ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

ACAWA-GR Conference Proceedings

Τόμ. 1, Αρ. 1 (2024)

Συντηρητές σε Ψηφιακό Περιβάλλον

Διεπιστημονική προσέγγιση με χρήση πολυτροπικών μεθόδων για την παρακολούθηση αλλαγών σε αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς

Α. Σιάτου, Α. Παπανικολάου, Ε. Σαΐτη

doi: 10.12681/acawa-grcp.7095

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 27/02/2026 20:58:28

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΠΟΛΥΤΡΟΠΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Α. Σιάτου[1,2], Α. Παπανικολάου[3], Ε. Σαΐτη[4]
[1]HES-SO, Haute Ecole Arc Conservation-Restauration, Neuchâtel, Switzerland
[2]UBFC, Imagerie et Vision Artificiel, Dijon, France
[3]WUT, Institute of Mechatronics, Warsaw, Poland
[4]NTNU, Department of Computer Science, Trondheim, Norway

Περίληψη

Το 2019 συστάθηκε ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα με ακρωνύμιο "CHANGE" το οποίο έχει ως στόχο την ανάπτυξη εργαλείων και μεθοδολογιών για την τεκμηρίωση και παρακολούθηση των αλλαγών στις οποίες υπόκεινται τα μνημεία Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Για την υλοποίηση του προγράμματος εξετάζονται καινοτόμοι μέθοδοι συνδυαστικής απεικόνισης και καταγραφής δεδομένων καθώς και η ανάπτυξη ομογενοποιημένων πρωτοκόλλων επεξεργασίας δεδομένων. Στο πρόγραμμα συμμετέχουν 14 υποψήφιοι διδάκτορες, εκ των οποίων τρεις Ελληνίδες ερευνήτριες, που προς το παρόν ακολουθούν διαφορετικές προσεγγίσεις οι οποίες εξετάζουν την εύρεση νέων τρόπων απεικονιστικής επεξεργασίας και συσχέτισης των απεικονιστικών τεχνικών για την κατανόηση, καταγραφή και παρακολούθηση των αλλαγών που συμβαίνουν στα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Στόχος του συγκεκριμένου άρθρου είναι η παρουσίαση των τριών αυτών διαφορετικών προσεγγίσεων που εκτείνονται στο εύρος των τεχνολογιών που εξετάζει το πρόγραμμα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Πολιτιστική Κληρονομιά (ΠΚ) και το σύνολο των μνημείων που ανήκουν σε αυτήν είναι αναπόσπαστο κομμάτι του ανθρώπινου πολιτισμού και αποτελεί σύμβολο για την πολιτιστική ταυτότητα ενός λαού. Ωστόσο, τα μνημεία και αντικείμενα της ΠΚ υπόκεινται σε πλήθος αλλαγών με το πέρας των ετών. Ο όρος αλλαγή στο παρόν κείμενο αναφέρεται σε κάθε είδους τροποποίηση της εμφάνισης, του σχήματος ή της φυσικοχημικής σύστασης ενός αντικειμένου. Οι αλλαγές μπορεί να προέρχονται από φυσικά φαινόμενα γήρανσης, λόγω φυσικών καταστροφών (π.χ. σεισμοί, τσουνάμι, πυρκαγιές), ανθρώπινων επεμβάσεων (π.χ. πόλεμος, ατμοσφαιρική ρύπανση) είτε να προκύπτουν από επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης. Η τεκμηρίωση και παρακολούθηση των αλλαγών στα μνημεία της ΠΚ αποτελεί το στόχο του παρόντος άρθρου που λαμβάνει χώρα στο πλαίσιο ενός ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου με το ακρωνύμιο CHANGE (Cultural Heritage Analysis for New Generations).

Το πρόγραμμα CHANGE [1] προάγοντας μια διεπιστημονική προσέγγιση, έχει ως στόχο την ανάπτυξη νέων και καινοτόμων εργαλείων και μεθοδολογιών για την τεκμηρίωση και παρακολούθηση των αλλαγών που υπόκεινται τα μνημεία της ΠΚ με στόχο τη μακροπρόθεσμη διατήρησή τους. Η διαδικασία τεκμηρίωσης και παρακολούθησης των αλλαγών περιλαμβάνει μια σειρά ενεργειών διεπιστημονικού και τεχνικού χαρακτήρα, όπως η καταγραφή, η αρχειοθέτηση, η κατηγοριοποίηση, η ανάλυση και ερμηνεία προκειμένου να προταθούν οι κατάλληλες επεμβάσεις για τη συντήρηση και αποκατάσταση. Στο πρόγραμμα συμμετέχουν 14 υποψήφιοι διδάκτορες με διαφορετικά ερευνητικά υπόβαθρα όπως, φυσικοί, χημικοί, μηχανικοί υπολογιστών, αρχαιομέτρες και συντηρητές. Σκοπός του έργου είναι ο συνδυασμός νέων τεχνολογιών και η υλοποίηση καινοτόμων μεθόδων συνδυαστικής απεικόνισης και καταγραφής δεδομένων καθώς και η ανάπτυξη ομογενοποιημένων πρω-

τοκόλλων επεξεργασίας δεδομένων για τη μελέτη και παρακολούθηση των αλλαγών σε μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Για την επίτευξη του στόχου, το πρόγραμμα δραστηριοποιείται σε τρεις διαφορετικούς πυλώνες που καλύπτουν το εύρος της ανάπτυξης ψηφιακών μέσων για την μελέτη της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η διεπιστημονική αυτή προσέγγιση περιλαμβάνει (Εικόνα 1), τον τεχνολογικό τομέα (Πυλώνας 1) μέσω της ανάπτυξης πολυτροπικών τεχνικών και συστημάτων που έχουν ως στόχο την λήψη, καταγραφή και παρακολούθηση αλλαγών, τον τομέα υπολογιστικών μεθόδων (Πυλώνας 2) που στοχεύουν στην ανάπτυξη αλγορίθμων οπτικοποίησης και σύνθεσης πολυτροπικών τεχνικών για την καταγραφή αλλαγών καθώς επίσης και τον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς (Πυλώνας 3) μέσω της ανάπτυξης μεθοδολογιών για την αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την συγκειμενοποίηση, προδιαγραφή, καταγραφή και επικύρωση των αλλαγών που υπόκεινται τα μνημεία ΠΚ.

Η οργάνωση του άρθρου διαμορφώνεται ως εξής. Στην παράγραφο 2 παρουσιάζεται ο πυλώνας έρευνας που αφορά στην ανάπτυξη και συγχώνευση πολυτροπικών τεχνικών και συστημάτων με στόχο την καταγραφή και παρακολούθηση των αλλαγών σε αντικείμενα και μνημεία της ΠΚ. Η παράγραφος 3 εστιάζει στις υπολογιστικές μεθόδους για την επεξεργασία των δεδομένων και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, και ακολούθως η παράγραφος 4 ασχολείται με την ανάπτυξη πρωτοκόλλων και μεθοδολογιών για την αξιολόγηση και ερμηνεία των οπτικοποιημένων πληροφοριών. Τέλος, στην παράγραφο 5, παρουσιάζονται οι μελλοντικοί στόχοι του προγράμματος μέσω της διεπιστημονικής συνεργασίας.

Εικόνα 1: *Οι 3 πυλώνες έρευνας του ευρωπαϊκού προγράμματος CHANGE.*

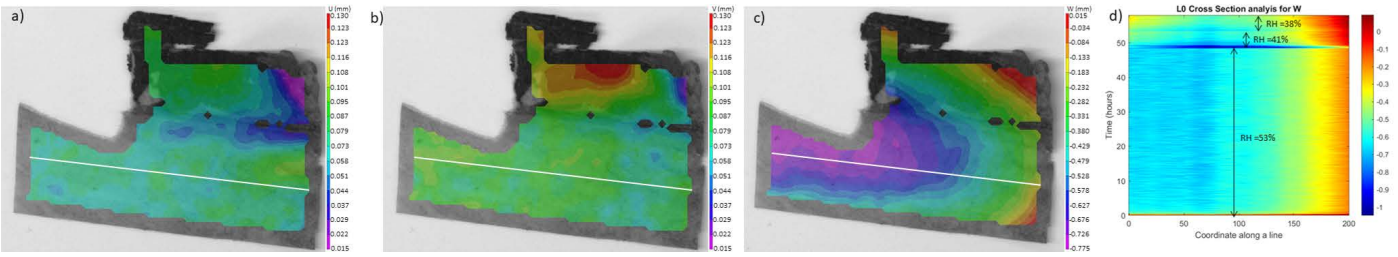
2. ΠΥΛΩΝΑΣ 1: ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΛΛΑΓΩΝ

Αντικείμενο του πρώτου πυλώνα έρευνας είναι η ανάπτυξη συστημάτων απεικόνισης που, με μη επεμβατικό τρόπο, θα συνδυάζουν πολλαπλές τεχνικές για την καταγραφή, μελέτη και εντοπισμό αλλαγών σε αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι αλλαγές στις οποίες υπόκεινται έργα και μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς είναι σύνθετα φαινόμενα, τα οποία μπορεί να εντοπίζονται μέσω της μεταβολής διαφόρων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών της επιφάνειας του υπό μελέτη αντικειμένου. Συνήθως αναφέρονται σε διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα μεταβολή της τρισδιάστατης γεωμετρίας ή του χρώματος ενός αντικειμένου, και συνδέονται με τις ιδιότητες του υλικού (π.χ. χημικές, μηχανικές, οπτικές) και μπορεί να προκύπτουν από πληθώρα αιτιών όπως μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών ή ως αποτέλεσμα επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης. Στις περιπτώσεις όπου η καταγραφή της επιφάνειας ενός αντικειμένου γίνεται συστηματικά σε τακτά χρονικά διαστήματα, τα οποία καθορίζονται με βάση τα υπό μελέτη φαινόμενα, τότε είναι εφικτό η

ανάλυση των πληροφοριών που καταγράφονται να επιτρέψουν την παρακολούθηση της απόκρισης του αντικειμένου σε πληθώρα εξωτερικών παραγόντων όπως μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. υγρασία, θερμοκρασία, έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση), μηχανική καταπόνηση ή διεργασίες συντήρησης/ αποκατάστασης. Ένας πρακτικός τρόπος καταγραφής τέτοιου είδους αλλαγών είναι η εφαρμογή απεικονιστικών τεχνικών πλήρους πεδίου, οι οποίες επιτρέπουν την μελέτη του αντικειμένου επιτόπου (in situ) με μη καταστρεπτικό και επεμβατικό τρόπο. Συνεπώς η ανάπτυξη φορητών συστημάτων, χαμηλού κόστους, τα οποία μπορούν να παρέχουν την δυνατότητα καταγραφής, παρακολούθησης και μέτρησης αλλαγών που συμβαίνουν σε αντικείμενα της ΠΚ με την πάροδο του χρόνου είναι ένα ζήτημα που απασχολεί έντονα την κοινότητα των επιστημόνων.

Στα πλαίσια αυτά, ένα μέρος του προγράμματος CHANGE είναι η ανάπτυξη ενός φορητού συστήματος πολυτροπικής απεικόνισης, με μεταβλητό πεδίο καταγραφής, το οποίο θα συνδυάζει τεχνικές οπτικής μετρολογίας με στόχο την καταγραφή της τρισδιάστατης γεωμετρίας, των μετατοπίσεων και του απλοποιημένου φάσματος διάχυτης ανάκλασης του υπό μελέτη αντικειμένου in situ με μη επεμβατικό τρόπο. Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες, μπορούν να αναπτυχθούν μεθοδολογίες και πρωτόκολλα για τον καθορισμό ασφαλών συνθηκών αποθήκευσης, να ενισχυθούν δραστηριότητες αξιολόγησης της κατάστασης του αντικειμένου και να καταγραφεί η επίδραση κλιματολογικών αλλαγών ενώ ταυτόχρονα θα πραγματοποιείται και η αποθήκευση ενός ψηφιακού αντιγράφου. Για το σκοπό αυτό έχουν επιλεχθεί τρεις απεικονιστικές τεχνικές: η Σάρωση με τη μέθοδο δομημένου φωτός (Structured Light scanning), η τρισδιάστατη Ψηφιακή Συσχέτιση Εικόνας (Digital Image Correlation) και η απλοποιημένη πολυφασματική απεικόνιση (Multispectral Imaging). Η κάθε μια από αυτές τις τεχνικές προσφέρει τη δυνατότητα μελέτης διαφορετικών πληροφοριών και η συνδυαστική τους ανάλυση μπορεί να παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το αντικείμενο. Με τη σάρωση δομημένου φωτός καταγράφεται η τρισδιάστατη γεωμετρία (Cloud of points (x,y,z)), με την τρισδιάστατη Ψηφιακή Συσχέτιση Εικόνας καταγράφονται μετατοπίσεις (d(υ,v,w;t)) και τάσεις (exx(x,y;t) / exy(x,y;t)) ενώ με χρήση της απλοποιημένης πολυφασματικής απεικόνισης καταγράφονται τοπικές φασματικές πληροφορίες. Συνεπώς η χρήση τους μπορεί να επιτρέψει την εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με το αντικείμενο μέσω της συνδυαστικής αξιολόγησης και ερμηνείας των μετρήσεων. Επιπλέον, με τη χρήση αυτών των τεχνικών δίνεται η δυνατότητα μελέτης ενός μεγάλου εύρους αντικειμένων της ΠΚ όπως για παράδειγμα πίνακες ζωγραφικής, περγαμηνές ή λίθινα και ξύλινα αντικείμενα.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα παρακολούθησης και καταγραφής αλλαγών με χρήση τρισδιάστατης Ψηφιακής Συσχέτισης Εικόνας παρουσιάζεται στην συνέχεια. Το υπό μελέτη αντικείμενο είναι ένα δείγμα ιστορικής περγαμηνής το οποίο έχει εκτεθεί σε περιβάλλον μεταβαλλόμενης σχετικής υγρασίας. Η περγαμηνή ανήκει στην κατηγορία των υγροσκοπικών υλικών, που σημαίνει ότι είναι ευαίσθητη σε μεταβολές της σχετικής υγρασίας, οι οποίες προκαλούν φυσικοχημικές αλλοιώσεις στο συγκεκριμένο υλικό (π.χ. απώλεια ελαστικότητας, ζάρωμα και επιφανειακές παραμορφώσεις). Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης μελετάται η απόκριση του δείγματος στη σχετική υγρασία (μεταβολή κατά 20%) χωρίς την παρουσία συστήματος στήριξης μέσω της κατάλληλης τοποθέτησης του συστήματος τρισδιάστατης ψηφιακής συσχέτισης εικόνας στο εσωτερικό ενός κλιματικού θαλάμου. Στις εικόνες παρουσιάζεται ο χρωματικός χάρτης ο οποίος αντιστοιχεί στην τοπική τιμή της μετατόπισης της επιφάνειας στην κατεύθυνση του άξονα που είναι κάθετος στο αντικείμενο (W -out of plane displacements) καθώς και στους παράλληλους με την επιφάνεια άξονες X και Y (U και V -in plane displacements). Η παρακολούθηση της αλλαγής της μετατόπισης για μια επιλεγμένη οριζόντια τομή (λευκή γραμμή εικ. 2a-c) για χρονική διάρκεια 60 ωρών και μεταβαλλόμενα ποσοστά υγρασίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 2d.



Εικόνα 2: *Στην εικόνα παρουσιάζεται δισδιάστατη εικόνα δείγματος περγαμηνής με χρωματικό χάρτη που υποδεικνύει τις μετατοπίσεις της επιφάνειας για ποσοστό σχετικής υγρασίας 53% (μείωση της σχετικής υγρασίας κατά 20%) που αντιστοιχούν στον άξονα X (a) στον άξονα Y (b) και στον άξονα Z (c). Παρακολούθηση μεταβολής της μετατόπισης οριζόντιας τομής, που αντιστοιχεί στον άξονα Z, για μεταβαλλόμενο ποσοστό σχετικής υγρασίας και χρονική διάρκεια 60 ωρών.*

3. ΠΥΛΩΝΑΣ 2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Ο δεύτερος πυλώνας έρευνας του έργου CHANGE αφορά στην υλοποίηση υπολογιστικών μεθόδων για την επεξεργασία και οπτικοποίηση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από το στάδιο της λήψης και καταγραφής. Συγκεκριμένα, η ενότητα αυτή αναφέρεται στην ανάπτυξη αλγορίθμων αντιστοίχισης 3D δεδομένων με στόχο την παρακολούθηση αλλαγών στη γεωμετρία τους καθώς και στην 3D οπτικοποίηση πολυτροπικών δεδομένων.

Με την πάροδο του χρόνου τα μνημεία της ΠΚ υφίστανται αλλαγές που ενδέχεται να μην είναι ορατές με το ανθρώπινο μάτι. Κατά την παρακολούθηση των αλλαγών, οι μικρογεωμετρικές αλλαγές στο σχήμα ή οι αλλαγές στη σύσταση των μνημείων μετριούνται και αναλύονται. Καθώς η ψηφιοποίηση των μνημείων ΠΚ έχει γίνει όλο και πιο διαδεδομένη τις τελευταίες δεκαετίες, η παρακολούθηση των αλλαγών με τη βοήθεια ψηφιοποιημένων δεδομένων αυξάνεται συνεχώς. Η λήψη και καταγραφή της γεωμετρίας ενός αντικειμένου με 3D σαρωτή (3D scanner) παράγει στιγμιότυπα του 3D μοντέλου του αντικειμένου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα 3D στιγμιότυπα του αντικειμένου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των αλλαγών που υφίσταται με την πάροδο του χρόνου. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η διαδικασία συντήρησης, εντοπίζονται τυχόν αστοχίες επεμβάσεων ή κατανοούνται τυχόν αλλαγές λόγω φυσικών συνθηκών.

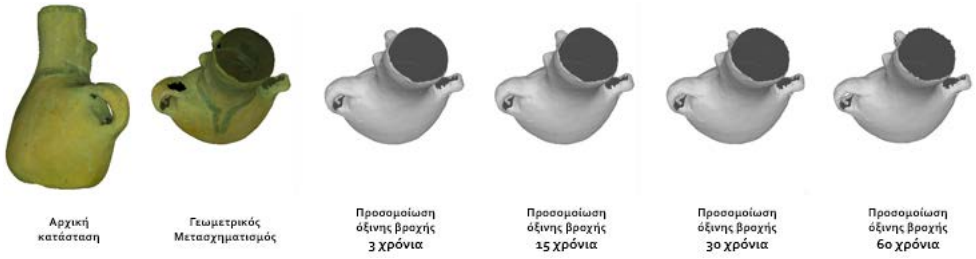
Δεδομένου ότι οι σαρώσεις γίνονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (ακόμα και σε βάθος ετών), με διαφορετικά μοντέλα σαρωτή, τα 3D μοντέλα που λαμβάνονται ενδέχεται να μη βρίσκονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων ή να μην έχουν τοποθετηθεί επακριβώς με όμοιο τρόπο κατά τη λήψη. Έτσι, η σύγκριση και η εύρεση των αλλαγών γίνεται δύσκολα και πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα. Η αυτόματη αντιστοίχιση των 3D μοντέλων (3D registration) μπορεί να αυτοματοποιήσει τη διαδικασία αυτή. Έχοντας δύο ή περισσότερα 3D μοντέλα καταγεγραμμένα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, ένας αλγόριθμός 3D αντιστοίχισης είναι υπεύθυνος να φέρει τα διαφορετικά μοντέλα στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων, έτσι ώστε τα σημεία του αντικειμένου που είναι όμοια να συμπέσουν ακριβώς στον τρισδιάστατο χώρο. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η διαδικασία εύρεσης των αλλαγών, γνωρίζοντας ότι οι αλλαγές στη γεωμετρία δεν είναι λόγω σφάλματος στην τοποθέτηση των μοντέλων αλλά ουσιαστική αλλαγή που έχει υποστεί το αντικείμενο.

Για την αντιμετώπιση του εν λόγω προβλήματος, υλοποιήθηκε ένας αλγόριθμος βαθιάς μάθησης (deep learning), ο οποίος εκπαιδεύεται να αντιστοιχίζει μοντέλα που έχουν υποστεί αλλαγή. Δεδομένου ότι χρειάζεται ένα σεβαστό πλήθος δεδομένων για την εκπαίδευση ενός αλγορίθμου βαθιάς μάθησης, δημιουργήθηκε μια πολυπληθής βάση με τεχνητά τροποποιημένα, μέσω προσομοίωσης, αντικείμενα. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε η βάση που παρουσιάστηκε στο διαγωνισμό SHREC 2021 από τον Ivan Sipiran [2], και αποτελείται από αρχαιολογικά αντικείμενα της προ-Κολομβιανής περιόδου. Οι 3D σαρώσεις των αρχικών

αντικειμένων υποβλήθηκαν σε έναν τυχαίο μετασχηματισμό μετακίνησης και περιστροφής και στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε υπολογιστική προσομοίωση διάβρωσης, λόγω όξινης βροχής, και δημιουργίας ξηρής επιφανειακής κρούστας, λόγω ρύπανσης του περιβάλλοντος (Εικόνα 3). Σαν αποτέλεσμα, δημιουργήθηκε μια βάση στην οποία είναι γνωστή η ακριβής μετακίνηση των αντικειμένων στο χώρο και η ποσοτικοποίηση της αλλοίωσης της επιφάνειάς τους. Η βάση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση αλγορίθμων βαθιάς μάθησης αλλά και σαν σημείο αναφοράς για τη σύγκριση παρομοίων μεθόδων αντιστοίχισης.

Εικόνα 3: *Στην εικόνα εμφανίζονται τα διαφορετικά στάδια της δημιουργίας της συνθετικής μας βάσης. Στην τελευταία εικόνα παρουσιάζονται με διαφορετικό χρώμα τα διαφορετικά επίπεδα διάβρωσης. Με γκρι είναι το αρχικό μοντέλο, με κόκκινο ύστερα από 30 χρόνια τεχνητής γήρανσης και με πράσινο χρώμα εμφανίζεται το μοντέλο ύστερα από 60 χρόνια διάβρωσης.*

Σε μια προσπάθεια διερεύνησης αλλαγών σε λίθινα μνημεία παρουσία ατμοσφαιρικής ρύπανσης, υιοθετήθηκαν τα αντίστοιχα μοντέλα τεχνητής διάβρωσης για την προσομοίωση της φυσικής γήρανσης των αντικειμένων [3-5]. Ο προσομοιωτής υπολογίζει την αλλαγή πάνω σε ομογενοποιημένη λίθινη επιφάνεια μετά από ομοιόμορφη έκθεσή του αντικειμένου (χωρικά και χρονικά) σε συνθήκες περιοχών με υψηλό ποσοστό περιβαλλοντική μόλυνσης. Συγκεκριμένα, προσομοιώθηκαν περιπτώσεις καιρικών συνθηκών σε περιοχές μολυσμένης ατμόσφαιρας και η αλληλεπίδραση του διοξειδίου του θείου (SO_2), του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) και του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) με το υλικό του αντικειμένου. Τα δύο φαινόμενα που επιλέχθηκαν ήταν η ξηρή απόθεση κρούστας λόγω της ρύπανσης και η απομείωση του λίθου από όξινη βροχή. Το αποτέλεσμα είναι η προσθήκη ή η απώλεια υλικού στην επιφάνεια του αντικειμένου αντίστοιχα με το φαινόμενο επιλογής (εικόνα 3).



Εικόνα 4: *Παράδειγμα της συνθετικής βάσης, όπου φαίνεται το αρχικό αντικείμενο, το μετασχηματισμένο και ύστερα από προσομοίωση της αλλοίωσης της επιφάνειας του λόγω όξινης βροχής κατά τη διάρκεια 60 ετών.*

Στο πλαίσιο του έργου CHANGE, εκτός από την αντιστοίχιση 3D διαφορικών αντικειμένων, θα γίνει επιπλέον προσπάθεια αντιστοίχισης 3D πολυτροπικών δεδομένων. Με την ευθυγράμμιση και συγχώνευση διαφορετικών απεικονίσεων (π.χ. 3D σαρώσεων επιφάνειας, CT-σαρώσεων, QEMSCAN) του ίδιου αντικειμένου σε ένα κοινό πλαίσιο αναφοράς, διευκολύνεται η διαδικασία εύρεσης και καταγραφής, με μη παρεμβατικό/επεμβατικό τρόπο, των αλλαγών που συμβαίνουν στα αντικείμενα.

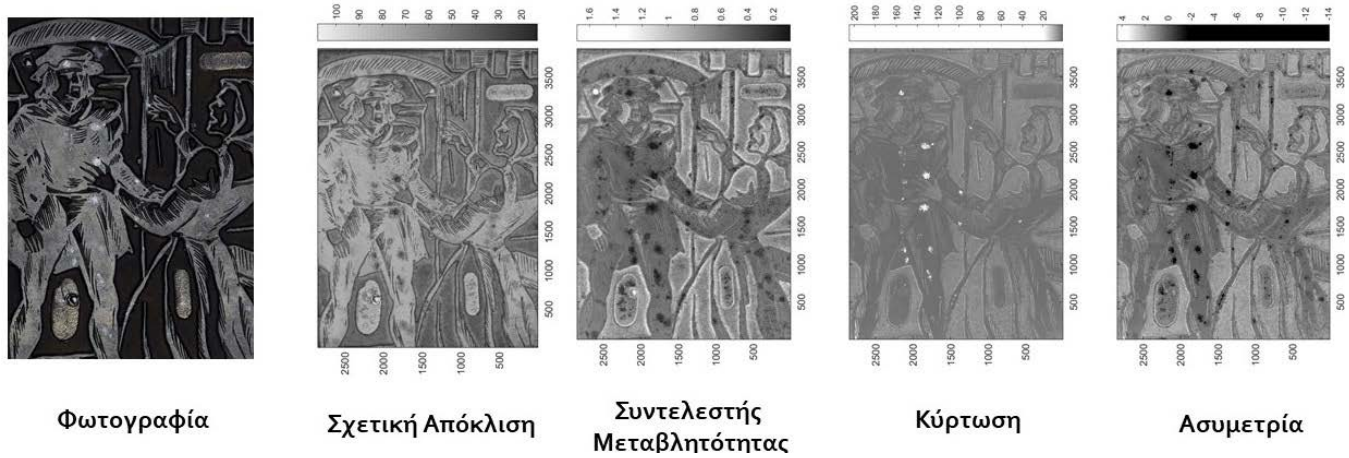
4. ΠΥΛΩΝΑΣ 3: ΣΥΓΚΕΙΜΕΝΟΠΟΙΗΣΗ, ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ, ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ, ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ

Στόχος του τρίτου πυλώνα έρευνας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογιών και πρωτοκόλλων παρακολούθησης της κατάσταση διατήρησης μεταλλικών αντικειμένων με κύριο στόχο την εφαρμογή οπτική μετρολογίας και στατιστικής ανάλυσης απεικονίσεων προερχόμενων από την τεχνική RTI (Reflectance Transformation Imaging - Απεικόνιση Ανακλαστικού Μετασχηματισμού) καθώς και η αξιολόγηση και ερμηνεία της πολυτροπικής πληροφορίας με εφαρμογή άλλων τεχνικών καταγραφής και παρακολούθησης, σε συσχέτιση με τις «παραδοσιακές» μεθόδους παρακολούθησης και ανάλυσης αντικειμένων.

Η τεχνική RTI έχει βρει εφαρμογές εδώ και χρόνια στην πολιτιστική κληρονομιά ως μέσω αναγνώρισης της τοπογραφίας επίπεδων κυρίως επιφανειών [6-7]. Βασίζεται στη λήψη πολλαπλών φωτογραφιών της ίδιας απεικόνισης υπό διαφορετικές γωνίες φωτός και στο συνδυασμό αυτών μέσω αλγορίθμων που επιτρέπουν την οπτικοποίηση της πληροφορίας μέσω της δυνατότητας επαναφωτισμού (re-lighting) της εξεταζόμενης επιφάνειας [8]. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας εξετάζονται και αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες που δίνουν την δυνατότητα λήψης στοιχείων σχετιζόμενα με την 3D γεωμετρία καθώς και η δυνατότητα στατιστικής ανάλυσης της ανάκλασης του φωτός της εξεταζόμενης επιφάνειας.

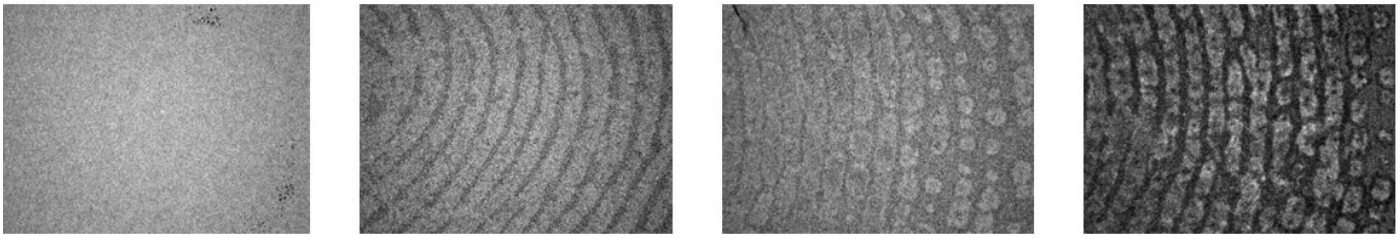
Δύο είναι οι κύριοι άξονες έρευνας, ο ένας σχετίζεται με την κατάσταση διατήρησης αντικειμένων που παρουσιάσουν εμφανή αλλαγή στην τοπογραφία της επιφάνειας και ο δεύτερος η παρακολούθηση αλλαγών σε περιπτώσεις αντικειμένων που δεν προκαλούν σημαντική αλλαγή στην τοπογραφία της επιφάνειας.

Ως προς τη μελέτη της κατάστασης διατήρησης η αναπτυσσόμενη μεθοδολογία δίνει τη δυνατότητα χαρτογράφησης της πληροφορίας που σχετίζεται με την τοπογραφία της επιφάνειας και την διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας βάσει των φυσικών χαρακτηριστικών των υλικών της επιφάνειας. Η αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων στηρίζεται στην ανάλυση και κατανόηση πολυτροπικών δεδομένων που προκύπτουν από τους στατιστικούς χάρτες, τις χημικές αναλύσεις της επιφάνειας και την γνώση των υλικών και των αντικειμένων προς εξέταση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της εφαρμογής των στατιστικών χαρτών παρουσιάζεται στην Εικόνα 4. Η πρώτη εικόνα παρουσιάζει φωτογραφική απεικόνιση με χρήση φωτεινού θαλάμου (Light-box). Οι επόμενες τέσσερις εικόνες αφορούν στατιστικούς χάρτες που αποτυπώνουν τις λεπτομέρειες της επιφάνειας και αποδίδουν διαφορετικές πληροφορίες που σχετίζονται με την αντίδραση της ανάκλασης της επιφάνειας ανά εικονοστοιχείο (pixel). Μέσω της επιλογής κατάλληλων στατιστικών χαρτών είναι δυνατή η χαρτογράφηση της παθολογίας του αντικειμένου και η συσχέτισή της αντίδρασης της ανάκλασης της διάβρωσης σε σχέση με τη μεταλλική επιφάνεια.



Εικόνα 5: *Παράδειγμα εφαρμογής στατιστικών χαρτών για την ανάλυση της κατάστασης διατήρησης μεταλλικών αντικειμένων.*

Παράλληλα, ως προς την παρακολούθηση των αλλαγών, χωρίς τοπογραφική αλλοίωση, στην επιφάνεια σε βάθος χρόνου είναι δυνατή η απομόνωση και η οπτικοποίηση πληροφοριών που δεν αποτυπώνονται πάντα με μεγάλη επιτυχία με απλά μέσα όπως η φωτογράφιση. Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται σχετικό παράδειγμα της εξέλιξης της αμαύρωσης του αργύρου, σε διαφορετικά επίπεδα αμαύρωσης, παρουσία δακτυλικών αποτυπωμάτων, τα οποία περιγράφονται με μεγάλη λεπτομέρεια στην περίπτωση των στατιστικών χαρτών. Η πρόκληση στην προκειμένη περίπτωση εκτός από την οπτικοποίηση της πληροφορίας, είναι η ποσοτικοποίηση αυτής μέσω της χρήσης αλγορίθμων που στηρίζονται στη συσχέτιση 3D δεδομένων.



Αναφορά | Επίπεδο 1 | Επίπεδο 2 | Επίπεδο 3

Εικόνα 6: *Παράδειγμα εφαρμογής χαρτών μέσου όρου για την ανάλυση της παρακολούθησης της αμαύρωσης του αργύρου σε τεχνητά γηρασμένα δοκίμια που φέρουν αποτυπώματα.*

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, το ευρωπαϊκό πρόγραμμα CHANGE, έχει τρεις επιστημονικούς πυλώνες έρευνας, οι οποίοι συνθέτουν μια διεπιστημονική συνεργασία. Ασχολείται με την ανάπτυξη και εξέλιξη τεχνολογιών και μεθοδολογιών που ξεκινούν από την λήψη δεδομένων, συνεχίζουν στην επεξεργασία δεδομένων για να καταλήξουν στην αξιοποίηση της πληροφορίας για τις ανάγκες της πολιτιστικής κληρονομιάς. Κύριος στόχος είναι η καταγραφή και κατανόηση των αλλαγών που συμβαίνουν στα αντικείμενα της ΠΚ στο πέρας του χρόνου. Στο αρχικό στάδιο του προγράμματος, ο κάθε πυλώνας αναπτύσσεται μεμονωμένα με στόχο, στο επόμενο στάδιο, οι διαδικασίες και πληροφορίες να συνδεθούν σε ένα ενιαίο πλαίσιο.

Η ΠΚ ως κλάδος περικλείει τη διεπιστημονικότητα καθώς καλύπτει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων και ειδικοτήτων. Μέσω της διεπιστημονικής προσέγγισης που ακολουθείται, επιτυγχάνεται η αξιοποίηση ενός ευρέως φάσματος ειδικοτήτων που θα έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει σύγχρονα συστήματα λήψης πολυτροπικών πληροφοριών που θα χρησιμοποιούν αυτοματοποιημένες διαδικασίες για την οπτικοποίηση, ποσοτικοποίηση, προσομοίωση και συγχώνευση δεδομένων. Παράλληλα αναπτύσσονται οι μεθοδολογίες για την αξιολόγηση της παρεχόμενης πληροφορίας και την προσαρμογή της στις ανάγκες της πολιτιστικής κληρονομιάς. Στόχος της διεπιστημονικής προσέγγισης είναι η σύνδεση των πληροφοριών που συλλέγονται από τους προαναφερθέντες πυλώνες με εφαρμογές που άπτονται στη συντήρηση και αποκατάσταση της υλικής πολιτιστικής κληρονομιάς.

Για να επιτευχθούν οι στόχοι του προγράμματος, οι συμμετέχοντες βρίσκονται σε συνεχή διάλογο, συνεργασία και εκπαίδευση ώστε να εξοικειωθούν με τους διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς, και γίνουν αντιληπτές οι ανάγκες και απαιτήσεις της κάθε ειδικότητας. Κλείνοντας, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η συνεργασία και ομαδικότητα επιστημόνων με διαφορετικό υπόβαθρο είναι αναγκαίος κρίκος για την προσαρμογή τεχνολογιών διαφορετικών τομέων στις ανάγκες της ΠΚ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αυτή η εργασία έλαβε χρηματοδότηση από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας «Horizon 2020» της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο της συμφωνίας επιχορήγησης Marie Skłodowska-Curie με αριθμό σύμβασης 813789.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] CHANGE-Cultural Heritage Analysis for New Generations, https://change-itn.eu/ (τελευταία πρόσβαση 08/04/2024)

[2] SHREC2021, http://www.ivan-sipiran.com/shrec2021.html (τελευταία πρόσβαση 08/04/2024)

[3] P. Perakis, C. Schellewald, K.F. Kebremariam and T. Theoharis, Simulating erosion on cultural heritage monuments, In: 20th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT20), 2015

[4] S.S. Yerrapragada, J.H. Jaynes, JS.R. Chirra and K. Gauri, Rate of weathering of marble due to dry deposition of ambient sulfur and nitrogen dioxides, Analytical chemistry 1994, 66(5):655–659. 64

[5] P.A. Baedecker, M.M. Reddy, The erosion of carbonate stone by acid rain: laboratory and field investigations, Journal of chemical education 66, 1993, 70(2):104

[6] M. Mudge, T. Malzbender, A. Chalmers, R. Scopigno, J. Davis, O. Wang, P. Gunawardane, M. Ashley, M. Doerr, A. Proenca and J. Barbosa, Image-Based Empirical Information Acquisition, Scientific Reliability, and Long-Term Digital Preservation for the Natural Sciences and Cultural Heritage, The Eurographics Association, 2008, DOI:10.2312/egt.20081050

[7] L. Macdonald, Reflectance Transformation Imaging, Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage, ARC, Amsterdam University Press, 2017, doi.org/10.1515/9781942401353-024

[8] CHI - Cultural Heritage Imaging, http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/ (τελευταία πρόσβαση 08/04/2024)