

Η χρήση της τρισδιάστατης ψηφιακής μεθοδολογίας, στη μελέτη, προστασία και ανάδειξη μνημείων και ιστορικών συνόλων.

Νικόλαος Απ. Λιανός

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εφαρμογή της σύγχρονης ψηφιακής μεθοδολογίας, σε συνδυασμό με τη μακροσκοπική παρατήρηση και το ιστορικό υπόβαθρο, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην τεκμηρίωση των μνημείων και των αρχαιολογικών χώρων. Οι ψηφιακές μέθοδοι, ικανοποιούν ολιστικά και με μεγάλη ακρίβεια το αντικείμενο της τεκμηρίωσης μνημείων, έτσι ώστε να αναφερόμαστε και να χρησιμοποιούμε πλέον τον όρο «απόλυτη αποτύπωση».

Αυτό αποδεικνύεται τόσο από τα σχέδια υψηλής ποιότητας και ακρίβειας, που μπορούν να παραχθούν, όσο και από τη δυνατότητα δημιουργίας του ψηφιακού τρισδιάστατου μοντέλου ενός αντικειμένου (με την υφή και το χρώμα του), από το οποίο μπορούν να εκτυπωθούν αντίγραφα με ακρίβεια χιλιοστών.

Η χρήση των νέων ψηφιακών τεχνολογιών για την καταγραφή μνημείων, αρχαιολογικών χώρων και αντικειμένων, ανήκουν στην ενότητα των έμμεσων μεθόδων αποτύπωσης¹, δηλαδή μεθόδων χωρίς την άμεση επαφή με το αντικείμενο αλλά με χρήση της φωτογραφίας, σάρωσης με ακτίνες λέιζερ, ήχο, φως κ.α.

Σκοπός αυτού του άρθρου, είναι όχι μόνο να παρουσιαστούν οι δυνατότητες χρήσης των σύγχρονων ψηφιακών μεθόδων έμμεσης τεκμηρίωσης και πιο συγκεκριμένα της ψηφιακής φωτογραμμετρίας και των επίγειων τρισδιάστατων λέιζερ σαρωτών, στην τεκμηρίωση μνημείων και ιστορικών συνόλων, αλλά και να επισημάνει την ευκολία, που προσφέρει η ψηφιακή τεχνολογία στην αυτοματοποιημένη χρήση τους.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: τεκμηρίωση μνημείων, έμμεσες μετρήσεις, ψηφιακή φωτογραμμετρία, τρισδιάστατοι σαρωτές.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

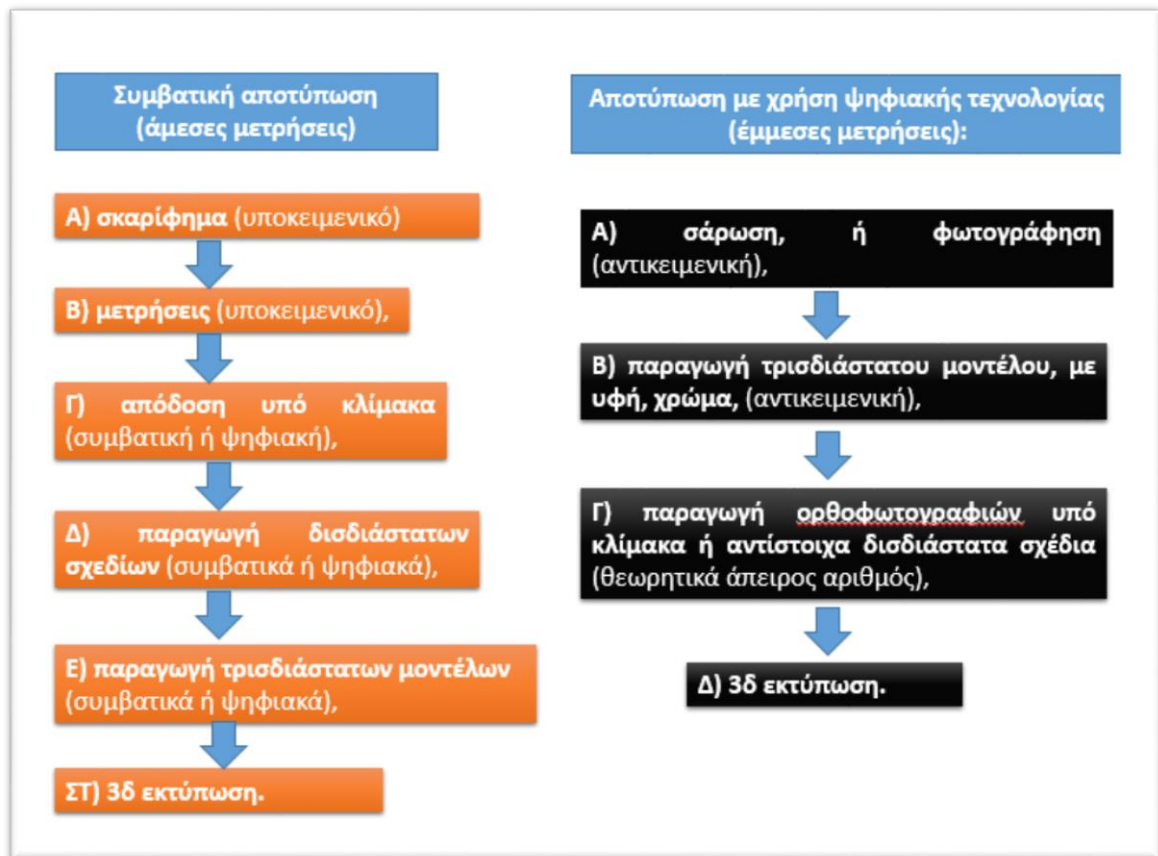
Σ' αυτό το άρθρο, γίνεται αναφορά στις κύριες σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες τρισδιάστατης τεκμηρίωσης και πιο συγκεκριμένα στη χρήση: α) των ενεργητικών μεθόδων, η κυριότερη εκ των οποίων είναι η επίγεια μέθοδος σάρωσης με ακτίνες Laser (TLS) και β) των παθητικών μεθόδων, που βασίζονται σε φωτογραφίες, όπως η μέθοδος της ψηφιακής φωτογραμμετρίας. Αμφότερες ανήκουν στην ομάδα των έμμεσων μετρήσεων του χώρου².

Αυτές οι μέθοδοι, σε αντίθεση με τη συμβατική αποτύπωση (άμεσες μετρήσεις), που παράγει σχέδια σε δύο διαστάσεις, παρέχουν τη δυνατότητα αναπαραγωγής κάθε αντικειμένου (π.χ. αρχιτεκτονικά μοντέλα κτηρίων, αντικειμένων και του χώρου γενικότερα), αρχικά σε τρεις διαστάσεις (μοντέλα), με μεγάλη ακρίβεια, υψηλή ανάλυση καθώς επίσης με το χρώμα και την υφή του πρωτοτύπου.

Ο παρακάτω πίνακας, παρουσιάζει ενδεικτικά τη ροή εργασίας των δύο μεθόδων.

¹ χωρίς την άμεση επαφή με το αντικείμενο αλλά π.χ. με χρήση της φωτογραφίας, σάρωσης με ακτίνες λέιζερ, ήχο, φως κ.α., οι οποίες είναι μη καταστροφικές μέθοδοι.

² στην ομάδα συγκαταλέγονται οι μέθοδοι: σχήμα από δομημένο φωτισμό, σχήμα από σιλουέτες, σχήμα από στερεοφωτογράφιση, σχήμα από κίνηση, σχήμα από φωτοσκίαση, σχήμα από υφή, σχήμα από φωτομετρία, σχήμα από μεταβαλλόμενη εστίαση, σχήμα από σκιά, τα συστήματα αφής και η ψηφιακή φωτογραμμετρία.



Εικ. 1: Σύγκριση διαγραμμάτων μεθοδολογίας συμβατικής (άμεσης) και ψηφιακής (έμμεσης) τεκμηρίωσης.

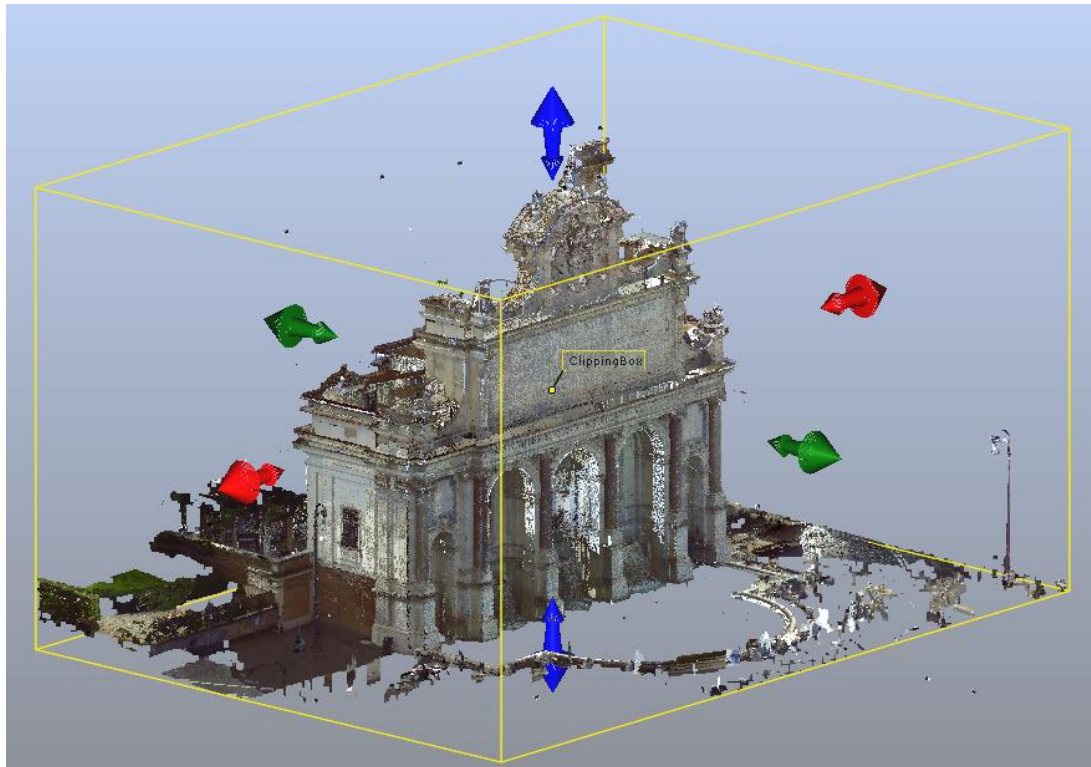
Σύμφωνα με το διάγραμμα της εικ. 1, μπορούμε να θεωρήσουμε, ότι κατά την πρώτη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα, επέρχεται η μεγάλη αλλαγή στο τρόπο απεικόνισης και αντιστρέφεται η διαδικασία, που εφαρμοζόταν ως τώρα (σύμφωνα με τις αρχές της παραστατικής γεωμετρίας, που κωδικοποίησε ο Gaspar Monge στα τέλη του 18^{ου} αιώνα).

Τα τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα, επιτρέπουν τη γρήγορη κατανόηση του χώρου και του συνόλου του αντικειμένου. Στη συνέχεια, δίνεται η δυνατότητα να εξαχθεί κάθε άλλη επιθυμητή πληροφορία, όπως π.χ. κατόψεις, όψεις, τομές, αξονομετρικά και προοπτικά καθώς επίσης να «εκτυπωθεί» το αντικείμενο τρισδιάστατα, σε οποιαδήποτε κλίμακα.

Ταυτόχρονα, η καταγραφή-τεκμηρίωση αποστασιοποιείται από τον υποκειμενικό μέχρι τώρα χαρακτήρα της και αποτελεί μια απόλυτα αντικειμενική διαδικασία. Η συλλογή των άμεσων μετρήσεων, δεν εξαρτάται από την ικανότητα, τις γνώσεις ή την εμπειρία μηχανικού. Η διαδικασία γίνεται αυτόματα, με μεγάλη ακρίβεια και με τεράστιο αριθμό μετρήσεων, εξασφαλίζοντας πολύ σημαντικό χρόνο για τη μελέτη, ερμηνεία και κατανόηση των αρχιτεκτονικών μορφών των κατασκευών και του χώρου γενικότερα³.

Όμως, όπως έχει επανειλημμένα αναφερθεί, οι έμμεσες μετρήσεις δεν υποκαθιστούν την άμεση και απαραίτητη επαφή του αρχιτέκτονα μηχανικού με το κτήριο ή το αντικείμενο, ούτε την παραδοσιακή μέθοδο «ανάγνωσης» και «κατανόησης» του, διαμέσου του σκαριφήματος.

³ π.χ. μέχρι και ~1εκατομύριο σημεία /sec με χρήση 3D σαρωτών λέιζερ και θεωρητικά άπειρο αριθμό σημείων με χρήση ψηφιακών φωτογραφιών. Μια μικρή πέτρα π.χ., καταγράφεται με εκατοντάδες σημεία XYZ στην επιφάνειά της.



Εικ. 2: Παράδειγμα δημιουργίας 3D ψηφιακού μοντέλλου με χρήση 3D TLS (Fontana dell'Acqua Paola, Ρώμη, πηγή: αρχείο EMP/TAM/ΔΠΘ).

Η τρισδιάστατη ψηφιακή καταγραφή ενός μνημείου, μπορεί να θεωρηθεί ως το «πάγωμα» της υπάρχουσας κατάστασης της κατασκευής, τη στιγμή της τεκμηρίωσης. Παρέχεται έτσι η δυνατότητα συγκριτικής μελέτης, ερμηνείας και παρακολούθησης της εξέλιξης των φθορών ενός μνημείου και εξασφαλίζεται η μελλοντική επεξεργασία των πρωτογενών αντικειμενικών δεδομένων. Ταυτόχρονα, σε περιπτώσεις μελετών αποκατάστασης, επανάχρησης και ένταξης ή προσθήκης νέων κατασκευών (reverse engineering), δίνεται η δυνατότητα άμεσης επαλήθευσης των προτάσεων και γενικότερα του σχεδιασμού νέων μορφών (Robson Brown et al. 2001).

2. ΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ.

Η τεκμηρίωση της υλικής και άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς στο σύνολο της, συμβάλλει στη δημιουργία του αναγκαίου πρωτογενούς υπόβαθρου, για τη διάσωση της, θεωρώντας δεδομένο ότι η προστασία και η κατανόηση του παρελθόντος, μας επιτρέπει ν' αντιμετωπίσουμε το μέλλον.



Εικ. 3: Παράδειγμα δημιουργίας ορθοφωτογραφίας υπό κλίμακα, γεωμετρικά ταυτιζόμενη με την κύρια όψη του μνημείου (Fontana dell' Acqua Paola, Ρώμη, πηγή: αρχείο EMP/TAM/ΔΠΘ).

Κατ' επέκταση, η χρήση της ψηφιακής τεκμηρίωσης της υπάρχουσας κατάστασης των μνημείων και των αρχαιολογικών χώρων, αποτελεί το απαραίτητο εργαλείο για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού αρχείου της πολιτισμικής κληρονομιάς, που πρέπει να αποτελέσει τη βασική προτεραιότητα κάθε χώρας.

Η σύγχρονη τεχνολογία και οι δυνατότητες πλέον των υπολογιστών, επιτρέπουν την εφαρμογή πολυάριθμων μεθόδων για την ψηφιακή τεκμηρίωση μνημείων και αρχαιολογικών χώρων με κύρια κριτήρια τη φιλική απεικόνιση και την ακρίβεια.

Οι ψηφιακές μέθοδοι τεκμηρίωσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις παθητικές (σάρωση με χρήση φωτογραφίας) και ενεργητικές μεθόδους (σάρωση με χρήση λέιζερ)⁴. Η ψηφιακή φωτογραμμετρία, είναι μια ολοκληρωμένη τεχνική καταγραφής πυκνών τρισδιάστατων γεωμετρικών πληροφοριών αντικειμένων και δημιουργίας ψηφιακών μοντέλων, από μεγάλο αριθμό φωτογραφιών, που πρέπει να καλύπτουν το σύνολο των σημείων του αντικείμενου με μεγάλη επικάλυψη (>60 %).

⁴ πρόκειται για μεθόδους χωρίς επαφή με το αντικείμενο. Μια άλλη κατηγορία, κυρίως για μικρά αντικείμενα, είναι οι ρομποτικοί βραχίονες με αισθητήρες αφής (coordinate measuring machine), που "αγγίζουν" το αντικείμενο για την καταγραφή των συντεταγμένων.

Η χρήση οργάνων σάρωσης με ακτίνες λέιζερ, επιτυγχάνουν ακρίβειες χιλιοστού με μεγάλη ταχύτητα. Οι εφαρμογές, που σχετίζονται με την τεκμηρίωση πολιτισμικής κληρονομιάς, βρίσκουν λύση κυρίως σε συστήματα με αυτές τις μεθοδολογίες και διαχωρίζονται σε αυτά των κοντινών και μεσαίων αποστάσεων.

Η σύγκριση των δυνατοτήτων των ψηφιακών έμμεσων μεθόδων, αλλά και σε πολλές περιπτώσεις ο συνδυασμός τους, αποτελούν βασική προϋπόθεση μιας ολιστικής προσέγγισης τεκμηρίωσης-καταγραφής της υπάρχουσας κατάστασης μνημείων και κτηρίων γενικά (as build), προκειμένου να αποδοθεί ένα υψηλής ανάλυσης αποτέλεσμα και ένα ρεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο απεικόνισης (Díaz-Andreu et al., 2005)⁵. Μια σύντομη ιστορική αναδρομή και η παράθεση των δυνατοτήτων των βασικών αυτών μεθόδων ακολουθεί στη συνέχεια του άρθρου. Η καταγραφή των ψηφιακών μοντέλων αντικειμένων, που παράγονται από τις δύο μεθόδους, αποτελεί απλή διαδικασία (Russo et al. 2011), με χρήση πλήρως αυτοματοποιημένων εφαρμογών.

2.1. ΨΗΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.

Η χρήση της φωτογραφίας για τη συλλογή μετρητικών πληροφοριών, αποτέλεσε από το 1858 μόνιμο αντικείμενο διερεύνησης και είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της επιστήμης της αρχιτεκτονικής φωτογραμμετρίας. Ως πρώτη φάση της φωτογραμμετρίας, θεωρείται η μηχανική ή αναλογική φάση (~1900 -1965), κατά τη διάρκεια της οποίας το κύριο εργαλείο ήταν ο μηχανικός στερεοαναγωγέας (Εικ. 5).



Εικ. 5: Αναλογικός στερεοανα-γωγέας. Με τη χρήση ζευγών φωτογραφιών, επιτυγχάνεται η παρατήρηση και ο προσδιορισμός κάθε σημείου ενός χώρου ή αντικειμένου. Με ένα αρκετά πολύπλοκο μηχανικό σύστημα, ο χειριστής είχε τη δυνατότητα να σχεδιάσει το περίγραμμα χώρων, αντικειμένων και την απόδοση σχεδίων (κυρίως χαρτών).

Η δεύτερη φάση, αναφέρεται ως αναλυτική φωτογραμμετρία, που ξεκίνησε περίπου το 1957⁶. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί υπολογιστές για την εκτέλεση υπολογισμών μεγάλης ακριβείας, ταχύτητας και ψηφιακής απόδοσης με χρήση του αναλυτικού στερεοαναγωγέα.

⁵ Σύμφωνα με τον Díaz-Andreu et al. (2005), οι δισδιάστατες τεχνικές αυτές δεν μπορούν να αναπαράγουν το βαθμό λεπτομέρειας και ακρίβειας, που απαιτούνται από τους ερευνητές και τους συντηρητές σήμερα, δεδομένου ότι απεικονίζουν 3D αντικείμενα σε 2D απόδοση.

⁶ U.V. Helava, Photogrammetric plotter (1957), US patent n. 3116555-7/1/1964.



Εικ. 6: Αναλυτικός στερεαναγωγέας.
(τύπος Wild BC-2 Analytical Stereoplotter).

Η τρίτη φάση, που αναφέρεται ως ψηφιακή φωτογραμμετρία και ξεκίνησε στη δεκαετία του 1990. Γίνεται πλέον χρήση εξ ολοκλήρου των Η/Υ και η ταύτιση των «ομολόγων» σημείων αντικαταστάθηκε από το «συσχετισμό» των σημείων σε κάθε φωτογραφία, διαμέσου μιας διαδικασίας αναγνώρισης απόλυτα αυτόματης, που εξελίχθηκε μετά το 1980, λόγω των νέων δυνατοτήτων των Η/Υ σε ταχύτητα και μνήμη.

2.2. Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ.

Η ψηφιακή φωτογραμμετρία⁷, ορίζεται ως «η τέχνη και η επιστήμη της απεικόνισης με σκοπό την παραγωγή τρισδιάστατων μετρήσεων με μεγάλη ακρίβεια, από πολλαπλές φωτογραφίες» (Al-Ruzouq, 2012), η «επιστήμη και η τέχνη της μέτρησης και ερμηνείας εικόνων προκειμένου να ανακατασκευάσει τα αντικείμενα σε δύο ή σε τρεις διαστάσεις» (Lerma et al. 2009), καθώς επίσης ως «η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία τεκμηρίωσης πληροφοριών αντικειμένων του περιβάλλοντος διαμέσου της διαδικασίας καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφιών, ηλεκτρομαγνητικών πληροφοριών και άλλων φαινομένων» (McGlone, 2004).

Ως εφαρμογή, έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής τα τελευταία χρόνια καθώς οι αυξανόμενες υπολογιστικές ικανότητες των προσωπικών υπολογιστών, μπόρεσαν να συνδυάσουν τη φωτογραμμετρία με τα οπτικά εφέ (VXF) και την ανάπτυξη προγραμμάτων παιχνιδιών (GameDev). Σήμερα, η ψηφιακή φωτογραμμετρία αποτελεί μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την εξαγωγή μετρητικών πληροφοριών από εικόνες, συνδυάζοντας ψηφιακές εφαρμογές απεικόνισης. Τα τεράστια οφέλη για τη χρήση της στο χώρο της πολιτισμικής κληρονομιάς, είναι ήδη τεκμηριωμένα με πολυάριθμες δημοσιεύσεις, σε ελληνικά και διεθνή συνέδρια (Bryan et al. (1999), Bewley (2003), Desmond και Bryan (2003), Lerma et al. (2006), Chandler et al. (2007).

Η σύγχρονη τρισδιάστατη ψηφιακή φωτογραμμετρία, χρησιμοποιεί ένα από τα πλέον εξελισσόμενα πεδία της επιστήμης των υπολογιστών, τη «μηχανική όραση» (computer vision)⁸. Σύμφωνα με αυτή, δίνεται η δυνατότητα (μέσω αλγορίθμων) αυτόματης εύρεσης αντίστοιχων-ομολόγων σημείων σε κάθε φωτογραφία, τη συσχέτιση τους, την επίλυση προβλημάτων διαφορετικής προοπτικής, κλίμακας, τη συνταύτιση των φωτογραφιών και αναπαραγωγή της τρισδιάστατης μορφής του αντικειμένου.

⁷ Αναφέρεται και ως «Multi-image photogrammetry», «close range photogrammetry», «Structure from Motion», κ.α..

⁸ Η επιστήμη της μηχανικής όρασης, (ή υπολογιστική όραση ή τεχνητή όραση-computer vision), αφορά την τεχνητή νοημοσύνη, που επιχειρεί να αναπαραγάγει αλγοριθμικά την αίσθηση της όρασης, συνήθως σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ή ρομπότ. Σχετίζεται άμεσα με τη θεωρία και την τεχνολογία, που εμπλέκονται στη σχεδίαση και κατασκευή συστημάτων, που λαμβάνουν και αναλύουν δεδομένα από ψηφιακές δισδιάστατες εικόνες και επιτυγχάνει την τρισδιάστατη απεικόνιση και την ανακατασκευή της δομής του χώρου (Davies, 2012).



Εικ. 4: Τρισδιάστατη απεικόνιση του αγάλματος «Βόρειος Ήπειρος». Υπάρχουσα κατάσταση μετά το βανδαλισμό του. Χρήση ψηφιακής φωτογραμμετρίας (178 φωτ., 300.246 σημεία).

Εικ. 4: Τρισδιάστατη ανακατασκευή του αγάλματος «Βόρειος Ήπειρος». Κατάσταση πριν το βανδαλισμό από φωτογραφίες των εφημερίδων στο διαδίκτυο (15 φωτ., 7.599 σημεία).

Ο ψηφιακός φωτογραμμετρικός σταθμός, έχει μεταλλαχθεί πλέον και αποτελείται από ένα απλό, αλλά δυνατό υπολογιστή⁹, το ειδικό φωτογραμμετρικό πρόγραμμα και μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή.

Η διαδικασία δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου από πλήθος φωτογραφιών, εκτελείται κατά το μεγαλύτερο μέρος, αυτοματοποιημένα. Πολυάριθμα προγράμματα εφαρμογών, μερικά εκ των οποίων είναι δωρεάν¹⁰, διατίθενται ήδη στο εμπόριο και ανταγωνίζονται μεταξύ τους ως προς την ταχύτητα, την ακρίβεια και την ευκολία χρήσης. Σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα (ανάλογα με το αντικείμενο), παράγονται εντυπωσιακά αποτελέσματα, ενώ η διαδικασία αυτή, που πολλές φορές εφαρμόζεται μηχανικά και από μη ειδικούς στη φωτογραμμετρία επιστήμονες¹¹, δίνει πλέον τη δυνατότητα εστίασης στη μελέτη του προ-ϊόντος (τρειςδιάστατο μοντέλο, σχέδια υψηλής ακρίβειας, πρόπλασμα, video, κ.α.) και όχι στην ίδια την διαδικασία, ως αυτοσκοπό. Αυτή η «κοινωνικοποίηση» των δυνατοτήτων τρισδιάστατης καταγραφής με χρήση της ψηφιακής φωτογραμμετρίας και η ολοένα αυξανόμενη εφαρμογή της από το ευρύ κοινό, δίνει νέες διαστάσεις στην έννοια της τεκμηρίωσης μνημείων, όχι μόνον στο χερσαίο χώρο αλλά και τον υποθαλάσσιο, όπου, ως γνωστό, ο χρόνος εργασίας είναι ιδιαίτερα περιορισμένος¹².

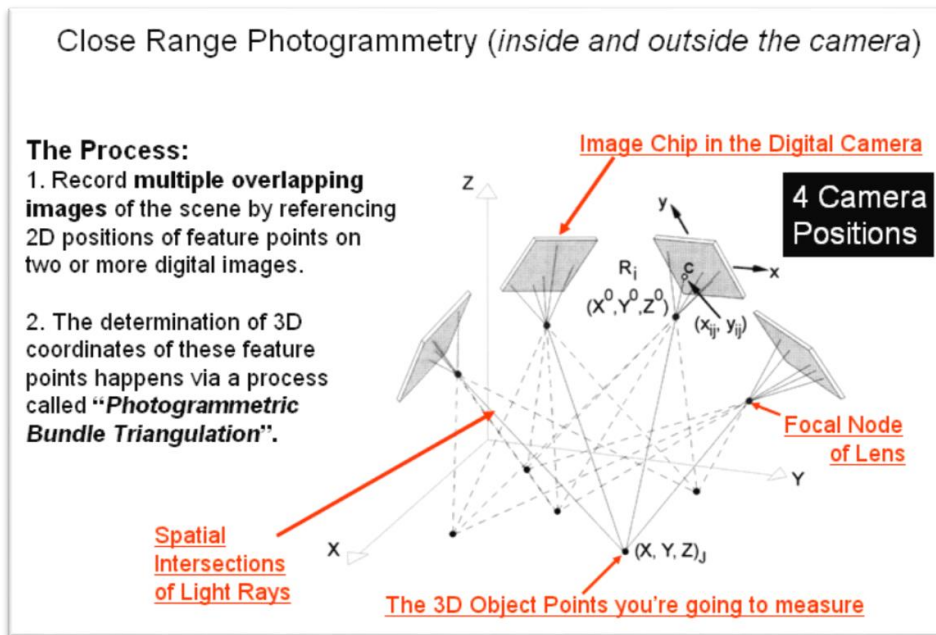
Σε πρακτικό επίπεδο, μετά τη λήψη των φωτογραφιών του αντικειμένου¹³, ελέγχονται τα αποτελέσματα και αν κριθεί αναγκαίο, διορθώνονται τουλάχιστον ως προς τη φωτεινότητα και την αντίθεση¹⁴. Πριν από τη φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων, αν μας ενδιαφέρει μόνο ένα, συγκεκριμένο αντικείμενο, θα πρέπει αυτό να απομονωθεί (mask) από το περιβάλλον του, για να επιτευχθούν καλύτερες, ταχύτερες και ακριβέστερες τρισδιάστατες απεικονίσεις.

⁹ Εκτός από τον γρήγορο SSD σκληρό δίσκο, που απαιτείται για τα ογκώδη αρχεία εικόνας, σχετικά λίγα είναι τα στοιχεία που διαφοροποιούν έναν τέτοιο υπολογιστή από ένα κοινό PC (πβλ. Στοιχεία Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας – The Fundamentals of Digital Photogrammetry – ISM International Systemap Corporation (Καναδάς), 1998, μετ. Χρ. Βραδής, ATM ΕΜΠ, M.Sc. Επιμέλεια – Σχόλια, Γ. Καρράς, Επικ. Καθ. ΕΜΠ, Ε. Πέτσα, Καθ. ΤΕΙ Αθήνας.

¹⁰ π.χ. Agisoft Photoscan, 123D, SfM, κ.α. Για μια τεκμηριωμένη σύγκριση των προγραμμάτων πρβλ. Remondino *et al.* 2012.

¹¹ π.χ. από επαγγελματίες φωτογράφους, που λόγω καλής γνώσης της φωτογραφικής τέχνης, παρέχουν καλύτερα πρωτογενή στοιχεία.

¹² πρβλ. Skarlatos *et al.*, 2010, Doneus *et al.*, 2011, Drap, 2012, Diamanti *et al.*, 2011, Zhukovsky *et al.*, 2013, Henderson *et al.*, 2013, McCarthy *et al.*, 2014.



Εικ. 6: Ενδεικτική απεικόνιση της γεωμετρίας αναγνώρισης και ταύτισης κοινών σημείων (XYZ) στην επιφάνεια ενός αντικειμένου από π.χ. τέσσερις φωτογραφίες (πηγή: <http://lanmarservices.com>).

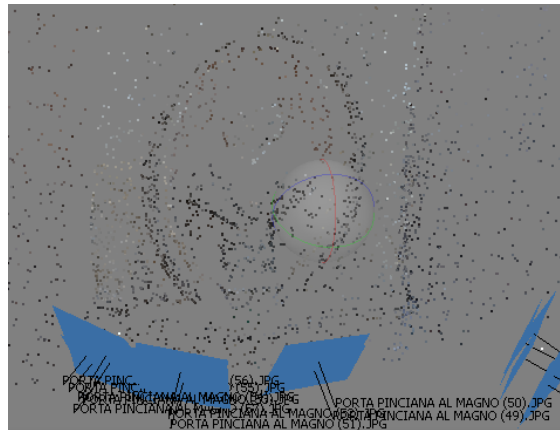
Η συνένωση (alignment) των φωτογραφιών, είναι η διαδικασία κατά την οποία εντοπίζονται και ταυτίζονται τα κοινά σημεία, στο σύνολο των φωτογραφιών, προσδιορίζεται στο χώρο η θέση λήψης κάθε φωτογραφίας και ρυθμίζεται η βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής. Η επεξεργασία είναι συνήθως αυτόματη και το πρώτο προϊόν, που εμφανίζεται στην οθόνη, είναι ένα αραιό νέφος σημείων στο χώρο, που ήδη ταυτίστηκαν από το πρόγραμμα και χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των φωτογραφιών, καθώς και οι θέσεις λήψης των φωτογραφιών (Εικ. 8). Τα σημεία του νέφους, είναι απόλυτα εξαρτημένα μεταξύ τους και προσδιορισμένα με συντεταγμένες στο χώρο. Στη συνέχεια, δημιουργείται το πυκνό νέφος σημείων, που περιλαμβάνει όλα τα αναγνωρίσιμα σημεία στις φωτογραφίες (Εικ. 9). Το νέφος αυτό μπορεί να εξαχθεί προς επεξεργασία σε κάποιο άλλο σχεδιαστικό πρόγραμμα, ή να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία τρισδιάστατου εφαπτόμενου στο αντικείμενο πλέγματος (3d mesh), που μετατρέπει τα εκατομμύρια σημεία σε τριγωνικές επιφάνειες και αναπαριστά τη μορφή του αντικειμένου ως στερεό, με δυνατότητα 3δ εκτύπωσης (Εικ. 10).

Μετά τη μετατροπή των σημείων σε επιφάνειες και την ολοκλήρωση της γεωμετρικής αναπαράστασης του αντικειμένου στο χώρο, μπορούμε να επενδύσουμε τις επιφάνειες του με την αντίστοιχη υφή και χρώμα, σύμφωνα με τις πληροφορίες από τις φωτογραφίες. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η ολοκληρωμένη απεικόνιση του.

¹³ απαιτούνται λήψεις του ίδιου αντικειμένου από διαφορετικές γωνίες με σημαντική αλληλοεπικάλυψη (~60 -80%).

¹⁴ Είναι προφανές, ότι οι λήψεις των φωτογραφιών θα πρέπει να γίνουν σωστά και τουλάχιστον σύμφωνα με τις βασικές οδηγίες φωτογράφισης. Συνιστάται η χρήση τρίποδου για την ακινησία της φωτογραφικής μηχανής, η λήψη φωτογραφιών με μη αυτόματο τρόπο (χειροκίνητες ρυθμίσεις), ο έλεγχος του βάθους πεδίου, η χρήση σταθερών φακών ή σε κάθε περίπτωση η μη εναλλαγή της εστίασης.

Η ορθοφωτογραφία, είναι ένα από τα κυριότερα προϊόντα που εξάγονται από τα τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα. Πρόκειται για τη δισδιάστατη και σε ορθή προβολή απεικόνιση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Επιτυγχάνεται ύστερα από την αναγωγή της προοπτικής προβολής της φωτογραφίας. Η διαδικασία γίνεται αυτόματα (στροφές της κάμερας, η ακτινική διαστρόφη κ.α.) και ο χρήστης επικεντρώνεται πλέον στο σκοπό και όχι στη διαδικασία. Οι κοινές φωτογραφικές μηχανές εμπορίου (off-the-shelf), μπορούν με επιτυχία να χρησιμοποιηθούν και βαθμονομηθούν εύκολα για καλύτερα αποτελέσματα (Wang and Clarke, 2001).



Εικ. 8: Συνένωση των φωτογραφιών, εμφάνιση των σημείων (μαύρες κουκκίδες) και των θέσεων λήψης φωτογραφιών (μπλέ επίπεδα). Παραγωγή αραιού «νέφους» με τις θέσεις των λήψεων.



Εικ. 9: Παραγωγή πυκνού νέφους σημείων με όλη την πληροφορία του αντικειμένου



Εικ. 10: Παραγωγή τρισδιάστατου στερεού, το οποίο μπορεί πλέον να εκτυπωθεί.

Οι ορθοφωτογραφίες, γεωμετρικά ταυτίζονται με τα συμβατικά σχέδια της δισδιάστατης απεικόνισης (όψεις, κατόψεις τομές). Υπερέχουν όμως διότι εμπεριέχουν ταυτόχρονα όλη τη «φωτογραφική» πληροφορία, υπό κλίμακα. Κάθε τρισδιάστατο μοντέλο, μπορεί να «κοπεί» κάθετα ή οριζόντια και να εξαχθούν πολυάριθμα γραμμικά σχέδια (θεωρητικά σε άπειρες θέσεις), που αντιστοιχούν στις γνωστές μας κατόψεις, όψεις και τομές. Ο συνδυασμός της φωτογραφίας υπό κλίμακα και των άπειρων μετρητικών πληροφοριών (XYZ), που εμπεριέχονται, τεκμηριώνουν με μεγάλη ακρίβεια και αντικειμενικά το χώρο και προφανώς συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση του.

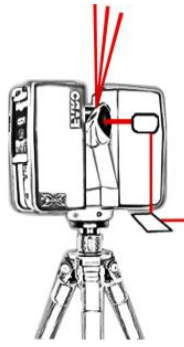


Εικ. 11: Παραγωγή ορθοφωτογραφίας (όψη) της ίδιας απεικόνισης.

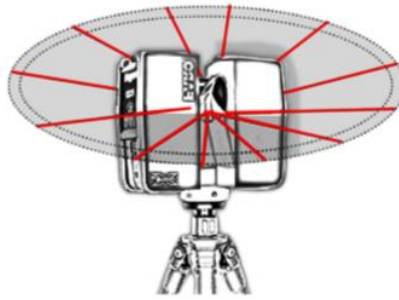
Η ψηφιακή φωτογραμμετρία, θεωρείται πλέον μια ώριμη τεχνική για την εξαγωγή 3D πληροφοριών από εικόνες και τα πλεονεκτήματα της χρήσης της στην αρχιτεκτονική και τα μνημεία είναι πολύ γνωστά. Πολλά παραδείγματα τεκμηρίωσης αντικειμένων αλλά και χαρτογράφησης περιοχών και αρχαιολογικών χώρων από επίγειες λήψεις ή από αεροφωτογραφίες, έχουν παρουσιαστεί μέχρι τώρα (ενδεικτικά: Bryan *et al.* 1999, Bryan 2003, Chandler *et al.*, 2007).

2.3. ΟΙ ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ ΛΕΙΖΕΡ

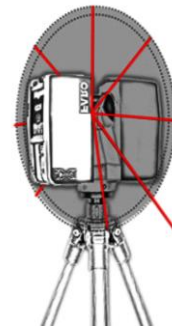
Σχεδόν ταυτόχρονα με την ανάπτυξη της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, εμφανίστηκαν οι επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές με χρήση ακτίνων λέιζερ. Η καινοτόμος εφαρμογή τους στις μεθόδους αποτύπωσης, τεκμηρίωσης και γενικά καταγραφής, προκάλεσε μία μικρή επανάσταση, αντίστοιχη με αυτή της ψηφιακής φωτογραμμετρίας. Κάθε σαρωτής αποτελείται από έναν πομπό-δέκτη ακτίνων λέιζερ, έναν καθρέπτη για τη διάχυση των ακτίνων στο χώρο, μια φωτογραφική μηχανή και το ηλεκτρονικό κύκλωμα, που ελέγχει όλα τα παραπάνω. Ως όργανο, ο επίγειος σαρωτής ομοιάζει με ένα Total Station. Η βασική διαφορά του, έγκειται στο γεγονός, ότι εκπέμπει συνεχώς άπειρες ακτίνες λέιζερ στο χώρο, περιστρέφοντας τον ενσωματωμένο πομπό ακτίνων κατά τον κάθετο και οριζόντιο άξονα του (Εικ. 12, 13, 14).



Εικ. 12: Μετρήσεις αποστάσεων με ακρίβεια χιλιοστών από τον υπολογισμό της εναλλαγής φάσης μεταξύ της εκπομπής και επιστροφής της ακτίνας λέιζερ.

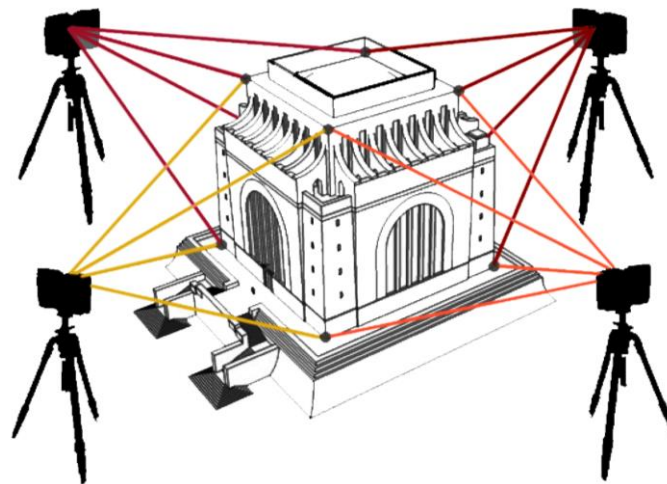


Εικ. 13: Οριζόντια περιστροφή του οργάνου και εκπομπή ακτινών λέιζερ σε εύρος 360ο με ταυτόχρονη καταγραφή της γωνίας και της απόστασης.



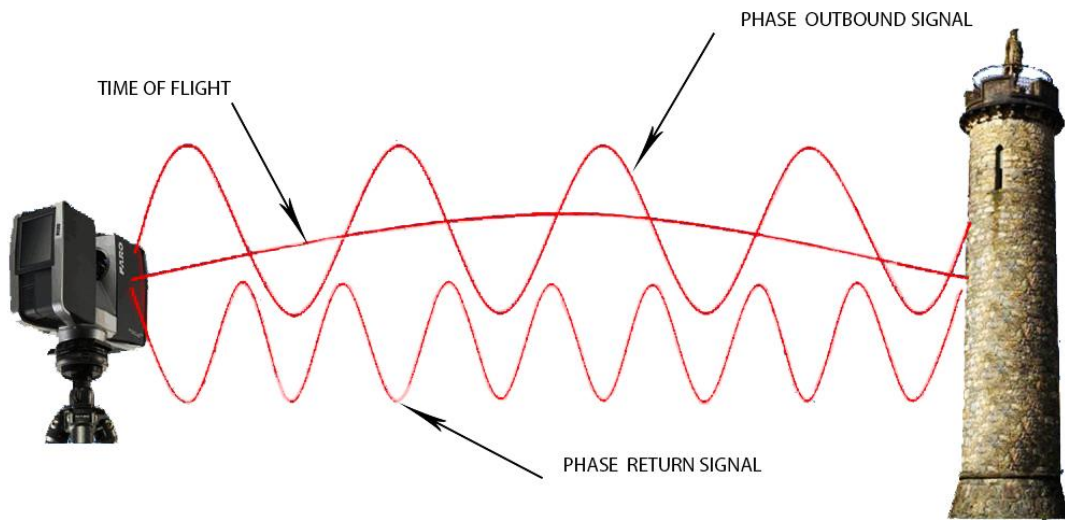
Εικ. 14: Κατακόρυφη εκπομπή ακτινών διαμέσου περιστρεφόμενου καθρέπτη και ταυτόχρονη καταγραφή της γωνίας και της απόστασης

Ταυτόχρονα με την εκπομπή, το όργανο συλλέγει τις αντανακλώμενες ακτίνες από την επιφάνεια του αντικειμένου και προσδιορίζει άμεσα τις συντεταγμένες XYZ στο σημείο αντανάκλασης. Ανάλογα με την προκαθορισμένη πυκνότητα σάρωσης, επιτυγχάνεται η επιθυμητή ποιότητα καταγραφής. Μετά την ολοκλήρωση της καταγραφής των σημείων, το όργανο έχει τη δυνατότητα φωτογράφισης του χώρου σάρωσης και ταύτισης των σημείων XYZ με την αντίστοιχη χρωματική υφή των σημείων. Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται η άμεση τρισδιάστατη απεικόνιση του προς αποτύπωση αντικειμένου, με μεγάλη ακρίβεια ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αλλά και σε συνδυασμό με το χρώμα και την υφή του πρωτοτύπου. Είναι προφανές, ότι και στην περίπτωση των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών με ακτίνες λέιζερ, ισχύει το διάγραμμα της Εικ. 1, σύμφωνα με οποίο, από το τρισδιάστατο μοντέλο παράγεται η δισδιάστατη τεκμηρίωση και όχι το αντίθετο.



Εικ. 15: Διάγραμμα ενδεικτικών στάσεων σάρωσης κτηρίου με επίγειο τρισδιάστατο σαρωτή ακτίνων λέιζερ.

Οι σαρωτές λέιζερ, κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικές ομάδες ανάλογα με την τεχνική, που χρησιμοποιούν: η τεχνική του τριγωνισμού, του υπολογισμού του χρόνου μετάβασης και επαναφοράς του σήματος (Time of Flight) και της φάσης σύγκρισης (Phase Comparison). Τα τελευταία χρόνια εφαρμόζονται κυρίως οι δύο τελευταίες τεχνικές.



Εικ. 16: Ενδεικτική απεικόνιση των βασικών τεχνικών, που χρησιμοποιεί η πλειοψηφία των τρισδιάστατων επίγειων σαρωτών.

Συμπερασματικά, η τεκμηρίωση του χώρου με χρήση σαρωτών λέιζερ, επιτρέπει την έμμεση καταγραφή γεωμετρικών σχημάτων σε υψηλή ανάλυση (λεπτομέρεια), ακρίβεια και πρόσθετες πληροφορίες, όπως τιμές RGB, που συνήθως προέρχονται από εσωτερικές ή εξωτερικές ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Αυτά τα όργανα, εκτός από την τεκμηρίωση και καταγραφή της πολιτισμικής κληρονομιάς, χρησιμοποιούνται και στον τομέα της βιομηχανίας για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη πρωτοτύπων, τους ποιοτικούς ελέγχους, τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, την επαλήθευση επεμβάσεων (reverse engineering).

3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Σύμφωνα με την προηγηθείσα σύντομη παράθεση των δύο σύγχρονων τεχνικών έμμεσων μετρήσεων, εύλογα δημιουργείται το δίλημμα της επιλογής μεταξύ των δύο. Η ακρίβεια, η ταχύτητα και ευκολία χρήσης, το κόστος, η κλίμακα απόδοσης, οι δυνατότητες κάθε μεθόδου και η επεξεργασία των προϊόντων από άλλες εφαρμογές, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πριν από κάθε επιλογή. Στους παρακάτω συγκριτικούς πίνακες αναφέρονται συνοπτικά τα υπέρ και τα κατά των δύο τεχνικών:

3.1. Ψηφιακή Φωτογραμμετρία:

3.1.1. Πλεονεκτήματα: Φθηνότερος εξοπλισμός και λογισμικό (με δυνατότητα χρήσης για κάθε είδους εξοπλισμό), αναβαθμίσεις και χρήση λογισμικού ανεξάρτητα από τον υπάρχοντα εξοπλισμό, καλύτερη οπτική αναπαράσταση της υφής και του χρώματος, αρκετά προγράμματα εφαρμογών δωρεάν.

3.1.2.Μειονεκτήματα: Μεγάλος αριθμός φωτογραφιών για την ολοκληρωμένη κάλυψη του αντικειμένου, μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας, ακρίβεια συνήθως μικρότερη από σαρωτές λέιζερ, προβλήματα ακρίβειας κλίμακας απεικόνισης, λιγότερο αυτοματοποιημένη διαδικασία, πιθανά λάθη χειριστή είτε στη λήψη φωτογραφιών (κενά), είτε στην απόδοση, περισσότερη διάρκεια της διαδικασίας απόδοσης, προβλήματα αναγνώρισης και ταύτισης φωτογραφιών σε δύσκολες επιφάνειες (θολές, γυαλιστερές), άμεση εξάρτηση από το φυσικό ή τεχνικό φως.

3.2. Τρισδιάστατοι σαρωτές Λέιζερ:

3.2.1. Πλεονεκτήματα:

Εύκολος χειρισμός, μέγιστη ακρίβεια υπό κλίμακα, εύκολη εφαρμογή σε μεγάλους και πολύπλοκους χώρους, μεγάλη ακρίβεια, που προκαθορίζεται ανάλογα με το αντικείμενο και το σκοπό της σάρωσης, αυτοματοποιημένη διαδικασία σάρωσης μετά την τοποθέτηση στόχων και σημείων αναφοράς, ελάχιστες πιθανότητες λάθους του χρήστη, σύντομος χρόνος επεξεργασίας δεδομένων και απόδοσης της τεκμηρίωσης, αντικειμενική καταγραφή χώρου.

3.2.2. Μειονεκτήματα:

Εξοπλισμός απαγορευτικά ακριβός για μικρές εργασίες, υψηλό κόστος επιδιόρθωσης και σέρβις οργάνων, πολλά αλλά ακριβά προγράμματα επεξεργασίας δεδομένων, λογισμικό εξειδικευμένο για κάθε όργανο, συχνές αναβαθμίσεις με αντίστοιχες χρεώσεις, αδυναμία σάρωσης σε θολές ή γυαλιστερές επιφάνειες, διαφορετικά όργανα για κοντινές ή μακρινές αποστάσεις.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ.

Τόσο οι σαρωτές λέιζερ όσο και οι ψηφιακές φωτογραμμετρικές τεχνικές, έχουν δυνατά και αδύνατα σημεία. Ανάλογα με το περιβάλλον και το αντικείμενο εργασίας, θα πρέπει να γίνουν οι αντίστοιχες επιλογές. Η επιλογή της μεθόδου, που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το αντικείμενο μελέτης, την περιοχή, την προηγούμενη εμπειρία του χρήστη, τον υπάρχοντα εξοπλισμό (ή προϋπολογισμό της μελέτης) και τέλος το διαθέσιμο χρόνο (Lambers και Remondino, 2007). Σε κάθε περίπτωση, αν σε μια εργασία υπάρχει η δυνατότητα χρήσης τρισδιάστατου σαρωτή ακτίνων λέιζερ (3TLS), η ψηφιακή φωτογραμμετρία μπορεί συμπληρωματικά να χρησιμοποιηθεί, κυρίως για την καλύτερη καταγραφή της υψής του αντικειμένου και της κάλυψης τυχόν κενών. Η κοινή χρήση των δύο μεθόδων, ουσιαστικά αποτελεί το συνδυασμό της ακρίβειας των μετρήσεων, που επιτυγχάνουν οι επίγειοι τρισδιάστατοι λέιζερ σαρωτές και της υψηλής ποιότητας της τεκμηρίωσης των επιφανειών του αντικειμένου, μέσω της ψηφιακής φωτογραφίας, που προσφέρει καλύτερα φωτο-ρεαλιστικά αποτελέσματα (Alshwabkeh και Haala, 2004, Al kheder *et al*, 2009, Al-Manasir και Fraser, 2006, Yastikli, 2007)..

5. Η ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Ο σκοπός της αποτύπωσης των μνημείων, αρχαιολογικών χώρων και αντικειμένων, είναι η γραφική αναπαράσταση του αντικειμένου και του χώρου, στα πλαίσια της προστασίας, μελέτης, εκπαίδευσης και διάδοσης της γνώσης. Με τις νέες δυνατότητες των υπολογιστών, οι περισσότερες μελέτες τεκμηρίωσης της πολιτισμικής κληρονομιάς επικεντρώνονται στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση της αρχιτεκτονικής μορφής τους στα πλαίσια μιας δυναμικής διαδραστικής αναπαράστασης και όχι ενός στατικού προοπτικού ή αξονομετρικού μοντέλου (El-Hakim *et al*. 2004; Lambers *et al*. 2007; Voltolini *et al.*, 2007). Παρ' όλα τα πλεονεκτήματα, η συστηματική χρήση τρισδιάστατων μοντέλων προερχομένων από τρισδιάστατα δεδομένα, είναι ακόμη περιορισμένη, πιθανόν λόγω κόστους και εξειδικευμένης τεχνογνωσίας (Remondino *et Campana*, 2007).

Σε κάθε περίπτωση, σύμφωνα και με το διάγραμμα της εικ. 1, τα πλεονεκτήματα εκπόνησης διαδραστικών αναπαραστάσεων προερχομένων είτε από χρήση σαρωτών laser, είτε ψηφιακής φωτογραμμετρίας είναι τεράστια, λόγω της αντικειμενικής ακρίβειας των μετρήσεων, του χρώματος και της υφής των αντικειμένων. Αυτό σημαίνει καλύτερη παρουσίαση των μνημειακών καταλοίπων και αρχαιολογικών λειψάνων, δυνατότητα κατανόησης των κατασκευαστικών φάσεων, συντήρηση, αποκατάσταση, και δυνατότητα συνεχούς επικαιροποίησης του μοντέλου με νεότερα δεδομένα και αναπροσαρμογή της αναπαράστασης. Οι παραπάνω μέθοδοι διευκολύνουν την κατανόηση της πολυπλοκότητας των μνημείων και των αρχαιολογικών χώρων, διότι μπορούν να αποδώσουν όχι μόνο τα συμβατικά δισδιάστατα σχέδια¹⁵, αλλά και φωτορεαλιστικές προοπτικές ή αξονομετρικές διαδραστικές απόψεις, με πλήρη δυνατότητα πλοήγησης σε 3D περιβάλλον.

Επιπλέον, η λεπτομερής έρευνα των επιφανειών των μνημείων (στρωματογραφία όψεων), είναι μια σημαντική πτυχή της συλλογής δεδομένων της έρευνας καθώς και της «ανάγνωσης» του αντικειμένου. Με αυτή την έννοια, τρισδιάστατα φωτορεαλιστικά μοντέλα επιτρέπουν, μεταξύ άλλων την τεκμηρίωση, τη διαχείριση και την ανάλυση της μορφής (σχήμα, διαστάσεις, υφή) των αντικείμενων σε υψηλό βαθμό ακρίβειας και ανάλυσης.

Στο κεφάλαιο αυτό εντάσσεται και η παραγωγή ψηφιακών video από τα τρισδιάστατα μοντέλα με σχετικά απλοποιημένο τρόπο. Πολλά προγράμματα εμπορικών εφαρμογών επεξεργασίας έχουν συμπεριλάβει αυτή τη δυνατότητα, ενσωματώνοντάς την ως πρόσθετη εφαρμογή¹⁶.

6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Αν και είναι προφανές, ότι οι νέες αυτές τεχνικές αλλάζουν τη μέχρι τώρα αντίληψή μας για την τεκμηρίωση των μνημείων και των αρχαιολογικών χώρων γενικότερα, πρέπει να λειτουργήσουν ως μέσα περαιτέρω βοήθειας και κατανόησης των κατασκευών και όχι ως υποκατάστατα της μακροσκοπικής παρατήρησης, της αυτοψίας ή των σκαριφημάτων και των κατά χώρα μετρήσεων, που αποτελούν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μέρος της ανάγνωσης και κατανόησης του αντικειμένου και όχι αυτοσκοπός. Οι μεγάλης ακρίβειας και πληρότητας αποτυπώσεις, που μπορούν να εκπονηθούν, είτε με χρήση της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, είτε με χρήση των τρισδιάστατων σαρωτών ακτίνων λέιζερ, σε καμιά περίπτωση δεν μπορούν να υποκαταστήσουν την παρατήρηση του χώρου, όπως η computer vision δεν μπορεί να υποκαταστήσει το ανθρώπινο μάτι, που συνεπικουρείται και από τις άλλες αισθήσεις. Κατ' επέκταση, η χρήση των ανωτέρω τεχνολογιών, μπορεί να βοηθήσει τα μέγιστα προκειμένου να παραχθεί μια ολοκληρωμένη και σχεδόν «απόλυτη» αποτύπωση και τεκμηρίωση της υπάρχουσας κατάστασης από μετρικής και φωτορεαλιστικής άποψης, διευκολύνοντας την περαιτέρω επεξεργασία μελέτης, είτε αυτή πρόκειται για απλή τεκμηρίωση είτε αποσκοπεί σε εργασίες συντήρησης, αποκατάστασης και ανάδειξης με σύγχρονες επεμβάσεις.

¹⁵ Τα δισδιάστατα σχέδια δεν μπορούν να αναπαράγουν το βαθμό λεπτομέρειας και ακρίβειας, που απαιτούνται σήμερα από τους ερευνητές και τους συντηρητές μνημείων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι υποκειμενικά και αναπαριστούν σε δύο διαστάσεις αντικείμενα τριών διαστάσεων.

¹⁶ Ενδεικτικές παραγωγές του Εργαστηρίου Μορφολογίας-Ρυθμολογίας του ΔΠΘ: <https://www.youtube.com/channel/UC4L01znnVaFXJEydPkk5rBw>

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-kheder, S., Al-shawabkeh, Y., Haala, N., "Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry", *Journal of Archaeological Science* 36 (2), 537–546, 2008.
- Alshawabkeh, Y., Haala, N., "Laser scanning and photogrammetry: a hybrid approach for heritage documentation", *Third International Conference on Science & Technology in Archaeology & Conservation*, The Hashimite University, Jordan. 2004.
- AL-Ruzouq, Rami, "Photogrammetry for Archaeological Documentation and Cultural Heritage Conservation», *Special Applications of Photogrammetry*, Dr. Daniel Carneiro Da Silva (Ed.), 2012.
- Bewley, R.H., "Aerial survey for archaeology", *The Photogrammetric Record* 18 (104), 273–292, 2003.
- Bryan, P.G., Corner, I., Stevens, D., "Digital rectification techniques for architectural and archaeological presentation". *The Photogrammetric Record* 16 (93), 399–415. 1999.
- Boehler, W., Bordas, M., Vicent, Marbs, A., "Investigating laser scanner accuracy", *Proceedings of the XIXth CIPA Symposium*, Antalya, Turkey, 6. 2003.
- Boehler, W., Marbs, A., "3D scanning and photogrammetry for heritage recording: a comparison. In: Proceedings of 12th International Conference on Geoinformatics ", *Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and Atlantic*, University of Gavle, Sweden, pp. 291–298, 2004.
- Canciani, M., Gambogi, P., Romano, G., Cannata, G., and Drap, P., "Low cost digital photogrammetry for underwater archaeological site survey and artefact insertion. The case study of the Dolia Wreck in Secche della Meloria, Livorno, Italia", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34.5/W12, pp. 95-100, 2002.
- Chandler, J.H., Bryan, P., Fryer, J.G., "The development and application of a simple methodology for recording rock art using consumer-grade digital cameras", *The Photogrammetric Record* 22 (117), 10–21, 2007.
- Chandler, J.H., Bryan, P., Fryer, J.G., "The development and application of a simple methodology for recording rock art using consumer-grade digital cameras", *The Photogrammetric Record* 22 (117), 10–21, 2007.
- Davies, E. R., *Computer and Machine Vision, Theory, Algorithms, Practicalities*, 2012, Desmond, L.G., Bryan, P.G., "Recording architecture at the archaeological site of Uxmal, Mexico: a historical and contemporary view", *The Photogrammetric Record* 18 (102), 105–130, 2003.
- Diamanti, E., Georgopoulos, A. and Vlachaki, F., "Geometric documentation of underwater archaeological sites", *Proceeding of the XXIII CIPA Symposium*, Prague, Czech Republic, 12/16, 2011.
- Doneus, M., Briese, C., Fera, M., Janner, M., "Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning", *Journal of Archaeological Science* 35 (4), 882–893, 2008.
- Drap, P., Seinturier, J., Scaradozzi, D., Gambogi, P., Long, L. and Gauch, F., "Photogrammetry for Virtual Exploration, of Underwater Archaeological Sites", *International Symposium: AntiCIPAting the Future of the Cultural Past*, CIPA, Athens, Greece, 2007.
- Drap, P., *Underwater Photogrammetry for Archaeology*, CNRS, 2012. (Wang and Clarke, 2001).
- English Heritage, 2007. 3D laser scanning for heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. <http://www.helm.org.uk/upload/pdf/publishing-3d-laser-scanning-reprint.pdf>.
- Lambers, K., Remondino, F., 2007. Optical 3D measurement techniques in archaeology: recent developments and applications. Computer applications and quantitative methods in archaeology, Berlin, Germany. In: Posluschny, A., Lambers, K., Herzog, I. (Eds.), *Layers of Perception*, pp. 27–34.
- Lianos, N., <https://www.youtube.com/channel/UC4L01znvVaFXJEydPkK5rBw>, passim.
- Lerma Garcia, J.L., Van Genechten, B., Heine, E., Santana Quintero, M., "3D RiskMapping. Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning, Training Material Based on Practical Applications", Universidad Politecnica de Valencia, 2008.
- Lerma, Jose´ Luis, Santiago Navarro, Miriam Cabrelles, Valentin Villaverde, "Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study", *Journal of Archaeological Science* 37, 499–507, 2010.
- McCarthy, J., Benjamin, J., "Multi-image photogrammetry for underwater archaeological site recording: an accessible, diver-based approach", *Journal of maritime archaeology*, 2014.
- Robson Brown, K.A., Chalmers, A., Saigol, T., Green, C., D'Errico, F., "An automated laser scan survey of the Upper Palaeolithic rock shelter of Cap Blanc", *Journal of Archaeological Science* 28 (3), 283–289, 2001.

The Fundamentals of Digital Photogrammetry—ISM International Systemap Corporation (Καναδάς), μετ. Χρ. Βραδής, επιμέλεια – σχόλια, Γ. Καρράς, Ε. Πέτσα, 1998.

McGlone JC (ed) *Manual of Photogrammetry*, sixth edn. Americal Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2013).

Remondino F., Del Pizzo S., Kersten TP., Troisi S., “Low-cost and open-source solutions for automated image orientation—A critical overview”, *Euro-Mediterranean Conference*, 40-54, 2012.

Remondino, F., Campana, S., “Fast and detailed digital documentation of archaeological excavations and heritage artifacts”, *Computer applications and quantitative methods in archaeology*, *Layers of Perception*, Posluschny, A., Lambers, K., Herzog, I. (Eds.), pp. 36–42. Berlin 2007.

Remondino, F., El-Hakim, S., “Image-based 3D modelling: a review”, *The Photogrammetric Record* 21 (115), 269–291, 2006.

Remondino, F., Menna, F., Koutsoudis, A., Chamzas, C., El-Hakim, S., “Design and implement a reality-based 3D digitisation and modelling project”, *Digital Heritage 2013*, Proc. IEEE Conference, pp. 137-144, vol. 1, 2013.

Skarlatos D., Rova, M., “Photogrammetric approaches for the archaeological mapping of the Mazotos shipwreck”, *7th International Conference on Science, Technology, Engineering and Management*, 2010.

Skarlatos, D., Demestiha, S., Kiparissi, S., “An open method for 3D modelling and mapping in underwater archaeological sites”, *International Journal of Heritage in the digital era* 1 (1), 1-24, 2012.

Skarlatos, D., Kiparissi, S., “Comparison of laser scanning, photogrammetry and SfM-MVS pipeline applied in structures and artificial surfaces”, *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*, ISPRS, 2012.

Zhukovsky, M. O., Kuznetsov, V. D., and Olkhovsky, S. V., “Photogrammetric techniques for 3-D underwater Record of the Antique Time Ship from Phanagoria”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS XL-5/W2, 717-721, 2013.

Yastikli, N., “Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning”, *Journal of Cultural Heritage* 8 (4), 423–427, 2007.

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Δρ. Νικόλαος Απ. Λιανός,

Καθηγητής, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Δ.Π.Θ.

Α' Αντιπρόεδρος Ελληνικού ICOMOS.

1971-1976: Αρχιτεκτονική Σχολή Πανεπιστημίου Ρώμης “La Sapienza”. 1977: International Centre of Conservation-Rome -I.C.C.ROM – UNESCO. Φοίτηση στο «Διεθνές Κέντρο Συντήρησης Μνημείων - International Center of Conservation I.C.C.ROM-UNESCO», στη Ρώμη Ιταλίας με εξειδίκευση στον τομέα “Architectural Conservation”. Σχολή Αναστήλωσης Μνημείων (Scuola di Perfezionamento per lo Studio ed il Restauro dei Monumenti) Πανεπιστημίου Ρώμης “La Sapienza”. Πτυχιακή εργασία: Αποτύπωση και Μελέτη Αποκατάστασης-Ανάδειξης του επιθαλάσσιου πύργου «Μπούρτζι» στο φρούριο της Μεθώνης. Διδακτορική Διατριβή: Πανεπιστήμιο Ρώμης, Τμήμα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής και Πολεοδομίας. “Οχυρωματικές Κατασκευές και Φρουριακή Αρχιτεκτονική κατά την περίοδο της Δεύτερης Ενετοκρατίας στην Πελοπόννησο (1684-1715).

Υπεύθυνος οργάνωσης του 1ου Εργαστηρίου Ψηφιακής Τεκμηρίωσης Μνημείων με χρήση 3D LASER SCANNER, στο Μεταλλευτικό Συγκρότημα Λιμεναρίων Θάσου. (Μάιος 2014), με σκοπό την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση της υπάρχουσας κατάστασης του μνημείου.