



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών
Αποτύπωση και Τεκμηρίωση Μνημείων
και Αρχαιολογικών Χώρων

Διπλωματική Εργασία

Εφαρμογές Φωτογραμμετρίας και Επαυξημένης/Μεικτής
Πραγματικότητας για την Ενίσχυση της Μουσειακής Εμπειρίας

Σταύρος-Άγγελος Σαριδάκης

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Σοφία-Μαρία Πουλημένου

Αθήνα, Ιούνιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή/της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Εφαρμογές Φωτογραμμετρίας και Επαυξημένης/Μεικτής Πραγματικότητας για την Ενίσχυση της Μουσειακής Εμπειρίας

Σταύρος-Άγγελος Σαριδάκης

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Σοφία-Μαρία Πουλημένου

Μέλος ΣΕΠ, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Δανάη Φαίδρα Ποκομπέλλι

Μέλος ΣΕΠ, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Αθήνα, Ιούνιος 2026

Περίληψη

Η ραγδαία εξέλιξη των ψηφιακών τεχνολογιών έχει μετασχηματίσει σημαντικά το πεδίο των μουσείων και της πολιτιστικής κληρονομιάς, εισάγοντας νέες δυνατότητες στην τεκμηρίωση, την ερμηνεία και την παρουσίαση των εκθεμάτων. Τεχνολογίες όπως η φωτογραμμετρία, η Επαυξημένη και η Μεικτή Πραγματικότητα συμβάλλουν στη διαμόρφωση υβριδικών μουσειακών περιβαλλόντων, στα οποία η εμπειρία του επισκέπτη καθίσταται περισσότερο διαδραστική και πολυεπίπεδη. Η παρούσα εργασία διερευνά τον ρόλο και τις προϋποθέσεις αξιοποίησης των τεχνολογιών αυτών στο μουσειακό περιβάλλον, με στόχο την αποτίμηση της συμβολής τους τόσο στη διαδικασία τεκμηρίωσης όσο και στην επικοινωνία της πολιτιστικής πληροφορίας. Η έρευνα βασίζεται σε βιβλιογραφική ανάλυση και στη μελέτη επιλεγμένων παραδειγμάτων και περιπτώσεων εφαρμογής σε περιβάλλοντα πολιτιστικής κληρονομιάς. Ταυτόχρονα, υιοθετείται μια κριτική προσέγγιση που εξετάζει όχι μόνο τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών εφαρμογών, όπως η ενίσχυση της προσβασιμότητας και η δημιουργία εμβυθιστικών εμπειριών, αλλά και τα ζητήματα που προκύπτουν, όπως η αυθεντικότητα, η αξιοπιστία της πληροφορίας και ο κίνδυνος απομάκρυνσης από το αυθεντικό αντικείμενο. Συμπερασματικά, υποστηρίζεται ότι η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών μπορεί να ενισχύσει ουσιαστικά τη μουσειακή εμπειρία, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται με τρόπο κριτικό και ισορροπημένο, λειτουργώντας συμπληρωματικά προς το φυσικό έκθεμα και όχι ως υποκατάστατό του.

Λέξεις – Κλειδιά

Φωτογραμμετρία, Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR), Μεικτή Πραγματικότητα (MR), μουσειακή εμπειρία, πολιτιστική κληρονομιά, ψηφιακές τεχνολογίες, διαδραστικά περιβάλλοντα

Applications of Photogrammetry and Augmented/Mixed Reality for Enhancing the Museum Experience

Stavros-Angelos Saridakis

Abstract

The rapid development of digital technologies has significantly transformed the field of museums and cultural heritage, introducing new possibilities for the documentation, interpretation, and presentation of exhibits. Technologies such as photogrammetry, Augmented Reality (AR), and Mixed Reality (MR) contribute to the formation of hybrid museum environments, in which the visitor experience becomes more interactive and multi-layered. This thesis investigates the role and the conditions under which these technologies can be effectively applied within the museum context, aiming to assess their contribution both to documentation processes and to the communication of cultural information. The research is based on a literature review and the analysis of selected examples and case studies in cultural heritage environments. At the same time, a critical approach is adopted, examining not only the advantages of digital applications, such as enhanced accessibility and the creation of immersive experiences, but also the challenges that arise, including issues of authenticity, reliability of information, and the risk of distancing from the original object. In conclusion, it is argued that the integration of digital technologies can substantially enhance the museum experience, provided that it is implemented in a critical and balanced manner, functioning as a complement to the physical exhibit rather than as a substitute for it.

Keywords

Photogrammetry, Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR), museum experience, cultural heritage, digital technologies, interactive environments

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	iv
Abstract	v
Πίνακας Περιεχομένων	vi
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	viii
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγικά Στοιχεία.....	1
1.1 Ερευνητικό ερώτημα και στόχος εργασίας.....	1
1.2 Μεθοδολογία έρευνας, δομή των κεφαλαίων και βιβλιογραφική ανασκόπηση	2
Κεφάλαιο 2 – Θεωρητικό Πλαίσιο	12
2.1 Μουσείο: ορισμός, ρόλος, μουσειακή εμπειρία και ψηφιακές τεχνολογίες	12
<i>Ορισμός και εννοιολογική προσέγγιση του μουσείου</i>	<i>12</i>
<i>Ο μεταβαλλόμενος ρόλος του μουσείου και η μουσειακή εμπειρία.....</i>	<i>13</i>
<i>Ο ρόλος των ψηφιακών τεχνολογιών (φωτογραμμετρίας, Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας) στο μουσειακό περιβάλλον</i>	<i>15</i>
2.2 Φωτογραμμετρία	16
<i>Ιστορικά στοιχεία.....</i>	<i>16</i>
<i>Βασικές έννοιες και εφαρμογές</i>	<i>17</i>
2.3 Τεχνολογίες Επαυξημένης, Μεικτής και Εικονικής Πραγματικότητας	18
<i>Οι απαρχές των τεχνολογιών εμβύθισης (immersion)</i>	<i>18</i>
<i>Τεχνολογίες εμβύθισης στο μουσειακό περιβάλλον.....</i>	<i>20</i>
2.4 Το Συνεχές Πραγματικότητας–Εικονικότητας (Reality–Virtuality Continuum).....	22
<i>Augmented Reality (AR)</i>	<i>22</i>
<i>Virtual Reality (VR)</i>	<i>23</i>
<i>Augmented Virtuality (AV)</i>	<i>23</i>
<i>Mixed Reality (MR).....</i>	<i>24</i>
2.5 Γιατί συγκεκριμένα φωτογραμμετρία και τεχνολογίες Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας;	24
Κεφάλαιο 3 – Φωτογραμμετρία και Ψηφιακή Αποτύπωση Πολιτιστικής Κληρονομιάς	27
3.1 – Τεκμηρίωση, έρευνα και συντήρηση.....	28
3.2 – Εκπαίδευση, μουσεία και ψηφιακή εμπειρία	31
3.3 – Διάσωση πολιτιστικής κληρονομιάς και πληθοπορισμός.....	35

Κεφάλαιο 4 – Επαυξημένη και Μεικτή Πραγματικότητα σε Μουσειακά Περιβάλλοντα.....	39
4.1 – Οπτική αποκατάσταση και ανασύνθεση αντικειμένων	40
4.2 – Παρουσίαση αντικειμένων που δεν βρίσκονται φυσικά στον χώρο	41
4.3 – Επαύξηση πληροφορίας: εκπαιδευτική αξία, αποτελεσματικότητα και ο κίνδυνος της «πληροφοριακής υπερφόρτωσης».....	44
4.4 – «Παράλληλα», δια-μουσειακές συνδέσεις και αυθεντικότητα	49
Κεφάλαιο 5 – Ερευνητικά Αποτελέσματα, Συμπερασματικές Παρατηρήσεις και Προτάσεις για Μελλοντική Διερεύνηση	53
5.1 – Διαφορετικοί ρόλοι των τεχνολογιών.....	53
5.2 – Κριτήρια αναγκαιότητας για την εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών σε μουσειακά περιβάλλοντα	57
<i>Κριτήριο γνωστικής υπεραξίας</i>	58
<i>Κριτήριο αναντικατάστατης εμπειρίας</i>	59
<i>Κριτήριο χωρικής και κοινωνικής ενσωμάτωσης</i>	60
<i>Κριτήριο χρονικής συνέχειας της εμπειρίας</i>	61
<i>Συμπέρασμα</i>	62
5.3 – Συγκριτική ανάλυση	63
5.4 – Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση	65
<i>Εμπειρική αξιολόγηση της επίδρασης των τεχνολογιών στην εμπειρία των επισκεπτών...</i>	65
<i>Πιο ενεργή ενσωμάτωση φωτογραμμετρικών μοντέλων στη μουσειακή εμπειρία</i>	65
<i>Σχέση μεταξύ ψηφιακής εμπειρίας και φυσικής επίσκεψης στο μουσείο</i>	66
<i>Διαρκής ανανέωση των δεδομένων και της έρευνας στον τομέα των ψηφιακών τεχνολογιών</i>	66
Βιβλιογραφικές Αναφορές και Πηγές.....	68

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

2D	Two-Dimensional
3D	Three-Dimensional
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
AV	Augmented Virtuality
DPO	Digitization Program Office
HMD	Head-Mounted Display
ICOM	International Council of Museums
IR	Infrared
KARMA	Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance
LiDAR	Light Detection and Ranging
MoMA	The Museum of Modern Art
MR	Mixed Reality
MVS	Multi-View Stereo
QR	Quick Response
RE	Real Environment
SFM	Structure from Motion
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VE	Virtual Environment
VR	Virtual Reality
XR	Extended Reality

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγικά Στοιχεία

1.1 Ερευνητικό ερώτημα και στόχος εργασίας

Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη των ψηφιακών τεχνολογιών έχει επηρεάσει καθοριστικά τον τρόπο με τον οποίο παράγεται, διαχειρίζεται και μεταδίδεται η γνώση, επηρεάζοντας αναπόφευκτα και τον χώρο των μουσείων και της πολιτιστικής κληρονομιάς. Τεχνολογίες όπως η φωτογραμμετρία, η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality – AR) και η Μεικτή Πραγματικότητα (Mixed Reality – MR) έχουν εισαχθεί δυναμικά στη μουσειακή πρακτική, προσφέροντας νέες δυνατότητες τεκμηρίωσης, ερμηνείας και παρουσίασης των εκθεμάτων. Στο πλαίσιο αυτό, η μουσειακή εμπειρία δεν περιορίζεται πλέον σε μια παθητική διαδικασία παρατήρησης, αλλά μετασχηματίζεται σε μια πιο διαδραστική και πολυεπίπεδη εμπειρία, όπου ο επισκέπτης καλείται να συμμετάσχει ενεργά στη διαδικασία πρόσληψης της γνώσης. Όπως είναι φυσικό, αυτή η αυξανόμενη ενσωμάτωση της τεχνολογίας καθιστά αναγκαία μια συστηματική και κριτική διερεύνηση του ρόλου που διαδραματίζει κάθε μια από τις εφαρμογές της. Πέραν των σημαντικών και εμφανών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν, όπως η ενίσχυση της προσβασιμότητας, η δυνατότητα ψηφιακής τεκμηρίωσης και η δημιουργία εμβυσιστικών εμπειριών, εγείρονται παράλληλα ζητήματα που αφορούν την αυθεντικότητα, την αξιοπιστία της πληροφορίας, καθώς και τον κίνδυνο υποκατάστασης της άμεσης επαφής με το αυθεντικό αντικείμενο. Υπό αυτήν την οπτική, η χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται ως αυτοσκοπός, αλλά απαιτεί μια ισορροπημένη προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη τόσο τις δυνατότητες όσο και τους περιορισμούς τους.

Βασικό ερευνητικό ερώτημα της παρούσας εργασίας αποτελεί το κατά πόσο και υπό ποιες προϋποθέσεις οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη μουσειακή εμπειρία, χωρίς να αλλοιώνουν τον χαρακτήρα και τον ρόλο του μουσείου. Στο πλαίσιο αυτό, κύριος στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση της λειτουργίας και της εφαρμογής της φωτογραμμετρίας, της Επαυξημένης και της Μεικτής Πραγματικότητας, μέσα από παραδείγματα και μελέτες περίπτωσης σε περιβάλλοντα πολιτιστικής κληρονομιάς, καθώς και η αξιολόγηση της συμβολής τους τόσο στην τεκμηρίωση όσο και στην επικοινωνία της πολιτιστικής πληροφορίας. Παράλληλα, επιδιώκεται η ανάδειξη των ορίων και των προκλήσεων που συνοδεύουν την ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών. Τέλος, η εργασία

φιλοδοξεί να συμβάλει στη διαμόρφωση μιας κριτικής προσέγγισης απέναντι στη χρήση των ψηφιακών μέσων στον μουσειακό χώρο, υποστηρίζοντας ότι η τεχνολογία οφείλει να λειτουργεί συμπληρωματικά προς το αυθεντικό αντικείμενο και όχι να το αντικαθιστά. Μέσα από τη διερεύνηση αυτή, επιχειρείται η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι σύγχρονες τεχνολογικές πρακτικές μπορούν να ενισχύσουν ουσιαστικά τη μουσειακή εμπειρία, διατηρώντας παράλληλα τον εκπαιδευτικό και πολιτισμικό χαρακτήρα του μουσείου.

1.2 Μεθοδολογία έρευνας, δομή των κεφαλαίων και βιβλιογραφική ανασκόπηση

Προτού προχωρήσουμε στην ίδια την ανάλυση, κρίνεται σκόπιμο να αποσαφηνιστεί η δομή που ακολουθείται, προκειμένου να διευκολυνθεί η κατανόηση της μεθοδολογικής προσέγγισης και της λογικής οργάνωσης της εργασίας. Η παρούσα έρευνα ακολουθεί μια βιβλιογραφική και συνθετική προσέγγιση, η οποία, σε πρώτη φάση, στηρίζεται στην ανάλυση και σύνθεση επιλεγμένων διεθνών πηγών από τους χώρους της μουσειολογίας, της τεκμηρίωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς, των ψηφιακών τεχνολογιών, αλλά και της εκπαίδευσης και της ψυχολογίας, και σε δεύτερη φάση ενισχύεται με την εξέταση επιλεγμένων παραδειγμάτων και μελετών περίπτωσης. Μέσα από τη σύγκριση και ενσωμάτωση διαφορετικών θεωρητικών πλαισίων επιχειρείται η διατύπωση μιας κριτικής προσέγγισης, η οποία αποσκοπεί στην ανάδειξη τόσο των πλεονεκτημάτων όσο και των περιορισμών των εφαρμογών αυτών των τεχνολογιών στο μουσειακό περιβάλλον. Η οργάνωση των κεφαλαίων ακολουθεί μια λογική πορεία από το θεωρητικό πλαίσιο (Κεφάλαιο 2) προς την εμπειρική ανάλυση των μελετών περίπτωσης (Κεφάλαια 3 και 4) και, τελικά, στη σύνθεση των ερευνητικών αποτελεσμάτων (Κεφάλαιο 5).

Το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας, που αναπτύσσεται στο πρώτο μέρος της εργασίας (Κεφάλαιο 2), βασίζεται σε επιλεγμένη διεθνή βιβλιογραφία από τον χώρο της μουσειολογίας και των ψηφιακών τεχνολογιών. Αρχικά, στην Ενότητα 2.1, εξετάζεται εννοιολογικά ο ρόλος του μουσείου μέσα από θεμελιώδεις προσεγγίσεις, όπως ο θεσμικός ορισμός του Διεθνούς Συμβουλίου Μουσείων (International Council of Museums – ICOM), καθώς και οι ερμηνευτικές προτάσεις των Desvallées και Mairesse (2010), οι οποίες αναδεικνύουν το μουσείο ως πολυλειτουργικό μηχανισμό διατήρησης, ερμηνείας και επικοινωνίας της πολιτιστικής κληρονομιάς. Συμπληρωματικά, αξιοποιούνται θεωρητικές

τοποθετήσεις ερευνητών όπως οι van Mensch (1992), Nora (1984) και Gregorová (1980), οι οποίοι προσεγγίζουν το μουσείο ως χώρο παραγωγής γνώσης, μνήμης και σχέσης ανθρώπου–πραγματικότητας, διευρύνοντας το πεδίο πέρα από τον στενό θεσμικό του ορισμό. Στη συνέχεια, για την κατανόηση της μουσειακής εμπειρίας υιοθετείται το «Μοντέλο Εκμάθησης μέσω Συμφραζομένων» των Falk και Dierking (1992, 2013), το οποίο αποτέλεσε βασικό θεωρητικό εργαλείο για την ανάλυση της εμπειρίας του επισκέπτη ως δυναμικής διαδικασίας που διαμορφώνεται από προσωπικούς, κοινωνικούς και χωρικούς παράγοντες. Το μοντέλο αυτό, σε συνδυασμό με σύγχρονες μελέτες όπως αυτή των Xu et al. (2025), συνέβαλε στην κατανόηση της συμμετοχικής και βιωματικής διάστασης της επίσκεψης στο μουσείο, όπου ο επισκέπτης προσεγγίζεται ως ενεργός χρήστης και συνδιαμορφωτής της εμπειρίας. Παράλληλα, το κεφάλαιο στηρίζεται σε βιβλιογραφία σχετική με την ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών στο μουσειακό περιβάλλον. Μελέτες όπως των Trunfio et al. (2022) και Lønlie et al. (2022) αξιοποιούνται για την ανάλυση του ρόλου των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας στη δημιουργία υβριδικών εμπειριών, ενώ η συμβολή της φωτογραμμετρίας εξετάζεται τόσο ως εργαλείο τεκμηρίωσης όσο και ως μέσο ενίσχυσης της ερμηνείας και της πρόσβασης στο πολιτιστικό περιεχόμενο. Τέλος, η προσέγγιση εμπλουτίζεται από θεωρητικά σχήματα της εκπαιδευτικής ψυχολογίας, όπως η θεωρία της γνωσιακής φόρτισης του Mayer (2009), η οποία χρησιμοποιείται για την κριτική αποτίμηση των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων της υπερβολικής χρήσης τεχνολογίας.

Η Ενότητα 2.2 εξετάζει εκτενώς τη φωτογραμμετρία, ως βασική τεχνολογία τρισδιάστατης καταγραφής και τεκμηρίωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Αρχικά παρουσιάζεται η ιστορική της εξέλιξη, από τις πρώτες εφαρμογές του 19ου αιώνα έως τη σύγχρονη ψηφιακή της μορφή, αξιοποιώντας μελέτες όπως των Ebert (2015) και Saif (2022). Στη συνέχεια, η ανάλυση βασίζεται σε σύγχρονη επιστημονική βιβλιογραφία (Luhmann et al., 2020· Szeliski, 2022) για την κατανόηση των βασικών αρχών λειτουργίας της φωτογραμμετρίας, καθώς και των επιμέρους σταδίων της διαδικασίας, όπως η λήψη και επεξεργασία εικόνων, η ανακατασκευή μέσω Structure from Motion (SFM) και Multi-View Stereo (MVS), και η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Παράλληλα, αξιοποιούνται μελέτες από τον χώρο της υπολογιστικής όρασης (Lowe, 2004· Furukawa & Ponce, 2010· Kazhdan & Hoppe, 2013), οι οποίες συνέβαλαν στην κατανόηση των τεχνικών αλγορίθμων που υποστηρίζουν τη διαδικασία ανακατασκευής. Επιπλέον, η σημασία της φωτογραμμετρίας για την πολιτιστική κληρονομιά αναδεικνύεται μέσα από μελέτες όπως των Santana Quintero (2014) και

Remondino και Campana (2014), που τεκμηριώνουν τον ρόλο της στη διατήρηση, ανάλυση και ψηφιακή αναπαράσταση μνημείων. Τέλος, μελέτες όπως των Gonizzi Barsanti et al. (2015) υπογραμμίζουν την ευελιξία και την προσβασιμότητα της μεθόδου, ενισχύοντας τη θέση της ως βασικού εργαλείου όχι μόνο για τεκμηρίωση αλλά και για την ανάπτυξη διαδραστικών εφαρμογών, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με τεχνολογίες Επαυξημένης και Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality – VR).

Έπειτα, στην Ενότητα 2.3, εξετάζονται οι τεχνολογίες Επαυξημένης, Μεικτής και Εικονικής Πραγματικότητας, μέσα από μια ιστορική και εννοιολογική προσέγγιση που βασίζεται σε εκτενή διεθνή βιβλιογραφία. Αρχικά, αναλύονται οι απαρχές των τεχνολογιών εμπύθισης, από πρώιμες αναφορές στη μυθοπλασία (Johnson, 2012) έως τις πρώτες τεχνολογικές υλοποιήσεις, όπως το Sensorama του Heilig και των πρώτων οθονών που τοποθετούνται στο κεφάλι από τον Sutherland, που σηματοδότησαν τη μετάβαση προς διαδραστικά υπολογιστικά περιβάλλοντα (Regrebsubla, 2015· Werner, 2024). Παράλληλα, μελέτες όπως των Schmalstieg και Höllerer (2016) αξιοποιούνται για την κατανόηση της εξέλιξης της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή και της σταδιακής σύγκλισης πραγματικού και ψηφιακού χώρου. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαμόρφωση της Επαυξημένης Πραγματικότητας ως διακριτού επιστημονικού πεδίου, μέσα από τις πρώτες εφαρμογές και θεωρητικές προσεγγίσεις των Caudell και Mizell (1992), Rosenberg (2022) και Milgram και Kishino (1994), των οποίων το μοντέλο του Συνεχούς Πραγματικότητας-Εικονικότητας αποτέλεσε βασικό εργαλείο κατανόησης της σχέσης μεταξύ πραγματικού και εικονικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, η ανάπτυξη τεχνολογικών εργαλείων, όπως το ARToolKit (Kato & Billinghurst, 1999), και πρώιμων εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας (Thomas et al., 2000), αναδεικνύεται ως καθοριστικός παράγοντας για τη διάδοση των τεχνολογιών αυτών. Στη συνέχεια, η ανάλυση εστιάζει στην εφαρμογή των τεχνολογιών εμπύθισης στο μουσειακό περιβάλλον, αξιοποιώντας μελέτες που τεκμηριώνουν τη σταδιακή ενσωμάτωσή τους από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 έως σήμερα. Ερευνητικά έργα όπως της Sparacino (2002) αναδεικνύουν τις πρώτες εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας σε μουσεία, ενώ σύγχρονες μελέτες (Rhodes, 2014· Delgado Prada, 2021· Hollinger, 2019) καταγράφουν την εξέλιξη της χρήσης Επαυξημένης και Εικονικής Πραγματικότητας σε μεγάλα πολιτιστικά ιδρύματα και τη μετατροπή τους από πειραματικά εργαλεία σε καθιερωμένες πρακτικές. Τέλος, η πρόσφατη βιβλιογραφία (Guazzaroni, 2022) αναδεικνύει τον επιταχυντικό ρόλο της πανδημίας COVID-19 στην ευρεία υιοθέτηση εικονικών εμπειριών, καθώς και τη σύγχρονη

τάση αξιοποίησης εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας σε αρχαιολογικούς χώρους και μουσεία, ενισχύοντας τη βιωματική και διαδραστική εμπειρία του επισκέπτη.

Στην Ενότητα 2.4, αναλύεται το Συνεχές Πραγματικότητα–Εικονικότητα, όπως διατυπώθηκε από τους Milgram και Kishino (1994). Μέσα από τη σχετική βιβλιογραφία (Milgram et al., 1995· Vohra, 2025), παρουσιάζεται το φάσμα που εκτείνεται από το πλήρως πραγματικό έως το πλήρως εικονικό περιβάλλον, καθώς και οι ενδιάμεσες μορφές που προκύπτουν από τον συνδυασμό τους. Στο πλαίσιο αυτό, αξιοποιούνται θεμελιώδεις ορισμοί της Επαυξημένης Πραγματικότητας, όπως εκείνος του Azuma (1997), καθώς και μεταγενέστερες επεκτάσεις του (Azuma et al., 2001· Mountain & Liarokapis, 2007), προκειμένου να αναδειχθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας, όπως η συνύπαρξη πραγματικού και εικονικού περιεχομένου, η λειτουργία σε πραγματικό χρόνο και η δυνατότητα αλληλεπίδρασης. Αντίστοιχα, η κατανόηση της Εικονικής Πραγματικότητας βασίζεται σε μελέτες όπως των Carmigniani et al. (2010) και Zhao (2009), οι οποίες σχετίζονται με τον υψηλό βαθμό εμπύθισης και την πλήρη αποδέσμευση από το φυσικό περιβάλλον. Παράλληλα, εξετάζονται οι έννοιες της Επαυξημένης Εικονικότητας (Augmented Virtuality – AV) και της Μεικτής Πραγματικότητας, όπως προκύπτουν από το ίδιο θεωρητικό πλαίσιο (Milgram & Kishino, 1994), ενώ σύγχρονες μελέτες (Evangelidis et al., 2021) συμβάλλουν στην κατανόηση των τεχνολογικών εξελίξεων που επιτρέπουν τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ πραγματικών και εικονικών στοιχείων. Μέσα από αυτή τη θεωρητική προσέγγιση καθίσταται σαφές ότι η διαφοροποίηση των τεχνολογιών Εκτεταμένης Πραγματικότητας (Extended Reality – XR) ως προς τον βαθμό εμπύθισης και τον τρόπο ενσωμάτωσης του ψηφιακού περιεχομένου, επηρεάζει άμεσα τη χρήση τους σε μουσειακά περιβάλλοντα. Το κεφάλαιο του θεωρητικού πλαισίου κλείνει (Ενότητα 2.5) με την αιτιολόγηση της επιλογής του να εστιάσει η συγκεκριμένη έρευνα αποκλειστικά και μόνο στα παραδείγματα χρήσης της φωτογραμμετρίας και των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας.

Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζεται η συμβολή της φωτογραμμετρίας στην τεκμηρίωση, έρευνα και συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, μέσα από σύγχρονη επιστημονική βιβλιογραφία και μέσα από επιλεγμένες μελέτες περίπτωσης. Αρχικά, στην Ενότητα 3.1, αξιοποιούνται μελέτες όπως του Remondino (2011) και των Aicardi et al. (2018), οι οποίες αναδεικνύουν τον ρόλο της φωτογραμμετρίας ως εργαλείου υψηλής ακρίβειας για την καταγραφή, ανάλυση

και παρακολούθηση φθορών σε πολιτιστικά αντικείμενα, καθώς και για την υποστήριξη μορφολογικών και συγκριτικών ερευνών. Στη συνέχεια, η ανάλυση εμπλουτίζεται με εμπειρικά παραδείγματα εφαρμογής, όπως η μελέτη της Webb (2017), η οποία συγκρίνει τη φωτογραμμετρία με άλλες απεικονιστικές τεχνικές, αναδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά της ως οικονομικότερη αλλά αξιόπιστη λύση για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων σε μουσειακά περιβάλλοντα. Παράλληλα, η έρευνα των Apollonio et al. (2021) αξιοποιείται για την παρουσίαση σύγχρονων φωτογραμμετρικών «διαγραμμάτων ροής εργασιών» (workflows) χαμηλού κόστους, βασισμένων σε ευρέως διαθέσιμες τεχνολογίες και εργαλεία ανοικτού κώδικα, τα οποία καθιστούν τη μέθοδο προσβάσιμη ακόμη και σε μικρότερα ιδρύματα.

Στη συνέχεια, η Ενότητα 3.2 εξετάζει τον ρόλο της φωτογραμμετρίας στην εκπαίδευση και τη διαμόρφωση της ψηφιακής μουσειακής εμπειρίας. Μέσα από τη βιβλιογραφία αναδεικνύεται ότι τα φωτογραμμετρικά μοντέλα δεν περιορίζονται στην τεκμηρίωση, αλλά αξιοποιούνται ευρέως σε ψηφιακές συλλογές, εκπαιδευτικά εργαλεία και διαδικτυακές πλατφόρμες, ενισχύοντας την πρόσβαση και την κατανόηση της πολιτιστικής κληρονομιάς (Konstantakis et al., 2023). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε παραδείγματα ψηφιακών πλατφορμών, όπως η Europeana, όπου η ενσωμάτωση τρισδιάστατων μοντέλων μέσω εργαλείων όπως το Sketchfab επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με πολιτιστικά αντικείμενα σε ένα δυναμικό ψηφιακό περιβάλλον. Οι σχετικές μελέτες δείχνουν ότι η δυνατότητα εικονικής περιήγησης και πολυδιάστατης εξερεύνησης ενισχύει σημαντικά τον εκπαιδευτικό χαρακτήρα των ψηφιακών συλλογών. Ωστόσο, όπως επισημαίνει η Fernie (2024), η αξιοποίηση του τρισδιάστατου περιεχομένου εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις, κυρίως ως προς την τυποποίηση, τη διαχείριση μεταδεδομένων και τη μακροχρόνια αξιοποίησή του ως εργαλείου γνώσης και όχι απλώς οπτικής αναπαράστασης. Παράλληλα, παρουσιάζονται εκτενή παραδείγματα από μεγάλα μουσειακά ιδρύματα, όπως το Smithsonian Institution, το οποίο μέσω πρωτοβουλιών όπως το Smithsonian Open Access αναδεικνύει τη δυναμική της φωτογραμμετρίας στην εκπαίδευση και την ανοιχτή πρόσβαση. Η βιβλιογραφία που σχετίζεται με τις πρακτικές αυτές υπογραμμίζει τη σημασία της διαδραστικότητας, της επαναχρησιμοποίησης ψηφιακού περιεχομένου και της ενσωμάτωσης των τρισδιάστατων μοντέλων σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, όπως το Smithsonian Learning Lab. Επιπλέον, εργαλεία όπως το Voyager Story Standalone καταδεικνύουν τη μετάβαση από

την παθητική θέαση στην ενεργητική μάθηση, επιτρέποντας τη δημιουργία διαδραστικών αφηγήσεων και εξατομικευμένων εμπειριών.

Κλείνοντας το κεφάλαιο, η Ενότητα 3.3 εξετάζει τη συμβολή της φωτογραμμετρίας στη διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς, με ιδιαίτερη έμφαση στην αξιοποίηση του πληθοπορισμού (crowdsourcing) για την ψηφιακή ανακατασκευή κατεστραμμένων ή χαμένων αντικειμένων. Μέσα από τη βιβλιογραφία αναδεικνύεται ότι η φωτογραμμετρία μπορεί να λειτουργήσει τόσο προληπτικά, μέσω της συστηματικής τεκμηρίωσης, όσο και αποκαταστατικά, αξιοποιώντας ετερογενή οπτικά δεδομένα από πολλαπλές πηγές (Ch'ng et al., 2019). Η έννοια της πληθοποριστικής φωτογραμμετρίας παρουσιάζεται ως μια σύγχρονη μεθοδολογική προσέγγιση, όπου το κοινό συμμετέχει ενεργά στη συλλογή δεδομένων, συμβάλλοντας στη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων μέσω φωτογραφιών που έχουν ληφθεί σε διαφορετικά πλαίσια και χρονικές στιγμές (Howe, 2006). Παρά τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ανομοιογένεια των δεδομένων, η βιβλιογραφία δείχνει ότι η αξιοποίηση τεχνικών όπως το Structure from Motion (SfM) μπορεί να οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα, ακόμη και χωρίς τυποποιημένες διαδικασίες λήψης (Vincent et al., 2015). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε emblematic μελέτες περίπτωσης, όπως το Project Mosul (σημερινό Rekrei), το οποίο αξιοποιεί φωτογραφικό υλικό από το κοινό για την ψηφιακή ανακατασκευή αντικειμένων που καταστράφηκαν κατά τη διάρκεια συγκρούσεων. Οι σχετικές μελέτες υπογραμμίζουν ότι η προσέγγιση αυτή δεν περιορίζεται στην τεχνική αναπαράσταση, αλλά ενσωματώνει τη συλλογική μνήμη και τη συμμετοχή του κοινού ως βασικά στοιχεία της διαδικασίας τεκμηρίωσης (Coughenour & Vincent, 2015). Παράλληλα, εξετάζονται και άλλες διεθνείς πρωτοβουλίες, όπως το #NEWPALMYRA και το CyArk, οι οποίες επιβεβαιώνουν τη σημασία της ψηφιακής τεκμηρίωσης ως μέσου προστασίας και διατήρησης μνημείων που απειλούνται από πολέμους ή φυσικές καταστροφές.

Στο Κεφάλαιο 4 εξετάζεται η αξιοποίηση της Επαυξημένης και της Μεικτής Πραγματικότητας στα μουσειακά περιβάλλοντα, με έμφαση στις δυνατότητες οπτικής αποκατάστασης και εμπλουτισμού της εμπειρίας του επισκέπτη. Αρχικά, στην Ενότητα 4.1, εξετάζεται ο ρόλος των τεχνολογιών αυτών στην οπτική ανασύνθεση και αποκατάσταση πολιτιστικών αντικειμένων, επιτρέποντας την προβολή της αρχικής τους μορφής, τη συμπλήρωση ελλειπόντων τμημάτων και την εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών ιστορικών φάσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή «Egypt Augmented» του Musée

du Louvre, η οποία αξιοποιεί εργαλεία Επαυξημένης Πραγματικότητας για την αποκατάσταση αιγυπτιακών μνημείων και εκθεμάτων. Η συγκεκριμένη περίπτωση αναδεικνύει πώς η Επαυξημένη Πραγματικότητα μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά προς το αυθεντικό αντικείμενο, χωρίς να το υποκαθιστά, προσφέροντας στον επισκέπτη μια πιο ολοκληρωμένη και κατανοητή εμπειρία.

Στη συνέχεια, στην Ενότητα 4.2, εξετάζεται η δυνατότητα των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας να παρουσιάζουν αντικείμενα που δεν βρίσκονται φυσικά στον εκθεσιακό χώρο, είτε λόγω καταστροφής, κλοπής, δανεισμού ή περιορισμών έκθεσης. Η βιβλιογραφία δείχνει ότι, σε συνδυασμό με τεχνικές όπως η φωτογραμμετρία, τα ψηφιακά αυτά αντικείμενα μπορούν να επανενταχθούν στο αφηγηματικό πλαίσιο της έκθεσης, συμβάλλοντας στη συνοχή και την πληρότητα της μουσειακής αφήγησης. Παραδείγματα όπως το UNESCO Virtual Museum of Stolen Cultural Objects αναδεικνύουν τη σημασία της ψηφιακής αναπαράστασης για την κατανόηση της απώλειας και της πολιτιστικής σημασίας των αντικειμένων. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι πολλές από αυτές τις πρωτοβουλίες παραμένουν αποκομμένες από τον φυσικό χώρο του μουσείου, λειτουργώντας κυρίως ως διαδικτυακές πλατφόρμες. Το ζήτημα της ουσιαστικής ενσωμάτωσης των ψηφιακών αντικειμένων στη βιωματική εμπειρία του επισκέπτη εντός του μουσείου αποτελεί ακόμη αντικείμενο διερεύνησης. Μία από τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η εμπειρία «REVIVRE» του Muséum national d'Histoire naturelle στο Παρίσι, η οποία αξιοποιεί γυαλιά Επαυξημένης Πραγματικότητας για την παρουσίαση εξαφανισμένων ειδών σε φυσικό μέγεθος μέσα στον εκθεσιακό χώρο. Η συγκεκριμένη περίπτωση υπογραμμίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας με τρόπο που ενισχύει την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και δεν απομονώνει τον επισκέπτη από το φυσικό πλαίσιο της επίσκεψης.

Έπειτα, στην Ενότητα 4.3, εξετάζεται η εκπαιδευτική αξία των τεχνολογιών αυτών, η αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας και οι περιορισμοί που σχετίζονται με το φαινόμενο της πληροφοριακής υπερφόρτωσης. Η προσέγγιση βασίζεται σε συνδυασμό εμπειρικών μελετών, θεωρητικών μοντέλων μάθησης και μελετών περίπτωσης (case studies), με στόχο την κριτική αποτίμηση του τρόπου με τον οποίο η ψηφιακή επαύξηση επηρεάζει τη μουσειακή εμπειρία. Αρχικά, για την κατανόηση της εκπαιδευτικής διάστασης της Επαυξημένης Πραγματικότητας, αξιοποιείται η έρευνα του Dudzik (2018), η οποία εξετάζει

τις αντιλήψεις των επισκεπτών σχετικά με τη χρήση Επαυξημένης Πραγματικότητας σε μουσειακά περιβάλλοντα. Η συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται ως εμπειρική βάση για την ανάδειξη της θετικής επίδρασης της τεχνολογίας στην εμπλοκή του κοινού, αλλά και για τον εντοπισμό κρίσιμων παραμέτρων σχεδιασμού, όπως η προσβασιμότητα, η ευχρηστία και η ανάγκη σαφούς παιδαγωγικού προσανατολισμού. Στη συνέχεια, η ανάλυση εμβαθύνει στους γνωστικούς περιορισμούς της επεξεργασίας πληροφορίας, μέσα από τη Θεωρία Γνωστικού Φορτίου του Sweller (1988) και τις αρχές πολυμεσικής μάθησης του Mayer (2009). Τα θεωρητικά αυτά σχήματα αποτελούν βασικά ερμηνευτικά εργαλεία για την κατανόηση του φαινομένου της «πληροφοριακής υπερφόρτωσης», επιτρέποντας την κριτική αξιολόγηση των ψηφιακών εφαρμογών ως προς τον τρόπο παρουσίασης της πληροφορίας. Παράλληλα, η μελέτη των Economou και Meintani (2011) αξιοποιείται στο πλαίσιο συγκριτικής ανάλυσης ψηφιακών εφαρμογών σε μουσεία, προσφέροντας ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα από την αξιολόγηση εφαρμογών κινητών τηλεφώνων σε διεθνές επίπεδο. Η συγκεκριμένη έρευνα συμβάλλει στη διαμόρφωση κριτηρίων σχεδιασμού, όπως η ανάγκη για σύντομη, στοχευμένη και κλιμακωτή παρουσίαση της πληροφορίας (layered interpretation), καθώς και η σημασία της προσαρμογής του ψηφιακού περιεχομένου στη συμπεριφορά και τις προσδοκίες των επισκεπτών. Ακόμα, πρόσφατες μελέτες, όπως αυτή των Xu και Zhou (2025), εξετάζουν σύγχρονες στρατηγικές σχεδιασμού εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας με στόχο τη βελτιστοποίηση της εμπειρίας χρήστη και την αποφυγή γνωστικής υπερφόρτωσης, μέσω ιεράρχησης της πληροφορίας και οπτικής καθοδήγησης μέσω διεπαφών (interactions). Τέλος, η θεωρητική ανάλυση πλαισιώνεται από τη μελέτη περίπτωσης της εφαρμογής «Skin and Bones» του Smithsonian National Museum of Natural History, η οποία χρησιμοποιείται ως ενδεικτικό παράδειγμα επιτυχημένης ενσωμάτωσης της Επαυξημένης Πραγματικότητας σε μουσειακό περιβάλλον. Η συγκεκριμένη εφαρμογή αναλύεται ως προς τη λειτουργία της, τον τρόπο αλληλεπίδρασης με τα εκθέματα και τα μετρήσιμα αποτελέσματα στην εμπλοκή των επισκεπτών, όπως η σημαντική αύξηση του χρόνου παραμονής στον εκθεσιακό χώρο. Μέσα από τη μελέτη αυτή αναδεικνύεται η σημασία του ισορροπημένου σχεδιασμού, όπου η τεχνολογία λειτουργεί υποστηρικτικά προς το έκθεμα και όχι ανταγωνιστικά.

Στην Ενότητα 4.4, εξετάζεται η ενδεχόμενη επίδραση της χρήσης των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας στις δια-μουσειακές συνδέσεις και συγκεκριμένα ο κίνδυνος που διατρέχει ο θεσμός του δια-μουσειακού δανεισμού. Αρχικά,

γίνεται μια κριτική αποτίμηση των ορίων της ψηφιακής αναπαράστασης, εστιάζοντας στη διάκριση μεταξύ πρωτοτύπου και αντιγράφου. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάλυση αντλεί από βασικές μουσειολογικές αρχές που αναδεικνύουν την αξία της αυθεντικότητας και της φυσικής παρουσίας του αντικειμένου, υποστηρίζοντας ότι ακόμη και τα πιο εξελιγμένα ψηφιακά μέσα δεν μπορούν να υποκαταστήσουν την άμεση εμπειρία του πρωτοτύπου. Η συζήτηση αυτή συνδέεται με τον θεσμό των δια-μουσειακών δανεισμών, οι οποίοι εξετάζονται όχι μόνο ως πρακτικός μηχανισμός εμπλουτισμού εκθέσεων, αλλά και ως διαδικασία πολιτισμικής ανταλλαγής και συνεργασίας μεταξύ ιδρυμάτων. Μέσα από αυτή τη εσυλλογιστική, τίθεται κριτικά το ενδεχόμενο η ευκολία των ψηφιακών αναπαραστάσεων να υπονομεύσει τη σημασία των φυσικών μετακινήσεων αντικειμένων και, κατ' επέκταση, τον ίδιο τον χαρακτήρα της μουσειακής εμπειρίας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται, επίσης, στη μουσειολογική σημασία της απουσίας, η οποία προσεγγίζεται ως ερμηνευτικό εργαλείο. Η ενότητα εξετάζει περιπτώσεις όπου η έλλειψη ενός αντικειμένου από τον εκθεσιακό χώρο (λόγω απώλειας, απομάκρυνσης ή αρχαιοκαπηλίας) δεν λειτουργεί απλώς ως κενό, αλλά ως φορέας νοήματος που μεταδίδει στον επισκέπτη την έννοια της πολιτισμικής απώλειας. Μέσα από αυτή την οπτική, η πιθανή ψηφιακή «αναπλήρωση» της απουσίας τίθεται υπό κριτική, καθώς ενδέχεται να αποδυναμώσει τη βιωματική και συμβολική διάσταση του κενού. Αυτή η θέση ενισχύεται περαιτέρω με το παράδειγμα της «Κόρης της Ελεύθερνας» και της «Κυρίας της Ωσέρ». Η ανάλυση στηρίζεται σε αρχαιολογικές και ιστορικές μελέτες (Collignon, 1908· Σταμπολίδης, 2004· 2018· 2020), για την ανακάλυψη και μεταφορά του αντικειμένου, προκειμένου να αναδειχθεί η κοινή προέλευση και η μετέπειτα διασπορά των δύο γλυπτών. Κομβικό σημείο της ανάλυσης αποτελεί η αναφορά στην περιοδική έκθεση «Ελεύθερνα: Πόλη, Ακρόπολη, Νεκρόπολη» (2004–2005), κατά την οποία τα δύο αντικείμενα εκτέθηκαν μαζί μέσω δια-μουσειακού δανεισμού. Η συγκεκριμένη περίπτωση αξιοποιείται μεθοδολογικά ως παράδειγμα «φυσικής επανένωσης», το οποίο αντιπαραβάλλεται με τις δυνατότητες της ψηφιακής τεχνολογίας. Μέσα από αυτή τη σύγκριση αναδεικνύεται η μοναδικότητα της εμπειρίας που προσφέρει η συνύπαρξη αυθεντικών αντικειμένων στον ίδιο χώρο, καθώς και ο ρόλος του ανθρώπινου παράγοντα και της θεσμικής συνεργασίας στην υλοποίηση τέτοιων εγχειρημάτων.

Το Κεφάλαιο 5 συνθέτει τα βασικά ευρήματα της έρευνας, αναδεικνύοντας τον πολυδιάστατο ρόλο των ψηφιακών τεχνολογιών στη μελέτη και παρουσίαση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η Ενότητα 5.1 εστιάζει στη διάκριση μεταξύ της

φωτογραμμετρίας ως εργαλείου επιστημονικής τεκμηρίωσης και των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας ως μέσων ερμηνείας και επικοινωνίας της γνώσης. Παράλληλα, υπογραμμίζεται ότι η αποτελεσματική αξιοποίησή τους εξαρτάται από τη σύνδεσή τους με τεκμηριωμένα δεδομένα και από τον σαφή παιδαγωγικό τους προσανατολισμό, ενώ τονίζεται η ανάγκη ορθολογικής και στοχευμένης ενσωμάτωσής τους στη μουσειακή πρακτική. Στην Ενότητα 5.2 διατυπώνονται βασικά κριτήρια για την αξιολόγηση της αναγκαιότητας των ψηφιακών τεχνολογιών στα μουσεία. Κεντρική θέση κατέχει η έννοια της γνωστικής υπεραξίας, δηλαδή το κατά πόσο μια ψηφιακή εφαρμογή προσφέρει ουσιαστική κατανόηση που δεν μπορεί να επιτευχθεί με συμβατικά μέσα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται επίσης στην οργανική ενσωμάτωση των εφαρμογών στον εκθεσιακό χώρο και στη διατήρηση της κοινωνικής διάστασης της επίσκεψης, καθώς και στη χρονική συνέχεια της εμπειρίας πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την επίσκεψη. Συνολικά, αναδεικνύεται η ανάγκη για κριτική και στοχευμένη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών, ώστε να υπηρετούν ουσιαστικά τη μουσειολογική αφήγηση. Έπειτα, η Ενότητα 5.3 προχωρά στη συγκριτική ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από την έρευνα πάνω στη σχέση των συγκεκριμένων τεχνολογιών με το μουσειακό περιβάλλον και στην παρουσίασή τους με μορφή πίνακα, για καλύτερη κατανόηση. Τέλος, διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα, με έμφαση στην εμπειρική αξιολόγηση της επίδρασης των τεχνολογιών στη μουσειακή εμπειρία, στην πιο ενεργή ενσωμάτωση φωτογραμμετρικών μοντέλων στις εκθέσεις, στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ ψηφιακής και φυσικής επίσκεψης, καθώς και στην ανάγκη διαρκούς επικαιροποίησης της έρευνας λόγω της ταχείας τεχνολογικής εξέλιξης. Συνολικά, υπογραμμίζεται ότι η ουσιαστική αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών προϋποθέτει συνεχή μελέτη και κριτική προσέγγιση, με στόχο την ενίσχυση της μουσειακής εμπειρίας.

Κεφάλαιο 2 – Θεωρητικό Πλαίσιο

Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι τεχνολογίες ψηφιακής τεκμηρίωσης και Εκτεταμένης Πραγματικότητας μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά σε μουσεία και πολιτιστικά περιβάλλοντα προϋποθέτει μια συστηματική ανάλυση τόσο των μεθόδων δημιουργίας τρισδιάστατου περιεχομένου όσο και του θεωρητικού πλαισίου που διέπει την ενσωμάτωση πραγματικών και εικονικών στοιχείων. Για να γίνει αυτό, ωστόσο, είναι πολύ σημαντικό πρωτίστως να εξεταστεί και να οριστεί με σαφήνεια ο ρόλος του μουσείου, η μουσειακή εμπειρία και κατ'επέκταση η θέση των νέων τεχνολογιών στο μουσειακό περιβάλλον. Στη συνέχεια, θα αναλυθεί ο ορισμός της φωτογραμμετρίας, παρουσιάζοντας τις βασικές αρχές λειτουργίας της, τα τεχνικά στάδια της διαδικασίας και τους λόγους για τους οποίους έχει καθιερωθεί ως μία από τις σημαντικότερες μεθόδους ψηφιακής αποτύπωσης αντικειμένων και μνημείων. Έπειτα, θα εισαχθεί το θεωρητικό υπόβαθρο του Συνεχούς Πραγματικότητας-Εικονικότητας, αναλύοντας τις τέσσερις βασικές τεχνολογικές κατηγορίες της XR (AR, MR, VR και AV) και διευκρινίζοντας τον βαθμό εμπύθισης, τις λειτουργικές διαφορές και τις δυνατότητές τους σε σχέση με το πραγματικό περιβάλλον. Τέλος θα αναπτυχθούν οι λόγοι για τους οποίους η παρούσα μελέτη επιλέγει να εστιάσει ειδικά στον συνδυασμό φωτογραμμετρίας και τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας. Παρουσιάζονται έτσι τα κριτήρια καταλληλότητας των συγκεκριμένων τεχνολογιών για πολιτιστικά περιβάλλοντα, η σημασία της διατήρησης της αυθεντικότητας του πραγματικού χώρου και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση ακριβών τρισδιάστατων μοντέλων σε in situ εμπειρίες.

2.1 Μουσείο: ορισμός, ρόλος, μουσειακή εμπειρία και ψηφιακές τεχνολογίες

Ορισμός και εννοιολογική προσέγγιση του μουσείου

Ως *μουσεϊον* κατά την αρχαιότητα ορίζεται ο ιερός ναός, η έδρα και κατοικία των Μουσών (Αισχίν. 2. 21), ενώ με μια ευρύτερη έννοια, ο όρος χρησιμοποιείται για σχολές τεχνών και γραμμάτων (Αισχίν. 2. 21· Πλούτ. 2. 736C). *Μουσείον* επίσης ονομάζεται και η φιλοσοφική σχολή και βιβλιοθήκη, όπως στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου (Στράβ. 793) και του Πλάτωνα στην Αθήνα (Διογ. Λ. 4. 1) (Liddell et al., 1996, s.v. «*μουσεϊον*»).

Στη σύγχρονη μουσειολογική θεωρία, ο όρος έχει αποκτήσει πολυδιάστατο περιεχόμενο. Σύμφωνα με τον ορισμό του Διεθνούς Συμβουλίου Μουσείων (ICOM, 2007), το μουσείο αποτελεί «ένα μη κερδοσκοπικό, μόνιμο ίδρυμα στην υπηρεσία της κοινωνίας και της ανάπτυξής της, ανοιχτό στο κοινό, το οποίο αποκτά, συντηρεί, ερευνά, επικοινωνεί και εκθέτει την υλική και άυλη κληρονομιά της ανθρωπότητας και του περιβάλλοντός της για σκοπούς εκπαίδευσης, μελέτης και ψυχαγωγίας» (Desvallées & Mairesse, 2010). Μάλιστα, όπως επισημαίνουν οι André Desvallées και François Mairesse, η μετατόπιση από τον προηγούμενο ορισμό του 1974 («μόνιμος, μη κερδοσκοπικός οργανισμός που υπηρετεί την κοινωνία και την ανάπτυξή της, ανοιχτός στο κοινό, ο οποίος ερευνά, αποκτά, συντηρεί, επικοινωνεί και εκθέτει υλικά στοιχεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντός του για σκοπούς μελέτης, εκπαίδευσης και ψυχαγωγίας») σε εκείνον του 2007, με την εισαγωγή της άυλης κληρονομιάς και την υποβάθμιση της έρευνας ως κεντρικής λειτουργίας του, αναδεικνύει τις αλλαγές στις προτεραιότητες και τους σκοπούς του μουσείου (Desvallées & Mairesse, 2010).

Πέραν του παραπάνω θεσμικού ορισμού, η μουσειολογία προτείνει ευρύτερες ερμηνείες και παραλλαγές. Συγκεκριμένα, κατά τον Peter van Mensch (1992), το μουσείο μπορεί να ιδωθεί ως «ένας τόπος παραγωγής γνώσης μέσω απτών αντικειμένων», κατά τον Pierre Nora (1984) ως ένας «τόπος μνήμης» (γαλλ. «*lieu de mémoire*»), ενώ για τους μουσειολόγους της τσεχικής σχολής μουσειολογίας, όπως η Anna Gregorová (1980), «το μουσείο δεν αποτελεί παρά ένα μέσο έκφρασης μιας βαθύτερης σχέσης μεταξύ ανθρώπου και πραγματικότητας», η οποία σχέση ορίζεται από την «*συστηματική και σκόπιμη συλλογή και διατήρηση αντικειμένων που τεκμηριώνουν την εξέλιξη της φύσης και της κοινωνίας*» (Desvallées & Mairesse, 2010). Η τελευταία θεώρηση, όπως γίνεται αντιληπτό, μετατοπίζει το βάρος από το ίδιο το ίδρυμα στη λειτουργία. Συνεπώς, το μουσείο γίνεται εργαλείο κατανόησης του κόσμου και, ως εκ τούτου, η αξία του δεν έγκειται μόνο στα αντικείμενα, αλλά στον τρόπο με τον οποίο αυτά αποκτούν νόημα μέσα από την ερμηνεία.

Ο μεταβαλλόμενος ρόλος του μουσείου και η μουσειακή εμπειρία

Από τη σύνθεση των παραπάνω, οι Desvallées και Mairesse (2010) καταλήγουν στη γενική θεώρηση ότι το μουσείο είναι ένα «εργαλείο» που επινοήθηκε από τον άνθρωπο για να επιτελεί τρεις βασικές λειτουργίες: την αρχειοθέτηση (συλλογή και διατήρηση) των αντικειμένων, την κατανόησή τους (μέσω έρευνας και ερμηνείας) και τη μετάδοση της

γνώσης που προκύπτει (επικοινωνία και έκθεση). Βέβαια, το μουσείο έχει μετασχηματιστεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες και εξακολουθεί να μετασχηματίζεται. Από έναν χώρο επικεντρωμένο κυρίως στη συλλογή, ερμηνεία και έκθεση αντικειμένων, εξελίσσεται πλέον σε έναν πολιτιστικό οργανισμό με κοινωνικό και εκπαιδευτικό ρόλο. Ειδικότερα, η σύγχρονη μουσειολογία μετατοπίζει το ενδιαφέρον από το αντικείμενο στον επισκέπτη, δίνοντας έμφαση στην εμπειρία και τη συμμετοχή του. Στο πλαίσιο αυτό, το μουσείο είναι ένας τόπος «διαλόγου», μάθησης και κοινωνικής αλληλεπίδρασης. Λειτουργεί, συνεπώς, ως πλατφόρμα όπου η γνώση δεν μεταδίδεται μονοδιάστατα, αλλά συνδιαμορφώνεται μέσα από την εμπλοκή των επισκεπτών (Xu et al., 2025).

Ένα από τα πλέον επιδραστικά θεωρητικά μοντέλα που ερμηνεύουν τη διαδικασία αυτή είναι το «Μοντέλο Εκμάθησης μέσω Συμφραζομένων» (*Contextual Model of Learning*), όπως ορίζεται από τους John H. Falk και Lynn D. Dierking (1992) στο βιβλίο τους *The Museum Experience*. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο, η εμπειρία του επισκέπτη διαμορφώνεται από τη δυναμική αλληλεπίδραση τριών παραγόντων: του προσωπικού πλαισίου (γνώσεις, προσδοκίες, ενδιαφέροντα), του κοινωνικού πλαισίου (κοινωνικές αλληλεπιδράσεις) και του φυσικού πλαισίου (χώρος, εκθέσεις, σχεδιασμός). Ένα τέτοιο μοντέλο μάθησης βασίζεται σε συμφραζόμενα τα οποία δημιουργεί ο ίδιος ο επισκέπτης και η αλληλεπίδραση αυτών των τριών πλαισίων με την πάροδο του χρόνου είναι αυτή που θα διαμορφώσει την εμπειρία του επισκέπτη στο μουσείο. Μάλιστα, πρόκειται για μια εμπειρία που αρχίζει πριν την επίσκεψη και συνεχίζεται μετά από αυτή, ως μια διαδικασία νοηματοδότησης και μνήμης (Falk & Dierking, 2013).

Συνεπώς, ο επισκέπτης δεν είναι πλέον ένας παθητικός δέκτης πληροφορίας, αλλά ένας ενεργός συμμετέχων. Κατά τους Xu et al. (2025), αυτή η έννοια της συμμετοχικότητας (*participatory experience*) είναι αρκετά σημαντική, καθώς μέσω διαδραστικών και βιωματικών πρακτικών, ο επισκέπτης εμπλέκεται ενεργά, αποκτά βαθύτερη κατανόηση και δημιουργεί προσωπικές συνδέσεις με το περιεχόμενο. Συγκεκριμένα, οι επισκέπτες καλούνται να αλληλεπιδρούν με τα εκθέματα, να επιλέγουν διαδρομές και αφηγήσεις, να δημιουργούν προσωπικές ερμηνείες, καθώς και να συμμετέχουν σε κοινωνικές και συλλογικές εμπειρίες. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι η σύγχρονη μουσειακή πρακτική επιδιώκει να μετατρέψει τον «θεατή» σε «χρήστη» ή ακόμη και σε «συν-δημιουργό» της εμπειρίας, πράγμα το οποίο δεν αφορά μόνο τη χρήση τεχνολογιών, αλλά και τη γενικότερη

αλλαγή στη φιλοσοφία του μουσείου, το οποίο λειτουργεί πλέον ως διαμεσολαβητής εμπειριών και όχι ως αυθεντία γνώσης (Xu et al., 2025).

Ο ρόλος των ψηφιακών τεχνολογιών (φωτογραμμετρίας, Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας) στο μουσειακό περιβάλλον

Οι τεχνολογίες όπως η Επαυξημένη Πραγματικότητα, η Μεικτή Πραγματικότητα και η φωτογραμμετρία εντάσσονται σε αυτό το νέο πλαίσιο ως μέσα ενίσχυσης της μουσειακής εμπειρίας. Η φωτογραμμετρία αφενός, αν και συχνά συνδέεται κυρίως με την τεκμηρίωση και τη διατήρηση, διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της μουσειακής εμπειρίας, καθώς μέσω της δημιουργίας ακριβών ψηφιακών μοντέλων επιτρέπει την πρόσβαση σε αντικείμενα που δεν είναι εκτεθειμένα, υποστηρίζει την ερμηνεία μέσω ψηφιακών αναπαραστάσεων και συμβάλλει στη δημιουργία των πολυεπίπεδων αφηγήσεων, που μπορούν να επιτευχθούν τόσο με παραδοσιακούς τρόπους (κείμενο, ακουστική περιήγηση), όσο και με τις πιο «σύγχρονες» και πρωτοποριακές τεχνολογίες. Η Επαυξημένη και η Μεικτή Πραγματικότητα, με τη σειρά τους, επιτρέπουν την επικάλυψη ψηφιακής πληροφορίας στον φυσικό χώρο, δημιουργώντας υβριδικά περιβάλλοντα όπου το πραγματικό και το εικονικό συνυπάρχουν, ενισχύοντας την «εμβύθιση» (immersion), υποστηρίζοντας τον εκπαιδευτικό ρόλο του μουσείου και αυξάνοντας την εμπλοκή του χρήστη και την κατανόηση του περιεχομένου (Trunfio et al., 2022).

Όταν οι ψηφιακές αυτές τεχνολογίες καταφέρνουν να εμπλουτίζουν τον φυσικό χώρο του μουσείου χωρίς να τον αντικαθιστούν, τότε το μουσείο μετατρέπεται σε ένα «υβριδικό περιβάλλον», όπου ο φυσικός χώρος λειτουργεί ως βάση της εμπειρίας και το ψηφιακό επίπεδο προσθέτει πληροφορία, αφήγηση και διάδραση (Lønlie et al., 2022). Βέβαια, πέραν των παραπάνω πλεονεκτημάτων, η ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών, ενέχει και πιθανούς κινδύνους και για τον λόγο αυτό απαιτεί μια ιδιαίτερα κριτική προσέγγιση. Η τεχνολογία δεν πρέπει να αποτελεί αυτοσκοπό. Η πραγματική αξία της έγκειται στο κατά πόσο αυτή εξυπηρετεί την ερμηνεία του περιεχομένου, ενισχύει την κατανόηση και προσφέρει εμπειρίες που δεν μπορούν να επιτευχθούν διαφορετικά. Αν η χρήση τεχνολογίας αποσπά την προσοχή από το ίδιο το έκθεμα, αντικαθιστά το αντικείμενο και τον περιβάλλοντα χώρο του ή προκαλεί «γνωσιακή υπερφόρτωση» (Mayer, 2009), τότε αντιβαίνει στον βασικό ρόλο του μουσείου. Οι ακριβείς τρόποι με τους οποίους

χρησιμοποιείται η καθεμιά από τις παραπάνω τεχνολογίες, καθώς και τα ενδεχόμενα μειονεκτήματα και οι πιθανοί κίνδυνοι που μπορούν να προκύψουν θα αναλυθούν σε βάθος στα επόμενα κεφάλαια.

Με βάση τα παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες δεν λειτουργούν απλώς ως υποστηρικτικά εργαλεία, αλλά ως μέσα διαμόρφωσης της μουσειακής εμπειρίας και της ερμηνείας του πολιτιστικού περιεχομένου. Στο πλαίσιο αυτό, κρίνεται σκόπιμη η αναλυτική παρουσίαση των βασικών τεχνολογιών που εξετάζονται στην παρούσα εργασία, ξεκινώντας από τη φωτογραμμετρία.

2.2 Φωτογραμμετρία

Ιστορικά στοιχεία

Η φωτογραμμετρία, ως επιστημονική μέθοδος εξαγωγής μετρικών πληροφοριών από εικόνες, εμφανίζεται ήδη από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, παράλληλα με την ανάπτυξη της φωτογραφίας (Ebert, 2015), όταν ερευνητές όπως ο Aimé Laussedat αξιοποίησαν φωτογραφικές λήψεις για τη χαρτογραφική αποτύπωση τοπίων και αρχιτεκτονικών δομών (Saif, 2022). Ο ίδιος ο όρος αποδίδεται στον αρχιτέκτονα Albrecht Meydenbauer (1867), ο οποίος το 1885 ίδρυσε το πρώτο ίδρυμα που σχετίζεται με τη φωτογραμμετρία, το Βασιλικό Πρωσσικό Φωτογραμμετρικό Ινστιτούτο, το οποίο και διηύθυνε μέχρι το 1909 (Saif, 2022).

Κατά τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η φωτογραμμετρία εξελίχθηκε σημαντικά μέσω της αεροφωτογραμμετρίας, η οποία χρησιμοποιήθηκε ευρέως για στρατιωτικούς και τοπογραφικούς σκοπούς, ενώ κατά τη διάρκεια του ίδιου αιώνα βασίστηκε αρχικά σε αναλογικές και στη συνέχεια σε αναλυτικές μεθόδους. Η ουσιαστική της μεταμόρφωση πραγματοποιήθηκε στα τέλη του 20^{ου} αιώνα με την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνολογιών και της υπολογιστικής όρασης, οι οποίες αναδιαμόρφωσαν ριζικά τις διαδικασίες καταγραφής, ανάλυσης και διάχυσης της πληροφορίας. Στο πλαίσιο αυτό, η ψηφιακή καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς έχει πλέον καταστεί καθιερωμένη πρακτική, καθώς η τεκμηρίωση των φυσικών χαρακτηριστικών ιστορικών κατασκευών, αρχαιολογικών χώρων και τοπίων αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για τη διατήρησή τους, είτε αυτή αφορά την ενεργή προστασία είτε τη δημιουργία ενός διαχρονικού αρχείου. Τα δεδομένα που παράγονται μέσω αυτών των διαδικασιών μπορούν να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων από διαχειριστές

μνημείων, φορείς πολιτιστικής διαχείρισης και ερευνητές, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στην ανάδειξη της ιστορικής γνώσης και των αξιών που ενσωματώνουν τα πολιτιστικά αγαθά. Επιπλέον, η συστηματική και επιστημονικά τεκμηριωμένη καταγραφή αποκτά διαχρονική σημασία, καθώς συχνά αποτελεί το μοναδικό μέσο κατανόησης μνημείων και τόπων που έχουν υποστεί μεταβολές ή έχουν ακόμη και καταστραφεί (Santana Quintero, 2014).

Βασικές έννοιες και εφαρμογές

Η Φωτογραμμετρία είναι μια συστηματική διαδικασία κατά την οποία παράγεται τρισδιάστατη γεωμετρική πληροφορία από επικαλυπτόμενες φωτογραφίες, μέσω της αναγνώρισης κοινών σημείων και της υπολογιστικής ανακατασκευής τους στον χώρο (Luhmann et al., 2020). Η διαδικασία ξεκινά με τη λήψη φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης, στις οποίες απαιτείται σημαντική επικάλυψη (60–80%) ώστε ο αλγόριθμος να εντοπίσει κοινά σημεία μεταξύ διαδοχικών λήψεων. Η λήψη πρέπει να είναι σταθερή, με ομοιόμορφο φωτισμό και σταθερή εστιακή απόσταση, ώστε να ελαχιστοποιηθούν σφάλματα παραμόρφωσης (Szeliski, 2022). Στη συνέχεια υπολογίζονται οι παράμετροι του φακού, όπως η παραμόρφωση, η ακριβής θέση και ο προσανατολισμός της κάμερας για κάθε λήψη. Η διαδικασία αυτή είναι κρίσιμη για την ορθότητα της γεωμετρίας και στηρίζεται σε μεθόδους υπολογιστικής όρασης (Mikhail et al., 2001). Ακολουθεί ο εντοπισμός κοινών σημείων, όπου αλγόριθμοι εντοπίζουν σταθερά και επαναλαμβανόμενα σημεία στο αντικείμενο (Lowe, 2004). Με τη μέθοδο Structure from Motion (SFM), τα σημεία αυτά αντιστοιχίζονται σε πολλαπλές εικόνες, επιτρέποντας την ανακατασκευή των ακτίνων που ξεκινούν από την κάμερα και συγκλίνουν σε τρισδιάστατα σημεία (Westoby et al., 2012). Το αποτέλεσμα αυτού του σταδίου είναι ένα αραιό νέφος σημείων (point cloud), το οποίο αποτυπώνει τη γενική γεωμετρία του αντικειμένου. Στην επόμενη φάση, μέσω διαδικασιών Multi-View Stereo (MVS), το αραιό νέφος εξελίσσεται σε πυκνό νέφος σημείων, με εκατομμύρια σημεία που περιγράφουν λεπτομερώς την επιφάνεια (Furukawa & Ponce, 2010). Το πυκνό νέφος μετατρέπεται στη συνέχεια σε τρισδιάστατο πλέγμα (mesh), όπου η επιφάνεια ανακατασκευάζεται μέσω τριγωνισμού ή αλγορίθμων Poisson Reconstruction (Kazhdan & Hoppe, 2013). Το τελικό στάδιο αφορά τη χαρτογράφηση υφής (texture mapping), όπου οι αρχικές φωτογραφίες εφαρμόζονται πάνω στο τρισδιάστατο πλέγμα, δημιουργώντας ένα ρεαλιστικό μοντέλο υψηλής πιστότητας. Η ακρίβεια της υφής εξαρτάται από την ποιότητα και την ομοιομορφία των αρχικών φωτογραφιών, και ως εκ τούτου υπό τις

κατάλληλες προϋποθέσεις, το τελικό αποτέλεσμα έχει τη δυνατότητα να είναι μια ακριβής και οπτικά ρεαλιστική αναπαράσταση του πραγματικού αντικειμένου (Remondino & Campana, 2014).

Καθίσταται, επομένως, σαφές ότι η φωτογραμμετρία αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες και αξιόπιστες μεθόδους τρισδιάστατης τεκμηρίωσης πολιτιστικών αντικειμένων και μνημείων, καθώς δύναται να προσφέρει υψηλή ανάλυση και γεωμετρική ακρίβεια. Παράλληλα, το σχετικά χαμηλό κόστος εξοπλισμού και η δυνατότητα αξιοποίησης ακόμη και μη επαγγελματικών συσκευών προσδίδουν στη μέθοδο ευελιξία και προσβασιμότητα, ενώ, υπό κατάλληλες συνθήκες, μπορεί να επιτευχθεί υψηλή ποιότητα αποτελεσμάτων σε περιορισμένο χρόνο (Gonizzi Barsanti et al., 2015). Στο πλαίσιο αυτό, η φωτογραμμετρία δεν λειτουργεί μόνο ως εργαλείο τεκμηρίωσης, αλλά και ως βασική υποδομή για την ανάπτυξη ψηφιακών και διαδραστικών εφαρμογών, όπως αυτές που βασίζονται στις τεχνολογίες Επαυξημένης και Εικονικής Πραγματικότητας, οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

2.3 Τεχνολογίες Επαυξημένης, Μεικτής και Εικονικής Πραγματικότητας

Οι απαρχές των τεχνολογιών εμβύθισης (immersion)

Η ιδέα της δημιουργίας τεχνολογιών που υπερβαίνουν τα όρια της πραγματικότητας έχει ρίζες που εκτείνονται πέρα από την καθαρά τεχνολογική τους υλοποίηση, ήδη στις μελλοντολογικές προσεγγίσεις της μυθοπλασίας του 20^{ού} αιώνα. Ένα από τα πρώιμα παραδείγματα που προσεγγίζουν την έννοια του επαυξημένου οπτικού πεδίου αναφέρεται στη λογοτεχνία, στο έργο *The Master Key* (1901) του Αμερικανού συγγραφέα L. Frank Baum, όπου περιγράφεται ένα είδος «μαγικών γυαλιών» που προβάλλουν επιπρόσθετες πληροφορίες πάνω στον πραγματικό κόσμο, στοιχείο που μπορεί να θεωρηθεί πρόδρομος της σύγχρονης Επαυξημένης Πραγματικότητας (Johnson, 2012).

Η πρώτη υλοποίηση μιας τεχνολογίας που επιδίωκε την πολυαισθητηριακή εμπλοκή του χρήστη εμφανίστηκε με το Sensorama, μια μηχανή που σχεδιάστηκε από τον Morton Heilig το 1962. Το Sensorama περιλάμβανε στερεοσκοπική εικόνα, ήχο, δόνηση και ακόμη και οσμές, με στόχο την πλήρη αισθητηριακή εμπειρία, και θεωρείται πρόδρομος τόσο των συστημάτων Επαυξημένης όσο και της Εικονικής Πραγματικότητας (Regrebsubla, 2015).

Ένα σημαντικό τεχνολογικό ορόσημο σημειώθηκε το 1968 με τη δημιουργία της πρώτης οθόνης που τοποθετείται στο κεφάλι (Head-Mounted Display – HMD) από τον Ivan Sutherland και τους συνεργάτες του, γνωστού ως «Sword of Damocles». Το σύστημα αυτό, αν και πολύ πρώιμο και πρωτόλειο στην υλοποίησή του, επέτρεπε την εμφάνιση υπολογιστικά παραγόμενων εικόνων πάνω στην πραγματική θέα του χρήστη, αποτελώντας τον άμεσο πρόγονο των σύγχρονων συσκευών Επαυξημένης και Εικονικής Πραγματικότητας (Werner, 2024). Κατά τη δεκαετία του 1970, η ερευνητική κοινότητα συνέχισε να εμβαθύνει στην αλληλεπίδραση ανθρώπου και μηχανής. Ο Myron Krueger ανέπτυξε το Videoplace το 1975, ένα εργαστηριακό περιβάλλον όπου οι χρήστες μπορούσαν να αλληλεπιδρούν με ψηφιακά γραφικά μέσω της κίνησης του σώματός τους, χωρίς τη χρήση εξωτερικών συσκευών φορεμένων στο σώμα. Παρόλο που δεν ήταν σύστημα Επαυξημένης Πραγματικότητας με την αυστηρή έννοια, το Videoplace ενσωμάτωνε την ιδέα της διαδραστικής σύνδεσης μεταξύ πραγματικού και υπολογιστικού κόσμου, συμβάλλοντας στην εξέλιξη των διαδραστικών τεχνολογιών (Schmalstieg & Höllerer, 2016).

Ο όρος «Επαυξημένη Πραγματικότητα» πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και αποδίδεται στους Tom Caudell και David Mizell, οι οποίοι δούλευαν σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα της Boeing για την υποστήριξη εργατών στον καθορισμό καλωδιώσεων. Το σύστημα αυτό, το οποίο συνδύαζε ψηφιακές οδηγίες με τον πραγματικό τρόπο εργασίας, έθεσε τα θεμέλια για την πρώτη γενιά εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας (Caudell & Mizell, 1992). Την ίδια περίοδο, ο Louis Rosenberg ανέπτυξε το «Virtual Fixtures», ένα από τα πρώτα λειτουργικά συστήματα Επαυξημένης Πραγματικότητας που χρησιμοποιήθηκε για στρατιωτικές εφαρμογές, επιδεικνύοντας πώς η ενίσχυση του πραγματικού περιβάλλοντος με ψηφιακά στοιχεία μπορεί να βελτιώσει την ανθρώπινη απόδοση (Rosenberg, 2022). Το 1993, οι Feiner, MacIntyre και Seligmann παρουσίασαν το πρωτότυπο σύστημα KARMA (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance), ένα από τα πρώτα επιστημονικά έργα Επαυξημένης Πραγματικότητας που περιγράφονται σε δημοσιεύσεις, σχεδιασμένο για υποστήριξη εργασιών συντήρησης (Schmalstieg & Höllerer, 2016), ενώ το επόμενο έτος, οι Paul Milgram και Fumio Kishino εισήγαγαν το Συνεχές Πραγματικότητας–Εικονικότητας (Reality–Virtuality Continuum), παρέχοντας ένα θεωρητικό πλαίσιο που τοποθετεί την Επαυξημένη και Μεικτή πραγματικότητα μεταξύ ενός πλήρως πραγματικού περιβάλλοντος και ενός πλήρως εικονικού περιβάλλοντος (Milgram & Kishino, 1994).

Μια σημαντική εξέλιξη στην ανάπτυξη λογισμικού Επαυξημένης Πραγματικότητας ήρθε το 1999 με τη δημιουργία του ARToolKit από τον Hirokazu Kato, μια βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα που επιτρέπει την ιχνηλάτηση βίντεο και την ένταξη εικονικών αντικειμένων σε πραγματικό χώρο. Το ARToolKit έχει επηρεάσει βαθιά την ανάπτυξη εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας και χρησιμοποιείται ακόμα σε πολλές μελέτες και έργα μέχρι και σήμερα (Kato & Billinghurst, 1999). Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η Επαυξημένη Πραγματικότητα μεταφέρθηκε σε πλατφόρμες κινητών συσκευών. Ο Bruce H. Thomas ανέπτυξε το ARQuake το 2000, ένα από τα πρώτα παιχνίδια Επαυξημένης Πραγματικότητας υπαίθριου χώρου για κινητές πλατφόρμες (Thomas et al., 2000).

Τεχνολογίες εμπύθισης στο μουσειακό περιβάλλον

Η τεχνολογική αυτή εξέλιξη οδήγησε σταδιακά και στην ένταξη των τεχνολογιών εμπύθισης σε πολιτιστικά και μουσειακά περιβάλλοντα, όπου αξιοποιούνται για την ενίσχυση της ερμηνείας και της εμπειρίας του επισκέπτη. Στο πλαίσιο αυτό, ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 εμφανίζονται οι πρώτες σχετικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα, η ερευνήτρια Flavia Sparacino δημιούργησε την πρώτη φορητή μουσειακή (wearable AR) εμπειρία που χρησιμοποιούσε σε πραγματικό χρόνο αισθητήρες για να παρέχει εξατομικευμένη Επαυξημένη Πραγματικότητα στους επισκέπτες. Δηλαδή, πρόκειται για την πρώτη εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας ειδικά σχεδιασμένη για μουσείο ή εκθεσιακό χώρο (Sparacino, 2002). Από το 2004 έως και το 2008 αρχίζουν να εμφανίζονται και οι πρώτες ολοκληρωμένες εικονικές αναπαραστάσεις σε μουσεία. Παρουσιάζονται ανακατασκευές αρχαίων χώρων σε θόλους Εικονικής Πραγματικότητας ή προβολές (προγράμματα που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία για να «αναβιώσουν» χαμένους χώρους), ενώ αρχίζουν να πραγματοποιούνται και έργα «Εικονικών Μουσείων (Virtual Museums)» κατά κύριο λόγο από ευρωπαϊκά μουσεία. Η μεγάλη εξέλιξη, βέβαια, ήρθε το 2010 με το πρόγραμμα «We AR in MoMA» από το Μουσείο Σύγχρονης Τέχνης της Νέας Υόρκης. Πρόκειται ουσιαστικά για την πρώτη δημόσια εμπειρία Επαυξημένης Πραγματικότητας σε μεγάλο μουσείο. Οι επισκέπτες χρησιμοποιούν το κινητό τους τηλέφωνο για να δουν ψηφιακά έργα που προστίθενται στους τοίχους και στις αίθουσες (Rhodes, 2014). Την ίδια χρονιά εκκινά στη Σεούλ της Ν. Κορέας η λειτουργία του TrickEye Museum, ενός από τα πρώτα «θεματικά» μουσεία με εκθέσεις βασισμένες στην Επαυξημένη Πραγματικότητα (Delgado Prada, 2021)

Κατά τη δεκαετία του 2010 η εφαρμογή τεχνολογιών Επαυξημένης και Εικονικής Πραγματικότητας στα μουσεία άρχισε να αποκτά συστηματικό χαρακτήρα, με αρκετά μεγάλα ιδρύματα να πραγματοποιούν τις πρώτες οργανωμένες δοκιμές και δημόσιες εγκαταστάσεις. Το Smithsonian εγκαίνιασε την πορεία αυτή το 2012, πειραματιζόμενο με αντικείμενα Επαυξημένης Πραγματικότητας σε δημόσιες αίθουσες στο πλαίσιο του Smithsonian X 3D, προωθώντας για πρώτη φορά την άμεση αλληλεπίδραση επισκεπτών με ψηφιακά μοντέλα εντός του φυσικού μουσείου (Hollinger, 2019). Το 2014, το Whitney Museum παρουσίασε την εγκατάσταση *Proxy*, ένα από τα πρώτα μεγάλης κλίμακας «AR projects» σε σύγχρονο μουσείο τέχνης, το οποίο καθιέρωσε την Επαυξημένη Πραγματικότητα ως νέο εικαστικό και επιμελητικό εργαλείο. Παράλληλα, η είσοδος της Εικονικής Πραγματικότητας στα μουσεία ενισχύθηκε σημαντικά από το 2015 έως το 2017: το British Museum διοργάνωσε το «VR Weekend» (2015), από τις πρώτες εκδηλώσεις μαζικής χρήσης Εικονικής Πραγματικότητας από το ευρύ κοινό μέσα σε μουσειακό περιβάλλον, ενώ το Tate Modern αξιοποίησε την ίδια τεχνολογία το 2016 για καλλιτεχνικές αναπαραστάσεις. Το 2017, το Guggenheim προχώρησε ακόμη περισσότερο, εντάσσοντας εικονικά προγράμματα που αντιμετώπιζαν την τεχνολογία ως ανεξάρτητο εικαστικό μέσο και όχι απλώς εργαλείο παρουσίασης.

Στη δεκαετία του 2020 πια, οι τεχνολογίες Επαυξημένης, Μεικτής και Εικονικής Πραγματικότητας δεν είναι πια καινοτόμες δοκιμές, αλλά καθιερωμένες πρακτικές των μουσείων. Σίγουρα, ένας καθοριστικός παράγοντας υπήρξε η πανδημία του COVID-19, ιδίως τα έτη 2020–2021, καθώς οι χώροι παρέμεναν κλειστοί, και ως εκ τούτου αρκετά μεγάλα μουσεία διεθνώς υιοθέτησαν μαζικά εικονικές περιηγήσεις, επιτρέποντας στο κοινό να συνεχίσει να επισκέπτεται τις συλλογές εξ αποστάσεως και κάνοντας τις ψηφιακές μορφές επίσκεψης δημοφιλέστερες (Guazzaroni, 2022). Την περίοδο 2021–2023, η Επαυξημένη Πραγματικότητα έγινε ακόμη πιο διαδεδομένη μέσω εφαρμογών για κινητά, με αρχαιολογικά μουσεία και χώρους (όπως εκείνοι της Ρώμης, της Πομπηίας, αλλά και αρχαιολογικοί χώροι στην Ελλάδα) να υιοθετούν υψηλής ακρίβειας ξεναγήσεις Επαυξημένης Πραγματικότητας που προβάλλουν ανακατασκευές, χαμένα αρχιτεκτονικά στοιχεία και πληροφορίες επάνω στον πραγματικό χώρο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας προσπάειας στον ελληνικό χώρο αποτελεί η εφαρμογή CHRONOS της COSMOTE η οποία χρησιμοποιεί Επαυξημένη Πραγματικότητα, Εικονική Πραγματικότητα και Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) για να εμφανίζει στον χρήστη σε πραγματικό χρόνο πώς ήταν η

Ακρόπολη και τα μνημεία της στο παρελθόν, επαναδημιουργώντας τα ψηφιακά πάνω στο πραγματικό τοπίο (Σύρρος, 2024).

2.4 Το Συνεχές Πραγματικότητας–Εικονικότητας (Reality–Virtuality Continuum)

Η κατανόηση της χρήσης τεχνολογιών Εκτεταμένης Πραγματικότητας, όπως ορίζονται οι AR, MR, VR και AV κατά την Vohra (2025), σε μουσεία και πολιτιστικούς χώρους προϋποθέτει τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ πραγματικών και εικονικών περιβαλλόντων. Το Συνεχές Πραγματικότητας–Εικονικότητας (Reality–Virtuality Continuum), όπως παρουσιάστηκε από τους Milgram και Kishino (1994), περιγράφει ένα συνεχές στο ένα άκρο του οποίου βρίσκεται το πλήρως πραγματικό περιβάλλον (Real Environment – RE), και στο άλλο το πλήρως εικονικό (Virtual Environment – VE). Ανάμεσα σε αυτά βρίσκονται οι ενδιάμεσες μορφές της Επαυξημένης Πραγματικότητας και της Επαυξημένης Εικονικότητας, οι οποίες συνδυάζουν πραγματικά και εικονικά στοιχεία σε διαφορετικούς βαθμούς (Milgram et al., 1995). Οι βασικές τεχνολογικές κατηγορίες AR, MR, AV και VR διαφέρουν ουσιαστικά τόσο στον βαθμό εμπύθισης όσο και στον τρόπο ενσωμάτωσης πραγματικού και εικονικού περιεχομένου και ως εκ τούτου είναι απαραίτητο να αναλυθούν οι ειδοποιοί διαφορές τους για την καλύτερη κατανόησή τους.

Augmented Reality (AR)

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα βρίσκεται πολύ κοντά στο «πραγματικό» μέρος του Συνεχούς Πραγματικότητας–Εικονικότητας λόγω του χαμηλού επιπέδου εμπύθισης καθώς και της υψηλής σύνδεσης με τον φυσικό χώρο (Milgram & Kishino, 1994). Ο πιο ευρέως αποδεκτός ορισμός είναι αυτός του Azuma (1997) ως «ένα σύστημα που συνδυάζει πραγματικό και εικονικό περιεχόμενο, λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και υποστηρίζει τρισδιάστατη καταχώρηση αντικειμένων». Πέραν αυτών των τριών χαρακτηριστικών που καθιερώνονται ως κύρια από τους Azuma et al. (2001), ένα ακόμη χαρακτηριστικό θα πρέπει να είναι όχι απλώς η καταχώρηση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, αλλά και η δυνατότητα να επιτρέπει την αλληλεπίδραση του χρήστη με τα εικονικά αυτά αντικείμενα (Mountain & Liarakis, 2007). Ακόμη, σύμφωνα με τους Milgram και Kishino (1994), αυτή η «επαύξηση» συμπληρώνει την πραγματικότητα χωρίς να την αντικαθιστά. Βέβαια σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί ότι μετά το έτος 2000, η βιβλιογραφία φαίνεται να

επαναπροσδιορίζει κατά κάποιον τρόπο τον όρο ως «τεχνολογία που ενισχύει την όραση του πραγματικού κόσμου προσθέτοντας υπολογιστικά παραγόμενο περιεχόμενο» (Vlahakis et al., 2002). Ο Azuma (1997) επίσης προτείνει μια ενδιαφέρουσα πτυχή της Επαυξημένης Πραγματικότητας επεκτείνοντάς την έτσι ώστε να έχει τη δυνατότητα να περιλάβει και συστήματα που αφαιρούν στοιχεία του πραγματικού κόσμου μέσω γραφικών επικαλύψεων (π.χ. «mediated reality»), ωστόσο είναι αμφιλεγόμενο το κατά πόσο η συγκεκριμένη δυνατότητα δεν ξεφεύγει από τον ορισμό της Επαυξημένης Πραγματικότητας.

Virtual Reality (VR)

Η Εικονική Πραγματικότητα τοποθετείται στο αντίθετο άκρο του συνεχούς και αναφέρεται σε τεχνολογίες που δημιουργούν έναν πλήρως συνθετικό κόσμο, αποκλείοντας την απευθείας οπτική επαφή με το πραγματικό περιβάλλον (Carmigniani et al., 2010). Η Εικονική Πραγματικότητα προσφέρει υψηλό επίπεδο εμπύθισης παρέχοντας ψηφιακά ερεθίσματα στην όραση, την ακοή και σε ορισμένες περιπτώσεις την αφή, έτσι ώστε η εμπειρία να προσεγγίζει την αντίληψη ενός πραγματικού χώρου (Zhao, 2009). Σε σχέση με την Επαυξημένη Πραγματικότητα, η Εικονική λειτουργεί ως «αντικατάσταση» της πραγματικότητας κατά μία έννοια, κάτι που την καθιστά περισσότερο κατάλληλη για εικονικές περιηγήσεις ή εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και λιγότερο για επιτόπιες εμπειρίες που απαιτούν διατήρηση της επαφής με το πραγματικό μνημείο.

Augmented Virtuality (AV)

Η Επαυξημένη Εικονικότητα αποτελεί την ενδιάμεση κατηγορία που βρίσκεται πιο κοντά στο πλήρως εικονικό άκρο του συνεχούς. Η συγκεκριμένη τεχνολογία εμπλουτίζει ένα εικονικό περιβάλλον με ζωντανές σκηνές από τον πραγματικό κόσμο, όπως ροές βίντεο ή πραγματικές απεικονίσεις που ενσωματώνονται στον ψηφιακό χώρο. Ως προς τη λειτουργία της, πρόκειται για το «αντίστροφο» της Επαυξημένης Πραγματικότητας, καθώς σε αυτήν ο πραγματικός κόσμος εμπλουτίζεται με ψηφιακά στοιχεία, ενώ στην Επαυξημένη Εικονικότητα ο εικονικός κόσμος εμπλουτίζεται με πραγματικά στοιχεία. Επομένως η εμπύθιση παραμένει υψηλότερη από ότι στην Επαυξημένη Πραγματικότητα, ενώ ο ρόλος του πραγματικού χώρου είναι περιορισμένος (Milgram et al., 1994).

Mixed Reality (MR)

Σύμφωνα με τους Milgram και Kishino (1994), ως Μεικτή Πραγματικότητα ορίζεται ολόκληρο το φάσμα ανάμεσα στην Επαυξημένη Πραγματικότητα και την Επαυξημένη Εικονικότητα. Η Μεικτή Πραγματικότητα στοχεύει στη δημιουργία εμπειριών που συνδυάζουν πραγματικούς και εικονικούς χώρους με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η δυναμική, αμφίδρομη αλληλεπίδραση των δύο περιβαλλόντων. Στη σύγχρονη βιβλιογραφία, ο όρος Μεικτή Πραγματικότητα έχει συνδεθεί περισσότερο με τεχνολογίες που διαθέτουν χωρική χαρτογράφηση και δυνατότητα τοποθέτησης εικονικών αντικειμένων στον πραγματικό χώρο, όπως το HoloLens της Microsoft. Σε αντίθεση με την Επαυξημένη Πραγματικότητα, όπου η ψηφιακή πληροφορία μπορεί να εμφανίζεται ως απλή επαύξηση, στη Μεικτή Πραγματικότητα τα εικονικά αντικείμενα μπορούν να ενσωματώνονται και να αλληλεπιδρούν με το πραγματικό περιβάλλον με πιο σύνθετους τρόπους (Evangelidis et al., 2021).

Από την παραπάνω ανάλυση καθίσταται σαφές ότι οι τεχνολογίες Επαυξημένης, Μεικτής και Εικονικής Πραγματικότητας καταλαμβάνουν διαφορετικές θέσεις στο φάσμα μεταξύ πραγματικού και εικονικού, προσφέροντας ποικίλους βαθμούς εμπύθισης και αλληλεπίδρασης. Στο μουσειακό περιβάλλον, η επιλογή και αξιοποίηση κάθε τεχνολογίας συνδέεται άμεσα με τον σκοπό και το είδος της εμπειρίας που επιδιώκεται να δημιουργηθεί. Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία κρίνεται αναγκαίο να αιτιολογηθεί η εστίαση σε συγκεκριμένες τεχνολογίες, όπως η φωτογραμμετρία και οι εφαρμογές Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας.

2.5 Γιατί συγκεκριμένα φωτογραμμετρία και τεχνολογίες Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας;

Η επιλογή του να εστιάσει η παρούσα μελέτη στην τρισδιάστατη τεκμηρίωση μέσω της φωτογραμμετρίας δεν είναι τυχαία, καθώς αποτελεί μία από τις πλέον κατάλληλες μεθόδους για την ακριβή, λεπτομερή και μη παρεμβατική αποτύπωση πολιτιστικών αντικειμένων και μνημείων. Σε αντίθεση με άλλες τεχνικές δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων, όπως η πλήρως ψηφιακή μοντελοποίηση ή το 3D sculpting, η φωτογραμμετρία βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα, διατηρώντας την υλική αυθεντικότητα του αντικειμένου, χωρίς να εισάγει στοιχεία που προκύπτουν από ερμηνευτικές υποθέσεις. Επιπλέον, αποτελεί μία

ιδιαίτερα προσβάσιμη και οικονομικά βιώσιμη μέθοδο, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί με εξοπλισμό που διαθέτουν ακόμη και μικρά μουσεία, ενώ ταυτόχρονα έχει τη δυνατότητα να παράγει μοντέλα υψηλής ποιότητας, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε εφαρμογές Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας.

Όσον αφορά το Συνεχές Πραγματικότητας–Εικονικότητας, στη συγκεκριμένη έρευνα επιλέχθηκε να μην αναλυθεί το σύνολο του φάσματός του. Ο βασικός λόγος είναι ότι δεν είναι όλες οι τεχνολογίες της Εκτεταμένης Πραγματικότητας εξίσου κατάλληλες για εφαρμογή σε μουσεία και αρχαιολογικούς χώρους, καθώς ορισμένες είτε δεν αναδεικνύουν επαρκώς τον πραγματικό χώρο, είτε, σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να υποβαθμίσουν τη συνολική εμπειρία του επισκέπτη.

Η Επαυξημένη και η Μεικτή Πραγματικότητα αποτελούν τις καταλληλότερες επιλογές, καθώς είναι οι μόνες τεχνολογίες που διατηρούν άμεση και ουσιαστική σχέση με το πραγματικό μνημείο ή αντικείμενο. Σε αντίθεση με την Εικονική Πραγματικότητα, οι τεχνολογίες αυτές δεν αποκόπτουν τον χρήστη από τον φυσικό χώρο, αλλά βασίζονται στην παρουσία του, ενισχύοντάς τον αντί να τον αντικαθιστούν (Milgram & Kishino, 1994). Συγκεκριμένα, η Επαυξημένη Πραγματικότητα λειτουργεί προσθετικά, εμπλουτίζοντας το πραγματικό περιβάλλον με ψηφιακή πληροφορία, ενώ η Μεικτή επιτρέπει έναν πιο σύνθετο συνδυασμό πραγματικών και εικονικών στοιχείων, με δυνατότητες δυναμικής αλληλεπίδρασης (Azuma, 1997).

Αντίθετα, η Επαυξημένη Εικονικότητα βρίσκεται πιο κοντά στην Εικονική Πραγματικότητα και δεν αναδεικνύει επαρκώς τον φυσικό χώρο, ενώ η Εικονική Πραγματικότητα μπορεί να εφαρμοστεί ανεξάρτητα από τη φυσική τοποθεσία, ακόμη και σε απομακρυσμένα περιβάλλοντα, όπως ο προσωπικός χώρος του χρήστη. Ως εκ τούτου, οι τεχνολογίες αυτές θεωρούνται καταλληλότερες για πλήρως ψηφιακές ή ανακατασκευαστικές εμπειρίες και λιγότερο για επιτόπια (*in situ*) ερμηνεία μνημείων.

Στο πλαίσιο των μουσείων και των αρχαιολογικών χώρων, η αυθεντικότητα και η φυσική παρουσία του αντικειμένου αποτελούν θεμελιώδεις παραμέτρους. Οι τεχνολογίες Επαυξημένης και η Μεικτής Πραγματικότητας επιτρέπουν την ερμηνεία, την ανασύνθεση και τη συμπλήρωση πληροφοριών χωρίς να παρεμβαίνουν στη βιωματική σχέση του επισκέπτη με τον χώρο. Παράλληλα, η ευρεία διάδοση των κινητών συσκευών, όπως τα

smartphones και τα tablets, καθιστά τις τεχνολογίες αυτές ιδιαίτερα προσιτές, ευέλικτες και βιώσιμες για εφαρμογή σε πολιτιστικά περιβάλλοντα.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι, η παρούσα μελέτη δεν περιορίζεται στην παρουσίαση των δυνατοτήτων των τεχνολογιών Επαυξημένης και η Μεικτής Πραγματικότητας, αλλά θα εξεταστούν επίσης τα όριά τους και οι πιθανοί περιορισμοί ή αρνητικές επιπτώσεις στη μουσειακή εμπειρία, ώστε να προσφερθεί μια κριτική προσέγγιση της χρήσης τους. Πρωτού γίνει αυτό, όμως, το επόμενο κεφάλαιο θα επικεντρωθεί στη φωτογραμμετρία και στις πρακτικές της εφαρμογές, παρουσιάζοντας αναλυτικά μελέτες περίπτωσης που δείχνουν πώς η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την τεκμηρίωση, την ανάδειξη, αλλά και τη διάσωση ακόμα των πολιτιστικών αντικειμένων και μνημείων.

Κεφάλαιο 3 – Φωτογραμμετρία και Ψηφιακή Αποτύπωση Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα η φωτογραμμετρία καθιερώθηκε ως πρακτική σε μουσεία, εργαστήρια συντήρησης και ανασκαφές για την τρισδιάστατη τεκμηρίωση μνημείων και αντικειμένων, καθώς, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, προσφέρει υψηλή οπτική και γεωμετρική ακρίβεια σε συνδυασμό με προσιτό κόστος και φορητότητα (Remondino, 2011).

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η χρήση της φωτογραμμετρίας ως πολυδιάστατου μέσου ψηφιακής αποτύπωσης, τεκμηρίωσης και ερμηνείας, με έμφαση στις σύγχρονες εφαρμογές της σε μουσειακά και πολιτιστικά περιβάλλοντα. Αρχικά, αναλύεται ο ρόλος της στην επιστημονική έρευνα και τη συντήρηση πολιτιστικών αγαθών. Παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών που αναδεικνύουν τη δυνατότητα της μεθόδου να υποστηρίξει τις ακριβείς μετρήσεις, τις μορφολογικές αναλύσεις και την παρακολούθηση φθορών στον χρόνο, καθώς και να λειτουργεί συμπληρωματικά προς άλλες τεχνικές τρισδιάστατης αποτύπωσης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη σύγχρονη τάση ανάπτυξης προσβάσιμων και αυτοματοποιημένων φωτογραμμετρικών ροών εργασίας (workflows), οι οποίες επιτρέπουν τη δημιουργία αξιόπιστων τρισδιάστατων μοντέλων με οικονομικότερα μέσα, σε μουσεία και πολιτιστικούς φορείς περιορισμένων πόρων.

Στη συνέχεια, το κεφάλαιο εστιάζει στη συμβολή της φωτογραμμετρίας στην εκπαίδευση και στη διαμόρφωση της ψηφιακής μουσειακής εμπειρίας. Μέσα από παραδείγματα διεθνών πλατφορμών και ιδρυμάτων, εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα τρισδιάστατα φωτογραμμετρικά μοντέλα ενσωματώνονται σε ψηφιακές συλλογές, διαδικτυακές εκθέσεις και εφαρμογές Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας, λειτουργώντας ως «ψηφιακά δίδυμα» (digital twins) των φυσικών αντικειμένων. Αναδεικνύεται, παράλληλα, η σημασία της τεκμηρίωσης, των μεταδεδομένων και της αφηγηματικής πλαισίωσης των τρισδιάστατων δεδομένων, προκειμένου αυτά να αποκτήσουν ουσιαστική εκπαιδευτική και ερμηνευτική αξία και να μη λειτουργούν απλώς ως εντυπωσιακές, αλλά αποσπασματικές, ψηφιακές αναπαραστάσεις.

Τέλος, εξετάζεται η χρήση της φωτογραμμετρίας σε συνθήκες απώλειας ή καταστροφής της πολιτιστικής κληρονομιάς, με έμφαση στις πρακτικές της «Crowdsourced Photogrammetry». Μέσα από χαρακτηριστικές περιπτώσεις, όπως το Project Mosul / Rekrei, αναλύεται πώς η συλλογική συνεισφορά φωτογραφικού υλικού από το ευρύ κοινό μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών ανακατασκευών χαμένων μνημείων και αντικειμένων, μετατρέποντας τη συλλογική μνήμη σε εργαλείο τεκμηρίωσης, έρευνας και ευαισθητοποίησης. Η ενότητα αυτή αναδεικνύει τον ρόλο της φωτογραμμετρίας όχι ως υποκατάστατο της υλικής πολιτιστικής κληρονομιάς, αλλά ως μέσο διατήρησης της γνώσης και της ιστορικής πληροφορίας σε περιπτώσεις όπου το πρωτότυπο έχει οριστικά χαθεί.

3.1 – Τεκμηρίωση, έρευνα και συντήρηση

Ένας από τους κύριους τομείς στους οποίους εξυπηρετεί η εφαρμογή της είναι η επιστημονική τεκμηρίωση και η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ειδικότερα, φωτογραμμετρικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την ακριβή μέτρηση και παρακολούθηση των φθορών, αλλά φυσικά και ως βασικό αρχείο πριν και μετά από τις επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης. Η γεωμετρική ακρίβεια και οι λεπτομερείς υφές επιτρέπουν διαχρονικά να πραγματοποιούνται συγκριτικές αναλύσεις με άλλα ευρήματα (Remondino, 2011). Έτσι, η φωτογραμμετρία μπορεί να λειτουργήσει επικουρικά στην έρευνα και την ανάλυση των ευρημάτων, καθώς αρχαιολόγοι και ερευνητές αξιοποιούν τρισδιάστατα μοντέλα για μορφολογικές αναλύσεις, αλλά και στην ψηφιακή ανασύνθεση των κατεστραμμένων αντικειμένων (Aicardi et al., 2018).

Ως χαρακτηριστική μελέτη περίπτωσης πάνω στα προαναφερθέντα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη έρευνα της E. Keats Webb (2017), που αποτελεί ένα εκτενές παράδειγμα εφαρμογής της φωτογραμμετρίας σε πραγματικό μουσειακό περιβάλλον, συνδυάζοντας την τεχνική με άλλες απεικονιστικές μεθόδους για την υποστήριξη των εργασιών συντήρησης και έρευνας των συλλογών. Στη μελέτη αυτή εξετάζονται δύο βασικές κατηγορίες απεικόνισης: η αντανάκλαση υπέρυθρων ακτινών (reflected IR imaging) και οι τρισδιάστατες τεχνικές (3D imaging), μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται η φωτογραμμετρία. Το άρθρο χρησιμοποιεί ως πεδία εφαρμογής έξι αντικείμενα από τη συλλογή του Freud Museum και του Smithsonian National Museum of the American Indian, προκειμένου να γίνει εμπεριστατωμένη σύγκριση μεταξύ των μεθόδων και να αναδειχθούν οι

δυνατότητες και τα όρια κάθε προσέγγισης. Συγκεκριμένα, η έρευνα θέτει ως στόχο την τεκμηρίωση της τρισδιάστατης μορφής και υφής των αντικειμένων, την εξαγωγή πληροφοριών της κατάστασής τους, αλλά και τη δυνατότητα σύγκρισης πριν και μετά από τις ενδεχόμενες επεμβάσεις ή και κατά τον έλεγχο φθορών. Οι παραδοσιακές δισδιάστατες τεχνικές, όπως η απλή φωτογράφιση, δεν επαρκούν για τη λεπτομερή απεικόνιση τρισδιάστατων μορφών, πράγμα το οποίο όμως μπορεί να καλύψει η φωτογραμμετρία. Στην παρούσα μελέτη, η υπέρυθη ακτινοβολία (reflected IR) χρησιμοποιείται για την ανίχνευση λεπτομερειών (π.χ. στοιχεία επιφάνειας που δεν είναι ορατά στο φυσικό φως), ενώ στη συνέχεια γίνεται η σύγκριση δύο τρισδιάστατων τεχνικών: του σαρώματος λευκού φωτός (white light scanning) και της φωτογραμμετρίας. Το αποτέλεσμα της φωτογραμμετρικής μεθόδου, μετά από επαρκή φωτογραφική κάλυψη (λήψεις που επικαλύπτουν η μία την άλλη), ήταν η δημιουργία ικανοποιητικών τρισδιάστατων μοντέλων που πράγματι δείχνουν τη σύγχρονη μορφή των αντικειμένων και επιτρέπουν μελλοντικές συγκρίσεις και αναλύσεις. Αποδείχθηκε, με αυτόν τον τρόπο, ότι η φωτογραμμετρία είναι μια πιο προσιτή τεχνική, που μπορεί να παράγει τρισδιάστατα αποτελέσματα συγκρίσιμης ποιότητας με αυτή της σάρωσης λευκού φωτός (Webb, 2017). Η δυνατότητα να μπορούν να παραχθούν τέτοια αποτελέσματα με χαμηλό κόστος και χωρίς εξειδικευμένο εξοπλισμό είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για πάρα πολλά μουσεία και αξίζει να εξετάσουμε παρακάτω μία ακόμα μελέτη περίπτωσης, που εστιάζει ακριβώς πάνω σε αυτό το θέμα.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό παράδειγμα της χρησιμότητας της φωτογραμμετρίας αποτελεί και η μελέτη των Apollonio et al. (2021), η οποία παρουσιάζει μία ολοκληρωμένη και προσβάσιμη ροή εργασιών (workflow) φωτογραμμετρικής τεκμηρίωσης για τη δημιουργία και την οπτικοποίηση τρισδιάστατων εκθεμάτων, ειδικά σε μεσαίου και μικρού μεγέθους ιδρύματα όπου συνήθως δεν υπάρχει εξειδικευμένος εξοπλισμός. Ο βασικός στόχος της έρευνας ήταν να δημιουργηθεί μια προσβάσιμη, φθηνή και ευέλικτη διαδικασία ψηφιοποίησης βασισμένη στη φωτογραμμετρία, που να μπορούν να χρησιμοποιήσουν ακόμα και μη ειδικοί χρήστες στους μηχανισμούς ενός μουσείου για τη μελέτη και ταξινόμηση των αντικειμένων, τη διατήρηση και αρχειοθέτησή τους, την παρουσίαση των συλλογών, και εν τέλει την υποστήριξη των εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης. Η μεθοδολογία επικεντρώνεται ειδικά στη χρήση ευρέως διαθέσιμων συσκευών όπως smartphones και tablets, σε αντίθεση με πιο δαπανηρά συστήματα laser scanning ή structured light scanners. Μια τέτοια ροή εργασιών περιλαμβάνει τρεις βασικές φάσεις: α) προ-επεξεργασία εικόνων,

β) αυτόματη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου και γ) σχηματισμός «master» και «derived» μοντέλων. Συγκεκριμένα, κατά την πρώτη φάση, οι φωτογραφίες υποβάλλονται σε επεξεργασία πριν την τρισδιάστατη ανακατασκευή ώστε να διορθωθούν προβλήματα φωτισμού, θορύβου και χρωματικών αποκλίσεων, κάτι που αυξάνει την ποιότητα της επόμενης φάσης. Στη συνέχεια γίνεται αυτόματα από το λογισμικό η στοίχιση των εικόνων και ο υπολογισμός της θέσης και του προσανατολισμού κάθε λήψης, δημιουργείται ένα πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud), από το οποίο θα προκύψει ένα πλέγμα (mesh) και στο τέλος θα εφαρμοστεί χαρτογράφηση η υφής (texture mapping) ώστε το μοντέλο να αναπαριστά χρώματα και λεπτομέρειες επιφανειών. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έγινε η επιλογή να βασιστούν οι διαδικασίες σε εργαλεία ανοιχτού κώδικα (π.χ. COLMAP για στοίχιση εικόνων, SURE για point cloud) ενσωματωμένα σε αυτόματη ροή εργασιών, ώστε να μειωθεί η παρέμβαση του χρήστη και να καταστεί πιο φιλικό ακόμη και για μη ειδικούς. Η ροή εργασιών διαχωρίζει τα παραγόμενα μοντέλα σε «Master Models», δηλαδή υψηλής ποιότητας τρισδιάστατες αναπαραστάσεις για επαγγελματική χρήση (π.χ. έρευνα, συντήρηση) και σε «Derived Models», που είναι τα πιο απλοποιημένα μοντέλα κατάλληλα για παρουσίαση σε επισκέπτες ή χρήση σε ψηφιακές συλλογές ή εφαρμογές Επαυξημένης και η Μεικτής Πραγματικότητας με χαμηλότερο κόστος και όγκο δεδομένων. Από τη μελέτη των Apollonio et al. (2021) προκύπτει ότι η φωτογραμμετρία έχει τη δυνατότητα να είναι εξίσου αποτελεσματική με «ακριβότερες» μεθόδους όταν: α) η ροή εργασίας περιλαμβάνει αφαίρεση θορύβου (denoising) και χρωματική διόρθωση πριν τη στοίχιση εικόνων ώστε να ενισχύσει τη λειτουργία της συνταύτισης (feature matching), β) χρησιμοποιεί εξελιγμένους αλγόριθμους (ASIFT, RANSAC, bundle adjustment) για να διασφαλίσει ακριβή γεωμετρία και γ) εφαρμόζει τεχνικές «remeshing» και «mesh decimation», ώστε τα παραγόμενα μοντέλα να είναι λειτουργικά σε εφαρμογές «real-time rendering» (Apollonio et al., 2021).

Τα αποτελέσματα της φωτογραμμετρικής μεθόδου, επομένως, απευθύνονται τόσο σε επιστήμονες, ερευνητές και συντηρητές, όσο και στο ευρύ κοινό. Πέρα από το ότι υποστηρίζει ροές εργασιών συντήρησης, επιτρέποντας σύγκριση μοντέλων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές για παρακολούθηση φθορών, η μέθοδος βελτιώνει την ψηφιακή πρόσβαση με το να παράγει μοντέλα που μπορούν να ενσωματωθούν σε εφαρμογές Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας ή διαδικτυακές πλατφόρμες και κατ'επέκταση έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει τον εκπαιδευτικό χαρακτήρα της μουσειακής εμπειρίας, πράγμα το οποίο θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

3.2 – Εκπαίδευση, μουσεία και ψηφιακή εμπειρία

Με την ψηφιακή ανασύνθεση, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η φωτογραμμετρία μπορεί να εξυπηρετήσει και στον τομέα της εκπαίδευσης. Τα φωτογραμμετρικά μοντέλα εμπλουτίζουν ψηφιακές συλλογές και χρησιμοποιούνται σε εκπαιδευτικά εργαλεία, εκθέσεις και διαδικτυακές περιηγήσεις (για παράδειγμα όπως γίνεται με τη χρήση του Sketchfab στην ιστοσελίδα της Europeana). Στις περιπτώσεις μεγάλων μνημείων ή αντικειμένων με σύνθετη γεωμετρία, η φωτογραμμετρία μπορεί να συνδυαστεί με δεδομένα LiDAR (Light Detection and Ranging), επιτρέποντας τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων με υψηλή γεωμετρική ακρίβεια και πλούσιες υφές. Ο συνδυασμός αυτός οδηγεί σε πιο ρεαλιστικές και «ζωντανές» ψηφιακές αναπαραστάσεις, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για αντικείμενα όπως γλυπτά, υφάσματα και γενικότερα τεχνουργήματα με πολύπλοκες επιφανειακές λεπτομέρειες, τα οποία απαιτούν υψηλής πιστότητας χαρτογράφηση της κάθε υφής (ένα τέτοιο παράδειγμα συνδυαστικής χρήσης θα δούμε παρακάτω από το Smithsonian Institution). Με τον τρόπο αυτό, τα μουσεία καταφέρνουν να δημιουργούν ψηφιακά αντίγραφα (digital twins) των εκθεμάτων τους, με στόχο τη βελτίωση της προσβασιμότητας, της εκπαίδευσης και συνολικά της εμπειρίας των επισκεπτών (Konstantakis et al., 2023).

Για να κατανοήσουμε τον εκπαιδευτικό χαρακτήρα που δύναται να λάβει η χρήση της φωτογραμμετρίας, θα εξετάσουμε την περίπτωση της ιστοσελίδας της Europeana. Η Europeana, η ψηφιακή πλατφόρμα πολιτιστικής κληρονομιάς της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει ενσωματώσει τρισδιάστατα μοντέλα από το Sketchfab απευθείας στις συλλογές της, προσφέροντας έναν νέο διαδικτυακό τρόπο εξερεύνησης των πολιτιστικών αγαθών. Η πρωτοβουλία αυτή ξεκίνησε ήδη από το 2017, όταν το Europeana Foundation ανακοίνωσε την υποστήριξη ενσωμάτωσης τρισδιάστατου περιεχομένου στις Europeana Collections μέσω του Sketchfab, με στόχο να παρέχει άμεση πρόσβαση σε τρισδιάστατα μοντέλα σημαντικών μνημείων και ιστορικών αντικειμένων (Europeana, 2017). Η ενσωμάτωση αυτή καθιστά δυνατή την προβολή μοντέλων όπως τα τρισδιάστατα αρχεία σημαντικών ιρλανδικών τοποθεσιών, όπως είναι το νησί-μοναστήρι Skellig Michael και το Νεολιθικό μνημείο Newgrange, επιτρέποντας στους χρήστες να εξερευνήσουν αυτές τις τοποθεσίες από απόσταση και από όλες τις οπτικές γωνίες απευθείας μέσα από την πλατφόρμα της ιστοσελίδας. Τα συγκεκριμένα αυτά μοντέλα είναι αποτελέσματα των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων των φυσικών αντικειμένων και των μνημείων. Η φωτογραμμετρία έχει πολύ

σημαντική θέση στο όλο εγχείρημα, λόγω των υφών και των γεωμετρικών λεπτομερειών που μπορεί να προσφέρει. Μάλιστα, μέσα από τη δυνατότητα εικονικής πλοήγησης και ψηφιακής περιήγησης 360°, μπορεί ο κάθε χρήστης να δει λεπτομερώς στοιχεία που στο φυσικό περιβάλλον, λόγω φυσικών περιορισμών, δεν είναι ορατά (Europeana, 2024).

Βέβαια, όπως παρατηρεί η Fernie (2024), η Europeana έχει κάνει μεν σημαντικά βήματα προς την ενσωμάτωση και τη διάθεση τρισδιάστατου πολιτιστικού περιεχομένου, αλλά το τρισδιάστατο περιεχόμενο παραμένει ακόμη ένα πεδίο υπό διαμόρφωση, με ουσιαστικές τεχνικές, οργανωτικές και εννοιολογικές προκλήσεις. Η πραγματική αξία του τρισδιάστατου περιεχομένου δεν έγκειται μόνο στη διαδικτυακή προβολή του, αλλά και στη δυνατότητα ουσιαστικής πρόσβασης, επαναχρησιμοποίησης και κατανόησής του από διαφορετικές ομάδες χρηστών, κάτι που προϋποθέτει τυποποιημένα μεταδεδομένα, σαφή τεκμηρίωση της μεθοδολογίας παραγωγής και κατάλληλες τεχνολογικές υποδομές. Χωρίς κοινά πρότυπα και στρατηγικές για τη μακροχρόνια διαχείριση και διάχυση των τρισδιάστατων δεδομένων, τα φωτογραμμετρικά μοντέλα κινδυνεύουν να λειτουργήσουν απλώς ως εντυπωσιακά οπτικά αντικείμενα και όχι ως εργαλεία γνώσης, εκπαίδευσης και έρευνας. Συνεπώς, το μέλλον της φωτογραμμετρίας σε πλατφόρμες όπως η Europeana εξαρτάται από τη μετάβαση από την απλή προβολή τρισδιάστατων αντικειμένων σε ένα πιο «ώριμο», κατά μία έννοια, ψηφιακό περιβάλλον εκπαίδευσης και ερμηνείας της πολιτιστικής κληρονομιάς (Fernie, 2024). Αν, λοιπόν, δημιουργηθεί αυτό το κατάλληλο περιβάλλον, τότε και η ύπαρξη ψηφιακών τρισδιάστατων αναπαραστάσεων θα μπορέσει να μην περιορίζεται στην εξ αποστάσεως πρόσβαση, αλλά να αξιοποιηθεί και επιτόπου στον μουσειακό χώρο, μέσω οθονών, διαδραστικών σταθμών ή φορητών συσκευών, εμπλουτίζοντας την ερμηνεία των εκθεμάτων με πρόσθετη πληροφορία και πολυεπίπεδες αφηγηματικές δυνατότητες, χωρίς να αναιρείται η άμεση επαφή με το αυθεντικό αντικείμενο.

Ένα ακόμη ιδιαίτερα χαρακτηριστικό και εντυπωσιακό παράδειγμα αξιοποίησης της φωτογραμμετρίας και των τρισδιάστατων δεδομένων σε μουσειακό πλαίσιο αποτελεί το πρόγραμμα «Smithsonian Open Access». Πρόκειται για μια περίπτωση όπου ένα μεγάλο μουσειακό ίδρυμα, διαθέτοντας τους απαραίτητους οικονομικούς και τεχνολογικούς πόρους, αξιοποιεί συστηματικά την ψηφιοποίηση όχι μόνο για σκοπούς τεκμηρίωσης, αλλά και ως εργαλείο εκπαίδευσης, έρευνας και δημιουργικής επαναχρησιμοποίησης της πολιτιστικής του κληρονομιάς. Στη σελίδα του The Digitization Program Office (DPO) περιγράφεται η

διαδικασία ψηφιοποίησης των συλλογών του Smithsonian με τη χρήση τόσο της φωτογραμμετρίας όσο και τεχνικών τρισδιάστατου σκαναρίσματος. Το DPO ιδρύθηκε το 2009 ως τμήμα του Office of the Chief Information Officer και έχει ως στόχο την ενίσχυση της ανακάλυψης και της πρόσβασης μέσω της ψηφιοποίησης. Δεδομένης της τεράστιας κλίμακας και ποικιλομορφίας των συλλογών του Smithsonian Institution, το DPO αντιμετωπίζει τις προκλήσεις θέτοντας δείκτες προόδου, εφαρμόζοντας σύγχρονες τεχνολογίες υψηλής ποιότητας και αναπτύσσοντας μεθόδους που αυξάνουν τη χρηστικότητα και τον αντίκτυπο των ψηφιακών συλλογών. Η ψηφιοποίηση κρίνεται επείγουσα για το συγκεκριμένο ίδρυμα, καθώς λιγότερο από το 1% των αντικειμένων εκτίθεται στα μουσεία λόγω του τεράστιου αριθμού τους, και ως εκ τούτου, τα ψηφιακά αντίγραφα λειτουργούν ως βασικές πύλες πρόσβασης και εξερεύνησης του υλικού (Smithsonian Institution. Digitization Program Office, n.d.).

Το Smithsonian Open Access παρέχει 5.1 εκατομμύρια δισδιάστατα και τρισδιάστατα αντικείμενα από την ευρύτερη συλλογή του Smithsonian Institution, τα οποία είναι διαθέσιμα σε πλήρη ελεύθερη πρόσβαση προς προβολή, λήψη, επαναχρησιμοποίηση και παραλλαγή χωρίς κανέναν περιορισμό. Περιλαμβάνονται σημαντικά εκθέματα, όπως φωτογραφίες, πίνακες, αγάλματα, μουσικά όργανα, απολιθώματα δεινοσαύρων, αντικείμενα της ιστορίας εξερεύνησης του διαστήματος (π.χ. το Κυβερνητικό Σκάφος της αποστολής «Apollo 11») και πολλά άλλα, που προέρχονται από 21 μουσεία, 9 κέντρα ερευνών, βιβλιοθήκες και το Εθνικό Ζωολογικό Πάρκο στη Washington, D.C. (Smithsonian Institution. Smithsonian Open Access, n.d.). Όλα τα τρισδιάστατα αντικείμενα οργανώνονται και διατίθενται μέσω της εξειδικευμένης πλατφόρμας «Smithsonian 3D», όπου οι χρήστες μπορούν να περιηγηθούν σε θεματικές συλλογές και να εξερευνήσουν το σύνολο του διαθέσιμου τρισδιάστατου υλικού με ενιαίο και δομημένο τρόπο (Smithsonian Institution. 3D Digitization, n.d.).

Στο πρόγραμμα Smithsonian Open Access περιλαμβάνονται πολλές πλατφόρμες και εργαλεία που τονίζουν τον εκπαιδευτικό ρόλο αυτών των τρισδιάστατων δεδομένων, με σημαντικότερο το «Smithsonian Learning Lab», όπου τα τρισδιάστατα στοιχεία συνδυάζονται με άλλες ψηφιακές συλλογές για κατάρτιση μαθητών, εκπαιδευτικών και γονέων μέσα από διάφορα project και από δωρεάν διαδικτυακά σεμινάρια (Smithsonian Institution. Smithsonian Learning Lab, n.d.). Για το ίδρυμα, προτεραιότητα φαίνεται πως έχει η διαδραστικότητα πέρα από την απλή προβολή των αντικειμένων. Το «Smithsonian X 3D»

δεν είναι απλά ένας 3D viewer αλλά παρέχει λειτουργικότητες που ενισχύουν ενεργητική μάθηση, καθώς οι χρήστες μπορούν να περιστρέφουν, μεγεθύνουν και μελετούν αντικείμενα σε όλες τις πλευρές, βλέποντας λεπτομέρειες που δεν είναι προσβάσιμες σε στατικές εικόνες, ενώ την ίδια στιγμή παρέχεται κείμενο για ιστορικό και επιστημονικό υπόβαθρο του αντικειμένου. Ακόμα, τα τρισδιάστατα μοντέλα που παρέχονται από το Smithsonian Open Access μπορούν να κατεβαστούν και να εκτυπωθούν, δίνοντας την ευκαιρία σε εκπαιδευτικά προγράμματα να χρησιμοποιήσουν φυσικά αντίγραφα σε μαθήματα ιστορίας, φυσικής ιστορίας και τεχνολογίας (Daher, 2020).

Ένα ακόμη πολύ ενδιαφέρον παράδειγμα χρήσης των τρισδιάστατων μοντέλων, που προσφέρει η ιστοσελίδα του ιδρύματος, είναι αυτό του «Voyager Story Standalone». Το Voyager είναι ένα διαδραστικό εργαλείο που επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί τρισδιάστατες «σκηνές» ή εμπειρίες βασισμένες σε τρισδιάστατα μοντέλα απευθείας από το πρόγραμμα περιήγησης του, χωρίς να χρειάζεται να εγκαταστήσει κάποιο ξεχωριστό πρόγραμμα στον υπολογιστή του. Με αυτόν τον τρόπο, κατεβάζοντας τα τρισδιάστατα αρχεία που υπάρχουν στο Smithsonian Open Access, μπορεί οποιοσδήποτε να φορτώσει (με drag & drop) ένα τρισδιάστατο μοντέλο (αρχείο .glb ή .gltf) στο παράθυρο, να περιστρέψει και να διαμορφώσει αυτό το μοντέλο στη σκηνή και να προσθέσει περιεχόμενο, όπως ετικέτες (annotations) με σχετικές πληροφορίες πάνω στο μοντέλο, σχετικές εικόνες ή ακόμα και να οργανώσει ολόκληρες ξεναγήσεις που καθοδηγούν τον χρήστη μέσα από μια ιστορία με διαφορετικές οπτικές και θέσεις κάμερας. Πρόκειται για ένα εντυπωσιακό σύστημα που χρησιμοποιείται από συντηρητές, ερευνητές και μουσειολόγους για να δημιουργούν πληρεις ξεναγήσεις και παρουσιάσεις τρισδιάστατων αντικειμένων (Smithsonian Institution. Voyager Story Standalone, n.d.).

Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι τα τρισδιάστατα αντικείμενα έχουν τη δυνατότητα να μην λειτουργούν απλώς ως ψηφιακά αρχεία, αλλά ως πολυδιάστατα εργαλεία εκπαίδευσης και διάχυσης της γνώσης σε ευρεία κλίμακα. Από σχολικές δραστηριότητες έως πανεπιστημιακή έρευνα, τα αντικείμενα αυτά μπορούν να μελετηθούν, να συγκριθούν, να μετρηθούν ή ακόμη και να αναπαραχθούν μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το παράδειγμα του Smithsonian Institution αναδεικνύει πώς, όταν υπάρχουν οι κατάλληλοι πόροι και η κατάλληλη στρατηγική, η φωτογραμμετρία και η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση μπορούν να προάγουν ουσιαστικά τον εκπαιδευτικό χαρακτήρα των μουσείων.

3.3 – Διάσωση πολιτιστικής κληρονομιάς και πληθοπορισμός

Μία ακόμα χρήση της φωτογραμμετρίας, και ίσως η σημαντικότερη, σχετίζεται με τη διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω της ψηφιακής ανακατασκευής κατεστραμμένων και κλεμμένων αντικειμένων. Η διάσωση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε προληπτικά, μέσω συστηματικής τεκμηρίωσης και ψηφιοποίησης των αντικειμένων πριν αυτά υποστούν φθορά, καταστροφή ή απώλεια, είτε εκ των υστέρων, αξιοποιώντας εναλλακτικές μεθόδους συλλογής οπτικών δεδομένων από ποικίλες πηγές. Για να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η δεύτερη αυτή προσέγγιση, είναι χρήσιμο να εξεταστεί ο όρος «Crowdsourced Photogrammetry» και οι χρήσεις του.

Αν και ο όρος «Crowdsourced Photogrammetry» στη διεθνή βιβλιογραφία απαντάται σχεδόν πάντα στην αγγλική γλώσσα, μπορούμε να τον μεταφράσουμε ως «Πληθοποριστική Φωτογραμμετρία» ακολουθώντας την μετάφραση του «crowdsourcing» ως «πληθοπορισμού» (Gavriilidou et al., 2012). Ο πληθοπορισμός αποτελεί ένα μοντέλο κατανομημένης επίλυσης προβλημάτων, στο οποίο μια ανοικτή πρόσκληση απευθύνεται σε μεγάλο και απροσδιόριστο αριθμό χρηστών για την υποβολή και αξιολόγηση λύσεων. Οι συμμετέχοντες μπορεί να είναι ερασιτέχνες, εθελοντές ή ειδικοί και ανάλογα την περίπτωση, μπορεί να παρακινούνται από οικονομικά κίνητρα, αναγνώριση ή προσωπική ικανοποίηση (Howe, 2006). Ως εκ τούτου, η Πληθοποριστική Φωτογραμμετρία είναι μια προσέγγιση της φωτογραμμετρίας κατά την οποία τα φωτογραφικά δεδομένα δεν συλλέγονται από έναν ενιαίο φορέα ή μία εξειδικευμένη ομάδα, αλλά προέρχονται από το ευρύ κοινό. Οι εικόνες λαμβάνονται συνήθως από επισκέπτες, τουρίστες ή χρήστες κινητών τηλεφώνων και φωτογραφικών μηχανών, συχνά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με διαφορετικές συσκευές και υπό διαφορετικές συνθήκες λήψης. Το υλικό αυτό συγκεντρώνεται και επεξεργάζεται με στόχο τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων μνημείων, αντικειμένων ή ολόκληρων χώρων (Ch'ng et al., 2019).

Το «Project Mosul» αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα αξιοποίησης της φωτογραμμετρίας σε συνδυασμό με τον πληθοπορισμό για την ψηφιακή ανακατασκευή και διάσωση μνημείων και πολιτιστικών αγαθών που έχουν καταστραφεί ή λεηλατηθεί, ειδικά στο πλαίσιο ενόπλων συγκρούσεων. Το έργο ξεκίνησε το 2015 από τους αρχαιολόγους Chance Coughenour και Matthew Vincent μετά την καταστροφή των αρχαίων εκθεμάτων

του Μουσείου της Μοσούλης στο Ιράκ από το Ισλαμικό Κράτος στο Ιράκ και στη Συρία (ISIS), το οποίο κατέγραψε και δημοσίευσε βίντεο όπου οι ένοπλοι κατέστρεφαν ανεκτίμητης αξίας αρχαιότητες, όπως αγάλματα και αναθηματικά αντικείμενα. Βασικός στόχος, επομένως, ήταν η δημιουργία ενός ψηφιακού αρχείου για αντικείμενα που δεν ήταν πλέον δυνατόν να τεκμηριωθούν με συμβατικές μεθόδους (Coughenour & Vincent, 2015). Έτσι, το Project Mosul αξιοποιεί φωτογραφίες που έχουν τραβηχτεί τόσο από το προσωπικό του μουσείου, όσο και από επισκέπτες και άλλους χρήστες πριν και μετά τη ζημιά. Αυτές οι εικόνες συλλέγονται μέσω ανοικτής πρόσκλησης, αξιοποιώντας εικόνες που είχαν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, με διαφορετικές συσκευές και χωρίς ενιαίο πρωτόκολλο τεκμηρίωσης. Παρά τις εγγενείς ανομοιογένειες του υλικού αυτού, η εφαρμογή μεθόδων φωτογραμμετρίας Structure from Motion (SfM) κατέστησε δυνατή την ανακατασκευή της τρισδιάστατης γεωμετρίας των αντικειμένων με ικανοποιητικό επίπεδο ακρίβειας, αποδεικνύοντας ότι ακόμη και μη εξειδικευμένα δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν επιστημονικά υπό τις κατάλληλες υπολογιστικές συνθήκες (Vincent et al., 2015).

Σύμφωνα με τους Vincent et al. (2015), το Project Mosul δεν αντιμετωπίζει τη φωτογραμμετρία απλώς ως τεχνικό εργαλείο αναπαράστασης, αλλά ως μια νέα μεθοδολογική προσέγγιση στη διαχείριση της απώλειας πολιτιστικής κληρονομιάς, όπου η συλλογική μνήμη και η συμμετοχή του κοινού μετατρέπονται σε ενεργό παράγοντα τεκμηρίωσης. Η διαδικασία ανακατασκευής περιλαμβάνει τη συγκέντρωση, φιλτράρισμα και αξιολόγηση των εικόνων, την παραγωγή αραιών και πυκνών νεφών σημείων, καθώς και τη δημιουργία πλεγμάτων και υφών, με στόχο τη μέγιστη δυνατή πιστότητα ως προς την αρχική μορφή των αντικειμένων. Παράλληλα, το έργο αναδεικνύει τις εγγενείς προκλήσεις της πληθοποριστικής προσέγγισης, όπως η ανομοιομορφία στην κλίμακα, τον φωτισμό και τις γωνίες λήψης, οι οποίες απαιτούν αυξημένη ερμηνευτική προσοχή και επιστημονική διαφάνεια κατά την αξιολόγηση των τελικών μοντέλων (Vincent et al., 2015).

Πέρα από την ψηφιακή αναπαράσταση, το Project Mosul συμβάλλει ουσιαστικά στη διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς και σε ένα ακόμα ευρύτερο επίπεδο, καθώς τα παραγόμενα τρισδιάστατα μοντέλα μπορούν να λειτουργήσουν ως εργαλεία έρευνας, εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης, αλλά και ως ψηφιακά τεκμήρια για την ταυτοποίηση κλεμμένων αντικειμένων στη διεθνή αγορά αρχαιοτήτων (Coughenour & Vincent, 2015). Επιπλέον, η δυνατότητα παραγωγής εκτυπώσιμων τρισδιάστατων αναπαραστάσεων

επιτρέπει τη φυσική επανεμφάνιση χαμένων αντικειμένων σε μουσειακά ή εκπαιδευτικά πλαίσια, χωρίς φυσικά να υποκαθιστά την αυθεντικότητα του πρωτοτύπου, αλλά λειτουργώντας συμπληρωματικά στη μνήμη και την κατανόηση του πολιτιστικού πλήγματος. Υπό αυτή την έννοια, το Project Mosul δεν συνιστά απλώς ένα τεχνολογικό εγχείρημα, αλλά ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του πώς η φωτογραμμετρία και ο πληθοπορισμός μπορούν να επαναπροσδιορίσουν τον ρόλο της ψηφιακής τεκμηρίωσης τόσο ως μέσο διατήρησης της κληρονομιάς, όσο και ως πράξη αντίστασης σε όσους θέλουν να διαγράψουν την ιστορία και τον πολιτισμό.

Σήμερα, το Project Mosul, με το όνομα Rekrei, έχει εξελιχθεί σε μια διεθνή συνεργατική πρωτοβουλία ψηφιακής διάσωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς, αξιοποιώντας μεγάλους όγκους πληθοποριστικών δεδομένων και τεχνικές φωτογραμμετρίας. Πέρα από τη Μοσούλη, το έργο έχει πια επεκταθεί σε διαφορετικά γεωγραφικά και πολιτιστικά συμφραζόμενα, όπως είναι ο αρχαιολογικός χώρος La Milpa στο κράτος Belize της Κεντρικής Αμερικής, όπου πραγματοποιήθηκε η πρώτη ανακατασκευή μνημείου από την αμερικανική ήπειρο, συνδυάζοντας πληθοπορισμό και στοχευμένη συλλογή δεδομένων για την αποτύπωση μιας στήλης των Μάγια και του περιβάλλοντος χώρου, με διαδραστική περιήγηση μέσω του Sketchfab. Παράλληλα, σε συνεργασία με την nFrames (SURE) που παρέχει υψηλής ποιότητας φωτογραμμετρικό λογισμικό, το Rekrei συμμετέχει στην ψηφιακή ανακατασκευή της Kathmandu, της πρωτεύουσας του Νεπάλ, μετά τον μεγάλο σεισμό του 2015 που επέφερε μεγάλες καταστροφές, με έμφαση στα μνημεία του ιστορικού κέντρου της πόλης, προσφέροντας συγκριτική απεικόνιση της κατάστασης πριν και μετά την καταστροφή (Rekrei, n.d.).

Φυσικά, υπάρχουν και άλλα έργα παρόμοιου χαρακτήρα, όπως το #NEWPALMYRA στη Συρία, το οποίο επικεντρώνεται στην ψηφιοποίηση των αρχαίων μνημείων της Παλμύρας (#NEWPALMYRA, 2021) και στη διάθεση εκτυπώσιμων τρισδιάστατων μοντέλων, καθώς και το CyArk / Project Anqa, μια διεθνή συνεργασία για προληπτική χαρτογράφηση ιστορικών μνημείων υψηλού κινδύνου στο Ιράκ και τη Συρία με τη χρήση laser (CyArk, n.d.). Ο κοινός στόχος αυτών των πρωτοβουλιών, όπως και με το Project Mosul, είναι η προστασία, η τεκμηρίωση και η μελλοντική αναστήλωση μνημείων που απειλούνται από καταστροφή (Nodjimbadem, 2016).

Η ανάλυση που προηγήθηκε ανέδειξε τον πολυδιάστατο ρόλο της φωτογραμμετρίας ως εργαλείου τεκμηρίωσης, ερμηνείας, αλλά και διάσωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς, μέσα από συγκεκριμένα παραδείγματα και εφαρμογές. Στο επόμενο κεφάλαιο θα επιτευχθεί η εξέταση των τεχνολογιών της Επαυξημένης και της Μεικτής Πραγματικότητας, οι οποίες θα αναλυθούν με αντίστοιχο τρόπο, τόσο ως προς τις δυνατότητές τους όσο και ως προς τους περιορισμούς και τις προκλήσεις που συνεπάγονται για το μουσειακό και ευρύτερο πολιτιστικό περιβάλλον.

Κεφάλαιο 4 – Επαυξημένη και Μεικτή Πραγματικότητα σε Μουσειακά Περιβάλλοντα

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η χρήση της Επαυξημένης και της Μεικτής Πραγματικότητας στο μουσειακό περιβάλλον, με κεντρικό άξονα τον τρόπο με τον οποίο οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να επηρεάσουν την εμπειρία του επισκέπτη. Η ανάλυση δεν περιορίζεται μόνο σε εφαρμογές που έχουν ήδη υλοποιηθεί σε μουσεία, αλλά επεκτείνεται και σε προτεινόμενες ή θεωρητικές χρήσεις που θα μπορούσαν να συμβάλουν ουσιαστικά στην κατανόηση και την πρόσληψη των εκθεμάτων. Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι υιοθετείται μια κριτική προσέγγιση, καθώς εξετάζονται και περιπτώσεις όπου η χρήση της Επαυξημένης και της Μεικτής Πραγματικότητας ενδέχεται να είναι από περιττή έως και προβληματική ή ακόμα και να υποβαθμίζει τη συνολική μουσειακή εμπειρία. Στόχος του κεφαλαίου δεν είναι η άκριτη προώθηση των ψηφιακών τεχνολογιών, αλλά η διερεύνηση των ορίων, των δυνατοτήτων και των συνθηκών υπό τις οποίες η Επαυξημένη και η Μεικτή Πραγματικότητα μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά και ουσιαστικά στο σύγχρονο μουσείο.

Οι επιμέρους υποενότητες οργανώνονται με βάση τον βαθμό στον οποίο η ένταξη αυτών των τεχνολογιών μπορεί να θεωρηθεί ουσιαστικά ωφέλιμη για τη μουσειακή εμπειρία, ξεκινώντας από τις περιπτώσεις όπου η συμβολή τους κρίνεται περισσότερο καθοριστική και προχωρώντας σταδιακά προς τις περισσότερο αμφιλεγόμενες εφαρμογές.

Αρχικά, αναλύεται η περίπτωση της οπτικής αποκατάστασης και ανασύνθεσης αντικειμένων με τη χρήση του παραδείγματος του Μουσείου του Λούβρου, μέσω της εμπειρίας Egypt Augmented (Snap AR Studio). Στη συνέχεια εξετάζεται η περίπτωση της παρουσίασης αντικειμένων που δεν βρίσκονται φυσικά στον χώρο, μέσω του παραδείγματος του Εθνικού Μουσείου Φυσικής Ιστορίας στο Παρίσι, με το έργο «REVIVRE». Έπειτα, ακολουθεί μια κριτική ανάλυση της εκπαιδευτικής αξίας, της αποτελεσματικότητας καθώς και του κινδύνου της «πληροφοριακής υπερφόρτωσης», μέσα από πέντε διαφορετικές μελέτες. Τέλος, εξετάζεται η πολύ ιδιαίτερη περίπτωση των «παραλλήλων», καθώς και οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει η χρήση της τεχνολογίας στον θεσμό του δια-μουσειακού δανεισμού, με τη βοήθεια ενός παραδείγματος δανεισμού μεταξύ του Μουσείου του Λούβρου και του Μουσείου Κυκλαδικής Τέχνης.

4.1 – Οπτική αποκατάσταση και ανασύνθεση αντικειμένων

Μία από τις βασικές λειτουργίες της Επαυξημένης και της Μεικτής Πραγματικότητας στο μουσειακό περιβάλλον είναι η οπτική αποκατάσταση και ανασύνθεση των αντικειμένων. Συγκεκριμένα, με εφαρμογές Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας μπορεί να επιτευχθεί η προβολή της αρχικής μορφής ενός αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο, ενώ ο επισκέπτης βλέπει μπροστά του τη σημερινή, φθαρμένη ή αποσπασματική κατάσταση. Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα ψηφιακής «συμπλήρωσης» ελλειπόντων τμημάτων, όπως για παράδειγμα σε αγάλματα χωρίς άκρα, αγγεία με θραύσματα κ.ο.κ. Με μία πιο προχωρημένη επεξεργασία αυτών των τεχνολογιών, μπορεί να δίνεται ακόμα και η δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών ιστορικών φάσεων του ίδιου αντικειμένου.

Χαρακτηριστικότατο παράδειγμα μιας τέτοιας χρήσης αποτελεί η προσπάθεια του Μουσείου του Λούβρου, στο Παρίσι, το οποίο σε συνεργασία με το Snap AR Studio του Snapchat, δημιούργησε μια σειρά εμπειριών Επαυξημένης Πραγματικότητας με τίτλο «Egypt Augmented». Ουσιαστικά, πρόκειται για μια εφαρμογή η οποία χρησιμοποιεί QR Codes που βρίσκονται δίπλα (ή κοντά) στα εκθέματα για να οπτικοποιήσει συγκεκριμένο περιεχόμενο στο κινητό τηλέφωνο του επισκέπτη. Καταργώντας, οπτικά, τη φθορά του χρόνου, το Egypt Augmented επιτυγχάνει την αποκατάσταση των θυρών και των ιερογλυφικών στο εξωτερικό του Ναού του Άμαση, αξιοποιώντας τα αρχαιολογικά δεδομένα, επαναφέρει τα πραγματικά χρώματα και τον διάκοσμο των ιερογλυφικών στον Κατάλογο των Βασιλέων του Καρνάκ, ενώ με την ανασύνθεση ελλειπόντων στοιχείων στον Ζωδιακό Κύκλο της Δένδρας, προσφέρει καθαρή εικόνα των λεπτομερειών για την καλύτερη κατανόηση του περιεχομένου και την ερμηνεία του (Snap Inc., 2023).

Η εμπειρία Egypt Augmented, δημιουργήθηκε με αφορμή τα 200 χρόνια από την αποκρυπτογράφηση των αιγυπτιακών ιερογλυφικών από τον Jean-François Champollion, μέσω της Στήλης της Ροζέττας. Ένα από τα πιο εντυπωσιακά μνημεία του αιγυπτιακού πολιτισμού αποτελεί ο Οβλεκίσκος του Λούξορ, ο οποίος προοριζόταν να βρίσκεται στην τετράγωνη αυλή του Λούβρου (Cour Carrée), αλλά για πολιτικούς λόγους κατέληξε στην Place de la Concorde. Τώρα πια, με την χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας και την εφαρμογή του μουσείου του Λούβρου, ο επισκέπτης μπορεί να δει το μνημείο στο χώρο όπου

προοριζόταν να βρίσκεται, εκπληρώνοντας έστω και εικονικά το ανεκπλήρωτο όραμα του Champollion (Berlinger, 2023).

Πρόκειται για μια υποδειγματική περίπτωση αξιοποίησης της Επαυξημένης Πραγματικότητας στο μουσειακό περιβάλλον, καθώς η ψηφιακή παρέμβαση δεν λειτουργεί ανταγωνιστικά προς το αυθεντικό έκθεμα, αλλά συμπληρωματικά. Μέσα από την οπτική αποκατάσταση και ανασύνθεση, το μουσειακό αντικείμενο «ζωντανεύει», αποκτώντας ξανά αναγνωρίσιμη μορφή και χρώμα, στοιχεία που διαφορετικά θα παρέμεναν δυσνόητα για ορισμένους επισκέπτες. Παράλληλα, η εμπειρία ενισχύει το ενδιαφέρον για άμεση, από κοντά παρατήρηση του αυθεντικού αντικειμένου, προσδίδοντας επιπλέον κίνητρο επίσκεψης. Η Επαυξημένη Πραγματικότητα, επομένως όταν βασίζεται σε τεκμηριωμένα αρχαιολογικά δεδομένα και χρησιμοποιείται με μέτρο, σεβασμό και σαφή μουσειολογικό στόχο, μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση και την ερμηνεία της πολιτιστικής κληρονομιάς.

4.2 – Παρουσίαση αντικειμένων που δεν βρίσκονται φυσικά στον χώρο

Το παράδειγμα του οβελίσκου του Λούξορ δίνει την αφορμή να εξετάσουμε την επόμενη και εξίσου σημαντική χρήση τόσο της Επαυξημένης όσο και της Μεικτής Πραγματικότητας, για την παρουσίαση αντικειμένων που δεν βρίσκονται φυσικά στον χώρο. Ειδικότερα, πρόκειται για δυο τεχνολογίες ικανές να προσφέρουν την προβολή αντικειμένων που έχουν χαθεί, καταστραφεί ή κλαπεί, αλλά και αντικειμένων που βρίσκονται σε αποθήκες και για οποιονδήποτε λόγο (όπως η έλλειψη χώρου ή οι εργασίες συντήρησης) δεν εκτίθενται τη δεδομένη χρονική στιγμή. Επιπλέον, αντικείμενα των κυρίων συλλογών που δανείζονται προσωρινά σε άλλα μουσεία, έχουν τη δυνατότητα να «επαναφέρονται» ψηφιακά, ώστε η αφήγηση της μόνιμης έκθεσης να παραμένει ολοκληρωμένη, ενώ ο επισκέπτης μπορεί να τα αντιλαμβάνεται στο πλαίσιο του συνόλου της συλλογής.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάστηκαν ορισμένες περιπτώσεις χρήσης ψηφιακών μέσων για την ανασύνθεση και την αναπαραγωγή τέτοιων αντικειμένων με τη βοήθεια της φωτογραμμετρίας. Όπως διαπιστώθηκε, το Project Mosul είναι ικανό να «επαναφέρει στη ζωή» κατεστραμμένα αντικείμενα με τη βοήθεια της Πληθοποριστικής Φωτογραμμετρίας, ενώ το Smithsonian X 3D επιτρέπει στον καθένα να έχει πρόσβαση σε τεράστιο αριθμό αντικειμένων που βρίσκονται κλεισμένα σε αποθήκες ή δίνει τη δυνατότητα προβολής μνημείων τεραστίων διαστάσεων από οπτικές που είναι αδύνατο να προσεγγίσει στον φυσικό

τους χώρο. Αντίστοιχο με τα παραπάνω, είναι το παράδειγμα του Ψηφιακού Μουσείου Κλεμμένων Πολιτιστικών Αντικειμένων (Virtual Museum of Stolen Cultural Objects) της UNESCO, που σχεδιάστηκε για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της παράνομης διακίνησης πολιτιστικών αγαθών και να αναδείξει την αξία της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η πλατφόρμα επιτρέπει στους επισκέπτες να εξερευνούν ψηφιακούς χώρους όπως σε ένα πραγματικό μουσείο, περιλαμβάνοντας ψηφιοποιημένα αντικείμενα δύο και τριών διαστάσεων που έχουν καταγραφεί ως κλεμμένα ή λείπουν από τις συλλογές χωρών-μελών της UNESCO. Κάθε αντικείμενο συνοδεύεται από εκπαιδευτικές αφηγήσεις, ιστορικό πλαίσιο και μαρτυρίες των κοινοτήτων προέλευσής του, με στόχο να κατανοηθεί όχι μόνο η μορφή και η πολιτιστική του σημασία, αλλά και το κενό που αφήνει η απώλειά του για την κοινότητα που το δημιούργησε (UNESCO, 2025).

Όπως διαπιστώνουμε, όμως, οι περισσότερες από αυτές τις πρωτοβουλίες λειτουργούν πρωτίστως ως αυτόνομες ψηφιακές πλατφόρμες ή διαδικτυακά «μουσεία», αποκομμένα από τον φυσικό εκθεσιακό χώρο. Επομένως, το ερώτημα που προκύπτει είναι, αφενός, κατά πόσο τα ψηφιακά αυτά αντικείμενα μπορούν να μεταφερθούν από το επίπεδο της τεκμηρίωσης και της εξ αποστάσεως πρόσβασης στο επίπεδο της ενεργούς μουσειακής εμπειρίας, εντός του ίδιου του μουσείου, και κατ'επέκταση αν μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά προς τα φυσικά εκθέματα. Πρόκειται για δύο ερωτήματα που είναι δύσκολο να απαντηθούν ή και να μελετηθούν ακόμα. Ο λόγος είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει επί του παρόντος μια ενιαία, οργανωμένη προσπάθεια ενός μουσείου που να ενσωματώνει πλήρως τις τεχνολογίες Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας για την προβολή εκθεμάτων που απουσιάζουν από τον χώρο λόγω καταστροφής, κλοπής ή της μη εκθέσιμης φύσης τους. Αντίθετα, πολλές προσπάθειες σε πλήθος μουσείων επιτυγχάνουν κάτι αντίστοιχο μέσω προβολής φωτογραφιών ή βίντεο σε οθόνες, όχι όμως με εφαρμογές που να εικονίζουν ένα τρισδιάστατο μοντέλο πραγματικών διαστάσεων, είτε σε μια κινητή συσκευή, είτε μέσω ειδικών γυαλιών Επαυξημένης Πραγματικότητας.

Η πιο κοντινή προσπάθεια στην αναπαγωγή εκθέματος που «απουσιάζει», κατά μία έννοια, είναι ενδεχομένως αυτή του Εθνικού Μουσείου Φυσικής Ιστορίας στο Παρίσι, με το έργο «REVIVRE» (γαλλ. «το να ξαναζωντανεύεις»). Το REVIVRE είναι μια εμπειρία Επαυξημένης Πραγματικότητας, η οποία επιτρέπει στους επισκέπτες να βλέπουν μπροστά τους αναπαραστάσεις απειλούμενων υπό εξαφάνιση και εξαφανισμένων ειδών, μέσα στο ίδιο

το μουσείο. Πλήρως κινούμενα τρισδιάστατα μοντέλα των ζώων σε πραγματικό μέγεθος εμφανίζονται μπροστά στα μάτια του επισκέπτη, τη στιγμή που ένα μεταναστευτικό περιστέρι (*ectopistes migratorius*, εξαφανισμένο από τις αρχές του 20^{ού} αιώνα) αφηγείται την ιστορία τους και τις αλληλεπιδράσεις τους με τους ανθρώπους, με τη μορφή ακουστικής περιήγησης (Muséum national d'Histoire naturelle & SAOLA Studio, n.d.).

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης έκθεσης είναι το γεγονός ότι η ψηφιακή εμπειρία προσφέρεται μέσα από τη χρήση ειδικών γυαλιών Επαυξημένης Πραγματικότητας. Αυτό το χαρακτηριστικό κρίνεται θετικό για τους παρακάτω λόγους. Πρώτον, σε αντίθεση με τα γυαλιά Εικονικής Πραγματικότητας, που έχουν όγκο, βάρος και αποκόπτουν όποιον τα φοράει από το περιβάλλον του, με τα γυαλιά Επαυξημένης Πραγματικότητας, ο επισκέπτης μπορεί να αλληλεπιδρά με τον πραγματικό κόσμο γύρω του ενώ απολαμβάνει πολύ πιο ξεκούραστα τον εικονικό κόσμο που εκτυλίσσεται μπροστά του. Δεύτερον, η ανάγκη της επαύξησης μέσω των γυαλιών και όχι μέσω της κάμερας μιας κινητής συσκευής δίνει μια παραπάνω ελευθερία στον επισκέπτη, χωρίς να τον αναγκάζει να είναι προσκολλημένος σε μια οθόνη. Τρίτον, πρόκειται για μια εμπειρία που προσφέρεται μόνο μέσα στον χώρο του μουσείου και όχι μέσω μιας εφαρμογής σε οποιαδήποτε συσκευή, σε οποιονδήποτε χρήστη και από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου, πράγμα το οποίο ενισχύει τον ρόλο του μουσείου, λειτουργεί επιπρόσθετα στην συνολική εμπειρία χωρίς να την υποβαθμίζει και έχει ως αποτέλεσμα να δώσει έναν παραπάνω λόγο σε κάποιον να θελήσει να επισκευθεί το συγκεκριμένο μουσείο.

Πρόκειται για μια υποδειγματική περίπτωση στην οποία η τεχνολογία λειτουργεί επαυξάνοντας και όχι αντικαθιστώντας το πραγματικό έκθεμα. Με αυτόν τον τρόπο, η συνολική εμπειρία δημιουργεί στον επισκέπτη την επιθυμία να ξαναδεί τα εκθέματα στην κύρια έκθεση στη «Grande Galerie de l'Évolution», αυτή τη φορά με μία διαφορετική ματιά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, λοιπόν, και υπό αυτές τις προϋποθέσεις κρίνεται σημαντική και χρήσιμη η ύπαρξη του ψηφιακού αντικειμένου και της τεχνολογίας επαύξησης μέσα στο χώρο του μουσείου και παράλληλα με τα υπόλοιπα εκθέματα.

4.3 – Επαύξηση πληροφορίας: εκπαιδευτική αξία, αποτελεσματικότητα και ο κίνδυνος της «πληροφοριακής υπερφόρτωσης»

Όπως αντιλαμβανόμαστε από τα παραδείγματα του Μουσείου του Λούβρου και του Εθνικού Μουσείου Φυσικής Ιστορίας του Παρισιού, η ενσωμάτωση τεχνολογιών Επαυξημένης Πραγματικότητας στο μουσειακό περιβάλλον δημιουργεί τη δυνατότητα παροχής πολυεπίπεδης και δυναμικής πληροφόρησης, η οποία υπερβαίνει τους περιορισμούς των παραδοσιακών επιγραφών και ερμηνευτικών κειμένων. Αυτή η δυνατότητα, φυσικά, επηρεάζει άμεσα και τον εκπαιδευτικό ρόλο του μουσείου, καθώς και το κατά πόσο η μετάδοση της επιθυμητής πληροφορίας είναι επιτυχής ή όχι.

Η έρευνα του Benjamin Dudzik (2018) σχετικά με τις αντιλήψεις των επισκεπτών υποστηρίζει ότι οι επισκέπτες εκτιμούν ιδιαίτερα τα εκπαιδευτικά, αλληλεπιδραστικά και ψυχαγωγικά χαρακτηριστικά της Επαυξημένης Πραγματικότητας ιδίως σε επιστημονικά μουσεία. Οι επισκέπτες αντιλαμβάνονται την Επαυξημένη Πραγματικότητα ως εργαλείο εκπαίδευσης και αλληλεπίδρασης που ενισχύει την εμπλοκή τους με το εκθεσιακό περιεχόμενο. Η επαύξηση της πραγματικότητας συνδέεται επίσης με την αντίληψη του μουσείου ως σύγχρονου και τεχνολογικά ενημερωμένου, πράγμα το οποίο δείχνει την επίδραση που έχουν τέτοιες τεχνολογίες στην ταυτότητα ενός ιδρύματος. Παρά τα θετικά αυτά στοιχεία, βέβαια, η έρευνα του Dudzik επισημαίνει ότι οι επισκέπτες δεν θεωρούν απαραίτητα την Επαυξημένη Πραγματικότητα ως υποκατάστατο της παραδοσιακής εμπειρίας. Αντιθέτως, εντοπίζονται προκλήσεις που σχετίζονται τόσο με την τεχνολογία όσο και με τον χρήστη, όπως είναι τα προβλήματα λειτουργίας συστήματος, η αδυναμία κατανόησης της χρήσης της τεχνολογίας και ζητήματα προσβασιμότητας για επισκέπτες με ειδικές ανάγκες (π.χ. άτομα με προβλήματα όρασης ή επιληψία). Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, κρίνεται απαραίτητη η παροχή σαφών οδηγιών και η εξασφάλιση πρόσβασης σε εναλλακτικές μορφές παρουσίασης για όλους τους επισκέπτες. Ο Dudzik επισημαίνει ότι η Επαυξημένη Πραγματικότητα πρέπει να εντάσσεται στα εκθέματα με σκοπό την επίλυση εκπαιδευτικών προβλημάτων και την επίτευξη συγκεκριμένων μαθησιακών στόχων. Η απλή τεχνολογική επίδειξη χωρίς εκπαιδευτική αιτιολόγηση μπορεί να υποβαθμίσει την εμπειρία του επισκέπτη. Επομένως, η ορθή ενσωμάτωση της Επαυξημένης Πραγματικότητας απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, προσαρμοσμένο στις

προσδοκίες και τις ανάγκες του κοινού, ώστε να λειτουργεί ως εργαλείο που συμπληρώνει και δεν υποκαθιστά το φυσικό εκθεσιακό αντικείμενο (Dudzic, 2018).

Ο προσεκτικός σχεδιασμός, φυσικά, σχετίζεται και με τον όγκο των πληροφοριών που τίθεται να προσφέρει η εκάστοτε εφαρμογή Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας. Δεν πρέπει να αγνοούμε, άλλωστε, ότι η αυξημένη πληροφοριακή πυκνότητα που προσφέρει η Επαυξημένη Πραγματικότητα ενέχει τον κίνδυνο της «πληροφοριακής υπερφόρτωσης» (information overload), δηλαδή της κατάστασης κατά την οποία ο επισκέπτης αδυνατεί να επεξεργαστεί αποτελεσματικά τον όγκο των παρεχόμενων δεδομένων, με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανόησης και της ποιότητας της εμπειρίας (Sweller, 1988). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη μελέτη του John Sweller, η Θεωρία Γνωστικού Φορτίου (Cognitive Load Theory) υποστηρίζει ότι η ανθρώπινη εργαζόμενη μνήμη έχει περιορισμένη χωρητικότητα· συνεπώς, η υπερβολική ή μη ιεραρχημένη πληροφορία μπορεί να επιβαρύνει τη γνωστική επεξεργασία και να παρεμποδίσει τη μάθηση (Sweller, 1988). Στο πλαίσιο των ψηφιακών διαδραστικών εφαρμογών, έχει επισημανθεί από τον Richard E. Mayer ότι ο σχεδιασμός πρέπει να αποφεύγει τον ταυτόχρονο καταιγισμό οπτικών, ηχητικών και κειμενικών ερεθισμάτων, τα οποία ανταγωνίζονται για την προσοχή του χρήστη (Mayer, 2009). Ειδικότερα στα μουσεία, όπου το ίδιο το αυθεντικό αντικείμενο αποτελεί τον πυρήνα της εμπειρίας, η υπερβολική ψηφιακή επαύξηση ενδέχεται να μετατοπίσει το ενδιαφέρον από το υλικό τεκμήριο προς την οθόνη.

Σχετικές μελέτες για τις ψηφιακές εφαρμογές σε μουσειακά περιβάλλοντα υποδεικνύουν ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες είναι αποτελεσματικότερες όταν λειτουργούν συμπληρωματικά και όχι ανταγωνιστικά προς το ίδιο το έκθεμα, παρέχοντας πληροφορία σε κλιμακωτά επίπεδα (layered interpretation) που ενεργοποιούνται κατόπιν επιλογής του επισκέπτη (Economou & Meintani, 2011). Στα πλαίσια της έρευνάς τους σχετικά με την αξιολόγηση μουσειακών εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα, οι Μ. Οικονόμου και Ε. Μεϊντάνη συγκέντρωσαν στοιχεία από 71 εφαρμογές κινητών τηλεφώνων από μουσεία 13 διαφορετικών χωρών, εκ των οποίων οι 64 μελετήθηκαν σε βάθος και διαχωρίστηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους και το περιεχόμενο που προσφέρουν (Πίνακας 1).

Τύπος Εφαρμογής	Αριθμός
Παρουσιάσεις – ξεναγήσεις σε μόνιμες εκθέσεις και στο μουσείο γενικότερα	29
Παρουσιάσεις – ξεναγήσεις σε περιοδικές εκθέσεις και πρακτικές πληροφορίες για την επίσκεψη στο μουσείο	20
Συνδυασμός των δύο παραπάνω	5
Εφαρμογές αφιερωμένες σε ένα μόνο αντικείμενο ή έργο τέχνης από τη συλλογή	5
Δημιουργία ή επεξεργασία περιεχομένου από τον χρήστη, εμπνευσμένη από το έργο καλλιτεχνών	3
Παιχνίδια βασισμένα στα εκθέματα	2

Πίνακας 1: Πίνακας των 64 εφαρμογών που μελετήθηκαν (Economou & Meintani, 2011).

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μελέτη, η αξιολόγηση εφαρμογών κινητών τηλεφώνων σε μουσειακά περιβάλλοντα αναδεικνύει ορισμένα κρίσιμα ζητήματα που σχετίζονται άμεσα με το επίπεδο πληροφορίας και τον σχεδιασμό της ψηφιακής εμπειρίας. Συγκεκριμένα, επισημαίνεται ότι, ενώ οι ψηφιακές εφαρμογές κινητών τηλεφώνων προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής εκτεταμένου περιεχομένου (κείμενο, εικόνα, ήχος, βίντεο), η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από τον βαθμό στον οποίο ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη τη συμπεριφορά και τις προσδοκίες των επισκεπτών. Παρατηρείται ότι οι χρήστες δεν επιθυμούν να διαβάζουν εκτενή κείμενα στην οθόνη ούτε να αποσπώνται από το ίδιο το έκθεμα. Αντίθετα, προτιμούν σύντομες, στοχευμένες πληροφορίες που ενισχύουν την άμεση επαφή με το αντικείμενο. Η μελέτη δείχνει επίσης ότι η υπερβολική πληροφορία ή η κακή δομή πλοήγησης μπορεί να οδηγήσει σε γνωστική κόπωση και να μετατοπίσει την προσοχή από τον εκθεσιακό χώρο προς τη συσκευή, επομένως υπάρχει και μια ανάγκη για φιλτράρισμα του περιεχομένου που φτάνει στον επισκέπτη (Economou & Meintani, 2011). Ως εκ τούτου, η δυνατότητα ελεγχόμενης πρόσβασης σε επιπλέον πληροφορία, όταν γίνεται με μέτρο και ξεκάθαρο σκοπό, έχει τη δυνατότητα να ενισχύει την αυτονομία και την

ποιότητα της ερμηνευτικής εμπειρίας. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι οι περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν στην παραπάνω έρευνα αφορούν εφαρμογές που χρησιμοποιούνται κυρίως κατά τη διάρκεια της επίσκεψης στον φυσικό χώρο του μουσείου, με την αξιοποίησή τους πριν ή μετά την επίσκεψη να παραμένει μάλλον περιορισμένη, πράγμα το οποίο, όμως, λειτουργεί θετικά ως προς την ανάδειξη της σημασίας της φυσικής παρουσίας στον χώρο του μουσείου.

Η σύγχρονη βιβλιογραφία συγκλίνει στην άποψη ότι η Επαυξημένη Πραγματικότητα δύναται να λειτουργήσει ως ουσιαστικό συμπληρωματικό εργαλείο ερμηνείας, προσφέροντας πληροφορίες και οπτικοακουστικά στοιχεία που ο επισκέπτης δεν είναι εύκολο να εντοπίσει ή να κατανοήσει μόνο μέσω της άμεσης παρατήρησης του εκθέματος. Ωστόσο, όπως διατυπώθηκε προηγουμένως, η ενίσχυση της πληροφορίας δεν ταυτίζεται με την άκριτη αύξηση του όγκου της. Την ίδια θέση τονίζει και η πρόσφατη μελέτη των Yijie Xu και Yixuan Zhou (2025), που ανιχνεύει τόσο την ανάγκη σωστού σχεδιασμού όσο και την δυνατότητα αποφυγής «πληροφοριακής υπερφόρτωσης» (information overload), προτείνοντας στρατηγικές για βέλτιστη χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας, ώστε οι επισκέπτες να εστιάζουν στο ουσιαστικό εκπαιδευτικό περιεχόμενο και όχι απλώς σε πολύ κείμενο ή πολύπλοκες επιλογές του χρήστη. Στο πλαίσιο αυτό, όπως και οι Οικονόμου και Μεϊντάνη, οι Xu και Zhou προτείνουν την υιοθέτηση ιεραρχικής παρουσίασης της πληροφορίας, ώστε οι επισκέπτες να έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν οι ίδιοι το βάθος και τον ρυθμό πρόσβασης στο περιεχόμενο. Όταν γίνεται με μέτρο, η οπτική και ακουστική καθοδήγηση μέσω σαφών εικονιδίων, κινούμενων γραφικών και ηχητικών στοιχείων μπορεί να διευκολύνει την κατανόηση χωρίς να επιβαρύνει τη γνωστική επεξεργασία. Παράλληλα, η αξιοποίηση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης για την προσαρμογή του περιεχομένου στη συμπεριφορά και την ανατροφοδότηση του χρήστη επιτρέπει τη διαμόρφωση εξατομικευμένων εμπειριών, μειώνοντας ακόμη περισσότερο το γνωστικό φορτίο και ενισχύοντας την εμπλοκή και την ικανοποίηση. Ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να γίνει αυτό, είναι με την ανάλυση δεδομένων χρήσης, όπως είναι ο εντοπισμός «θερμών» και «ψυχρών» σημείων ενδιαφέροντος στον εκθεσιακό χώρο. Κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει σε αναπροσαρμογή της διάταξης των πληροφοριών, διασφαλίζοντας ότι υπηρετεί το εκπαιδευτικό περιεχόμενο και όχι την τεχνολογική επίδειξη. Πρωτίστως, λοιπόν, οι εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας οφείλουν να είναι αποδοτικές και εύκολα

κατανοητές, επιτυγχάνοντας ισορροπία ανάμεσα στην καινοτομία και το βάθος της πολιτισμικής πληροφορίας (Xu & Zhou, 2025).

Κατά τους Xu και Zhou, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ορθής χρήσης εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας αποτελεί η εφαρμογή «Skin and Bones» του Smithsonian's National Museum of Natural History (Xu & Zhou, 2025). Η εφαρμογή παρουσιάστηκε το 2015 και αφορά την ιστορική αίθουσα Bone Hall, όπου εκτίθενται περίπου 300 σκελετοί σπονδυλωτών ζώων. Μέσω της εφαρμογής, 13 επιλεγμένοι σκελετοί «ζωντανεύουν» με τη χρήση τρισδιάστατης Επαυξημένης Πραγματικότητας και τεχνολογίας τρισδιάστατης ιχνηλάτησης (3D tracking). Ο επισκέπτης επιλέγει ένα ζώο από τον χάρτη της αίθουσας και, στρέφοντας την κάμερα της συσκευής προς το έκθεμα, ενεργοποιεί τρισδιάστατα γραφικά, κινούμενα σχέδια, βίντεο και διαδραστικές δραστηριότητες. Μεταξύ άλλων, μπορεί να παρακολουθήσει ένα φίδι να επιτίθεται σε εικονικό θήραμα, να συμμετάσχει σε παιχνίδι αναγνώρισης ειδών νυχτερίδας μέσω των ήχων τους ή να ενημερωθεί για ζητήματα οικολογίας, εξέλιξης και λειτουργικής ανατομίας, καθώς και για το έργο των επιστημόνων του ιδρύματος. Η ανάπτυξη της εφαρμογής διήρκεσε δύο έτη, υλοποιήθηκε με χρηματοδότηση της εταιρίας Booz Allen Hamilton και με τη συμβολή του Virginia Polytechnic Institute and State University για τα animations, ενώ η παροχή δωρεάν Wi-Fi στον χώρο διευκόλυνε την επιτόπια χρήση (Lavery, 2015).

Η αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης εφαρμογής αποτυπώνεται και ποσοτικά, καθώς, σύμφωνα με τον Shu (2022), «ο μέσος χρόνος παραμονής των επισκεπτών στην αίθουσα αυξήθηκε από 1 λεπτό και 34 δευτερόλεπτα σε 14 λεπτά μετά τη χρήση της εφαρμογής, σημειώνοντας αύξηση άνω του 1000%» (Shu, 2022· Xu & Zhou, 2025). Το εύρημα αυτό καταδεικνύει τη δυναμική της Επαυξημένης Πραγματικότητας ως εργαλείου ενίσχυσης της εκπαιδευτικής επικοινωνίας, όταν αυτή εντάσσεται με σαφή παιδαγωγικό στόχο και χωρίς να υποκαθιστά την άμεση επαφή με το αυθεντικό αντικείμενο. Συνεπώς, ο σχεδιασμός εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας σε μουσεία οφείλει να στηρίζεται σε μουσειολογικές αρχές, στην οπτική λιτότητα και στη δυνατότητα ελεγχόμενης ή εξατομικευμένης πλοήγησης, διασφαλίζοντας ότι η τεχνολογία λειτουργεί ως εργαλείο ενεργής διερεύνησης και εμβάθυνσης και όχι ως μηχανισμός παθητικής παράδοσης υπερβολικής πληροφορίας. Σε αντίθετη περίπτωση, η χρήση της ενδέχεται να καταστεί από αναποτελεσματική έως και υπονομευτική για τον ίδιο τον εκπαιδευτικό ρόλο του μουσείου.

4.4 – «Παράλληλα», δια-μουσειακές συνδέσεις και αυθεντικότητα

Μια ακόμη πτυχή της μουσειακής εμπειρίας που πρέπει να αναλυθεί σε βάθος σχετίζεται με τα «παράλληλα», δηλαδή αντικείμενα ή κατασκευές που παρουσιάζουν στενή ομοιότητα στη μορφή, την τεχνική, τον διάκοσμο, τη χρήση ή έχουν κοινή προέλευση. Αν και πρόκειται, όπως και σε προηγούμενη υποενότητα, για αντικείμενα που απουσιάζουν φυσικά από τον χώρο, το συγκεκριμένο ζήτημα απαιτεί μια διαφορετική και περισσότερο κριτική προσέγγιση. Η φύση των συγκεκριμένων αντικειμένων, η ιστορική και γεωγραφική τους διαδρομή, η σχέση τους τόσο με το μουσείο στο οποίο εκτίθενται όσο και με τον τόπο προέλευσής τους, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το κατά πόσο θετική ή αρνητική μπορεί να αποδειχθεί η δημιουργία των ψηφιακών τους αντιγράφων, ιδίως υπό το πρίσμα της συζήτησης για την αυθεντικότητα, την υλικότητα και τη μετατόπιση του νοήματος μέσω της αναπαραγωγής (βλ. Benjamin, 1936/2008· Jones, 2010).

Παρά τη συχνή αξιοποίηση της Επαυξημένης και της Μεικτής Πραγματικότητας με ποικίλους τρόπους σε μουσειακά περιβάλλοντα, πρέπει να σημειωθεί πως μέχρι σήμερα δεν παρατηρείται κάποια οργανωμένη και συστηματική εφαρμογή των συγκεκριμένων τεχνολογιών που να αφορά αποκλειστικά την προβολή πραγματικών παραλλήλων από άλλες συλλογές. Ωστόσο, ο επιθετικός ρυθμός με τον οποίο εισέρχονται οι νέες τεχνολογίες στο μουσειακό χώρο, δείχνει πως μια τέτοια εξέλιξη δεν θα αργήσει να υλοποιηθεί. Σε θεωρητικό επίπεδο πάντα, η Επαυξημένη και η Μεικτή Πραγματικότητα δύνανται να προσφέρουν σε έναν επισκέπτη τη δυνατότητα ψηφιακής προβολής παραλλήλων και συγκρίσιμων αντικειμένων που φυλάσσονται σε άλλα μουσεία ή βρίσκονται σε διαφορετικές χώρες, σε άμεση οπτική συνάφεια με το έκθεμα που βρίσκεται μπροστά του. Πρόκειται για μια προσέγγιση που θα μπορούσε, με τον κατάλληλο σχεδιασμό, να επιτρέψει στον επισκέπτη να αντιληφθεί το αντικείμενο όχι ως μεμονωμένο τεκμήριο, αλλά ως μέρος ενός ευρύτερου τυπολογικού, γεωγραφικού και ιστορικού πλαισίου. Έτσι, δύναται να επιτευχθεί η οπτική σύγκριση διαφορετικών παραλλαγών του ίδιου τύπου αντικειμένου (π.χ. ειδώλια, εργαλεία, νομίσματα) ή ακόμα και η δημιουργία «φανταστικών εκθεσιακών επανενώσεων» συλλογών που ιστορικά ανήκαν μαζί, αλλά σήμερα είναι διασκορπισμένες. Κατ'επέκταση, θα υποστήριζε κανείς, με έναν τέτοιο τρόπο μπορεί να ενισχυθεί η βαθύτερη κατανόηση των δικτύων ανταλλαγής, των επιρροών και των πολιτισμικών σχέσεων.

Η πραγματικότητα, όμως, διαφέρει αρκετά από την παραπάνω θεωρητική προσέγγιση, καθώς υπάρχουν παράμετροι που δεν έχουν υπολογιστεί. Σίγουρα, η δυνατότητα του επισκέπτη να βλέπει ένα αντικείμενο μέσα στο σύνολο αναφοράς του και μάλιστα σε πραγματικό μέγεθος, είτε πρόκειται για φυσικό πιστό αντίγραφο είτε για ψηφιακό, βοηθάει στην κατανόησή του, σε καμία περίπτωση, όμως δεν είναι σε θέση να αντικαταστήσει την εμπειρία του να έρχεται κανείς σε επαφή με το πρωτότυπο. Η υλικότητα και η «αύρα» του αυθεντικού αντικειμένου συγκροτούν μια εμπειρία μη αναγώγιμη σε αναπαραστάσεις (Benjamin, 1936/2008· Jones, 2010). Εδώ βρίσκεται και η μεγάλη συμβολή των περιοδικών εκθέσεων στη μουσειακή εμπειρία, με τους δανεισμούς αντικειμένων από ένα ίδρυμα σε ένα άλλο. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, όμως, η ύπαρξη ενός ψηφιακού υποκατάστατου δύναται να απειλήσει τον θεσμό του δανεισμού. Είναι προφανές ότι μεγάλος αριθμός μουσείων, ιδρυμάτων και ιδιωτικών συλλογών θα προτιμήσουν μια «λύση» άμεση, καθόλου κοστοβόρα και απόλυτα ασφαλή· και πράγματι, η δημιουργία και αποστολή ενός τρισδιάστατου αρχείου μπορεί να επιτευχθεί σε ελάχιστο χρόνο, εντελώς δωρεάν και χωρίς τον κίνδυνο καταστροφής ή κλοπής κατά τη μεταφορά του αυθεντικού αντικειμένου. Μια τέτοια προσέγγιση, ωστόσο, ενέχει τον κίνδυνο να μετατοπίσει το κέντρο βάρους της μουσειακής πρακτικής από τη συνάντηση με το αυθεντικό αντικείμενο προς μια εμπειρία ευκολίας και τεχνολογικής επάρκειας, υποβαθμίζοντας τη σημασία της αυθεντικής υλικής παρουσίας και της ενσώματης εμπειρίας, η οποία αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της μουσειακής εμπειρίας (Dudley, 2010). Οι δανεισμοί δεν αποτελούν απλώς μια πρακτική λύση για τον εμπλουτισμό των συλλογών, αλλά έναν βασικότατο μηχανισμό πολιτισμικής ανταλλαγής, διαλόγου μεταξύ ιδρυμάτων και πρόσβασης του κοινού σε αντικείμενα που, υπό άλλες συνθήκες, θα παρέμεναν αθέατα. Η φυσική παρουσία ενός αντικειμένου στον εκθεσιακό χώρο, έστω και για περιορισμένο χρονικό διάστημα, προσφέρει μια εμπειρία μοναδική και αναντικατάστατη, η οποία δεν μπορεί να αναπαραχθεί πλήρως, ούτε από το πιο πιστό ψηφιακό αντίγραφο.

Στο Μουσείο Αρχαίας Ελεύθερνας στην Κρήτη, ευρήματα που χρονολογούνται από την 3^η χιλιετία π.Χ. έως και την 1^η χιλιετία μ.Χ. προσφέρουν μια σφαιρική εικόνα της καθημερινής ζωής, του ιδιωτικού και δημόσιου βίου, των εθίμων και των ταφικών πρακτικών της περιοχής, ανά τους αιώνες. Ανάμεσά τους, στην Αίθουσα Β, η οποία είναι αφιερωμένη στη θρησκευτική ζωή και τις λατρείες της πόλης, εκτίθεται η λεγόμενη «Κόρη της Ελεύθερνας». Πρόκειται για το κάτω μέρος του κορμού ενός λίθινου γυναικείου αγάλματος, το οποίο χρονολογείται περί το 650 π.Χ. (Σταμπολίδης, 2018). Οι εξωτερικές ομοιότητες και οι

λεπτομέρειες της τεχνοτροπίας του οδήγησαν τον Καθηγητή Ν. Χρ. Σταμπολίδη στη σύνδεση του αγάλματος με την περίφημη «Κυρία της Ωσέρ» (γαλλ. Dame d'Auxerre), η οποία φυλάσσεται στο Μουσείο του Λούβρου στο Παρίσι. Πράγματι, η πετροχημική ανάλυση του μαργαϊκού ασβεστόλιθου επιβεβαίωσε την καταγωγή της Κυρίας της Ωσέρ από το ίδιο λατομείο της Αρχαίας Ελεύθερνας (Σταμπολίδης, 2020). Το συγκεκριμένο αγαλμάτιο, το οποίο θεωρείται σήμερα πρότυπο της λεγόμενης «δαιδαλικής πλαστικής», βρέθηκε τυχαία το 1907 από τον τότε επιμελητή του Μουσείου του Λούβρου, M. Collignon, στις αποθήκες του Μουσείου της Auxerre (Collignon, 1908· Σταμπολίδης, 2004). Μια δραματοποιημένη αφήγηση του «ταξιδιού» της Κυρίας της Ωσέρ, καθώς και του τρόπου εύρεσης της «αδελφής» της, προβάλλεται στην Αίθουσα Β του Μουσείου Αρχαίας Ελεύθερνας μέσω της ταινίας μικρού μήκους *La Dame d'Auxerre* (2015), σε σκηνοθεσία Αντώνη Θεοχάρη Κιούκα, δίπλα ακριβώς από την προθήκη της Κόρης της Ελεύθερνας.

Το 2004 στα πλαίσια της περιοδικής έκθεσης «Ελεύθερνα: Πόλη, Ακρόπολη, Νεκρόπολη» (30/11/2004–25/02/2005) που έλαβε χώρα στο Μουσείο Κυκλαδικής Τέχνης στην Αθήνα, συνέβη κάτι μοναδικό: για πρώτη φορά στην ιστορία της, η Κυρία της Ωσέρ δανείστηκε από το Μουσείο του Λούβρου σε άλλο ίδρυμα και, μάλιστα, κατά την διάρκεια της έκθεσης, τοποθετήθηκε στην ίδια ακριβώς προθήκη με την Κόρη της Ελεύθερνας (Musée du Louvre, n.d.). Επομένως, με αυτόν τον τρόπο, ο δια-μουσειακός δανεισμός σε συνδυασμό με τον ανθρώπινο παράγοντα και συγκεκριμένα τις συντονισμένες προσπάθειες των υπευθύνων των δύο ιδρυμάτων, κατάφεραν μετά από αιώνες να φέρουν σε επαφή, έστω και για περιορισμένο χρονικό διάστημα, δύο αντικείμενα που προέρχονται από το ίδιο χώμα. Ένας επισκέπτης που αντιλαμβάνεται τη βαρύτητα και τη δυσκολία τέτοιων ενεργειών μπορεί να κατανοήσει πως κανένα ψηφιακό μέσο, καμία ψηφιακή αναπαράσταση, δεν είναι σε θέση να υποκαταστήσει τη συγκίνηση που προκαλεί η συνύπαρξη της Κόρης της Ελεύθερνας στην ίδια προθήκη με την Dame d'Auxerre.

Πέραν αυτού, όμως, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η απουσία ενός αντικειμένου από τον μουσειακό χώρο αποκτά ιδιαίτερη ερμηνευτική και συναισθηματική βαρύτητα. Το «κενό» που αφήνει ένα αντικείμενο το οποίο έχει χαθεί, κλαπεί ή απομακρυνθεί βίαια από τον τόπο προέλευσής του (όπως συμβαίνει συχνά με αντικείμενα που υπήρξαν προϊόντα αρχαιοκαπηλίας και κατέληξαν σε συλλογές του εξωτερικού) δεν αποτελεί απλώς έλλειμμα, αλλά μπορεί να λειτουργήσει ως εκθεσιακό μήνυμα. Έτσι, η συνειδητοποίηση της απουσίας,

η αδυναμία του επισκέπτη να δει το αντικείμενο «εκεί όπου ανήκει», του μεταφέρει άμεσα και βιωματικά το βάρος της απώλειας.

Με αυτό το σκεπτικό, λοιπόν, ο επισκέπτης του Νέου Μουσείου Ακροπόλεως καλείται να δει, όχι μόνο τα μάρμαρα που εκτίθενται, αλλά και το κενό, την παράνομη πράξη, το φερμάνι δίχως *tuğra*, τον βάρβαρο ξεριζωμό. Κι αφού δει όλα όσα έχει το μουσείο να του δείξει, μπορεί να νιώσει, είτε οργή, είτε λύπη, είτε ελπίδα. Γιατί, πράγματι, κοιτώντας το θραύσμα Fagan από το Παλέρμο και τα θραύσματα που δώρισε ο Πάπας Φραγκίσκος από τα Μουσεία του Βατικανού, μπορεί κανείς να ελπίζει στον ανθρώπινο παράγοντα. Άνθρωποι μεν τα απέσπασαν, άνθρωποι τα διακίνησαν παράνομα, αλλά και άνθρωποι συνεργάστηκαν για να τα επανενώσουν. Τα παραπάνω είναι μόνο μερικά από τα παραδείγματα (για περισσότερα πάνω στο ζήτημα, βλ. Σταμπολίδης, 2024), τα οποία δε θα είχαμε την ευκαιρία να εξετάσουμε αν τη θέση του κενού καταλάμβανε μια ψηφιακή αναπαράσταση, η οποία αποτελεί κάθε άλλο παρά «συμπλήρωση».

Κεφάλαιο 5 – Ερευνητικά Αποτελέσματα, Συμπερασματικές Παρατηρήσεις και Προτάσεις για Μελλοντική Διερεύνηση

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια ανέδειξε τον σύνθετο και πολυδιάστατο ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν οι ψηφιακές τεχνολογίες στη μελέτη, την τεκμηρίωση, τη διατήρηση και την παρουσίαση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Μέσα από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, καθώς και την εξέταση επιλεγμένων παραδειγμάτων εφαρμογής σε μουσειακά και πολιτιστικά περιβάλλοντα, καθίσταται σαφές ότι τόσο η φωτογραμμετρία όσο και οι τεχνολογίες Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη σύγχρονη μουσειακή πρακτική, υπό την προϋπόθεση ότι αξιοποιούνται με σαφή επιστημονικό και παιδαγωγικό προσανατολισμό. Στο πλαίσιο αυτό, το παρόν κεφάλαιο επιχειρεί να συνθέσει τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την προηγούμενη ανάλυση και να τα οργανώσει σε μια συνολική ερμηνευτική προσέγγιση του ρόλου των ψηφιακών τεχνολογιών αναφορικά με τη μουσειακή εμπειρία.

Ειδικότερα, γίνεται προσπάθεια, αρχικά, να εξεταστούν οι διαφορετικοί ρόλοι που μπορούν να διαδραματίσουν οι τεχνολογίες αυτές, αναδεικνύοντας τις διακριτές λειτουργίες της φωτογραμμετρίας ως εργαλείου επιστημονικής τεκμηρίωσης και των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας ως μέσων ερμηνείας και παρουσίασης. Στη συνέχεια, προτείνονται ορισμένα βασικά κριτήρια αναγκαιότητας για την εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών σε μουσειακά περιβάλλοντα, με στόχο να προσδιοριστούν οι περιπτώσεις στις οποίες η χρήση τους προσφέρει ουσιαστική προστιθέμενη αξία. Έπειτα, παρουσιάζεται μια συγκριτική ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών, δυνατοτήτων και περιορισμών της φωτογραμμετρίας και των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας, όπως αυτά προέκυψαν από τη βιβλιογραφία και τις μελέτες περίπτωσης που εξετάστηκαν. Τέλος, διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση σε επιμέρους ζητήματα που αναδείχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας και τα οποία απαιτούν πρόσθετη επιστημονική μελέτη.

5.1 – Διαφορετικοί ρόλοι των τεχνολογιών

Όπως διαπιστώθηκε και στην παρούσα έρευνα, η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών τεχνολογιών τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στη διεύρυνση των μεθόδων τεκμηρίωσης,

διατήρησης και παρουσίασης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ωστόσο, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε μουσειακά και αρχαιολογικά περιβάλλοντα δεν επιτελούν όλες τον ίδιο ρόλο. Αντίθετα, κάθε τεχνολογική προσέγγιση εντάσσεται σε διαφορετικό στάδιο της ερευνητικής και ερμηνευτικής διαδικασίας. Στο πλαίσιο αυτό, καθίσταται απαραίτητη η διάκριση μεταξύ τεχνολογιών που λειτουργούν ως εργαλεία παραγωγής επιστημονικής γνώσης και εκείνων που λειτουργούν κυρίως ως μέσα ερμηνείας και διάχυσης αυτής της γνώσης προς το κοινό.

Η φωτογραμμετρία ανήκει στην πρώτη κατηγορία. Πρόκειται για μια μέθοδο τρισδιάστατης τεκμηρίωσης που βασίζεται στην επεξεργασία πολλαπλών φωτογραφιών ενός αντικειμένου ή χώρου, με στόχο τη δημιουργία ακριβών ψηφιακών μοντέλων. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την καταγραφή της γεωμετρίας, της κλίμακας και της επιφανειακής υφής των αντικειμένων με υψηλό βαθμό ακρίβειας, προσφέροντας ένα αξιόπιστο εργαλείο για τη μελέτη και τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η σύγχρονη φωτογραμμετρία θεωρείται πλέον καθιερωμένη μέθοδος τεκμηρίωσης, ικανή να παράγει φωτορεαλιστικά και μετρικά ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα αρχαιολογικών και μουσειακών αντικειμένων. Παράλληλα, οι τεχνολογικές εξελίξεις στην ψηφιακή φωτογραφία και στους αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνας έχουν καταστήσει τη μέθοδο πιο προσιτή και ευέλικτη για την καταγραφή πολιτιστικών αγαθών σε διαφορετικές κλίμακες, από μεμονωμένα αντικείμενα μέχρι εκτεταμένα μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους.

Στο πλαίσιο της μουσειακής πρακτικής, η φωτογραμμετρία συμβάλλει πρωτίστως στην παραγωγή τεκμηριωμένης επιστημονικής γνώσης. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που παράγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ακριβείς μετρήσεις, μορφολογικές αναλύσεις, συγκριτικές μελέτες ή για την παρακολούθηση της κατάστασης διατήρησης ενός αντικειμένου στο χρόνο. Επιπλέον, αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ψηφιακή διατήρηση πολιτιστικών αγαθών που βρίσκονται σε κίνδυνο ή έχουν ήδη υποστεί φθορές, συμβάλλοντας στη δημιουργία ενός λεπτομερούς ψηφιακού αρχείου της υλικής τους κατάστασης. Με τον τρόπο αυτό, η φωτογραμμετρία λειτουργεί ως υποδομή τεκμηρίωσης πάνω στην οποία μπορούν να βασιστούν τόσο η επιστημονική έρευνα όσο και οι μετέπειτα διαδικασίες ερμηνείας και παρουσίασης.

Παράλληλα, τα ψηφιακά μοντέλα που παράγονται μέσω φωτογραμμετρίας μπορούν να αξιοποιηθούν και στο πεδίο της εκπαίδευσης και της δημόσιας διάχυσης της γνώσης. Μέσω διαδικτυακών πλατφορμών, ψηφιακών συλλογών ή εφαρμογών Εικονικής και Επαυξημένης Πραγματικότητας, τα δεδομένα αυτά μπορούν να καταστούν προσβάσιμα σε ένα ευρύτερο κοινό, διευρύνοντας τις δυνατότητες πρόσβασης στην πολιτιστική κληρονομιά. Ωστόσο, η ύπαρξη τρισδιάστατων δεδομένων από μόνη της δεν εγγυάται την ουσιαστική κατανόηση των αντικειμένων που αναπαριστώνται. Η αποτελεσματική αξιοποίησή τους προϋποθέτει την ύπαρξη επαρκούς τεκμηρίωσης, μεταδεδομένων και ερμηνευτικού πλαισίου που θα επιτρέπουν την ένταξη των ψηφιακών αναπαραστάσεων στο ευρύτερο ιστορικό και πολιτισμικό τους πλαίσιο.

Αντίθετα, οι τεχνολογίες Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας εντάσσονται κυρίως στο πεδίο της ερμηνείας και της επικοινωνίας της γνώσης. Μέσω της παράθεσης ψηφιακών πληροφοριών πάνω στον φυσικό χώρο ή στο ίδιο το έκθεμα, οι εφαρμογές αυτές μπορούν να προσφέρουν οπτικές επεξηγήσεις, να αναπαραστήσουν χαμένα τμήματα ενός αντικειμένου ή να ανασυνθέσουν το αρχικό περιβάλλον στο οποίο αυτό χρησιμοποιήθηκε. Με τον τρόπο αυτό, η τεχνολογία λειτουργεί ως μέσο μετάφρασης της επιστημονικής γνώσης σε μια μορφή περισσότερο κατανοητή και προσβάσιμη για το ευρύ κοινό. Σε περιπτώσεις όπου ένα αντικείμενο έχει διασωθεί αποσπασματικά ή έχει αποσπαστεί από το αρχικό του περιβάλλον, η ψηφιακή επαύξηση μπορεί να συμβάλει στην αποκατάσταση του ερμηνευτικού του πλαισίου, επιτρέποντας την οπτικοποίηση πληροφοριών που δεν είναι άμεσα αντιληπτές στο ίδιο το έκθεμα.

Η διάκριση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση του ρόλου των ψηφιακών τεχνολογιών στο μουσείο. Η φωτογραμμετρία παράγει τα δεδομένα που τεκμηριώνουν επιστημονικά ένα αντικείμενο, ενώ η Επαυξημένη Πραγματικότητα αξιοποιεί αυτά τα δεδομένα για να δημιουργήσει ερμηνευτικά και εκπαιδευτικά εργαλεία. Με άλλα λόγια, η πρώτη λειτουργεί κυρίως στο επίπεδο της τεκμηρίωσης και της γνώσης, ενώ η δεύτερη στο επίπεδο της ερμηνείας και της εμπειρίας του επισκέπτη. Όταν οι εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας βασίζονται σε αξιόπιστα δεδομένα που προκύπτουν από μεθόδους όπως η φωτογραμμετρία, μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη βελτίωση της κατανόησης των εκθεμάτων. Αντίθετα, όταν αποσυνδέονται από την τεκμηριωμένη επιστημονική

πληροφορία, υπάρχει ο κίνδυνος να περιοριστούν σε επιφανειακές ή εντυπωσιακές αναπαραστάσεις που δεν αντανακλούν με ακρίβεια την ιστορική πραγματικότητα.

Παράλληλα, η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών δεν οδηγεί κατ'ανάγκην σε βελτίωση της μουσειακής εμπειρίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η πληροφορία που παρέχεται μέσω των παραδοσιακών μορφών μουσειακής τεκμηρίωσης (όπως είναι τα συνοδευτικά κείμενα, το φωτογραφικό υλικό ή οι ακουστικές ξεναγήσεις) μπορεί να αποδειχθεί επαρκής για την κατανόηση ενός αντικειμένου. Η προσθήκη μιας ψηφιακής εφαρμογής σε τέτοιες περιπτώσεις ενδέχεται να λειτουργήσει πλεονασματικά ή ακόμη και αποσπασματικά, ιδιαίτερα όταν η τεχνολογία χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους εντυπωσιασμού και όχι για την επίλυση ενός συγκεκριμένου ερμηνευτικού προβλήματος.

Επιπλέον, παρόλο που τα ψηφιακά μοντέλα και οι εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας μπορούν να προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες και νέες δυνατότητες ερμηνείας, δεν είναι σε θέση να υποκαταστήσουν την άμεση εμπειρία της φυσικής παρουσίας ενός αντικειμένου στον εκθεσιακό χώρο. Η υλικότητα, η κλίμακα, η υφή και το ιστορικό βάθος του αυθεντικού αντικειμένου αποτελούν στοιχεία που δεν μπορούν να αναπαραχθούν πλήρως μέσω ψηφιακών μέσων. Για τον λόγο αυτό, οι ψηφιακές τεχνολογίες θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως συμπληρωματικά εργαλεία που ενισχύουν τη μουσειακή εμπειρία, χωρίς να μετατοπίζουν το κέντρο βάρους της από το ίδιο το αντικείμενο προς την τεχνολογική του αναπαράσταση.

Η κατανόηση των διαφορετικών αυτών ρόλων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ορθολογική ένταξη των ψηφιακών τεχνολογιών στη μουσειακή πρακτική. Η χρήση τους δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως αυτοσκοπός, αλλά ως μέρος μιας ευρύτερης επιστημονικής και παιδαγωγικής στρατηγικής, στην οποία κάθε τεχνολογία αξιοποιείται σύμφωνα με τις δυνατότητες και τα όριά της. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα των ψηφιακών εφαρμογών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το συγκεκριμένο πλαίσιο στο οποίο εφαρμόζονται, καθώς παράγοντες όπως το είδος του μουσείου, το περιεχόμενο της έκθεσης, τα χαρακτηριστικά του κοινού και ο βαθμός ενσωμάτωσης της τεχνολογίας στη συνολική μουσειακή αφήγηση επηρεάζουν ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο αυτές γίνονται αντιληπτές και αξιοποιούνται από τους επισκέπτες.

5.2 – Κριτήρια αναγκαιότητας για την εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών σε μουσειακά περιβάλλοντα

Η αυξανόμενη ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στα μουσειακά περιβάλλοντα δημιουργεί την ανάγκη για μια πιο συστηματική αξιολόγηση του πότε και υπό ποιες προϋποθέσεις η χρήση τους είναι πράγματι ουσιαστική. Παρά τις σημαντικές δυνατότητες που προσφέρουν η φωτογραμμετρία, η Επαυξημένη και η Μεικτή Πραγματικότητα, η παρουσία τους στον εκθεσιακό χώρο δεν συνεπάγεται αυτομάτως και ουσιαστική ενίσχυση της μουσειακής εμπειρίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η τεχνολογική παρέμβαση μπορεί να αποδειχθεί πλεονασματική ή ακόμη και να αποσπάσει την προσοχή από το ίδιο το αντικείμενο, ιδιαίτερα όταν δεν εξυπηρετεί μια σαφή ερμηνευτική ή εκπαιδευτική ανάγκη.

Η σύγχρονη βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η ψηφιακή μεσολάβηση δεν αποτελεί ουδέτερη διαδικασία. Αντίθετα, οι ψηφιακές διεπαφές μετασχηματίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι επισκέπτες αντιλαμβάνονται, προσεγγίζουν και ερμηνεύουν τα μουσειακά αντικείμενα (Cameron & Kenderdine, 2007). Για τον λόγο αυτό, η εισαγωγή ψηφιακών εφαρμογών στον εκθεσιακό χώρο απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση των δυνατοτήτων αλλά και των περιορισμών τους. Με βάση τα ευρήματα της παρούσας έρευνας και τη σχετική βιβλιογραφία, καθίσταται χρήσιμο να διατυπωθούν ορισμένα βασικά κριτήρια που μπορούν να λειτουργήσουν ως θεωρητικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της αναγκαιότητας των ψηφιακών εφαρμογών σε ένα μουσείο. Τα κριτήρια αυτά δεν αποτελούν αυστηρούς κανόνες, αλλά ένα σύνολο αρχών που μπορούν να συμβάλουν στον σχεδιασμό τεχνολογικών παρεμβάσεων οι οποίες υπηρετούν ουσιαστικά τη μουσειολογική αφήγηση και την εμπειρία του επισκέπτη. Η διατύπωση των παρακάτω κριτηρίων αναγκαιότητας για την εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών στα μουσεία δεν αποτελεί αυθαίρετη επιλογή, αλλά βασίζεται σε καθιερωμένα θεωρητικά και ερευνητικά σχήματα της μουσειολογίας και των μουσειακών σπουδών. Ειδικότερα, τα τέσσερα προτεινόμενα κριτήρια προκύπτουν από τη βιβλιογραφία που εξετάζει (α) τη φύση της μουσειακής εμπειρίας, (β) τον ρόλο της τεχνολογίας στην ερμηνεία και τη διαμεσολάβηση της γνώσης, και (γ) τα όρια μεταξύ φυσικής και ψηφιακής παρουσίας. Όπως διαπιστώνεται παρακάτω, τα ακόλουθα κριτήρια σχετίζονται περισσότερο με την εμπειρία του επισκέπτη και τον σχεδιασμό της ψηφιακής μεσολάβησης και λιγότερο με την ευρύτερη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση και την ερμηνεία της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Κριτήριο γνωστικής υπεραξίας

Το πρώτο και βασικότερο κριτήριο αφορά τη γνωστική υπεραξία που προσφέρει μια ψηφιακή εφαρμογή. Με άλλα λόγια, η χρήση τεχνολογιών όπως η Επαυξημένη και η Μεικτή Πραγματικότητα δικαιολογείται όταν παρέχει στον επισκέπτη πληροφορίες ή εμπειρίες που δεν μπορούν να αποδοθούν επαρκώς μέσω συμβατικών μέσων παρουσίασης, όπως το συνοδευτικό ερμηνευτικό κείμενο, το φωτογραφικό υλικό ή μια ακουστική ξενάγηση. Σε αρκετές περιπτώσεις, τα παραδοσιακά μέσα τεκμηρίωσης αποδεικνύονται απολύτως επαρκή για την κατανόηση ενός εκθέματος, ιδίως όταν πρόκειται για αντικείμενα των οποίων η μορφή, η λειτουργία και το ιστορικό πλαίσιο μπορούν να εξηγηθούν με σαφή και περιεκτικό τρόπο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η προσθήκη ψηφιακών εφαρμογών δεν οδηγεί απαραίτητα σε βαθύτερη κατανόηση, αλλά ενδέχεται να λειτουργήσει πλεονασματικά, δημιουργώντας μια εμπειρία περισσότερο εντυπωσιασμού παρά ουσιαστικής ερμηνείας.

Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου το αντικείμενο έχει διασωθεί αποσπασματικά, έχει αποσπαστεί από το αρχικό του περιβάλλον ή απαιτεί την οπτικοποίηση διαδικασιών και δομών που δεν είναι άμεσα ορατές, η ψηφιακή επαύξηση μπορεί να προσφέρει ουσιαστική γνωστική υπεραξία. Η αναπαράσταση χαμένων τμημάτων ενός μνημείου, η απεικόνιση της αρχικής μορφής ενός αντικειμένου ή η παρουσίαση της λειτουργίας ενός μηχανισμού αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα περιπτώσεων στις οποίες η χρήση Επαυξημένης Πραγματικότητας μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην κατανόηση του εκθέματος. Αυτό, βέβαια, μπορεί να συμβεί μόνο με τον σωστό σχεδιασμό της εκάστοτε εμπειρίας επαύξησης της πραγματικότητας.

Παράλληλα, θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση της τεχνολογίας αποκλειστικά για λόγους εντυπωσιασμού ή προσέλκυσης κοινού. Στη σχετική βιβλιογραφία έχει επισημανθεί ότι η λεγόμενη εντυπωσιοθηρική χρήση της τεχνολογίας (technological spectacle) μπορεί να μετατρέψει την ψηφιακή εφαρμογή σε αυτοσκοπό, απομακρύνοντας την εμπειρία της επίσκεψης από τον εκπαιδευτικό και ερμηνευτικό ρόλο του μουσείου (Parry, 2010). Για τον λόγο αυτό, η εισαγωγή ψηφιακών εφαρμογών θα πρέπει να δικαιολογείται πρωτίστως από την προστιθέμενη γνωστική αξία που προσφέρουν.

Επιπλέον, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται και ως προς την ερμηνευτική διάσταση των ψηφιακών αναπαραστάσεων. Οι ψηφιακές ανακατασκευές, τα τρισδιάστατα μοντέλα και οι

εικονικές αποκαταστάσεις εμπεριέχουν πάντοτε έναν βαθμό επιστημονικής ερμηνείας και υποθετικότητας. Εάν αυτή η διάσταση δεν παρουσιάζεται με σαφήνεια, υπάρχει ο κίνδυνος οι επισκέπτες να αντιλαμβάνονται τις ψηφιακές αναπαραστάσεις ως πλήρως αντικειμενικές αποδόσεις της ιστορικής πραγματικότητας. Για τον λόγο αυτό, η τεκμηρίωση των πηγών και η σαφής διάκριση μεταξύ τεκμηριωμένων και υποθετικών στοιχείων αποτελούν βασική προϋπόθεση για την υπεύθυνη χρήση τέτοιων τεχνολογιών.

Το συγκεκριμένο κριτήριο προκύπτει από την έρευνα περί μουσειακής εμπειρίας των Falk και Dierking (1992· 2013), σύμφωνα με την οποία η επίσκεψη στο μουσείο συνιστά μια σύνθετη γνωστική διαδικασία που διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση προσωπικού, κοινωνικού και φυσικού πλαισίου. Στο πλαίσιο αυτό, η τεχνολογία δικαιολογείται μόνο όταν ενισχύει ουσιαστικά τη νοηματοδότηση του εκθέματος. Ομοίως, η Hooper-Greenhill (2000) υπογραμμίζει ότι τα ερμηνευτικά μέσα πρέπει να συμβάλλουν ενεργά στη μάθηση και όχι να λειτουργούν ως απλή προσθήκη πληροφορίας. Το κριτήριο αυτό έχει εφαρμοστεί και σε σύγχρονες έρευνες για ψηφιακές εφαρμογές σε μουσεία (π.χ. Economou & Meintani, 2011), όπου επισημαίνεται ότι οι τεχνολογίες έχουν αξία όταν προσφέρουν εμπειρίες που δεν μπορούν να επιτευχθούν μέσω παραδοσιακών μέσων.

Κριτήριο αναντικατάστατης εμπειρίας

Ένα δεύτερο κρίσιμο κριτήριο αφορά τη σχέση μεταξύ της ψηφιακής αναπαράστασης και της εμπειρίας του αυθεντικού αντικειμένου. Η μουσειακή εμπειρία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη φυσική παρουσία των αντικειμένων, στην υλικότητα, την κλίμακα, την υφή και τη χρονική τους διάσταση. Τα στοιχεία αυτά συγκροτούν τη μοναδική εμπειρία της συνάντησης με το αυθεντικό τεκμήριο του παρελθόντος. Στο πλαίσιο αυτό, οι ψηφιακές τεχνολογίες οφείλουν να λειτουργούν συμπληρωματικά προς το φυσικό αντικείμενο και όχι να το υποκαθιστούν. Μια εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας δεν θα πρέπει να μετατρέπει το έκθεμα σε απλή «αφορμή» για την παρακολούθηση μιας οθόνης, ούτε να ανατρέπει την ιεραρχία μεταξύ φυσικής και ψηφιακής εμπειρίας. Όταν η προσοχή του επισκέπτη μετατοπίζεται πλήρως προς την ψηφιακή αναπαράσταση, υπάρχει ο κίνδυνος η τεχνολογία να αποδυναμώσει, αντί να ενισχύσει, την άμεση επαφή με το ίδιο το αντικείμενο. Η αναγνώριση αυτού του ορίου είναι ιδιαίτερα σημαντική σε μουσεία που βασίζουν τη μουσειολογική τους αφήγηση στην αυθεντικότητα των αντικειμένων και στη βιωματική

εμπειρία της παρουσίας τους. Σε τέτοια περιβάλλοντα, η τεχνολογική παρέμβαση πρέπει να σχεδιάζεται με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να ενισχύει την κατανόηση του αντικειμένου χωρίς να επισκιάζει την υλική του υπόσταση.

Το συγκεκριμένο κριτήριο βασίζεται στη συζήτηση περί αυθεντικότητας και υλικότητας των μουσειακών αντικειμένων. Η σημασία του «πραγματικού» αντικειμένου έχει αναλυθεί εκτενώς από τον Benjamin (1936/2008) με την έννοια της «αύρας», καθώς και από τον Jones (2010), ο οποίος υπογραμμίζει τη βιωματική διάσταση της επαφής με το αυθεντικό αντικείμενο. Στο μουσειολογικό πεδίο, η Dudley (2010) αναδεικνύει τη σημασία της υλικότητας ως φορέα νοήματος, επισημαίνοντας ότι η φυσική παρουσία του αντικειμένου δεν μπορεί να υποκατασταθεί πλήρως από ψηφιακές αναπαραστάσεις. Το κριτήριο αυτό απαντάται επίσης σε σύγχρονες μελέτες για την ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, όπου τονίζεται ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες πρέπει να λειτουργούν συμπληρωματικά και όχι υποκατάστατα του αυθεντικού (Jeffrey, 2015).

Κριτήριο χωρικής και κοινωνικής ενσωμάτωσης

Ένα τρίτο κριτήριο αφορά τον τρόπο με τον οποίο μια ψηφιακή εφαρμογή εντάσσεται στη συνολική μουσειακή εμπειρία. Η επίσκεψη σε ένα μουσείο αποτελεί κατεξοχήν χωρική και συχνά κοινωνική εμπειρία, η οποία διαμορφώνεται μέσα από τη σχέση του επισκέπτη με τον εκθεσιακό χώρο, τη μουσειολογική αφήγηση και τους υπόλοιπους επισκέπτες. Οι εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας μπορούν να εμπλουτίσουν αυτή την εμπειρία όταν ενσωματώνονται οργανικά στη μουσειακή διαδρομή και υποστηρίζουν τη συνολική αφήγηση της έκθεσης. Αντίθετα, όταν λειτουργούν ως απομονωμένες ή αποσπασματικές παρεμβάσεις, υπάρχει ο κίνδυνος να διακόψουν τη ροή της επίσκεψης ή να απομονώσουν τον επισκέπτη σε μια ατομική εμπειρία αλληλεπίδρασης με την οθόνη της συσκευής του.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι επίσης το ζήτημα της κοινωνικής διάστασης της επίσκεψης. Σε πολλά μουσεία, η εμπειρία της παρατήρησης και της συζήτησης γύρω από τα εκθέματα αποτελεί βασικό στοιχείο της επίσκεψης, είτε πρόκειται για οικογένειες είτε για ομάδες επισκεπτών. Οι ψηφιακές εφαρμογές που απαιτούν αποκλειστικά ατομική χρήση συσκευών ενδέχεται να περιορίσουν αυτή τη συλλογική διάσταση της εμπειρίας. Αντίθετα, εφαρμογές που επιτρέπουν κοινή παρατήρηση ή συλλογική αλληλεπίδραση μπορούν να ενισχύσουν τον κοινωνικό χαρακτήρα της μουσειακής επίσκεψης. Παράλληλα, η χρήση προσωπικών

συσκευών ή σύνθετων ψηφιακών διεπαφών ενδέχεται να δημιουργήσει ζητήματα προσβασιμότητας για ορισμένες ομάδες επισκεπτών, όπως ηλικιωμένους χρήστες ή άτομα με περιορισμένη εξοικείωση με τις ψηφιακές τεχνολογίες. Παρότι οι ψηφιακές εφαρμογές συχνά παρουσιάζονται ως εργαλεία διεύρυνσης της πρόσβασης στην πολιτιστική κληρονομιά, στην πράξη μπορεί να δημιουργήσουν νέους τύπους ψηφιακού αποκλεισμού. Για τον λόγο αυτό, ο σχεδιασμός τους οφείλει να λαμβάνει υπόψη τις διαφορετικές ανάγκες και δυνατότητες των επισκεπτών.

Το κριτήριο χωρικής και κοινωνικής ενσωμάτωσης αντλείται από τη θεώρηση της μουσειακής εμπειρίας ως μίας χωρικά και κοινωνικά δομημένης διαδικασίας. Οι Falk και Dierking (2013) επισημαίνουν ότι η εμπειρία του επισκέπτη επηρεάζεται καθοριστικά από το φυσικό περιβάλλον και την κοινωνική αλληλεπίδραση. Παράλληλα, η vom Lehn και Heath (2005) έχουν δείξει, μέσα από εμπειρικές μελέτες, ότι η μουσειακή εμπειρία συγκροτείται συλλογικά, μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ επισκεπτών και εκθεμάτων. Στο πλαίσιο αυτό, η εισαγωγή ψηφιακών εφαρμογών αξιολογείται ως προς το κατά πόσο ενισχύει ή διαταράσσει τη χωρική συνέχεια και την κοινωνική διάσταση της επίσκεψης. Αντίστοιχες επισημάνσεις εντοπίζονται και σε μελέτες για εφαρμογές κινητών τηλεφώνων και Επαυξημένης Πραγματικότητας σε μουσεία (Proctor, 2011), όπου τονίζεται η ανάγκη ενσωμάτωσης τους στο εκθεσιακό αφήγημα.

Κριτήριο χρονικής συνέχειας της εμπειρίας

Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό κριτήριο αφορά τη χρονική διάσταση της μουσειακής εμπειρίας και τη σχέση μεταξύ της επίσκεψης στο μουσείο και των ψηφιακών εφαρμογών που τη συνοδεύουν. Οι τεχνολογίες Επαυξημένης Πραγματικότητας και οι ψηφιακές πλατφόρμες με τρισδιάστατα μοντέλα που παράγονται μέσω φωτογραμμετρίας μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά ως εργαλεία προετοιμασίας ή επέκτασης της επίσκεψης, προσφέροντας πληροφορίες πριν από την άφιξη στο μουσείο ή επιτρέποντας στον επισκέπτη να επανεξετάσει το υλικό μετά το τέλος της επίσκεψης. Ωστόσο, η υπερβολικά εκτεταμένη παροχή πληροφοριών πριν από την επίσκεψη ενδέχεται να οδηγήσει στην εξάντληση της εμπειρίας πριν ακόμη πραγματοποιηθεί η φυσική παρουσία στον εκθεσιακό χώρο. Αντίστοιχα, μια ψηφιακή εμπειρία που επιχειρεί να αναπαραγάγει πλήρως την επίσκεψη στο μουσείο μπορεί να υπονομεύσει την αξία της φυσικής παρουσίας στον χώρο. Επιπλέον, η

χρήση ή μη των ψηφιακών εφαρμογών συνδέεται συχνά με το ζήτημα της μακροχρόνιας βιωσιμότητάς τους. Οι ψηφιακές συσκευές και εφαρμογές υπόκεινται σε ταχεία τεχνολογική απαξίωση (obsolescence), γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη συνεχή συντήρηση, ενημέρωση και τεχνική υποστήριξη των συστημάτων. Για πολλά μουσεία, ιδίως για οργανισμούς με περιορισμένους οικονομικούς και τεχνικούς πόρους, η διατήρηση τέτοιων υποδομών μπορεί να αποτελέσει σημαντικό οργανωτικό και οικονομικό βάρος. Συνεπώς, κατά τον σχεδιασμό ψηφιακών εφαρμογών είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο η αρχική ανάπτυξή τους, αλλά και η μακροχρόνια βιωσιμότητα και διαλειτουργικότητα των ψηφιακών δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, οι ψηφιακές εφαρμογές οφείλουν να σχεδιάζονται με τρόπο που να υποστηρίζει τη χρονική συνέχεια της εμπειρίας: να προετοιμάζουν τον επισκέπτη πριν από την επίσκεψη, να εμπλουτίζουν την εμπειρία κατά τη διάρκειά της και να προσφέρουν δυνατότητες περαιτέρω εμβάθυνσης μετά την ολοκλήρωσή της, χωρίς όμως να υποκαθιστούν την ίδια την εμπειρία της παρουσίας στο μουσείο.

Το κριτήριο χρονικής συνέχειας της εμπειρίας βασίζεται στη διάκριση της μουσειακής εμπειρίας σε φάσεις πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την επίσκεψη, όπως αυτή διατυπώνεται στο «Μοντέλο Εκμάθησης μέσω Συμφραζομένων» (Falk & Dierking, 2013). Η έννοια αυτή έχει αξιοποιηθεί σε έρευνες για ψηφιακές πλατφόρμες και διαδικτυακές επεκτάσεις μουσείων (Parry, 2007), όπου υποστηρίζεται ότι οι τεχνολογίες μπορούν να ενισχύσουν τη συνέχεια της εμπειρίας, υπό την προϋπόθεση ότι συνδέονται ουσιαστικά με την επίσκεψη.

Συμπέρασμα

Συνολικά, τα παραπάνω κριτήρια, που αποτελούν συνθετική επιλογή από διαφορετικά θεωρητικά και ερευνητικά πεδία, υπογραμμίζουν ότι η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στα μουσεία δεν αποτελεί αυτοσκοπό, αλλά οφείλει να υπηρετεί συγκεκριμένες επιστημονικές, παιδαγωγικές και μουσειολογικές ανάγκες. Η κριτική αξιολόγηση τόσο των δυνατοτήτων όσο και των περιορισμών της ψηφιακής μεσολάβησης αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ουσιαστική αξιοποίησή της. Όταν σχεδιάζονται με βάση τέτοιες αρχές, οι τεχνολογικές εφαρμογές μπορούν να λειτουργήσουν ως ισχυρά εργαλεία ερμηνείας και διάχυσης της γνώσης. Αντίθετα, όταν υιοθετούνται χωρίς σαφή σκοπό ή στρατηγική, υπάρχει ο κίνδυνος να μετατραπούν σε απλές τεχνολογικές προσθήκες που δεν συμβάλλουν ουσιαστικά στην κατανόηση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

5.3 – Συγκριτική ανάλυση

Αφού εξετάστηκαν οι διαφορετικοί ρόλοι που μπορούν να επιτελέσουν οι ψηφιακές τεχνολογίες στο μουσειακό και πολιτιστικό περιβάλλον, καθώς και τα κριτήρια αναγκαιότητας, τα όρια και οι πιθανοί κίνδυνοι που συνοδεύουν τη χρήση τους, το επόμενο βήμα που πρέπει να ακολουθήσει είναι η συγκριτική αποτίμηση των δυνατοτήτων τους. Η προσέγγιση αυτή είναι σε θέση να επιτρέψει την καλύτερη κατανόηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε τεχνολογίας, αλλά και των τρόπων με τους οποίους αυτές μπορούν να λειτουργήσουν μέσα στο ίδιο πολιτιστικό πλαίσιο.

Σε μια ευρύτερη θεώρηση, η φωτογραμμετρία και οι τεχνολογίες Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας δεν αποτελούν ανεξάρτητα ή ανταγωνιστικά εργαλεία, αλλά δύο αλληλένδετα πεδία που μπορούν να συνδεθούν λειτουργικά. Η φωτογραμμετρία παρέχει την επιστημονική τεκμηρίωση και την ψηφιακή αναπαράσταση των αντικειμένων και των μνημείων, ενώ οι τεχνολογίες Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας μπορούν να αξιοποιήσουν αυτό το ψηφιακό υλικό ως βάση για την ανάπτυξη εμπειριών παρουσίασης, ερμηνείας και διάχυσης της γνώσης στο κοινό.

Με αυτόν τον τρόπο, οι δύο αυτές κατηγορίες τεχνολογιών μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά. Η συνδυαστική τους χρήση έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει τόσο την επιστημονική τεκμηρίωση όσο και τη μουσειακή εμπειρία, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται με σαφή μεθοδολογικά κριτήρια και με σεβασμό στον πρωταρχικό ρόλο του ίδιου του υλικού πολιτιστικού αντικειμένου. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζεται μια συνοπτική συγκριτική αποτύπωση των βασικών χαρακτηριστικών και των λειτουργιών των τεχνολογιών αυτών, με στόχο την ανάδειξη των σημείων σύγκλισης αλλά και των διαφορών τους. Συγκεκριμένα, εξετάζονται: ο σκοπός κάθε τεχνολογίας, ο τύπος του παραγόμενου ψηφιακού περιεχομένου, το κόστος και οι απαιτήσεις τεχνικής υλοποίησης, η διάρκεια και η πολυπλοκότητα της διαδικασίας ανάπτυξης, η σχέση των τεχνολογιών με τη μουσειακή εμπειρία, η πρόσβαση και η διάδοση της γνώσης, ο εκπαιδευτικός τους ρόλος, το επίπεδο ευκολίας χρήσης και προσβασιμότητας, η συμβολή τους στη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, αλλά και οι πιθανοί κίνδυνοι ή περιορισμοί που ενδέχεται να επηρεάσουν την εμπειρία του εκάστοτε χρήστη.

Κριτήριο σύγκρισης	Φωτογραμμετρία	Επαυξημένη / Μεικτή Πραγματικότητα (AR/MR)
Σκοπός τεχνολογίας	Επιστημονική τεκμηρίωση και ψηφιακή καταγραφή αντικειμένων και μνημείων.	Παρουσίαση και ερμηνεία πολιτιστικού περιεχομένου στο περιβάλλον του μουσείου.
Τύπος ψηφιακού περιεχομένου	Τρισδιάστατα μοντέλα ακριβείας.	Ψηφιακή πληροφορία, αναπαραστάσεις, διαδραστικά στοιχεία στο πραγματικό περιβάλλον.
Κόστος και τεχνική υλοποίηση	Απαιτεί εξειδικευμένο λογισμικό, φωτογραφική τεκμηρίωση και σημαντική υπολογιστική επεξεργασία.	Απαιτεί ανάπτυξη εφαρμογών, συμβατότητα με συσκευές και συνεχή τεχνική υποστήριξη.
	Δυνατότητα επίτευξης με χαμηλό κόστος.	Το υψηλό κόστος είναι αναπόφευκτο.
Διάρκεια και πολυπλοκότητα διαδικασίας	Η διαδικασία δημιουργίας μοντέλων είναι συχνά χρονοβόρα και απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις.	Η ανάπτυξη εφαρμογών είναι σύνθετη και χρονοβόρα.
	Τα αποτελέσματα αξιοποιούνται μακροπρόθεσμα.	Απαιτεί διαρκή ενημέρωση και συντήρηση.
Σχέση με τη μουσειακή εμπειρία	Κυρίως έμμεση και συχνά δεν γίνεται αντιληπτή από τον επισκέπτη.	Άμεσο εργαλείο εμπλοκής επισκέπτη με το περιεχόμενο της έκθεσης.
Πρόσβαση και διάδοση γνώσης	Διάθεση τρισδιάστατων μοντέλων σε ψηφιακά αποθετήρια και εκπαιδευτικές πλατφόρμες.	Άμεση εμπειρία ερμηνείας μέσα στον εκθεσιακό χώρο.
Εκπαιδευτικός ρόλος	Κατανόηση του αυθεντικού αντικειμένου.	Ενίσχυση κατανόησης μέσω διαδραστικών και οπτικοποιημένων αφηγήσεων.
	Μελέτη μορφολογίας και επιστημονική ανάλυση.	Ερμηνευτικό πλαίσιο και υποθετικές ψηφιακές αναπαραστάσεις.
Ευκολία χρήσης και προσβασιμότητα	Δεν απαιτεί εκτεταμένη χρήση τεχνολογίας, πέραν της πρόσβασης στην πλατφόρμα.	Συχνά απαιτεί ειδικά γυαλιά ή κινητές συσκευές και εγκατάσταση συγκεκριμένων εφαρμογών.
Συμβολή στη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς	Τεκμηρίωση για έρευνα, συντήρηση και αποκατάσταση.	Δεν συμβάλλει άμεσα στη διατήρηση, αλλά ενισχύει την κατανόηση και ευαισθητοποίηση του κοινού.
	Επιβίωση και αναβίωση κατεστραμμένων αντικειμένων και μνημείων.	
Κίνδυνοι ή περιορισμοί εμπειρίας	Περιορισμένη άμεση επίδραση στην εμπειρία της επίσκεψης.	Ενδέχεται να αποσπά την προσοχή από το πραγματικό έκθεμα.

Πίνακας 2: Συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας.

5.4 – Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Η παρούσα εργασία επιχείρησε να εξετάσει τις δυνατότητες και τους περιορισμούς της φωτογραμμετρίας και των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας στο πλαίσιο των μουσείων και της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ωστόσο, όπως συμβαίνει συχνά με τα ταχέως εξελισσόμενα τεχνολογικά πεδία, η μελέτη αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί εξαντλητική. Αντίθετα, αναδεικνύει μια σειρά από ζητήματα που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω επιστημονικής διερεύνησης. Με βάση τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης, διακρίνονται τέσσερις βασικοί άξονες μελλοντικής έρευνας.

Εμπειρική αξιολόγηση της επίδρασης των τεχνολογιών στην εμπειρία των επισκεπτών

Ένα πρώτο πεδίο αφορά την εμπειρική αξιολόγηση της επίδρασης των τεχνολογιών Επαυξημένης και Μεικτής Πραγματικότητας στη μουσειακή εμπειρία. Παρότι η σχετική βιβλιογραφία συχνά υπογραμμίζει τα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών αυτών ως εργαλείων ερμηνείας και εμπλουτισμού της εμπειρίας των επισκεπτών, παραμένει ανοιχτό το ερώτημα κατά πόσο η χρήση τους συμβάλλει πράγματι σε βαθύτερη κατανόηση του περιεχομένου των εκθέσεων και σε ουσιαστικότερη εμπλοκή του κοινού. Επομένως, αποτελεί αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης το κατά πόσο η Επαυξημένη Πραγματικότητα λειτουργεί σε κάθε περίπτωση ενισχυτικά ή αν, σε ορισμένα συμφραζόμενα, ενδέχεται να αποσπά την προσοχή από τα ίδια τα εκθέματα. Η απάντηση σε ένα τέτοιο ερώτημα δεν μπορεί να είναι γενική ή καθολική, αλλά προϋποθέτει στοχευμένες μελέτες περίπτωσης για κάθε μουσείο και για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή ξεχωριστά, λαμβάνοντας υπόψη το είδος της έκθεσης, το κοινό στο οποίο απευθύνεται και τον τρόπο ενσωμάτωσης της τεχνολογίας στον εκθεσιακό σχεδιασμό.

Πιο ενεργή ενσωμάτωση φωτογραμμετρικών μοντέλων στη μουσειακή εμπειρία

Ένας δεύτερος σημαντικός άξονας αφορά τη δυνατότητα πιο ενεργής ενσωμάτωσης φωτογραμμετρικών μοντέλων στο πλαίσιο της μουσειακής εμπειρίας. Τα τελευταία χρόνια, μεγάλοι οργανισμοί και πολιτιστικά ιδρύματα έχουν δημιουργήσει εκτεταμένες ψηφιακές συλλογές τρισδιάστατων μοντέλων πολιτιστικών αντικειμένων. Η εξέλιξη αυτή δημιουργεί νέες δυνατότητες για την αξιοποίηση τέτοιων ψηφιακών τεκμηρίων μέσα στον φυσικό χώρο των μουσείων. Στο πλαίσιο αυτό, θα μπορούσε να διερευνηθεί η ανάπτυξη εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας που θα επιτρέπουν στους επισκέπτες να αλληλεπιδρούν με

ψηφιακά μοντέλα τρισδιάστατων αντικειμένων προερχόμενων από άλλες συλλογές ή γεωγραφικές περιοχές, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία μιας πιο ανοιχτής και διασυνδεδεμένης παρουσίασης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Με τον τρόπο αυτό, η φωτογραμμετρία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ακόμη πιο ενεργά μέσα στο ίδιο το μουσειακό περιβάλλον, όχι μόνο ως εργαλείο τεκμηρίωσης, αλλά και ως μέσο ερμηνείας, εκπαίδευσης και διάχυσης της πολιτιστικής γνώσης.

Σχέση μεταξύ ψηφιακής εμπειρίας και φυσικής επίσκεψης στο μουσείο

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα αφορά τη σχέση μεταξύ των ψηφιακών εμπειριών και της φυσικής επίσκεψης στους μουσειακούς χώρους. Η δυνατότητα πρόσβασης σε τρισδιάστατα μοντέλα πολιτιστικών αντικειμένων και ψηφιακές αναπαραστάσεις μέσω διαδικτυακών πλατφορμών (για παράδειγμα από το σπίτι) εγείρει το ερώτημα κατά πόσο τέτοιες εμπειρίες λειτουργούν ως κίνητρο που ενθαρρύνει το κοινό να επισκεφθεί το μουσείο ή, αντίθετα, αν μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να λειτουργήσουν αποτρεπτικά. Από τη μία πλευρά, η ψηφιακή πρόσβαση μπορεί να ενισχύσει το ενδιαφέρον του κοινού και να δημιουργήσει μια προπαρασκευαστική εμπειρία που οδηγεί σε μεγαλύτερη επιθυμία επίσκεψης. Από την άλλη πλευρά, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο ορισμένοι χρήστες να θεωρήσουν ότι η ψηφιακή εμπειρία υποκαθιστά επαρκώς την φυσική παρουσία στον μουσειακό χώρο, κι ως εκ τούτου δεν χρειάζεται να τον επισκευθούν. Το ζήτημα αυτό παραμένει ανοιχτό και απαιτεί συστηματική διερεύνηση μέσω εμπειρικών μελετών που θα εξετάζουν ξεχωριστά κάθε περίπτωση μουσείου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα χαρακτηριστικά του κοινού όσο και το είδος των ψηφιακών εφαρμογών που χρησιμοποιούνται.

Διαρκής ανανέωση των δεδομένων και της έρευνας στον τομέα των ψηφιακών τεχνολογιών

Τέλος, ιδιαίτερη σημασία έχει η αναγνώριση της ανάγκης για διαρκή ανανέωση των δεδομένων στον τομέα των ψηφιακών τεχνολογιών και της πολιτιστικής κληρονομιάς. Σε αντίθεση με πολλά άλλα επιστημονικά πεδία, όπου τα θεωρητικά πλαίσια παραμένουν σχετικά σταθερά για μεγάλα χρονικά διαστήματα, οι τεχνολογίες εξελίσσονται με εξαιρετικά ταχύ ρυθμό. Κάθε νέα τεχνολογική εξέλιξη, κάθε νέα εφαρμογή σε έναν μουσειακό χώρο, κάθε νέα ψηφιακή πλατφόρμα ή διαδικτυακή συλλογή δημιουργεί νέα δεδομένα που μπορούν να επηρεάσουν την κατανόηση και την αξιολόγηση των δυνατοτήτων αυτών των

εργαλείων. Επομένως, η έρευνα στον τομέα αυτόν δεν μπορεί να θεωρηθεί ποτέ πλήρως ολοκληρωμένη. Αντίθετα, οφείλει να παραμένει διαρκώς ενημερωμένη και να επανεξετάζει τα συμπεράσματά της υπό το φως των νέων τεχνολογικών εξελίξεων, των νέων εκθεσιακών πρακτικών και των νέων ψηφιακών εφαρμογών που συνεχώς αναπτύσσονται.

Συνολικά, η περαιτέρω διερεύνηση των παραπάνω αξόνων μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βαθύτερη κατανόηση του ρόλου που μπορούν να διαδραματίσουν οι ψηφιακές τεχνολογίες στον μουσειακό χώρο. Μια τέτοια έρευνα θα επιτρέψει την πιο τεκμηριωμένη και συνειδητή αξιοποίησή τους, με στόχο όχι την αντικατάσταση της υλικής πολιτιστικής κληρονομιάς ή της φυσικής εμπειρίας του μουσείου, αλλά την υποστήριξη και την ενίσχυση της ερμηνείας, της πρόσβασης και της διάδοσης της γνώσης γύρω από αυτήν.

Βιβλιογραφικές Αναφορές και Πηγές

#NEWPALMYRA. (2021, September 27). Have you been to Palmyra? We want your photos.

NewPalmyra.org.

<https://newpalmyra.org/news/palmyra-photos/>

Aicardi, I., Chiabrando, F., Lingua, A., & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 257–266.

Apollonio, F. I., Fantini, F., Garagnani, S., & Gaiani, M. (2021). A Photogrammetry-Based Workflow for the Accurate 3D Construction and Visualization of Museums Assets. *Remote Sensing*, 13 (3), 486.

Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 355-385.

Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21 (6), 34–47.

Benjamin, W. (1936/2008). *The work of art in the age of mechanical reproduction*. Penguin.

Berlinger, M. (2023, October 25). Louvre augmented reality exhibit with Snapchat uncovers Ancient Egypt. *Decrypt*.

<https://decrypt.co/202106/louvre-augmented-reality-exhibit-snapchat-uncovers-ancient-egypt>

Cameron, F., & Kenderdine, S. (Eds.). (2007). *Theorizing digital cultural heritage: A critical discourse (Online edition, MIT Press Scholarship Online)*. MIT Press.

<https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262033534.001.0001>

Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2010). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*. 51, 341-377.

- Caudell, T., & Mizell, D. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*. 2, 659 - 669.
- Ch'ng, E., Cai, S., Zhang, T. E., & Leow, F. (2019). Crowdsourcing 3D cultural heritage: Best practice for mass photogrammetry. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 9 (1), 24–42.
- Collignon, M. (1908). STATUETTE FÉMININE DE STYLE GREC ARCHAÏQUE (MUSÉE D'AUXERRE). *Revue Archéologique*, 11, 153–170.
<http://www.jstor.org/stable/41019659>
- Coughenour, C., & Vincent, M. L. (2015). Project Mosul: A digital future for lost heritage. *World Class Archaeology, (Special Issue 72)*, 10–11.
- CyArk. (n.d.). Project ANQA. *CyArk*.
<https://cyark.org/collections/project-anqa/>
- Daher, N. (2020, March 2). You can now download 1,700 free 3-D cultural heritage models. *Smithsonian Magazine*.
<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/you-can-now-download-1700-free-3-d-models-cultural-heritage-artifacts-180974308/>
- Delgado Prada, E. (2021). *Alétheia: Realidad extendida (XR) y su aplicación en el ámbito cultural (Trabajo de Fin de Grado)*. Universidad Rey Juan Carlos.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28673.58728>
- Desvallées, A., & Mairesse, F. (Eds.). (2010). *Key concepts of museology*. Armand Colin in association with ICOM.
- Dudley, S. (Ed.). (2010). *Museum materialities: Objects, engagements, interpretations*. Routledge.
- Dudzik, B. (2018). *Visitor perceptions of augmented reality in science museums (Master's thesis, University of Washington)*. University of Washington.

- Ebert, J. I. (2015). Photogrammetry, Photointerpretation, and Digital Imaging and Mapping in Environmental Forensics. *Introduction to Environmental Forensics: Third Edition*, 39–64.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404696-2.00003-5>
- Economou, M., & Meintani, E. (2011). Promising beginnings? Evaluating museum mobile phone apps. *Museums and the Web 2011 Proceedings*.
<https://eprints.gla.ac.uk/104173/>
- Europeana (2017, January 25). Exploring 3D on Europeana with Sketchfab. *Europeana*.
<https://www.europeana.eu/en/stories/exploring-3d-on-europeana-with-sketchfab>
- Europeana (2024, July 3). Popular heritage (*Twin it! 3D for Europe's culture*). *Europeana*.
<https://www.europeana.eu/en/exhibitions/twin-it-3d-for-europes-culture/popular-heritage>
- Evangelidis, K., Papadopoulos, T., & Sylaiou, S. (2021). Mixed Reality: A Reconsideration Based on Mixed Objects and Geospatial Modalities. *Applied Sciences*, 11 (5), 2417.
- Falk, J. H., & Dierking, L. D. (1992). *The Museum Experience*. Whalesback Books.
- Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2013). *The museum experience revisited* (1st ed.). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315417851>
- Fernie, K. (2024). 3D Content in Europeana: The Challenges of Providing Access. M. Hostettler, A. Buhlke, C. Drummer, L. Emmenegger, J. Reich, & C. Stäheli (Eds.), *The 3 Dimensions of Digitalised Archaeology* (pp. 167–177). Springer.
- Furukawa, Y., & Ponce, J. (2010). Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32 (8), 1362–1376.
- Gavriilidou, M., Koutsombogera, M., Patrikakos, A., & Piperidis, S. (2012). The Greek language in the digital age. G. Rehm & H. Uszkoreit (Eds.), *The Greek language in the digital age* (pp. 7–13). Springer Science & Business Media.
- Gonizzi Barsanti, S., Caruso, G., Micoli, L., Covarrubias, M., & Guidi, G. (2015). 3D visualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices. *ISPRS -*

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W7, 165–172.

<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-165-2015>

Gregorová, A. (1980). La muséologie – science ou seulement travail pratique du musée.

Documents de Travail sur la Museologie (MuWoP/DoTraM), 1, 19–21.

Guazzaroni, G. (2022). Virtual and augmented reality in art during the pandemic. A. S. Pillai & G. Guazzaroni (Eds.), *Extended reality usage during COVID-19 pandemic* (pp. 89–93). Springer.

Hollinger, E. (2019, September 23). Smithsonian uses 3D tech to restore a broken sacred object for Tlingit Indians. *Smithsonian Digitization Program Office*.

<https://dpo.si.edu/blog/smithsonian-uses-3d-tech-restore-broken-sacred-object-tingit-indians>

Hooper-Greenhill, E. (2000). *Museums and the interpretation of visual culture*. Routledge.

Howe, J. (2006, June). The rise of crowdsourcing. *Wired*, 14 (6).

https://sistemas-humano-computacionais.wdfiles.com/local--files/capitulo%3Aredes-sociais/Howe_The_Rise_of_Crowdsourcing.pdf

International Council of Museums. (2007). *ICOM 2007: Universal heritage, general conference* (22nd General Assembly, Vienna, Austria). ICOM.

Jeffrey, S. (2015). Challenging heritage visualisation: Beauty, aura and democratisation. *Open Archaeology*, 1 (1), 144–152.

Johnson, J. (2012, September 10). “The master key”: L. Frank Baum envisions augmented reality glasses in 1901. *Mote & Beam*.

<http://www.historyofinformation.com/detail.php?id=4233>

Jones, S. (2010). Negotiating authentic objects and authentic selves. *Journal of Material Culture*, 15 (2), 181–203.

- Kato, H., & Billinghurst, M. (1999). Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR 99)*.
- Kazhdan, M., & Hoppe, H. (2013). Screened Poisson Surface Reconstruction. *ACM Transactions on Graphics*, 32 (3), 1–13.
- Konstantakis, M., Trichopoulos, G., Aliprantis, J., Michalakakis, K., Caridakis, G., Thanou, A., Zafeiropoulos, A., Sklavounou, S., Psarras, C., Papavassiliou, S., & Koskeridou, E. (2023). An Enhanced Methodology for Creating Digital Twins within a Paleontological Museum Using Photogrammetry and Laser Scanning Techniques. *Heritage*, 6 (9), 5967-5980.
- Lavery, R. (2015, January 13). *Smithsonian brings historic specimens to life in free “Skin and Bones” mobile app*. Smithsonian Institution.
<https://www.si.edu/newsdesk/releases/smithsonian-brings-historic-specimens-life-free-skin-and-bones-mobile-app>
- Liddell, H. G., & Scott, R. (1996). *A Greek–English lexicon* (Rev. by H. S. Jones & R. McKenzie). Oxford University Press.
- Liddell, H. G., Scott, R., Jones, H. S., & McKenzie, R. (n.d.). Μουσείον. In *A Greek-English lexicon*. Perseus Digital Library.
<https://lsj.gr/wiki/Μουσείον>
- Løvlie, A. S., Waern, A., Eklund, L., Spence, J., Rajkowska, P., & Benford, S. (2022). Hybrid Museum Experiences. In A. S. Løvlie & A. Waern (Eds.), *Hybrid Museum Experiences: Theory and Design* (pp. 31–56). Amsterdam University Press.
<https://doi.org/10.2307/j.ctv2cxx8x6.5>
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60, 91–110.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. & Boehm, J. (2020). *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. De Gruyter.

- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Meydenbauer, A. (1867). Die Photometrographie. *Wochenblatt des Architektenvereins zu Berlin*, 1 (14–16), 125–150.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S., & McGlone, J. C. (2001). *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Trans. Information Systems*. vol. E77-D, no. 12, 1321-1329.
- Milgram, P., H. Takemura, A. Utsumi, F. Kishino (1995). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Proceedings of SPIE Telemanipulator and Telepresence Technologies (Vol. 2351)*.
<https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Mountain, D., & Liarokapis, F. (2007). Mixed reality (MR) interfaces for mobile information systems. *Aslib Proceedings*, 59 (5), 422–436.
- Musée du Louvre. (n.d.). *Dame d'Auxerre* (Collection object No. MND 847 / Ma 3098).
Louvre Collections.
<https://collections.louvre.fr/en/ark:/53355/cl010276874>
- Muséum national d'Histoire naturelle & SAOLA Studio. (n.d.). *Revivre, extinct animals in augmented reality*. Jardin des Plantes de Paris.
<https://www.jardindesplantesdeparis.fr/en/revivre-extinct-animals-in-augmented-reality>
- Museum of Ancient Eleutherna. (n.d.). *Temporary exhibitions*.
<https://mae.uoc.gr/temporary-exhibitions-2/>
- Nodjimbadem, K. (2019). Mosul Museum, wrecked by ISIS, is brought back to life with 3D tech. *WIRED*.
<https://www.wired.com/story/mosul-museum-3d-tech-isis-art/>
- Nora, P. (Ed.). (1984). *Les lieux de mémoire (Tome I: La République)*. Gallimard.

- Parry, R. (2007). *Recoding the museum: Digital heritage and the technologies of change*. Routledge.
- Parry, R. (Ed.). (2010). *Museums in a digital age* (1st ed.). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203716083>
- Proctor, N. (2011, July 18). Mobile apps for museums. *The AAM Press*.
<https://mobileappsformuseums.wordpress.com/2011/07/18/hello-world/>
- Regrebsubla, N. (2015). *Determinants of Diffusion of Virtual Reality* (Diploma Thesis). GRIN Publishing.
<https://www.grin.com/document/318329>
- Rekrei. (n.d.). *Rekrei*.
<https://rekrei.org/>
- Remondino, F. (2011). Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*, 3 (6), 1104-1138.
- Remondino, F., & Campana, S. (2014). *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*. Archaeopress.
- Rhodes, G. A. (2014). Augmented Reality in Art: Aesthetics and Material for Expression. Geroimenko, V. (ed.) *Augmented Reality Art: From an Emerging Technology to a Novel Creative Medium*. Springer.
- Rosenberg, L. B. (1992). *The use of virtual fixtures as perceptual overlays to enhance operator performance in remote environments* (Technical Report AL-TR-0089). Wright-Patterson AFB, OH: USAF Armstrong Laboratory.
- Rosenberg, L. B. (2022). Augmented Reality: Reflections at Thirty Years. Arai, K. (ed.) *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2021, Volume 1*. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 358. Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-89906-6_1

- Saif, W. (2022). *Photogrammetry: A brief historical overview*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27518.87369>
- Santana Quintero, M. (2014). Introduction. In Remondino, F., & Campana, S. (2014). *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*. Archaeopress.
- Schmalstieg, D. & Höllerer, T. (2016). *Augmented reality: Principles and practice*. Addison-Wesley.
- Shu, J. (2022, March 10). *AR technology, which challenges the traditional experience, is making augmented reality fun for visitors*. CLS.
<https://www.cls.cn/detail/950655>
- Smithsonian Institution, (n.d.). *Digitization Program Office (DPO)*.
<https://dpo.si.edu/>
- Smithsonian Institution. (n.d.). *Smithsonian 3D Digitization*.
<https://3d.si.edu/>
- Smithsonian Institution. (n.d.). *Smithsonian Learning Lab*.
<https://learninglab.si.edu/>
- Smithsonian Institution. (n.d.). *Smithsonian Open Access*.
<https://www.si.edu/openaccess>
- Smithsonian Institution. (n.d.). *Voyager Story Standalone. Smithsonian 3D Digitization*.
<https://3d.si.edu/voyager-story-standalone>
- Snap Inc. (2023, October 18). *Snapchat and the Louvre: “Egypt Augmented” – a new look at Louvre’s Egyptian antiquities thanks to augmented reality*. *Snap Newsroom*.
<https://newsroom.snap.com/egypt-augmented>
- Sparacino, F. (2002). The museum wearable: Real-time sensor-driven understanding of visitors' interests for personalized visually augmented museum experiences.
Museums and the Web 2002. Selected Papers from an International Conference

(6th, Boston, MA, April 17-20, 2002). Archives & Museum Informatics.

<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED482094.pdf>

Stampolidis, N. Chr. (Ed.). (2004). *Eleutherna: Polis – Acropolis – Necropolis* (Exhibition catalogue, Museum of Cycladic Art, 2004–2005, pp. 236–237, cat. no. 253). Athens, Greece: Museum of Cycladic Art.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12 (2), 257–285.

https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4

Szeliski, R. (2022). *Computer vision: :algorithms and applications* (2nd ed.). Springer Nature.

Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., Bondi, P., Morris, M., & Piekarski, W. (2000). ARQuake: An outdoor/indoor augmented reality first person application. *Proceedings of the 4th International Symposium on Wearable Computers* (pp. 139–146). IEEE.

Trunfio, M., Jung, T., & Campana, S. (2022). Mixed reality experiences in museums: Exploring the impact of functional elements of the devices on visitors' immersive experiences and post-experience behaviours. *Information & Management*, 59 (8), 103698.

<https://doi.org/10.1016/j.im.2022.103698>

UNESCO. (2025). About the UNESCO Virtual Museum of Stolen Cultural Objects.

UNESCO Virtual Museum of Stolen Cultural Objects.

<https://museum.unesco.org/partners/8ba11bce-d331-4c5b-a495-998007377a4d>

van Mensch, P. (1992). *Towards a methodology of museology* (Doctoral dissertation, University of Zagreb, Faculty of Philosophy).

Vincent, M. L., Gutierrez, M. F., Coughenour, C., Lopez-Menchero Bendicho, V. M., Remondino, F., & Fritsch, D. (2015). Crowd-sourcing the 3D digital reconstructions of lost cultural heritage. *Proceedings of the 2015 Digital Heritage Conference* (Vol. 1, pp. 171–172). IEEE.

- Vlahakis V., Ioannidis M., John Karigiannis, M. Tsotros, Michail Gounaris, Didier Stricker, T. Gleue, P. Daehne, & L. Almeida. (2002). Archeoguide: An augmented reality guide for archaeological sites. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22 (5), 52–60.
<https://doi.org/10.1109/MCG.2002.1028726>
- Vohra, M. (ed.), (2025). *Introduction to Extended Reality (XR) Technologies*. John Wiley & Sons.
- vom Lehn, D., & Heath, C. (2005). Accounting for new technology in museum exhibitions. *International Journal of Arts Management*, 7 (3), 11–21.
- Webb, E. K. (2017). Reflected infrared and 3D imaging for object documentation. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1–14.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01971360.2017.1359463>
- Werner, J. (23 February 2024). Catchup With Ivan Sutherland - Inventor Of The First AR Headset. *Forbes*.
<https://www.forbes.com/sites/johnwerner/2024/02/23/catchup-with-ivan-sutherlandinventor-of-the-first-ar-headset/>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314.
- Xu, Y., & Zhou, Y. (2025). Research on the innovation of augmented reality technology in museum user experience design. *Journal of Arts & Cultural Studies*, 4 (1), 1-15.
<https://doi.org/10.23112/acs25061901>
- Xu, Z., Sun, D., Xia, G., & Wang, S. (2025). A review of holographic technology in museums: Enhancing visitor perception and engagement. *npj Heritage Science*, 13, 508.
<https://doi.org/10.1038/s40494-025-02051-9>
- Zhao, Q (2009). A survey on virtual reality. *Sci. China Ser. F-Inf. Sci.* 52, 348–400.
<https://doi.org/10.1007/s11432-009-0066-0>

- Σταμπολίδης, Ν. Χρ. (2004). Η πόλη: Δυτικός ανασκαφικός τομέας ΙΙΙ. Στο Ν. Χρ. Σταμπολίδης (Επιμ.), *Ελεύθερνα: Πόλη – Ακρόπολη – Νεκρόπολη* (σσ. 82–103). Μουσείο Κυκλαδικής Τέχνης.
- Σταμπολίδης, Ν. Χρ. (2018). Ελεύθερνα. Στο Ν. Χρ. Σταμπολίδης, Ε. Παπαδοπούλου, Ι. Γ. Λουρεντζάτου, & Ι. Δ. Φάππας (Επιμ.), *Κρήτη. Αναδυόμενες πόλεις: Άπτερα – Ελεύθερνα – Κνωσός* (σσ. 94–165). Μουσείο Κυκλαδικής Τέχνης & Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού.
- Σταμπολίδης, Ν. Χρ. (2020). *Ελεύθερνα*. Εκδόσεις Ολκός / Ίδρυμα Ιωάννη Σ. Λάτση.
- Σταμπολίδης, Ν. Χρ. (2024). *Ο Παρθενώνας και ο Βύρωνας. Με αφορμή τα 200 χρόνια από τον θάνατο του Βύρωνα*. Μουσείο Ακρόπολης.
- Σύρρος, Β. (2024). *Χορηγία και ψηφιοποιημένη πολιτιστική κληρονομιά: Μελέτη περίπτωσης Cosmote Chronos* (Διπλωματική Εργασία). Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.