



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΘΕΜΑ

HBIM: Αξιοποίηση της τεχνολογίας BIM στην τεκμηρίωση και διαχείριση Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς

Επίβλεψη: Μαρινέλλη Μαρίνα , Επικ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εποπτεία: Βαράνου Αικατερίνη, Ε.Δι.Π Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την μεθοδολογία Μοντελοποίησης Πληροφοριών Μνημείων Κληρονομιάς ή Heritage-BIM (HBIM) η οποία αποτελεί ένα ειδικό πεδίο της τεχνολογίας BIM.

Τις τελευταίες δεκαετίες η ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επηρεάσει πολλούς επιστημονικούς και οικονομικούς τομείς συμπεριλαμβανομένου και του τομέα των κατασκευών. Σήμερα, μία από τις βασικότερες εξελίξεις που λαμβάνει χώρα σε αυτόν τον τομέα είναι το Building Information Modeling (BIM)-Μοντέλα Δομικών Πληροφοριών, μία τεχνολογία που εφαρμόζεται πλέον στους τομείς της αρχιτεκτονικής, της μηχανικής και των κατασκευών και είναι πια κοινά αποδεκτή από τον τεχνικό κόσμο. Η τεχνολογία αυτή αρχικά αναπτύχθηκε για νέα κτίρια παρέχοντας σημαντικά πλεονεκτήματα στον σχεδιασμό ενός έργου αλλά και στη διαχείρισή του σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του. Τα τελευταία χρόνια, έχει αναπτυχθεί ένα ειδικό πεδίο της μεθοδολογίας BIM το οποίο αφορά αποκλειστικά ιστορικά κτίρια και μνημεία, το Heritage-BIM (HBIM) δηλαδή Μοντελοποίηση Πληροφοριών Μνημείων Κληρονομιάς. Το HBIM αποσκοπεί στην διαχείριση, συντήρηση ή και ανακατασκευή ιστορικών κτιρίων αποτελώντας ένα πολύτιμο εργαλείο για την διαφύλαξη και την διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η διπλωματική εργασία καταγράφει τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας HBIM για τους φορείς διαχείρισης των μνημείων αλλά και για τις τεχνικές ομάδες που επιφορτίζονται με την συντήρησή τους. Μέσω του HBIM δημιουργείται μία ενιαία ψηφιακή βάση στην οποία τεκμηριώνεται το κτίριο με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες στην οποία έχουν πρόσβαση όλοι οι ενδιαφερόμενοι για αξιοποίησή της, με αποτέλεσμα το μοντέλο που αναπτύσσεται να είναι προσβάσιμο από ένα ευρύ κοινό, πέρα από τα στενά όρια του τεχνικού κόσμου. Την ίδια στιγμή, εφόσον δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο μοντέλο το οποίο περιλαμβάνει λεπτομερή δεδομένα για το μνημείο, καθίσταται δυνατή η ανάλυση και η ερμηνεία του με αποτέλεσμα να μπορούν να ληφθούν σωστές και έγκαιρες αποφάσεις για έργα συντήρησης και αποκατάστασής του.

Ωστόσο, είναι μία μεθοδολογία που ακόμα δεν έχει υιοθετηθεί ιδιαίτερα λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν τα απαιτούμενα δεδομένα των ιστορικών μνημείων και αφορούν την γεωμετρία, την αρχιτεκτονική, τα υλικά και άλλες ιστορικές περιγραφικές πληροφορίες. Όπως φαίνεται και από τις μελέτες εφαρμογής που παρουσιάζονται, το HBIM αντιμετωπίζει ακόμα σημαντικές προκλήσεις. Καθώς αποτελεί ένα νέο πεδίο υπάρχει ακόμα έλλειψη γνώσεων, εξειδίκευσης και τεχνικών δεξιοτήτων πράγμα που δείχνει την ανάγκη για εκπαίδευση και υποστήριξη των εμπλεκόμενων σε διαδικασίες HBIM. Την ίδια στιγμή, η ιδιαιτερότητα των ιστορικών κτιρίων συγκρούεται με της τυποποιημένες διαδικασίες της τεχνολογίας BIM αφού έχει αναπτυχθεί για σύγχρονες κατασκευές, πράγμα που κάνει την διαδικασία HBIM να φαίνεται δύσκολη και χρονοβόρα στην εφαρμογή της.

Τα οφέλη όμως υπερτερούν και είναι σημαντικά. Έτσι γίνονται έρευνες και προσπάθειες για βελτίωση των λειτουργιών και των μεθόδων εφαρμογής του HBIM ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί με αξιοπιστία στην τεκμηρίωση και διαχείριση της Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς.

ABSTRACT

The subject of the present diploma thesis is Heritage Building Information Modeling or Heritage-BIM (HBIM), a special field of BIM.

In recent decades the rapid development of technology has affected many scientific and economic fields, including the construction sector. Today, one of the main developments taking place in this field is Building Information Modeling (BIM), a technology that is now applied in the field architecture, engineering and construction and is now commonly accepted by the technician world. This technology was initially developed for new buildings providing significant advantages in the planning of a project but also in the management throughout its life cycle. In recent years, a special field of BIM methodology has been developed which exclusively concerns historical buildings and monuments and its called Heritage-BIM (HBIM). HBIM aims at the management, maintenance or reconstruction of historic buildings, being a valuable tool for the preservation of cultural heritage.

The present thesis documents the benefits resulting from the application of the HBIM methodology for the organizations managing monuments and for the technical groups in charge of their maintenance. Through HBIM, a single digital base is created in which the building is documented with all the necessary information accessible to all interested parties for its exploitation, with the result that the model developed is accessible to a wide audience, beyond the narrow limits of the technical world. At the same time, since an integrated model is created that includes detailed data about the monument, it becomes possible to analyze and interpret it, so that correct and timely decisions can be made for its maintenance and restoration projects.

However, it is a methodology that has not yet been particularly adopted due to complexity presented by the required data of historical monuments such as geometry, architecture, materials, and other descriptive information. As can be seen from the application studies presented, HBIM still faces significant challenges. As it is a new field, there is still lack of knowledge, expertise and technical skills which shows the need for training and support of those involved in HBIM processes. At the same time, the particularity of heritage buildings conflicts with the standardized procedures of BIM technology since it has been developed for modern constructions, which makes the HBIM process seem difficult and time-consuming to implement.

But the benefits outweigh and are significant. Thus, research and efforts are being made to improve the functions and application methods of HBIM so that it can be reliably applied in the documentation and management of Architectural Heritage.

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την επικ. Καθηγήτρια του Τομέα Δομοστατικής της σχολής, κυρία Μαρίνα Μαρινέλλη, για την ανάληψη της επίβλεψης της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κυρία Αικατερίνη Βαράνου, ΕΔΙΠ του Εργαστηρίου Δομικών Μηχανών και Διαχείρισης Έργων για την εποπτεία, τη συνεχή καθοδήγησή της, και το ενδιαφέρον της από την αρχή μέχρι το τέλος της συνεργασίας μας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους στο ταξίδι των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	I
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ HBIM	3
1.1 Ορισμός.....	3
1.2 Αναγκαιότητα του HBIM.....	4
1.3 Ευρωπαϊκή πρακτική για υιοθέτηση της μεθοδολογίας HBIM	6
1.3.1 BIM4Heritage.....	7
1.3.2 HES (Historic Environment Scotland).....	8
1.3.3 Council on Training in Architectural Conservation (COTAC)	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : HBIM, BIM ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΔΥΜΟ	11
2.1 BIM και HBIM	11
2.2 HBIM και Ψηφιακό Δίδυμο	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HBIM	16
3.1 Στρατηγική και σχεδιασμός του μοντέλου (Model Planning).....	16
3.1.1 Ορισμός έργου	17
3.1.2 Εργαλεία και τεχνολογίες.....	18
3. 1. 2. 1 Κοινό Διαδικτυακό Περιβάλλον Συνεργασίας (ΚΔΠΣ).....	19
3. 1. 2. 2 Τεχνολογίες αποτύπωσης.....	21
3. 1. 2. 3 Λογισμικό	22
3.2 Συλλογή δεδομένων	22
3.2.1 Αρχαιολογικά και ιστορικά δεδομένα	23
3.2.2 Γεωμετρικά δεδομένα	24
3.2.3 Παθολογία του κτιρίου	25
3.2.4 Απόδοση του κτιρίου	27
3.3 Ανάπτυξη του μοντέλου HBIM.....	28
3.3.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση του ιστορικού οικοδομήματος.....	28
3.3.2 Σημασιολογική ταξινόμηση και παραμετρική μοντελοποίηση	30
3. 3. 2. 1 Παράδειγμα δημιουργίας βιβλιοθήκης σε περιβάλλον BIM για δωρικές κολώνες:	34
3.3.3 Τελικό HBIM	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ HBIM	39
4.1 Το κάστρο του Mareolce στο Παλέρμο.....	39
4.2 Καθεδρικός Ναός Durham	44
4.3 Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο της Νάπολης.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συμπεράσματα	50

5.1 Οφέλη της μεθοδολογίας HBIM	50
5.1.1 Τεκμηρίωση	50
5.1.2 Κοινό συνεργατικό περιβάλλον	51
5.1.3 Έργα συντήρησης και αποκατάστασης μνημείων	52
5.2 Προκλήσεις και προτάσεις	53
5.2.1 Έλλειψη γνώσεων, εξειδίκευσης, τεχνικών δεξιοτήτων και ευαισθητοποίησης	53
5.2.2 Ποσότητα, ποιότητα και είδος πληροφορίας.....	54
5.2.3 Διαδικασία μοντελοποίησης	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Βιβλιογραφία	58

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Στοιχεία της μεθοδολογίας HBIM	4
Εικόνα 1.2: Τρισδιάστατο μοντέλο του Καθεδρικού Ναού της Παναγίας των Παρισίων πριν την καταστροφή του	6
Εικόνα 1.3: Το στρατιωτικό μουσείο του κάστρου εμπλουτισμένο με ιστορικές πληροφορίες	9
Εικόνα 1.4: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του Κάστρου του Εδιμβούργου	9
Εικόνα 2.1: Διαφοροποίηση των μεθοδολογιών BIM και HBIM.....	12
Εικόνα 2.2: Διαφορές BIM και HBIM ως προς τις γεωμετρίες και τον κύκλο ζωής του έργου (Quattrini et al, 2017).....	13
Εικόνα 2.3: Το ψηφιακό δίδυμο (Singh et al 2021).....	14
Εικόνα 2.4: Διαφορές του ψηφιακού διδύμου και του HBIM.....	15
Εικόνα 3.1: Σκοπός ενός HBIM	18
Εικόνα 3.2: Τα δύο επίπεδα διαλειτουργικότητας ενός HBIM.....	21
Εικόνα 3.3: Οι 4 κατηγορίες δεδομένων που απαιτούνται για έργα HBIM	23
Εικόνα 3.4: <i>Παράδειγμα σαρωτή λέιζερ</i>	25
Εικόνα 3.5: Εφαρμογή θερμικής σάρωσης για αναγνώριση μη ορατών υλικών σε Παλάτι στην Κροατία	26
Εικόνα 3.6: Ορθοφωτογραφίες υψομέτρων γέφυρας για έρευνα της δομικής παθολογίας	27
Εικόνα 3.7: Διαδικασία Scan-to-BIM (www.biblus.accasoftware.com).....	29
Εικόνα 3.8: Ταξινόμηση στοιχείων σε περιβάλλον BIM	31
Εικόνα 3.9: Κατηγορίες στοιχείων μοντελοποίησης σε ένα HBIM	34
Εικόνα 3.10: Τρισδιάστατο μοντέλο της δωρικής κολώνας στο λογισμικό Revit.....	35
Εικόνα 3.11: Μέτρηση διαστάσεων κολώνας από το δεδομένο νέφος σημείων	36
Εικόνα 3.12: Προσαρμοσμένες διαστάσεις της παραμετροποιημένης στήλης (δεξιά) και της στήλης από το υπάρχον νέφος σημείων (αριστερά).....	36
Εικόνα 3.13: Το τελικό HBIM	38
Εικόνα 4.1: Το κάστρο του Maredolce στο Παλέρμο	40
Εικόνα 4.2 : Τελικό νέφος σημείων του κάστρου του Maredolce.....	41
Εικόνα 4.3 : Παραμετρική μοντελοποίηση της οικογένειας των θόλων	42
Εικόνα 4.4: Μη παραμετρική μοντελοποίηση του πτυχωτού τρούλου	42
Εικόνα 4.5: Τελικό μοντέλο HBIM του κάστρου του Maredolce.....	43
Εικόνα 4.6: Δεδομένα από την σάρωση με λέιζερ	44
Εικόνα 4.7: Τελικό μοντέλο του καθεδρικού Ναού του Durham	45

Εικόνα 4.8: Νέφος σημείων από την σάρωση με λέιζερ του μουσείου.....	47
Εικόνα 4.9: Οργάνωση της οικογένειας των παραθύρων.....	48
Εικόνα 4.10: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του μουσείου της Νάπολης.....	49

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της μεθοδολογίας HBIM η οποία αποτελεί ένα υποπεδίο της τεχνολογίας BIM και αποσκοπεί στην τεκμηρίωση και διαχείριση κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Μέσω του HBIM επιτυγχάνεται η τεκμηρίωση της γεωμετρίας και όλων των άλλων περιγραφικών πληροφοριών του ιστορικού μνημείου. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την διαχείριση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς, από την έρευνα και την ανάλυση επιμέρους στοιχείων ενός μνημείου έως τα θέματα συντήρησης και αποκατάστασής του.

Βιβλιογραφική επισκόπηση

Η μεθοδολογία HBIM αποτελεί ένα νέο πεδίο της τεχνολογίας BIM, το οποίο ακόμα βρίσκεται σε στάδια διερεύνησης. Σύμφωνα με τους Dore και Murphy (2012), η μεθοδολογία αυτή που αναφέρεται ως Heritage-BIM περιλαμβάνει την «μοντελοποίηση και διαχείριση ιστορικών κτιρίων». Οι Ali et al. (2018) περιγράφουν το HBIM ως μία μεθοδολογία στην οποία οι ιδέες του BIM υιοθετούνται και εφαρμόζονται σε ιστορικά κτίρια. Οι Lukman E. Mansuri και D.A. Patel (2020) παρουσιάζουν το HBIM ως μία μεθοδολογία που αντιπροσωπεύει το υπάρχον κτίριο και επιτρέπει την εξερεύνηση και πολύπλοκη ανάλυση αρκετών εφαρμογών όπως διατήρηση, συντήρηση, διαχείριση και ερμηνεία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι Laurens Oostwegel et al. (2021) ορίζουν το HBIM ως ένα υποπεδίο του BIM που έχει σκοπό να αποτυπώσει με ακρίβεια την γεωμετρία και τις πληροφορίες που σχετίζονται με ένα ιστορικό κτίριο.

Η μεθοδολογία HBIM δύναται να χρησιμοποιηθεί για την διαχείριση όλων των πτυχών της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς από αποτύπωση και ανάλυση μέχρι διατήρηση, διαχείριση και ανακατασκευή. Οι ανάγκες έρευνας και τεκμηρίωσης της κληρονομιάς οδήγησαν στην ανάπτυξη του HBIM, μία διαδικασία που βασίζεται στην αντίστροφη μηχανική ξεκινώντας δηλαδή από την ανάλυση ενός υφιστάμενου κτιρίου πολιτιστικής κληρονομιάς (Murphy et al., 2009). Οι Al. Sakka et al. (2020) υποστηρίζουν ότι οι δομές και τα μνημεία της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς είναι σημαντικό να συντηρούνται και να διατηρούνται. Οι Garagnani (2015) και Mazouk (2016) et al. τονίζουν την ανάγκη για HBIM, υπογραμμίζοντας το όφελος της αποτύπωσης της ιστορίας και του πολιτισμού σε ένα μόνο αποθετήριο όπου ενσωματώνονται όλα τα στοιχεία του μοντέλου.

Μέχρι σήμερα έχουν γίνει αρκετές εφαρμογές του HBIM, ωστόσο εξακολουθεί να αποτελεί μία καινούρια, σύγχρονη μεθοδολογία καθώς εμφανίστηκε τα τελευταία χρόνια. Γι' αυτό ακόμα δεν υπάρχουν τυποποιημένες διαδικασίες για εφαρμογή της μεθοδολογίας με αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης στο κομμάτι αυτό.

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία του HBIM είναι η ακριβής τεκμηρίωση και μοντελοποίηση του μνημείου ώστε να δημιουργηθεί ένα ακριβές και αξιόπιστο μοντέλο. Οι Pauwels et al. (2013) αναφέρουν ότι για να απεικονιστεί πλήρως ένα κτίριο πολιτιστικής κληρονομιάς χρειάζεται να ενσωματωθούν μη ομοιογενείς πληροφορίες που θα τεκμηριώνουν και θα συνδυάζουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες με ακριβείς οπτικοποιήσεις που θα παρέχουν ένα ολιστικό σύνολο δεδομένων εύκολα κατανοητό. Οι Tommasi et al. (2016) τονίζουν πως μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του HBIM είναι η δημιουργία έξυπνων παραμετρικών αντικειμένων στα οποία θα

ενσωματώνονται οι συλλεγόμενες πληροφορίες, ικανές να αναπαριστούν τα μοναδικά σχήματα και τις γεωμετρίες των μνημείων.

Για να αναπτυχθεί το ψηφιακό μοντέλο ενός υπάρχοντος κτιρίου είναι απαραίτητη η συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων δεδομένων, ξεκινώντας από δεδομένα έρευνας και όχι από δεδομένα του έργου καθώς η ανάπτυξη του μοντέλου γίνεται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο του κύκλου ζωής του και όχι κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή του. Επίσης, οι Macher et al. (2017) υπογραμμίζουν πως για να αναπτυχθεί ένα μοντέλο HBIM «όπως κατασκευάστηκε» απαιτείται η απόκτηση δεδομένων της υπάρχουσας κατάστασης του μνημείου, η γεωμετρική μοντελοποίηση των αντικειμένων του και η ανάπτυξη μεταξύ τους σχέσεων

Για την απόκτηση δεδομένων και την ακριβή τεκμηρίωση ιστορικών κτιρίων έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες έρευνες και προτείνονται διαφορετικές τεχνικές. Οι Quatrinni et al. (2015) προτείνουν το scan-to-BIM για την γεωμετρική αναπαράσταση και τον επακόλουθο σημασιολογικό εμπλουτισμό των αρχιτεκτονικών στοιχείων και συστήνουν την επίγεια σάρωση με λέιζερ. Οι Marfendini και Galassi (2013) συνέκριναν τις παραδοσιακές τοπογραφικές τεχνολογίες σε σχέση με την σάρωση με λέιζερ και την φωτογραμμετρία και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των παραδοσιακών μεθόδων και της φωτογραμμετρίας είναι ο πιο οικονομικός, όμως απαιτεί υψηλή ακρίβεια και δεξιότητες. Επίσης, οι Qu και Sun (2015) υπογραμμίζουν πως η χρήση τρισδιάστατων δεδομένων νέφους σημείων του δομημένου περιβάλλοντος παρέχει πραγματική αποτύπωση των συνθηκών πεδίου βελτιώνοντας τις εφαρμογές HBIM. Οι Xu et al. (2014) ανέπτυξαν ένα τρισδιάστατο νέφος σημείων χρησιμοποιώντας επίγεια σάρωση με λέιζερ και μη επανδρωμένο αερόχημα με κάμερα. Οι Ebolese et al. (2018) υποστηρίζουν την έρευνα με σάρωση λέιζερ επειδή επιτρέπει την λήψη πολύ πυκνών τρισδιάστατων νεφών σημείων. Οι Anton et al. (2018) τονίζουν πως οι πληροφορίες που προέρχονται από τα νέφη σημείων είναι θεμελιώδεις για την ανάπτυξη ενός HBIM.

Όσον αφορά το κομμάτι της μοντελοποίησης ακόμα απαιτείται έρευνα ώστε να μπορούν να τεκμηριωθούν και να αποτυπωθούν με ακρίβεια οι πολύπλοκες γεωμετρίες και τα αρχιτεκτονικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι Quatrinni et al. (2015) δηλώνουν ότι μία από τις θεμελιώδεις απαιτήσεις του HBIM είναι η δημιουργία νέων παραμετρικών αντικειμένων καθώς τα υπάρχοντα είναι δύσκολο να τυποποιηθούν στα ιστορικά κτίρια. Ομοίως, οι Tomassi et al. (2016) τονίζουν επίσης την ανάγκη δημιουργίας νέων βιβλιοθηκών παραμετρικών αντικειμένων αποδεικνύοντας ότι τα λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί για την μεθοδολογία BIM πρέπει να είναι περισσότερο δομημένα ώστε να μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του HBIM. Οι Brusaporci (2018) και Oreni (2013) et al. παρουσιάζουν ειδικές μεθόδους για την μοντελοποίηση και παραμετροποίηση θόλων και δοκών. Οι Brumana et al. (2018) κατά την αποκατάσταση της Basilica di Collemaggio δημιούργησαν ένα μοντέλο απογραφής των λίθων των κολώνων ενώ ασχολήθηκαν και με την ακρίβεια της μοντελοποίησης, την αναπαράσταση μοτίβων αποσύνθεσης και την διαλειτουργικότητα μεταξύ λογισμικών. Οι Bagnolo και Argiolas (2021) προτείνουν μία εναλλακτική μεθοδολογία, την αλγοριθμική μοντελοποίηση, η οποία έχει εφαρμοστεί σε στοιχεία που παρουσιάζουν πολυπλοκότητα από άποψη μορφής, με πολύ ακριβείς γεωμετρικούς κανόνες.

Δεν είναι λίγες όμως οι περιπτώσεις όπου έχει γίνει ήδη εφαρμογή της μεθοδολογίας HBIM με σκοπό την διατήρηση ή την ανακατασκευή κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Οι Fregonese και Adami (2020) κατασκεύασαν ένα ψηφιακό μοντέλο της βασιλικής του Αγίου Μάρκου στην Βενετία εξαγοντας ακριβείς πληροφορίες ακόμα και για στοιχεία όπως τα ψηφιδωτά μέσω ορθοφωτογραφιών υψηλής ανάλυσης. Οι Santagati et al. (2021) μελέτησαν την κατάσταση

διατήρησης του καθεδρικού ναού του Αγίου Ιωάννη του Θεολόγου στην Λευκωσία (Κύπρος) αποκτώντας το κτίριο με επίγεια σάρωση με λέιζερ και φωτογραμμετρία με αποτέλεσμα ένα παραμετρικό τρισδιάστατο μοντέλο που τεκμηριώνει όλες τις πληροφορίες του μνημείου. Οι Angulo-Fornos και Castellano- Roman et al. (2020) εφάρμοσαν την μεθοδολογία HBIM για την υποστήριξη προληπτικών δράσεων στην πρόσοψη του Καθεδρικού Ναού της Σεβίλλης παρουσιάζοντας μεθοδολογίες σχετικά με την τρισδιάστατη αναπαράσταση και την ενσωμάτωση πληροφοριών από πολλές πηγές.

Οι V. Allegra et al. (2020) εφάρμοσαν το HBIM στο κάστρο του Maredolce στο Παλέρμο, όπου για την απόκτηση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η σάρωση με λέιζερ και τελικά προέκυψε ένα μοντέλο που ενσωμάτωνε όλες τις γεωμετρικές και μη πληροφορίες. Μεγαλύτερη πρόκληση της ομάδας ήταν η μοντελοποίηση των θόλων για τους οποίους δημιουργήθηκε νέα οικογένεια ενώ ήταν απαραίτητο και κάποια στοιχεία να μοντελοποιηθούν με μη παραμετρικό τρόπο λόγω της πολυπλοκότητάς τους.

Οι James Charlton et. al (2019) χρησιμοποίησαν τον καθεδρικό ναό του Durham ως μελέτη περίπτωσης με κύριο σκοπό την βελτίωση του τρόπου με τον οποίο το μνημείο αυτό της UNESCO διαχειρίζεται αλλά και να τονίσουν τις ξεχωριστές ανάγκες που παρουσιάζουν τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς. Επίσης, μέσω της έρευνάς της, η ομάδα ήθελε να παρουσιάσει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται στην εφαρμογή της μεθοδολογίας HBIM με τις κυριότερες να είναι η έλλειψη προσβασιμότητας στις υπάρχουσες πληροφορίες και η έλλειψη δεξιοτήτων. Μία άλλη εφαρμογή της μεθοδολογίας HBIM έγινε στο Αρχαιολογικό Μουσείο της Νάπολης από τους Letizia Martinell et. al (2021) για βελτιστοποίηση των διαδικασιών διατήρησης, προστασίας και αξιοποίησης του κτιρίου με στόχο την παρουσίαση μίας προτεινόμενης ροής εργασιών στην εφαρμογή της τεχνολογίας HBIM.

Μέσα από τις διάφορες μελέτες περίπτωσης που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, φαίνεται ότι η μεθοδολογία αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις και εμπόδια όμως την ίδια στιγμή αναδεικνύεται και πόσο σημαντικό εργαλείο αποτελεί. Σύμφωνα με τους Rocobelli et al. (2018) το HBIM διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον τομέα της κληρονομιάς υποστηρίζοντας αποτελεσματικά την διαχείριση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι Dore και Murphy (2017) υπογραμμίζουν πως με την τεκμηρίωση της κληρονομιάς εξάγονται ακριβείς πληροφορίες που οδηγούν σε σωστές αποφάσεις για σενάρια και σχεδιασμό έργων παρακολούθησης, προστασίας, συντήρησης και διατήρησης του ιστορικού κτιρίου.

Συνάγεται λοιπόν πως αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο μέσο για την διατήρηση και διαφύλαξη της πολιτιστικής κληρονομιάς, και είναι αναγκαίο να ερευνηθεί περισσότερο ώστε να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες της μεθοδολογίας και οι τρόποι εφαρμογής της.

Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο την κατανόηση και εξοικείωση με την έννοια της Μοντελοποίησης Πληροφοριών Μνημείων Κληρονομιάς ή αλλιώς Heritage-BIM. Ο διαχωρισμός των μεθοδολογιών BIM και HBIM είναι αναγκαίος καθώς η πρώτη έχει αναπτυχθεί για τον σχεδιασμό και την διαχείριση των νέων κτιρίων σε αντίθεση με το HBIM που αναπτύχθηκε ειδικά για την διαχείριση των κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Επιπλέον παρουσιάζεται μία ροή εργασίας της μεθοδολογίας και αναδεικνύονται τα πολλαπλά οφέλη από την τεκμηρίωση και διαχείριση της κληρονομιάς μέσω του HBIM αποσκοπώντας στην περαιτέρω διάδοση και εφαρμογή της μεθόδου.

Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται εισαγωγή στην έννοια του HBIM. Αρχικά ορίζεται η διαδικασία και αναφέρονται τα βασικά της χαρακτηριστικά. Αναλύονται οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτού του ειδικού πεδίου για ιστορικά κτίρια και παρουσιάζεται στην συνέχεια ο ρόλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην προώθηση του HBIM αλλά αναφέρονται και άλλοι φορείς που έχουν ως στόχο την διάδοσή του.

Παρουσίαση των διαφορών μεταξύ του HBIM και δύο άλλων εννοιών πραγματοποιείται **στο δεύτερο κεφάλαιο**. Αρχικά, παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες BIM και HBIM με στόχο να γίνουν αντιληπτές οι διαφορές και οι στόχοι τους. Επίσης, διαφοροποιούνται οι όροι HBIM και Ψηφιακό Δίδυμο οι οποίοι εύκολα μπορεί να θεωρηθούν παρόμοιοι όμως έχουν σημαντικές διαφορές.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία προτεινόμενη ροή εργασιών για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου HBIM. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από τρία κύρια βήματα τα οποία αναλύονται ξεχωριστά. Πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας είναι η στρατηγική και ο σχεδιασμός του μοντέλου το οποίο συμπεριλαμβάνει τον ορισμό του έργου καθώς και τον ορισμό των τεχνολογιών και εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν. Ακολουθεί η συλλογή δεδομένων όπου συλλέγονται πληροφορίες για το μνημείο που πρόκειται να τεκμηριωθεί και έπειτα αναπτύσσεται το μοντέλο HBIM. Τα επιμέρους αυτά βήματα οδηγούν στην δημιουργία μίας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και την διαχείριση του μνημείου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τρεις μελέτες περίπτωσης της μεθοδολογίας HBIM. Για κάθε περίπτωση αναφέρεται ο σκοπός της ανάπτυξης του HBIM για το συγκεκριμένο μνημείο και έπειτα αναλύεται η διαδικασία που εφαρμόστηκε σε κάθε μία από αυτές. Συγκεκριμένα, η πρώτη μελέτη εφαρμογής αφορά το κάστρο του Margedolce στο Παλέρμο της Ιταλίας, η δεύτερη τον καθεδρικό ναό του Durham στο Ηνωμένο Βασίλειο και η Τρίτη το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο της Νάπολης στην Ιταλία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την διπλωματική εργασία. Αναφέρονται τα οφέλη και τα θετικά της μεθοδολογίας HBIM ενώ παρουσιάζονται και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζονται τόσο στην υιοθέτησή της μαζί με κάποιες προτάσεις για την προώθησή της αλλά και την βελτιστοποίηση των λειτουργιών της.

Στο έκτο κεφάλαιο, αναγράφονται οι βιβλιογραφικές και διαδικτυακές πηγές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη και τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ HBIM

Σύνοψη:

Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύεται ο όρος του HBIM, παρουσιάζονται τα βασικά του χαρακτηριστικά, η αναγκαιότητα της μεθοδολογίας αυτής και οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτού του ειδικού πεδίου εφαρμογής της μεθοδολογίας BIM. Επίσης, παρουσιάζεται ο ρόλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην υιοθέτησή του αλλά και φορείς που προωθούν την εφαρμογή του.

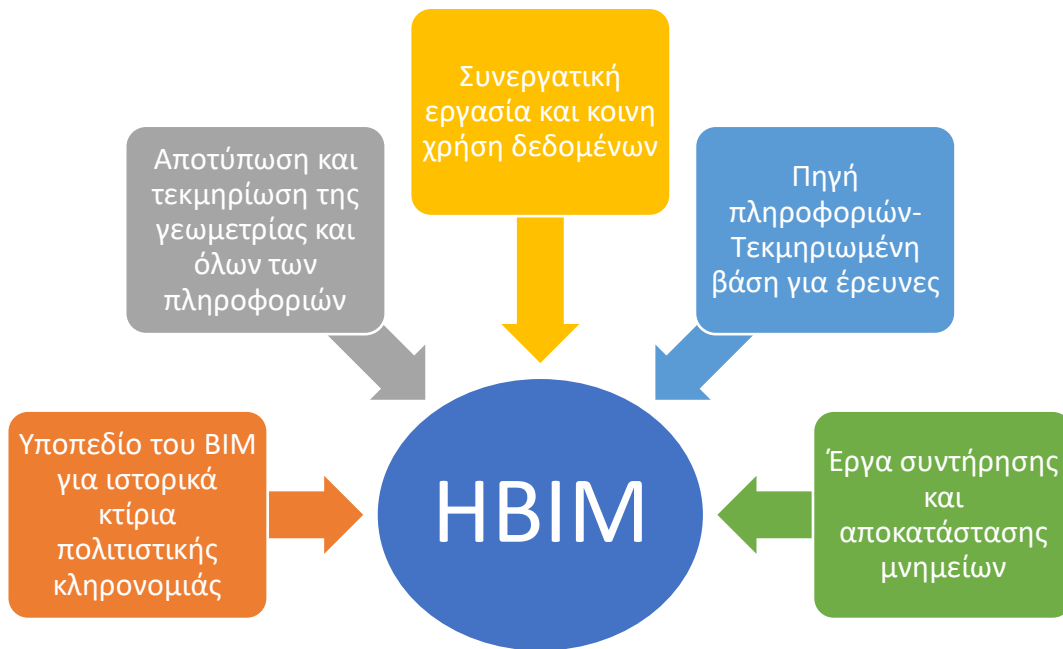
1.1 Ορισμός

Το HBIM (Heritage BIM) ή Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίων Κληρονομιάς είναι μία μεθοδολογία που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια η οποία εφαρμόζει την τεχνολογία BIM σε κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς. Αποτελεί ένα υποπεδίο του BIM το οποίο εφαρμόζεται ειδικά σε ιστορικά κτίρια με στόχο τη διαχείριση, συντήρηση και διατήρησή τους (Rebec et al, 2022). Μέσα από το HBIM επιτυγχάνεται ακριβής αποτύπωση και τεκμηρίωση της γεωμετρίας και όλων των πληροφοριών που σχετίζονται με ιστορικά κτίρια. Επίσης, εφόσον η μεθοδολογία BIM παρέχει την δυνατότητα συνεργατικής εργασίας και κοινής χρήσης δεδομένων σε μια ομάδα, η ομάδα αυτή έχει την ικανότητα για διατήρηση, διαχείριση και έρευνα της πολιτιστικής κληρονομιάς μέσα από το HBIM. Την ίδια στιγμή, το HBIM πέραν της χρήσης του για την διατήρηση της κληρονομιάς μπορεί να αποτελέσει αρχείο και πηγή πληροφοριών για έρευνες καθώς παρέχει την τεκμηριωμένη βάση για οποιαδήποτε περαιτέρω ανάλυση και ανάπτυξη έργων σχετικά με τα περιουσιακά στοιχεία (Rocha et al. 2020) . Ακόμα, με την τεκμηρίωση των κτιρίων κληρονομιάς μέσω του HBIM, έχουμε ένα χρήσιμο μοντέλο πληροφοριών (Asset Information Model-AIM) για την ανάπτυξη έργων συντήρησης και αποκατάστασης.

Έτσι, το HBIM αποτελεί μία τεχνολογία που θεωρείται πολλά υποσχόμενη για την διατήρηση των περιουσιακών στοιχείων, της ιστορίας αλλά και του σεβασμού προς το παρελθόν. Είναι ένα σύγχρονο εργαλείο, το οποίο δίνει την δυνατότητα ο πολιτισμός και οι αξίες της κληρονομιάς να γίνουν διαθέσιμα σε όλους τους επαγγελματίες αφού δημιουργεί ένα κεντρικό και εύκολα προσβάσιμο περιβάλλον πληροφοριών. Με αυτό τον τρόπο εξελίσσεται ένα νέο επίπεδο αλληλεπίδρασης μεταξύ χρηστών και εικονικών περιβαλλόντων, ικανών να επικοινωνούν τόσο τις άυλες όσο και τις απτές αξίες της κληρονομιάς κάθε χώρας.

Πιο συνοπτικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το HBIM είναι ένας τύπος μοντέλου πληροφοριών ιστορικών-περιουσιακών κτιρίων το οποίο (Sakellaris et al 2022) :

- Ενσωματώνει όλες τις ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες ενός μνημείου συμπεριλαμβανομένων των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών.
- Προσφέρει ένα πλαίσιο για μία συνεργατική, πολυεπιστημονική ομάδα εργασίας.
- Διαβαθμίζει τα άυλα χαρακτηριστικά της κατασκευής.
- Απεικονίζει σε τρισδιάστατη μορφή το υπάρχον κτίριο με υψηλό επίπεδο ανάλυσης.



Εικόνα 1.1: Στοιχεία της μεθοδολογίας HBIM

1.2 Αναγκαιότητα του HBIM

Η βιομηχανία της πολιτιστικής κληρονομιάς αναζητά μία απάντηση στο πρόβλημα της διαχείρισης γνώσης μέσω τρισδιάστατων σημασιολογικών συστημάτων πληροφοριών τουλάχιστον από την δεκαετία του 1980 (Mansuri et al 2022). Αν και το BIM σχεδιάστηκε αρχικά για την κατασκευή νέων κτιρίων, οι ανάγκες έρευνας και αναπαράστασης της κληρονομιάς οδήγησαν σε αυτή τη νέα προσέγγιση που ονομάστηκε HBIM.

Το ενδιαφέρον αυτό πηγάζει κυρίως από τις δυνατότητες που δίνει η μεθοδολογία HBIM όσον αφορά την συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία, διαχείριση και ανταλλαγή πληροφοριών μέσω μίας πολυδιάστατης και πολυεπιστημονικής προσέγγισης. Ο αναγκαίος χαρακτήρας και η συνάφεια της εφαρμογής BIM για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς ορίζεται από την ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης της τρέχουσας κατάστασης προκειμένου να εφαρμοστεί η συντήρηση και τα μέτρα αποκατάστασης στον σωστό χρόνο (Khan et al 2022). Οι Garagnani (2015) και Mazouk (2016) et al. τονίζουν την ανάγκη για HBIM, υπογραμμίζοντας το όφελος της αποτύπωσης της ιστορίας και του πολιτισμού σε ένα μόνο αποθετήριο όπου ενσωματώνονται όλα τα στοιχεία του μοντέλου (Heesom et al 2021). Επίσης, η διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς αντιμετωπίζει και αντιμετωπίζει δύο κύρια ζητήματα: τον μεγάλο όγκο δεδομένων που απαιτούνται ώστε να γνωρίζουμε όσο το δυνατόν καλύτερα την αρχιτεκτονική κληρονομιά, και δεύτερον, την μοναδικότητα και πολυπλοκότητα των σχημάτων και γεωμετριών που σχετίζονται τόσο με τις διάφορες κατασκευαστικές τεχνικές όσο και τις τροποποιήσεις που έχουν συμβεί στον κύκλο ζωής του έργου (Brusaporci et al., 2018). Έτσι, η χρήση της διαδικασίας BIM φαίνεται να είναι ο καλύτερος τρόπος για ενσωμάτωση όλων των αναγκαίων πληροφοριών σε μία ενιαία τρισδιάστατη βάση δεδομένων (Badenko et. al 2019) .

Η ανάγκη για την υιοθέτηση του HBIM έγκειται επίσης στο γεγονός ότι τα κτίρια της πολιτιστικής κληρονομιάς υποβαθμίζονται όχι μόνο από την πολυετή χρήση τους αλλά και από φυσικές καταστροφές όπως οι σεισμοί και οι πλημμύρες που επιβάλλουν σοβαρά προβλήματα στην διαδικασία ανοικοδόμησης και άρα στην διαφύλαξη της πολιτιστικής τους αξίας (Samraio et al 2021) Τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς διαθέτουν αρχιτεκτονικές, αισθητικές ιστορικές και πολιτιστικές αξίες οι οποίες με την φθορά των κτιρίων απειλούνται. Εξάλλου, η πολιτιστική κληρονομιά αντικατοπτρίζει την ιστορία κάθε χώρας η οποία έχει διατηρηθεί για να κληρονομηθεί από τις μελλοντικές γενιές. Γι' αυτό, η διατήρηση και διαφύλαξη της δομημένης κληρονομιάς αποτελεί πάγιο μέλημα των θεσμών και είναι εξαιρετικά σημαντικό να υπάρχουν πόροι και εργαλεία για την συντήρησή τους.

- Παράδειγμα που δείχνει την αναγκαιότητα και την σημαντικότητα του HBIM:

Ένα παράδειγμα ψηφιοποίησης της πολιτιστικής κληρονομιάς που φανερώνει πόσο σημαντική είναι η τεκμηρίωση ιστορικών κτιρίων αποτελεί ο καθεδρικός ναός της Παναγίας των Παρισίων. Είναι γνωστό ότι μετά την πυρκαγιά του 2019 που κατέστρεψε τμήμα του ναού, ξεκίνησε η ανοικοδόμησή του. Από πληροφορίες που αντλήθηκαν από την σελίδα BIMcommunity (www.bimcommunity.com), αυτό που βοήθησε να ξεκινήσει όσο το δυνατόν πιο σύντομα η ανοικοδόμηση ήταν το γεγονός ότι πριν την τραγωδία, η εταιρία «Art Graphique & Patrimoine» είχε ήδη τα δεδομένα για να δημιουργήσει μία τρισδιάστατη βάση δεδομένων για το κτίριο.

Έτσι, λίγες μέρες μετά την πυρκαγιά η ίδια ομάδα ολοκλήρωσε μία μελέτη με σκοπό την καταγραφή της γεωμετρίας του πλέον κατεστραμμένου κτιρίου. Λίγες εβδομάδες αργότερα, η ομάδα εργάστηκε για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον BIM το οποίο με την σειρά του θα βοηθούσε στην δημιουργία μίας ψηφιακής βάσης δεδομένων για αύξηση της ανθεκτικότητας του ναού σε μελλοντικά γεγονότα. Τα δεδομένα που υπήρχαν από την καταγραφή πριν την καταστροφή επέτρεψαν την δημιουργία ενός μοντέλου για το πώς έμοιαζε κάποτε ο ναός [Εικόνα 1.2]. Άμεση ήταν και η αντίδραση της Autodesk με την προσφορά πόρων για ανοικοδόμηση του ναού και έτσι την ίδια στιγμή, ομάδα της εταιρίας, ξεκίνησε την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου μετά τις καταστροφές που υπέστη. Η υιοθέτηση αυτή της ψηφιακής προσέγγισης επέτρεψε και την συνεργασία μεταξύ των ομάδων δημιουργώντας έτσι ένα περιβάλλον συνεργασίας και ανταλλαγής πληροφοριών που θα χρησιμεύει ως χώρος αποθήκευσης όλων των πληροφοριών παρέχοντας σε όλους τους ενδιαφερόμενους πρόσβαση στα δεδομένα του συγκεκριμένου έργου.

Ο επιβλέπων του έργου Jean Louis Georgelin τόνισε ότι «οι τεχνολογίες της μεθοδολογίας BIM βοήθησαν στην προετοιμασία για επαναλειτουργία του ναού». Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι το ψηφιακό μοντέλο που δημιουργήθηκε αναπαριστώντας τον ναό πριν την καταστροφή έπαιξε καθοριστικό ρόλο αφού επέτρεψε την σύγκριση του ναού πριν και μετά τις ζημιές βοηθώντας τις διαδικασίες για μία ανακατασκευή ακριβείας.



Εικόνα 1.2: Τρισδιάστατο μοντέλο του Καθεδρικού Ναού της Παναγίας των Παρισίων πριν την καταστροφή του

1.3 Ευρωπαϊκή πρακτική για υιοθέτηση της μεθοδολογίας HBIM

Ο ρόλος της Ευρώπης πρέπει και οφείλει να είναι καθοριστικός στην διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και των μνημείων και κατ' επέκταση χρειάζεται να προωθεί την μεθοδολογία HBIM ώστε να αρχίσει να υιοθετείται ολοένα και περισσότερο από τις χώρες της.

Η Ευρώπη στο κομμάτι της ψηφιοποίησης της πολιτιστικής κληρονομιάς ανέπτυξε το έργο «INCEPTION» (Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling) το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από πληροφορίες που υπάρχουν στην επίσημη ιστοσελίδα του έργου (www.inception-project.eu/en), το «INCEPTION» υλοποιεί την καινοτομία στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω μιας περιεκτικής προσέγγισης για τρισδιάστατη ανακατασκευή και εμπλουτίζει την ευρωπαϊκή ταυτότητα μέσω της κατανόησης του τρόπου με τον οποίο η ευρωπαϊκή πολιτιστική κληρονομιά εξελίσσεται συνεχώς. Η περιεκτική του προσέγγιση περιλαμβάνει: την τρισδιάστατη ανακατασκευή, απευθύνεται σε επιστήμονες, μηχανικούς, φορείς και πολίτες, και σκοπός της είναι να παρέχει μεθόδους και εργαλεία που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλα τα μέλη της. Οι μέθοδοι και τα εργαλεία του δημιουργούν τρισδιάστατα μοντέλα που είναι εύκολα προσβάσιμα και διαλειτουργικά για χρήση από διαφορετικά λογισμικά αναπτύσσοντας μια ανοιχτού τύπου πλατφόρμα σημασιολογικού ιστού για HBIM.

Στην Ελλάδα το HBIM ακόμα δεν έχει υιοθετηθεί σε μεγάλο βαθμό, όμως έχουν γίνει κάποιες μελέτες σε ερευνητικό επίπεδο στην τεκμηρίωση κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς της χώρας (Βίλλα Κλωναρίδη, «INCEPTION» project). Ωστόσο, πέραν από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τις δράσεις της υπάρχουν κι άλλοι φορείς σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο που δημιουργήθηκαν με στόχο την προώθηση του BIM σε κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς, μερικοί από τους οποίους παρουσιάζονται πιο κάτω, προερχόμενοι από το Ηνωμένο Βασίλειο, που πρωτοπορεί στον τομέα του HBIM.

1.3.1 BIM4Heritage

Η BIM4Heritage αποτελεί μία ομάδα η οποία έχει ως στόχο την προώθηση του BIM στο περιβάλλον των κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Η ομάδα συγκροτείται από διάφορους ειδικούς συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προέρχονται από την βιομηχανία του κατασκευαστικού κλάδου (AEC-Architectural Engineering and Construction), ακαδημαϊκά ιδρύματα που δραστηριοποιούνται στον κλάδο του πολιτισμού και οργανισμούς που ασχολούνται με την διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Όραμα της ομάδας όπως περιγράφεται και από τον διαδικτυακό τόπο του οργανισμού (<http://bim4heritage.org>) είναι να παρέχει μία βάση πληροφοριών για οργανισμούς και επαγγελματίες του κλάδου ώστε να έχουν την δυνατότητα να ανταλλάζουν πληροφορίες και γνώσεις σχετικά με την εφαρμογή του BIM σε ιστορικά κτίρια. Έτσι, σκοπός του είναι να προωθήσει την ευαισθητοποίηση, την μάθηση και την κατανόηση του BIM στον τομέα διατήρησης της κληρονομιάς και να το ενσωματώσει με τις ευρύτερες ανάγκες της βιομηχανίας.

Γενικότερα, οι στόχοι του ομίλου είναι οι εξής:

- Η υποστήριξη των προτύπων εφαρμογής του BIM εντός του Ιστορικού Δομημένου Περιβάλλοντος
- Η συνεργασία με άλλες BIM4Communities ώστε να προωθήσει την γνώση στο ευρύτερο πλαίσιο της βιομηχανίας και του δομημένου περιβάλλοντος με αποτέλεσμα την αλλαγή κουλτούρας η οποία κρίνεται απαραίτητη ώστε να επωφεληθούμε από την εξέλιξη των ψηφιακών τεχνολογιών και πληροφοριών.
- Να παρέχει ηγετική θέση στον καθορισμό του τρόπου με τον οποίο το BIM μπορεί να αξιοποιηθεί για διαδικασίες συντήρησης, επισκευής και διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Η προώθηση μελετών περίπτωσης με σκοπό την επίδειξη βέλτιστων πρακτικών.
- Δημιουργία δεσμών συνεργασίας με τον ακαδημαϊκό χώρο.
- Να βεβαιωθεί ότι η δραστηριότητα της ομάδας αλλά και τα αποτελέσματα ενσωματώνονται με τις άλλες BIM4Communities.

1.3.2 HES (Historic Environment Scotland)

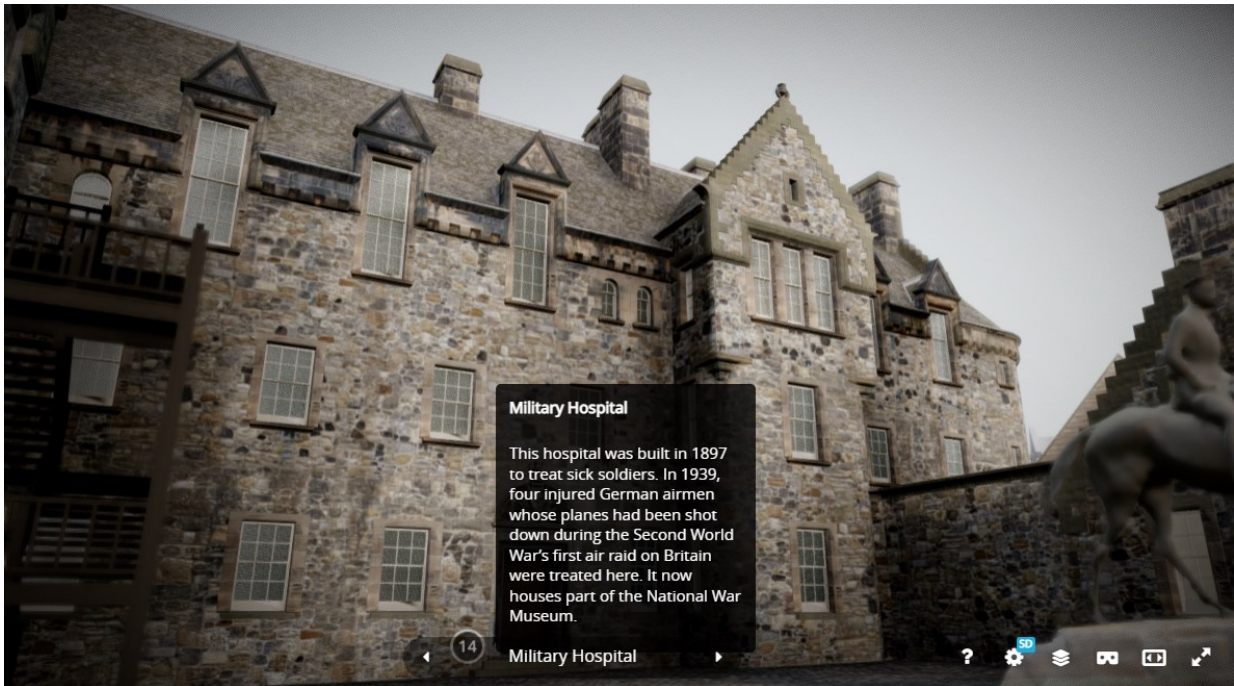
Το HES είναι ένας δημόσιος φορέας που παρέχει συμβουλές και καθοδήγηση σχετικά με την διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς και πήρε την πρωτοβουλία για εφαρμογή του BIM σε μία επιλογή ιστορικών έργων εντός της Σκωτίας. Η δράση αυτή ήρθε ως απάντηση στην στρατηγική σύσταση της κυβέρνησης της Σκωτίας να εφαρμόζεται το BIM όπου ενδείκνυται έως τον Απρίλιο του 2017. Αποτέλεσε μία ευκαιρία ώστε να βελτιωθεί η πρόσβαση σε αξιόπιστες πληροφορίες περιουσιακών στοιχείων, να βελτιωθεί η λήψη αποφάσεων για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς αλλά και να δημιουργηθούν οργανωτικές δεξιότητες και ικανότητες στον τομέα αυτό. Από τον διαδικτυακό τόπο του οργανισμού (www.historicenvironment.scot), φαίνεται πως το βασιλικό Παλάτι του κάστρου του Εδιμβούργου αποτέλεσε την βασική μελέτη περίπτωσης του φορέα προσδιορίζοντας τον ρόλο του BIM στην υποστήριξη της επιχειρησιακής διαχείρισης τέτοιων εγκαταστάσεων. Η πολυπλοκότητα του κάστρου, το οποίο αποτελεί μία μοναδική και ακανόνιστη κατασκευή, παρείχε την ευκαιρία να αναπτυχθούν καλύτερες διαδικασίες για την δημιουργία ενός HBIM που βασίζεται σε επιτόπιες έρευνες ιστορικών κατασκευών και στοιχείων.

Μέσα από το HES, αναπτύχθηκε ένα έργο το οποίο ονομάστηκε RAE PROJECT το οποίο αφορά αποκλειστικά την ψηφιακή τεκμηρίωση της ιστορίας της Σκωτίας. Το RAE PROJECT παρακολουθεί πάνω από 335 ιστορικά κτίρια σε όλη την Σκωτία, ενώ μέχρι στιγμής έχει καταφέρει να τεκμηριώσει ψηφιακά περίπου το 40 % από αυτά σε τρισδιάστατη μορφή. Πέρα από την καταγραφή των ιστορικών κτιρίων, μέσα από το έργο αυτό έχουν καταγραφεί πάνω από 38 000 τεχνουργήματα στις συλλογές αντικειμένων κάτι που δείχνει την τεράστια ποικιλία αντικειμένων όσον αφορά ιστορικά κτίρια και τονίζει μία πρόκληση όσον αφορά την πολυπλοκότητα των υλικών και των σχημάτων. Η ίδια η ομάδα του έργου, αναφέρει ότι η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει είναι η διαχείριση τεράστιου όγκου πληροφοριών. Εκτός από την ανάγκη αποθήκευσης των ακατέργαστων δεδομένων, των αποτελεσμάτων και των παραδοτέων για το λογισμικό πρέπει να ενσωματώνονται και άλλες βάσεις δεδομένων της HES και αυτό συμβαίνει γιατί κάθε σύνολο δεδομένων του RAE PROJECT αποτελεί σημείο εκκίνησης για κάθε εργασία που αναλαμβάνει η HES.

Στα δύο πιο κάτω σχήματα φαίνονται εικόνες του μοντέλου του κάστρου του Εδιμβούργου από την σελίδα του HES. Συγκεκριμένα, στην **[Εικόνα 1.4]** φαίνεται το τρισδιάστατο μοντέλο του κάστρου στο οποίο οι επισκέπτες της σελίδας μπορούν να περιηγηθούν και να εξερευνήσουν όλους τους χώρους και τα στοιχεία του κάστρου τα οποία επιλέγοντάς τα εμφανίζονται πληροφορίες (δρόμοι, στρατιωτικό νοσοκομείο, αγάλματα, βράχοι, αυλές, μουσεία, στρατιωτικές φυλακές. Στην **[Εικόνα 1.3]** φαίνεται ένα παράδειγμα ενός χώρου του κάστρου, το στρατιωτικό νοσοκομείο το οποίο περιλαμβάνει ιστορικές πληροφορίες για το πότε χτίστηκε , σε ποια ιστορική περίοδο και ως τι χρησιμοποιείται σήμερα .



Εικόνα 1.4: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του Κάστρου του Εδιμβούργου



Εικόνα 1.3: Το στρατιωτικό μουσείο του κάστρου εμπλουτισμένο με ιστορικές πληροφορίες

1.3.3 Council on Training in Architectural Conservation (COTAC)

Η COTAC αποτελεί μία φιλανθρωπική οργάνωση στο Ηνωμένο Βασίλειο που ιδρύθηκε το 1959 και αναγνώρισε την ανάγκη ειδικών που θα προσδιορίζουν και θα επιβλέπουν σωστά τις εργασίες επισκευής και συντήρησης ιστορικών κτιρίων. Με την πάροδο των ετών, εργάστηκε επίμονα και κατάφερε να κτίσει δίκτυα στον τομέα της διαχείρισης της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Αυτό περιλάμβανε την συνεργασία με εθνικούς και επαγγελματικούς φορείς αλλά και εκπαιδευτικά ιδρύματα.

Από πληροφορίες που αντλήθηκαν από τον διαδικτυακό τόπο του φορέα, ([COTAC - Council on Training in Architectural Conservation](#)), το 2014 η COTAC δημιούργησε μία ομάδα η οποία ονομάστηκε BIM4Conservation που ενσωματώθηκε με την BIM4Heritage το 2016. Στην υιοθέτηση μιας ενεργούς προσέγγισης για την καλύτερη ενσωμάτωση του τομέα διατήρησης με την προσέγγιση του HBIM, η COTAC από το 2013 έχει καθιερώσει το ετήσιο συνέδριο “A digital future for Traditional Buildings; Practical Applications for Survey and Management”. Ένας από τους στόχους του συνεδρίου είναι η αντιμετώπιση θεμελιωδών διαφορών μεταξύ της υπάρχουσας προσέγγισης BIM σε νέα έργα κατασκευής και της αναδυόμενης προσέγγισης HBIM στον τομέα της συντήρησης και επισκευής. Επίσης, το συνέδριο αποσκοπεί στο να δώσει κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με την κατανόηση ενός ιστορικού περιουσιακού στοιχείου, την ανάγκη ενσωμάτωσης όλων των διαθέσιμων πληροφοριών για το κτίριο αλλά και την σημαντικότητα της τεκμηρίωσής τους.

Η COTAC εργάζεται για να αυξήσει τα πρότυπα, να αναπτύξει προσόντα εκπαίδευσης και να δημιουργήσει δίκτυα επισκευής, διατήρησης και συντήρησης στον κλάδο της πολιτιστικής κληρονομιάς του Ηνωμένου Βασιλείου. Βασικός της στόχος είναι να αναπτύσσει, να παράγει και να προωθεί υλικό εκπαίδευσης. Μέσω του ιστότοπού της επιθυμεί να υποστηρίξει και να προωθήσει σχετικά μαθήματα που είναι διαθέσιμα για παρακολούθηση τόσο για ειδικούς όσο και για προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές.

Η περίπτωση αυτή καταδεικνύει την ανάγκη εκπαίδευσης και κατάρτισης των ειδικοτήτων που εμπλέκονται εντός ενός HBIM.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : HBIM, BIM ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΔΥΜΟ

Σύνοψη:

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μία διαφοροποίηση μεταξύ των όρων HBIM και BIM και έπειτα μεταξύ των όρων HBIM και Ψηφιακό Δίδυμο ώστε να καταστούν σαφείς οι διαφορές τους, δεδομένου μάλιστα ότι παρουσιάζουν και αρκετές ομοιότητες.

2.1 BIM και HBIM

Το HBIM εφόσον αποτελεί υποπεδίο της μεθοδολογίας BIM εμφανίζει κοινά στοιχεία με αυτήν, παρουσιάζει όμως και αρκετές διαφοροποιήσεις. Οι διαφορές των δύο μεθοδολογιών γίνονται περισσότερο κατανοητές αφού οριστούν οι δύο έννοιες. Το BIM, ορίζεται ως η ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός έργου που δημιουργεί ένα κοινόχρηστο και αξιόπιστο περιβάλλον ανταλλαγής πληροφοριών αποτελώντας την βάση για την λήψη αποφάσεων καθ' όλη την διάρκεια ζωής του έργου (Martinelli et al 2022). Η μεθοδολογία HBIM από την άλλη αφορά την ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και στοχεύει στην δημιουργία διαδικασιών και εργαλείων με σκοπό την συντήρηση, διαχείριση και διατήρησή της.

Η πρώτη και βασική διαφορά των δύο μεθοδολογιών εντοπίζεται στο πεδίο εφαρμογής τους. Η μεθοδολογία BIM έχει αναπτυχθεί για την αναπαράσταση, τον σχεδιασμό, την μελέτη και διαχείριση νέων κατασκευών σε αντίθεση με το HBIM που αφορά την διαχείριση, συντήρηση και διατήρηση υφιστάμενων κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Έτσι, βασική διαφορά των δύο έγκειται στο αντικείμενο μοντελοποίησης: ενώ το BIM χρησιμοποιείται συνήθως στον τομέα των νέων κατασκευών, το HBIM εφαρμόζει την μεθοδολογία BIM σε ένα υπάρχον κτίριο ώστε να αναδημιουργήσει σε ένα ψηφιακό κόσμο το κτίριο «όπως κατασκευάστηκε» («as-built»), (Hichria et.al 2013. Επίσης, στην περίπτωση του BIM για νέες κατασκευές το μοντέλο αναπτύσσεται σταδιακά κατά τις φάσεις σχεδιασμού και κατασκευής του έργου, σε αντίθεση με το HBIM όπου το μοντέλο αναπτύσσεται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο του κύκλου ζωής του με ελλιπή ή καθόλου δεδομένα τεκμηρίωσης και απαιτείται σημαντική επένδυση χρόνου και πόρων ώστε να γίνει η συλλογή τους στην κατάλληλη μορφή για την δημιουργία ενός πλήρως ανεπτυγμένου μοντέλου για την υπάρχουσα κατασκευή.

Ακόμα μία διαφορά των δύο μεθοδολογιών η οποία αποτελεί και μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για το HBIM, προκύπτει από τα αντικείμενα που πρόκειται να μοντελοποιηθούν. Συγκεκριμένα, τα ιστορικά κτίρια παρουσιάζουν αρχιτεκτονικά στοιχεία, ετερογενείς γεωμετρίες και ακανόνιστα αντικείμενα που πλέον δεν χρησιμοποιούνται στις νέες κατασκευές με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν τυπικές βιβλιοθήκες και πρότυπα που να μπορούν να αξιοποιηθούν σε κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς για την αναπαράστασή τους. Αυτό αυξάνει αρκετά την δυσκολία στην φάση μοντελοποίησης στο HBIM και ακόμα περισσότερο την παραμετροποίηση των στοιχείων (Shambrando, Sammartano, Spano 2016) .

Η σημαντικότερη διαφορά των δύο μεθοδολογιών αντικατοπτρίζεται και στο μοντέλο πληροφοριών (Asset Information Model-AIM) καθώς στην περίπτωση του HBIM έχουμε ένα AIM ειδικού τύπου: Ένα AIM για σύγχρονα κτίρια περιλαμβάνει μεταξύ άλλων μη γεωμετρικές πληροφορίες που σχετίζονται με γεωμετρικές παραμέτρους και διαδικασίες, κόστος, υλικά και τοποθεσία. Τέτοιες πληροφορίες είναι σχετικές και με τα ιστορικά κτίρια, ωστόσο ένα AIM για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς εκτός από τις συγκεκριμένες πληροφορίες, μπορεί να περιέχει ιστορικές, κοινωνικές και πολιτιστικές πληροφορίες (Biagini et al., 2016; Tommasi et al., 2016). Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι: κάθε είδους ερευνητικό υλικό, σαρωμένα ιστορικά έγγραφα, ιστορικά αρχεία, πληροφορίες σχετικά με τις πολιτικές και διαδικασίες συντήρησης και διατήρησης και πιθανόν μία αρκετά βελτιωμένη μορφή ψηφιοποίησης σχετικά με τα χαρακτηριστικά της ιστορικής χρήσης και ανάπτυξης του κτιρίου πέρα από την ύπαρξη του που συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη σε κτίρια χωρίς πολιτιστική αξία (Pellicer and Jordan, 2016). Επομένως, ένα τέτοιο δομημένο μοντέλο πληροφοριών περιέχει πολύτιμες πληροφορίες προσφέροντας μία νέα προσέγγιση οπτικοποίησης και διαχείρισης ιστορικών και λειτουργικών πληροφοριών για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς, και οι οποίες είναι απαραίτητες στα σύγχρονα έργα διατήρησης, συντήρησης και μακροπρόθεσμης διαχείρισης ιστορικών κτιρίων.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ:	BIM	HBIM
ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	ΝΕΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ «as-built»
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΑΠΛΗ	ΣΥΝΘΕΤΗ, ΠΟΛΥΠΛΟΚΗ
AIM-ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, ΥΛΙΚΑ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, ΙΣΤΟΡΙΑ, ΥΛΙΚΑ, ΖΗΜΙΕΣ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΕΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	ΚΑΤΑΛΛΗΛΕΣ ΓΙΑ ΝΕΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΕΣ-ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΝΕΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Διαφοροποίηση των μεθοδολογιών BIM και HBIM



Εικόνα 2.2: Διαφορές BIM και HBIM ως προς τις γεωμετρίες και τον κύκλο ζωής του έργου (Quattrini et al, 2017)

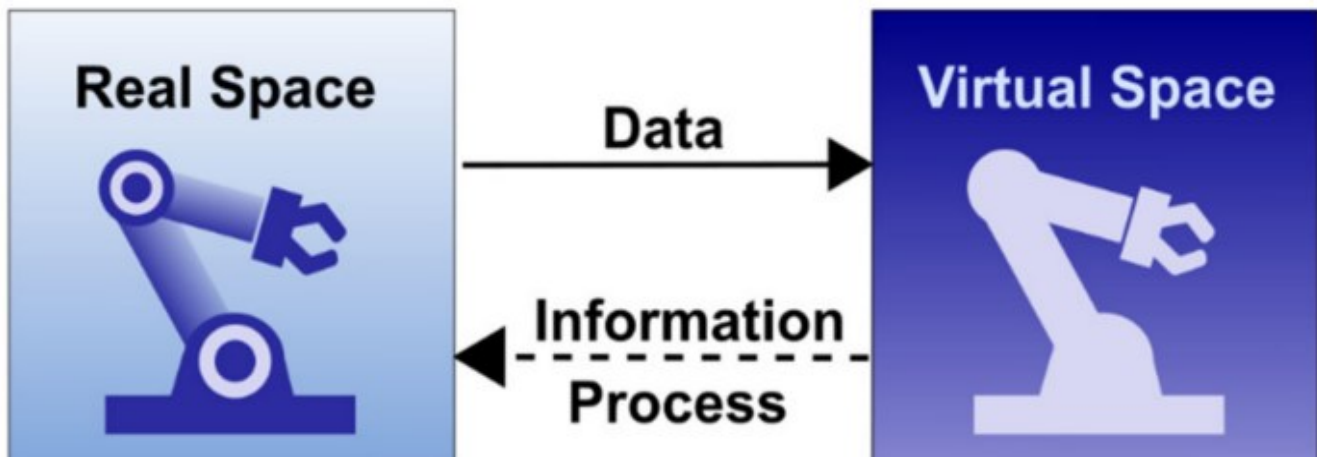
2.2 HBIM και Ψηφιακό Δίδυμο

Κρίνεται αναγκαίο, να γίνει σαφής και η διάκριση μεταξύ των εννοιών Ψηφιακό Δίδυμο και HBIM. Αυτό που πρέπει να τονιστεί αρχικά είναι ότι οι δύο αυτοί όροι παρόλο που μπορεί να έχουν κάποιες ομοιότητες δεν ταυτίζονται, καθώς παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές.

Όσον αφορά το Ψηφιακό Δίδυμο (ΨΔ), αποτελεί το εικονικό-ψηφιακό αντίγραφο ενός φυσικού αντικείμενου, συστήματος ή διαδικασίας που συνδέεται με το πραγματικό αντικείμενο μέσω δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Singh et al 2021). Τα ΨΔ αποτελούν εννοιολογικά μοντέλα τα οποία αναπαριστούν τη συμπεριφορά του φυσικού προϊόντος, επιτρέποντας την ανάλυση, τη δοκιμή σεναρίων, την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση του αντίστοιχου αντικείμενου σε πραγματικό χρόνο. Η σύνδεση του φυσικού και του ψηφιακού αντικείμενου γίνεται μέσω διάφορων πηγών, όπως για παράδειγμα αισθητήρων μέσω των οποίων πραγματοποιείται και η ροή των πληροφοριών μεταξύ του πραγματικού αντικείμενου και του ψηφιακού δίδυμου. Έτσι, οι αισθητήρες μεταφέρουν δεδομένα από το φυσικό προϊόν στο ψηφιακό μοντέλο. Από την φάση σχεδιασμού και καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να βοηθήσει τους ενδιαφερόμενους στην λήψη αποφάσεων χάρη στην χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο παρέχοντας συνεχώς ενημερωμένες βάσεις δεδομένων. Ουσιαστικά, με το ΨΔ το φυσικό αντικείμενο γίνεται πιο «έξυπνο» με σκοπό να μπορεί να παρακολουθείται και να ελέγχεται η συμπεριφορά του και οι λειτουργίες του ανά πάσα στιγμή με στόχο την βελτιστοποίησή τους.

Από την άλλη το HBIM χρησιμοποιείται ειδικά για ιστορικά κτίρια ή κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς και είναι ένα μοντέλο το οποίο αντανακλά την τρέχουσα κατάσταση ιστορικού κτιρίου. Στο HBIM ενσωματώνονται ιστορικά δεδομένα (έγγραφα, σχέδια, έρευνες κτλ.) καθώς και δομικές και μηχανικές πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν τις αποφάσεις συντήρησης ή ανακατασκευής.

Επομένως, οι κύριες διαφορές των δύο μεθόδων και των μοντέλων που προκύπτουν οφείλονται κυρίως στο πεδίο εφαρμογής τους και τον σκοπό τους: Τα μοντέλα HBIM αφορούν αποκλειστικά υφιστάμενα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς, ενώ το ΨΔ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα ευρύ φάσμα αντικειμένων, συστημάτων και διαδικασιών. Όσον αφορά τον σκοπό, η μεθοδολογία HBIM έχει σχεδιαστεί με σκοπό την αναπαράσταση και τεκμηρίωση ιστορικών κτιρίων και μνημείων στοχεύοντας στην διατήρηση και συντήρησή τους. Τα ΨΔ επικεντρώνονται στην ψηφιακή αναπαράσταση φυσικών αντικειμένων με σκοπό την παρακολούθησή τους ανά πάσα στιγμή και κατ' επέκταση την βελτιστοποίηση των λειτουργιών τους.



Εικόνα 2.3: Το ψηφιακό δίδυμο (Singh et al 2021)

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ:	Ψηφιακό Δίδυμο	HBIM
ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	ΕΥΡΥ ΦΑΣΜΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ, ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ	ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ
ΣΚΟΠΟΣ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ, ΕΛΕΓΧΟ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ, ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ & ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Εικόνα 2.4: Διαφορές του ψηφιακού δίδυμου και του HBIM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HBIM

Σύνοψη:

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία προτεινόμενη ροή εργασιών για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου HBIM. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από τρία κύρια βήματα τα οποία αναλύονται ξεχωριστά. Πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας είναι η στρατηγική και ο σχεδιασμός του μοντέλου, ακολουθεί η συλλογή δεδομένων και έπειτα αναπτύσσεται το μοντέλο HBIM. Για κάθε βήμα αναλύονται τα επιμέρους στάδια τα οποία τελικά οδηγούν σε μία συνεκτική και ολοκληρωμένη βάση δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και την διαχείριση του μνημείου.

Εφόσον το HBIM είναι μία καινούρια μεθοδολογία που εμφανίστηκε τα τελευταία χρόνια, εξακολουθεί να αποτελεί ακόμα πεδίο ακαδημαϊκής έρευνας και μέχρι στιγμής δεν έχει οριστεί μία συγκεκριμένη διαδικασία για την δημιουργία ενός HBIM. Παρόλο που έχουν δημιουργηθεί ορισμένες ροές εργασιών με αποτέλεσμα να δοθούν κάποιες κατευθυντήριες γραμμές για τελικούς χρήστες και επαγγελματίες, ο ορισμός μιας τυποποιημένης διαδικασίας που τονίζει τις διαφορές σε σχέση με το BIM για νέες κατασκευές, παραμένει ένα ανοιχτό ζήτημα. Έτσι, μέχρι σήμερα γίνονται έρευνες για την διαδικασία δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου HBIM για περιουσιακά στοιχεία το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σε έργα αποκατάστασης και συντήρησης έργων πολιτιστικής κληρονομιάς. Πιο κάτω παρουσιάζεται μία ροή εργασιών η οποία χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια: 1) την στρατηγική και τον σχεδιασμό του μοντέλου (model planning), 2) την συλλογή δεδομένων και 3) την ανάπτυξη του μοντέλου HBIM.

3.1 Στρατηγική και σχεδιασμός του μοντέλου (Model Planning)

Στο πλαίσιο του ISO19650 για την οργάνωση και την ψηφιοποίηση των πληροφοριών σχετικά με κτίρια καθ' όλη την διάρκεια ζωής τους, οι διαδικασίες BIM δομούνται από μία σειρά εγγράφων που καθορίζουν τις απαιτήσεις και τις πρακτικές μοντέλων, οι οποίες εφαρμόζονται και στην περίπτωση του HBIM. Έτσι, η πρώτη φάση σε μία ροή εργασιών για την δημιουργία ενός HBIM μοντέλου είναι συνεπής με την τεχνική ενότητα του Σχέδιου Εκτέλεσης BIM (BIM Execution Plan-BEP) το οποίο στην περίπτωση των πολιτισμικών μνημείων μετονομάζεται σε HBEP (Heritage BEP) και λειτουργεί ως οδηγός για τις διαδικασίες και την ροή εργασιών μεταξύ των συντελεστών του έργου με βασική λειτουργία να αποτελέσει το πλαίσιο για την ανάπτυξη ενός συνεργατικού HBIM (Martinelli et al 2022). Ένα BEP συνήθως δομεί χρονολογικά τις δραστηριότητες, περιγράφει δεδομένα και εργαλεία και διευκολύνει την ανταλλαγή και τον συντονισμό δεδομένων και ανθρώπων σε ένα ψηφιακό περιβάλλον, ορίζει τις μεθόδους παραγωγής και διαχείρισης των πληροφοριών (π.χ. στρατηγική μοντελοποίησης), καθορίζει τις διαδικασίες ελέγχου καθώς και τους ρόλους και αρμοδιότητες των εμπλεκόμενων στο έργο.

Η διαδικασία δημιουργίας ενός μοντέλου HBIM έχει τρία κύρια ενδιαφερόμενα μέρη: Τον ΚΤΕ που είναι συνήθως ένας οργανισμός ή φορέας, την ομάδα διαχείρισης του κτιρίου πολιτιστικής κληρονομιάς και την ομάδα μοντελοποίησης BIM (Khan et al 2022). Ο ΚΤΕ ή ο οργανισμός ορίζουν τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του έργου, όπως συμβαίνει και στα υπόλοιπα έργα. Εδώ να σημειωθεί ότι στα πλαίσια εφαρμογής του BIM σε σύγχρονα κτίρια οι απαιτήσεις για το έργο καθοδηγούνται από έγγραφα που ορίζουν τις απαιτήσεις του έργου. Τα έγγραφα αυτά είναι: οι Απαιτήσεις Πληροφοριών Οργανισμού για τα Περιουσιακά Στοιχεία (OIR-Organization Information Requirements), οι Πληροφορίες Διαχείρισης και Λειτουργίας Έργου (AIR-Asset Information Requirements) και οι Απαιτήσεις Ανταλλαγής Πληροφοριών Έργου (EIR-Exchange Information Requirements). Όμως, στην περίπτωση κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς, λόγω της

πολυπλοκότητας των περιουσιακών στοιχείων και της ανάγκης του HBIM να ενσωματώνει και ιστορικές πληροφορίες (σαρωμένα έγγραφα, ιστορικά στοιχεία, έρευνες κτλ.) τα έγγραφα αυτά και η μορφή τους δεν μπορούν να τυποποιηθούν στην τεχνολογία HBIM. Γι' αυτό στην περίπτωση εφαρμογής της μεθοδολογίας HBIM ο οργανισμός θέτει τις απαιτήσεις μέσω του HIR (Heritage Information Requirements), ένα έγγραφο απαιτήσεων δηλαδή εξειδικευμένο για το συγκεκριμένο πολιτισμικό μνημείο στο οποίο αναφέρεται. Στο HIR αναλύονται συγκεκριμένες απαιτήσεις πληροφοριών σχετικά με τα ιστορικά κτίρια στα οποία αναφέρονται αντικαθιστώντας τα τυπικά έγγραφα απαιτήσεων πληροφοριών προκειμένου να παρέχεται μία ολοκληρωμένη προσέγγιση HBIM. Το πρακτικό αποτέλεσμα ενός HIR είναι να προσφέρει αξία και αξιοπιστία σε ένα AIM ιστορικού κτιρίου ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τις πολύπλοκες ανάγκες διαχείρισης περιουσιακών έργων, όποιες και αν είναι αυτές ή μπορεί να προκύψουν (Charlton et al 2021).

Όσον αφορά την ομάδα διαχείρισης είναι αυτή που συλλέγει τις πληροφορίες που υπάρχουν για το κτίριο πολιτιστικής κληρονομιάς που πρόκειται να δημιουργηθεί το HBIM. Η ομάδα αυτή είναι συνήθως πολύ-επιστημονική με τους τεχνικούς επιστήμονες να αποτελούν το μικρότερο μέρος της. Η ομάδα μοντελοποίησης είναι αυτή που απαιτείται να έχει τις τεχνικές γνώσεις και τις ειδικές γνώσεις που σχετίζονται και απορρέουν από την τεχνολογία BIM.

Η φάση του σχεδιασμού του μοντέλου αποτελεί την πιο συνυφασμένη με τις άλλες. Ενώ υπάρχουν θέματα όπως οι απαιτήσεις, οι χρήσεις μοντέλων, τα κοινά πρωτόκολλα που μπορούν να καθοριστούν εκ των προτέρων, η στρατηγική μοντελοποίησης και η εισαγωγή δεδομένων εξαρτώνται από μια ολοκληρωμένη γνώση του κτιρίου και επηρεάζονται από τη συλλογή και τη δομή ανάλυσης δεδομένων. Σε αυτό το πρώτο βήμα λοιπόν διακρίνονται δύο σημαντικά στάδια: ο ορισμός του έργου και της σκοπιμότητάς του αλλά και ο ορισμός των τεχνολογιών που απαιτείται να χρησιμοποιηθούν.

3.1.1 Ορισμός έργου

Πρωταρχικό βήμα είναι να οριστεί ο σκοπός του έργου και συγκεκριμένα να οριστεί ο λόγος για τον οποίο πρόκειται να δημιουργηθεί το μοντέλο HBIM. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1.1 σκοποί της ανάπτυξης ενός μοντέλου HBIM για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς μπορεί να είναι η συντήρηση, η διατήρηση, η ανακατασκευή ή ακόμα και η δημιουργία απλώς μίας αξιόπιστης βάσης δεδομένων για παρακολούθηση και διαχείρισή του. Έτσι, αν πρόκειται το μνημείο να ανακατασκευαστεί, προκαταρκτικό στάδιο αποτελεί ο ορισμός της καλύτερης πρότασης επαναχρησιμοποίησης του. Η πρόταση επαναχρησιμοποίησης του κτιρίου οφείλει να επιλεγεί λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια όπως νόμοι και κανονιστικές απαιτήσεις, κόστος, βιωσιμότητα, χρόνος υλοποίησης και οικονομικά οφέλη από την νέα χρήση (Sampaio et al 2021). Από την άλλη, αν πρόκειται για έργο συντήρησης είναι προφανές ότι η σημαντικότητα της απαιτούμενης πληροφορίας στο HBIM θα αφορά μεταξύ άλλων υλικά, τεχνικές και μεθοδολογίες.



Εικόνα 3.1: Σκοπός ενός HBIM

3.1.2 Εργαλεία και τεχνολογίες

Αφού οριστεί ο σκοπός για τον οποίο θα εφαρμοστεί η μεθοδολογία HBIM, μπορούν στην συνέχεια να επιλεγούν τα εργαλεία και οι τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν. Αυτά αφορούν την συνεργασία των εμπλεκόμενων μερών, την αποτύπωση και τεκμηρίωση του μνημείου και αναλύσεις, υπολογισμούς και δημιουργία δευτερογενούς πληροφορίας.

3. 1. 2. 1 Κοινό Διαδικτυακό Περιβάλλον Συνεργασίας (ΚΔΠΣ)

Βασικό και πολύ σημαντικό εργαλείο σε έργα που βασίζονται στην μεθοδολογία BIM, και άρα είναι προφανής και η χρησιμότητά του στο HBIM, είναι η διαλειτουργικότητα και η συνεργασία των εμπλεκόμενων. Ένα διαδικτυακό συνεργατικό περιβάλλον κοινής χρήσης δεδομένων, το λεγόμενο Κοινό Διαδικτυακό Περιβάλλον Συνεργασίας (ΚΔΠΣ) – Common Data Environment (CDE), το οποίο αποτελεί μία ενιαία αποθήκη για την συλλογή, την οργάνωση και την διάδοση μοντέλων και εγγράφων είναι απαραίτητο να υπάρχει στις διαδικασίες BIM και HBIM. Ένα ΚΔΠΣ δημιουργεί ένα υψηλό επίπεδο συνεργασίας επιτρέποντας σε όλη την ομάδα να έχει πρόσβαση στα τρέχοντα δεδομένα κάτι που αυξάνει την αποτελεσματικότητα του έργου. Επίσης, το ΚΔΠΣ αντιπροσωπεύει την συμφωνημένη πηγή για ένα έργο και επομένως πρέπει να εγγυάται ασφάλεια, προσβασιμότητα και ιχνηλασιμότητα (Martinelli et al 2022).

Τα κύρια χαρακτηριστικά μιας Διαδικτυακής Πλατφόρμας Συνεργασίας συνοψίζονται ως ακολούθως (Παύλου Β., 2023).

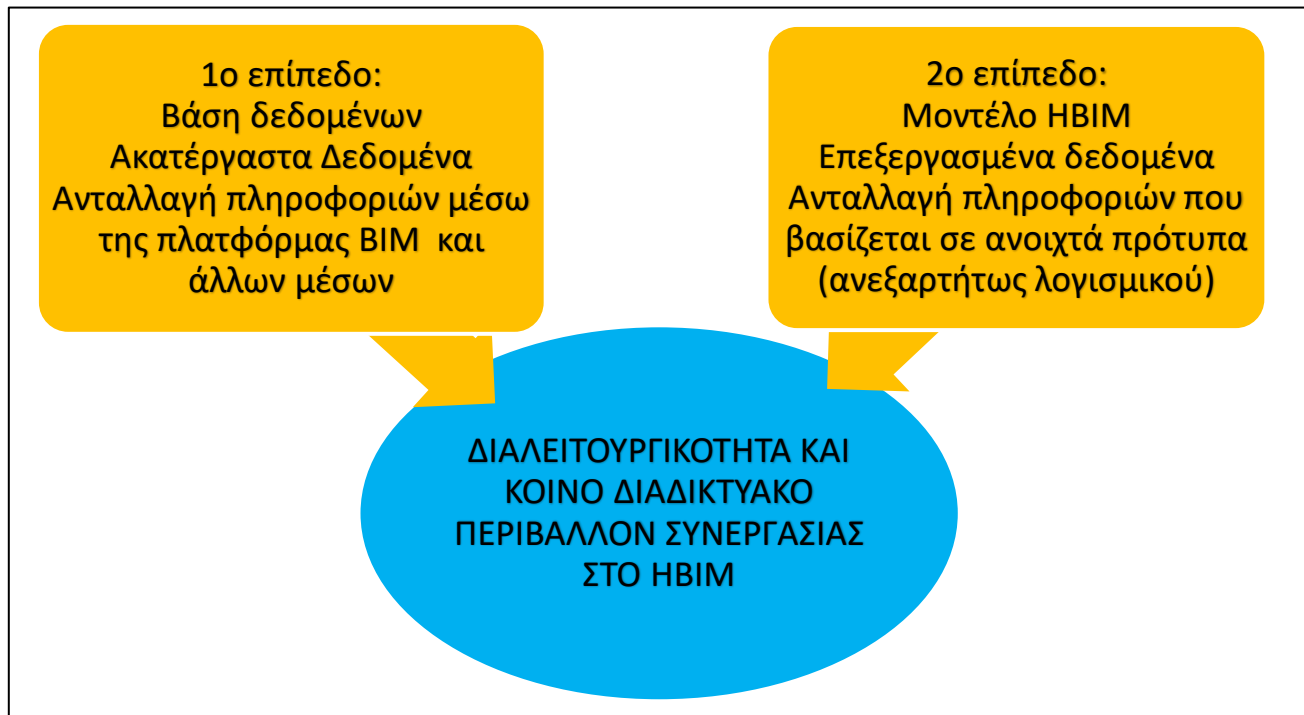
- Είναι εύκολη στη χρήση (δεν απαιτεί ειδική εκπαίδευση για να τη χειριστεί κάποιος)
- Είναι εύκολα προσβάσιμη (τα δεδομένα βρίσκονται σε ασφαλή χώρο του διαδικτύου – cloud based – και επομένως ο κάθε εμπλεκόμενος έχει πρόσβαση σε αυτά οποιαδήποτε στιγμή και από οπουδήποτε, μέσω σταθερών ή φορητών συσκευών που έχουν σύνδεση με το διαδίκτυο).
- Παρέχει τη δυνατότητα ανάγνωσης αρχείων διαφορετικών μορφότυπων, που παράγονται από λογισμικά τρίτων εταιριών.
- Έχει ικανοποιητική χωρητικότητα για την αποθήκευση των αρχείων σε όλα τα στάδια του έργου.
- Παρέχει έναν ασφαλή χώρο αποθήκευσης των πληροφοριών καθώς αυτός βρίσκεται στο διαδίκτυο και δεν υπάρχει κίνδυνος να χαθούν.
- Δίνει δυνατότητα πρόσβασης από φορητές συσκευές και εφαρμογές.
- Παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης τυποποιημένων ροών εργασιών (workflows) και διαδικασιών (procedures) που αυτοματοποιούν τις λειτουργίες διαχείρισης των πληροφοριών του έργου.
- Παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου, διόρθωσης και έγκρισης των αρχείων και των ροών εργασιών.
- Αποτελεί εργαλείο εποπτείας προόδου του έργου, αφού συγκεντρώνει την πρόοδο των εργασιών σε πίνακες για κάθε χρήστη.
- Παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου των εργασιών και των πληροφοριών που αποθηκεύονται στο ΚΔΠ .

- Υποστηρίζει την προσθήκη επισημάνσεων και σχολίων πάνω στα σχέδια και τα μοντέλα για διορθώσεις.
- Παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των ζητημάτων (issues) που προκύπτουν, συμπεριλαμβανομένης της καταγραφής τους, ενημέρωσης και ειδοποίησης μέσω email του αρμόδιου για την επίλυσή τους .

Η παραπάνω διαλειτουργικότητα και τα οφέλη της μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε επίπεδα, όσον αφορά την χρήση του ΚΔΠΣ στο HBIM:

Το πρώτο επίπεδο αφορά την δημιουργία μίας βάσης δεδομένων. Σε μία διαδικασία HBIM επειδή η ανάπτυξη του μοντέλου αρχίζει σε ένα ενδιάμεσο στάδιο του κύκλου ζωής του έργου, απαιτείται αρχικά η συλλογή δεδομένων και πληροφοριών ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η ακριβής μοντελοποίηση και τεκμηρίωση του μνημείου. Έτσι, η βάση δεδομένων του πρώτου επιπέδου διαλειτουργικότητας προκύπτει από τις διάφορες διαδικασίες αποτύπωσης. Σε αυτό το στάδιο τα δεδομένα είναι ακατέργαστα και οι εμπλεκόμενοι στην διαδικασία μπορούν να ανταλλάζουν τις πληροφορίες αυτές μέσω της πλατφόρμας BIM και απλών μέσων π.χ. υπολογιστικών φύλλων.

Το δεύτερο επίπεδο αφορά την πληροφορία που θα προκύψει από την δημιουργία του μοντέλου HBIM. Σε αυτό το επίπεδο τα δεδομένα έχουν τύχει επεξεργασίας και έχει δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του έργου με όλες τις πληροφορίες ενσωματωμένες. Το μοντέλο μεταφράζεται σε μία μορφή που είναι ανεξάρτητη από το λογισμικό που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα, όλα τα σύγχρονα μοντέλα βασίζονται στο πρότυπο IFC ή άλλα πρότυπα ανοιχτής μορφή ανταλλαγής πληροφοριών που παρέχει διαλειτουργικότητα και συνεργασία μεταξύ των μελών της ομάδας του έργου. Με αυτό τον τρόπο τα δεδομένα μπορούν να κοινοποιηθούν σε όλα τα μέλη της ομάδας και έτσι οι εμπλεκόμενοι μπορούν να περιηγηθούν στο μοντέλο για επεξεργασία, έλεγχο, ανάπτυξη σεναρίων κ.τ.λ.



Εικόνα 3.2: Τα δύο επίπεδα διαλειτουργικότητας ενός HBIM

3. 1. 2. 2 Τεχνολογίες αποτύπωσης

Στις μέρες μας, διαμέσου των επιτευγμάτων της ψηφιακής τεχνολογίας και των υπολογιστικών συστημάτων, υπάρχει η δυνατότητα ταχύτερης και οικονομικότερης αποτύπωσης κτηρίων, εκτάσεων γης, μνημείων, καθώς και εσωτερικών χώρων. Οι μηχανικοί διαθέτουν πλέον στο «οπλοστάσιό τους» εξοπλισμό και μεθόδους όπως: Drones, 3D Laser scanners, GPS, 3D handheld scanners και συστήματα σάρωσης με laser – LiDAR. Η χρησιμότητα των συγκεκριμένων συσκευών επεκτείνεται και πέρα των αποτυπώσεων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χαρτογράφηση, γεωδαίτηση, δημιουργία ψηφιακού μοντέλου κτηριακών εγκαταστάσεων και μνημείων ή έργων υποδομής, καθώς και για την επιτήρηση και την καταγραφή της πορείας κατασκευής ενός έργου (drones, laser scanning).

Με την ψηφιακή τεχνολογία παράγεται ένα επεξεργάσιμο προϊόν, το νέφος σημείων (point cloud), το οποίο μπορεί στη συνέχεια να διαμορφωθεί και να τροποποιηθεί με τέτοιο τρόπο, που να δίνει τελικά μία πιστή ψηφιακή τρισδιάστατη αναπαράσταση του φυσικού αντικείμενου (Μπελιτσάκος Π., 2020).

Είναι λοιπόν αναγκαίο να επιλεγούν και να οριστούν οι τεχνολογίες αποτύπωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης του μνημείου και του περιβάλλοντός του.

3. 1. 2. 3 Λογισμικό

Μέσα στις αποφάσεις που πρέπει να παρθούν σε αυτό το στάδιο είναι και η επιλογή των λογισμικών που θα χρησιμοποιηθούν για την μοντελοποίηση του μνημείου. Αρχικά, δεν υπάρχει ακόμα εξειδικευμένο λογισμικό για την φάση μοντελοποίησης της μεθοδολογίας HBIM (Martinelli et al, 2022). Έτσι, χρησιμοποιούνται τα εμπορικά λογισμικά των γνωστών οίκων τα οποία αφορούν διαδικασίες BIM, με το πιο κοινώς χρησιμοποιούμενο να είναι το Autodesk Revit.

Τα ελάχιστα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να συγκεντρώνει ένα λογισμικό σε κάθε περίπτωση, αφορούν την διαλειτουργικότητα με άλλα λογισμικά και συστήματα (GIS, πλατφόρμες διαδικτυακές και φορέων, κλπ.), ευελιξία στην αποθήκευση και επικαιροποίηση της πληροφορίας και δυνατότητα επιμέρους εξειδικευμένων αναλύσεων.

Επίσης, το λογισμικό χρειάζεται να παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας βιβλιοθηκών νέων παραμετρικών αντικειμένων αφού στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής του HBIM αυτό είναι αναγκαίο.

Είναι σημαντικό το λογισμικό που θα επιλεγεί να είναι ικανό να συμπεριλάβει όλες τις πληροφορίες που αφορούν το μνημείο και δεν είναι τεχνικές. Ένα μνημείο περιγράφεται και από πολιτιστικές και ιστορικές πληροφορίες, οι οποίες είναι απαραίτητο να καταγράφονται και να συνοδεύουν το μνημείο ή τα αντικείμενα του HBIM. Αυτού του τύπου πληροφορίες δεν υπάρχουν στις σύγχρονες κατασκευές και έτσι δημιουργείται μια ιδιαιτερότητα και μια επιπλέον δυσκολία στην ψηφιακή καταγραφή, αποθήκευση και διάθεση των στοιχείων που συνθέτουν το μνημείο.

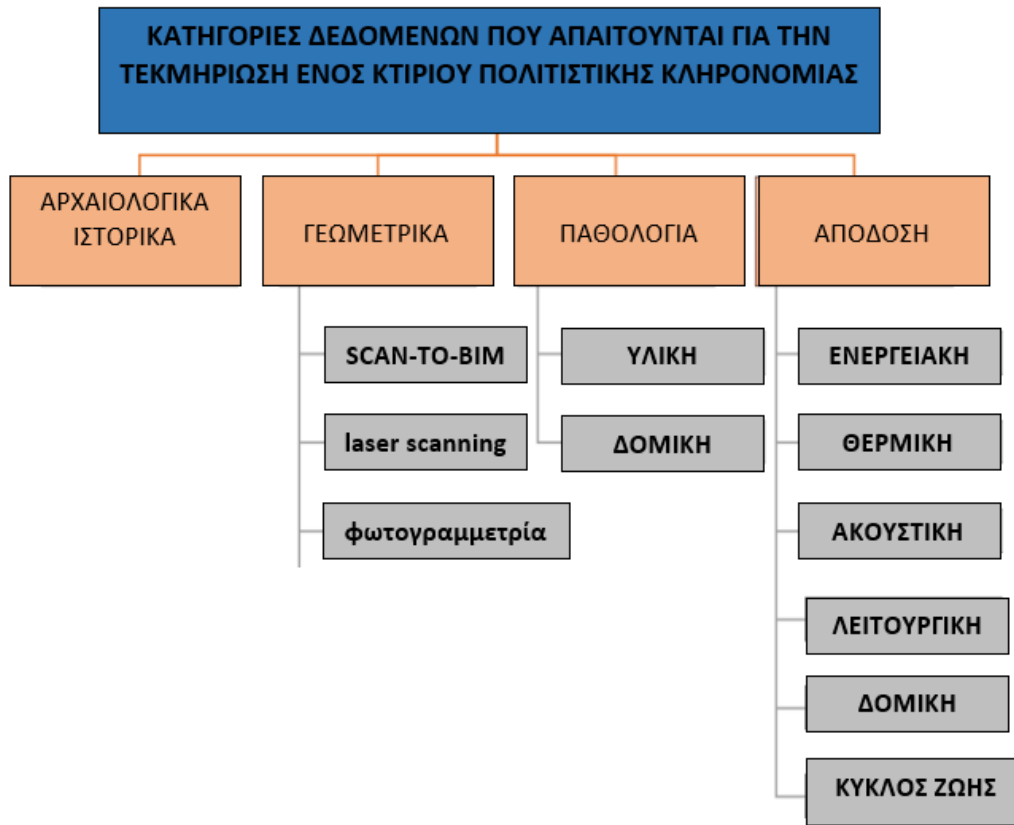
3.2 Συλλογή δεδομένων

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την συλλογή δεδομένων που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός μοντέλου HBIM. Επομένως, αφού οριστεί ο σκοπός και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν ορίζονται τα δεδομένα που απαιτούνται για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου HBIM.

Η φάση αυτή αποτελεί το πιο δύσκολο και κρίσιμο στάδιο στην διαδικασία του HBIM. Η ενδεδειγμένη συλλογή δεδομένων είναι ύψιστης σημασίας για την κατανόηση της κατασκευής ενός ιστορικού κτιρίου αφού στόχος της διαδικασίας HBIM είναι η αναπαράσταση των συστημάτων κατασκευής του (Martinelli et al ,2022). Επιπλέον, είναι συνήθως απαραίτητη η καταγραφή της παθολογίας του μνημείου μέσω της διαδικασίας της διαγνωστικής έρευνας η οποία περιλαμβάνει περίπλοκες ενέργειες με εξειλιγμένα όργανα.

Από τα παραπάνω θα προκύψει ένα ευρύ φάσμα δεδομένων, απαραίτητα για την διαδικασία της τεκμηρίωσης, μοντελοποίησης και οπτικοποίησης κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς, με τα δεδομένα να διαφέρουν τόσο ως προς το εύρος και τον σκοπό αλλά και ως προς τον τρόπο συλλογής τους και τον τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν (Khalil A. and Stravoravdis S.,2019).

Τα διαφορετικά αυτά δεδομένα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 4 κύριες ομάδες, με την κάθε μία να απαιτεί την δική της τεκμηρίωση. Οι τέσσερις αυτές κατηγορίες δεδομένων όπως φαίνονται και στην **Εικόνα 3.3** είναι: αρχαιολογικά-ιστορικά, γεωμετρικά, δεδομένα για την παθολογία και τέλος δεδομένα για την απόδοση του κτιρίου.



Εικόνα 3.3: Οι 4 κατηγορίες δεδομένων που απαιτούνται για έργα HBIM

3.2.1 Αρχαιολογικά και ιστορικά δεδομένα

Η ιστορική και αρχιτεκτονική ανάλυση αποτελείται από μελέτη και έρευνα για βιβλιογραφική και αρχειακή τεκμηρίωση, χάρτες και ιστορική χαρτογραφία και αποτελεί κατευθυντήρια γραμμή για όλες τις υπόλοιπες αναλύσεις. Προκειμένου να αναπτυχθεί ένα πιστό μοντέλο του υπό μελέτη κτιρίου απαιτείται μια αρχική συλλογή όλων των σχετικών ιστορικών πληροφοριών, ιδιαίτερα παλαιών εγγράφων, που ακολουθείται από την μελέτη προηγούμενων κατασκευαστικών διαδικασιών αλλά και τον προσδιορισμό των υλικών που εφαρμόστηκαν. Τα έγγραφα παλαιότερων αναστηλωτικών εργασιών ή ακόμα και η γνώση επεμβάσεων που προηγήθηκαν αποτελούν σημαντικά ζητήματα στην περίπτωση ενός ιστορικού κτιρίου (Sampaio et al 2021).

Η μεθοδολογία HBIM έχει την δυνατότητα να συνδυάσει την απτή γεωμετρία του κτιρίου με τις άυλες πτυχές του, όπως τα ιστορικά αρχιτεκτονικά σχέδια, τα ιστορικά κείμενα και τις αρχιτεκτονικές πληροφορίες. Αυτό το είδος έρευνας βοηθά στην καλύτερη κατανόηση της ιστορικής του μορφολογίας με την πάροδο του χρόνου αλλά και της τρέχουσας κατάστασης του κτιρίου. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις που τα ιστορικά δεδομένα για το κτίριο είναι λιγοστά, με αποτέλεσμα η διαδικασία για την άντληση των δεδομένων αυτών να ξεκινά αντίστροφα, δηλαδή, από την γεωμετρική αποτύπωση και την ανάπτυξη τρισδιάστατου μοντέλου.

Ένα παράδειγμα όπου η εφαρμόστηκε αυτού του είδους η διαδικασία είναι η περίπτωση της μοντελοποίησης της εκκλησίας της Αγίας Μαρίας στην περιοχή Scaria d'Intelvi της Ιταλίας που πραγματοποιήθηκε από τον Brumana et al.(2013). Η αρχική ακριβής τρισδιάστατη έρευνα όλης της εκκλησίας οδήγησε στην λεπτομερή ερμηνεία της γεωμετρίας και μορφολογίας των δομικών στοιχείων όπως τις τεχνικές δόμησης και τις περιόδους κατασκευής των θόλων που καλύπτουν την εκκλησία. Αυτό οδήγησε σε μία στρωματογραφική μελέτη που παρακολουθεί τις αλλαγές που υπέστη η εκκλησία με την πάροδο των αιώνων (Khalil A. and Stravoravdis S.,2019).

3.2.2 Γεωμετρικά δεδομένα

Η γνώση της θέσης ,του μεγέθους , του σχήματος και της ταυτότητας των στοιχείων ενός ιστορικού κτιρίου αποτελεί θεμελιώδες μέρος ενός έργου που σχετίζεται με την διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς (Historic England, 2018). Η έρευνα της γεωμετρίας του ιστορικού κτιρίου αποτελεί κύρια βάση για την γεωμετρική HBIM μοντελοποίηση και αποτελεί μία ακριβή πηγή γεωμετρικών πληροφοριών για το κτίριο αφού ένας από τους σκοπούς του HBIM είναι η τρισδιάστατη αναπαράσταση του μνημείου.

Ωστόσο επειδή τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς χαρακτηρίζονται από ακανόνιστη γεωμετρία, ανομοιογένεια υλικών, μεταβλητή μορφολογία αλλά και ζημιές, η απόκτηση γεωμετρικών πληροφοριών για το κτίριο εξακολουθεί να αποτελεί μία δύσκολη διαδικασία και είναι μία κρίσιμη πτυχή σε ένα HBIM.

Στις περιπτώσεις εφαρμογής BIM για υπάρχοντα κτίρια, το μοντέλο μπορεί να δημιουργηθεί είτε ως αναβάθμιση ενός υπάρχοντος μοντέλου είτε ως δημιουργία καινούριου. Στην Ευρώπη, περίπου το 80% των κτιρίων έχει κτιστεί πριν το 1990 και επομένως τα περισσότερα από αυτά δεν έχουν ένα μοντέλο BIM το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς διατήρησης και συντήρησης, πόσο μάλλον για ένα ιστορικό μνημείο(Rocha et al 2020). Εάν υπάρχουν διαθέσιμες χρήσιμες πληροφορίες για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, οι δραστηριότητες γεωμετρικής έρευνας επικεντρώνονται σε μετρήσεις επαλήθευσης αυτών. Συνήθως όμως για τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς δεν υπάρχουν πολλές διαθέσιμες ακριβείς πληροφορίες για την γεωμετρία με αποτέλεσμα οι δραστηριότητες να μετατοπίζονται προς μία πλήρη γεωμετρική έρευνα τόσο εσωτερικών όσο και εξωτερικών χώρων και του περιβάλλοντος του μνημείου (Martinelli et al 2022).

Στις περισσότερες περιπτώσεις λοιπόν που δεν υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες πληροφορίες εφαρμόζεται η αντίστροφη μηχανική και επί του παρόντος ακολουθείται η λεγόμενη διαδικασία scan-to-BIM. Το scan-to-BIM αναφέρεται στην ροή εργασιών που ρυθμίζει την διαδικασία τοπογραφίας, μοντελοποίησης και διαχείρισης πληροφοριών επιτρέποντας την απόκτηση ενός συστήματος πληροφοριών που σχετίζεται με την γεωμετρική τεκμηρίωση, ικανή να μεταμορφώσει την ακατέργαστη μάζα δεδομένων, που συχνά είναι ένα νέφος σημείων σε ένα έξυπνο μοντέλο δομημένο με σημασιολογικές πληροφορίες (Volk et al 2014) .

Αποτελεί εργαλείο για λεπτομερή αποτύπωση το οποίο μπορεί να δώσει πολύ ακριβή αποτελέσματα. Η διαδικασία αυτή βασίζεται τα τελευταία χρόνια κυρίως σε δύο τεχνικές: την φωτογραμμετρία και την τρισδιάστατη σάρωση με λέιζερ **[Εικόνα 3.4]** που αναφέρονται και πιο πάνω. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έφερε αυτές τις δύο μεθόδους οι οποίες διευκολύνουν την εκτέλεση αρχιτεκτονικών ερευνών επιτυγχάνοντας την υψηλή ακρίβεια αποτύπωσης λεπτομερειών του κτιρίου. Είναι κατάλληλες τεχνικές έρευνας για χρήση σε αντικείμενα υψηλής

πολυπλοκότητας και θεωρούνται και οι δύο ως τεχνικές μαζικής συλλογής δεδομένων που δημιουργούν ένα μοντέλο σχεδόν πανομοιότυπο με την φυσική γεωμετρία.

Πλεονέκτημα έναντι των παραδοσιακών μεθόδων αποτύπωσης είναι κυρίως η μείωση του χρόνου εργασίας στο πεδίο και η αυτοματοποίηση ενεργειών με αποτέλεσμα να υπάρχει περισσότερος χρόνος για άλλες διαδικασίες όπως η μοντελοποίηση και η ανάλυση του κτιρίου. Το νέφος σημείων που αποκτάται αντιπροσωπεύει την καταγεγραμμένη γεωμετρία ολόκληρου του κτιρίου και μπορεί να εισαχθεί σε περιβάλλον BIM για οπτικοποίηση, τεκμηρίωση και μοντελοποίηση του μνημείου (Rocha et al 2020).



Εικόνα 3.4: Παράδειγμα σαρωτή λέιζερ

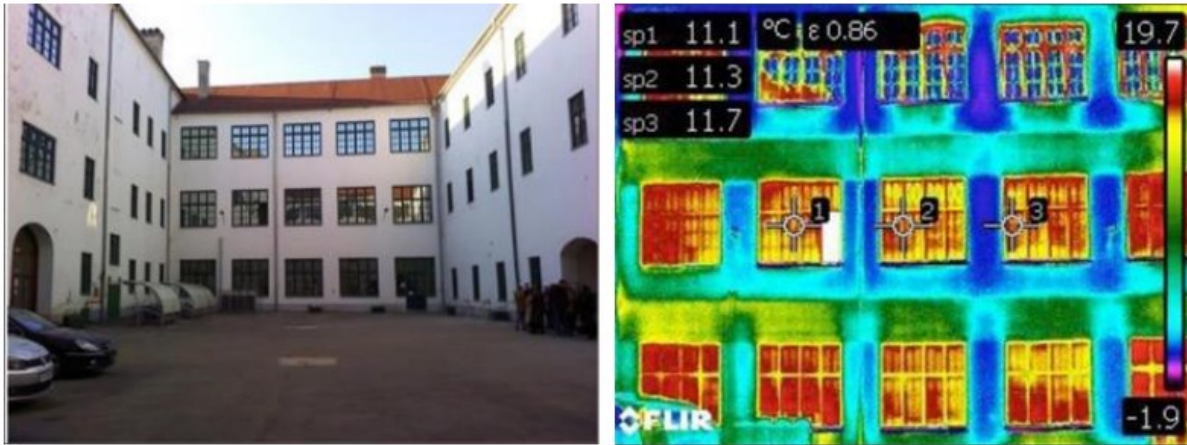
3.2.3 Παθολογία του κτιρίου

Η διερεύνηση της παθολογίας των κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς έχει σημαντικό αντίκτυπο στις αποφάσεις και τις διαδικασίες συντήρησης, ανακαίνισης και διαχείρισής τους. Οι έρευνες παθολογίας επικεντρώνονται στην μελέτη της ποιότητας των υλικών, μελετούν τις μεθόδους κατασκευής, την υποβάθμιση των υλικών αλλά και την δομική αποσύνθεση που μπορεί να προκύψει από λάθη στον σχεδιασμό ή λανθασμένες επεμβάσεις.

Η έρευνα παθολογίας του μνημείου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο ενότητες: την παθολογία των υλικών και την δομική παθολογία. Η δε πραγματοποίηση της έρευνας αυτής γίνεται με χρήση διαφόρων εργαλείων, όμως τα εργαλεία και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και στην γεωμετρική τεκμηρίωση παραμένουν τα πιο χρησιμοποιούμενα.

Όσον αφορά την έρευνα της παθολογίας υλικών στοχεύει στον χαρακτηρισμό των ιδιοτήτων των υλικών και στην εύρεση ζημιών. Όπως αναφέρθηκε, η φωτογραμμετρία και η σάρωση με λέιζερ μπορούν να δώσουν πληροφορίες για το υλικό εξωτερικά, ωστόσο δεν έχουν την δυνατότητα να δώσουν πληροφορίες για το εσωτερικό του υλικού. Μία καινοτόμος χρήση της θερμικής σάρωσης μπορεί να συμβάλει στην έρευνα αυτή ως μη καταστροφική μέθοδος που θα είναι χρήσιμη στην

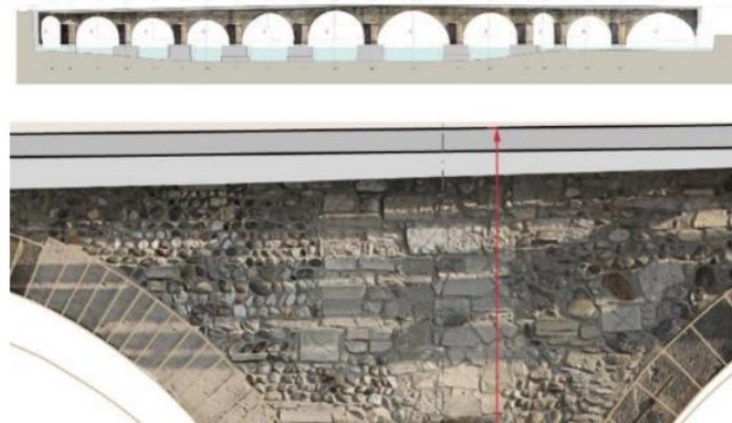
διερεύνηση του κελύφους του κτιρίου και στον εντοπισμό των δομικών στοιχείων και των ιδιοτήτων των υλικών, όπως τυχόν αποσύνθεση, ζημιές, υγρασία. Οι Stober et.al (2018) εφάρμοσαν τη μέθοδο της θερμικής σάρωσης στην μελέτη περίπτωσης στο Παλάτι της Σλαβονικής Γενικής Διοίκησης στο Όσιγιεκ στην βόρεια Κροατία [Εικόνα 3.5] το οποίο κτίστηκε τον 18^ο αιώνα. Σκοπός ήταν να αναγνωριστούν τα υλικά που δεν είναι ορατά και το δομικό σύστημα της αίθριας πρόσοψης.



Εικόνα 3.5: Εφαρμογή θερμικής σάρωσης για αναγνώριση μη ορατών υλικών σε Παλάτι στην Κροατία

Η έρευνα της δομικής παθολογίας από την άλλη, αποτελεί μία πρόκληση και μία από τις κυριότερες πτυχές για τις απαιτήσεις της διατήρησης κτιρίων κληρονομιάς. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελεί μέρος της γεωμετρικής έρευνας και αποτύπωσης που αναφέρεται πιο πάνω. Ουσιαστικά και σε αυτό το στάδιο, γίνεται τρισδιάστατη ψηφιακή έρευνα, με την βοήθεια σαρωτή λέιζερ για την καταγραφή του σχήματος και φωτογραμμετρίας για λήψη ορθοφωτογραφιών που παρέχουν φωτορεαλιστική οπτικοποίηση. Στο κομμάτι αυτό ερευνάται η στατικότητα και η φέρουσα ικανότητα του φορέα με μη καταστροφικές μεθόδους ανάλυσης.

Ένα παράδειγμα εφαρμογής έρευνας της δομικής παθολογίας πραγματοποιήθηκε στην γέφυρα “Azzone Visconti” στην περιοχή Lecco στην Ιταλία (Banfi et. al 2017). Με την βοήθεια σαρωτή λέιζερ κατέγραψαν το ακανόνιστο σχήμα της γέφυρας και στην συνέχεια με φωτογραμμετρία δημιούργησαν ακριβείς ορθοφωτογραφίες των υψομέτρων παρέχοντας έτσι φωτορεαλιστικές εικόνες [Εικόνα 3.6].



Εικόνα 3.6: Ορθοφωτογραφίες υψομέτρων γέφυρας για έρευνα της δομικής παθολογίας

3.2.4 Απόδοση του κτιρίου

Η τεκμηρίωση της απόδοσης του κτιρίου μπορεί να συμβάλει στις αποφάσεις σχεδιασμού, ανακατασκευής και συντήρησής του. Η απόδοση του κτιρίου μπορεί να αντιπροσωπεύει πολλές πτυχές του όπως την ενεργειακή, θερμική και ακουστική του απόδοση καθώς και την λειτουργική και δομική του απόδοση.

Ένα κτίριο και ειδικότερα ένα μνημείο δέχεται πληθώρα επιδράσεων από το εξωτερικό του περιβάλλον (μετεωρολογικές, κραδασμοί, ρύπανση, φυσικές καταστροφές κλπ) και το εσωτερικό του περιβάλλον (υγρασία, εσωτερική ρύπανση κ.α.). Οι επιδράσεις αυτές μπορούν να αποβούν καταστρεπτικές για τμήματά του και με την πάροδο του χρόνου για όλο το μνημείο. Είναι λοιπόν προφανή τα οφέλη από την τεκμηρίωση της απόδοσης του μνημείου και την προσομοίωση βιοκλιματικών, στατικών, ενεργειακών και άλλων χαρακτηριστικών του.

Γενικότερα, το HBIM με τον τρόπο που λειτουργεί επιτρέπει την επαναληπτική ανάλυση και προσομοίωση των ιστορικών κτιρίων. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως Building Performance Analysis (BPA) , (Brumana et.al 2013) . Παρόλο που η τεχνική BPA χρησιμοποιείται κατά την φάση σχεδιασμού των συμβατικών κτιρίων με σκοπό την κατασκευή στη συνέχεια έργων με βέλτιστη απόδοση, στην περίπτωση των υφιστάμενων μνημείων χρησιμοποιείται για να διαπιστώσει τα στοιχεία και λειτουργίες που χρειάζονται παρέμβαση και να περιγράψει με ποιοτικό και ποσοτικό τρόπο εναλλακτικά σενάρια. Έτσι, το HBIM δίνει την δυνατότητα να εκτιμηθούν μεταξύ άλλων στοιχεία και παράμετροι που σχετίζονται με την στατική, ενεργειακή και βιοκλιματική του απόδοση.

Η ανάλυση αυτή βασίζεται στην αρχική αξιολόγηση της απόδοσης και βιωσιμότητας του κτιρίου, αφού τα μνημεία αποτελούν υφιστάμενες κατασκευές. Και εδώ, η συνηθέστερη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η σάρωση με λέιζερ τόσο για λόγους αποτύπωσης όσο και για λόγους διαγνωστικής ανάλυσης των υλικών.

3.3 Ανάπτυξη του μοντέλου HBIM

Εφόσον ολοκληρωθούν τα δύο προηγούμενα βήματα της μεθοδολογίας, ερχόμαστε τελικά στην τελευταία φάση περνώντας πλέον σε περιβάλλον τεχνολογίας και λογισμικών BIM ώστε να δημιουργηθεί το ολοκληρωμένο HBIM.

Η ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου μοντέλου «όπως κατασκευάστηκε» («as built»), η αναπαράσταση σημασιολογικών πληροφοριών και ο προσδιορισμός των παραμετρικών οικογενειών αρχιτεκτονικών αντικειμένων πραγματοποιείται στην τρίτη και τελευταία φάση δημιουργίας του HBIM ενός ιστορικού κτιρίου. Έτσι, τελικά προκύπτει ένα μοντέλο το οποίο ενσωματώνει σημασιολογικά, γεωμετρικά και χωρικά δεδομένα και προσφέρεται σε όλους όσους συνεργάζονται στο πλαίσιο του έργου ανάπτυξης ή αποκατάστασης του κτιρίου κληρονομιάς.

Τα επιμέρους στάδια που οδηγούν στο τελικό αποτέλεσμα είναι: η τρισδιάστατη αναπαράσταση του ιστορικού κτιρίου, έπειτα η σημασιολογική ταξινόμηση και παραμετρική μοντελοποίηση και τέλος συνδυάζοντας τα δύο αυτά προκύπτει το τελικό HBIM. Οι διαδικασίες για καθένα από τα στάδια αυτά αναπτύσσονται πιο κάτω.

3.3.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση του ιστορικού οικοδομήματος

Όπως αναφέρεται στο 3. 1. 2. 3 για την μοντελοποίηση του ιστορικού οικοδομήματος δεν υπάρχει ακόμα ειδικό λογισμικό που να εξυπηρετεί τις ανάγκες κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς, οπότε χρησιμοποιούνται αυτά που ήδη υπάρχουν. Για οποιοδήποτε έργο βασίζεται στην μεθοδολογία HBIM βασικό βήμα είναι η λεπτομερής ψηφιακή αποτύπωση των περίπλοκων φυσικών στοιχείων του ιστορικού κτιρίου, χώρου ή μνημείου και η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου που θα αποτελέσει την γεωμετρική του αναπαράσταση και τεκμηρίωση (Mansuri et al 2022).

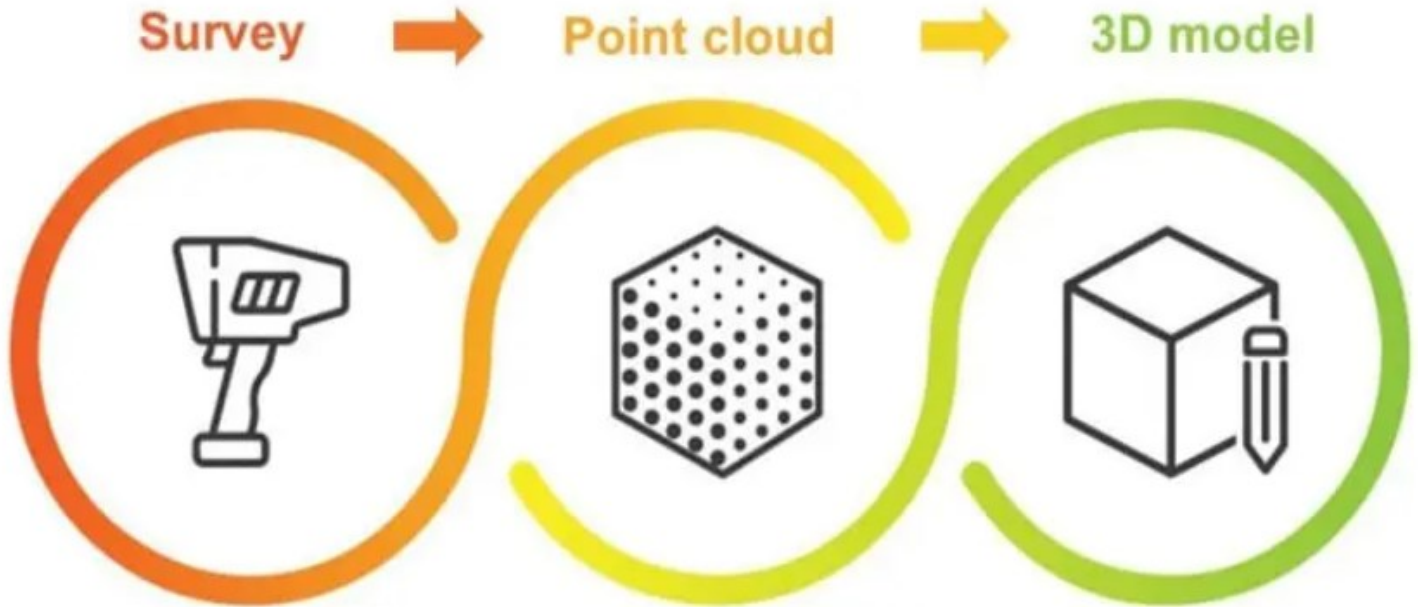
Η δημιουργία ενός μοντέλου BIM (και κατά συνέπεια και HBIM) για υπάρχουσες κατασκευές είναι βασικά μία μεθοδολογία αντίστροφης μηχανικής. Όπως αναφέρθηκε στο 3.2.2, η προσέγγιση που χρησιμοποιείται είναι η scan-to-BIM με πρωταρχικό της στάδιο να είναι η λήψη γεωχωρικών δεδομένων με την χρήση ψηφιακών τεχνολογικών, κυρίως φωτογραμμετρίας και σάρωσης με λέιζερ οι οποίες μπορούν να αποτυπώσουν τα πολύπλοκα σχήματα των ιστορικών κατασκευών.

Το νέφος σημείων που προκύπτει αντιπροσωπεύει την επίκτητη επιφάνεια του συνόλου του κτιρίου «όπως κατασκευάστηκε» και περιέχει πληθώρα πληροφοριών που αφορούν διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς όπως η τοπογραφική θέση του μνημείου, η υφή των υλικών, το χρώμα, η αρχιτεκτονική μορφολογία και η κατάσταση διατήρησής του (Samraio et.al 2021).

Με κατάλληλη επεξεργασία αυτού του νέφους σημείων και σε συνδυασμό με άλλες επισκοπικές μεθόδους (π.χ. φωτογραφίες, ιστορικά κείμενα και περιγραφές) προκύπτουν διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας, σύνθετης και φαινομενικά ασύνδετης.

Η εισαγωγή και η προσαρμογή του νέφους σημείων σε περιβάλλον BIM δημιουργεί την τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση του κτιρίου πολιτιστικής κληρονομιάς. **[Εικόνα 3.7]**

Η ποσότητα της γνώσης που αποκτάται και η χρησιμότητά της είναι αδιαμφισβήτητη αφού αποτελεί μία αξιόπιστη βάση η οποία αφού βρίσκεται σε περιβάλλον BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μοντελοποίηση και ανάλυση πληθώρας διαδικασιών που απαιτούν την γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου.



Εικόνα 3.7: Διαδικασία Scan-to-BIM (www.biblus.accasoftware.com)

3.3.2 Σημασιολογική ταξινόμηση και παραμετρική μοντελοποίηση

Οι μεθοδολογίες BIM και HBIM χρησιμοποιούν τόσο σημασιολογική όσο και γεωμετρική περιγραφή των κατασκευαστικών στοιχείων. Είναι ένα από τα στοιχεία που διαφοροποιεί τα παραγόμενα μοντέλα αυτής της μεθοδολογίας από οποιοδήποτε απλό 3D μοντέλο.

Η εισαγωγή του πυκνού νέφους σημείων στο επιλεγμένο λογισμικό, ακολουθείται από την λεγόμενη σημασιολογική τμηματοποίηση και ταξινόμηση των στοιχείων του κτιρίου. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα παραμετρικό μοντέλο από το οποίο μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμες πληροφορίες.

Με τον όρο σημασιολογική ταξινόμηση εννοούμε την πρακτική διάσπασης και ανάλυσης των κατασκευαστικών και τυπικών στοιχείων του κτιρίου προκειμένου να εντοπιστούν ομοιογενή στοιχεία με το ίδιο περιεχόμενο πληροφοριών (Bianchini C. and Potestà G. 2021). Ένα σημασιολογικό μοντέλο περιλαμβάνει πληροφορίες που περιγράφουν το νόημα των στοιχείων του εκφράζοντας το περιεχόμενό του με ρητό και κατανοητό τρόπο επιτρέποντας σε ανθρώπους και μηχανές να διαβάσουν, να κατανοήσουν και να συνάγουν γνώσεις με βάση την ιεραρχία του.

Παράλληλα, παραμετρική μοντελοποίηση είναι η διαδικασία δημιουργίας ενός ψηφιακού μοντέλου με βάση μία σειρά προ-προγραμματισμένων κανόνων έτσι ώστε αλλαγές στον σχεδιασμό να ενημερώνουν αυτόματα τα αντικείμενα του μοντέλου. Η δημιουργία παραμετρικών οικογενειών έχει το πλεονέκτημα ότι κάθε στοιχείο μπορεί να επεξεργαστεί με βάση παραμέτρους και έτσι να εξοικονομείται χρόνος κάνοντας την ροή εργασίας πολύ πιο αποτελεσματική. Την ίδια στιγμή οι παραμετρικές αυτές βάσεις δεδομένων διευκολύνουν τον συνεργατικό σχεδιασμό μεταξύ των εμπλεκόμενων και μειώνουν τον χρόνο που απαιτείται για την μοντελοποίηση (Cheng and Yen, 2015).

Η κατηγοριοποίηση των κατασκευαστικών στοιχείων για την κατανόηση της λειτουργίας τους παίζει θεμελιώδη ρόλο στην φάση μοντελοποίησης και την απόδοση σημασιολογικών πληροφοριών για τα επιμέρους στοιχεία του μνημείου επιτρέποντας καλύτερη κατανόηση του ρόλου και της συμπεριφοράς κάθε στοιχείου που συνθέτει τον δομικό οργανισμό (Scianna et al, 2021).

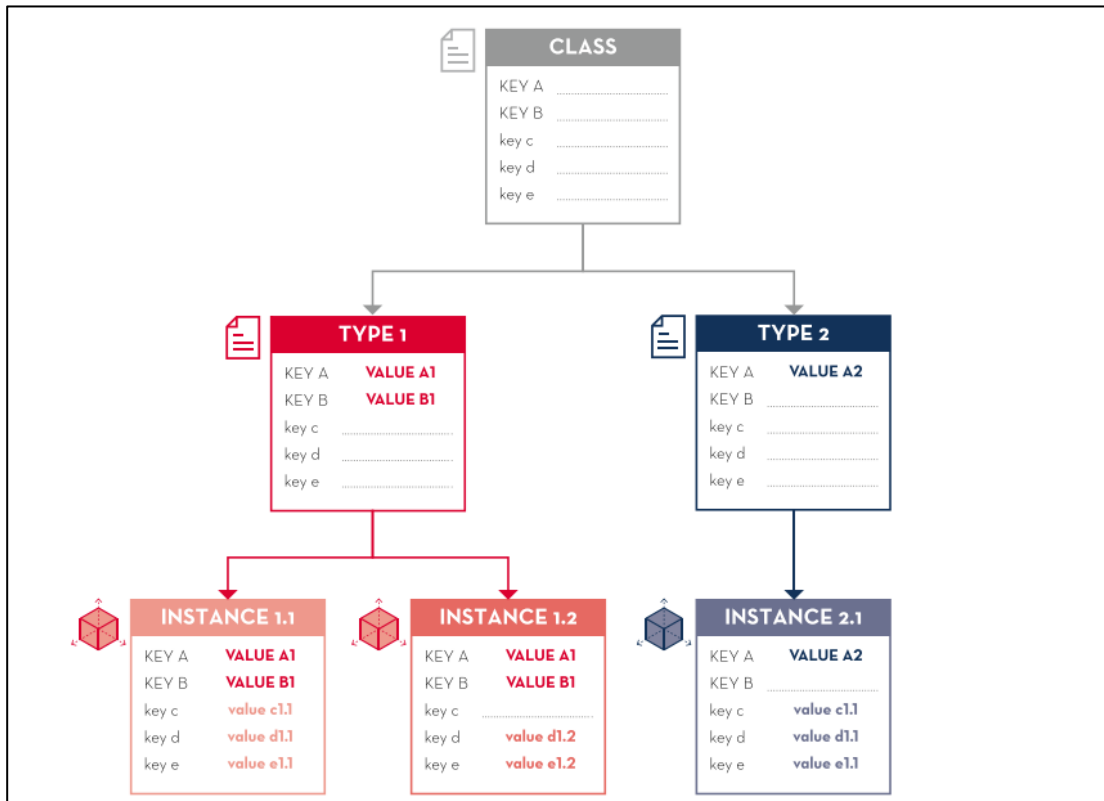
Με την κατηγοριοποίηση των δομικών και άλλων στοιχείων του κτιρίου γίνεται ευκολότερος ο προγραμματισμός και η εκτέλεση της σωστής μοντελοποίησης και παραμετροποίησης κάθε στοιχείου. Η δομή διάσπασης του κτιρίου σε δομικά στοιχεία που θα μοντελοποιηθούν ως μεμονωμένα αντικείμενα εξαρτάται τόσο από το δομικό σύστημα όσο και από το εργαλείο BIM που επιλέχθηκε και τους προκαθορισμένους κανόνες ιεραρχίας και συμπεριφοράς. Αυτή η ιεράρχηση εάν είναι καλά σχεδιασμένη, πέραν της χρήσης της για διαχείριση του μοντέλου δημιουργεί ένα μοντέλο που λειτουργεί ως αρχιτεκτονικό και κατασκευαστικό σύστημα που παρέχει λεπτομερή αναγνώριση, ταξινόμηση και αναπαράσταση του κτιρίου: μια διαδικασία περισσότερο για την ενίσχυση της γνώσης και όχι μόνο για τεκμηρίωση.

Η διαδικασία αυτή της κατηγοριοποίησης και ταξινόμησης είναι απαραίτητη για την εφαρμογή της τεχνολογίας BIM, πολύ περισσότερο στην περίπτωση του HBIM αφού τα ιστορικά μνημεία χαρακτηρίζονται από ιδιαιτερότητες που προκύπτουν από την κατασκευή τους και τις επεμβάσεις που έχουν δεχτεί στο πέρασμα των χρόνων. Βέβαια το σύστημα ταξινόμησης διαφοροποιείται από τα γνωστά συστήματα:

Το πιο διαδεδομένο σύστημα ταξινόμησης που υπάρχει αυτή την στιγμή είναι μεταξύ άλλων το Uniclass 2015 του Ηνωμένου Βασιλείου το οποίο προορίζεται να καλύψει όλους τους κατασκευαστικούς τομείς.

Σε ένα μοντέλο BIM που αντιπροσωπεύει ένα σύγχρονο κτίριο κάθε στοιχείο μοντελοποιείται ταξινομημένο σε κατασκευαστικές κατηγορίες με ιδιότητες και σχέσεις με άλλα αντικείμενα ώστε να προσομοιωθεί η συμπεριφορά του. Γενικότερα, σε περιβάλλον BIM για νέες κατασκευές τα στοιχεία του κτιρίου ταξινομούνται με μία δενδροειδή δομή [Εικόνα 3.8]. Συγκεκριμένα (Cursi et al, 2022):

1. Μία κατηγορία, η οποία αναφέρεται τεχνικά με τον όρο «τάξη» (class) και αφορά μία ευρεία λειτουργία της κατασκευής (π.χ. τοίχος, κολώνα, στέγη)
2. Μία ή περισσότερες υποκατηγορίες που ονομάζονται «οικογένειες» ή «τύποι» (type) και υποδεικνύουν ορισμένες συγκεκριμένες παραμέτρους και ιδιότητες (π.χ. τοίχοι με δεδομένο πάχος ή υλικό)
3. Ένα παράδειγμα (instance), που αποτελεί επιπλέον διαχωρισμό των τύπων και αναφέρεται σε μεμονωμένα στοιχεία που έχουν δημιουργηθεί στο συγκεκριμένο έργο. (π.χ. κυκλικό υποστύλωμα από σκυρόδεμα)



Εικόνα 3.8: Ταξινόμηση στοιχείων σε περιβάλλον BIM

Στην περίπτωση του HBIM δεν υπάρχουν οι παραπάνω προκαθορισμένες έτοιμες διαθέσιμες ταξινομήσεις για ένα κτίριο πολιτιστικής κληρονομιάς. Είναι όμως απαραίτητο στοιχείο για να γίνει μοντελοποίηση με εφαρμογή της τεχνολογίας BIM αφού αυτή βασίζεται στην παραμετροποίηση ως εργαλείο παραγωγής και ελέγχου που συνεπάγεται ορισμένη γεωμετρική και τυπική απλοποίηση. Αυτή η απλοποίηση διευκολύνει τους μετέπειτα μετασχηματισμούς που συνδέονται με τις αρχιτεκτονικές διεργασίες που απαιτούν απομνημόνευση της ιχνηλασιμότητάς τους. Υπάρχει βέβαια το μειονέκτημα ότι η χρήση των υφιστάμενων παραμετρικών εργαλείων περιορίζει την λεπτομερή μοντελοποίηση της ιστορικής αρχιτεκτονικής (Conti et al, 2022) .

Στην πραγματικότητα όμως η παραμετροποίηση των στοιχείων που συνθέτουν ένα κτίριο πολιτιστικής κληρονομιάς είναι πολύ πιο περίπλοκη λαμβάνοντας υπόψη τις ετερογενείς γεωμετρίες και τα μοναδικά στοιχεία ενός ιστορικού οικοδομήματος (Chiabrando, Sammartano, Spano 2016) .

Έτσι, εδώ επέρχεται μία βασική πρόκληση της μεθοδολογίας HBIM και μία διαφορά ως προς το BIM: Οι ήδη υπάρχουσες ταξινομήσεις και οικογένειες που υπάρχουν τις περισσότερες φορές σε περιβάλλον BIM δεν είναι εφαρμόσιμες για τα αρχιτεκτονικά στοιχεία ενός ιστορικού κτιρίου. Προς το παρόν, οι τυπικές βιβλιοθήκες παραμετρικών αντικειμένων στα χρησιμοποιούμενα συστήματα μοντελοποίησης που βασίζονται σε BIM δεν περιλαμβάνουν ακόμη οικογένειες προσαρμοσμένες στις ιδιαιτερότητες κάθε μεμονωμένου κτιρίου καθώς τα ιστορικά κτίρια χαρακτηρίζονται από στοιχεία των οποίων η γεωμετρία και η μορφολογία είναι μοναδική με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλες και εξαιρετικά περιορισμένες για μία ακριβή αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής γεωμετρίας τους (Aricò M. and Lo Brutto, M. 2022).

Αυτό απαιτεί την δημιουργία των απαραίτητων οικογενειών συγκεκριμένων παραμετρικών αντικειμένων, χαρακτηριστικών καταρχήν για το συγκεκριμένο μνημείο που μοντελοποιείται κάθε φορά και που ενδεχομένως θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε παρόμοια μνημεία.

Έτσι, τα επί του παρόντος διαθέσιμα τυπικά εργαλεία σε ένα μεγάλο βαθμό δεν μπορούν να μοντελοποιήσουν με ακρίβεια τις ιδιαιτερότητες και τις ανωμαλίες ενός κτιρίου πολιτιστικής κληρονομιάς, κάτι που είναι απαραίτητο για μοντέλα HBIM που στοχεύουν στην συντήρηση (Boeykens et al. 2018) .

Μέχρι σήμερα έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την κατασκευή βιβλιοθηκών παραμετρικών αντικειμένων για ιστορικά κτίρια (Wazeri, 2014) (Baik et al., 2014) (Chevrier et al., 2010) , όμως αυτό το ζήτημα εξακολουθεί να αποτελεί ένα σημαντικό περιορισμό για το HBIM και απαιτεί περαιτέρω έρευνα για την αντιμετώπιση διαφορετικών κτιρίων και ιστορικών εποχών και την δημιουργία εκτεταμένων βιβλιοθηκών. Επομένως, η κατασκευή βιβλιοθηκών παραμετρικών αντικειμένων για στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελεί θεμελιώδη απαίτηση για την μεθοδολογία HBIM. Αυτό είναι απαραίτητο να γίνει ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί μία ανάλυση του ιστορικού περιουσιακού στοιχείου σε κατηγορίες.

Προκύπτει λοιπόν ότι στο στάδιο αυτό της σημασιολογικής ταξινόμησης και έπειτα της παραμετρικής μοντελοποίησης, αναμένονται τροποποιήσεις σε σχέση με τις διαδικασίες για νέες κατασκευές.

Στην μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίων κληρονομιάς εκτός από ιστορικά δεδομένα απαιτούνται επίσης δεδομένα δομικών υλικών για την πλήρη κατανόηση της ιστορικής δομής ειδικά επειδή μπορεί να διαφέρουν από μνημείο σε μνημείο. Ως εκ τούτου τα παραμετρικά αντικείμενα ενός HBIM θα πρέπει να μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να απεικονίζουν την τρέχουσα κατάσταση διατήρησης ενός μνημείου. Ουσιαστικά, απαιτείται αρκετή προεργασία ώστε να δημιουργηθούν οι απαραίτητες νέες οικογένειες παραμετρικών αντικειμένων, κάτι που είναι αρκετά χρονοβόρο όμως κρίνεται απαραίτητο προκειμένου να επιτευχθεί ακριβής σημασιολογική αναπαράσταση του μνημείου.

Κάποια χαρακτηριστικά αντικείμενα κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς για τα οποία χρειάζεται να γίνει αυτή η διαδικασία είναι οι θόλοι, οι καμάρες, στέγες, παραστάδες, κίονες κ.α. Τα χαρακτηριστικά των στοιχείων όπως υλικό, κατάσταση, ηλικία, αρχιτεκτονική, χρώμα και σημασία αναφέρονται σε μη γεωμετρικές πληροφορίες οι οποίες πρέπει να περιέχονται οπωσδήποτε σε ένα HBIM, σε αντίθεση με το BIM για σύγχρονες κατασκευές που δεν απαιτούν τέτοιου είδους δεδομένα.

Έτσι, για κάθε στοιχείο χρειάζεται να εισαχθεί ένα μοναδικό αναγνωριστικό (ID) ώστε να παρέχει μία πιο δομημένη και αποτελεσματική ταξινόμηση που βελτιώνει την συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων αφού πληροφορίες σχετικά με ένα συγκεκριμένο αντικείμενο μπορούν να ενημερωθούν και να ανακτηθούν αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο αναγνωριστικό (Khan et al 2022). Ταυτόχρονα, κάθε στοιχείο μπορεί να υποδιαιρεθεί σε πολλαπλές σημασιολογικές επιφάνειες που θα εμπλουτίζουν με πληροφορίες κάθε μεμονωμένο στοιχείο (Rebec et al, 2022). Για παράδειγμα, μπορεί να περιέχει πληροφορίες σχετικά με την εξειδίκευση στην οποία ανήκει το υλικό, την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ή ποιες παρεμβάσεις πρέπει να γίνουν.

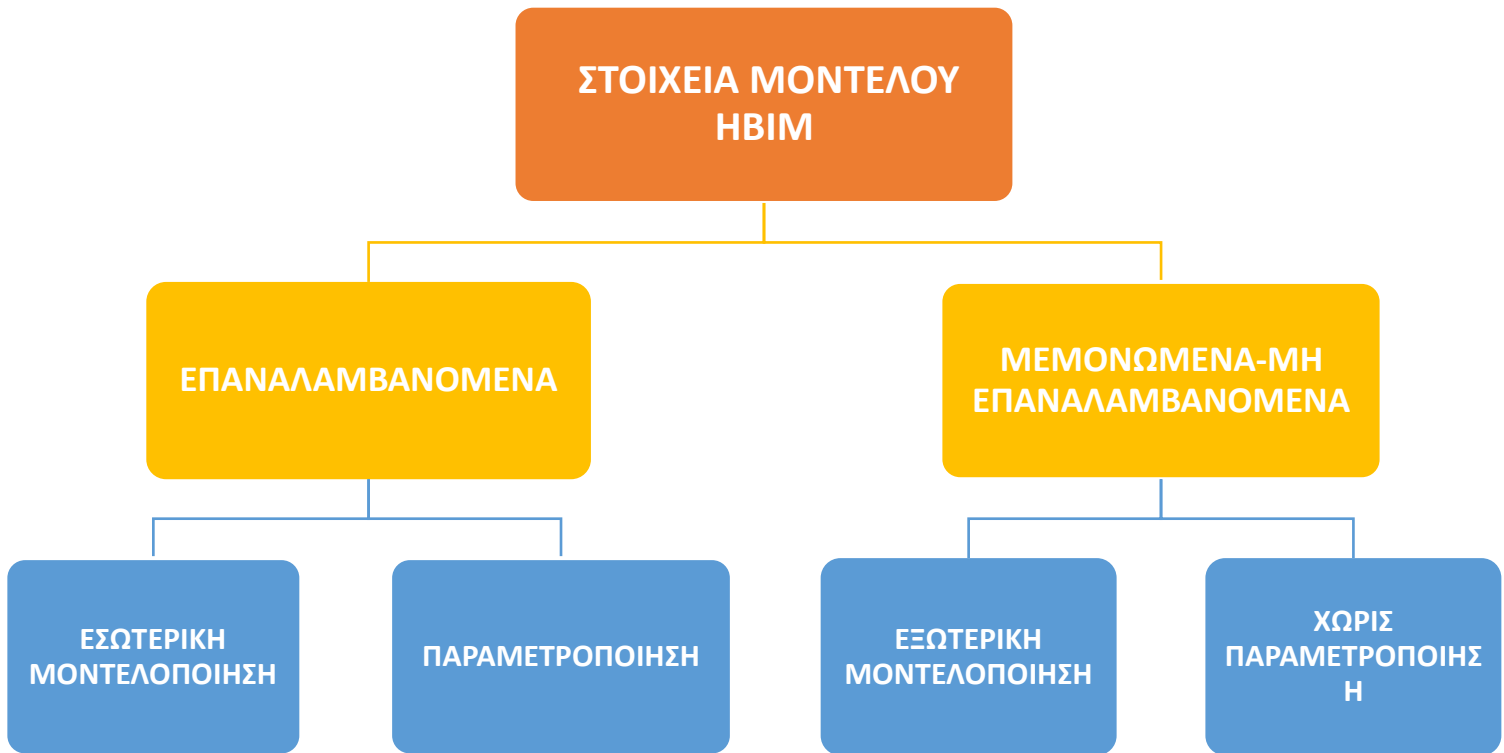
Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την μοντελοποίηση σε ένα HBIM μπορούμε να πούμε ότι τα στοιχεία του μοντέλου HBIM διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: **[Εικόνα 3.9]**

- τα στοιχεία που θα επαναλαμβάνονται μέσα στο μοντέλο ή τα αναπαραγόμενα στοιχεία
- και αυτά που δεν μπορούν να αναπαραχθούν καθώς αντιπροσωπεύουν ένα μεμονωμένο αντικείμενο όπως ορισμένα αρχιτεκτονικά στοιχεία, σταθερά έπιπλα ή διακοσμητικά στοιχεία και κατά συνέπεια δεν πρόκειται να επαναλαμβάνονται

Η μοντελοποίηση των αναπαραγόμενων στοιχείων πραγματοποιείται «εσωτερικά» στο ίδιο λογισμικό ενώ για τα μεμονωμένα στοιχεία πραγματοποιείται «εξωτερική» μοντελοποίηση με χρήση άλλου λογισμικού και επακόλουθη εισαγωγή τους στην πλατφόρμα BIM.

Η γεωμετρία των επαναλαμβανόμενων στοιχείων ελέγχεται από μία σειρά παραμέτρων επιτρέποντας έτσι την μεταβλητότητά τους ανά πάσα στιγμή ενώ η γεωμετρία των μεμονωμένων αντικειμένων που δεν επαναλαμβάνονται στο μοντέλο δεν υπόκειται στη μεταβλητότητα παραμέτρων.

Για τα στοιχεία αυτά που αντιπροσωπεύουν μοναδικά αντικείμενα του ιστορικού κτιρίου απαιτείται να δημιουργηθεί ένα ξεχωριστό μοντέλο μεγάλης ακρίβειας και τυπικής ομοιότητας με το πραγματικό αρχιτεκτονικό αντικείμενο (Angulo-Fornos R. and Castellano-Román M. , 2020).



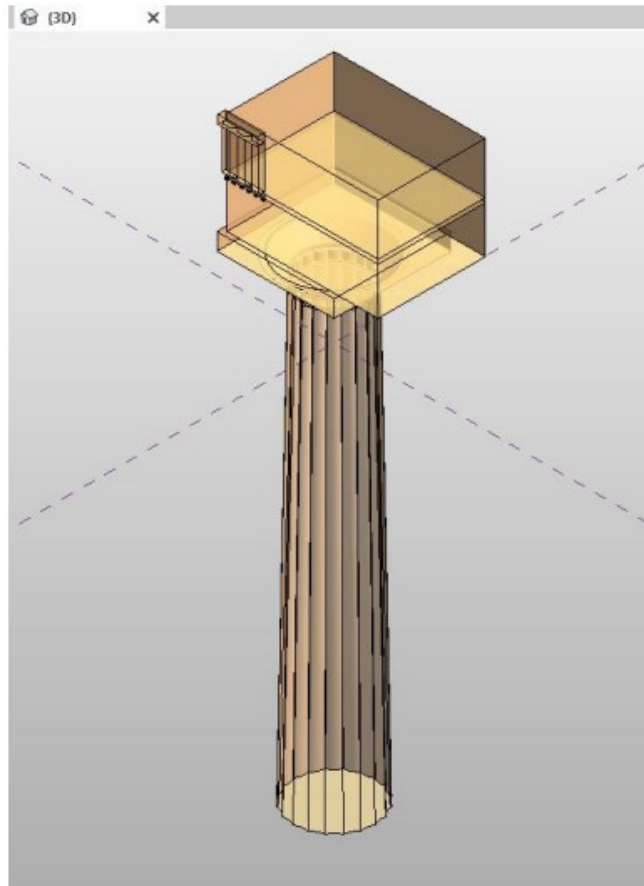
Εικόνα 3.9: Κατηγορίες στοιχείων μοντελοποίησης σε ένα HBIM

3. 3. 2. 1 Παράδειγμα δημιουργίας βιβλιοθήκης σε περιβάλλον BIM για δωρικές κολώνες:

Εδώ παρουσιάζεται ένα ιδιαίτερο παράδειγμα δημιουργίας μίας βιβλιοθήκης παραμετρικού αντικειμένου για δωρικές κολώνες σε περιβάλλον BIM, που πραγματοποιήθηκε από μέλη της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ (Α. Kontoudaki, Α. Georgopoulos, 2022).

Είναι γνωστό πως οι δωρικές κολώνες αποτελούν ένα από τα κύρια αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά της Αρχαίας Ελλάδας, με κύριο χαρακτηριστικό τους την λιτότητα και την μορφική απλότητα. Προφανώς, ένα τέτοιο αρχιτεκτονικό στοιχείο είναι μοναδικό και δεν εμφανίζεται στις ήδη υπάρχουσες βιβλιοθήκες παραμετρικών αντικειμένων του BIM. Έτσι, Έλληνες πήραν την πρωτοβουλία να αναπτύξουν μία παραμετροποιημένη βιβλιοθήκη για τα κύρια μέρη ενός δωρικού στύλου η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά σε ένα σύστημα HBIM.

Πρώτο στάδιο ήταν η αναπαράσταση της δωρικής κολώνας σε τρισδιάστατη μορφή με τυπικές διαστάσεις [Εικόνα 3.10], κάτι το οποίο στην προκειμένη περίπτωση έγινε με την βοήθεια του λογισμικού Autodesk Revit 2021.



Εικόνα 3.10: Τρισδιάστατο μοντέλο της δομικής κολώνας στο λογισμικό Revit

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Dynamo, το οποίο παρέχει γραφικό προγραμματισμό ανοιχτού κώδικα που επιτρέπει προσαρμοσμένες διαδικασίες υπολογιστικού σχεδιασμού και αυτοματισμού για διαδικασίες μοντελοποίησης δομικών πληροφοριών (BIM). Έτσι, για την δημιουργία της βιβλιοθήκης επιλέχθηκαν τα αρχιτεκτονικά μέλη που θα κατασκευάζονταν: κολώνα, εγκοπή, υποτραχήλιο, ιμάντες, άβακας, επιστύλιο, εχίνος, τρίγυφο κ.α. Γενικότερα, το Dynamo λειτουργεί με κόμβους οι οποίοι εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες και καθένας από αυτούς έχει εισόδους και εξόδους. Οι έξοδοι από ένα κόμβο συνδέονται με εισόδους σε έναν άλλο για να εντοπιστούν οι μεταξύ τους ιεραρχικές σχέσεις προκειμένου να οριστούν αλγόριθμοι.

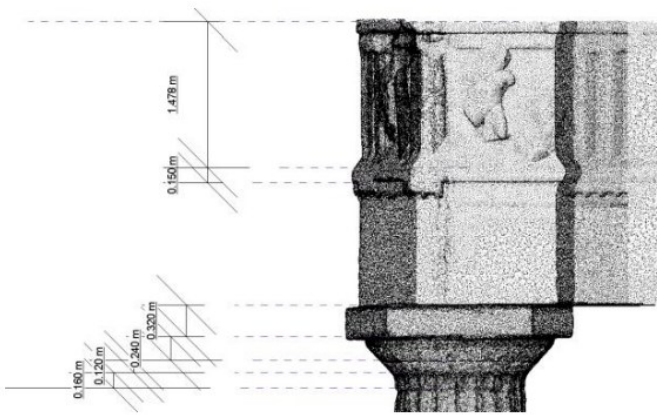
Συνεχίζοντας, ήταν απαραίτητο να δημιουργηθεί μία σχετική «οικογένεια» στο Revit ώστε η κολώνα να μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιεσδήποτε διαστάσεις καθορίζονται από τον χρήστη. Έτσι, επιλέχθηκε όλα τα αρχιτεκτονικά μέλη να εξαρτώνται από δύο διαστάσεις: το ύψος της κολώνας και το μήκος του επιστύλιου. Οι δύο αυτές διαστάσεις είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές που πρέπει να εισάγει ο χρήστης και όλες οι υπόλοιπες ορίζονται παραμετρικά.

Υπήρχε διαθέσιμο ένα νέφος σημείων από την γεωμετρική τεκμηρίωση που έγινε για τον Ναό του Ηφαίστου στην Αρχαία αγορά της Αθήνας (**Εικόνα 3.11**) το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα για επαλήθευση της παραμετροποιημένης οικογένειας που δημιουργήθηκε.

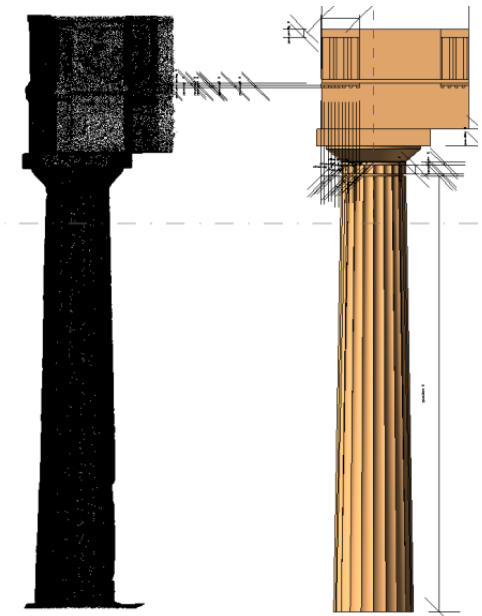
Έγινε εισαγωγή του δεδομένου νέφους σημείων στο Revit και προσαρμόστηκε στην παραμετροποιημένη κολώνα που δημιουργήθηκε.

Το αποτέλεσμα ήταν ότι η κολώνα του μοντέλου που δημιουργήθηκε σε σύγκριση με την κολώνα του νέφους έμοιαζαν σχεδόν ίδιες (**Εικόνα 3.12**).

Έτσι, η τελική τυποποιημένη στήλη δίνει την δυνατότητα για μετέπειτα χρήση από ειδικούς σε εφαρμογές HBIM προκειμένου να εμπλουτιστεί με επιπλέον αρχιτεκτονικά μέλη όπως αέτωμα, ακρωτήριο κτλ.



Εικόνα 3.11: Μέτρηση διαστάσεων κολώνας από το δεδομένο νέφος σημείων



Εικόνα 3.12: Προσαρμοσμένες διαστάσεις της παραμετροποιημένης στήλης (δεξιά) και της στήλης από το υπάρχον νέφος σημείων (αριστερά)

3.3.3 Τελικό HBIM

Μόλις λοιπόν ολοκληρωθούν όλες οι πιο πάνω διαδικασίες δημιουργείται το ολοκληρωμένο HBIM του μνημείου το οποίο περιέχει όλες τις γεωμετρικές και σημασιολογικές πληροφορίες σε μια ενιαία πλατφόρμα.

Ένα μνημείο αποτελεί ένα ενιαίο σύνολο με οικουμενική αξία παρόλο που αποσπασματικά η μελέτη και η συντήρησή του αφορά περισσότερες επιστήμες. Κατ' αναλογία και το HBIM, ως μια ψηφιακή αναπαράσταση του μνημείου και των στοιχείων του δίνει την δυνατότητα σε διαφορετικούς χρήστες να το αξιοποιήσουν με διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό βαθμό.

Συγκεκριμένα, το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μία βάση δεδομένων που περιέχει: όλες τις γεωμετρικές και μη λεπτομέρειες για τα αρχιτεκτονικά στοιχεία που συνθέτουν το μνημείο, πληροφορίες για την υφιστάμενη κατάσταση του ιστορικού κτιρίου που είναι πολύτιμη σε περιπτώσεις καταστροφικών γεγονότων ώστε να μπορεί να γίνει αποκατάσταση ή ανακατασκευή, λεπτομέρειες και προδιαγραφές των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του και ενδεχομένως στις επεμβάσεις συντήρησης ή ανασύλωσης που ακολούθησαν, δεδομένα για την δομική του κατάσταση, στοιχεία για την χρήση του μνημείου στον τομέα του πολιτισμού, έγγραφα ιστορικά και τεχνικά προηγούμενων επεμβάσεων συντήρησης που έχουν πραγματοποιηθεί ή παρεμβάσεων που προγραμματίζονται να συμβούν στο μέλλον και όλες τις άλλες πληροφορίες που είναι σημαντικές για την διατήρησή του.

Το τελικό προϊόν βασίζεται σε ένα ανοιχτό πρότυπο που επιτρέπει σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς να έχουν πρόσβαση και να μπορούν να οπτικοποιήσουν και να χρησιμοποιήσουν τις πληροφορίες για το ιστορικό οικοδόμημα. Ο μεγάλος όγκος πληροφοριών που περιέχεται δημιουργεί μία ενιαία βάση δεδομένων που θα φανεί χρήσιμη σε έργα αποκατάστασης και συντήρησης. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα ενημερωμένο, δομημένο, προσιτό και συνεκτικό μοντέλο του οποίου η ακρίβεια ταιριάζει με την πολυπλοκότητα του κτιρίου πολιτιστικής κληρονομιάς.



Εικόνα 3.13: Το τελικό HBIM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ HBIM

Σύνοψη:

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τρεις μελέτες περίπτωσης της μεθοδολογίας HBIM σε ιστορικά κτίρια στις οποίες αναλύεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε. Η πρώτη μελέτη εφαρμογής αφορά ένα ιστορικό κάστρο στο Παλέρμο όπου προέκυψε μία τεκμηριωμένη βάση δεδομένων που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαχείρισή του με την πάροδο του χρόνου. Η δεύτερη περίπτωση αφορά την τεκμηρίωση του Καθεδρικού Ναού στο Durham όπου η ομάδα προτείνει μία ροή εργασιών και ταυτόχρονα παρουσιάζει τις δυσκολίες και προκλήσεις που αντιμετώπισε. Η τελευταία μελέτη εφαρμογής έγινε για το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο της Νάπολης και αποτέλεσμα ήταν ένα μοντέλο HBIM για βελτιστοποίηση της διαχείρισής του.

4.1 Το κάστρο του Maredolce στο Παλέρμο

Το κάστρο βρίσκεται στο νότιο τμήμα της πόλης του Παλέρμο [Εικόνα 4.1]. Οι ρίζες του ανάγονται στους Αραβικούς χρόνους (τέλη 10^{ου} -αρχές 11^{ου} αιώνα) και είναι ένα από τα σημαντικότερα δείγματα της Αραβο-Νορμανδικής αρχιτεκτονικής στη Σικελία.

Το 1779 το κάστρο συμπεριλήφθηκε στο «Σχέδιο Αρχαιοτήτων» («Antiquities Plan»), ένα έργο που περιλάμβανε τα σημαντικότερα έργα Πολιτιστικής Κληρονομιάς της Σικελίας. Από τότε, το κάστρο ξεκίνησε την αρχιτεκτονική του αναβίωση με τις πρώτες εργασίες αποκατάστασης.

Οι τοίχοι των προσόψεων του χαρακτηρίζονται από ψηλές, λεπτές αιχμηρές καμάρες , το υπόγειο είναι κατασκευασμένο από μεγάλους λίθους ενώ η υπόλοιπη τοιχοποιία αποτελείται από τετραγωνισμένους ογκόλιθους μεσαίου μεγέθους.

Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να εφαρμοστεί η μεθοδολογία scan-to-BIM στο κάστρο ώστε να προκύψει ένα παραμετρικό μοντέλο το οποίο θα αποτελεί μία τεκμηριωμένη βάση που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να ενημερωθεί με την πάροδο του χρόνου για την διαχείρισή του (V. Allegra et al , 2020).



Εικόνα 4.1: Το κάστρο του Mareddolce στο Παλέρμο

Στην διαδικασία υπήρχαν 2 κύρια στάδια:

1^ο στάδιο: Φάση σάρωσης-Τρισδιάστατη γεωμετρική έρευνα

Πρώτο βήμα λοιπόν ήταν να γίνει η τρισδιάστατη έρευνα του κάστρου με εφαρμογή της διαδικασίας scan-to-BIM. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια σαρωτή λέιζερ. Το κύριο πρόβλημα της έρευνας οφείλεται στη διάταξη των χώρων, καθώς η εσωτερική αυλή, τα δωμάτια και οι εξωτερικές όψεις έχουν πολύ λίγους χώρους από κοινού. Γι' αυτό έπρεπε μία αποτελεσματική λύση ώστε να συνδεθούν εύκολα τα νέφη σημείων των χώρων του κτιρίου. Έτσι, επιλέχθηκε ένας σαρωτής ο οποίος ήταν εξοπλισμένος με VIS (Visual Inertial System) που παρέχει την δυνατότητα να παρακολουθείται συνεχώς η κίνηση του σαρωτή αλλά και να ευθυγραμμίζονται τα νέφη σημείων σε πραγματικό χρόνο. Η τρισδιάστατη έρευνα ακολούθησε 4 βήματα: Αρχικά έλεγχος της αυλής και των δωματίων με θέα σε αυτήν, μετά αποτύπωση των εξωτερικών προσόψεων, έπειτα των δωματίων και τέλος αποτύπωση των στεγών.

2^ο στάδιο: Φάση BIM-Παραμετρική Μοντελοποίηση και Τεκμηρίωση έργου

Αφού ολοκληρώθηκε η γεωμετρική έρευνα επόμενο βήμα ήταν η παραμετρική μοντελοποίηση και η τεκμηρίωση του έργου. Το νέφος σημείων που προέκυψε από την σάρωση εισάχθηκε στο επιλεγμένο λογισμικό (Autodesk Revit) **[Εικόνα 4.2]**.

Η μορφολογική πολυπλοκότητα του κάστρου και συγκεκριμένα η έλλειψη ορθογωνικότητας των τοίχων, η τυχαία κατανομή των οπών κτλ. προκάλεσε δυσκολίες στην φάση της μοντελοποίησης λόγω των γεωμετρικά πολύπλοκων στοιχείων. Πρώτα μοντελοποιήθηκαν οι εσωτερικοί και

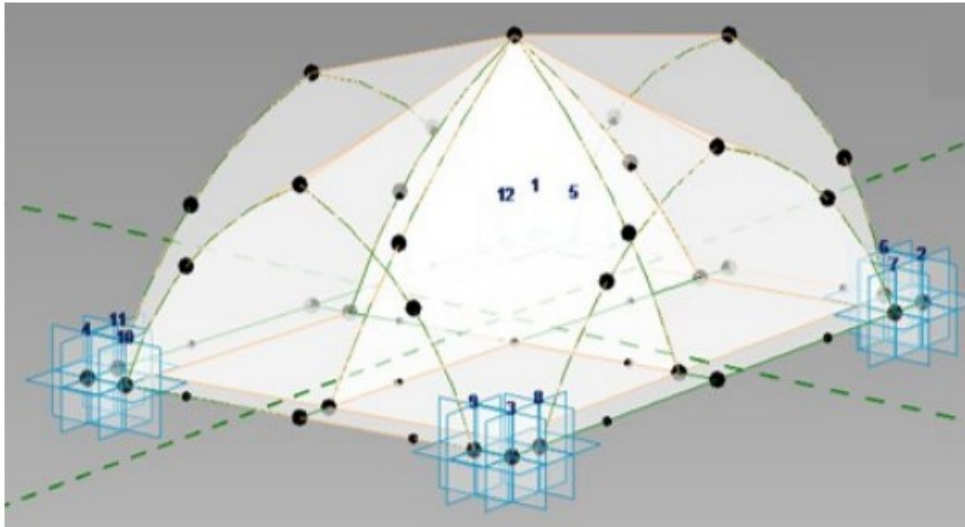
εξωτερικοί τοίχοι, κάτι που ήταν θεμελιώδες για την μετέπειτα μοντελοποίηση των τοίχων της αυλής οι οποίοι είχαν κάποιες ζημιές. Η διαδικασία συνεχίστηκε με την προσθήκη των ορόφων και των στεγών. Σημειώνεται πως η μοντελοποίηση λαμβάνει υπόψη τους πραγματικούς περιορισμούς που υπάρχουν μεταξύ στοιχείων, όπως η σύνδεση ανάμεσα σε δοκούς και υποστυλώματα.

Σημαντικό σημείο στο στάδιο αυτό ήταν ότι για τους τοίχους, τα δάπεδα, τις στέγες και τους θόλους δημιουργήθηκαν ειδικές παραμετρικές οικογένειες λόγω των ιδιαίτερων γεωμετρικών και σημασιολογικών χαρακτηριστικών τους. Έτσι εδώ φαίνεται ότι ήταν απαραίτητο να δημιουργηθούν νέες βιβλιοθήκες παραμετρικών αντικειμένων ικανών να αναπαράγουν τις Αραβο-Νορμανδικές γεωμετρίες που χαρακτηρίζουν το κάστρο όσο το δυνατόν κοντινότερα στην πραγματικότητα



Εικόνα 4.2 : Τελικό νέφος σημείων του κάστρου του Maredolce

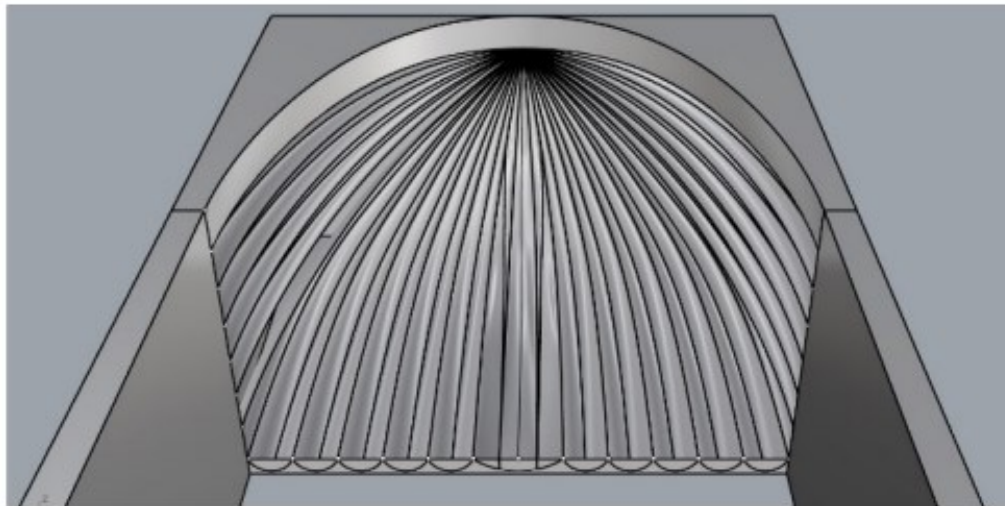
Ειδικότερα, ως μεγαλύτερη πρόκληση της μελέτης ήταν η μοντελοποίηση του θόλου, καθώς στο συγκεκριμένο κάστρο υπάρχουν διάφοροι τύποι θόλων όπως τύπου βαρέλια, χιαστί, με οριζόντια ή κεκλιμένη γραμμή γεννήτριας. Σκοπός ήταν να δημιουργηθεί μια παραμετρική οικογένεια που να επιτρέπει την ταυτόχρονη αναπαράσταση διαφορετικών τύπων, αλλάζοντας μόνο τις παραμέτρους που το ρυθμίζουν. Έτσι, δημιουργήθηκε η οικογένεια «pointed crossvault with variable generator» [Εικόνα 4.3].



Εικόνα 4.3 : Παραμετρική μοντελοποίηση της οικογένειας των θόλων

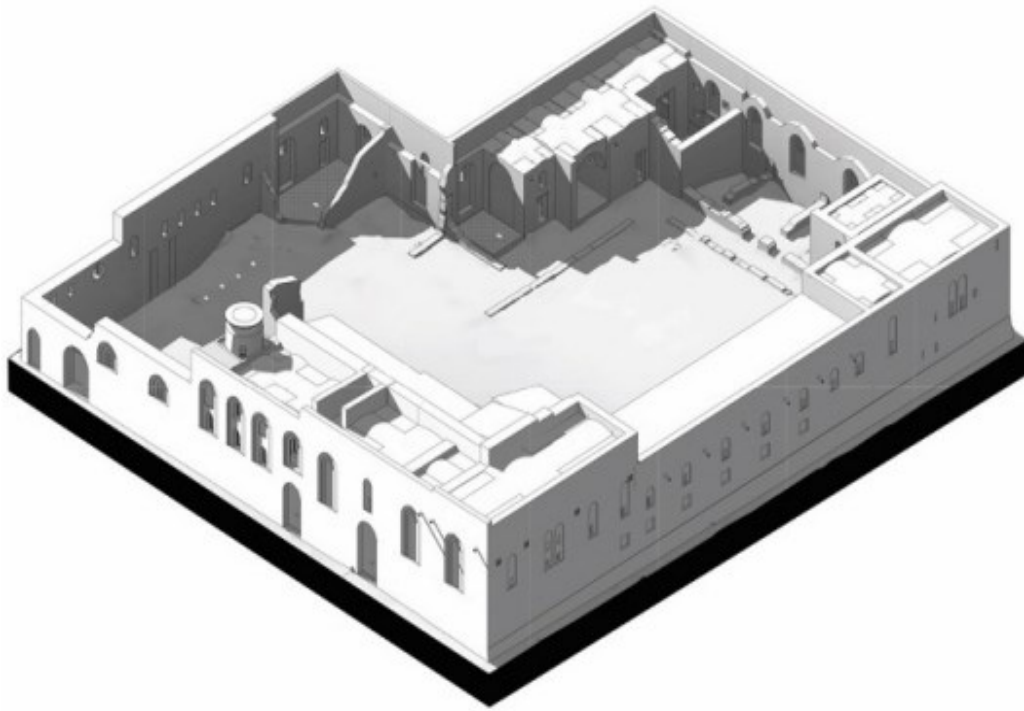
Επίσης, κάποια αρχιτεκτονικά στοιχεία του κάστρου μοντελοποιήθηκαν με μη παραμετρικό τρόπο (μη αναπαραγόμενα στοιχεία). Αυτό έγινε λόγω της πολυπλοκότητας και μοναδικότητάς τους. Η μοντελοποίηση των στοιχείων αυτών πραγματοποιήθηκε σε άλλο λογισμικό (Rhinoceeros CAD) και έπειτα ενημερώθηκαν με αυτές οι γενικές οικογένειες του Revit ώστε να διευκολυνθεί η εισαγωγή τους στο μοντέλο του Κάστρου.

Σημαντικό παράδειγμα τέτοιου στοιχείου ήταν η κόγχη του πτυχωτού τρούλου που έχει ημιθολωτό σχήμα [Εικόνα 4.4]. Αφού έγινε η μοντελοποίησή της στο λογισμικό Rhinoceeros, έγινε η εισαγωγή του στο Revit μέσω μιας οικογένειας που έχει ως βάση τους τοίχους.



Εικόνα 4.4: Μη παραμετρική μοντελοποίηση του πτυχωτού τρούλου

Έτσι, μόλις ολοκληρώθηκε η γεωμετρική μοντελοποίηση όλων των αρχιτεκτονικών στοιχείων του κάστρου, λήφθηκε το μοντέλο HBIM **[Εικόνα 4.5]**. Το τελικό μοντέλο περιλαμβάνει όλες τις γεωμετρικές πληροφορίες ενώ ταυτόχρονα στο μοντέλο περιέχονται και οι μη γεωμετρικές πληροφορίες όπως τύπους στρωματογραφίας τοιχοποιίας, στέγης και δαπέδων που συγκεντρώνονται στην βάση δεδομένων του έργου.



Εικόνα 4.5: Τελικό μοντέλο HBIM του κάστρου του Maredoice

4.2 Καθεδρικός Ναός Durham

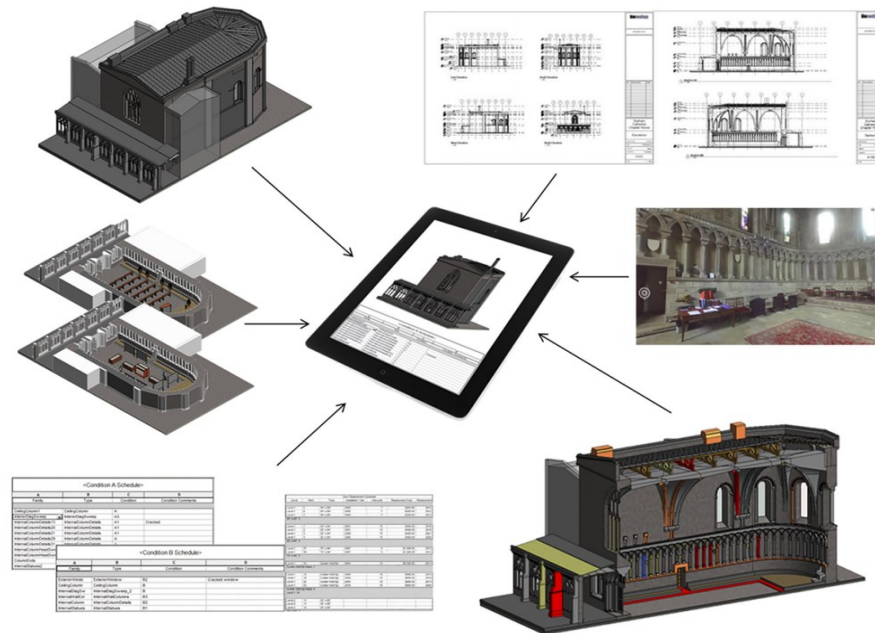
Ο καθεδρικός ναός του Durham κυριαρχεί στο τοπίο της πόλης για σχεδόν 1000 χρόνια. Κατασκευάστηκε από το 1093 έως το 1133 και στέκεται σήμερα ως το «μεγαλύτερο και καλύτερο παράδειγμα της Νορμανδικής αρχιτεκτονικής στην Αγγλία» (UNESCO 2012) και το 1986 εγγράφηκε στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς από την UNESCO.

Η ομάδα που πραγματοποίησε την έρευνα είχε στόχο να παρουσιάσει μία διαδικασία HBIM και των τεχνολογιών που εφαρμόζονται για την βελτίωση του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται από την UNESCO η διαχείριση μνημείων παγκόσμιας κληρονομιάς αλλά και να εντοπίσει τις προκλήσεις της διαχείρισης ιστορικών κτιρίων. Η ροή εργασιών βασίστηκε σε δύο κύρια βήματα τα οποία παρουσιάζονται πιο κάτω (James Charlton et al, 2019).

1^ο στάδιο: Εφαρμογή της διαδικασίας scan-to-BIM

Ξεκινώντας η ομάδα αντιμετώπισε την πρόκληση της προσβασιμότητας αλλά και της κακής δομής των πληροφοριών που βρέθηκαν καθώς ήταν άστοχες, ανοργάνωτες και ανακριβείς. Έτσι, το 1^ο στάδιο ήταν να προσδιοριστεί μία πηγή δεδομένων που θα βοηθούσε στην διαδικασία μοντελοποίησης. Καθώς τα υπάρχοντα σχέδια κρίθηκαν ανακριβή ή απρόσιτα, η ομάδα επέλεξε να χρησιμοποιήσει την προσέγγιση της σάρωσης με λέιζερ για να δημιουργήσει μία ενημερωμένη και ακριβή καταγραφή του ναού. Εντός δύο ημερών η ομάδα πραγματοποίησε 42 σαρώσεις για να καταγράψει τα εσωτερικά και εξωτερικά χαρακτηριστικά του ναού.

Το αποτέλεσμα ήταν ένα νέφος σημείων 250 εκατομμυρίων σημείων υψηλής ακρίβειας καθώς και μία καταγραφή των περιπλοκών λεπτομερειών της τρέχουσας κατάστασής του **[Εικόνα 4.6]**. Αν και ήταν πολύ λεπτομερές, το αρχείο που προέκυψε ήταν αρκετά μεγάλο και έτσι χρειάστηκε η ομάδα να κρατήσει μόνο τα δεδομένα που απαιτούνται για την μοντελοποίηση οδηγώντας σε ένα πολύ μικρότερο μέγεθος αρχείου.



Εικόνα 4.6: Δεδομένα από την σάρωση με λέιζερ

2^ο στάδιο: Δημιουργία Μοντέλου

Η διαδικασία μοντελοποίησης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Revit 2015 όπου έγινε η εισαγωγή του νέφους σημείων και έγινε η τρισδιάστατη αναπαράσταση του ναού [Εικόνα 4.7]. Λόγω της μοναδικής φύσης και της υψηλής αρχιτεκτονικής λεπτομέρειας δεν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα τυπικά εργαλεία μοντελοποίησης (υπάρχουσες βιβλιοθήκες και οικογένειες). Αν και αυτό οδήγησε σε ένα πιο λεπτομερές και ακριβές μοντέλο, το λογισμικό περιορίσε αυτή την προσέγγιση μοντελοποίησης αφού το τελικό μοντέλο είχε ανακρίβειες. Ένα παράδειγμα σφάλματος βρέθηκε στην μοντελοποίηση του νότιου τοίχου ο οποίος στο νέφος σημείων φαινόταν να γέρνει προς τα έξω ενώ στο μοντέλο αυτό δεν κατάφερε να φανεί.

Αφού ολοκληρώθηκε το γεωμετρικό μοντέλο ξεκίνησε μία διαδικασία συμπλήρωσης του μοντέλου με μη γεωμετρικές πληροφορίες (αναφορές, συνθήκες, σχόλια κτλ.) δημιουργώντας ένα πλούσιο σε δεδομένα και «έξυπνο» AIM (Asset Information Model δηλαδή το Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών λειτουργίας του Έργου «ΜΔΠ – Λειτουργίας του Έργου» όπως είναι γνωστό στην τεχνολογία BIM)



Εικόνα 4.7: Τελικό μοντέλο του καθεδρικού Ναού του Durham

Το μοντέλο επέτρεψε επίσης την δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων συντήρησης, ακριβή αποτύπωση λίθων, εικονικές περιηγήσεις, προσομοίωση ικριωμάτων για προγραμματισμό ανακαίνισης και σχεδιασμό σεναρίων (π.χ. προγραμματισμός μίας έκθεσης σε μία αίθουσα).

Μέσω της συγκεκριμένης έρευνας, παρέχεται μία αφήγηση σχετικά με την διαδικασία δημιουργίας ενός AIM για ιστορικά κτίρια παρέχοντας καθοδήγηση σε όποιον επιθυμεί να υιοθετήσει αυτή την προσέγγιση. Την ίδια στιγμή η έρευνα οδήγησε την ομάδα να αποκτήσει μία εικόνα για την πολυπλοκότητα της διαχείρισης κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Μέσα από την διαδικασία που ακολουθήθηκε κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν ήταν αρχικά η έλλειψη προσβασιμότητας σε διαθέσιμα αρχεία και πληροφορίες για το κτίριο ταυτόχρονα με την κακή δομή αυτών που βρέθηκαν καθώς και η έλλειψη προηγμένων εργαλείων στο κομμάτι της μοντελοποίησης.

Παρόλο λοιπόν που η συγκεκριμένη έρευνα αφορούσε ένα συγκεκριμένο κτίριο πολιτιστικής κληρονομιάς, η φύση του Καθεδρικού Ναού φάνέρωσε μία πολύτιμη εικόνα για πολλές από τις πολυπλοκότητες που είναι κοινές στην διαχείριση κτιρίων κληρονομιάς.

4.3 Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο της Νάπολης

Το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο της Νάπολης αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά παραδείγματα της αρχιτεκτονικής των Βουρβόνων του 18^{ου} αιώνα. Η μελέτη του συγκεκριμένου ιστορικού κτιρίου έργο μεταξύ του Ινστιτούτου Επιστήμης Κληρονομιάς του Εθνικού Συμβουλίου Ερευνών της Ιταλίας και του Μουσείου με σκοπό την ανάπτυξη ενός μοντέλου HBIM για βελτιστοποίηση των διαδικασιών διατήρησης, προστασίας και αξιοποίησης του κτιρίου. Η διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου αποτελείται από τρία στάδια (Letizia Martinelli et al, 2022):

1^ο στάδιο: Ανάπτυξη ενός Heritage BIM Execution Plan (HBEP)

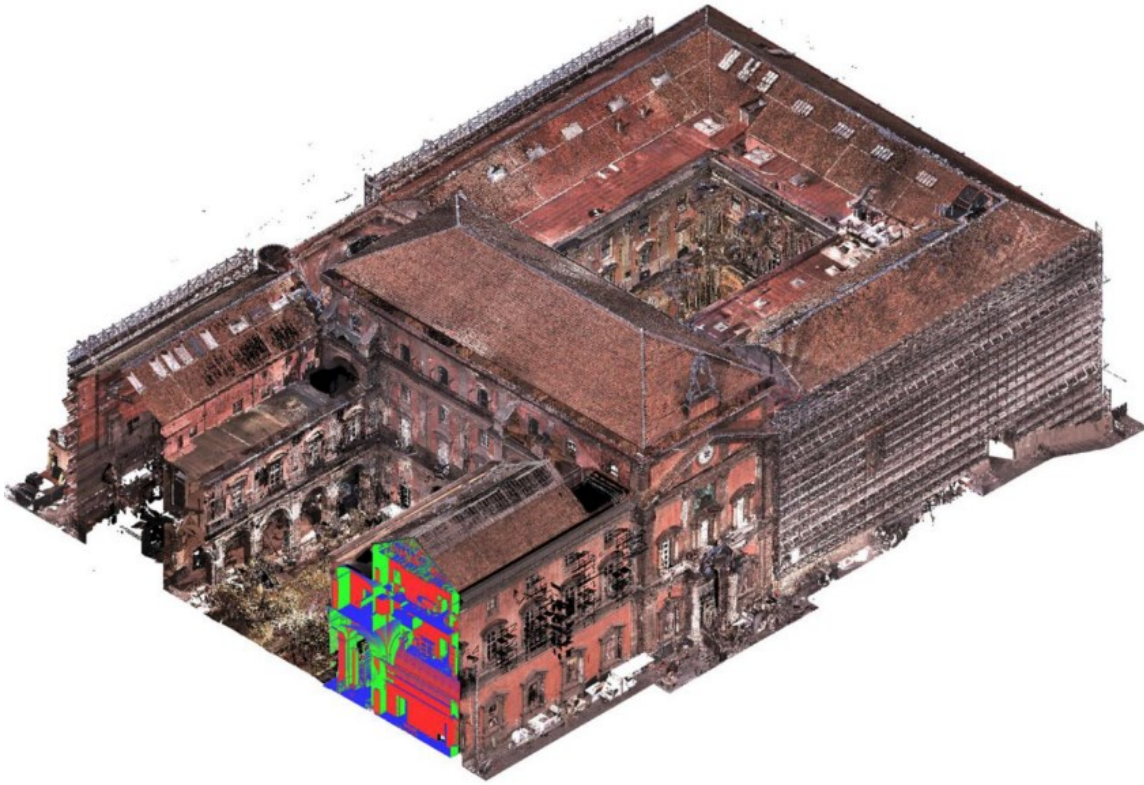
Η ροή εργασιών ξεκίνησε με την συμμετοχή των διαχειριστών του έργου ώστε να προκύψει μία ισχυρή συνεργασία για τον καθορισμό των στόχων και διαδικασιών. Αναπτύχθηκε ένα σχέδιο εκτέλεσης (HBIM Execution Plan) το οποίο όριζε:

- Τον χρονικό προγραμματισμό.
- Τους ρόλους και τις ευθύνες των εμπλεκόμενων.
- Τις χρήσεις του μοντέλου.
- Τις μεθόδους ανταλλαγής δεδομένων σε ένα περιβάλλον CDE.
- Τις συμβάσεις ονομασίας.
- Τα εργαλεία BIM.
- Την δομή διάσπασης του έργου.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά την ανάπτυξη ενός Κοινού Συνεργατικού Περιβάλλοντος Συνεργασίας (CDE), αναπτύχθηκε ένα «cloud», το οποίο δεν είχε ως στόχο μόνο την ανάπτυξη της συνεργασίας κατά την φάση της μοντελοποίησης, αλλά κυρίως στόχευε στην παροχή ενός συνεκτικού περιβάλλοντος όπου το μοντέλο HBIM και όλες οι πληροφορίες που συλλέγονται και παράγονται κατά την διαχείριση του κτιρίου συνδέονται και οργανώνονται ώστε να μπορούν οι εμπλεκόμενοι να το συμβουλευονται και να ενημερώνονται από αυτό.

2^ο στάδιο: Συλλογή πληροφοριών

Η συλλογή πληροφοριών επικεντρώθηκε κυρίως στην ανάλυση των κατασκευαστικών συστημάτων του μουσείου αλλά και στον μετασχηματισμό τους με την πάροδο του χρόνου. Πραγματοποιήθηκε μία γεωμετρική έρευνα τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό του κτιρίου ακολουθώντας την προσέγγιση scan-to-BIM με χρήση φωτογραμμετρίας και σάρωσης με λέιζερ. Αποτέλεσμα ήταν ένα νέφος σημείων το οποίο εισάχθηκε σε περιβάλλον BIM όπως φαίνεται στο σχήμα [Εικόνα 4.8] .



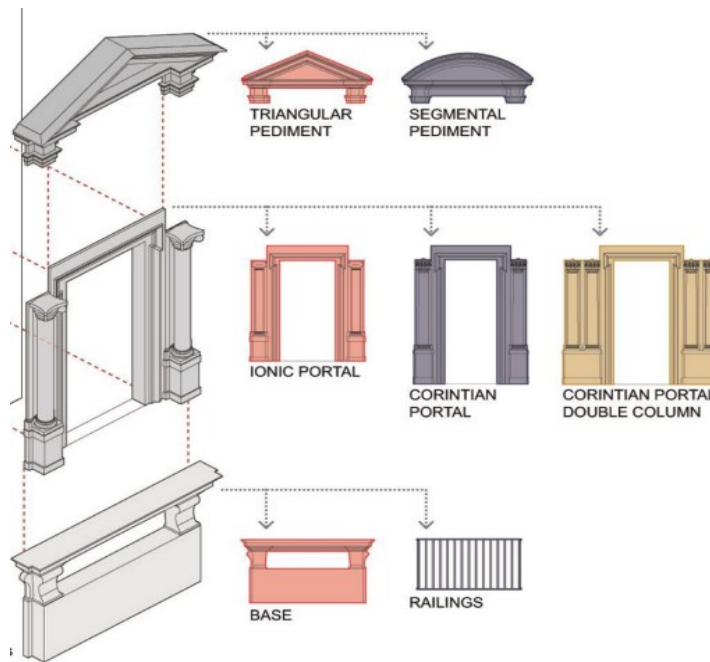
Εικόνα 4.8: Νέφος σημείων από την σάρωση με λέιζερ του μουσείου

3^ο στάδιο: Διάσπαση του κτιρίου και μοντελοποίηση

Η φάση της διάσπασης του κτιρίου είχε ως στόχο ώστε να αναπαραστήσει αποτελεσματικά το σύστημα κατασκευής του κτιρίου και να περιγράψει την αρχιτεκτονική του. Η συγκεκριμένη ροή εργασιών προτείνει την χρήση των οικογενειών του BIM όποτε είναι εφικτή καθώς παρόλο που δεν είναι τόσο πολύ ευέλικτες, η δομική τους συμπεριφορά είναι αρκετά βελτιστοποιημένη. Ωστόσο, πολλά από τα στοιχεία του ιστορικού κτιρίου δεν υπήρχαν στις βιβλιοθήκες του BIM με αποτέλεσμα να απαιτήσουν ιδιαίτερη μοντελοποίηση.

Για παράδειγμα, οι θόλοι οι οποίοι δεν αναγνωρίζονταν άμεσα από το λογισμικό που επιλέχθηκε, μοντελοποιήθηκαν ως «στέγες» επειδή αυτή η κατηγορία παρέχει ακριβή αναπαράσταση του σχήματος και της στρωματογραφίας τους ενώ οι παραστάδες μοντελοποιήθηκαν ως αρχιτεκτονικοί κίονες που διασφάλιζαν την σωστή σύνδεση με τον τοίχο. Επίσης, η μοντελοποίηση των τοίχων περιλάμβανε τον προσδιορισμό και την οργάνωση νέων τύπων τοιχοποιίας κατά πάχος, στρωματογραφία και υλικά. Η εξωτερική τοιχοποιία ανέδειξε τις παραλλαγές στην χρήση υλικών μεταξύ του ισογείου και των άνω δαπέδων.

Αντιπροσωπευτικό στοιχείο στην στρατηγική μοντελοποίησης αποτέλεσαν τα παράθυρα μιας και ήταν στοιχεία ενός αρθρωτού συστήματος με συγκεκριμένους κανόνες. Συγκεκριμένα, μοντελοποιήθηκαν ως οικογένειες των πιο κάτω στοιχείων: βάσεις, κολώνες, αετώματα των οποίων οι διαστάσεις ήταν παραμετρικές για να περιγράψουν διάφορες παραλλαγές καθώς τα κιονόκρανα και τα αετώματα ήταν μεταβλητά για κάθε όροφο ενώ το κεντρικό παράθυρο είχε διπλές κολώνες [Εικόνα 4.9].



Εικόνα 4.9: Οργάνωση της οικογένειας των παραθύρων

Πρόέκυψε έτσι το τρισδιάστατο μοντέλο του μουσείου που φαίνεται στην **Εικόνα 4.10**. Μέσω της συγκεκριμένης έρευνας παρουσιάζεται μία προτεινόμενη ροή εργασιών HBIM για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων συντήρησης δίνοντας έμφαση στην προσομοίωση συστημάτων κατασκευής. Με την εφαρμογή της διαδικασίας αυτής σε ένα σύνθετο και πολύπλοκο κτίριο όπως είναι το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο της Νάπολης, η ροή εργασιών είναι ευέλικτη ώστε να μπορεί να καθοδηγεί εμπειρογνώμονες στην μοντελοποίηση και τεκμηρίωση ιστορικών κτιρίων που χαρακτηρίζονται από λεπτομέρειες και ετερογενείς γεωμετρίες.



Εικόνα 4.10: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του μουσείου της Νάπολης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συμπεράσματα

Σύνοψη:

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται ορισμένα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχετικά με την μεθοδολογία HBIM και την εφαρμογή της. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αρχικά τα οφέλη που προσφέρει το HBIM και στην συνέχεια αναφέρονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζονται στην υιοθέτηση της μεθοδολογίας μαζί με κάποιες προτάσεις για την την προώθηση αλλά και την εφαρμογή της.

5.1 Οφέλη της μεθοδολογίας HBIM

Τα τελευταία χρόνια οι έρευνες έχουν δείξει πως ένα HBIM είναι το σημείο εκκίνησης για την ερμηνεία της ιστορικής εξέλιξης ενός ιστορικού κτιρίου και την δημιουργία έργων συντήρησης και αποκατάστασης (Pocobelli et.al 2018). Αδιαμφισβήτητο το HBIM προσφέρει πολύ ευέλικτες λύσεις για την μοντελοποίηση και την διαχείριση πληροφοριών που σχετίζονται με κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για διαδικασίες συντήρησης, μετασκευές αλλά και ειδικές επιστημονικές αναλύσεις και έρευνες ιστορικών κτιρίων.

Αν το HBIM εφαρμοστεί σωστά μπορεί να αντιπροσωπεύει την συστηματοποίηση και κατά συνέπεια την αρχειοθέτηση μίας σειράς τόσο αναφορικών όσο και διαχειριστικών δεδομένων τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιούνται από τις διαδικασίες αποκατάστασης ως «στιγμιότυπο» μιας συγκεκριμένης χρονικής στιγμής και κατάστασης του μνημείου. Κατά την «διάρκεια» των εργασιών συντήρησης, η αλληλουχία τέτοιων στιγμιότυπων τεκμηριώνει όχι μόνο το μνημείο αλλά και τις εργασίες που επιτελούνται (Chiabrand et al, 2017).

Η υιοθέτησή του λοιπόν είναι πολύ σημαντική ώστε να βοηθήσει οργανισμούς και φορείς στην λήψη πολύτιμων αποφάσεων κατά την διάρκεια ζωής ενός ιστορικού οικοδομήματος. Προκύπτει λοιπόν από τις πιο πάνω ενότητες ότι η μεθοδολογία HBIM παρόλο που ακόμα αποτελεί ένα πεδίο έρευνας, είναι ένα μέσο το οποίο δίνει μεγάλες δυνατότητες για την διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς παρέχοντας πολλά οφέλη και ευκαιρίες που απαριθμούνται πιο κάτω.

5.1.1 Τεκμηρίωση

Ένα από τα κύρια θετικά που προσφέρει η μεθοδολογία HBIM είναι η τεκμηρίωση των ιστορικών κτιρίων. Η τεκμηρίωση της κληρονομιάς θεωρείται ως η συστηματική συλλογή και αρχειοθέτηση απτών και άυλων στοιχείων της ιστορικής δομής με στόχο την παροχή πληροφοριών που θα επιτρέψουν την σωστή διατήρηση, παρακολούθηση και συντήρησή του (Bryan et al., 2009). Η ολοκληρωμένη τεκμηρίωση ενός ιστορικού στοιχείου αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία η οποία περιλαμβάνει απόκτηση, επεξεργασία, παρουσίαση και καταγραφή στοιχείων για τον προσδιορισμό της πραγματικής υπάρχουσας μορφής του ιστορικού οικοδομήματος.

Είναι γεγονός πως η τεκμηρίωση αποτελεί την πρώτη προτεραιότητα σε έργα διατήρησης της κληρονομιάς προκειμένου να διατηρηθούν τα δεδομένα, ο φυσικός, λειτουργικός και αρχιτεκτονικός χαρακτήρας των χώρων και των μνημείων. Σε αντίθεση με τις νέες κατασκευές, η τεκμηρίωση ενός ιστορικού κτιρίου περιλαμβάνει την «αποσύνθεσή» του ώστε να αναλυθεί πλήρως η λειτουργία του με στόχο την ανασυγκρότηση της λογικής του και την επανεξέτασή της.

Έτσι, σε σύγκριση με την εφαρμογή του BIM σε σύγχρονα κτίρια, οι μη γεωμετρικές πληροφορίες ενός HBIM δεν σχετίζονται μόνο με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου αλλά επίσης και με την χρήση και ανάπτυξή του. Ένα HBIM έχει την ικανότητα να είναι πολύτιμο τόσο για την αναπαράσταση σύνθετων και μοναδικών περιουσιακών στοιχείων αλλά και για να λειτουργεί ως ένα καλά δομημένο ιστορικό αρχείο.

Τεκμηριώνοντας ένα ιστορικό κτίριο μέσω του HBIM γίνονται διαθέσιμες οι πρωτογενείς πληροφορίες οι οποίες είναι τόσο τεχνικές όσο και μη αλλά την ίδια στιγμή συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο και άλλου είδους πληροφορία η οποία αφορά προσομοιώσεις και εναλλαγές σεναρίων που βοηθούν στην εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών για την συμπεριφορά του μνημείου.

Μέσω λοιπόν της οπτικοποίησης της πραγματικής κατάστασης του κτιρίου και των στοιχείων του ενισχύεται η κατανόησή του, επιτρέπεται η εξερεύνηση, η σύνθετη ανάλυση και η ερμηνεία του και γίνεται ευκολότερη η λήψη αποφάσεων κατά την διάρκεια της συντήρησής του. Έτσι, με την τεκμηρίωση της κληρονομιάς εξάγονται ακριβείς πληροφορίες που οδηγούν σε σωστές αποφάσεις για σχέδια διατήρησης, παρακολούθησης και επιβίωσης του ιστορικού κτιρίου (Dore and Murphy, 2017).

5.1.2 Κοινό συνεργατικό περιβάλλον

Κύριο όφελος της μεθοδολογίας HBIM είναι και η δυνατότητα που πηγάζει από την τεχνολογία και αφορά το κοινό συνεργατικό περιβάλλον. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω [3. 1. 2. 1], η διαλειτουργικότητα και το κοινό διαδικτυακό περιβάλλον συνεργασίας αποτελούν βασικά εργαλεία σε έργα που βασίζονται στην μεθοδολογία BIM. Μέσω λοιπόν του κοινού συνεργατικού περιβάλλοντος που δημιουργείται στις διαδικασίες HBIM προκύπτει ένα ενιαίο ψηφιακό πακέτο που περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα που αφορούν το ιστορικό έργο, το οποίο είναι προσβάσιμο από όλους τους ενδιαφερόμενους για το συγκεκριμένο κτίριο πολιτιστικής κληρονομιάς δημιουργώντας μία ενιαία πλατφόρμα συνεργασίας. Ουσιαστικά, το τελικό AIM που προκύπτει δημιουργεί ένα κεντρικό, μοναδικό σημείο πρόσβασης για πληροφορίες σχετικά με το ιστορικό κτίριο και τα περιουσιακά του στοιχεία. Έτσι, οι εμπλεκόμενοι στο έργο ανεξάρτητα από το πού βρίσκονται έχουν πρόσβαση σε ένα ψηφιακό χώρο στον οποίο είναι διαθέσιμο το μοντέλο HBIM και μπορούν να το χρησιμοποιήσουν και να το αξιοποιήσουν για τους δικούς τους σκοπούς. Ειδικά στην περίοδο της πανδημίας αυτό το κοινό συνεργατικό περιβάλλον και η κοινή χρήση των μοντέλων HBIM σε ψηφιακή μορφή έπαιξε καθοριστικό ρόλο αφού ειδικοί και ενδιαφερόμενοι μπορούσαν να μελετήσουν την πολιτιστική κληρονομιά και τα μνημεία που ήθελαν από απόσταση.

Η δυνατότητα αυτή δεν αποτελεί πλεονέκτημα μόνο για τους εμπλεκόμενους επιστήμονες του συγκεκριμένου έργου: Μνημεία και ιστορικά κτίρια είναι ψηφιακά διαθέσιμα και προσβάσιμα σε επαγγελματίες σε όλο τον κόσμο και γίνονται διαθέσιμα σε ένα ευρύτερο κοινό.

Ταυτόχρονα, με το HBIM υπάρχει η δυνατότητα το τρισδιάστατο μοντέλο του μνημείου να χρησιμοποιείται και από το απλό κοινό: τουρίστες για παράδειγμα μπορούν να εξερευνούν το κάθε μέρος του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο κατά την διάρκεια της επίσκεψής τους κατανοώντας την σημασία και την ιστορία του κάνοντας την περιήγησή τους στους ιστορικούς χώρους πιο ευχάριστους μέσω της επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιούνται στην διδασκαλία μαθητών και φοιτητών.

Δηλαδή η τεχνολογία HBIM αποτελεί ένα σύγχρονο μέσο διάδοσης και προώθησης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

5.1.3 Έργα συντήρησης και αποκατάστασης μνημείων

Η μεθοδολογία HBIM συμβάλλει στον σχεδιασμό, προγραμματισμό και υλοποίηση έργων συντήρησης και αποκατάστασης μνημείων. Ως μια ειδική περίπτωση της μεθοδολογίας BIM, ο σκοπός της δημιουργίας ενός HBIM είναι να χρησιμοποιηθεί για τις τεχνικές εργασίες που είναι απαραίτητο να οργανωθούν και να πραγματοποιηθούν ώστε να διασφαλιστεί η διατήρηση των κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελώντας έτσι ένα σημαντικό εργαλείο για την διαχείριση και συντήρησή τους.

Αποτέλεσμα της μεθοδολογίας HBIM είναι ένα αξιόπιστο μοντέλο το οποίο περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το ιστορικό κτίριο, τόσο υλικές όσο και άυλες. Ο μεγάλος αυτός όγκος πληροφοριών που περιέχεται στο μοντέλο και η τεκμηρίωση της δομικής συμπεριφοράς του κτιρίου είναι κατάλληλα για την σύνταξη προκαταρκτικών έργων συντήρησης, είτε προγραμματισμένων για προληπτικούς λόγους, είτε έκτακτων εάν προκληθούν καταστροφικά συμβάντα που θέτουν σε κίνδυνο την ζωή του έργου.

Κατά συνέπεια, μέσα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας HBIM μπορούν να πραγματοποιηθούν προληπτικές ενέργειες και επεμβάσεις διατήρησης για την ελαχιστοποίηση της υποβάθμισης αλλά και του κόστους για μελλοντική αποκατάσταση. Γενικότερα, η αναπαράσταση της γεωμετρίας, των διάφορων κατασκευαστικών φάσεων και όλων των σημασιολογικών πληροφοριών ενός ιστορικού κτιρίου προσφέρει μία ολιστική προσέγγιση, η οποία προχωρά από ένα κατακερματισμένο σύστημα βασισμένο στη γνώση σε ένα καθιερωμένο πολυμερές και διεπιστημονικό σύστημα πληροφοριών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές εργασίες αποκατάστασης ελαχιστοποιώντας τις απειλές και τους κινδύνους του παρελθόντος.

5.2 Προκλήσεις και προτάσεις

Ενώ οι διαδικασίες BIM έχουν καθιερωθεί αρκετά καλά μέχρι σήμερα στον σχεδιασμό, μελέτη, κατασκευή και διαχείριση νέων κτιρίων, στο κομμάτι της συντήρησης και διαχείρισης των κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς δεν έχουν ακόμη εφαρμοστεί με τρόπο ευρύ λόγω προκλήσεων και προβλημάτων που προκύπτουν.

Η χρήση της προσέγγισης BIM για την ιστορική αρχιτεκτονική εξακολουθεί να αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση και θεωρείται ένα πολύ ενδιαφέρον ερευνητικό ζήτημα που συνδυάζει διαφορετικούς κλάδους και πεδία όπως η αρχιτεκτονική, η ιστορία, η τεκμηρίωση, η αποκατάσταση κτλ.

Όμως η μέχρι σήμερα χρήση του HBIM στα μνημεία που αυτή εφαρμόστηκε, υπογραμμίζει τον τρόπο με τον οποίο αυτή η μεθοδολογία είναι πολλά υποσχόμενη για την τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς και τις διαδικασίες συντήρησης και διατήρησής της. Ωστόσο, είναι σαφές ότι τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς αντιμετωπίζουν μοναδικές προκλήσεις όσον αφορά τα ίδια τα ιστορικά στοιχεία, την ακρίβεια και προσβασιμότητα των τρεχουσών γραφικών και μη γραφικών πληροφοριών αλλά και τις διαδικασίες και την γραφειοκρατία που εφαρμόζεται για την διαχείρισή τους. Για να ολοκληρωθεί ένα μοντέλο HBIM το οποίο θα μπορεί μετέπειτα να αξιοποιηθεί απαιτείται ένας συνδυασμός επαρκούς υλικού, λογισμικού και συνόλου δεξιοτήτων ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή ενός χρήσιμου AIM. Όμως, πολλές φορές εμφανίζονται εμπόδια σε καθένα από τα τρία αυτά εργαλεία που απαιτούνται.

Οι βασικές προκλήσεις της εφαρμογής της μεθοδολογίας HBIM είναι οι εξής:

5.2.1 Έλλειψη γνώσεων, εξειδίκευσης, τεχνικών δεξιοτήτων και ευαισθητοποίησης

Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί πως καθώς το HBIM είναι μία καινούρια μεθοδολογία, μία από τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζεται ως προς την υιοθέτησή της είναι η έλλειψη γνώσεων, εξειδίκευσης, τεχνικών δεξιοτήτων αλλά και ευαισθητοποίησης, πράγμα που καταδεικνύει την αναγκαιότητα για εκπαίδευση των εμπλεκόμενων ειδικοτήτων ενός HBIM.

Την ίδια στιγμή, η έλλειψη πόρων και χρηματοδότησης επηρεάζουν την αποτελεσματική εφαρμογή της μεθοδολογίας HBIM. Από τα προηγούμενα κεφάλαια προκύπτει πως η διαδικασία διατήρησης κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς απαιτεί ένα πολύ βαθύ επίπεδο γνώσης από τα αρχικά στάδια ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία συνεκτικών μοντέλων των οποίων η ακρίβεια συμβαδίζει με την πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής ενός μνημείου.

Για να επιτευχθεί όμως η δημιουργία ενός HBIM απαιτείται όλα τα μέλη της ομάδας να έχουν ένα επίπεδο εκπαίδευσης και υποστήριξης σχετικά με τον τρόπο χρήσης και ενημέρωσης του μοντέλου προκειμένου να ξεπεραστεί οποιαδήποτε δυσκολία και έλλειψη τεχνικών γνώσεων. Εδώ να αναφερθεί ότι οι εμπλεκόμενοι σε μια ομάδα έργου που αφορά ένα μνημείο δεν προέρχονται αποκλειστικά από τον τεχνικό κόσμο.

Χωρίς αμφιβολία, η ανάπτυξη μιας συνεπούς γλώσσας και κατανόησης HBIM σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα μπορεί να αποτελέσει την βάση για αναβάθμιση, κατάρτιση και εκπαίδευση στον τομέα του HBIM (Trillo et.al 2020).

Σημαντική θα ήταν και η ανάπτυξη καθοδηγητικού υλικού που να εξηγεί τις διαδικασίες HBIM, ενθαρρύνοντας τις συνεργατικές διαδικασίες και την ανταλλαγή δεδομένων. Δυστυχώς, είναι αλήθεια πως στις περισσότερες χώρες σήμερα η ανάπτυξη εκπαιδευτικών μαθημάτων θα είχε απαγορευτικό κόστος και γι' αυτό μία προτεινόμενη ερευνητική προτεραιότητα είναι η ανάπτυξη ενός πλαισίου δεξιοτήτων που καθορίζει τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα που μπορεί να ανταποκριθεί ο ακαδημαϊκός κόσμος αναπτύσσοντας μαθήματα και υλικό που πληρούν αυτή την απαίτηση.

Επίσης, η δημιουργία μίας κεντρικής τράπεζας δεδομένων σχετικών πληροφοριών για την παρακολούθηση όλων των υφιστάμενων και μελλοντικών τεχνικών και μεθοδολογιών αλλά και των αποτελεσμάτων τους θα ήταν ανεκτίμητη αφού θα περιοριστούν σε μεγάλο βαθμό επαναλαμβανόμενα λάθη της μεθοδολογίας. Τέλος, είναι επίσης σημαντικό δημόσιοι και ιδιωτικοί φορείς και ιδρύματα χρηματοδότησης να προωθούν διεθνείς και διεπιστημονικές συνεργασίες μεταξύ ιδρυμάτων και συγγραφέων για κοινή χρήση των γνώσεων, της εμπειρίας και της τεχνογνωσίας τους για την ανάπτυξη της έρευνας στο πεδίο του HBIM.

5.2.2 Ποσότητα, ποιότητα και είδος πληροφορίας

Η άλλη μεγάλη πρόκληση της μεθοδολογίας HBIM σχετίζεται με την ποσότητα, το είδος και την ποιότητα της γεωμετρικής και περιγραφικής πληροφορίας που θα περιγράψει και θα τεκμηριώσει το μνημείο. Γίνεται σαφές με όσα αναφέρθηκαν ότι σε ένα AIM για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς είναι απαραίτητο να ενσωματώνονται τόσο γεωμετρικές όσο και μη γεωμετρικές πληροφορίες με ένα δομημένο και χρήσιμο τρόπο.

Έτσι, το πρώτο βήμα στην εφαρμογή μιας τεχνολογίας HBIM είναι εύρεση πληροφοριών που αφορούν το μνημείο από διαθέσιμα ιστορικά αρχεία και έγγραφα. Δηλαδή, συχνά η πρωτογενής πληροφορία δεν έχει καμία σχέση με αυτό που οι μηχανικοί έχουν συνηθίσει να διαχειρίζονται στις δικές τους μελέτες: Οργανωμένη πληροφορία, Η επιχειρησιακή φάση σε μία διαδικασία HBIM απαιτεί επίσης ένα ολοκληρωμένο σύνολο καλά δομημένων πληροφοριών για το περιουσιακό στοιχείο. Ωστόσο, πολλές φορές στην φάση αυτή η έλλειψη προσβασιμότητας και η κακή δομή των πληροφοριών είναι παράγοντες που κάνουν το στάδιο αυτό αρκετά χρονοβόρο και δύσκολο. Η υφιστάμενη έλλειψη κατάλληλων πληροφοριών στην κατάλληλη μορφή και δομή για τα ιστορικά κτίρια από την μία αποτελεί εμπόδιο στην υιοθέτηση της μεθοδολογίας HBIM και από την άλλη φανερώνει την ανάγκη της. Πολλές φορές οι πληροφορίες που υπάρχουν (2D σχέδια, φωτογραφίες, εγχειρίδια συντήρησης κτλ.) μπορεί να είναι κατακερματισμένες, ασυνεπείς και σε κακή κατάσταση, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αναποτελεσματική χρήση των δεδομένων και σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Σε αυτή την πρόκληση, η εφαρμογή των ψηφιακών τεχνολογιών έχει αποδειχθεί ότι έχει βελτιώσει το στάδιο της συλλογής πληροφοριών και έχει προσφέρει μία προοπτική καλύτερα δομημένης πληροφόρησης. Η χρήση νέων εργαλείων καταγραφής και απεικόνισης και μεθόδων μεγάλης εμβέλειας διευκολύνουν την εκτέλεση αρχιτεκτονικών ερευνών επιτυγχάνοντας την υψηλή ακρίβεια αποτύπωσης λεπτομερειών του κτιρίου. Οι τεχνικές της σάρωσης με λέιζερ και της φωτογραμμετρίας φαίνεται να είναι τα πιο δημοφιλή και αποτελεσματικά εργαλεία στο κομμάτι της εύρεσης και συλλογής πληροφοριών μέχρι σήμερα με την εφαρμογή της αντίστροφης μηχανικής οδηγώντας σε ένα ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο «όπως κατασκευάστηκε».

Την ίδια στιγμή μαζί με την έλλειψη προσβασιμότητας και πληροφοριών, στο αρχικό αυτό στάδιο δεν είναι σαφείς οι απαιτήσεις των πληροφοριών. Αναφέρεται πιο πάνω πως η απαίτηση του HBIM είναι η ανάπτυξη ενός AIM το οποίο περιλαμβάνει ιστορικές και πολιτιστικές πληροφορίες μαζί με τις επιχειρησιακές. Υπάρχει η απαίτηση λοιπόν εκ μέρους των οργανισμών πολιτιστικής κληρονομιάς να αναπτύξουν ένα πρότυπο για το HIR όπου θα ξεκαθαρίζονται λεπτομερώς οι απαιτήσεις πληροφοριών σχετικά με τα περιουσιακά στοιχεία και τις ιστορικές πληροφορίες για την παροχή μίας συνεκτικής προσέγγισης πληροφοριών.

5.2.3 Διαδικασία μοντελοποίησης

Μεγάλη πρόκληση στην εφαρμογή της μεθοδολογίας αποτελεί και η διαδικασία μοντελοποίησης, αφού το BIM ως τεχνολογία χρησιμοποιεί ψηφιακά εργαλεία που σχεδιάστηκαν για την προσομοίωση της δομής και λειτουργίας των σύγχρονων κτιρίων. Αντίθετα, τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς χαρακτηρίζονται από σύνθετη γεωμετρία, γεγονός που περιπλέκει την αναγνώριση των αντικειμένων αφού δεν είναι τυποποιημένα. Τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες BIM έχουν σχεδιαστεί για νέες κατασκευές με αποτέλεσμα αυτόματα να μην περιλαμβάνουν πολλά από τα αρχιτεκτονικά τυπικά στοιχεία ενός κτιρίου πολιτιστικής κληρονομιάς και να μην πληρούν τις απαιτήσεις των έργων HBIM τα οποία ξεκινούν αναπόφευκτα από ένα ενδιάμεσο στάδιο του κύκλου ζωής του έργου το οποίο είναι από μόνο του περίπλοκο.

Έτσι, βασική πρόκληση της μεθοδολογίας HBIM είναι η μετατροπή των τρισδιάστατων σαρώσεων με ακανόνιστα και μη τυποποιημένα στοιχεία που προέρχονται από την γεωμετρική έρευνα σε παραμετρικά αντικείμενα σε περιβάλλον BIM. Η έλλειψη προηγμένων και εξειδικευμένων εργαλείων στο περιβάλλον μοντελοποίησης για την αναπαράσταση αντικειμένων και πληροφοριών για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς δημιουργεί εμπόδια στην σωστή ψηφιακή μοντελοποίηση των μνημείων. Οι περιορισμοί του λογισμικού πολλές φορές μπορεί να οδηγήσουν τον χρήστη στο να απλοποιήσει τα σύνθετα αρχιτεκτονικά στοιχεία κατά την διαδικασία μοντελοποίησης και έτσι να δημιουργήσει τελικά ελαττωματικά μοντέλα. Ακόμα, πολλές φορές χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα λογισμικά για να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια τα αρχιτεκτονικά στοιχεία γεγονός που κάνει την φάση της μοντελοποίησης χρονοβόρα και δύσκολη.

Αναφέρεται και πιο πάνω πως οι πληροφορίες που περιέχονται σε ένα AIM για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς κυμαίνονται από γεωμετρικές έως υλικές, πολιτιστικές και ιστορικές. Οπότε, γίνεται σαφές ότι ένα από τα σημαντικότερα σημεία του HBIM είναι η δημιουργία έξυπνων παραμετρικών αντικειμένων στα οποία θα μπορούν να εκχωρούνται οι συλλεγόμενες πληροφορίες αλλά και να είναι ικανές να αναπαριστούν τα μοναδικά σχήματα και τις γεωμετρίες της ιστορικής αρχιτεκτονικής (Tommasi et al., 2016).

Η φάση λοιπόν της μοντελοποίησης σε μία διαδικασία HBIM είναι ένα πεδίο που απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση και μελέτη.

Δημιουργείται έτσι η ανάγκη για καινούριες προσεγγίσεις μοντελοποίησης παραμετρικών αντικειμένων ειδικά για εφαρμογές HBIM που θα είναι σε θέση να περιγράφουν τα στοιχεία του τομέα αυτού με τα ιδιόμορφα του χαρακτηριστικά ξεπερνώντας τους περιορισμούς των εργαλείων BIM.

Λόγω της ιδιαιτερότητας και της ετερογένειας των ιστορικών κτιρίων, η ανάπτυξη εξειδικευμένων εργαλείων στο περιβάλλον μοντελοποίησης επιπλέον των ήδη υπαρχόντων για σύγχρονες κατασκευές θεωρείται αναγκαία.

Η έρευνα για βελτίωση του σταδίου μοντελοποίησης οφείλει να στοχεύσει στην δημιουργία πιο προσαρμόσιμων βιβλιοθηκών BIM με πρόσθετα παραμετρικά στοιχεία που να αντιπροσωπεύουν διάφορα αντικείμενα κληρονομιάς αλλά και στην ανάπτυξη αυτοματοποιημένων εργαλείων αναγνώρισης αντικειμένων ώστε να μπορούν να αντιμετωπιστούν τα διαφορετικά κτιριακά στοιχεία και οι διαφορετικές ιστορικές εποχές. Αυτό θα βελτιώσει τις λειτουργίες της μεθοδολογίας HBIM καθώς θα γίνεται καλύτερη ανάλυση του ιστορικού μνημείου σε κατηγορίες εντοπίζοντας έτσι όλα τα στοιχεία και τις σχετικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, χρειάζεται να αναπτυχθούν εργαλεία για μία ξεκάθαρη αναπαράσταση των μορφών αποσύνθεσης και των ρωγμών που είναι απαραίτητες πληροφορίες για έργα συντήρησης και αποκατάστασης.

Επίσης, αφού δημιουργηθούν νέες βιβλιοθήκες στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς θα ήταν σημαντική η παροχή τους ως στοιχεία που επαναλαμβάνονται σε εργασίες HBIM, για δημόσια χρήση. Αυτό θα επιτρέψει στα ενδιαφερόμενα μέρη να χρησιμοποιούν τις βιβλιοθήκες αυτές στην μοντελοποίηση των στοιχείων του ιστορικού κτιρίου με ένα γρήγορο και εύκολο τρόπο.

Ακόμα, προκειμένου να έχουμε ένα ολοκληρωμένο HBIM το οποίο ενσωματώνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες τεχνικές και μη, χρειάζεται να εξεταστεί σε μελλοντική έρευνα και η δυνατότητα πλήρους ενσωμάτωσης χαρακτηριστικών τα οποία έχουν ιδιαίτερη σημασία για τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς όπως οι αξίες και η σημασία του ιστορικού οικοδομήματος που μοντελοποιείται, πέρα από τις τεχνικές λεπτομέρειες, που είθισται να καταγράφονται για την τεκμηρίωση του μνημείου.

Επομένως, προκειμένου η διαδικασία μοντελοποίησης να γίνει πιο εύκολη και γρήγορη απαιτείται να ληφθούν τα πιο πάνω μέτρα και να γίνουν τροποποιήσεις σε σχέση με την μεθοδολογία BIM. Με τις κατάλληλες ενέργειες στο κομμάτι αυτό η διαδικασία HBIM θα ξεπεράσει μία από τις σημαντικότερες της προκλήσεις.

Συμπερασματικά, το HBIM αποτελεί ένα υποπεδίο και μία ειδική περίπτωση BIM που αφορά κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς. Ουσιαστικά, είναι μία μεθοδολογία όπου οι ιδέες του BIM υιοθετούνται και εφαρμόζονται σε ιστορικά κτίρια. Αδιαμφισβήτητα, αποτελεί μία χρήσιμη τεχνολογία και ένα πολύτιμο εργαλείο για την διατήρηση της κληρονομιάς καθώς καθιστά δυνατή την μοντελοποίηση, οπτικοποίηση, τεκμηρίωση και αναπαράσταση ενός μνημείου. Μέσω του HBIM επιτυγχάνεται η ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς αφού είναι δυνατή η αποθήκευση και η καταγραφή όλων των πληροφοριών που αφορούν ένα μνημείο σε μία ενιαία ψηφιακή βάση δεδομένων στην οποία έχουν πρόσβαση οι ενδιαφερόμενοι για εξυπηρέτηση των σκοπών τους.

Με εφαρμογή λοιπόν της μεθοδολογίας HBIM είναι εφικτή η διαχείριση, παρακολούθηση, διατήρηση, συντήρηση ή και ανακατασκευή ενός ιστορικού οικοδομήματος. Έτσι, μπορεί να δώσει ευέλικτες λύσεις στην διατήρηση και διαφύλαξη της πολιτιστικής κληρονομιάς η οποία αποτελεί την ιστορία μιας χώρας που διατηρείται για να κληρονομηθεί στις μελλοντικές γενιές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Βιβλιογραφία

1. Allegra, V., Di Paola, F., Lo Brutto, M., & Vinci, C. (2020). SCAN-TO-BIM for the MANAGEMENT of HERITAGE BUILDINGS: The CASE STUDY of the CASTLE of MAREDOLCE (PALERMO, ITALY). Paper presented at the *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B2) 1355-1362
2. Angulo-Fornos, R., & Castellano-Román, M. (2020). HBIM as support of preventive conservation actions in heritage architecture. experience of the renaissance quadrant facade of the cathedral of seville. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(7)
3. Aricò, M., & Lo Brutto, M. (2022). FROM SCAN-TO-BIM TO HERITAGE BUILDING INFORMATION MODELLING FOR AN ANCIENT ARAB-NORMAN CHURCH. Paper presented at the *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B2-2022) 761-768
4. Bianchini, C., & Potestà, G. (2021). *BIM for built cultural heritage: Semantic segmentation, architectural stratification and LOD of the baptistry of san giovanni in florence*
5. [BibLus https://biblus.accasoftware.com](https://biblus.accasoftware.com)
6. BIMcommunity bimcommunity.com/
7. BIM4Heritage <http://bim4heritage.org/>
8. Charlton, J., Kelly, K., Greenwood, D., & Moreton, L. (2021). The complexities of managing historic buildings with BIM. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(2), 570-583
9. Chiabrando, F., Lo Turco, M., & Rinaudo, F. (2017). Modeling the decay in an hbim starting from 3D point clouds. A followed approach for cultural heritage knowledge. Paper presented at the *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, , 42(2W5) 605-612
10. Conti, A., Fiorini, L., Massaro, R., Santoni, C., & Tucci, G. (2022). HBIM for the preservation of a historic infrastructure: The carlo III bridge of the carolino aqueduct. *Applied Geomatics*, 14, 41-51
11. Council on Training in Architectural Conservation <https://www.cotac.global/>
12. Cursi, S., Martinelli, L., Paraciani, N., Calcerano, F., & Gigliarelli, E. (2022). Linking external knowledge to heritage BIM. *Automation in Construction*, 141

13. Heesom, D., Boden, P., Hatfield, A., Rooble, S., Andrews, K., & Berwari, H. (2021). Developing a collaborative HBIM to integrate tangible and intangible cultural heritage. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39(1), 72-95.
14. Historic Environment Scotland <https://blog.historicenvironment.scot/>
15. INCEPTION <https://www.inception-project.eu/en>
16. Khalil, A., & Stravoravdis, S. (2019). H-BIM and the domains of data investigations of heritage buildings current state of the art. Paper presented at the *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2/W11) 661-667
17. Khan, M. S., Khan, M., Bughio, M., Talpur, B. D., Kim, I. S., & Seo, J. (2022). An integrated HBIM framework for the management of heritage buildings. *Buildings*, 12(7)
18. Kontoudaki, A., & Georgopoulos, A. (2022). HBIM LIBRARY DEVELOPMENT FOR A DORIC TEMPLE COLUMN. Paper presented at the *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B2-2022) 1153-1158
19. Mansuri, L. E., Patel, D. A., Udejaja, C., Makore, B. C. N., Trillo, C., Awuah, K. G. B., & Jha, K. N. (2022). A systematic mapping of BIM and digital technologies for architectural heritage. *Smart and Sustainable Built Environment*, 11(4), 1060-1080.
20. Martinelli, L., Calcerano, F., & Gigliarelli, E. (2022). Methodology for an HBIM workflow focused on the representation of construction systems of built heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 55, 277-289
21. Μπελιτσάκος Π.: «Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον BIM», Διπλωματική Εργασία, 2020, ΕΜΠ
22. Παύλου Β.: Διαδικτυακές Πλατφόρμες Συνεργασίας (CDE) για την υλοποίηση έργων με τεχνολογία BIM, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2023
23. Quattrini, R., Pierdicca, R., Morbidoni, C., & Malinverni, E. S. (2017). Conservation-oriented hbim. the bimexplorer web tool. Paper presented at the *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(5W1) 275-281
24. Rebec, K. M., Deanovič, B., & Oostwegel, L. (2022). Old buildings need new ideas: Holistic integration of conservation-restoration process data using heritage building information modelling. *Journal of Cultural Heritage*, 55, 30-42.

25. Rocha, G., Mateus, L., Fernández, J., & Ferreira, V. (2020). A scan-to-bim methodology applied to heritage buildings. *Heritage*, 3(1), 47-65
26. Sakellaris, E., Siountri, K., & Anagnostopoulos, C. -. (2022). *Conservation of greek neoclassical facade elements through their integration in a HBIM library*
27. Sampaio, A. Z., Gomes, A. M., Sánchez-Lite, A., Zulueta, P., & González-Gaya, C. (2021). Analysis of bim methodology applied to practical cases in the preservation of heritage buildings. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6)
28. Sampaio, A. Z., Pinto, A. M., Gomes, A. M., & Sanchez-lite, A. (2021). Generation of an hbim library regarding a palace of the 19th century in lisbon. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15)
29. Scianna, A., Gaglio, G. F., & Guardia, M. L. (2021). HBIM data management in historical and archaeological buildings. *Archeologia e Calcolatori*, 31, 231-252
30. Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital twin: Origin to future. *Applied System Innovation*, 4(2)