένες. Εξασφαλίζει τη διατήρηση του μνημείου στις μελλοντικές γενιές αναδεικνύοντας την πολιτισμική του αξία. Μπορεί να συνδυαστεί με τις τοπογραφικές μετρήσεις για την ένταξη του μνημείου σε ένα χώρο. Η λέξη Φωτογραμμετρία πηγάζει από τις τρεις ελληνικές λέξεις: «φως – γραμμή - μέτρηση» και αναφέρεται στις μετρήσεις που μπορούν να διευκολυνθούν από τις γραμμές που σχηματίζονται με το φως¹⁰⁷.

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές αξιοποιούν έμμεσους τρόπους, ώστε να καταγράψουν τη θέση, το σχήμα και τις διαστάσεις των αντικειμένων. Αντί να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με τη χρήση του ίδιου του αντικειμένου, χρησιμοποιούνται οι μετρητικές πληροφορίες που συλλέγονται από μία ή περισσότερες φωτογραφικές εικόνες. Ο ορισμός της Φωτογραμμετρίας έχει επεκταθεί, εξαιτίας της συνεχούς ανάπτυξης των τεχνολογικών εξελίξεων και καλύπτει πλέον και την καταγραφή σημάτων από ηλεκτρομαγνητικές και ηχητικές πηγές¹⁰⁸. Η Φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί κυρίως διάφορες μηχανές που αναπαράγουν εικόνες, χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι σαρώσεις λείζερ, εικόνες ραντάρ, υπέρηχοι, καθώς χρησιμοποιεί και κάθε είδους φωτογραφικές μηχανές. Σημαντικό αποτελεί το γεγονός, είτε να γνωρίζουμε τον τρόπο που θα σχηματιστεί μία εικόνα μέσα από τη βαθμονόμηση της μηχανής, είτε να διαθέτουμε αρκετά σημεία ελέγχου στο αντικείμενο, έτσι ώστε να μας διευκολύνει να πραγματοποιήσουμε τη βαθμονόμηση της μηχανής με μεθόδους πεδίου¹⁰⁹.

¹⁰⁵ Terpstra et al 2018, 194

¹⁰⁶ Wallace 2016, 7

¹⁰⁷ Chatzifoti 2015, 2

¹⁰⁸ Πατιάς 1991, 2-3.

¹⁰⁹ Λυριτζής 2008, 237

Η ιστορία της Φωτογραμμετρίας ξεκίνησε τον 19^ο αιώνα, οπότε ο εμπνευστής της μεθόδου, Γάλλος συνταγματάρχης Aime Laussedat, που θεωρείται και εφευρέτης της μεθόδου, κατανόησε τη σημασία της φωτογράφισης από πολλές οπτικές γωνίες. Είχε επιχειρήσει πρώτα να αντικαταστήσει το τραπέζι με την κάμερα lucida και στη συνέχεια με μια φωτογραφική μηχανή. Μάλιστα, το 1864 παρουσίασε στο Παρίσι και συγκεκριμένα στην Académie des Sciences τον πρώτο τοπογραφικό χάρτη, ο οποίος είναι κατασκευασμένος με τη χρήση φωτογραφιών από τα περίχωρα της Grenoble¹¹⁰. Έτσι με αυτό τον τρόπο έχει αποδείξει επιτυχώς πως οι ακριβείς μετρήσεις μπορούσαν να εξαχθούν από φωτογραφίες σε τραπέζι. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως εκείνη την εποχή λόγω της έλλειψης κατάλληλων τεχνολογικών μέσων και της περιορισμένης ανάπτυξης της τεχνολογίας, η συγκεκριμένη ανακάλυψή παρέμενε αναξιοποίητη για τουλάχιστον μισό αιώνα. Ωστόσο, με την πάροδο των χρόνων και τη σημαντική τεχνολογική πρόοδο, οι φωτογραμμετρικές τεχνικές έχουν ευρύχωρα χρησιμοποιηθεί από τους τοπογράφους. Αυτή η εξέλιξη επέτρεψε στους ειδικούς να χαρτογραφήσουν περιοχές με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα¹¹¹.

Μάλιστα αξίζει να αναφερθεί πως εκείνη την περίοδο υπήρχαν πολλά παραδείγματα προσπάθειας χρήσης της φωτογραμμετρίας. Πιο συγκεκριμένα, το 1858, ο αρχιτέκτονας Meydenbauer χρησιμοποίησε επίγειες φωτογραφίες για την παραγωγή σχεδίων για τον καθεδρικό ναό του Wetzlar στη Γερμανία και ο Sebastian Finsterwalder του Μονάχου χρησιμοποίησε φωτογραφίες για την έρευνα των παγετώνων στις Τιρολέζικες Άλπεις το 1889¹¹².

Ένας από τους πιο θερμούς υποστηρικτές της επιτυχίας αυτής του Laussedat όσον αφορά την φωτογραμμετρία υπήρξε ο Albrecht Meydenbauer. Ήταν πολιτικός μηχανικός και αρχιτέκτονας, καθώς ήταν ο πρώτος εμπνευστής αρχιτεκτονικής φωτογραμμετρίας το 1858. Είχε την ιδέα να χρησιμοποιήσει φωτογραφικές εικόνες για την τεκμηρίωση των αρχιτεκτονικών κατασκευών που αποτελούν σημαντική πολιτιστική αξία. Πίστευε ακράδαντα πως σε περιπτώσεις καταστροφής θα έπρεπε τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς να καταγράφονται, ώστε να μπορούν αργότερα να ανακατασκευαστούν¹¹³. Ο ίδιος ίδρυσε το Βασιλικό Πρωσιτό Ινστιτούτο Φωτογραμμετρίας το 1885 για την τεκμηρίωση μνημείων χρησιμοποιώντας τη

¹¹⁰ Brevern 2011, 57

¹¹¹ Συλλογικό έργο 1994, 286.

¹¹² Dowan 2004, 106

¹¹³ Albertz 2001, 19

μέθοδο της φωτογραμμετρίας και πραγματοποίησε την γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων της Γερμανίας, αλλά και πολλών άλλων χωρών μεταξύ των οποίων ήταν και η Ελλάδα. Το έργο αυτό ήταν ιδιαίτερα σημαντικό, αφού παρείχε 80.000 αρχεία φωτογραφιών με ολοκληρωμένο τοπογραφικό έλεγχο, το οποίο και αποτέλεσε το πρώτο και πιο σημαντικό αρχείο φωτογραμμετρίας, καθώς αναδεικνύει την στενή σύνδεση της φωτογραμμετρίας με την αρχιτεκτονική και την αρχαιολογία¹¹⁴.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, τώρα, οι τροποποιήσεις και οι απλοποιήσεις των οπτικών και μηχανικών οργάνων σχεδίασης που αναπτύχθηκαν στην Ελβετία, στη Βρετανία, στη Γαλλία, στην Ιταλία, στις ΗΠΑ και στην ΕΣΣΔ έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ικανοποίηση των βασικών απαιτήσεων χαρτογράφησης σε όλο τον κόσμο. Προκειμένου να μειωθούν οι απαιτήσεις ελέγχου για χαρτογράφηση, αναπτύχθηκε η εναέρια τριγωνοποίηση ως μέθοδος παρεμβολής μιας σπάνιας κατανομής ελέγχου στις απαιτήσεις ενός μεμονωμένου στερεοφωνικού μοντέλου. Σημαντικότερη πτυχή στην εξέλιξη της φωτογραμμετρίας αποτέλεσε η εισαγωγή του υπολογιστή σε αυτή στα τέλη της δεκαετίας του 1950 η οποία όχι μόνο έκανε δυνατή τη μερική αυτοματοποίηση των εργασιών εναέριου τριγωνισμού και στερεοφωνικής αποκατάστασης, αλλά βοήθησε επίσης στην αυξημένη ακρίβεια και αξιοπιστία της διαδικασίας αποκατάστασης. Οι εξελίξεις στους υπολογιστές τις δεκαετίες του 1970 και του 1980, με αυξημένη ταχύτητα και αποθήκευση, επέτρεψαν τελικά στους χρήστες να επεξεργαστούν τις εναέριας εικόνες σε ψηφιακή μορφή αφού είχαν σαρωθεί από σαρωτές ράστερ¹¹⁵.

Η ψηφιακή φωτογραμμετρία σε συνδυασμό με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας έγινε τελικά το νέο εργαλείο για την μερική ή πλήρη αυτοματοποίηση της μέτρησης σημείου, του μετασχηματισμού συντεταγμένων, της αντιστοίχισης εικόνας για την παραγωγή της τρίτης διάστασης και για τη διαφορική διόρθωση εικόνας για τη δημιουργία ορθοεικονισμών με τη γεωμετρία που αντιστοιχεί σε έναν χάρτη. Αυτή η τεχνολογία δεν είναι κατάλληλη μόνο για εφαρμογή σε αεροφωτογραφίες, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί, με μικρές τροποποιήσεις, για επίγειες εικόνες ή για ψηφιακές εικόνες δορυφορικών σαρωτών.

Στη σύγχρονη εποχή, η εξέλιξη του τομέα της αρχαιολογίας έχει οδηγήσει στην πρόοδο και την αυτοματοποίηση των μεθόδων της φωτογραμμετρίας, καθιστώντας τις πιο προσιτές. Η ψηφιακή επανάσταση, η ανάπτυξη αλγορίθμων και η

¹¹⁴ Πατιάς 2008, 71

¹¹⁵ Dowan 2004, 107-108

αυτοματοποίηση διαδικασιών έχουν επιτρέψει τη χρήση φθηνότερου εξοπλισμού, αντιμετωπίζοντας καταστάσεις που στο παρελθόν θα ήταν δύσκολο να επιλυθούν. Παρόλο που οι μεγάλες ψηφιακές συσκευές δεν αντικαθίστανται για τις υψηλές ακρίβειες που απαιτούνται, οι χρήστες μπορούν να εκτελούν απλές μετρητικές εργασίες κάνοντας χρήση εξειδικευμένα πακέτα λογισμικού, χωρίς να χρειάζεται ειδίκευση. Η τελική παραγωγή μπορεί να διαμορφωθεί με βάση τις δυνατότητες που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία, από μία μεμονωμένη εικόνα μέχρι ένα πλήρες ηλεκτρονικό σύστημα τεκμηρίωσης, βασιζόμενο στην τεχνολογία των πολυμέσων¹¹⁶.

Ποια είναι όμως τα χαρακτηριστικά της φωτογραμμετρικής μεθοδολογίας που την κατέστησαν τόσο ελκυστική; Η Φωτογραμμετρική Μεθοδολογία γεωμετρικής αποτύπωσης λοιπόν έχει τα εξής κύρια χαρακτηριστικά⁸⁵

- Η αποτύπωση είναι αμερόληπτη και στηρίζεται σε ένα σύστημα αναφοράς.
- Η ακρίβεια και πιστότητα του αποτελέσματος είναι δυνατόν να ελεγχθούν μέσω επιστημονικού ελέγχου.
- Συνεχή ή και σημειακή αποδόμηση δίνει την ανακατασκευή των γεωμετριών του αντικειμένου στον χώρο.
- Δυνατότητα έμμεσων μετρήσεων απαλείφει την ανάγκη σχεδίων πεδίου (σκαριφημάτων).
- Είναι εύκολη η αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με άμεσες λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά στοιχεία.
- Δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης νέων τεχνολογιών όπως η νέα σχεδιαστική τεχνολογία CAD, αλλά και η ψηφιακή τεχνολογία ανάλυσης εικόνας (image processing), συγχρόνως με την χρήση νέων ολοκληρωμένων τεχνικών ψηφιακής τεκμηρίωσης (αλφαριθμητικών, γραφικών και εικόνων).
- Στη διαδικασία των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων, καθίσταται εύκολη η ενσωμάτωση της λογικής της διαχρονικής παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς του αντικειμένου, μιας και η συλλογή των δεδομένων είναι εύκολη
- Ο αναγκαίος εξοπλισμός πεδίου έχει αρκετά χαμηλό κόστος.
- Γίνεται αξιοποίηση μερικών γεωμετρικών ιδιοτήτων (π.χ. σημεία φυγής, προοπτικής, κλπ.) για την διευκόλυνση και εμπλουτισμό των επεξεργασιών.

¹¹⁶ Πατιάς 2008, 72.

⁸⁵ Παυλίδης, Σεβελίδης και Χαραλαμπίδου, 2014, 51

Αξίζει να αναφερθεί συνοπτικά πως η φωτογραμμετρία ανάλογα με τον τρόπο του υπολογισμού και τον αριθμό των συντεταγμένων των σημείων και των λεπτομερειών διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: μονοσκοπική και στερεοσκοπική φωτογραμμετρία. Αλλά μπορεί να διακριθεί ανάλογα με τη θέση της φωτομηχανής σε επίγεια και από αέρα¹¹⁸.

Στερεοσκοπική φωτογραμμετρία: Χρησιμοποιούνται δύο εικόνες για τη μέτρηση των εικονοσυντεταγμένων (x, y) του ίδιου σημείου σε αυτές τις εικόνες, που ονομάζονται ομόλογα σημεία. Από αυτές τις μετρήσεις προκύπτουν δύο ζεύγη εξισώσεων οι οποίες είναι δυνατό να επιλυθούν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Έτσι καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της θέσης του σημείου στον χώρο, δηλαδή των συντεταγμένων (X, Y, Z). Χρήση της μεθόδου κυρίως στην χαρτογράφηση, την αεροφωτογραφία, την αρχιτεκτονική, και άλλα πεδία όπου είναι απαραίτητη η ακριβής μέτρηση και ανακατασκευή τρισδιάστατων σκηνών.

Μονοσκοπική φωτογραμμετρία: Σε ορισμένες περιπτώσεις η απλότητα της γεωμετρίας ενός αντικειμένου καθιστά δυνατή την ανάγκη λήψης μιας μόνο φωτογραμμετρικής εικόνας για τον προσδιορισμό της θέσης των εικονιζόμενων λεπτομερειών. Αυτή η απλοποίηση είναι προφανές πως επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση ενός μόνου αποτελέσματος φωτογραφίας για την ανάκτηση πληροφοριών βάθους ή γεωμετρικών παραμέτρων των αντικειμένων. Παρόλα αυτά η προσέγγιση αυτή είναι έγκυρη και αξιόπιστη μόνο για ελάχιστες περιπτώσεις.

Επίγεια φωτογραμμετρία: Λήψη φωτογραφιών από το έδαφος. Για την απόδοση των επίγειων φωτογραφιών γίνεται χρήση ειδικών οργάνων τα οποία πληρούν συγκεκριμένους περιορισμούς που ισχύουν για τις επίγειες λήψεις. Πιο συγκεκριμένα, για τη λήψη επίγειων φωτογραφιών χρησιμοποιούνται ειδικές μετρητικές φωτογραφικές μηχανές συνδυασμένες με διατάξεις για μετρήσεις γωνιακών στοιχείων. Κύριες εφαρμογές της μεθόδου: αρχιτεκτονική και αποτύπωση τεχνικών έργων¹¹⁹.

Αέρια φωτογραμμετρία: Αποτελεί την βασική πηγή δεδομένων με στόχο την δημιουργία χαρτών από φωτογραμμετρικά μέσα. Ως αεροφωτογραφία ,λοιπόν, ορίζεται μια φωτογραφία που έχει ληφθεί από κάποιο ύψος, δηλαδή η φωτογραφική μηχανή είναι τοποθετημένη πάνω σε μια πλατφόρμα αερομεταφοράς (π.χ δορυφόρος, αεροσκάφος, αερόστατο κ.α.). Η ποιότητα των αέριων φωτογραφιών επηρεάζεται από

¹¹⁸ Παυλίδης, Σεβελίδης και Χαραλαμπίδου, 2014, 55-57

¹¹⁹ Schenk, 2005, 41

πληθώρα παραγόντων όπως ο σχεδιασμός και η ποιότητα του συστήματος φακών, ο τρόπος κατασκευής της κάμερας, το φωτογραφικό υλικό, η διαδικασία λήψης των μετρήσεων και οι καιρικές συνθήκες¹²⁰.

Γενικά, οποιαδήποτε υποκατηγορία χρησιμοποιεί παρόμοιες μεθόδους καταγραφής και ανάλυσης οι οποίες είναι οι εξής¹²¹:

- Ισχυρά αναλογικά ή ψηφιακά συστήματα εγγραφής.
- Ελεύθερα επιλεγμένη διαμόρφωση απεικόνισης με τεράστιο αριθμό φωτογραφιών.
- Προσανατολισμός φωτογραφίας με βάση την τεχνική της δέσμης τριγωνισμού.
- Οπτική και ψηφιακή ανάλυση των εικόνων
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων με τη μορφή τρισδιάστατων αρχείων συντεταγμένων, δεδομένων CAD, φωτογραφιών ή σχέδια ζωγραφικής.

Η φωτογραμμετρία τώρα από την δημιουργία της σαν μέθοδο έως και σήμερα έχει πληθώρα εφαρμογών με κυρίαρχες τις εξής¹²²:

- Αυτοκινητοβιομηχανίες, μηχανές και ναυπηγικές βιομηχανίες: Κυρίως για τον έλεγχο της παραγωγής και την καταγραφή και ανάλυση δοκιμών ασφάλειας.
- Αεροδιαστημική βιομηχανία: κυρίως για μέτρηση παραβολικών κεραιών και προσομοιώσεις χώρου.
- Μηχανική: Κυρίως για μέτρηση μεγάλων χώρων πολιτικού μηχανικού, μετρήσεις παραμόρφωσης και μέτρηση σωληνώσεων και σήραγγας.
- Ιατρική και φυσιολογία: Κυρίως για μέτρηση δοντιών, παραμόρφωση σπονδυλικής στήλης και πλαστική χειρουργική.
- Εγκληματολογικές, συμπεριλαμβανομένου του αστυνομικού έργου: Κυρίως για την καταγραφή ατυχήματος, μέτρηση σκηνής εγκλήματος και μέτρηση προσώπων.
- Φυσικές επιστήμες: Κυρίως για μέτρηση ροής υγρού, τοπογραφία κυμάτων, και ανάπτυξη κρυστάλλων
- Αρχιτεκτονική, διατήρηση κληρονομιάς, αρχαιολογία: Αποτελεί την εφαρμογή για την οποία και αναλύεται στην παρούσα εργασία. Αφορά την μέτρηση πρόσοψης, τεκμηρίωση ιστορικού κτιρίου, μέτρηση παραμόρφωσης, ανακατασκευή κατεστραμμένων κτιρίων, χαρτογράφηση θέσεων ανασκαφών και τρισδιάστατα μοντέλα πόλης.

¹²⁰ Luhmann et al 2006, 13-14.

¹²¹ Luhmann et al 2006, 15

¹²² Stojaković, V, 2008, 114

Σε αυτό το σημείο ,λοιπόν, μιας και η εφαρμογή που μας ενδιαφέρει όσον αφορά την φωτογραμμετρία είναι η γεωμετρική τεκμηρίωσης ενός πολιτισμικού μνημείου θα αναφερθούν τα γενικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της φωτογραμμετρικής μεθόδου έναντι των παραδοσιακών μεθόδων. Αρχικά, είναι εμπειριστατωμένη καταγράφοντας ό,τι είναι ορατό είτε κρίνεται σημαντικό είτε όχι κάτι που θα κρίνει στην συνέχεια ο ερευνητής. Παράλληλα, έχει τεράστια ακρίβεια: η δυνατότητα για μετρικό έλεγχο υπερβαίνει κατά πολύ κάθε πρότυπο που μπορεί να διατηρηθεί. Ένα από τα πιο σημαντικά της πλεονεκτήματα προφανώς είναι πως είναι παθητική: δεν αγγίζει εύθραυστα χαρακτηριστικά, αλλοιώνοντας τα ούτε απαιτεί πρόσβαση σε αυτά. Συγχρόνως, ο δίσκος είναι ανθεκτικός: οι ασπρόμαυρες στερεοφωνικές εικόνες σε σύγχρονες ταινίες που έχουν υποστεί σωστή επεξεργασία και αποθήκευση είναι πραγματικής αρχαιακής μονιμότητας. Προφανώς, η εγγραφή είναι τρισδιάστατη: κάθε ορατό σημείο μπορεί να σχεδιαστεί σε τρισδιάστατη γραφική παράσταση και οι εικόνες μπορούν να προβληθούν απευθείας σε εντυπωσιακό στερεοφωνικό με ένα στερεοσκόπιο, εξαλείφοντας την τάση να υποθέσουμε ότι ακόμη και το πιο φιλελεύθερο ράντισμα επιπέδων σε ένα σχέδιο θα μόνο πολύ αφηρημένη θεραπεία. Το ακριβές περίγραμμα είναι το πιο φυσικό προϊόν ενός στερεοφωνικού πλότερ και τα τμήματα μπορούν να τραβηχτούν μέσω κυματοειδών επιφανειών σε οποιαδήποτε κατεύθυνση ή θέση μόνο από τα στερεοφωνικά ζεύγη. Τέλος, η φωτογραμμετρική καταγραφή επιτρέπει την γνήσια επανερμηνεία ενός αρχαιολογικού αρχείου σε μεταγενέστερη ημερομηνία, κάτι που είναι σχεδόν αδύνατο με συμβατικά, σχεδιασμένα αρχεία

Δυστυχώς όμως, η φωτογραμμετρική μέθοδος παρουσιάζει και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα, το πρώτο από τα οποία είναι το κόστος. Η φωτογραμμετρική καταγραφή είναι μια εξειδικευμένη εργασία που γίνεται από επαγγελματίες, που περιμένουν να πληρωθούν για την εργασία τους. Απαιτεί εξοπλισμό που είναι πολύ ακριβός από άποψη αρχαιολογικού προϋπολογισμού και που πρέπει να φροντιστεί πολύ προσεκτικά. Παράλληλα, ο χρόνος που απαιτείται για την εκπαίδευση ενός καλού χειριστή είναι αρκετά σημαντικός συγκριτικά με τα υπόλοιπες μεθόδους. Εν τέλει, ίσως το βασικότερο μειονέκτημα όμως είναι πως η φωτογραμμετρία καταγράφει μόνο ό,τι είναι ορατό ή, πιο συγκεκριμένα, δεν μπορεί να καταγράψει αυτό που δεν μπορεί να δει. Η οπτική κάλυψη λόγω εμποδίων μεταξύ της κάμερας και του θέματος μπορεί να δημιουργήσει δύσκολα ή ανυπέρβλητα προβλήματα. Θέματα με υψηλό περίγραμμα, όπως βαθιές κοιλότητες σε χαρακώματα, μπορεί να

έχουν περιοχές που δεν φαίνονται από τη μία ή και τις δύο θέσεις της κάμερας ενός στερεοφωνικού ζεύγους και, ως εκ τούτου, δεν θα εγγραφούν σωστά χωρίς συμπληρωματική φωτογραφία¹²³.

Στο τελείωμα της συγκεκριμένης υποενότητας θα αναφερθούν αναλυτικά οι κυριότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της συλλογής ψηφιακών δεδομένων μέσω της λήψης φωτογραφιών. Αυτές χωρίζονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες¹²⁴.

- Αποτύπωση μνημείων με μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (αεροφωτογράφιση-UAV)
- Αποτύπωση μνημείων μέσω επίγειας φωτογραμμετρίας.
- Αποτύπωση μέσω 3D ψηφιοποίησης.

Η τελευταία μέθοδος είναι αυτή που χρησιμοποιείται κατά κόρον και γι' αυτό θα αναλυθεί πιο διεξοδικά στις επιμέρους κατηγορίες της οι οποίες χρησιμοποιούνται για την γεωμετρική τεκμηρίωση ενός πολιτισμικού μνημείου .

Σχήμα από Σιλουέτες:

Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, ο αρχαιολόγος θα πρέπει να λάβει αρκετές φωτογραφίες του υπό παρατήρηση ευρήματος και από διαφορετικές οπτικές γωνίες (εικόνα 3.1). Ο αρχαιολόγος μπορεί να αποκτήσει τις γεωμετρικές πληροφορίες εξετάζοντας τη σιλουέτα του αντικειμένου. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της ταχείας τεχνολογικής προόδου, η γεωμετρική ακρίβεια αυτής της τεχνικής έχει βελτιωθεί, καθώς τώρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα της υφής. Επιπλέον, το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η αυτοματοποιημένη διαδικασία ψηφιοποίησης, ενώ το κύριο μειονέκτημα είναι η μικρή ακρίβεια των γεωμετρικών δεδομένων¹²⁵.

Μάλιστα η συμβατική μέθοδος Σχήμα-Από-Σιλουέτες προϋποθέτει σιλουέτες χωρίς λάθη και λειτουργεί με βάση τα παρακάτω βήματα, ενώ υπό τη μορφή διαγράμματος ροής αναπαριστάται στην εικόνα 3.2:

1. Καθορισμός των παραμέτρων του οπτικού συστήματος.

¹²³ Anderson, 1982, 200-205

¹²⁴ Παυλίδης, Σεβελίδης και Χαραλαμπίδου, 2014, 20

¹²⁵ Tosovicetal 2002, 109.

2. Απόκτηση φωτογραφιών.
3. Εξαγωγή σιλουετών.
4. Ανακατασκευή της 3D γεωμετρίας- μοντελοποίηση.

- Σχήμα από Δομημένο Φως:

Πρόκειται για μια σχετικά απλή μέθοδο, καθώς περιέχει τους τριγωνισμούς στον χώρο για την ανάκτηση πληροφορίας βάθους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ένα μοτίβο φωτός που προβάλλεται στο εύρημα από μια συγκεκριμένη οπτική γωνία για να ανακτηθεί η διάσταση του βάθους (εικόνα 3.3). Στη συνέχεια, για να πετύχει την τρισδιάστατη αναπαράσταση, εφαρμόζονται προβολές από φωτεινά μοτίβα, τα οποία μπορεί να είναι πλέγματα, ελλείψεις ή χρωματικά κωδικοποιημένα μοτίβα. Η χρωματική κωδικοποίηση έχει κρίσιμη σημασία, διότι επιτρέπει στον σαρωτή να εντοπίζει πιο αποτελεσματικά τις μεταβολές του μοτίβου όταν αυτό προβάλλεται στην επιφάνεια του αντικειμένου. Η κωδικοποίηση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους, με την πιο συνηθισμένη να βασίζεται στη μεταβλητή πυκνότητα των σχημάτων που φέρει το μοτίβο. Συνοψίζοντας, η τεχνική αυτή επιτρέπει τη σύγκριση των αντιστοιχιών μεταξύ των θέσεων των εικονοστοιχείων που καταγράφει ο σαρωτής και των αρχικών σημείων του μοτίβου, επιτρέποντας τον υπολογισμό όλων των αποκλίσεων στα αντίστοιχα σημεία και την ανάκτηση της τρίτης διάστασης του αντικειμένου¹²⁶.

- Σχήμα από Στερεοσκοπική Φωτογράφιση (Στερεοφωτογράφιση):

Στα πλαίσια της μεθόδου αυτής, η οποία είναι γνωστή και ως στερεοφωτογράφιση, χρησιμοποιούνται αφενός οι αρχές λειτουργίας της στερεοφωτογραμμετρίας και αφετέρου οι τεχνικές στερεοσκοπίας, ούτως ώστε να ανακτηθούν δεδομένα της γεωμετρίας του αντικειμένου, μέσω ενός ζεύγους φωτογραφιών (εικόνα 3.4). Στη στερεοφωτογραμμετρία, μπορούμε να υπολογίσουμε τις τρισδιάστατες συντεταγμένες μιας επιφάνειας αντικειμένου από δύο φωτογραφίες που λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του φωτογραμμετρικού τριγωνισμού. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι δύο κάμερες που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των πληροφοριών πρέπει να

¹²⁶ Παυλίδης κ.α. 2014, 35- 36.

βρίσκονται σε σχεδόν παράλληλες θέσεις μεταξύ τους και να είναι περίπου κάθετες προς την επιφάνεια του αντικειμένου που μελετούμε. Αυτό εξασφαλίζει την αξιοπιστία των δεδομένων που αποκτώνται και επιτρέπει την ακριβή ανακατασκευή της τρισδιάστατης δομής του αντικειμένου¹²⁷.

Η τεχνική παρουσιάζει δύο κυρίαρχα πλεονεκτήματα. Πρώτον ανήκει στην κατηγορία των παθητικών τεχνικών τρισδιάστατης απεικόνισης, ενώ, δεύτερον, βασίζεται σε οικονομικό εξοπλισμό, περιορίζοντας την απαραίτητη χρήση μόνο δύο ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών.

Ωστόσο, παρουσιάζει και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Κατά πρώτον, το βάθος υπολογίζεται μόνο για σημεία που περιέχουν αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά, περιορίζοντας την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Κατά δεύτερον, οι χάρτες βάθους περιέχουν συχνά θόρυβο, καθώς η ποικιλία των πληροφοριών των φωτογραφιών καθιστά τη διαδικασία αντιστοίχισης πολύ δύσκολη και επιρρεπή σε σφάλματα.

- Σχήμα από Κίνηση - Σχήμα από ακολουθία εικόνων.

Η μέθοδος αυτή θεωρείται μια αυτοματοποιημένη παραλλαγή του Σχήμα-Από-- Στερεοφωτογράφιση. Αντί για δύο κάμερες, μία μόνο κάμερα καταγράφει το αντικείμενο από διάφορες γωνίες. Η μέθοδος χρησιμοποιεί αλγόριθμους παρόμοιους με αυτούς της Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφισης, αλλά επηρεάζεται επίσης από τον θόρυβο που βρίσκεται στην ακολουθία εικόνας. Τέλος, το πρόβλημα της αντιστοίχισης κοινών σημείων μεταξύ των εικόνων αντιμετωπίζει και η Σχήμα-Από-- Κίνηση, όπως ήταν αναμενόμενο. Επιπλέον, ο χάρτης βάθους είναι αποτελεσματικός μόνο για τα ορατά μέρη του αντικειμένου στον φακό της κάμερας¹²⁹ (εικόνα 3.5).

Βάσει των προηγούμενων πληροφοριών, μπορούμε να συνοψίσουμε ότι οι τεχνικές συλλογής ψηφιακών δεδομένων μέσω της φωτογραμμετρικής μεθόδου παρουσιάζουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής κάθε φορά εξαρτάται από το ίδιο το αντικείμενο, τα υλικά κατασκευής του, τα στοιχεία του χώρου αλλά και το ποια δεδομένα πρέπει να συλλεχθούν για την κατασκευή του μοντέλου. Επιπλέον, άλλοι παράγοντες που

¹²⁷ Τζανάκης και Βασιλάκης 2014, 881.

¹²⁹ Τζανάκης και Βασιλάκης 2014, 882.

επηρεάζουν την επιλογή είναι ο υπάρχον εξοπλισμός, ο διαθέσιμος χρόνος και οι προτιμήσεις του χειριστή.

-Σχήμα από φωτοσκίαση

Είναι γεγονός πως η φωτοσκίαση διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην αντίληψη του βάθους. Έχει γίνει προσπάθεια από πληθώρα επιστημόνων να εξομοιώσουν τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου συστήματος όρασης για να ανακτήσουν το βάθος με τη βοήθεια των φωτοσκιάσεων. Η αξία του καθορισμού του βάθους με την συγκεκριμένη τεχνική έχει μεγάλη αξία μιας και απαιτεί μία μόνο οπτική γωνία λήψης, ενώ προφανώς για την πλήρη αποτύπωση του αντικειμένου υπάρχει ανάγκη για περισσότερες. Η τεχνική κατηγοριοποιείται σε τέσσερις ομάδες με την κατηγοριοποίηση να βασίζεται στις εννοιολογικές διαφορές που παρουσιάζει η κάθε αλγοριθμική προσέγγιση της βασικής ιδέας.:

- τεχνικές ελαχιστοποίησης,
- τεχνικές περιοχής
- τεχνικές μετάδοσης,
- γραμμικές τεχνικές.

Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι ελαχιστοποίησης καταλήγουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα μέσω της εφαρμογής μίας συνάρτησης ενέργειας, ενώ οι τεχνικές περιοχής παράγουν το βάθος μέσω συγκεκριμένων υποθέσεων που αφορούν τον τύπο της επιφάνειας. Από την άλλη, τεχνικές μετάδοσης μελετούν τη μετάδοση της πληροφορίας των σχημάτων από ένα σύνολο σημείων τα οποία είναι πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Μαθηματικοί χάρτες αντανάκλασης χρησιμοποιούνται ευρέως στις γραμμικές μεθόδους υπολογισμού για τη λύση του προβλήματος.

Στις περισσότερες τεχνικές γίνεται η υπόθεση πως η πηγή φωτός ακολουθεί μια γνωστή και συγκεκριμένη πορεία κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία πολύ συγκεκριμένων ανακλάσεων. Βασικό χαρακτηριστικό των αλγορίθμων ,ωστόσο, αποτελεί το γεγονός πως είναι σχεδόν αδύνατη η ανάκτηση πληροφορίας από σκιασμένες περιοχές, μιας και δεν προσφέρεται από αυτές αρκετή έντασης χρωματική πληροφορία. Παρά την μεγάλη τεχνολογική αξία της μεθόδου ,λοιπόν, υπάρχουν αρκετές ερευνητικές προκλήσεις για μελλοντική μελέτη και έρευνα της εν λόγω τεχνικής. Αναλυτικότερα τα χρησιμοποιούμενα μαθηματικά μοντέλα ανάκλασης φωτός είναι απλοϊκά, ενώ έχουν προταθεί καινούργια, πιο σύνθετα τα οποία χρήζουν μελέτης. Έτσι, καθίσταται κατανοητό πως είναι σύνηθες φαινόμενο ο

συνδυασμός της συγκεκριμένης τεχνικής με κάποια άλλη τεχνική, ώστε να επιτευχθεί το συνταίριασμα των πλεονεκτημάτων τους που θα οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα¹³⁰.

-Σχήμα από σκιά

Η μέθοδος Σχήμα-Από-Σκιά είναι μία από τις παθητικές μεθοδολογίες ανακατασκευής τρισδιάστατων επιφανειών. Η βασική αρχή της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου μέσω περαιτέρω μελέτης της πληροφορίας που περιέχεται στη διάχυση της σκιάς που προκαλείται από το ίδιο το αντικείμενο. Αυτή η διάχυση προκύπτει κατά τον φωτισμό του αντικειμένου από μια κινούμενη πηγή φωτός. Στη συνέχεια, η μέθοδος αξιοποιεί αυτήν την πληροφορία για να δημιουργήσει μια τρισδιάστατη αναπαράσταση του αντικειμένου που μελετάμε (εικόνα 3.6).

Μέσω προσεκτικής παρατήρησης των μεταβολών των σκιών, είναι εύκολος λοιπόν ο προσδιορισμός της γεωμετρίας της επιφάνειας του αντικειμένου.

Η βασική αρχή της μεθόδου είναι αρκετά απλή μιας και βασίζεται σε ένα απλοποιημένο σύστημα, κατά το οποίο η πηγή φωτός μετακινείται και τότε η φωτογραφική μηχανή καταγράφει τις μεταβολές που υφίστανται οι σκιές πάνω στις επιφάνειες του αντικειμένου. Το μικρό κόστος του τεχνολογικού εξοπλισμού αποτελεί το βασικότερο πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου μιας υπάρχει απαίτηση μόνο μιας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και μιας τυπικής πηγής φωτός η οποία δύναται να δημιουργήσει έντονες σκιές. Βέβαια, μεγαλύτερη αξία της δίνει και η χαμηλή απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς. Παράλληλα, έχει αποδειχθεί η δυνατότητα της μεθόδου για ανακατασκευή περιοχών της επιφάνειας του αντικειμένου, οι οποίες δεν φαίνονται στην ψηφιακή φωτογραφική μηχανή. Τέλος, η μεγαλύτερη δυσκολία της παρούσας τεχνικής είναι η αυτόματη αναγνώριση των σκιών μέσα στις φωτογραφίες¹³¹.

Τέλος, πραγματοποιώντας μια σύνοψη της βιβλιογραφίας που προαναφέρθηκε η φωτογραμμετρία αναγνωρίζεται ως μια σύγχρονη και αποτελεσματική μέθοδος γεωμετρικής τεκμηρίωσης, η οποία είναι πολύ επιθυμητή από τους αρχαιολόγους. Αυτό συμβαίνει επειδή παρέχει τη δυνατότητα συλλογής και επεξεργασίας ψηφιακών δεδομένων, οδηγώντας σε αξιόπιστα και έγκυρα αποτελέσματα.

¹³⁰ Παυλίδης, Σεβελίδης και Χαραλαμπίδου, 2014, 41

¹³¹ Παυλίδης, Σεβελίδης και Χαραλαμπίδου 2014, 47

3.2 Σαρώσεις Laser

Οι επίγειοι σαρωτές laser, κατατάσσονται σε τρεις βασικές ομάδες, ανάλογα με την τεχνική, που χρησιμοποιούν για τη μέτρηση των αποστάσεων: Pulse, Phase sift και triangulation¹³². Οι διαφορές και ομοιότητες δε θα συζητηθούν εκτενώς εδώ, αλλά θα πρέπει να επισημάνουμε ότι εν γένει οι σαρωτές αυτοί χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για τη γεωγραφική τεκμηρίωση μνημείων. Η τρισδιάστατη σάρωση λέιζερ έχει αναδειχθεί ως ένα μετασχηματιστικό εργαλείο στην αρχαιολογία, φέρνοντας επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι ερευνητές τεκμηριώνουν, αναλύουν και οπτικοποιούν αρχαιολογικούς χώρους και αντικείμενα. Η μη επεμβατική φύση, η ακρίβεια και η ικανότητά του να δημιουργεί εμπειρίες που καθελώνουν έχουν αλλάξει ριζικά τις παραδοσιακές αρχαιολογικές μεθοδολογίες. Ενώ υπάρχουν προκλήσεις, οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία και τις μεθοδολογίες αναμένεται να μετριάσουν αυτούς τους περιορισμούς, ανοίγοντας το δρόμο για ακόμη μεγαλύτερη ενσωμάτωση της σάρωσης 3D λέιζερ στην αρχαιολογική έρευνα. Καθώς το πεδίο συνεχίζει να εξελίσσεται, η συνέργεια μεταξύ αρχαιολογίας και τεχνολογίας υπόσχεται να αποκαλύψει νέες διαστάσεις της κοινής μας ανθρώπινης κληρονομιάς¹³³.

Επιπλέον, λόγω της ταχείας εξέλιξης των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ τις τελευταίες δεκαετίες, έχει σημειωθεί σημαντική βελτίωση στην απεικόνιση αρχαιολογικών χώρων και αντικειμένων. Αυτή η πρόοδος ωφελεί ιδιαίτερα τη γεωμετρική καταγραφή. Στη σύγχρονη εποχή, είναι εφικτή η μέτρηση τρισδιάστατου χώρου και αντικειμένων, ανεξάρτητα από τις διαστάσεις και τις μορφές τους. Αυτή η ικανότητα επιτρέπει τη σχολαστική σύλληψη σημείων δεδομένων που σχηματίζουν μια πυκνή και περίπλοκη συλλογή γνωστή ως "νέφος σημείων", ακριβώς ευθυγραμμισμένη με τη σαρωμένη επιφάνεια. Αυτό το προκύπτον νέφος σημείων είναι η ακατέργαστη πληροφορία, στη συνέχεια ανοιχτή σε κατάλληλη επεξεργασία προκειμένου να δημιουργηθεί μια πιστή αναπαράσταση του σαρωμένου αντικειμένου.¹³⁴

Χρήσιμο είναι, στο σημείο αυτό, να περιγραφεί εν συντομία η διαδικασία που ακολουθείται κατά την σάρωση με laser. Η σάρωση με λέιζερ είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί το φως λέιζερ για τη λήψη λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με το

¹³² Συμεωνίδης 2007, 9.

¹³³ Συμεωνίδης 2007, 7-8.

¹³⁴ Benli and Ozer 2015, 447.

σχήμα, το μέγεθος και τα χωρικά χαρακτηριστικά αντικειμένων και περιβαλλόντων. Στο πλαίσιο της τρισδιάστατης σάρωσης με λέιζερ, ο στόχος είναι να δημιουργηθούν ακριβείς και ολοκληρωμένες τρισδιάστατες αναπαραστάσεις φυσικών αντικειμένων ή χώρων. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει πολλά βασικά στοιχεία και βήματα:

1. Εκπομπή λέιζερ: Ο σαρωτής λέιζερ εκπέμπει σύντομους παλμούς φωτός λέιζερ προς το αντικείμενο ή την επιφάνεια στόχο. Το λέιζερ εκπέμπει φως με τη μορφή δέσμης, η οποία μπορεί να παλμωθεί γρήγορα για να μετρήσει αποστάσεις με μεγάλη ακρίβεια.
2. Αλληλεπίδραση στόχου: Όταν το φως λέιζερ χτυπά μια επιφάνεια, αλληλεπιδρά με το υλικό. Το φως αντανακλάται πίσω προς το σαρωτή. Μετράται ο χρόνος που απαιτείται για να ταξιδέψει το φως λέιζερ στο αντικείμενο και να επιστρέψει στο σαρωτή. Αυτή η μέτρηση χρόνου παρέχει πληροφορίες σχετικά με την απόσταση μεταξύ του σαρωτή και της επιφάνειας του αντικειμένου.
3. Υπολογισμός χρόνου: Γνωρίζοντας την ταχύτητα του φωτός και το χρόνο που χρειάστηκε για να ταξιδέψει το φως λέιζερ προς το αντικείμενο και πίσω, ο σαρωτής μπορεί να υπολογίσει την απόσταση από την επιφάνεια του αντικειμένου με αξιοσημείωτη ακρίβεια. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται συχνά ως μέτρηση «χρόνου πτήσης».
4. Γωνιακή μέτρηση: Για να δημιουργήσετε ένα ολοκληρωμένο τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου ή του περιβάλλοντος, ο σαρωτής καταγράφει πολλαπλές μετρήσεις από διαφορετικές γωνίες. Ο σαρωτής είναι συνήθως τοποθετημένος σε τρίποδο ή πλατφόρμα που μπορεί να περιστρέφεται και να γέρνει. Λαμβάνοντας μετρήσεις από διαφορετικές θέσεις, ο σαρωτής μπορεί να δημιουργήσει ένα νέφος σημείων—μια συλλογή τρισδιάστατων συντεταγμένων (X, Y, Z) που αντιπροσωπεύουν την επιφάνεια του αντικειμένου.
5. Point Cloud Generation: Καθώς ο σαρωτής καταγράφει μετρήσεις λέιζερ από διαφορετικές γωνίες, συγκεντρώνει αυτές τις μετρήσεις σε ένα νέφος σημείων. Ένα νέφος σημείων είναι ουσιαστικά ένα πυκνό σύνολο μεμονωμένων σημείων στον τρισδιάστατο χώρο, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη θέση στην επιφάνεια του αντικειμένου. Το νέφος σημείων αντιπροσωπεύει τα "ακατέργαστα" δεδομένα που λαμβάνονται από τη διαδικασία σάρωσης με λέιζερ.

6. Επεξεργασία Δεδομένων: Στη συνέχεια, τα δεδομένα του νέφους σημείου γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό. Ο θόρυβος και οι ανακρίβειες στα δεδομένα καθαρίζονται και τα μεμονωμένα σημεία οργανώνονται για να σχηματίσουν ένα συνεκτικό τρισδιάστατο μοντέλο. Χρησιμοποιούνται προηγμένοι αλγόριθμοι για την ευθυγράμμιση των πολλαπλών σαρώσεων από διαφορετικές γωνίες και τη συγχώνευσή τους σε ένα ενιαίο, ενοποιημένο μοντέλο.
7. Οπτικοποίηση και ανάλυση: Μόλις τα δεδομένα του νέφους σημείου υποβληθούν σε επεξεργασία και μετατραπούν σε τρισδιάστατο μοντέλο, μπορούν να οπτικοποιηθούν και να αναλυθούν χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία λογισμικού. Οι ερευνητές μπορούν να χειριστούν το ψηφιακό μοντέλο, να λάβουν μετρήσεις, να εξαγάγουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ακόμη και να εφαρμόσουν υφές και χρώματα για να βελτιώσουν την οπτική αναπαράσταση.
8. Πρόσθετες βελτιώσεις: Ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή, μπορούν να γίνουν περαιτέρω βελτιώσεις στο τρισδιάστατο μοντέλο. Αυτό περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση υφής, όπου οι φωτογραφίες της επιφάνειας του αντικειμένου επικαλύπτονται στο μοντέλο, με αποτέλεσμα μια φωτορεαλιστική αναπαράσταση.

Η συνένωση των νεφών σημείων που αναφέρθηκαν μπορούν να γίνουν με τρεις μεθόδους: με τη χρήση ομόλογων σημείων, με τη χρήση ειδικών στόχων, με γεωαναφορά. Πιο συγκεκριμένα:

- Με χρήση ομόλογων σημείων: Όταν χρησιμοποιούμε αυτή τη μέθοδο, οι σαρώσεις με επικάλυψη μεταξύ τους κατ' ελάχιστον 30% ενώνονται μεταξύ τους με αξιοποίηση τριών σημείων που αντιστοιχούν μεταξύ των δύο νεφών. Τα σημεία επιλέγονται όταν πραγματοποιείται η επεξεργασία των δεδομένων και όχι κατά τη διάρκεια της σάρωσης, ενώ είναι καλό να είναι ευδιάκριτα, να μην ανήκουν στην ίδια ευθεία και να παρουσιάζουν ομοιόμορφη κατανομή στην επιφάνεια που υπάρχει η επικάλυψη. Αφού επιλεχθούν τα σημεία, δημιουργείται το cloud constraint, με άλλα λόγια, ένας περιορισμός ανάμεσα στις δύο σαρώσεις, ενώ προσδιορίζεται και η βέλτιστη ευθυγράμμιση των νεφών μεταξύ τους.
- Με χρήση ειδικών στόχων: Οι στόχοι που αξιοποιούνται για αυτή τη μέθοδο παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ανακλαστικότητας και αναγνωρίζονται εύκολα

από το πρόγραμμα του σαρωτή. Η τοποθέτηση των στόχων γίνεται στην επιφάνεια που επικαλύπτεται ανάμεσα στις σαρώσεις. Η τοποθέτηση πρέπει να γίνεται ομοιόμορφα, να καλύπτονται και οι τρεις διαστάσεις και να μην τοποθετούνται οι στόχοι στην ίδια ευθεία. Η χρήση των στόχων μπορεί να γίνει και μετά, στη διάρκεια της επεξεργασίας των σαρώσεων, όπου αξιοποιούνται ως σημεία σύνδεσης για να ενωθούν οι σαρώσεις μεταξύ τους. Κάθε νέφος συνδέεται με το νέφος σημείων που έχει οριστεί να μενει σταθερό πραγματοποιώντας μετακίνηση και στροφή ως προς τους τρεις άξονες, έτσι ώστε να παράγεται ένα τρισδιάστατο αποτέλεσμα.

- Με γεωαναφορά: Η γεωαναφορά χρησιμοποιεί και αυτή ειδικούς στόχους στα πεδία αποτύπωσης. Οι στόχοι αυτοί λαμβάνουν πραγματικές συντεταγμένες σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, οι οποίοι προσδιορίζονται μέσω της γεωδαισίας. Η διαδικασία της επικάλυψης και συνένωσης ακολουθεί το προηγούμενο παράδειγμα, αλλά τώρα το μοντέλο βρίσκεται και τοποθετημένο με συντεταγμένες σε ένα σύστημα αναφοράς.

Μετά την προκαταρκτική φάση επεξεργασίας, το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τη διαμόρφωση του τελικού προκύπτοντος υλικού. Αυτή η διαδικασία θα εξεταστεί σε μεγαλύτερο βάθος στην επόμενη υποενότητα. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί η δημιουργία είτε ενός τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας είτε δισδιάστατων σχεδίων του σαρωμένου αντικειμένου, ανάλογα με τις απαιτήσεις για τη λήψη και την απεικόνιση του αντικειμένου.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η γεωμετρική τεκμηρίωση μέσω σαρώσεων λέιζερ, είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι σε αντίθεση με τους γεωδαιτικούς σταθμούς, που απαιτούν τη χειροκίνητη επιλογή μεμονωμένων σημείων μέτρησης, οι σαρωτές λέιζερ ανακτούν μια πυκνή σειρά σημείων με τυχαιοποιημένο τρόπο εντός ενός συγκεκριμένου εύρους. Αυτή η δυνατότητα χρησιμεύει τόσο στον μετριασμό της πιθανότητας ανθρώπινου λάθους όσο και στη μείωση του φόρτου εργασίας του χειριστή. Επιπλέον, είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι η χρήση αυτής της συγκεκριμένης τεχνικής τεκμηρίωσης επιτρέπει την έμμεση εγγραφή γεωμετρικών σχημάτων υψηλής ανάλυσης, ακριβείας, με τιμές χρώματος RGB.^{135, 136.}

¹³⁵ Συμεωνίδης 2007, 33- 42.

¹³⁶ Benli and Ozer 2015, 447- 448. Το πρότυπο πήρε το όνομά του και τη συντομογραφία RGB από τις τρεις βασικές αποχρώσεις, δηλαδή το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε.

Τέλος, είναι επιτακτική ανάγκη να τονιστεί η σημασία της ακρίβειας της τεχνικής σάρωσης με λέιζερ, καθώς διαμορφώνει θεμελιωδώς την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Συγκεκριμένα, το επίπεδο ακρίβειας στην έξοδο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη γωνία με την οποία η δέσμη λέιζερ αλληλεπιδρά με την επιφάνεια του αντικειμένου. Κατά την εξέταση των παραγόντων που επηρεάζουν τη δέσμη λέιζερ και, κατά συνέπεια, την ακρίβεια της εξόδου, εμφανίζονται διάφορες πτυχές: η μέθοδος και η ταχύτητα σάρωσης, η απόσταση μεταξύ του σαρωτή και του αντικειμένου, οι ανακλαστικές ιδιότητες των επιφανειών, το μέγεθος του η κουκκίδα λέιζερ, το υλικό πάνω στο οποίο προσγειώνεται η δέσμη λέιζερ, η πυκνότητα και η παρεμβολή στα δεδομένα σάρωσης, καθώς και οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες. Με μια ευρεία έννοια, μπορεί να δηλωθεί ότι οι μικρότερες αποστάσεις και οι πιο οξείες γωνίες πρόσπτωσης τείνουν να έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερη ακρίβεια στα δεδομένα που συλλέγονται. Επιπλέον, για να επιτευχθεί ο στόχος της ακρίβειας, συνιστάται η χρήση μιας διαδικασίας σάρωσης με υψηλότερη σημειακή πυκνότητα.¹³⁷

3.3 Γεωδαισία

Η γεωδαισία χαρακτηρίζεται ως το επιστημονικό πεδίο που εστιάζει πρωτίστως στον προσδιορισμό των διαστάσεων και της διαμόρφωσης της φυσικής επιφάνειας της Γης, συμπεριλαμβανομένου του βαρυτικού πεδίου της, και στην παρακολούθηση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι πτυχές εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Συγκεκριμένα, η γεωδαισία αποτελεί μια από τις αρχαιότερες επιστήμες, διατηρώντας τη σημασία της σε διάφορες ανθρώπινες προσπάθειες, ιδίως στη δημιουργία χωρικών και γεωμετρικών δεδομένων. Επιπλέον, χρησιμεύει ως πολύτιμη πηγή για πολλούς επιστημονικούς τομείς, μεταξύ των οποίων και η αρχαιολογία.

Στο πλαίσιο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των μνημείων, η γεωδαισία λειτουργεί ως τεχνική και συστηματική προσέγγιση. Αυτή η διαδικασία ακολουθεί διακριτά στάδια και διαδικασίες, οι οποίες θα εισαχθούν συνοπτικά στις επόμενες ενότητες¹³⁸.

Πιο συγκεκριμένα, τα αρχικά βήματα περιλαμβάνουν ταυτοποίηση τόσο του μνημείου όσο και της γύρω περιοχής. Αυτή η εργασία είναι σημαντική καθώς επιτρέπει την καταγραφή των διακριτών χαρακτηριστικών της περιοχής. Αυτή η

¹³⁷ Συμεωνίδης 2007, 23- 27.

¹³⁸ Γεωργόπουλος κ.α. 2011, 1.

διαδικασία αναγνώρισης μπορεί να επιτευχθεί μέσω σχολαστικής παρατήρησης και λήψης σημειώσεων ή εναλλακτικά με χρήση φωτογραφιών, αεροφωτογραφιών ή χαρτών για να βοηθήσει στη συλλογή σχετικών δεδομένων. Αντλώντας πληροφορίες από αυτή τη φάση αναγνώρισης, οι ειδικοί μπορούν να συναγάγουν τις κατάλληλες μεθόδους, τον εξοπλισμό, το χρονοδιάγραμμα του έργου και το σχετικό κόστος, μαζί με οποιεσδήποτε άλλες προϋποθέσεις.

Προχωρώντας στην επόμενη φάση, χρειάζεται να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο. Αυτό το δίκτυο χρησιμεύει ως η θεμελιώδης υποδομή για την ακριβή χαρτογράφηση συγκεκριμένων σημείων λεπτομέρειας. Αυτό το δίκτυο είναι συνήθως μικρό, εντοπισμένο και εγκατεστημένο αυθαίρετα. Μόνο όταν το μνημείο συνδεθεί με άλλες κατασκευές θα ενσωματωθεί σε ένα ευρύτερο σύστημα αναφοράς. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σήμανση των κορυφών του δικτύου περιλαμβάνει τη χρήση συγκολλητικών στόχων ή μόνιμων δεικτών. Φυσικά ορόσημα όπως γωνίες αρμών ή διακριτικά χαρακτηριστικά μπορούν επίσης να εξυπηρετήσουν αυτόν τον σκοπό. Η τοποθέτηση αυτών των δεικτών εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος, την προσβασιμότητα και τις συνθήκες ορατότητας του μνημείου. Συχνά, ένας οδηγός βοηθά στη διατήρηση της ακρίβειας κατά τη διαδικασία σήμανσης, ειδικά για τη διασφάλιση γραμμικής και γωνιακής ακρίβειας.

Στη συνέχεια, πρέπει να δημιουργηθούν αυτοσχέδια σκίτσα πεδίου, γνωστά και ως κροκί/σκαριφήματα. Αυτό το βήμα έχει ιδιαίτερη σημασία για την τεκμηρίωση της γεωμετρίας του μνημείου. Αυτά τα σκίτσα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην εργασία του γραφείου του επιθεωρητή, λειτουργώντας ως συμπυκνωμένη αναπαράσταση της χωρικής διάταξης, περίπλοκων σημείων λεπτομερειών και κυρίως αρχιτεκτονικών πληροφοριών. Τέτοια σκίτσα απλοποιούν ουσιαστικά τη ροή εργασιών του επιθεωρητή, εξοικονομώντας χρόνο και μειώνοντας την ανάγκη για συμπληρωματικές εργασίες. Επιπλέον, αυτά τα σκίτσα θα πρέπει να είναι διαυγή, ευδιάκριτα και να διατηρούν μια συνεκτική ροή.

Προχωρώντας στην επόμενη φάση, πραγματοποιείται σχολαστική καταγραφή των περίπλοκων λεπτομερειών του μνημείου, που περιλαμβάνει τόσο οριζόντιες τομές (κάτοψη) όσο και κάθετες τομές (όψεις). Μια κρίσιμη πτυχή εδώ είναι η σαφής διαφοροποίηση των σημείων που μετρώνται για να αποφευχθεί η σύγχυση κατά τη διαδικασία δημιουργίας του διαγράμματος. Για να επιτευχθεί αυτός ο διαχωρισμός, μια κοινή πρακτική είναι η αντιστοίχιση αριθμητικών ετικετών και ταξινομήσεων με βάση το σχετικό τμήμα ή επιφάνεια που αφορούν.

Για την καταγραφή αυτών των λεπτομερειών, χρησιμοποιούνται συνήθως διάφορες μέθοδοι:

- Η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων,
- Η μέθοδος της εμπροσθοτομίας, και
- Σύγχρονα όργανα τοπογραφίας επιφανειών εξοπλισμένα με δυνατότητες σάρωσης ή κατάλληλο γεωδαιτικό σταθμό.

Μετά τη μέτρηση, τα συγκεντρωμένα σημεία δεδομένων υποβάλλονται σε επεξεργασία με χρήση κατάλληλου λογισμικού. Αυτό περιλαμβάνει τον υπολογισμό και την κατηγοριοποίηση των συντεταγμένων x , y , z όλων των σημείων εντός του επιλεγμένου συστήματος αναφοράς, ενώ γίνεται διάκριση μεταξύ κάθετων και οριζόντιων τμημάτων. Συγκεκριμένα, τα σημεία που ανήκουν σε κάθετες τομές (όψεις) θα πρέπει πρώτα να μετασχηματιστούν. Αυτός ο μετασχηματισμός συνεπάγεται τον επανυπολογισμό των συντεταγμένων τους σε ένα νέο σύστημα αναφοράς, όπου ο ένας άξονας ευθυγραμμίζεται με το ίχνος της τομής μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου και του οριζόντιου επιπέδου του αρχικού συστήματος αναφοράς. Ο άλλος άξονας είναι κάθετος και κατευθύνεται προς τα πάνω, με την αρχή αυτού του νέου συστήματος να βρίσκεται στο επίπεδο της κατακόρυφης τομής.

Στη συνέχεια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, δημιουργούνται ψηφιακά διαγράμματα που περιλαμβάνουν συνολικές οριζόντιες κατόψεις και κάθετες τομές (όψεις). Αυτά τα διαγράμματα δημιουργούνται χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό σχεδιασμού, επιτρέποντας στους επιθεωρητές να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τα δεδομένα μετρήσεων που αποκτώνται από το πεδίο.

Το τελευταίο βήμα περιλαμβάνει έναν σχολαστικό έλεγχο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, ακολουθώντας μια δομημένη προσέγγιση. Αρχικά, διενεργείται επιτόπιος έλεγχος για τη διόρθωση τυχόν σφαλμάτων και τη διενέργεια συμπληρωματικών μετρήσεων εάν απαιτείται. Επιπρόσθετα, τοπογραφικές μετρήσεις ή επαναμετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση γεωδαιτικών οργάνων εάν εντοπιστούν διαφορές μεταξύ του πραγματικού μνημείου και του παραγόμενου σχεδίου από τον επιθεωρητή.

Περαιτέρω έλεγχος περιλαμβάνει την επαλήθευση της συνοχής των διαστάσεων για δομικά στοιχεία που εμφανίζονται τόσο στα σχέδια οριζόντιων τομών όσο και στις αντίστοιχες αναπαραστάσεις τους σε σχέδια κατακόρυφης τομής (ύψωση). Για τη διευκόλυνση αυτής της επαλήθευσης, χρησιμοποιούνται ψηφιακά εργαλεία. Συγκεκριμένα, η σχετική τομή από την οριζόντια κάτοψη παρατίθεται κάτω

από την αντίστοιχη τομή από την κατακόρυφη όψη, σωστά προσανατολισμένη και ευθυγραμμισμένη για γεωμετρική σύγκριση. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται ομοίως μεταξύ των διαφόρων κάθετων τομών (όψεις) που απεικονίζουν τα ίδια δομικά στοιχεία. Ουσιαστικά, τα τμήματα τοποθετούνται δίπλα-δίπλα, επιτρέποντας την ενδελεχή εκτίμηση των υψομετρικών θέσεων των αντίστοιχων σημείων¹³⁹.

3.4 Σύνοψη παρουσίαση των παραγώγων της γεωμετρικής τεκμηρίωσης.

Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, οι ανάγκες για την αποτύπωση και απόδοση του εκάστοτε σαρωμένου αντικειμένου μπορούν να ικανοποιηθούν μέσα από τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων επιφανείας ή και δισδιάστατων σχεδίων. Τόσο τα δισδιάστατα όσο και τα τρισδιάστατα μοντέλα που σχεδιάζονται έχουν πολλές εφαρμογές για λόγους τεκμηρίωσης της κατάστασης του μνημείου, στα πλαίσια της αρχαιολογίας αλλά και της αρχιτεκτονικής. Παράλληλα, μπορούν να βοηθήσουν ως δεδομένα υποστηρικτικού υλικού για στατιστικές, γεωτεχνικές, χωροταξικές και πολεοδομικές μελέτες, καθώς και για τη διαδικασία αποκατάστασης και ανάδειξης των μνημείων¹⁴⁰. Στη συνέχεια, γίνεται μια συνοπτική ανασκόπηση των τρισδιάστατων μοντέλων και δισδιάστατων σχεδίων στα πλαίσια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης.

3.4.1 2Dσχέδια με γραμμές ή ορθοφωτογραφίες

Οι δισδιάστατες αναπαραστάσεις στη γεωμετρική τεκμηρίωση περιλαμβάνουν σκαριφήματα, αρχιτεκτονικά-τοπογραφικά σχέδια, φωτογραμμετρικές εικόνες, μειωμένες φωτογραφίες και ορθοφωτογραφίες. Για να αναλυθούν περαιτέρω τα συγκεκριμένα είδη σχεδίων:

- Σκαρίφημα μέτρησης: Πρόκειται για απλές αποδόσεις με σχετικά χαμηλότερη μετρητική αξία, αλλά έχουν σημαντική σημασία για την ακριβή κατανόηση του μνημείου. Θεωρούνται ουσιαστικά το βασικό θεμέλιο, επιτρέποντας στον ερευνητή να σημειώνει μετρήσεις και χαρακτηριστικά σημεία που συγκεντρώνονται μέσω τοπογραφικών μεθόδων.

¹³⁹ Λάμπρου και Πανταζής 2010, 147- 160.

¹⁴⁰ Συμεωνίδης 2007, 42.

- Αρχιτεκτονικά-Τοπογραφικά Σχέδια: Αυτά τα γραμμικά σχέδια μέτρησης περιλαμβάνουν σχέδια, όψεις, τομές και τοπογραφικές αναπαραστάσεις. Αποτελούν κλασικά προϊόντα παραγωγής και θεωρούνται ως εξαιρετικά απαραίτητα υλικά τεκμηρίωσης.
- Φωτογραμμετρικές εικόνες: Αυτά τα προϊόντα φωτογραμμετρίας περιέχουν ουσιαστικές ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες. Με την κατάλληλη επεξεργασία, μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία τόσο ανηγμένων φωτογραφιών όσο και ορθοφωτογραφιών.
- Ανηγμένες φωτογραφίες: Πρόκειται ουσιαστικά για εικόνες που προέρχονται από φωτογραμμετρικές εικόνες, όπου διορθώνονται σφάλματα λόγω παραμορφώσεων εικόνας που προκαλούνται από τις διαφορετικές κλίσεις και γωνίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μειωμένες φωτογραφίες είναι κατάλληλες μόνο για επίπεδα αντικείμενα.
- Ορθοφωτογραφίες: Σε αυτές τις φωτογραφίες, τα σφάλματα που προκύπτουν από τις γωνίες της εικόνας και αυτά που προκύπτουν από τη σωστή προβολή λόγω του ισχυρού ανάγλυφου του αντικειμένου εξαλείφονται.

Συνοψίζοντας, αυτές οι διάφορες αναπαραστάσεις διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην τεκμηρίωση των γεωμετρικών λεπτομερειών μέσα σε ένα μνημείο¹⁴¹.

3.4.2 3D μοντέλα

Στον τομέα της ψηφιακής καινοτομίας, η έννοια της τρισδιάστατης μοντελοποίησης αναδεικνύεται ως ένα ισχυρό εργαλείο, ιδιαίτερα στον τομέα της αρχαιολογίας. Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση περιλαμβάνει τη σχολαστική διαδικασία δημιουργίας μιας μαθηματικής αναπαράστασης ενός τρισδιάστατου αντικειμένου ή δομής, είτε πρόκειται για αρχαίο τεχνούργημα, ιστορικό κτίριο ή ακόμα και γεωλογικό σχηματισμό. Αυτή η τεχνική, που επιτυγχάνεται μέσω εξειδικευμένου λογισμικού, μας επιτρέπει να ζωντανεύουμε τόσο άψυχες όσο και έμψυχες οντότητες στο εικονικό πεδίο.

Το αποτέλεσμα αυτής της περίπλοκης διαδικασίας είναι αυτό που ονομάζουμε «3D μοντέλο». Αυτά τα μοντέλα μπορούν να λάβουν τη μορφή συναρπαστικών εικόνων με σκίαση 3D, που συχνά αναφέρονται ως τρισδιάστατες αποδόσεις.

¹⁴¹ Παυλίδης κ.α. 2014, 40.

Εναλλακτικά, μπορούν να αξιοποιηθούν για την προσομοίωση φυσικών φαινομένων μέσω της υπολογιστικής ικανότητας των σύγχρονων υπολογιστών.

Στον πυρήνα του, ένα τρισδιάστατο μοντέλο είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου. Κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο σημείων σε τρισδιάστατο χώρο, που συχνά συνδέονται μέσω γραμμών, τριγώνων ή ακόμα και καμπυλωτών επιφανειών. Η δημιουργία αυτών των μοντέλων μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορα μέσα—χειροκίνητη δημιουργία, αλγοριθμική δημιουργία ή με σάρωση αντικειμένων του πραγματικού κόσμου για την ψηφιακή αναδημιουργία τους. Επιπλέον, οι επιφάνειες αυτών των μοντέλων αποκτούν υφή και λεπτομέρεια μέσω περαιτέρω ψηφιακών διεργασιών.

Ωστόσο, η αξία των τρισδιάστατων μοντέλων στην αρχαιολογία υπερβαίνει την αισθητική τους απήχηση. Η χρησιμότητά τους έγκειται στην εφαρμογή τους ως ισχυρά αναλυτικά εργαλεία. Χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό, οι ερευνητές και οι αρχαιολόγοι μπορούν να αλληλεπιδράσουν με αυτά τα μοντέλα από πολλά πλεονεκτήματα και γωνίες. Αυτό τους δίνει τη δυνατότητα να εξετάσουν εξονυχιστικά την πιστότητα του μοντέλου στο φυσικό αντικείμενο που θέλει να αναπαραστήσει, βοηθώντας στην ακρίβεια και την ερμηνεία.

Συγκεκριμένα, αυτά τα μοντέλα μπορούν να παραχθούν είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα. Στη χειροκίνητη παραγωγή, ο αρχαιολόγος ή ο σχεδιαστής κατασκευάζει το μοντέλο απευθείας μέσα στο περιβάλλον λογισμικού, μεταφράζοντας προσεκτικά τα φυσικά χαρακτηριστικά στο ψηφιακό βασίλειο. Αντίθετα, η αυτόματη παραγωγή περιλαμβάνει τη μόχλευση αποκλειστικού λογισμικού που χρησιμοποιεί αλγόριθμους για την αυτόματη δημιουργία γραφικών αναπαραστάσεων αντικειμένων. Αυτή η διαδικασία επιταχύνει τη δημιουργία μοντέλων, ειδικά για περίπλοκα ή ογκώδη θέματα.

Οι εφαρμογές των τρισδιάστατων μοντέλων στην αρχαιολογία είναι τεράστιες και πολύπλευρες. Επιτρέπουν τη διατήρηση ευαίσθητων αντικειμένων και δομών σε ψηφιακή μορφή, προστατεύοντας από τη φθορά. Αυτά τα μοντέλα χρησιμεύουν επίσης ως εκπαιδευτικά εργαλεία, δίνοντας τη δυνατότητα στους μαθητές και τους λάτρεις να εξερευνήσουν ιστορικά κειμήλια με έναν καθηλωτικό και διαδραστικό τρόπο.

Επιπλέον, τα τρισδιάστατα μοντέλα παρέχουν τα μέσα για την ανάλυση και την ανακατασκευή αρχαίων κατασκευών ή αντικειμένων που μπορεί να έχουν καταστραφεί ή να είναι ημιτελή. Συνδυάζοντας θραύσματα ψηφιακά, οι ερευνητές μπορούν να αποκτήσουν γνώσεις για το παρελθόν, αναζωογονώντας τις αρχαιολογικές προσπάθειες. Μπορούν να προσομοιώσουν σενάρια, να διερευνήσουν αρχιτεκτονικές περιπλοκές και ακόμη και να οπτικοποιήσουν το αρχικό πλαίσιο των τεχνουργημάτων μέσα στο ιστορικό περιβάλλον τους. Στην ουσία, το τρισδιάστατο μοντέλο στέκεται ως γέφυρα ανάμεσα στα απτά απομεινάρια του παρελθόντος μας και τις δυνατότητες αιχμής της σύγχρονης τεχνολογίας. Δίνει τη δυνατότητα στους αρχαιολόγους να εμβαθύνουν στην ιστορία, κάνοντας ανακαλύψεις και εξάγοντας συμπεράσματα που διαφορετικά θα παρέμεναν άπιαστα. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει, ο συνδυασμός της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και της αρχαιολογίας υπόσχεται να αποκαλύψει νέες διαστάσεις γνώσης και κατανόησης για τον αρχαίο κόσμο μας.

Οι τρόποι παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων είναι κατά βάση, η πολυγωνική μοντελοποίηση, η μοντελοποίηση καμπύλων και τέλος η ψηφιακή γλυπτική. Πιο συγκεκριμένα:

- Πολυγωνική μοντελοποίηση: Πρόκειται για τη σύνδεση των σημείων στον τρισδιάστατο χώρο μεταξύ τους με ευθείες ώστε να σχηματιστεί ένα πολυγωνικό πλέγμα. Είναι και ο συχνότερος τρόπος κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων, γιατί παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η ευελιξία, η δυνατότητα αναλυτικής περιγραφής μέσα από τις μαθηματικές εξισώσεις. Με αυτόν τον τρόπο, τα πλέγματα αυτά είναι εύκολο να υλοποιηθούν στο περιβάλλον του υπολογιστή.
- Μοντελοποίηση καμπυλών: Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει καμπύλες οι οποίες ακολουθούν κάποια συγκεκριμένα σημεία ελέγχου.
- Ψηφιακή γλυπτική: Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά νεότερη και έχει αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία έτη. Οι κατηγορίες ψηφιακής γλυπτικής είναι οι εξής:
 - ο Μετατόπιση: Αυτή η μέθοδος αξιοποιεί πυκνά μοντέλα, που κυρίως έχουν παραχθεί από νέφη πιο μικρών και πολυεπίπεδων επιφανειών. Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί τις αποθηκευμένες νέες θέσεις κορυφών μέσα από τη χρήση χαρτών εικόνας. .

- Ογκομέτρηση: Η μέθοδος αυτή έχει ως βασικό σημείο τα voxels και έχει το θετικό στοιχείο ότι δεν υπάρχει επιρροή των δυναμικά μεταβαλλόμενων πολυγώνων.
- Δυναμική δημιουργία μωσαϊκών: Αυτή η μέθοδος έχει πολλά κοινά με την ογκομέτρηση, αλλά εδώ η διαίρεση της επιφάνειας βασίζεται στον τριγωνισμό, έτσι ώστε να μπορέσει να διατηρηθεί μια λεία επιφάνεια και κατά συνέπεια να είναι πιο ακριβείς οι αποτυπώσεις των λεπτομερειών στα μοντέλα¹⁴².

3.5 Τα οφέλη που αποκομίζει ο αρχαιολόγος από την χρήση των νέων τεχνολογιών

Πριν από αυτήν την ενότητα, έχουμε αναλύσει τις μεθόδους και τις νέες τεχνολογίες που αξιοποιούνται για σκοπούς μοντελοποίησης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί αρχικά ότι πρόκειται για μια διαδικασία με αρκετές δυσκολίες, που απαιτεί μεγάλες τεχνικές γνώσεις, αλλά μπορεί να προσφέρει ανεκτίμητες πληροφορίες για τον αρχαιολόγο¹⁴³.

Στην αρχαιολογία, όπως και σε όλες τις επιστήμες σήμερα, η χρήση των νέων τεχνολογιών είναι μονόδρομος. Τα λογισμικά και η ανάπτυξη της πληροφορικής έχουν δώσει πολύτιμα υλικά και εργαλεία στους αρχαιολόγους, ώστε να καταγράφουν γρήγορα τα ευρήματα, να δημιουργούν βάσεις δεδομένων και να μπορούν να μελετήσουν στοιχεία του χώρου ακόμη και χωρίς να βρίσκονται σε αυτόν¹⁴⁴. Έτσι, οι αρχαιολόγοι μπόρεσαν σε πολλές περιπτώσεις να φέρουν στο φως ευρήματα χωρίς να διακινδυνεύσουν την ασφάλειά τους, μέσα από διάφορες σαρώσεις του εδάφους, αλλά και να αποκτήσουν μοντέλα των ευρημάτων για περαιτέρω μελέτη. Η συμβολή της τεχνολογίας μπορεί να αξιοποιηθεί σε κάθε τομέα της επιστήμης της αρχαιολογίας, όπως «στον τομέα της ανασκαφής, στον τομέα της μελέτης και δημοσίευσης των αρχαιολογικών καταλοίπων, στον τομέα της συντήρησης, αποκατάστασης και αναστήλωσης αρχαιολογικών μνημείων, στους τομείς οργάνωσης και αξιοποίησης αρχαιολογικών χώρων και μουσείων, στην

¹⁴² Μπιλάλης και Μαραβελάκης 2014, 24- 27.

¹⁴³ Παυλίδης κ.ά 2014, 12.

¹⁴⁴ Letellier 2002, 57-58

παρουσίαση των εκθεμάτων των τελευταίων, όπως και στον τομέα της αρχαιολογικής εκπαίδευσης»¹⁴⁵.

Η επισκόπηση των βιβλιογραφικών πηγών μέχρι στιγμής μας βοηθά να εξαγάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τα οφέλη που αποκομίζει ο αρχαιολόγος από τη χρήση των νέων τεχνολογιών στην επιστημονική τους έρευνα. Ένα από τα κύρια οφέλη είναι ο εντοπισμός και η ανασκαφή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι γεωραντίσεις, οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν τους αρχαιολόγους να εντοπίσουν κρυμμένες αρχαιολογικές τοποθεσίες. Επίσης, οι νέες τεχνολογίες, όπως οι γεωφυσικές μέθοδοι και οι ραντάρ εδάφους μπορούν να βοηθήσουν στην ανακάλυψη και την ανασκαφή αρχαιολογικών υπολειμμάτων. Εν συνέχεια, οι υποβρύχιες αρχαιολογίες, οι γεωφυσικές μέθοδοι και οι τρισδιάστατες απεικονίσεις επιτρέπουν στους αρχαιολόγους να μελετήσουν αρχαιολογικούς τόπους χωρίς να τους καταστρέψουν. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη διατήρηση σπάνιων ή εύθραυστων αρχαιολογικών ευρημάτων. Ένα άλλο όφελος από τη χρήση είναι οι νέες τεχνολογίες ανάλυσης, όπως για παράδειγμα οι λέιζερ σάρωσης, η μάζα φασματογραφίας και οι ραδιομετρικές μέθοδοι, όπου επιτρέπουν τη μη καταστροφική ανάλυση των αρχαιολογικών υλικών. Αυτό βοηθά στην κατανόηση της σύνθεσης, της καταγωγής και της ηλικίας των ευρημάτων και των υλικών που ανακτήθηκαν από τους αρχαιολογικούς τόπους. Τέλος, η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας επιτρέπει στους αρχαιολόγους να αναπαραστήσουν αρχαιολογικούς τόπους και αρχαία κτίρια με ρεαλιστικό τρόπο. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση την απεικόνιση ενός μελλοντικού καταστροφικού κατακλυσμού ή για την παρουσίαση των αρχαιολογικών ανασκαφών σε κοινό ευρύτερα. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωρίσουμε ότι πρέπει να δοθεί σχολαστική προσοχή τόσο στη συλλογή όσο και στην επεξεργασία δεδομένων σε κάθε έργο. Αυτή η προφύλαξη είναι απαραίτητη για την αποφυγή σφαλμάτων που θα μπορούσαν ενδεχομένως να αποφέρουν ανακριβή αποτελέσματα σχετικά με την κατάσταση του έργου. Τέτοιες ανακρίβειες θα μπορούσαν στη συνέχεια να οδηγήσουν σε λανθασμένες αποφάσεις σχετικά με την αποκατάσταση ή τη συντήρησή του - ένα σενάριο που έχει σημαντικές και εκτεταμένες επιπτώσεις.

Η ευαισθησία σε λανθασμένα συμπεράσματα συχνά ενισχύεται λόγω του ανθρώπινου παράγοντα, όπως για παράδειγμα κάνουν οι αρχαιολόγοι, οι οποίοι, αν

¹⁴⁵ Τιβέριος 2010, 103-104

και ακούσια, ενδέχεται να εισάγουν σφάλματα κατά τη συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων. Ωστόσο, η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενες ενότητες, χρησιμεύει στον μετριασμό αυτού του κινδύνου. Είμαστε πλέον εξοπλισμένοι με την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι καινοτόμες τεχνολογίες μπορούν να συμβάλουν βαθιά στη διαφύλαξη και τη διατήρηση αρχαιολογικών χώρων για τις επόμενες γενιές. Ενισχύουν την αποστολή της ανακάλυψης, της ανάλυσης και της διάδοσης των αρχαιολογικών γνώσεων με αυξημένη αποτελεσματικότητα και ακρίβεια.

Συγκεκριμένα, μέσω της χρήσης υπολογιστικών συστημάτων και εργαλείων ψηφιακής απεικόνισης, οι αρχαιολόγοι ενισχύονται με τη διαβεβαίωση ότι η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων τους γίνεται με τη βέλτιστη ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Αυτή η διασφάλιση επεκτείνεται στην εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Επιπλέον, η χρήση αυτών των τεχνολογικών συστημάτων δίνει τη δυνατότητα στους αρχαιολόγους να συλλέγουν ακόμη μεγαλύτερο όγκο δεδομένων - δεδομένα που θα μπορούσαν να παραμείνουν κρυφά αν όχι η εξάρτηση από τις σύγχρονες τεχνολογίες. Η αδιάκοπη εξέλιξη της τεχνολογίας παρέχει συνεχώς νέα εργαλεία και μεθοδολογίες που διευκολύνουν την εξερεύνηση και την αποκάλυψη της ιστορικής μας κληρονομιάς. Καθώς βρισκόμαστε στη διασταύρωση παρελθόντος και μέλλοντος, η πορεία της τεχνολογίας προς τα εμπρός υπόσχεται να ξετυλίξει νέα στρώματα κατανόησης και γνώσεων για τους προκατόχους μας, διασφαλίζοντας ότι οι ιστορίες τους παραμένουν ζωντανές και σχετικές στην εξέλιξη της ανθρωπότητας.

Κεφάλαιο 4: Γεωμετρική τεκμηρίωση της γέφυρας

Για να πραγματοποιηθεί αποκατάσταση και μελέτη ενός μνημείου, απαραίτητη είναι πρώτα η ακριβής διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης¹⁴⁶. Ως τεκμηρίωση ορίζουμε την αποτύπωση μνημείων συμπεριλαμβάνοντας όλα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα, είτε πρόκειται για πληροφορίες αρχιτεκτονικής ή αρχαιολογικής φύσης, ή και για φωτογραφίες ή σκαριφήματα. Είναι πιθανό επίσης να περιλαμβάνονται διάφορες άλλες σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη θέση, τα μεγέθη και τις μορφές των μνημείων στον χώρο¹⁴⁷. Όπως εξηγήθηκε και νωρίτερα, η διαδικασία της πλήρους καταγραφής πληροφοριών των μνημείων είναι ιδιαίτερος απαραίτητη,

¹⁴⁶ <http://www.yasma.gr/γεωμετρική-τεκμηρίωση>

¹⁴⁷ Ioannides et al 2017, 30

διασφαλίζοντας τη διατήρηση της πληροφορίας αυτής καθώς περνά ο χρόνος, ώστε να μπορούν να μελετηθούν και στο μέλλον. Συνεπώς, μπορεί να ειπωθεί πως:

Η γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων είναι η ενέργεια απόκτησης, επεξεργασίας, παρουσίασης και καταγραφής των απαραίτητων δεδομένων για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στον τρισδιάστατο χώρο σε μια δεδομένη χρονική στιγμή¹⁴⁸.

Ωστόσο, να σημειωθεί ότι η γεωμετρική τεκμηρίωση δεν αποτελεί διατήρηση των μνημείων, αλλά συμβάλλει, παρέχοντας κατάλληλα υπόβαθρα, στην μελέτη διατήρησής τους. Η γεωμετρική τεκμηρίωση δύναται να παραγάγει σχέδια και μετρήσεις δύο ή τριών διαστάσεων, καταγράφοντας το πώς είναι το μνημείο στην παρούσα χρονική στιγμή¹⁴⁹.

4.1 Περιγραφή της κατάστασης της γέφυρας

Η ρωμαϊκή γέφυρα του Αγ. Δημητρίου στο Ροδίσι διασώζεται στο σήμερα σχεδόν ακέραια, και μάλιστα βρίσκεται σε πλήρη χρήση, εξυπηρετώντας κάθε είδους μεταφορικά μέσα και φορτία. Είναι ένας αρκετά στενός δρόμος και μάλιστα διπλής κυκλοφορίας, πράγμα που δημιουργεί αρκετές δυσκολίες για την πρόσβαση των οχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, η γέφυρα αποτελείται ουσιαστικά από δύο τοξωτά ανοίγματα ίσου μήκους, με τόξα φτιαγμένα από πωρόλιθο και χωρίς να έχει χρησιμοποιηθεί κονίαμα πάνω σε αυτά, καθώς ανάμεσα πρέπει να υπήρχε έμβολο σχήματος τραπεζίου, το οποίο όμως δεν έχει σωθεί¹⁵⁰. Στη σύγχρονη εποχή είχαν προστεθεί υποστηρικτικές σιδεριές στην κάτω μεριά, για να μπορέσει η γέφυρα να αντέξει το βάρος που δέχεται κάθε μέρα και τα πολύ βαρύτερα φορτία από αυτά που σχεδιάστηκε για να αντέχει. Σε αρκετά σημεία έχουν επισκευαστεί ρωγμές, ενώ τα σίδηρα έχουν σκουριάσει και χρειάζεται να υπάρξει μέριμνα και μελέτη για τη διατήρηση του μνημείου. Λόγω του σεισμογενούς εδάφους της Ρόδου, υπάρχει ανησυχία ότι ένα ακραίο φαινόμενο θα μπορούσε να καταστρέψει τη συγκεκριμένη γέφυρα, συνεπώς είναι ιδιαίτερα σημαντικό να υπάρχουν οι πληροφορίες για την αποκατάστασή της, αν αυτή καταστεί κάποια στιγμή αναγκαία.

¹⁴⁸ Georgopoulos 2014, 6

¹⁴⁹ Τοκμακίδης 2014

¹⁵⁰ Oikologiarodiaka 2011, 21 Σεπτεμβρίου.

4.2 Προδιαγραφές γεωμετρικής τεκμηρίωσης

Πράγματι, η τεκμηρίωση της γεωμετρίας ενός μνημείου απαιτεί την τήρηση ενός συνόλου κρίσιμων συνθηκών για να διασφαλιστεί η επίτευξη του επιθυμητού και ακριβούς αποτελέσματος. Ξεκινώντας από τη βασική προϋπόθεση, είναι επιτακτική ανάγκη οι προδιαγραφές να ευθυγραμμίζονται με διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα και συμβάσεις χαρτογράφησης. Η χρήση σύγχρονου εξοπλισμού και τεχνολογίας αιχμής είναι εξίσου απαραίτητη για την εγγύηση της ακρίβειας και της ποιότητας των αποτελεσμάτων της μελέτης. Μέσα σε αυτές τις σκέψεις, μια πρωταρχική πτυχή είναι να αναγνωρίσουμε τον κεντρικό ρόλο που διαδραματίζει η ανάθεση και η επίβλεψη κάθε έργου. Αυτή η ευθύνη πρέπει να επωμισθεί υπό την καθοδήγηση ενός έμπειρου και έμπειρου ερευνητή. Η παρουσία ενός τόσο έμπειρου εμπειρογνώμονα είναι κρίσιμη για την επίβλεψη του συνόλου του έργου, διασφαλίζοντας την σχολαστική εκτέλεσή του και την τήρηση των βέλτιστων πρακτικών. Η σημασία αυτού του έμπειρου ερευνητή επιστήμονα δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Φέρουν το καθήκον να κατευθύνουν τη μελέτη προς τη σωστή κατεύθυνση, εφαρμόζοντας τις ικανότητές τους για τον εντοπισμό πιθανών προκλήσεων, τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και την επίβλεψη ολόκληρης της διαδικασίας. Η εμπλοκή τους υποστηρίζει την ακεραιότητα της μελέτης, διασφαλίζοντας ότι η γεωμετρική τεκμηρίωση παραμένει μια αξιόπιστη και πιστή αναπαράσταση του εν λόγω μνημείου. Στην ουσία, ενώ η εφαρμογή προηγμένων εργαλείων και τεχνολογιών είναι απαραίτητη, είναι η ανθρώπινη τεχνογνωσία, σε συνδυασμό με διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα, που εδραιώνουν τα θεμέλια μιας ακριβούς και υψηλής ποιότητας γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Μέσω του συνδυασμού αυτών των παραγόντων, έχουμε την εξουσία να προστατεύσουμε την ακεραιότητα των ιστορικών μνημείων και να εμπλουτίσουμε την κατανόησή μας για την κοινή μας κληρονομιά.¹⁵¹

Τα τελευταία χρόνια έχει εκπονηθεί το πρόγραμμα «ΥΠΕΡΙΩΝ (HYPERION) – Ανάπτυξη συστήματος υποστηρίξης αποφάσεων για τη βελτίωση της αντοχής και τη βιώσιμη αποκατάσταση ιστορικών περιοχών, προκειμένου να αντιμετωπιστούν η κλιματική αλλαγή και τα ακραία φυσικά φαινόμενα, με βάση σύγχρονους αισθητήρες και τεχνικές προσομοίωσης»¹⁵². Είναι ένα πρόγραμμα στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στα πλαίσια του οποίου στόχος είναι η παρακολούθηση των επιπτώσεων της

¹⁵¹ Γεωργόπουλος, Ταπεινάκη 2018

¹⁵² <https://www.hyperion-project.eu/>

κλιματικής αλλαγής, των καιρικών συνθηκών και των περιβαλλοντικών λόγων που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ζημιές σε μνημεία και ευρήματα. Στα πλαίσια αυτά, τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που θα εκπονηθούν στο πρόγραμμα θα μπορέσουν να πληροφορήσουν τους ειδικούς ώστε να λάβουν κατάλληλα μέτρα για τη διατήρηση κάθε μνημείου. Αξίζει να αναφερθεί ότι το Υπερίων εστιάζει την μελέτη της σε τέσσερις περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς στην Ρόδο, στην Ισπανία (Γρανάδα), στην Ιταλία (Βενετία) και στη Νορβηγία (Tønsberg). Η Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου αλλά και ο Δήμος της Ρόδου έχουν λάβει μέρος στο πρόγραμμα, επικεντρώνοντας το αντικείμενο της μελέτης σε τέσσερις αρχαιολογικούς χώρους από διαφορετικές ιστορικές περιόδους. Τα μνημεία αυτά ήταν: το ελληνιστικό ταφικό συγκρότημα στη νεκρόπολη Ροδινίου, που τείνει να καταρρεύσει λόγω της κλιματικής αλλαγής, η Ρωμαϊκή γέφυρα που αποτελεί και θέμα αυτής της εργασίας, αλλά και τα μεσαιωνικά μνημεία του πύργου του Naillac και το φρούριο του Αγίου Νικολάου στο Μαντράκι¹⁵³ (εικόνα 4.1).

Στο ΥΠΕΡΙΩΝ σχετικά με τη μελέτη της ρωμαϊκής γέφυρας πραγματοποιήθηκαν αυτά τα σχέδια (2 όψεις, 2 τομές και 1 κάτοψη από πάνω), με στόχο την ενδελεχή του μελέτη από τους ειδικούς και από κάθε οπτική γωνία, και με τελικό στόχο την τρισδιάστατη απεικόνιση και τη γεωμετρική τεκμηρίωση με βάση τις σύγχρονες μεθόδους. Οι εργασίες συλλογής δεδομένων και επεξεργασίας τους για την παραγωγή των τεκμηριωτικών προϊόντων για τα τέσσερα αυτά μνημεία πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πανεπιστημίου, το οποίο είναι και αυτό εταίρος στο πρόγραμμα ΥΠΕΡΙΩΝ.

4.3. Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε

Τα τέσσερα μνημεία που επιλέχθηκαν προσεγγίστηκαν ολιστικά, με στόχο την πλήρη γεωμετρική τεκμηρίωση αλλά και την τρισδιάστατη μοντελοποίηση όσο το δυνατόν καλύτερης ανάλυσης, για να καταγραφεί και να προβλεφθεί η όποια ζημιά θα

¹⁵³ Tapinaki et al 2021, 1

μπορούσε να γίνει λόγω της κλιματικής αλλαγής¹⁵⁴. Στην παρούσα μελέτη, το θέμα είναι μόνο η γέφυρα στο Ροδίσι, συνεπώς και θα ακολουθήσει η περιγραφή της μεθοδολογίας για τη διαδικασία που ακολουθήθηκε σε αυτό το μνημείο.

4.3.1 Συλλογή δεδομένων

Οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη είναι: γεωδαισία, φωτογραμμετρία μέσω ψηφιακών εικόνων και σάρωση με λέιζερ. Πιο συγκεκριμένα, τα υλικά φωτογραφικού και τοπογραφικού εξοπλισμού που χρειάστηκαν για να συλλεχθούν τα απαραίτητα δεδομένα γύρω από το μνημείο είναι τα εξής:

- **Γεωδαιτικός σταθμός.** Χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των συντεταγμένων σημείων και την επισήμανση σημείων επίγειου ελέγχου (Φωτοσταθερά) στα πλαίσια των γεωδαιτικών μετρήσεων με κωδικοποιημένους στόχους (εικόνα 4.2).
- **Φωτογράφιση πλήρης με UAV, MAVIC 2.** Το συγκεκριμένο εργαλείο έχει υψηλές προδιαγραφές, καθώς με μέγιστες επιδόσεις ταχύτητας τα 72 χιλιόμετρα ανά ώρα και μέγιστη διάρκεια πτήσης έως και 31 λεπτά, έχει επίσης δυνατότητα για αναστολή της χρονικής υπέρβασης και μπορεί να ανιχνεύσει σε κάθε κατεύθυνση αν υπάρχουν εμπόδια. Η τεχνολογία του είναι OcuSync 2.0, έχει ρυθμιζόμενο άνοιγμα 1'' CMOS + f/2.8-f/11. Η κάμερα του είναι Hasselblad 20MP/UHD 4K Gimbal και βίντεο 10-Bit Dlog-M + 10-Bit HDR¹⁵⁵ (εικόνα 4.3).
- **Φωτογράφιση με ψηφιακή μηχανή πλήρους φορμάτ Canon EOS 6D και φακό 24mm.** Οι φωτογραφίες αυτές έχουν υψηλή ανάλυση και η λήψη τους έγινε είτε κρατώντας την κάμερα στο χέρι ή με στύλο για φωτογράφιση ύψους περί τα 9 μέτρα. Οι φωτογραφίες αυτές θα αποτελούσαν μια συμπληρωματική λήψη δεδομένων αν κρινόταν ότι δεν ήταν αρκετές όσες λήφθηκαν με το UAV. Πραγματοποιήθηκε λήψη εικόνων και από το κάτω μέρος της γέφυρας (εικόνα 4.4).
- **Επίγεια σάρωση λέιζερ (Leica BLK 360).** Το μοντέλο αυτό του σαρωτή προσφέρει δυνατότητες προσδιορισμού της επιφάνειας των μνημείων με ιδιαίτερα υψηλές πυκνότητες και πλήρη νέφη σημείων¹⁵⁶ (εικόνα 4.5). Η λειτουργία των σαρώσεων αυτών ήταν η συμπλήρωση κενών που θα υπήρχαν στις

¹⁵⁴ Tapinaki et al 2021, 2

¹⁵⁵ <https://www.copters.gr/mavic-2-pro.html>

¹⁵⁶ Tapinaki et al 2021, 3

φωτογραμμετρικές εικόνες και τα μοντέλα που θα προέκυπταν από αυτές. Πράγματι, η ορθή περιγραφή της επιφάνειας του αντικειμένου χρειάστηκε αυτές τις διορθώσεις και συμπληρώσεις. Ο συγκεκριμένος σαρωτής παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά¹⁵⁷:

- Τέσσερις ρυθμίσεις σάρωσης καταγράφουν δεδομένα σε 7, 13, 30 ή 75 δευτερόλεπτα με 680.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο
- Πλούσιες εικόνες υψηλού δυναμικού εύρους (HDR) με HDR 5 επί μέρους λήψεων
- Μικρό και ελαφρύ, με διαστάσεις 155x80mm και βάρος μόλις 850g με μπαταρίες
- Το σύστημα δίνει την δυνατότητα άμεσης καταχώρισης των σαρώσεων.
- Μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας μέσω USB-C και Wi-Fi.

Το σύνολο των δεδομένων κάθε είδους που ανακτήθηκαν για τη γέφυρα στο Ροδίσι παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα¹⁵⁸ (πίνακας 4.1).

4.3.2 Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία δεδομένων σηματοδοτεί το τελικό στάδιο μετά τη συλλογή δεδομένων, με κύριο στόχο της να επικεντρώνεται γύρω από τη δημιουργία και τον εξωραϊσμό του τρισδιάστατου μοντέλου. Το λογισμικό Agisoft Metashape χρησίμευσε ως περιβάλλον για τη φωτογραμμετρική επεξεργασία, ενώ είχε προηγηθεί ο υπολογισμός των φωτοσταθερών συντεταγμένων του Γεωδαιτικού σταθμού. Υιοθετήθηκαν διακριτά κομμάτια επεξεργασίας για εναέριες και επίγειες εικόνες, με το πρώτο να είναι αισθητά χαμηλότερο σε ανάλυση. Η συγχώνευση των σαρώσεων και η ευθυγράμμιση τους επιτεύχθηκε στη συνέχεια μέσω γεωαναφοράς, ενισχύθηκε από την ενσωμάτωση στόχων που απέδωσαν ακρίβεια άνω των 1,2 cm. Συνεχίζοντας την ακολουθία, το νέφος των σημείων υποβλήθηκε σε σχολαστική βελτίωση για την εξάλειψη του εξωτερικού θορύβου, αποτελώντας μια προκαταρκτική διαδικασία τελειοποίησης. Ο θόρυβος αναφέρεται στο σύνολο των ανεπιθύμητων πληροφοριών που επηρεάζουν την ακρίβεια και την ορθότητα των μετρήσεων. Επιπλέον, ο θόρυβος περιλαμβάνει και οποιαδήποτε περιττή πληροφορία που έχει καταγραφεί, όπως για παράδειγμα φυτά, άνθρωποι, κινούμενα αντικείμενα κτλ. Στη συνέχεια,

¹⁵⁷ <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>

¹⁵⁸ Tapinaki et al 2021, 3

αξιοποιώντας τη μεθοδολογία Cloud-to-Cloud παράλληλα με τον αλγόριθμο Iterative Closest Point (ICP), οι συγχωνευμένες σαρώσεις διευκόλυναν την αύξηση της πληρότητας της επιφάνειας, δημιουργώντας έτσι ένα πολύ πιο ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο. Συγκεκριμένα, έγιναν προσπάθειες για την αποκοπή των βοηθητικών δομών στήριξης από το νέφος, μια προσπάθεια φορτωμένη με προκλήσεις λόγω των κενών που προκύπτουν που διαταράσσουν την επιφανειακή συνέχεια. Στον απόηχο της προσπάθειας αφαίρεσης του σιδήρου που έχει προστεθεί ως υποστύλωμα, ακολούθησε η φάση εξωραϊσμού της υφής. Αυτό το στάδιο εμποτίζει χρώμα που προέρχεται από ψηφιακές εικόνες υψηλής ανάλυσης, προσδίδοντας έτσι ζωή στην επιφάνεια του μοντέλου. Ο μετασχηματισμός κάθε σημείου αντικειμένου σε μια οντότητα πολυγώνου, θεμελιώδης για την αναπαράσταση, πραγματοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής της μεθοδολογίας Triangle Irregular Network (TIN). Μέσω αυτής της περίπλοκης ακολουθίας λειτουργιών, τα ακατέργαστα δεδομένα μεταμορφώθηκαν σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο με πλούσια λεπτομέρεια και υφή. Αυτός ο μετασχηματισμός, ωστόσο, παραμένει ένα αποκορύφωμα τόσο της υπολογιστικής ικανότητας όσο και της τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων που διέπει τη διαφοροποιημένη ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και αισθητικής στην τελική αναπαράσταση (εικόνα 4.6).¹⁵⁹

4.3.3 Δημιουργία βίντεο

Στο τέλος της παρούσας μελέτης, με τη βοήθεια του λογισμικού Agisoft Metashape Professional, δημιουργήθηκε και ένα βίντεο στο οποίο μπορεί κανείς να δει την τρισδιάστατη μοντελοποίηση της γέφυρας στο Ροδίσι. Το λογισμικό αυτό είναι ιδανικό για την φωτογραμμετρική επεξεργασία ψηφιακών εικόνων, καθώς μας παρέχει την δυνατότητα να παρουσιάσουμε οποιοδήποτε μοντέλο μνημείου πολιτιστικής κληρονομιάς σε τρισδιάστατη μορφή (εικόνα 4.7).

¹⁵⁹ Tapinaki et al 2021, 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Στην ανά χείρας εργασία επιχειρήθηκε η παρουσίαση της ιστορίας της Ρόδου κάνοντας αυτό το μακρινό ταξίδι από την αρχαιότητα έως και τα νεότερα χρόνια και η εξέταση της ρωμαϊκής γέφυρας στην περιοχή Ροδίσι αφενός και αφετέρου η ανάδειξη και η γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου αυτού με τη βοήθεια των νέων τεχνολογιών με στόχο την τρισδιάστατη απεικόνιση.

Εξετάζοντας τις ρωμαϊκές γέφυρες στην Ελλάδα και στην Ευρώπη και συγκεκριμένα εστιάζοντας την μελέτη στην αρχαία ρωμαϊκή γέφυρα της Ρόδου, διαπιστώνουμε πως πιθανόν χρονολογείται κατά τη ρωμαϊκή εποχή μεταξύ του 2^{ου} – 3^{ου} αιώνα μ.Χ. Η προσπάθεια χρονολόγησης κατέστη δυνατή ύστερα από εμπειριστατωμένη έρευνα των ρωμαϊκών γεφυρών, καθώς παρουσιάζουν μεταξύ τους κοινά αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά, όπως είναι για παράδειγμα η γέφυρα που βρίσκεται στην είσοδο της Πάτρας, την οποία έχουμε αναλύσει εκτενέστερα παραπάνω.

Αν επιχειρήσει κάποιος να φανταστεί έναν κόσμο όπου δεν υπάρχουν γέφυρες, θα διαπιστώσει γρήγορα πως ο αντίκτυπος ενός τέτοιου σεναρίου θα ήταν τεράστιος. Οι διαφορές εδάφους θα παρεμπόδιζαν αναπόφευκτα την οδοποιία, καθιστώντας τις χερσαίες μεταφορές δύσκολες. Τόσο οι άνθρωποι όσο και τα αγαθά θα αντιμετώπιζαν εμπόδια που είναι δύσκολο να ξεπεραστούν, καθιστώντας έτσι τη μεταφορά αργή. Κατά συνέπεια, τα εμπόδια στην κίνηση θα παρεμπόδιζαν την οικονομική και πολιτισμική ανάπτυξη, διαταράσσοντας τη μελλοντική δυναμική της παγκόσμιας προόδου.

Από την προϊστορική εποχή, οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν γέφυρες για να διασχίσουν πλωτές οδούς και άλλα εμπόδια που διαταράσσουν τους δρόμους. Στην αρχαιότερη μορφή της, μια γέφυρα θα μπορούσε να είναι τόσο υποτυπώδης όσο ένας μόνο κορμός δέντρου ή δοκός που συνδέει δύο σημεία. Με την πάροδο του χρόνου, ξύλινες γέφυρες με αυξανόμενη πολυπλοκότητα αντικατέστησαν αυτές τις αυτοσχέδιες κατασκευές, καθιστώντας δυνατή τη μεταφορά πιο εκτεταμένων και βαρύτερων εμπορευμάτων σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Ουσιαστικά, μια γέφυρα είναι ένα απλό μέσο σύνδεσης δύο τεμαχίων γης που χωρίζονται από μια κοιλότητα στο έδαφος, όπως μια κοίτη ή μια κοιλάδα. Οι πέτρινες γέφυρες, που προσφέρουν απaráμιλλη αντοχή σε σύγκριση με τις ξύλινες κατασκευές, σηματοδοτούν τη σημαντικότερη πρόοδο στην κατασκευή γεφυρών χρησιμοποιώντας την πέτρα ως δομικό υλικό.

Κατά την 5η χιλιετία π.Χ., οι αρχαίοι λαοί της Αιγύπτου και της Μεσοποταμίας αντιλήφθηκαν την ιδέα της χρήσης λαξευτών λίθων που διαμορφώθηκαν σε τόξα για να στηρίζουν ο ένας τον άλλον και να μεταδίδουν δυνάμεις στις άκρες. Μεταξύ αυτών που εφάρμοσαν αυτή την τεχνική για να χτίσουν πέτρινα γεφύρια ήταν και οι Μυκηναίοι. Οι τοξωτές γέφυρες έγιναν πιο περιζήτητες τους επόμενους αιώνες, φτάνοντας σε μεγάλη εξέλιξη τελικά την εποχή των Ρωμαίων. Οι γέφυρες τους ήταν αναπόσπαστο μέρος του εκτεταμένου οδικού δικτύου της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, διευκολύνοντας τη μεταφορά αγαθών και βοηθώντας στην οικονομική ευημερία της αυτοκρατορίας. αυτή η διάκριση έκανε τους Ρωμαίους τους κορυφαίους κατασκευαστές γεφυρών της εποχής τους.

Τα τελευταία χρόνια χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας προσφέρονται πλούσιες νέες δυνατότητες σε κάθε επιστημονικό πεδίο, όπως συμβαίνει και στην αρχαιολογία. Οι αρχαιολόγοι ωφελούνται από τις ψηφιακές τεχνολογίες για να βοηθήσουν στην έρευνα τους σχετικά με τα υλικά κατάλοιπα. Έτσι, τα εργαλεία καταγραφής και αποτύπωσης που χρησιμοποιεί ένας κλασσικός αρχαιολόγος αντικαθίσταται από έναν εξοπλισμό υψηλής τεχνολογίας. Με την χρήση σύγχρονων ψηφιακών τεχνολογιών μπορούν να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά τρισδιάστατα αποτελέσματα για τη γεωμετρική τεκμηρίωση.

Πλέον, οι διαδικασίες καταγραφής και αποτύπωσης των υλικών καταλοίπων δεν είναι ανάγκη να γίνεται με το χέρι ή με το μολύβι, αλλά υπάρχει ένα οπλοστάσιο νέων μεθόδων, όπως είναι η φωτογραμμετρία, οι σαρώσεις Laser και η γεωδαισία. Τα αποτελέσματα από αυτή την διεπιστημονική διαδικασία είναι απαραίτητα, καθώς διασφαλίζει τη διατήρηση, την προστασία από κάθε είδους φθορά και την ανάδειξη της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Επομένως, η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών μπορεί να βοηθήσει στην καταγραφή και αποθήκευση των αρχαιολογικών ευρημάτων και δεδομένων εξασφαλίζοντας τη διατήρηση και την πρόσβαση σε αυτά τα στοιχεία για μελλοντικές γενιές.

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε για τη γέφυρα αξιοποίησε τις μεθόδους της Φωτογραμμετρίας, ώστε τώρα να είναι δυνατή η καταγραφή της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων του μνημείου. Η καταλληλότητα της μεθόδου για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του συγκεκριμένου μνημείου ήταν υψηλή, καθώς αυτό συμβαίνει με μνημεία που βρίσκονται σε θέσεις, όπου δεν επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση του ανθρώπινου δυναμικού εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους. Έχουμε την δυνατότητα να αποκτήσουμε αξιόπιστες πληροφορίες μέσα από την

διαδικασία της καταγραφής, της μέτρησης και της ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων. Όμως, για τη συγκεκριμένη γεωμετρική τεκμηρίωση οι δυσκολίες που προέκυψαν στη συλλογή και στην επεξεργασία δεδομένων θα αποτελέσουν μελλοντικά μαθήματα για κάποιους ερευνητές που θα επιχειρήσουν να κάνουν τη γεωμετρική τεκμηρίωση οποιουδήποτε μνημείου σε οποιαδήποτε αρχαιολογική τοποθεσία.

Στο πλαίσιο αυτό επιλέχθηκε να σχεδιαστεί σε τρισδιάστατο μοντέλο η συγκεκριμένη ρωμαϊκή γέφυρα. Ήταν μια απαιτητική διαδικασία ήδη από τη συλλογή δεδομένων, μέχρι και την τελική τους επεξεργασία, όπου και χρειάστηκε ειδικός τοπογραφικός και φωτογραμμετρικός εξοπλισμός για να μπορέσουμε να συλλέξουμε τον απαιτούμενο όγκο και ορθότητας των πληροφοριών με υψηλή ποιότητα σε εκείνη την περιοχή. Θα πρέπει να αναφερθεί πως χωρίς τη χρήση του εναέριου μέσου UAV, MAVIC 2 για τη λήψη εικόνων θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί το τρισδιάστατο μοντέλο.

Εν γένει, οι αρχαιολόγοι έχουν σημαντικά εργαλεία στα χέρια τους αναφορικά με τις μεθόδους τρισδιάστατης αποτύπωσης μνημείων, κάνοντας παράλληλα την εργασία τους εκτός του πεδίου πιο εύκολη. Η μέθοδος συνδυάζει την προστασία, τη διατήρηση, την έρευνα και την προβολή των μνημείων ενισχύοντας την κατανόηση και την εκτίμηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Η χρήση υπολογιστικών τεχνικών μπορεί να επιτρέψει τη δημιουργία ακριβών τρισδιάστατων μοντέλων αρχαιολογικών τοποθεσιών και αντικειμένων και να χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση και αποκατάσταση μνημείων που έχουν υποστεί ζημιές ή φθορές. Με τη χρήση της τεχνολογίας αυτής, μπορούν να δημιουργηθούν ακριβή αντίγραφα των μνημείων, προσφέροντας μια αναπαράσταση τους που μπορεί να εκτίθεται στο κοινό, ενώ τα πρωτότυπα προστατεύονται από περαιτέρω καταπόνηση. Κατόπιν, βοηθάει τους ερευνητές να μελετήσουν τα ευρήματα από κάθε γωνία, να αναπαραστήσουν τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και να διατηρήσουν εικονικά αντίγραφα για μελλοντική ανάλυση. Περαιτέρω, τα τρισδιάστατα μοντέλα κτηρίων ή ναών μπορούν να δώσουν πλείστες δυνατότητες για ποιοτικότερα ερευνητικά δεδομένα, μέσω μιας συνδυαστικής διεπιστημονικής προσέγγισης. Τέλος, η τρισδιάστατη αποτύπωση ενός μνημείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς σκοπούς και για την προώθηση τουρισμού και της πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι θεατές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ακριβή αντίγραφα των μνημείων και μέσα από τις εικονικές περιηγήσεις μπορούν να αποκτήσουν μια εμπειρία και να εξερευνήσουν μνημεία που μπορεί να είναι απρόσβιστα ή μακριά, φυσικά, για αυτούς.

Με την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγινε σαφές πως οι πολλές δυνατότητες της σύγχρονης αρχαιολογίας μπορούν να μας βοηθήσουν στην ανακάλυψη, την κατανόηση και τη διάσωση του αρχαιολογικού παρελθόντος, καθώς συμβάλλουν σημαντικά στην βελτίωση της αρχαιολογικής επιστήμης. Μεγάλη βοήθεια για τους αρχαιολόγους αποτελεί η χρήση των τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα οι ακτινοβολίες X, γεωραντάρ, έτσι ώστε να εντοπίσουν και να ανασκάψουν αρχαιολογικούς τόπους δίχως να προκαλέσουν ζημία στα αρχαία απομεινάρια. Επίσης, οι σύγχρονες τεχνικές, όπως η μάζα φασματογραφίας και οι χημικές αναλύσεις, μπορούν να παράσχουν πληροφορίες για τη σύνθεση των αρχαίων υλικών, όπως των κεραμικών, των μετάλλων. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να κατανοήσουμε τις τεχνικές και τις εμπορικές σχέσεις των αρχαίων πολιτισμών.

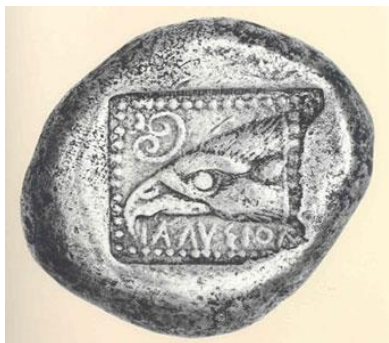
Εν κατακλείδι, από τη μελέτη αυτή προκύπτει και η αξία της διεπιστημονικής συνεργασίας ανάμεσα σε επιστήμονες από διάφορα πεδία. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη και συμβάλλει αποφασιστικά στην ανάπτυξη των ερευνητικών δεδομένων και ερμηνειών. Στο παράδειγμα της αρχαιολογίας, οι αρχαιολόγοι μπορούν να προσφέρουν γνώσεις σχετικά με την ιστορία, τον πολιτισμό και τη χρήση των αρχαίων τοποθεσιών, ενώ οι αρχιτέκτονες μπορούν να βοηθήσουν στην ανάλυση της δομής και του σχεδιασμού των κτηρίων. Οι τοπογράφοι-μηχανικοί μπορούν να παρέχουν γνώσεις σχετικά με το γεωμορφολογικό περιβάλλον και τις μεταβολές του τοπίου, ενώ οι συντηρητές μπορούν να βοηθήσουν στην προστασία και τη συντήρηση των αρχαιολογικών ευρημάτων και των αρχιτεκτονικών κατασκευών. Η συνεργασία μεταξύ αυτών των ειδικοτήτων μπορεί να οδηγήσει σε πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της ιστορίας και της σημασίας των τοποθεσιών, καθώς και στην ανάπτυξη βελτιωμένων μεθόδων ανασκαφής, ανάλυσης και προστασίας. Επιπλέον, η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών επιστημονικών πεδίων μπορεί να οδηγήσει σε νέες προσεγγίσεις, καινοτόμες ιδέες και απροσδόκητες ανακαλύψεις.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο



Χάρτης 1.1: Ο χάρτης της Ρόδου (Wikimedia Commons)



Εικόνα 1.1: Το νόμισμα της Ιαλυσού από [Αρχαία νομίσματα της Ρόδου \(pararona-rodou.blogspot.com\)](http://pararona-rodou.blogspot.com)



Εικόνα 1.2: Το νόμισμα της Λίνδου από [Αρχαία νομίσματα της Ρόδου \(pararona-rodou.blogspot.com\)](http://pararona-rodou.blogspot.com)



Εικόνα 1.3: Το νόμισμα της Ρόδου (τέλη 4^{ου} αι. π.Χ.) που απεικονίζει από τη μία πλευρά τον θεό Ήλιο και από την άλλη το ρόδο (σύμβολο του νησιού) (Wikimedia Commons)



Εικόνα 1.4: Ο Κολοσσός της Ρόδου, χρωματισμένο χαρακτηριστικό του Phillips Galle (Wikimedia Commons)

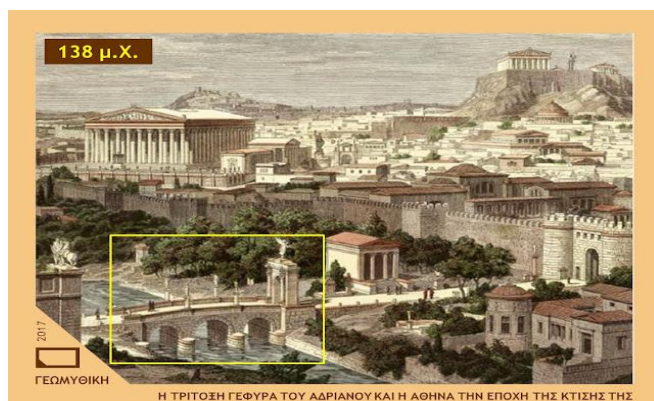
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο



Εικόνα 2.1: Η ρωμαϊκή γέφυρα Alcántara στην Ισπανία. Από [Ρωμαϊκή γέφυρα Alcántara στοκ εικόνα. εικόνα από cityscape - 48707573 \(dreamstime.com\)](#)



Εικόνα 2.2: Η ρωμαϊκή γέφυρα στον Ελευσινιακό Κηφισό. Από [Ρωμαϊκή Γέφυρα στον Ελευσινιακό Κηφισό \(τμήμα της αρχαίας Ιεράς Οδού\), Δήμος Ελευσίνας \(efada.gr\)](http://efada.gr)



Εικόνα 2.3: Η ρωμαϊκή γέφυρα στον Ιλισσό ποταμό και ο περιβάλλοντας χώρος. Από [Η τρίτοξη γέφυρα του Ιλισσού στο Παναθηναϊκό Στάδιο \(Καλλιμάραρο\). \(geomythiki.blogspot.com\)](http://geomythiki.blogspot.com)



Εικόνα 2.4: Η ρωμαϊκή γέφυρα στην είσοδο της Πάτρας. Από [Το Ρωμαϊκό Γεφύρι της Πάτρας στην Αρέθα που ένωνε κόσμους και ανθρώπους \(pics+video\) | PatrasEvents](http://PatrasEvents)



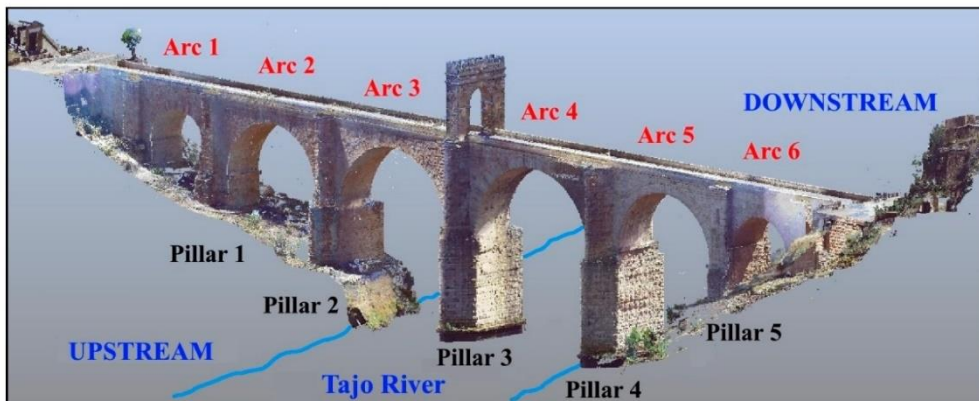
Εικόνα 2.5: Η ρωμαϊκή γέφυρα του ποταμού Αγγίτη. Από [Γέφυρα του Αγγίτη: Το αρχαίο μνημείο που «χαράχτηκε» στα χρόνια του Μεγάλου Αλεξάνδρου - CNN.gr](#)



Εικόνα 2.6: Η γέφυρα Sant Angelo. (Πηγή: <https://www.romeingreek.eu/?p=2956>).



Εικόνα 2.7: Η γέφυρα Pond du Gard. (Πηγή: <https://whc.unesco.org/en/list/344/>)



Εικόνα 2.8^α και 2.8^β: Η Γέφυρα Alcántara, από Perez, 2018).



Εικόνα 2.9: Η γέφυρα Canosa di Puglia, από Germano 2022, 3.



Εικόνα 2.10: Η σημερινή εικόνα της ρωμαϊκής γέφυρας του Αγίου Δημητρίου στη Ρόδο. Η ύπαρξη των υποστυλωμάτων κρίνεται ως απαραίτητη για την στήριξή της. Από [Μία από τις δύο αρχαιότερες γέφυρες της Ελλάδας βρίσκεται στη Ρόδο και κινδυνεύει | oikologicarodiaka \(wordpress.com\)](#)

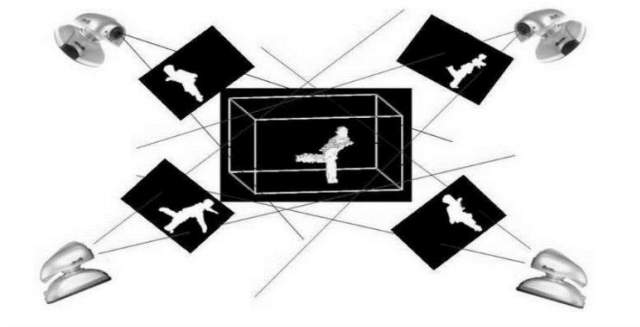


Εικόνα 2.11: Φράγμα ρέματος Ροδινιού. Στο βάθος η ρωμαϊκή γέφυρα, από Φανταουτσάκη 2006, 1314, εικ. 54.

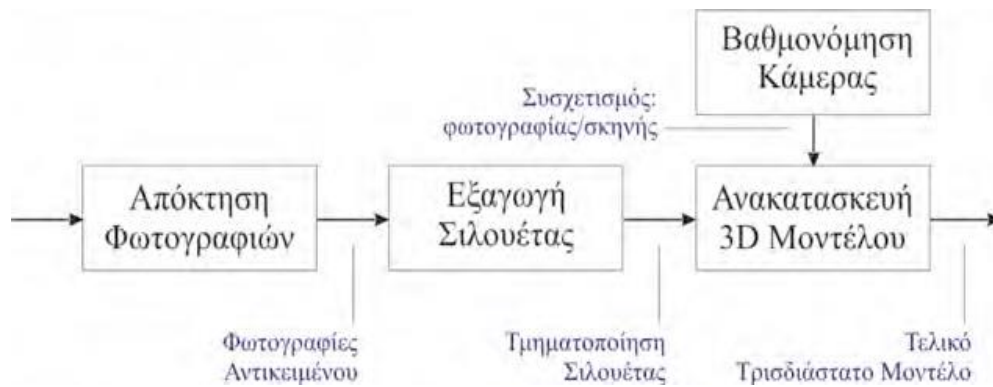


Εικόνα 2.12: Η νεκρόπολη της Ρόδου στο Καρακόνερο, από <https://efadod.gr/portfolio/νεκρόπολη-καρακόνερου/>

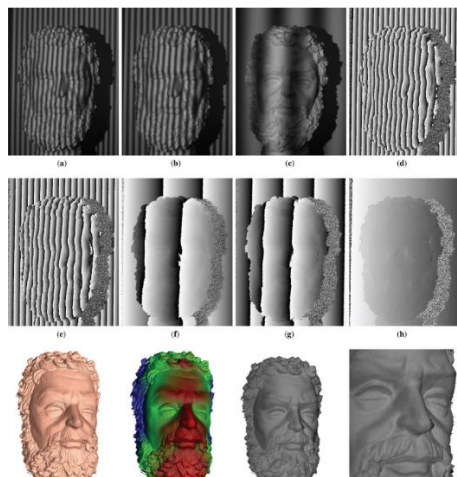
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο



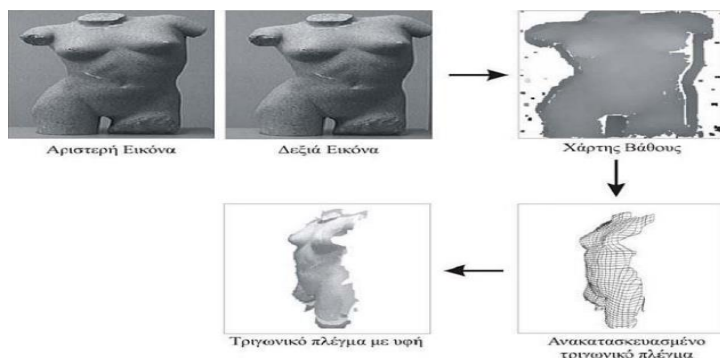
Εικόνα 3.1: Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου με την τεχνική από σιλουέτα, από Hansung et al 2004, 4, εικ. 3.



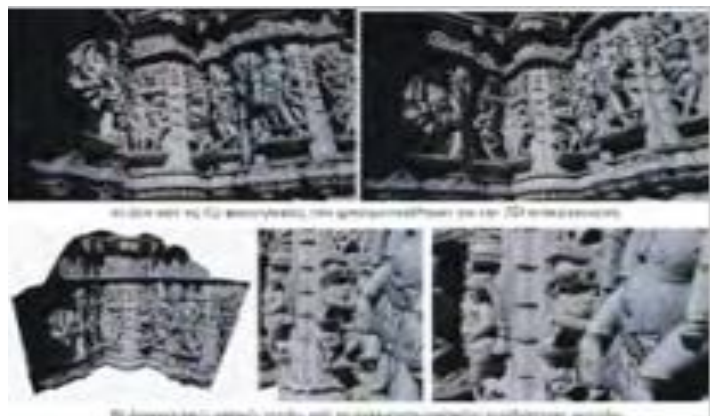
Εικόνα 3.2: Διάγραμμα ροής ανακατασκευής τρισδιάστατου μοντέλου, από Παυλίδης, Σεβετλίδης και Χαραλαμπίδου, 2014, Εικ 12



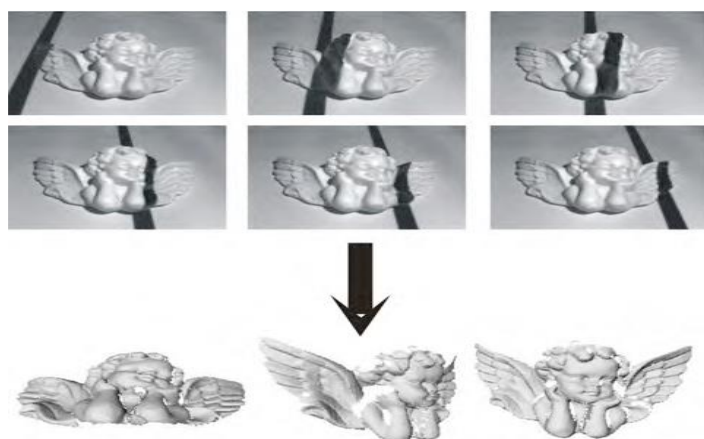
Εικόνα 3.3: Προβολή χρωματικού κωδικοποιημένου μοτίβου, από Tyler et al 2016, 10, εικ. 10.



Εικόνα 3.4: Σχήμα από στερεοφωτογράφιση, από Παυλίδης κ.α 2014, 5, πιν. 1



Εικόνα 3.5: Σχήμα από κίνηση-σχήμα από ακολουθία εικόνων, από Παυλίδης κ.α 2014, 5, πιν. 1.



Εικόνα 3.6: Ανάκτηση γεωμετρίας με την τεχνική Σχήμα από Σκιά., Παυλίδης, Σεβελίδης και Χαραλαμπίδου, 2014, Εικ 28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο



Εικόνα 4.1: Τα τέσσερα μνημεία μελέτης στη Ρόδο, από Tarinaki et.al 2021, 1, εικ. 1



Εικόνα 4.2: Τοπογραφικός Γεωδαιτικός Σταθμός από <http://surveyingsystem.blogspot.com/>



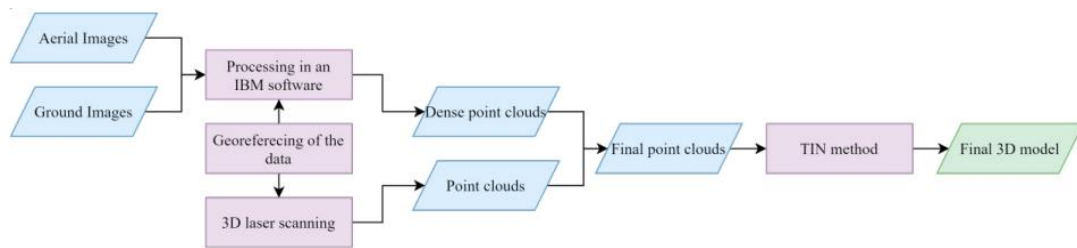
Εικόνα 4.3: Το σύστημα MAVIC 2, από <https://www.copters.gr/mavic-2-pro.html>



Εικόνα 4.4: Ψηφιακή Φωτογραφική μηχανή CANONEOS 6D από https://www.canon.gr/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_6d/specification.html



Εικόνα 4.5: Επίγεια σάρωση λέιζερ LeicaBLK 360, από <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>



Εικόνα 4.6: Η διαδικασία για την επεξεργασία των δεδομένων από Shabani et.al 2022, 316, εικ. 1



Εικόνα 4.7: Το τρισδιάστατο μοντέλο της ρωμαϊκής γέφυρας από το λογισμικό Agisoft Metashape Professional.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Τοποθεσία πολιτιστικής κληρονομιάς	Αριθμός των εναέριων εικόνων	Αριθμός των εικόνων στο έδαφος	Αριθμός των σαρώσεων
Ρωμαϊκή γέφυρα	2576	271	(5,8 GB) 41

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας συλλογής δεδομένων από Tarinaki et al 2021, 3, πίν.

1.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Γαλερίδης, Α., 1995. *Τα πέτρινα γεφύρια της Θεσσαλίας*. Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας.

Γεωργόπουλος, Γ., Γκίκας, Β., Τελειώνη, Ε., και Τσακίρη, Μ., 2011. *Γεωδαισία. Μετρήσεις, διορθώσεις, αναγωγές, προσδιορισμός θέσης*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Γκράσσο, Γ., 2007. *Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας*. Αθήνα: Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Ευθυμίου, Π. 1961. “*Ρόδος-Λίνδος*.” Αθήναι.

Κακούρου- Χρόνη, Γ., 2017. “Σπάρτη, μια νέα πόλη πάνω στην παλιά- ενάντια στην παρακμή και τη λήθη”. *Αρχαιολογία* 123: 103- 117.

Καραθανάσης, Α. 2001. Περί την απελευθέρωση της Δωδεκάνησου, στο *Επιστημονικό συμπόσιο στη Νίσυρο. Τα Δωδεκάνησα στην Φραγκοκρατία και στην Ιταλοκρατία*, επιμέλεια από Κ.Χαρτοφύλης, 45-52. Αθήνα: Ίδρυμα εθνικού και θρησκευτικού προβληματισμού.

Κόλλιας, Η. 1991. *Οι ιππότες της Ρόδου. Το παλάτι και η πόλη*. Εκδοτική Αθηνών.

Λάμπρου, Ε. και Πανταζής, Γ., 2010. *Εφαρμοσμένη γεωδαισία*. Θεσσαλονίκη: εκδόσεις Ζήτη.

Λυριτζής, Ι., 2008. *Νέες Τεχνολογίες Στις Αρχαιογνωστικές Επιστήμες*. Αθήνα: εκδόσεις Gutenberg.

Lefevre, F. 2016. *Ιστορία του Αρχαίου Ελληνικού Κόσμου*. Αθήνα: Εκδόσεις Καρδαμίτσα.

Μακρής, Γ., 2004. *Οι γέφυρες στην αρχαία Ελλάδα*. Αθήνα: Αίολος.

Μαντάς, Σ., 2008. *Πέτρινα γεφύρια στη Βόρεια Ήπειρο*. Αθήνα: Αρχείο Γεφυριών Ηπειρώτικων.

Μαρκέτου, Τ. και Ι. Παπαχριστοδούλου. 2005. Ρόδος, στο *Αρχαιολογία. Νησιά του Αιγαίου*, επιμέλεια από Α. Βλαχόπουλος, 360- 371. Αθήνα: εκδοτικός οίκος Μέλισσα.

Moloney, N., 1996. *Αρχαιολογία*. Αθήνα: εκδόσεις Ντουντούμη.

Μπεληγιάννης, Γ., και Μπεληγιάννη, Ε., 2011. *Πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας*. Αθήνα: εκδόσεις Μίλητος.

Μπιλάλης, Ν. και Μαραβελάκης, Ε., 2014. *Συστήματα CAD/ CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση*. Αθήνα: Κριτική.

Παπαδόπουλος, Γ. 2014. *Ρόδος. Οι σεισμοί και τα τσουνάμι από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα*. Αθήνα: Οσελότος.

Παπαχριστοδούλου, Ι., Α. Γιαννικούρη, Τ. Δρελιώση- Ηρακλείδου, Χ. Κάντζια, Μ. Μιχαλάκη- Κόλλια, Τ. Μαρκέτου, Β. Πατσιαδου και Μ. Ι. ΦιλήμονοςΤσοποτού. 1993. *Αρχαία Ρόδος. 2.400 χρόνια*. Αθήνα: Cosmopress.

Παπαχριστοδούλου, Ι. 1989. *Οι αρχαίοι Ροδιακοί δήμοι*. Αθήνα: Βιβλιοθήκη της εν Αθήναις αρχαιολογικής εταιρίας.

Παπαχριστοδούλου, Ι. 1994. *Ιστορία της Ρόδου. Από τους προϊστορικούς χρόνους έως την ενσωμάτωση της Δωδεκανήσου (1948)*. Β' έκδοση. Αθήνα: Ιδιωτική έκδοση.

Πατιάς, Π., 1991. *Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία*. Θεσσαλονίκη: εκδόσεις Ζήτη.

Πατιάς, Π., 2008. «Φωτογραμμετρία και τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων και ευρημάτων με απλά λόγια» Ανάσκαμμα 02 . [untitled \(wordpress.com\)](http://untitled.wordpress.com) .

Πατσιαδά, Β., 2013. *Μνημειώδες ταφικό συγκρότημα στη νεκρόπολη της Ρόδου*. Αθήνα: Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού.

Πατσιαδά, Β., 2013. Η αρχιτεκτονική του τοπίου στην πόλη της Ρόδου, σε *Όλβιος Άνερ, μελέτες στη μνήμη του Γρηγόρη Κωνσταντόπουλου*, επιμέλεια από Α., Γιαννικούρη, 47- 77. Αθήνα: Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού.

Παυλίδης, Γ., Σεβελίδης Β. και Χαραλαμπίδους Μ. 2014. ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ 2.1.1 Μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης αντικειμένων και χώρων

Ενότητα Εργασίας 2. Τεχνικές βέλτιστης ψηφιοποίησης και μοντελοποίησης εκθεμάτων και χώρων Παραδοτέο 2.1. Αξιολόγηση τεχνικών ψηφιοποίησης και μοντελοποίησης *IEA- Ινστιτούτο Επεξεργασίας του Λόγου, ΑΘΗΝΑ 20-52.*

Ρεβιθιάδου- Τσότσου, Α., 2015. *Λίθινες τοξωτές γέφυρες της Άνδρου*. Άνδρος: Καίρειος Βιβλιοθήκη.

Renfrew, C. and Bahn, P., 2001. *Αρχαιολογία, θεωρίες, μεθοδολογία και πρακτικές εφαρμογές*. Αθήνα: Καρδαμίτσας.

Sassi- Perino, A., and Faraggiana, G. 2005. *Γέφυρες*. Αθήνα: εκδόσεις Καρακώτσογλου.

Shipley, G. 2015. *Ο Ελληνικός κόσμος μετά τον Αλέξανδρο*. Αθήνα: ΜΙΕΤ

Στεφανάκης, Μ., 2012. *Εισαγωγή στην κλασσική αρχαιολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Ιάμβλυχος.

Στεφανάκης Ι. Μ. και Ε. Δημητρίου 2015. *Τα νομίσματα της νήσου Ρόδου κατά την Αρχαιότητα - Ιαλυσός - Λίνδος - Κάμιρος - Ρόδος*. Αθήνα: Εκδόσεις Καρδαμίτσα

Συλλογικό έργο, 1994. *Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Λαρούς Μπριτάνικα, 60^{ος} τόμος*. Αθήνα: Εκδοτικός Οργανισμός Πάπυρος.

Συμεωνίδης, Π., 2007. *Σαρωτές laser: τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές*. Σέρρες: Τμήμα Εκδόσεων και Βιβλιοθήκης ΤΕΙ Σερρών.

Τζανάκης, Δ., και Βασιλάκης, Β., 2014. *Χρήση λογισμικού για την 3D ψηφιακή καταγραφή αντικειμένων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς με σκοπό την αξιοποίησή τους στην εκπαίδευση, στο Πανελλήνιο Συνέδριο «Η εκπαίδευση στην εποχή των Τ.Π.Ε.»*, επιμέλεια από Πατσιομίτου, Σ., 880- 887, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.

Τιβέριος Μ. 2010. «*Εφαρμογή νέων τεχνολογιών στην αρχαιολογία.*» *Ανάσκαμμα*, Τεύχος 04, 103-104.

Treuil, R., P. Darcque, J.-Cl. Poursat, and G. Touchais. 2015. *Οι πολιτισμοί του Αιγαίου, 2^η εκδ.* Αθήνα: Εκδόσεις Καρδαμίτσα.

Φανταουσάκη, Χ., 2006. «Φράγμα ρεύματος Ροδινίου (Οδός Κλαυδίου Πέππερ)» *Αρχαιολογικό Δελτίο*, 61, 1314- 1315.

Φιλήμονος-Τσοποτού, Μ. 2021. «Αρχαιολογική εφημερίς περιοδικόν της εν Αθηναις αρχαιολογικής εταιρίας» 160 Περίοδος πέμπτη, 33-62

Φιλήμονος, Μ. 1996. Το ρυμοτομικό σχέδιο και η πολεοδομική οργάνωση της αρχαίας Ρόδου, στο *Διεθνές Επιστημονικό Συμπόσιο «Ρόδος 24 αιώνες» 1-5 Οκτωβρίου 1992*, επιμέλεια από Γκιζέλη, Γ., 61-89.

B. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Albertz, J., 2001. Albrecht Meydenbauer – Pioneer Of Photogrammetric Documentation Of The Cultural Heritage. Proceedings 18th International Symposium CIPA. September 18 - 21.

Aldrete, G. S. 2007. *Floods of the Tiber in Ancient Rome*. Baltimore, 10–45.

Anderson, R. C., 1982. *Photogrammetry: The pros and cons for archaeology*. *World Archaeology*, 14(2), 200–205

Benli, G. and Ozer, D. G., 2015. “Use of laser scanning for cultural heritage documentation”. *International journal of electronics, mechanical and mechatronics engineering* 3: 447- 454.

Bessac, J. C. 2003. Nouvelles traces du chantier romain du pont du Gard. *Revue archéologique de Narbonnaise*, 36(1), 177-198.

Brevern, J. 2011. *Fototopografia: The “Futures Past” of Surveying*. *Intermediality History and Theory of the Arts, Literature and Technologies*. Numéro 17: 53-67

Chatzifoti, O. 2015. *On the Popularization/Democratization of Digital Close Range Photogrammetry: Guidebook for Non Experts/A Theoretical and Practical Handbook*. School of Surveying- Engineering. National University of Athens. (Μεταπτυχιακή εργασία)

Chelotti, M., Morizio, V., Silvestrini, M. 1990. *Le epigrafi romane di Canosa II, Edipuglia, Bari*, ISBN: 978-88-7228-065-2.

Crespo, D.; Grau, Y.M. 2007. *Restaurar una obra pública en la época de la Ilustración: El puente de Alcántara. In Congreso Nacional de Historia de la Construcción*; SEHC: Burgos, Spain, pp. 243–252.

Dowman, I. 2004. Geoinformation—Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems. By GOTTFRIEDKONECNY. (London: Taylor and Francis, 2002). *Paperback. International Journal of Geographical Information Science*, 18(2), 106-108

D'Amelio, M. G. 2008. La magnificenza del ponte: funzione Erappresentazione nel ponte Sant'Angelo a Roma nel XVII secolo. *La magnificenza del ponte*, 1000-1012

Eck, W. 2010. Monument und Inschrift. *Gesammelte Aufsätze York senatorischen Repräsentation in der Kaiserzeit*. Hrsg. von W. AMELING und J. HEINRICHS. Berlin – New York, 275–298.

Fuente, M. D., 2003. An endeavour to identify roman bridges built in former Hispania. [AN ENDEAVOUR TO IDENTIFY ROMAN BRIDGES BUILT IN FORMER HISPANIA \(traianvs.net\)](http://traianvs.net)

Gabrielsen, V. 2000. The synoikised polis of Rhodes, in *Polis and Politics. Studies in Ancient Greek History, Presented to Mogens Herman Hansen on his Sixtieth Borthday, August 20, 2000*, edited by P. Flensted-Jensen, Th. H. Nielsen and L. Rubinstein, 177-205. Copenhagen : Museum of Tusculamun Press.

Gabrielsen, V. and Nielsen, T. H. 2004. Rhodes, in *An inventory of archaic and classic polis*, edited by M. H. Hansen and Th. H. Nielsen, 1196- 1210. Oxford: Oxford University Press.

Galliazzo, V. 2004. *I PONTI ROMANI. In II Congreso de las Obras Públicas Romanas*; CoITOP: Tarragona, Spain; pp. 9–23.

- Georgopoulos, A., 2014. *Chapter XX Cultural Heritage photogrammetry*. Unpublished master's notes. Innova virtual archaeology international network.
- Gonzalez, A., Wiener, M., Salas, B., and Mungaray, A., 2020. Bridges: structures and materials, ancient and modern. [\(PDF\) Bridges: Structures and Materials, Ancient and Modern \(researchgate.net\)](#)
- Guedes Soares, C. 2003. *Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; Volume 3, pp. 167–180.
- Goodman, D.; Piro, Y.S. 2013. GPR Imaging on Historical Buildings and Structures. In *GPR Remote Sensing in Archaeology*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 143–157.
- Griffith, A. 2009. The Pons Sublicius in Context: Revisiting Rome's First Public Work. *Phoenix* 63, 296–321
- Germano, G. 2022. Ancient metrology in architecture: a new approach in the study of the Roman bridge of Canosa di Puglia (Italy), *Acta IMEKO*, vol. 11, no. 1, article 16, March 2022, identifier: IMEKO-ACTA-11, 1-7.
- Hauck, G. F. 1986. Structural Design of the Pont du Gard. *Journal of Structural Engineering*, 112(1), 105-120.
- Ioannides. M., Magnenat-Thalmann. N., Papagiannakis. G., 2017. *Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage*. Springer International Publishing AG: 30
- Kalas, G. 2010. Writing and Restoration in Rome. Inscriptions, Statues and the Late Antique Preservation of Buildings. In GOODSON, C. – LESTER, A. E. – SYMES, C. (ed.): *Cities, Texts, and Social Networks, 400–1500. Experiences and Perceptions of Medieval Urban Space*. Farnham, 21–45
- Kebric, R. 2019a. "The Colossus of Rhodes: Its Height and Pedestal", *Athens Journal of Humanities & Arts*, 6(4):259-295.
- Kebric, R. 2019b. "The Colossus of Rhodes: Some Observations about Its Location", *Athens Journal of History*, 5(2):83-114.

- Letellier, R. 2002. *Recording, Documentation, and Information Management for the Conversation of Heritage Places*. The Getty Conversation Institute.
- López García, M. 2001. Criterios de actuación en la reparación del puente de Alcántara: Respeto y economía. El informe del ingeniero Pelilla (1841). *OP Rev. Col. Ing. Caminos Canales Puertos*, 56, 76–81.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S & Harley, IA., 2006. Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications. *Published by Whittles Publishing, 13-15*
- Babic, M. 2013. “Ancient Roman bridges and their social significance”. *Acta antiqua* 53: 61- 72.
- Mc Coy, M., and Ladefoged, T., 2009. “New developments in the use of spatial technology in archeology”. *Journal of archeological research* 17: 263-295.
- Miles, M. 2012. Entering Demeter’s Gateway: The Roman Propylon in the City Eleusinion, in *Architecture of the Sacred*, edited by B. Wescoat & R. Ousterhout. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maryon, H. 1956. “The Colossus of Rhodes”. *The Journal of Hellenic Studies*, 76:68-86. doi:10.2307/629554.
- Marshall, D. R. 2003. Piranesi, Juvarra, and the Triumphal Bridge Tradition. *ArtB* 85, 321–352.
- Montagu, J. 1976. *"The History and Decoration of the Ponte S. Angelo."* p. 34-35.
- O’ Connor, C. , 1993. *Roman bridges*. Great Britain: Cambridge University Press.
- Papachristodoulou, I. 1999. The Rhodian Demes within the Framework of the Function of the Rhodian State, in *Hellenistic Rhodes. Politics, Culture and Society*, edited by V. Gabrielsen, P. Bilde, T. Engderg- Petersen and J. Zahle, 90-102. Aarhus: Aarhus University.

- Paillet, J. L. 2005. *Réflexions sur la construction du Pont du Gard*. Gallia, 49-68.
- Schenk, T., 2005. *Introduction to Photogrammetry*; Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science The Ohio State University: Columbus, OH, USA, 2005; 41
- Richardson, L. 1992. *A New Topographical Dictionary of Ancient Rome*. Baltimore and London, 296–299.
- Smith, N. A. F. 1990-91. The Pont du gard and the aqueduct of nîmes. *Transactions of the Newcomen Society*, 62(1), 53-80.
- Seppilli, A. 1977. *Sacralità dell'acqua a sacrilegio dei ponti*. Palermo, 272–276.
- Stojaković, V., 2008. Terrestrial photogrammetry and application to modeling architectural objects. *Facta Universitatis - series : Architecture and Civil Engineering*. 114.
- Sonkoly, G., & Vahtikari, T., 2018. *Innovation in cultural heritage research. For an integrated European Research Policy*. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- S. Tapinaki, M. Skamantzari, A. Anastasiou, S. Koutros, E. Syrokou, and A. Georgopoulos. 2021. *3D holistic documentation of heritage monuments in rhodes*. Laboratory of Photogrammetry, School of Rural, Surveying and Geoinformatics Engineering, National Technical University of Athens, Greece
- Tosovic, S., Sablatnig, R. , and Kampe, M., 2002. On combining shape from silhouette and shape from structured light, in *Proceedings of 7th Computer Vision Winter Workshop* , edited by H. Wildenauer, and W. Kropatsch, 108-118. Wien: Vienna University of Technology.
- Taylor, R. 2000. *Public Needs and Private Pleasures: Water Distribution, the Tiber River and the Urban Development of Ancient Rome*. Roma, 131–165.

Taylor, R. 2002. *The Tiber Bridges and the Development of the Ancient City of Rome. The Waters of Rome*, 1–20 (online: http://www3.iath.virginia.edu/waters/taylor_bridges.html).

Troyano, Leonardo F. 2003. *Bridge Engineering: A Global Perspective*. Thomas Telford. pp. 86, 94, 100–107. ISBN 978-0-7277-3215-6.

Turner, A. R. 1975. Mark S. Weil. *The History and Decoration of the Ponte S. Angelo*. University Park-London: The Pennsylvania State University Press, 1974. *Renaissance Quarterly*, 28(2), 264-265.

Terpstra, T., Dickinson, J., and Hashemian, A. 2018. *Using Multiple Photographs and USGS LiDAR to Improve Photogrammetric Accuracy*. Brazil: SAE International.

Wiemer, H. U. 2002. “Economics and politics in Hellenistic Rhodes.”. *HistorischeZeitschrift* 275: 561- 591.

Wallace, C. 2016. “Photogrammetry in Mediterranean Archaeology”. Master of Environmental Studies in Geography. University of Waterloo.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Γεωμυθική. 2019, 24 Απριλίου. [Η τρίτοξη γέφυρα του Ιλισσού στο Παναθηναϊκό Στάδιο \(Καλλιμάρμαρο\). \(geomythiki.blogspot.com\)](http://www.geomythiki.blogspot.com) Τελευταία πρόσβαση: 8/7/2023.

Γεωργόπουλος Α., Ταπεινάκη Σ. 2018. *Προδιαγραφές γεωμετρικής τεκμηρίωσης Οργάνωση εργασιών, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. <https://docplayer.gr/52069774-Prodiagrafes-geometrikis-tekmiriosis-organosi-ergasion.html>. Τελευταία πρόσβαση: 10/2/2023

Επίσημη ιστοσελίδα για το πρόγραμμα Υπερίων της Εφορείας Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου <https://www.hyperion-project.eu/>. Τελευταία πρόσβαση 12/5/2023

Επίσημη ιστοσελίδα της Εφορείας Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής. [Ρωμαϊκή Γέφυρα στον Ελευσινιακό Κηφισό \(τμήμα της αρχαίας Ιεράς Οδού\), Δήμος Ελευσίνας \(efada.gr\)](#). Τελευταία πρόσβαση: 6/7/2023

Ιστοσελίδα για τη γεωμετρική τεκμηρίωση

<https://www.yσμα.gr/%CF%84%CE%B5%CE%BA%CE%BC%CE%B7%CF%81%CE%AF%CF%89%CF%83%CE%B7/%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%B%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%84%CE%B5%CE%BA%CE%BC%CE%B7%CF%81%CE%AF%CF%89%CF%83%CE%B7/>. Τελευταία πρόσβαση 12/5/2023

Ιστοσελίδα με τις προδιαγραφές του Leica BLK 360 <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>. Τελευταία πρόσβαση 15/5/2023

Ιστοσελίδα με τις προδιαγραφές του Mavic 2 PRO <https://www.copters.gr/mavic-2-pro.html>. Τελευταία πρόσβαση: 15/5/2023

Οικολογicarodiaka. 2011, 21 Σεπτεμβρίου. [Μία από τις δύο αρχαιότερες γέφυρες της Ελλάδας βρίσκεται στη Ρόδο και κινδυνεύει | οικολογicarodiaka \(wordpress.com\)](#). Τελευταία πρόσβαση: 20/3/2023

Τοκμακίδης Κ. 2014. «Αποτυπώσεις Μνημείων & Αρχαιολογικών Χώρων». Πανεπιστημιακές εκδόσεις Α.Π.Θ. Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών.

https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS195/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%95%CE%9D%CE%9F%CE%A4%CE%97%CE%A4%CE%91_01.pdf. Τελευταία πρόσβαση: 18/4/2023