EXPLORING

FOOTPRINTS OF THE PAST

HERITAGE DOCUMENTATION: A GEOSPATIAL APPROACH

भारतीय सुदूर संवेदन संस्थान / Indian Institute of Remote Sensing
भारतीय सुदूर संवेदन संस्थान / Indian Space Research Organization
अंतरिक्ष विभाग, भारत सरकार / Department of Space, Government of India
देहरादून / Dehradun

Heritage Documentation is a continuous process enabling the monitoring, maintenance and understanding needed for conservation by the supply of appropriate and timely information. Documentation is both the product and action of meeting the information needs of heritage management. It makes available a range of tangible and intangible resources, such as metric, narrative, thematic and societal records of cultural heritage.

ICOMOS Committee for Heritage Documentation (CIPA)

भारतीय अन्तरिक्ष अनुसंधान संगठन
अन्तरिक्ष विभाग
भारत सरकार
अन्तरिक्ष भवन
न्यू बी ई एल, बेंगलूर – 560 094, भारत
दूरभाष: +91-80-2341 5241/2217 2333
फ़ैक्स : +91-80-2341 5328

Indian Space Research Organisation
Department of Space
Government of India
Antariksh Bhavan
New BEL Road, Bangalore - 560 094, India
Telephone : +91-80-2341 5241/2217 2333
Fax : +91-80-2341 5328
e mail : chairman@isro.gov.in
secydos@isro.gov.in

सोमनाथ. एस / SOMANATH. S
अध्यक्ष Chairman

FOREWORD

India, one of the world's oldest civilizations has a rich, diverse and all-embracing treasure trove of history, culture and heritage. This includes both tangible and intangible entities which have been handed down as a legacy from ancient times and is being kept alive generation after generation. Heritage sites are locations recognized as objects of outstanding significance and universal value, which are unique and irreplaceable. Hence such sites are significant as they serve as educational and inspirational beacons for humankind.

Over time several heritage sites have been effected by natural processes and human activities. Noting this, the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, in its Convention Concerning the protection of world natural and cultural heritage 1972 has urged the international community to protect, conserve and promote heritage of exceptional value through collective efforts. Concerted efforts through scientific and technological research can help reach this goal. The rapid technological development in geospatial technology and allied fields has provided us with a platform to document, monitor and manage this valuable asset for future generations.

At this juncture it is wonderful to note that the Indian Institute of Remote Sensing (IIRS), Dehra Dun is bringing out an illustrative compilation titled *Exploring Footprints of the Past: Heritage Documentation - A Geospatial Approach* showcasing the research outputs for documentation and damage assessment of important heritage sites in India using ground and space based sensors. This is an innovative research approach towards studying heritage. The Atlas is an informative and creative presentation of select Indian heritage sites from many perspectives. The purpose of the Atlas is to highlight the role of remote sensing and geospatial technology in the documenting and monitoring of the sites.

I believe that this Atlas will play an important role in disseminating knowledge about precious built heritage through the use of spatial information acquired with remote sensing. I am also hopeful that this effort will help people to appreciate the visual representations provided by terrestrial and space borne sensors and encourage the future generation to cherish their shared inheritance. I acknowledge the efforts in bringing out this atlas and congratulate all those who have contributed to this compilation.

Dated: October 17, 2022

(S. Somnath)
Chairman, ISRO

भारत सरकार
अन्तरिक्ष विभाग
राष्ट्रीय सुदूर संवेदन केन्द्र
बालानगर, हैदराबाद–500 037, तेलगाना, भारत
टेलिफोन: +91 40 23884001/04
फैक्स: +91 40 23877210

सत्यमेव जयते

Government of India
Department of Space
National Remote Sensing Centre
Balanagar, Hyderabad-500 037, Telangana, India
Telephone : +91 40 23884001/04
Fax : +91 40 23877210

डॉ. प्रकाश चौहान / Dr. Prakash Chauhan
निदेशक / Director

MESSAGE

Culture is the backbone of every country and society and plays an important role in linking the past, the present and the future, forming a basis for building a strong nation and national identity. Shared heritage has a positive influence on many aspects of the way a community develops. Considering the increasing threat to cultural and natural heritage, the historic 1972 UNESCO Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage was passed. It is noted and highlighted that several monuments around the world, have suffered significant damages due to reasons ranging from environmental to anthropogenic. The concept of world heritage compels us to think beyond our regional, national, and geographic boundaries.

Rapid changes in technology over the past half century have enabled wide and successful application of geospatial tools in different domains. The use of ground and space based sensors for archaeological and heritage studies has developed considerably in recent times. Multi- platform, multi-spectral, multi-temporal and multi-scale data helps identify and better study these heritage locations. The utilization of geospatial techniques and methods also plays an important role and has great potential in the documentation and management of built heritage sites.

It is a commendable effort by the Indian Institute of Remote Sensing (IIRS), Dehra Dun to bring out an interesting and informative compilation titled *Exploring Footprints of the Past: Heritage Documentation - A Geospatial Approach*. This Atlas presents an impressive collection of images, 3D models and derived products from ground and space based sensors representing important built heritage sites in India. The images are only a small example of a potentially huge analytical capability that is available to various stake holders of heritage resources. The purpose in presenting images and outputs of the World Heritage sites in this volume is to demonstrate the utility of imagery and geospatial methods for improving understanding of these sites, and the threats they face, as a tool for their improved management.

I hope this atlas will encourage the wide use of science and technology across the world for the preservation of our shared heritage. Only the combined effort of all sources of expertise and all shareholders will allow to us preserve our common heritage for future generations to enjoy.

October 19, 2022

(Prakash Chauhan)
Director, NRSC

भारतीय अन्तरिक्ष अनुसंधान संगठन इसरो isro **Indian Space Research Organisation**

भारत सरकार
अन्तरिक्ष विभाग
भारतीय सुदूर संवेदन संस्थान
4, कालीदास मार्ग, पो. बाक्स सं. 135,
देहरादून –248001, भारत
दूरभाष: +91-135-2744583
फैक्स: +91-135-2741987

डॉ. राघवेन्द्र प्रताप सिंह
निदेशक

Dr. Raghavendra Pratap Singh
Director

सत्यमेव जयते

Government of India
Department of Space
Indian Institute of Remote Sensing
4, Kalidas Road, P.B. No. 135,
Dehradun - 248001, India
Tel. : +91-135-2744583
Fax : +91-135-2741987
email : rpsingh@iirs.gov.in
director@iirs.gov.in

PREFACE

India's cultural heritage is not only one of the most ancient but it is also one of the most varied. India, due to its rich and precious cultural and natural heritages, is known as the land of great wonders and diversities. Cultural heritage includes all those aspects or values of culture transmitted to human beings from their ancestors from generation to generation. They are cherished, protected and maintained by them with unbroken continuity and they feel a common bond because of it. Cultural heritage refers to the physical and cultural assets, both tangible and non-tangible, passed on to us by our previous generations. Built heritage is an essential part of cultural heritage.

Unfortunately, our heritage assets are in danger. Situations of conflict and war, natural disasters, pollution, poaching, uncontrolled urbanization and tourism activities are a few reasons that responsible for the damage of common heritage of humanity. Several monuments in India, and around the world, have suffered significant damages due to reasons ranging from natural to human induced. The conventional approaches for heritage documentation are based on manual process and are hence time and cost extensive. Digital documentation and damage detection of cultural heritage is therefore essential for their preservation and protection. Approaches based on geospatial methods for comprehensive digital documentation of cultural heritage need to be explored and techniques and instruments capable of providing multi-dimensional information quickly and easily can be employed for this purpose.

It gives me great pleasure that the Indian Institute is bringing out a pictorial compilation in the form of an Atlas. This Atlas highlights research results of new digital technologies has revolutionized the practice of documenting built heritage sites. It also presents illustrative outputs obtained from the application of geospatial methods that offer new opportunities for collecting, analyzing and disseminating information about heritage sites.

The Atlas titled *Exploring Footprints of the Past: Heritage Documentation - A Geospatial Approach* is being brought out with the aim to contribute to share our knowledge in the field of documentation of built heritage, especially in subjects such as advanced 3D documentation, modelling and reconstruction of cultural heritage objects, monuments & sites.

I am sure this volume will play an important role in disseminating awareness about heritage documentation and the cutting edge technological tools available through a combination of easy to understand text with high resolution images.

October 19, 2022

राघवेन्द्र सिंह
(R.P. Singh)
Director, IIRS

CONTRIBUTORS

Ms. S. Agrawal
Dr. Poonam S. Tiwari
Dr. Hina Pande
Mr. S. Ragahavendra
Mr. Chandan Grover
Ms. Esha Semwal
Ms. Saumyata Srivastava

SPECIAL THANKS TO:

Archaeological Survey of India:
Providing access to the monuments, archives and museums, logistic support at site

NIAS, Bangalore Dr. M.B. Rajani :
Expert collaborator - consultation for Nalanda Mahavihar

Bihar Heritage Society Mr. Bijoy Chaoudhary:
Support for Nalanda Site

C O N T E N T S

PART-1 :
GEOSPATIAL TECHNOLOGY FOR HERITAGE DOCUMENTATION

- Earth Observation 18
- Laser Scanning 23
- Global Navigation Satellite System 27
- Photogrammetry 21
- Unmanned Aerial Vehicles 25

PART-2 :
DIGITAL DOCUMENTATION OF SELECT UNESCO WORLD HERITAGE SITES IN NORTHERN INDIA

Case Example: Nalanda Mahavihar, Bihar

- Historical Significance 31
- Peering through the sands of time 35
- Technology Rebuilding the past 38
- Technology Revolutionizing Archaeology : Digital Blueprinting 43
- Footprints of the past : Statues and Artefacts 47
- Temple 3: Sariputta Stupa 32
- Excavated Remains 37
- Laser Scanning Data Collection 40
- Rebuilding the past : A Conjectural scenario 45
- Virtual Relocation of Statues and Artefacts 49

Case Example: Qutub Complex, Delhi

- Historical Significance 51
- Archiving Heritage : Extracting Architectural Primitives 56
- Damage Detection and Virtual Reconstruction 63
- Qutub Minar 53
- Digital Blueprinting 59
- Structural Health Monitoring 60
- Rebuilding the past : A Conjectural scenario 64

Case Example: Humayun's Tomb, Delhi

- Historical Significance 69
- Extracting Architectural Primitives 76
- Laser Data Collection 72
- Historical Building Information Modelling 78

भाग १
विरासत प्रलेखन के लिए भू-स्थानिक प्रौद्योगिकी

- पृथ्वी अवलोकन १८
- लेजर स्कैनिंग २३
- ग्लोबल नेविगेशन सैटेलाइट सिस्टम २७
- फोटोग्रामेट्री २१
- मानव रहित हवाई वाहन २५

भाग 2
उत्तरी भारत में चुनिंदा यूनेस्को विश्व धरोहर स्थलों का डिजिटल दस्तावेज़ीकरण

उदाहरण: नालंदा महाविहार, बिहार

- ऐतिहासिक महत्व ३१
- समय के पार अवलोकन ३५
- प्रौद्योगिकी द्वारा अतीत का पुनर्निर्माण ३८
- प्रौद्योगिकी द्वारा पुरातत्व अध्ययन में क्रांति : डिजिटल ब्लूप्रिंटिंग ४३
- अतीत के पदचिह्न मूर्तियां और कलाकृतियां ४७
- मंदिर -३ सरिपुत्त स्तूप ३२
- उत्खनित अवशेष ३७
- लेजर डेटा संग्रह ४०
- अतीत का पुनर्निर्माण अनुमान परिदृश्य ४५
- मूर्तियों और कलाकृतियों का आभासी स्थानांतरण ४९

उदाहरण: कुतुब कॉम्प्लेक्स, दिल्ली

- ऐतिहासिक महत्व ५१
- विरासत का संग्रह : स्थापत्य तत्व निकालना ५६
- क्षति आंकलन एवं आभासी पुनर्निर्माण ६३
- कुतुब मीनार ५३
- डिजिटल ब्लूप्रिंटिंग ५९
- संरचनात्मक स्वास्थ्य निरीक्षण ६०
- अतीत का पुनर्निर्माण अनुमान परिदृश्य ६४

उदाहरण: हुमायूं का मकबरा, दिल्ली

- ऐतिहासिक महत्व ६९
- स्थापत्य तत्व निकालना ७६
- लेजर डेटा संग्रह ७२
- ऐतिहासिक भवन सूचना मॉडलिंग ७८

ABOUT
EXPLORING FOOTPRINTS OF THE PAST

Historical structures are one of the most essential element of cultural heritage. These historical structures and sites are threatened by various factors such as natural disasters, vandalism, development of cities, and aging. One would require comprehensive documentation of a structure to be able to better understand its condition. 3D digital documentation is a very effective way of monitoring structures over a period of time. Geospatial technologies has a huge potential for 3D documentation of built cultural heritage. This technology allows generation of realistic 3D models which can be used for historical documentation, digital preservation and conservation.

विषयक
अतीत के चिन्हों का अन्वेषण

ऐतिहासिक संरचनाएँ सांस्कृतिक विरासत के सबसे आवश्यक तत्वों में से एक हैं। यह सांस्कृतिक संरचनाएँ प्राकृतिक आपदाओं, मानव जनित तोड़-फोड़, शहरी विकास और कालिक क्षय जैसे विभिन्न कारकों द्वारा प्रभावित होती है। संरचना की स्थिति को बेहतर ढंग से समझने के लिए उसके व्यापक प्रलेखन की आवश्यकता होती है। संरचनाओं की निगरानी हेतु त्रि-आयामी डिजिटल प्रलेखन बेहद प्रभावी तरीका है। भू-स्थानिक प्रौद्योगिकी सांस्कृतिक विरासत के त्रि-आयामी प्रलेखन और यथार्थवादी मॉडलिंग में अत्यधिक सहायक है। इन त्रि-आयामी मॉडलों का उपयोग ऐतिहासिक प्रलेखन, डिजिटल संरक्षणआदि के लिए किया जा सकता है।

Qutub Complex, Delhi

Humanyun's Tomb, Delhi

This atlas demonstrates the utility of using ground and space based sensors to carry out a comprehensive (internal and external) multiscale documentation of heritage monuments. This would enable digital blue printing , damage detection, structural health monitoring and reconstruction of conjectural scenario at very high resolutions.

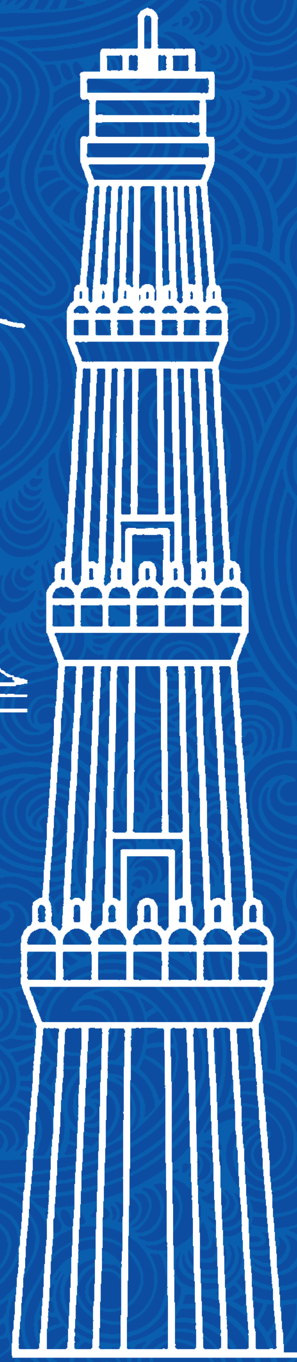
To demonstrate the usefulness of the technique, UNESCO heritage sites of Humanyun's tomb, Qutub Complex (Delhi) and Nalanda Mahavihar (Bihar) have been taken up as case examples.

यह एटलस विरासत स्मारकों के एक व्यापक (आंतरिक और बाहरी) बहुस्तरीय प्रलेखन करने के लिए स्थलीय और उपग्रही संवेदकों की उपयोगिता को प्रदर्शित करता है।यह तकनीक उच्च विभेदन क्षमता के साथ डिजिटल ब्लू प्रिंटिंग , क्षति मापन , संरचनात्मक स्वास्थ्य निरीक्षण एवं ऐतिहासिक अनुमान परिदृश्य बनाने की क्षमता प्रदान करती है।

इस तकनीक की उपयोगिता दर्शाने हेतु यूनेस्को विरासत स्थल जैसे हुमायूं का मकबरा (दिल्ली), कुतुब परिसर (दिल्ली) और नालंदा महाविहार (बिहार) को उदाहरण के रूप में चुना गया है।

Ruins of Nalanda Mahavihar, Bihar

Jain Temples, Qutub Complex, New Delhi

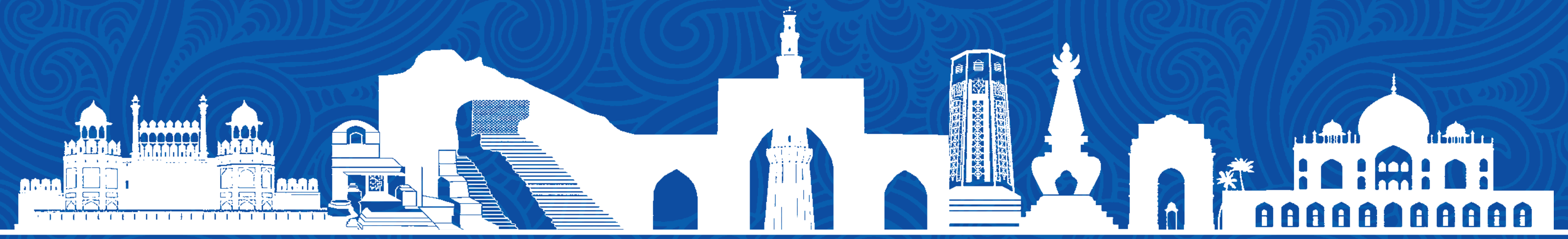


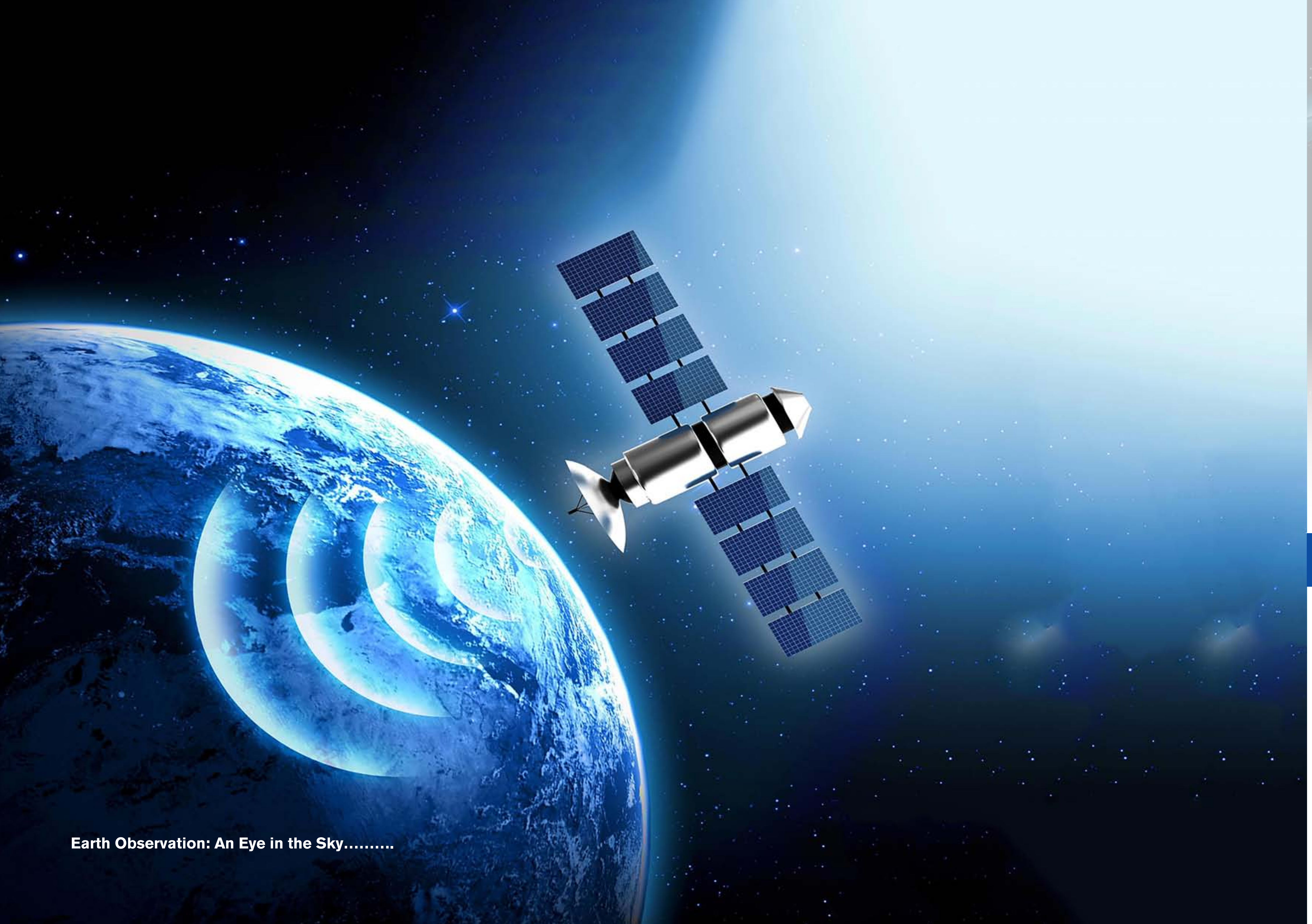
PART-01

GEOSPATIAL TECHNOLOGY FOR HERITAGE DOCUMENTATION

विरासत प्रलेखन के लिए भू-स्थानिक प्रौद्योगिकी

भाग-०१





Earth Observation: An Eye in the Sky..........

REMOTE SENSING IMAGES

Remote sensing images can provide valuable clues to study signatures of buried structures, anomalous heat emissions and texture differences indicating potential areas of past activities.

The latest potentials of space-based observation and technological advancement - both in terms of availability of satellite sensors and processing capability- provides an effective tool for documentation and management of heritage structures and sites.

सुदूर संवेदी छवियाँ

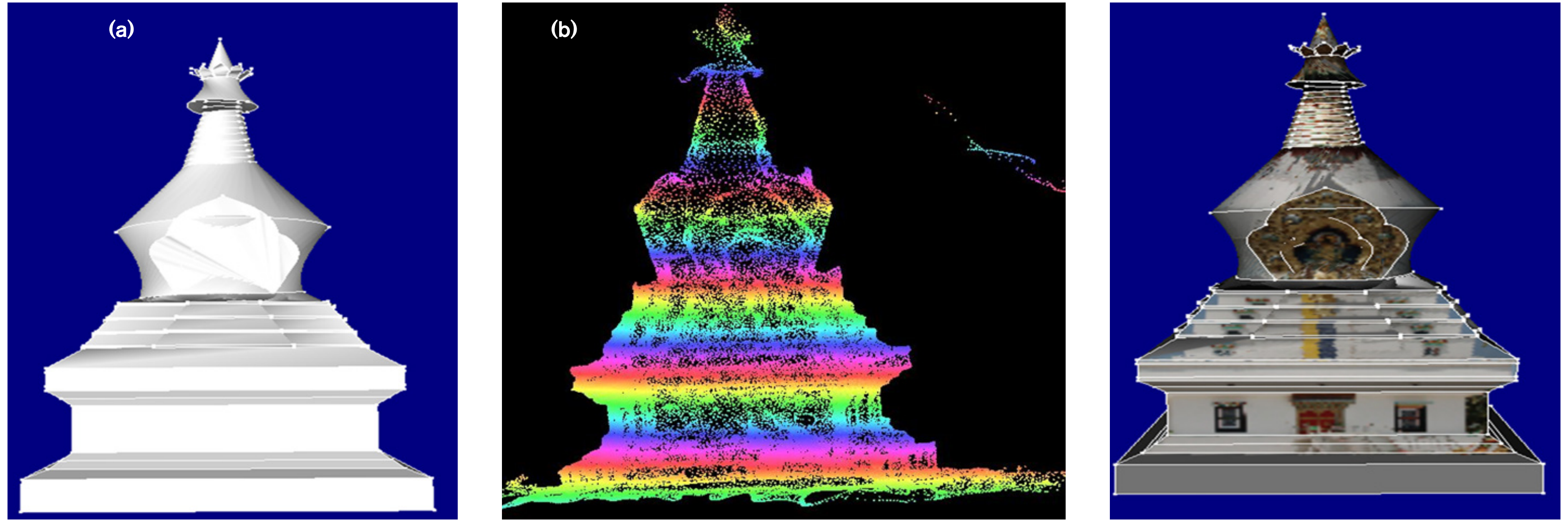
सुदूर संवेदी छवियाँ भूमिगत संरचनाओं के चिह्नक, असंगत ऊर्जा उत्सर्जन तथा टैक्सचर विसंगतियाँ आदि के अध्ययन के लिए उपयोगी सूत्र प्रदान करते हैं जो प्राचीन गतिविधियों के संभावित क्षेत्रों को इंगित करते हैं।

अंतरिक्ष आधारित अवलोकन द्वारा प्रदान की गईं नवीनतम संभावनाएं - उपग्रह सेंसर की उपलब्धता और प्रसंस्करण क्षमता दोनों के संदर्भ में - विरासत संरचनाओं और साइटों के प्रलेखन और प्रबंधन के लिए एक प्रभावी उपकरण प्रदान करती है।

Data acquisition using Close range Photogrammetry

DLSR cameras

Ground Photograph
Mindroling Monastery, Dehradun



Mindrolling Monastery, Dehradun :
(a) Shaded Model, (b) 3D Point Cloud, (c) Textured Model

PHOTOGRAMMETRY

Photogrammetry is used in different applications like mapping, 3D documentation, conservation, digital restoration, visualisation, animation, urban planning, deformation analysis, etc. Image-based modelling techniques (mainly photogrammetry and computer vision are generally used in cases of monuments or architectures with regular geometric shapes. 3D Modelling of the ground based objects carried out using images acquired with handheld cameras is known as Close Range Photogrammetry. 2D image measurements from two or more overlapping images data can be transformed into 3D information using mathematical formulation. Common points on overlapping images are used to orient the images and create 3D geometry.

फोटोग्रामेट्री

फोटोग्रामेट्री का उपयोग विभिन्न अनुप्रयोगों जैसे मानचित्रण, त्रि-आयामी प्रलेखन, संरक्षण, अंकीय जीर्णोद्धार, विज़ुअलाइज़ेशन (मानसदर्शन), एनीमेशन, शहरी नियोजन, विरूपण विश्लेषण आदि में किया जाता है। छवि-आधारित मॉडलिंग तकनीक (मुख्य रूप से फोटोग्राममिति और कंप्यूटर विज़न) को आम तौर पर नियमित ज्यामितीय आकृतियों वाले स्मारकों अथवा संरचनाओं के लिए प्रयोग में लिया जाता है। भूमिस्थित वस्तुओं के हैंडहेल्ड कैमरों से प्राप्त छवियों से त्रि-आयामी मॉडलिंग की तकनीक को क्लोज रेंज फोटोग्रामेट्री कहते हैं। छवियों के द्वि-आयामी निर्देशांकों को गणितीय सूत्रीकरण से त्रि- आयामी संसूचनाओं में परिवर्तित किया जा सकता है। अतिव्यापी तस्वीरों पर बिंदुओं के माध्यम से छवियों का अभिविन्यास करके त्रि- आयामी ज्यामिति बनायी जाती है।

LASER SCANNING

Laser scanning is the process of recording precise three-dimensional information of objects. Terrestrial laser scanners are 'ground-based devices' that can be used to scan at a range of scales from tiny objects to vast monuments or entire sites. It generates a dense point cloud over the surface of an object by using a laser beam. The beam strikes the object at fixed angular intervals in the horizontal and vertical direction. The time required for the beam to strike the surface and return to the sensor is measured, and the location of the point where the beam struck the surface is estimated. The sampled points can be utilised to create 3D models and extract other vital information.

लेजर स्कैनिंग

लेजर स्कैनिंग वस्तुओं की सटीक त्रि-आयामी जानकारी रिकॉर्ड करने की प्रक्रिया है। टेरेस्ट्रियल लेजर स्कैनर स्थलीय उपकरण होते हैं जिनका उपयोग छोटी वस्तुओं से लेकर विशाल स्मारकों या संपूर्ण स्थलों को स्कैन करने के लिए किया जाता है। इस तकनीक के द्वारा एक लेज़र बीम का उपयोग करके किसी वस्तु की सतह का सघन बिंदु समूह उत्पन्न किया जाता है। बीम क्षैतिज और ऊर्ध्वाधर दिशा में निश्चित कोणीय अंतराल पर वस्तु से टकराती है। बीम के लिए सतह से टकराने और सेंसर पर लौटने के लिए आवश्यक समय को मापा जाता है, और उस जिस बिंदु से बीम सतह से टकराती है उस स्थान के निर्देशांक का अनुमान लगाया जाता है। सैंपल किए गए बिंदुओं का उपयोग त्रि-आयामी मॉडल बनाने और अन्य महत्वपूर्ण जानकारी निकालने के लिए किया जा सकता है।

Nalanda Mahavihar

UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) surveys has increased significantly over the past few years. Such systems allow rapid collection of high-quality data at a different scale. This speed and flexibility makes it an excellent choice for topographic surveys, archaeological aerial reconnaissance and recording archeological monuments. From their use as survey devices to their application as cost-effective and highly maneuverable documentation platforms, UAVs have indeed positively altered many aspects of archaeological geospatial data collection in the past decades.

मानव रहित हवाई वाहन (यूएवी)

मानव रहित हवाई वाहन (यूएवी) सर्वेक्षणों में विगत वर्षों में सार्थक वृद्धि हुई है। इस प्रणाली के द्वारा उच्च गुणवत्ता वाले डेटा का संग्रह तीव्रता से किया जा सकता है। गति और सुनियोजित प्रकार से स्थलाकृतिक सर्वेक्षण, पुरातात्विक हवाई वीक्षण और पुरातत्व स्मारकों की रिकॉर्डिंग के लिए इस तकनीक को एक उत्कृष्ट विकल्प बनाती है। पुरातात्विक भू-स्थानिक डेटा संग्रह के कई पहलुओं में यूएवी के उपयोग से सकारात्मक बदलाव आए हैं। पिछले दशक में सर्वेक्षण उपकरणों के रूप में उनके उपयोग से लेकर लागत प्रभावी और अत्यधिक गतिशील प्रलेखन प्लेटफॉर्म के रूप में इनका विकास हुआ है।

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GNSS)

ग्लोबल नेविगेशन सैटेलाइट सिस्टम (जीएनएसएस)

Global Navigation Satellite System (GNSS) refers to a constellation of satellites providing signals from space that transmit positioning and timing data to GNSS receivers. The receivers then use this data to determine location. It is used in a wide range of applications such as terrestrial survey, high-resolution mapping of archaeological sites etc. Archaeologists have long recognized that precise three-dimensional coordinates are critical for recording objects and features across sites and landscapes. GNSS technology provides all the essential technological amenities in order to reduce errors and increase the accuracy of the measurements.

उपग्रहों का एक समूह होता है जो अंतरिक्ष से संकेत प्रदान कर GNSS रिसीवर्स को स्थिति और समय का डेटा संचारित करता है। रिसीवर तब डेटा का उपयोग स्थान निर्धारित करने के लिए करते हैं। इसका उपयोग कई तरह के अनुप्रयोगों जैसे कि स्थलीय सर्वेक्षण, पुरातात्विक स्थलों की उच्च-स्थानिक मैपिंग आदि में किया जाता है। पुरातत्वविदों का मानना है कि सटीक त्रि-आयामी निर्देशांक साइटों और परिदृश्यों में वस्तुओं और अभिलक्षणो को रिकॉर्ड करने के लिए महत्वपूर्ण हैं। जीएनएसएस तकनीक त्रुटियों को कम करने और माप की सटीकता बढ़ाने के लिए सभी आवश्यक तकनीकी सुविधाएं प्रदान करती है।

DIGITAL DOCUMENTATION OF SELECT UNESCO WORLD HERITAGE SITES IN NORTHERN INDIA

PART-02

उत्तरी भारत में चुनिंदा यूनेस्को विश्व धरोहर स्थलों का डिजिटल दस्तावेज़ीकरण

भाग-०२

Ruins of Nalanda Mahavihar

NALANDA MAHAVIHAR

Historical Significance

Nalanda Mahavihar was a renowned Buddhist monastic university in ancient Magadha (modern-day Bihar), India. It was one of the world's very first residential university, and among the greatest centers of learning in the ancient world operating from 427 to 1197 CE. Nalanda was established during the Gupta Empire. Nalanda Mahavihara taught six major Buddhist schools and philosophies. According to descriptions Huen Tsang, it gained importance as a centre of excellence in Buddhist learning somewhere around seventh century CE. It was destroyed by the troops of Muhammad bin Bakhtiyar Khalji, partly restored thereafter, and continued to exist till about 1400 CE.

ऐतिहासिक महत्त्व

नालंदा महाविहार भारत के प्राचीन मगध (आधुनिक बिहार), में एक प्रसिद्ध बौद्ध मठवासी विश्वविद्यालय था। यह दुनिया के सबसे पहले आवासीय विश्वविद्यालय में से एक था, और प्राचीन दुनिया में शिक्षा के सबसे बड़े केंद्रों में से एक था जो 427 से 1197 सीईं तक संचालित हुआ। नालंदा की स्थापना गुप्ता साम्राज्य के युग के दौरान हुई थी। नालंदा महाविहार में छह प्रमुख बौद्ध स्कूलों और दर्शन विषयों को पढ़ाया जाता था। ह्वेन त्सांग के विवरण के अनुसार, सातवीं शताब्दी सीईं के आसपास नालंदा महाविहार को बौद्ध शिक्षा के उत्कृष्ट केंद्र के रूप में महत्व मिला। मुहम्मद बिन बख्तियार खिलजी के सैनिकों द्वारा इसे नष्ट कर दिया गया था, उसके बाद आंशिक रूप से बहाल किया गया जो लगभग 1400 सीईं तक अस्तित्व में रहा।

Temple 3: Sariputta Stupa

The temple was originally a small structure which was subsequently built upon and enlarged. Archaeological evidence shows that the final structure was a result of at least seven successive such accumulations of construction. It has four cornered towers out of which three have been exposed. The towers as well as the sides of the stairs are decorated with exquisite panels of Gupta-era art depicting a variety of stucco figures including Buddha and the Bodhisattvas, scenes from the Jataka tales. The temple is surrounded by numerous stupas some of which have been built with bricks inscribed with passages from sacred Buddhist texts. The apex of Temple no. 3 features a shrine chamber which now only contains the pedestal upon which an immense statue of Buddha must have once rested.

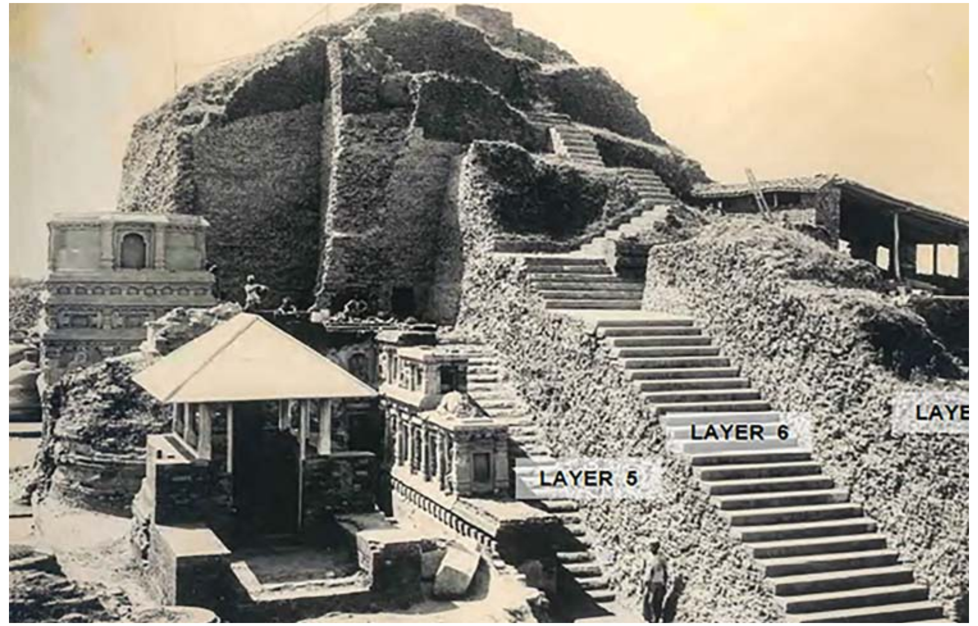
मंदिर -३ सरिपुत्त स्तूप

यह मंदिर मूल रूप से एक छोटी संरचना थी तद्पश्चात जिसका निर्माण तथा विस्तार किया गया। पुरातात्विक साक्ष्यों से पता चलता है कि अंतिम संरचना न्यूनतम सात क्रमिक निर्माणों के संचय का परिणाम थी। इसमे चार कोने वाली मीनारें हैं जिनमें से तीन का निरावरण किया गया है। मीनारों तथा सोपान पार्श्व को गुप्त-युग की कला के उत्कृष्ट पैनलों से सजाया गया है, जिसमें बुद्ध और बोधिसात्वों, जातक कथाओं के दृश्यों सहित विभिन्न प्रकार की गच प्लास्टर आकृतियाँ दर्शायी गयी हैं। मंदिर कई स्तूपों से घिरा हुआ है, जिनमें से कुछ को पवित्र बौद्ध ग्रंथों के अंशों के साथ अंकित की हुई ईंटों से बनाया गया है। मंदिर के शिखर नं० 3 में एक तीर्थ कक्ष है जिसमें अब मात्र वह मूर्तितल बचा है जिस पर कभी बुद्ध की विशाल प्रतिमा विराजमान रही होगी।

Sariputta Stupa, Nalanda Mahavihar

Pre Excavation

Excavation Began: 1917



1925-27

Terrestrial Laser Data: 2020

Excavation in progress: 1917-1920

Excavation in progress 1920-1925

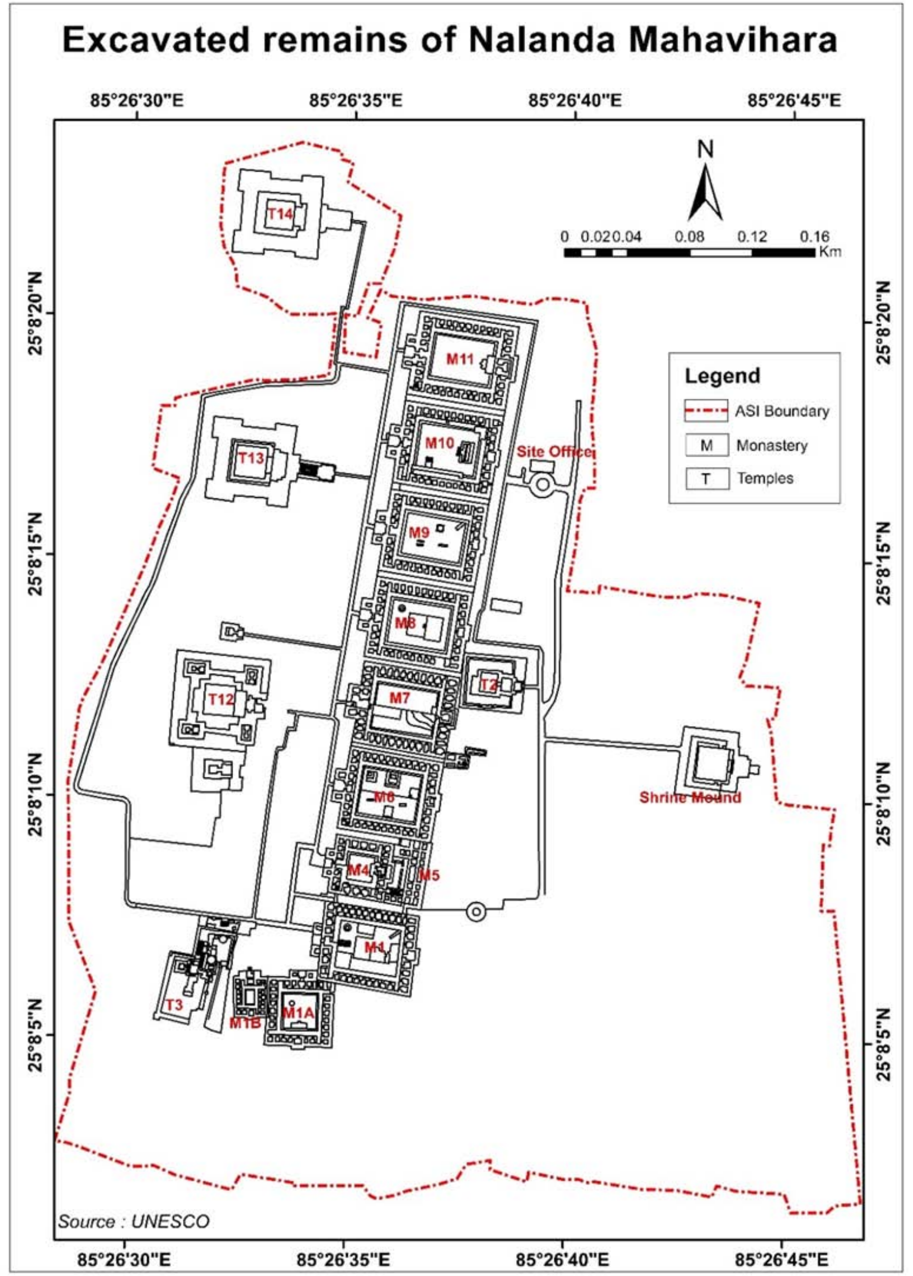
All Images: From the collection of Archaeological Survey of India

Peering through the sands of time

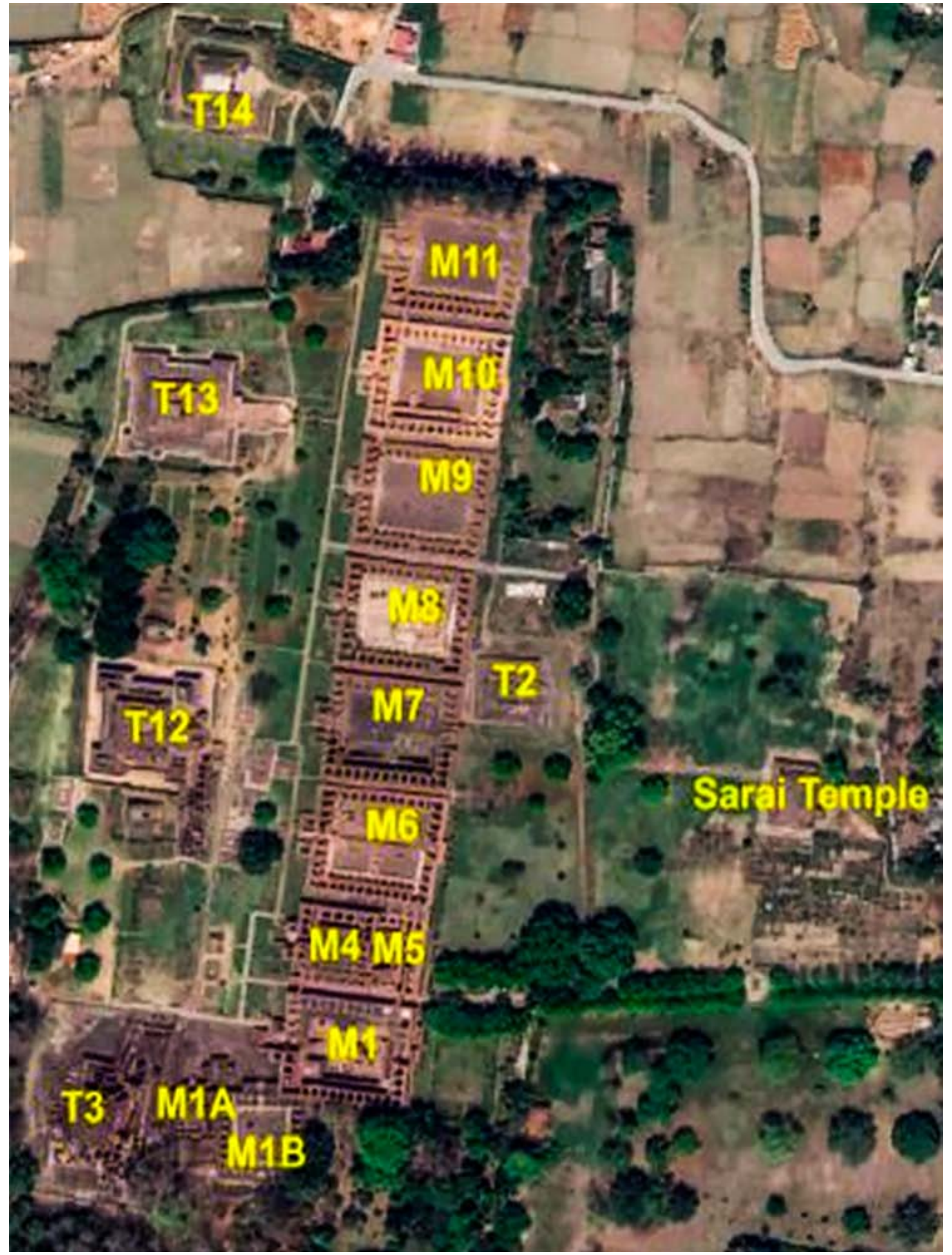
Alexander Cunningham visited Nalanda in 1861 and made detailed observations and measurements. ASI has conducted excavations in several phases, the earliest in 1863 and the most recent in 1983. Temple no. 3 (also termed Sariputta Stupa) is the most iconic of Nalanda's structures with multiple flights of stairs that lead all the way to the top. Sariputta was among the two chief disciples of the Buddha. Temple 3 stands over 100 feet high. Its elevated stupa was accessed by a staircase, seen here, on the north side of the monument. Smaller stupas surround the platform, and original plasterwork is preserved on the NE and SE corners. The temple underwent seven stages of remodelling between 300 BC and 1100 AD. The great stupa was built in the Gupta period. It is this (fifth) layer that is mostly visible today, although traces of the other layers can also be followed.

समय के पार अवलोकन

अलेक्जेंडर कनिंघम ने सन 1861 में नालंदा का दौरा किया और कई विस्तृत अवलोकन और मापन किए। एएसआई ने कई चरणों में खुदाई की है, जिसमे सबसे पहले 1863 में और हाल ही में 1983 में की गयी। मंदिर सं० 3 (जिसे सारिपुत्त स्तूप भी कहा जाता है) नालंदा की संरचनाओं में सबसे प्रतिष्ठित है जिसमें कई सीढ़ियों हैं जो सभी तरफ़ से शीर्ष तक जाती हैं। सारिपुत्त बुद्ध के दो प्रमुख शिष्यों में से एक थे। मंदिर-3, 100 फीट से अधिक ऊँचा है। इसके ऊंचे स्तूप तक सिढ़ियों द्वारा पहुँचा जा सकता था, जो स्मारक के उत्तर की ओर है। मंदिर 300 ईसा पूर्व से 1100 ईस्वी के बीच पुनर्निर्माण के सात चरणों से गुजरा। स्तूप का निर्माण गुप्त काल में हुआ था। इसमे पांचवीं परत है जो आज देखी जा सकती है, हालांकि अन्य परतों के निशान भी देखे जा सकते हैं।



Plan View of Excavated Remains



Plan on High Resolution satellite data

Excavation in progress

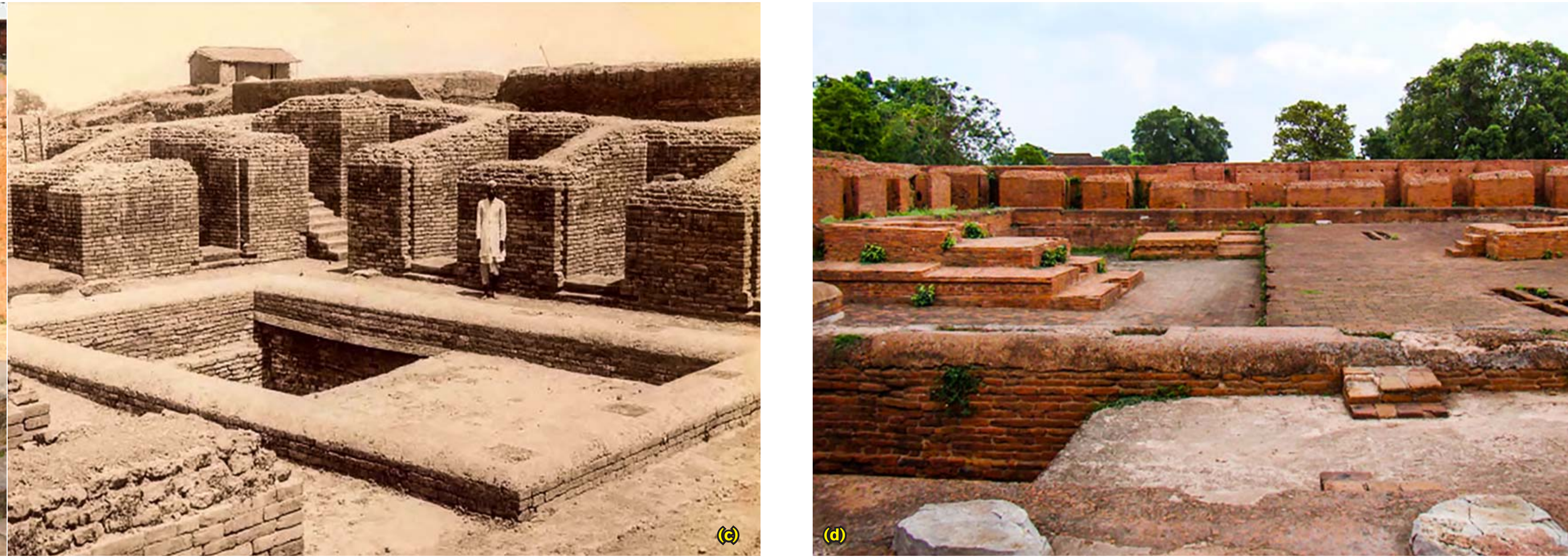
(From the collection of Archaeological Survey of India)

Excavated Remains

After excavation, 11 monasteries and 6 major brick temples arranged in an ordered layout were revealed. All the monasteries at Nalanda are very similar in layout and general architecture. A 30 m wide passage runs from north to south with the temples to its west and the monasteries to its east. (ASI, 2014). Temple 3 in the south was the most imposing structure. Temple 12, 13, 14 face the monasteries and face east. Temple 2 was to the east. General plan of monastery involves a rectangular form with a central quadrangular court surrounded by a veranda bounded by an outer row of cells. The central cell facing the entrance leading into the court is a shrine chamber.

उत्खनित अवशेष

उत्खनन के बाद, 11 मठों और 6 प्रमुख ईंट मंदिरों को एक क्रमबद्ध विन्यास में व्यवस्थित किया गया था। नालंदा के सभी मठ अभिन्यास और वास्तुकला में बहुत समान हैं। 30 मीटर चौड़ा मार्ग उत्तर से दक्षिण की ओर जाता है जिसके पश्चिम में मंदिर और पूर्व में मठ हैं (एएसआई, 2014) । दक्षिण में मंदिर 3 सबसे भव्य संरचना है। मंदिर 12, 13, 14 का मुख मठों की ओर है और पूर्व की ओर उन्मुख है। मंदिर 2 पूर्व की ओर है। मठ की सामान्य योजना में एक समकोण रूप शामिल है जिसमें एक केंद्रीय चतुर्भुज राजसभा है जो कोशिकाओं की बाहरी पंक्ति से घिरे एक बरामदे से घिरा हुआ है। राजसभा में जाने वाले प्रवेश द्वार के सामने केंद्रीय कक्ष एक तीर्थ कक्ष है।



Granary in the Vihar

Monastic blocks and shrines

From the collection of Archaeological Survey of India (a & c)
Present day laser scan (b & d)

Technology Rebuilding the past........

Viharas of Nalanda were of common type. The general plan formed a rectangle bounded by an outer cell with an open veranda. The important feature of the vihara was a collection of smaller monastic blocks arranged in a line on one side with shrines, pavilions, courts, etc on the other, the two being enclosed by walls and thus forming one whole. The planning system and architectural forms evolved here were followed by later mahavihara in the region. Nalanda Mahavihar provided free lodging, food, clothing, and education to its residents. As per Hiuen Tsang, the number of priests, students, and guests present in the university were always around 10,000. Foreign scholars from China, Korea, Tibet, and Tokhara were regular visitors at Nalanda.

प्रौद्योगिकी द्वारा अतीत का पुनर्निर्माण ....

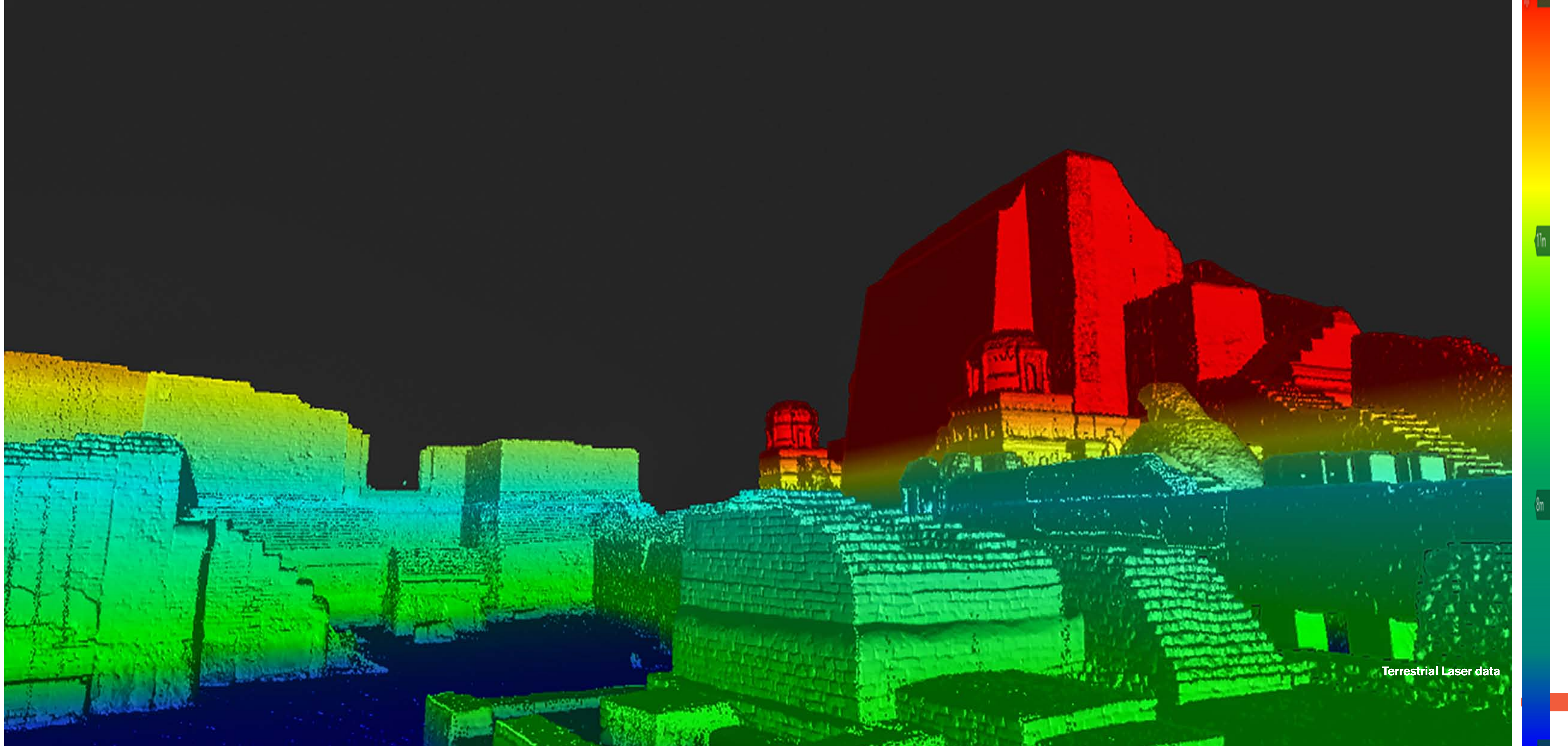
नालंदा के विहार सामान्य रूप से एक प्रकार के थे। सामान्यतः परियोजना के अनुसार एक खुले बरामदे के साथ बाहरी कक्ष को घेरता हुआ एक आयत बनाया जाता था। एक पंक्ति में व्यवस्थित छोटे मठों के ब्लॉकों का एक संग्रह विहार की महत्वपूर्ण विशेषता थी। दूसरी तरफ मंदिर, मंडप, दरबार आदि होते थे। इन सभी को घेरती हुई दीवार परियोजना निर्माण को पूर्ण करती थी। यहां विकसित योजना प्रणाली और स्थापत्य रूपों का बाद में इस क्षेत्र में अन्य महाविहारों द्वारा अनुसरण किया गया। नालंदा महाविहार में अपने निवासियों को मुफ्त आवास, भोजन, वस्त्र और शिक्षा प्रदान की जाती थी। ह्वेनसांग के अनुसार, विश्वविद्यालय में मौजूद पुजारियों, छात्रों और मेहमानों की संख्या हमेशा लगभग 10,000 रहती थी। नालंदा में चीन, कोरिया, तिब्बत और टोखरा के विदेशी विद्वान नियमित आगंतुक थे।

Laser Scanning Data Collection

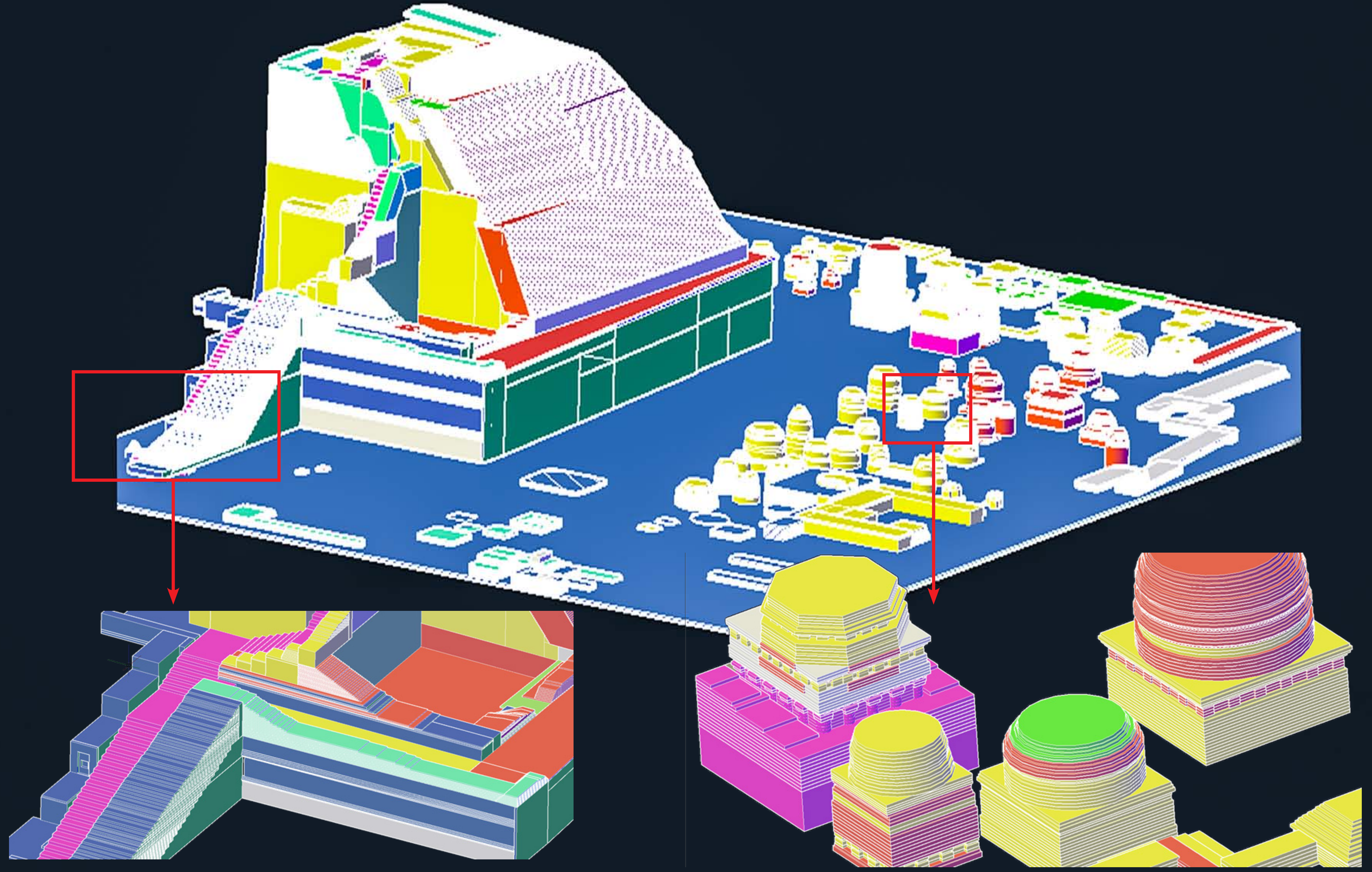
In order to scan the monument proper network design is necessary for acquiring all the details. Since the monuments have complex shape, vast expanse, height and tapering structures, calculating the amount of overlap and the number of datasets (laser scans and photographs) becomes complicated. The shape of the structures is generalized and multiple datasets are acquired with a higher overlap percentage of 90% to capture the details of structure and its engravings. The individual laser datasets were co-registered to generate 3D point cloud. Point clouds obtained from the close range photography was integrated with TLS point cloud to obtain maximum point density and seamless view.

लेजर डेटा संग्रह

स्मारक को स्कैन करने के लिए तथा सूक्ष्म विवरण प्राप्त करने के लिए उचित नेटवर्क प्रारूप आवश्यक है। चूंकि स्मारकों में जटिल आकार, विशाल विस्तार और ऊंचाई और शंकुरूपी संरचनाएं हैं, जिससे ओवरलैप की मात्रा और आवश्यक डेटासेट (लेजर स्कैन और फोटोग्राफ) की संख्या की गणना करना जटिल हो जाता है। संरचनाओं के आकार को सामान्यीकृत किया जाता है और संरचना और इसकी नक्काशी के विवरण को अधिग्रहीत करने के लिए 90% के अधिक ओवरलैप के कई डेटासेट अधिग्रहित किए जाते हैं। विभिन्न लेजर डेटासेट को त्रि-आयामी बिंदु समूह बनाने के लिए सह-पंजीकृत किया गया है। क्लोज रेंज फोटोग्राफी से प्राप्त बिंदु समूह को अधिकतम बिन्दु घनत्व और निर्बाध दृश्य प्राप्त करने के लिए टीएलएस बिंदु समूह के साथ एकीकृत किया जाता है।



Terrestrial Laser data



Digital Blueprint: Sariputta Stupa

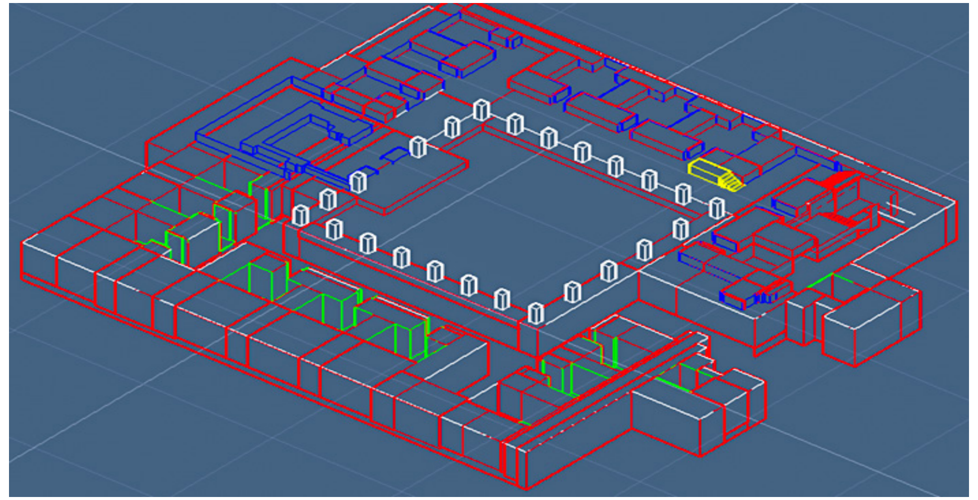
Technology Revolutionizing Archaeology : Digital Blueprinting

Conventionally, drawing representations such as engineering drawings or artistic works are been used for documentation. This gives high accuracy and provide finer details. For viewing purposes to provide a 3D perspective to the viewers, scaled handmade models are also used. Digital documentation has seen significant growth in research due to the development of new techniques and improvement of new sensors and data capture methodologies. The current technology allows us to create digital 3D models which opens up the possibilities for its use and extends it to beyond just visualisation.

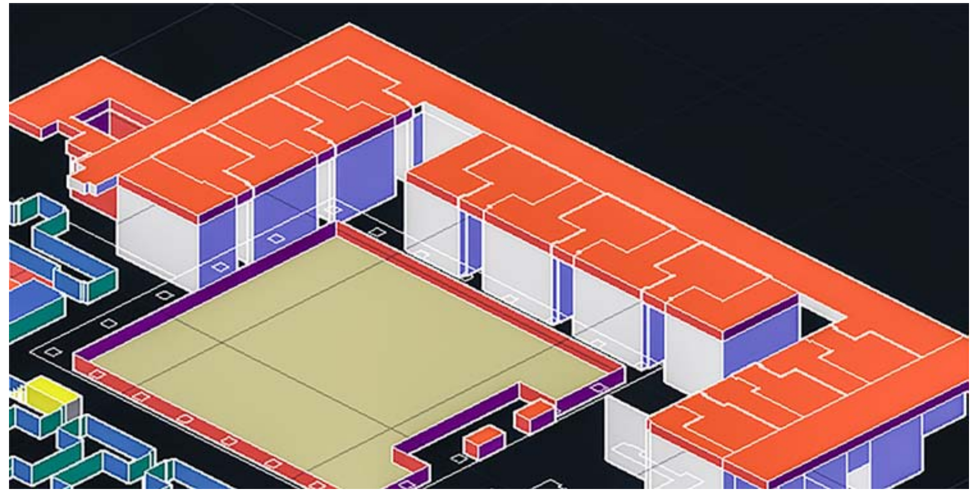
प्रौद्योगिकी द्वारा पुरातत्व अध्ययन में क्रांति : डिजिटल ब्लूप्रिंटिंग

परंपरागत रूप से, प्रतिनिधित्व के लिए इंजीनियरिंग ड्राइंग या कलात्मक स्वरूपों का उपयोग प्रलेखन के लिए किया जाता है। यह उच्च सटीकता के साथ बेहतर विवरण प्रदान करते हैं। दर्शकों को त्रि-आयामी परिप्रेक्ष्य प्रदान करने के उद्देश्य से देखने के लिए, स्केल किए गए हस्तनिर्मित मॉडल का भी उपयोग किया जाता है। नई तकनीकों के विकास और नए सेंसर और डेटा कैप्चर पद्धतियों में सुधार के कारण डिजिटल दस्तावेज़ीकरण ने अनुसंधान में महत्वपूर्ण वृद्धि प्राप्त की है।वर्तमान में उन्नत तकनीक हमें अंकीय त्रि-आयामी मॉडल बनाने में मदद करती हैं तथा इसे केवल प्रत्योक्षकरण तक सीमित न रख कर नवीन उपयोगों की संभावनाओं खोलती है।

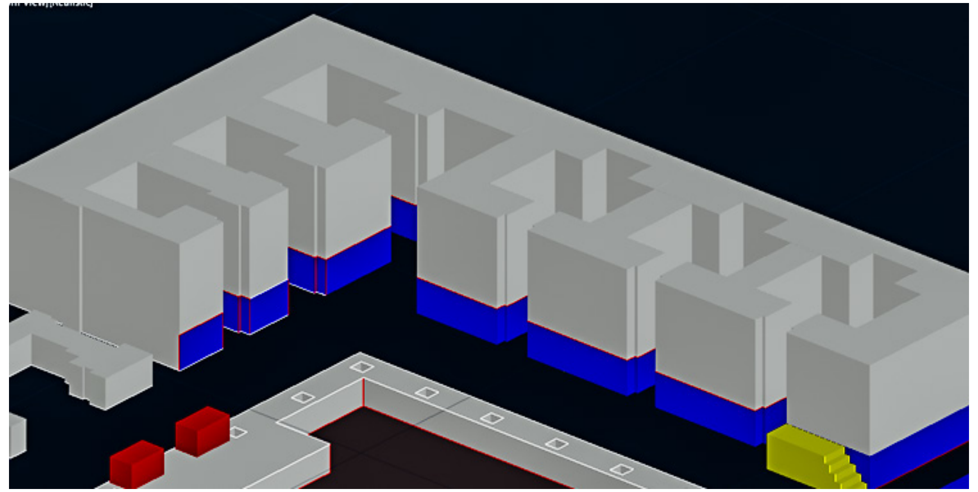
Present day Laser Scan : Monastery



Digital Blueprint : Monastery



Addition of roof on the ground floor rooms



The blue coloured area shows the actual height of rooms

Rebuilding the past : A Conjectural scenario

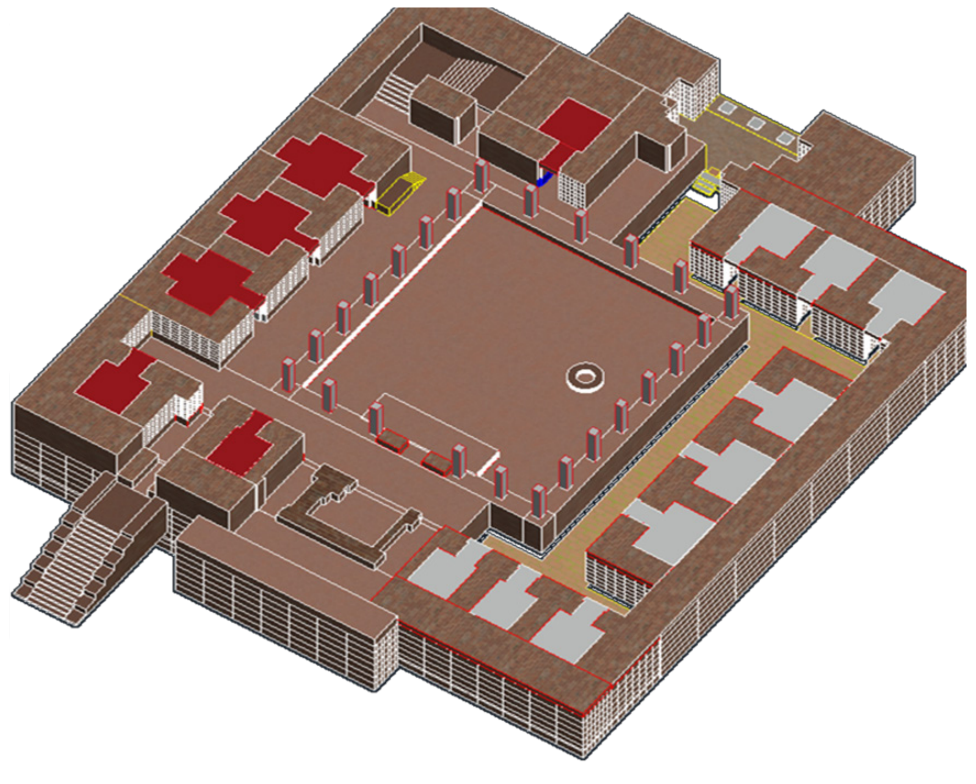
Conjectural reconstruction refers to the rebuilding of monuments and sites that have been destroyed due to accident, natural calamity such as an earthquake, or human conflicts. Cultural heritage worldwide has been affected and suffered losses due to increased natural disasters and human conflict situations. This has led to attempts by World Heritage Committee and UNESCO towards the reconstruction of damaged or destroyed sites.

Virtual Reconstruction via conjecture aims at preserving, as far as possible, the historical and aesthetical values of the objects and informational authenticity. Rebuilding heritage is important as lessons from the past can be a key to improve present and future

अतीत का पुनर्निर्माण : अनुमान परिदृश्य

अनुमानित पुनर्निर्माण स्मारकों और स्थलों के पुनर्निर्माण को संदर्भित करता है जो दुर्घटना, प्राकृतिक आपदा जैसे भूकंप, या मानव संघर्षों के कारण नष्ट हो गए हैं। बढ़ती प्राकृतिक आपदाओं और मानव संघर्ष की स्थितियों के कारण दुनिया भर में अनेक सांस्कृतिक विरासत प्रभावित और क्षतिग्रस्त हुई हैं। इस वजह से विश्व धरोहर समिति और यूनेस्को द्वारा क्षतिग्रस्त या नष्ट हुए स्थलों के पुनर्निर्माण की दिशा में कई प्रयास किए गए हैं।

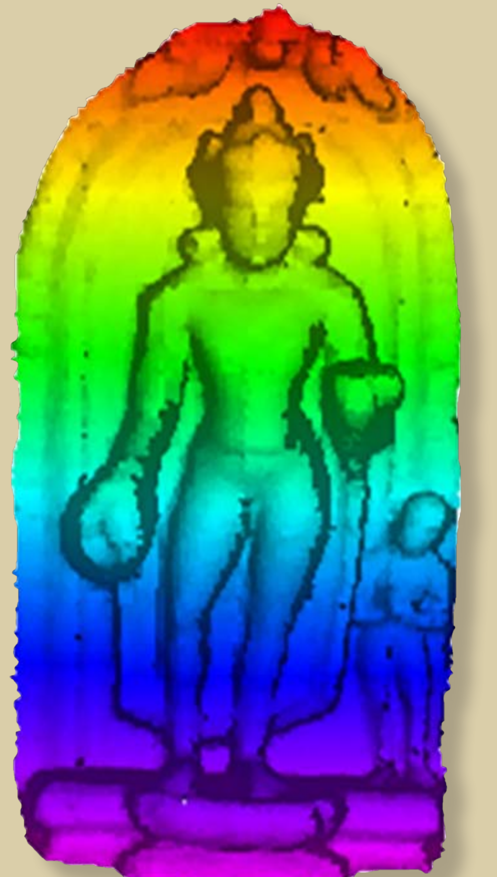
अनुमानित पुनर्निर्माण का उद्देश्य वस्तुओं के ऐतिहासिक और कलात्मक मूल्यों तथा सूचनात्मक प्रामाणिकता को यथासंभव संरक्षित करना है। विरासत का पुनर्निर्माण अति महत्वपूर्ण है क्योंकि अतीत से प्राप्त सीख वर्तमान एवं भविष्य को संवारने की कुंजी हो सकते हैं।



Conjectured view

Top Floor Rooms
Ground Floor Rooms

Nagaraja: Height-1.23 m



Standing Buddha
Height-0.6 m

Statues and Artefacts

Samantabhadra statue

Vessel from Monastery

University seal

Footprints of the past : Statues and Artefacts

Artefacts are powerful means that serve as primary sources to study the past and reflect culture in significant ways. Culturally, they are a powerful connection of the past to the future. They can also function as a tool, to depict an entire civilization.

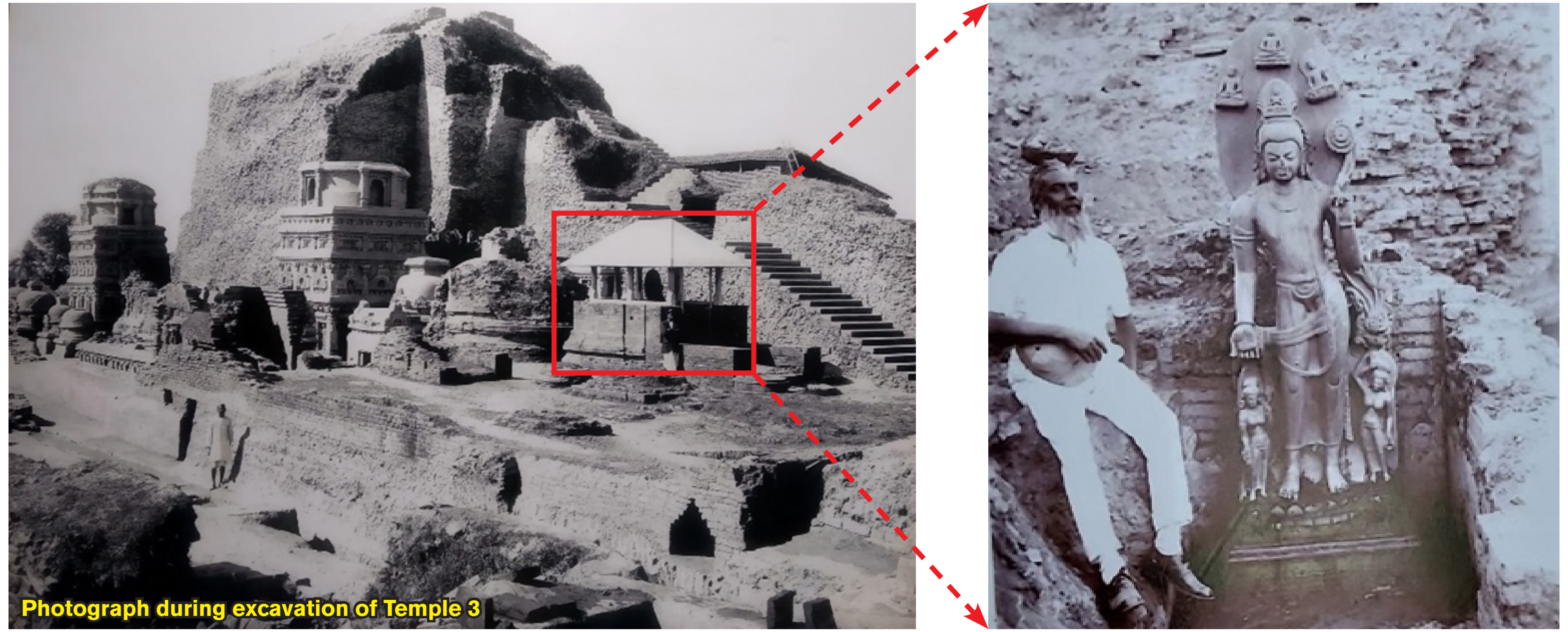
The antiques found at the excavated site at Nalanda are housed in the ASI museum. High resolution data for some of the statues and artefacts were captured using laser scanner and cameras. Realistic 3D models of the original terracotta seal discovered in 1861-62(on the basis of which Alexander Cunningham announced the discovery of Nalanda), statues of Nagaraj, standing Buddha and Samantbhadra, and vessels probably used in the monastery are shown here.

अतीत के पदचिह्न : मूर्तियां और कलाकृतियाँ

कलाकृतियाँ अतीत का अध्ययन करने का एक शक्तिशाली साधन हैं और संस्कृति को प्रतिबिंबित करने के लिए प्राथमिक स्रोतों के रूप में कार्य करती हैं। सांस्कृतिक रूप से, वे अतीत और भविष्य से बीचमें एक शक्तिशाली संबंध स्थापित करती हैं। वे एक संपूर्ण सभ्यता को चित्रित करने हेतु एक उपकरण के रूप में भी कार्य कर सकते हैं।

नालंदा में उत्खनन स्थल पर मिली प्राचीन वस्तुएं एएसआई संग्रहालय में रखी गई हैं। कुछ मूर्तियों और कलाकृतियों के लिए लेज़र स्कैनर और कैमरों के उपयोग से के उच्च रिज़ॉल्यूशन डेटा कैप्चर किया गया है। यहाँ 1861-62 में खोजे गए मूल टेराकोटा सील के यथार्थवादी त्रि-आयामी मॉडल(जिसके आधार पर अलेक्जेंडर कनिंघम ने नालंदा की खोज की घोषणा की), नागराज, स्थायित्व बुद्ध और सामंतभद्र की मूर्तियाँ, और बर्तन जो कि संभवतः मठ में उपयोग किए जाते थे, को प्रदर्शित किया जाता है।

Virtual relocation of statue of Avalokiteswara. (Currently housed at the site museum)



Sariputta's chaitya (also known as Stupa No. 3) This photo is from excavations during 1925-27.
(From the collection of: Archaeological Survey of India)

Bodhisattva statue: Laser data

Virtual Relocation of Statues and Artefact

The use of 3D scanning technology provides a novel perspective to science, history and archaeology. This makes it possible to determine the surface of an object in the form of a spatial point cloud along with applying the actual texture. Coupled with virtual reality software it opens up possibility of creating a realistic visualization experience through virtual 3D walkthroughs, flythrough and facilitate the virtual museum application. The acquired data are currently the most precise perpetual documentation of the exhibits providing high quality and resolution for accurate metric and spatial analysis.

The Bodisattava statue has been virtually recreated based on its laser scan and then virtually relocated to the actual location from where it was excavated.

मूर्तियों और कलाकृतियों का आभासी स्थानांतरण

त्रि- आयामी स्कैनिंग तकनीक का उपयोग विज्ञान, इतिहास और पुरातत्व को एक नया परिप्रेक्ष्य प्रदान करता है। इससे वास्तविक टेक्स्चर को अनुप्रयुक्त करने के साथ-साथ एक स्थानिक बिंदु संग्रह के रूप में किसी वस्तु की सतह को निर्धारित करना संभव हो जाता है। वर्चुअल रियलिटी सॉफ्टवेयर के उपयोग से यह वर्चुअल त्रि आयामी वॉकथ्रू, फ्लाईथ्रू के माध्यम उपलब्ध करता है। यह एक वास्तविक विज़ुअलाइज़ेशन अनुभव की संभावना को खोलता है और वर्चुअल म्यूज़ियम अनुप्रयोग की सुविधा प्रदान करता है। अर्जित डेटा वर्तमान स्थितियों में सटीक मैट्रिक और स्थानिक विश्लेषण के लिए उच्च गुणवत्ता और रिज़ॉल्यूशन प्रदान करने का सबसे सटीक तरीका है।

बोधिसत्व प्रतिमा को लेजर स्कैन के आधार पर आभासी पुनर्निर्माण किया गया तत्पश्चात उत्खनन के वास्तविक स्थान पर आभासी रूप में स्थानांतरित कर दिया गया।

Qutub Complex: A Birds Eye View

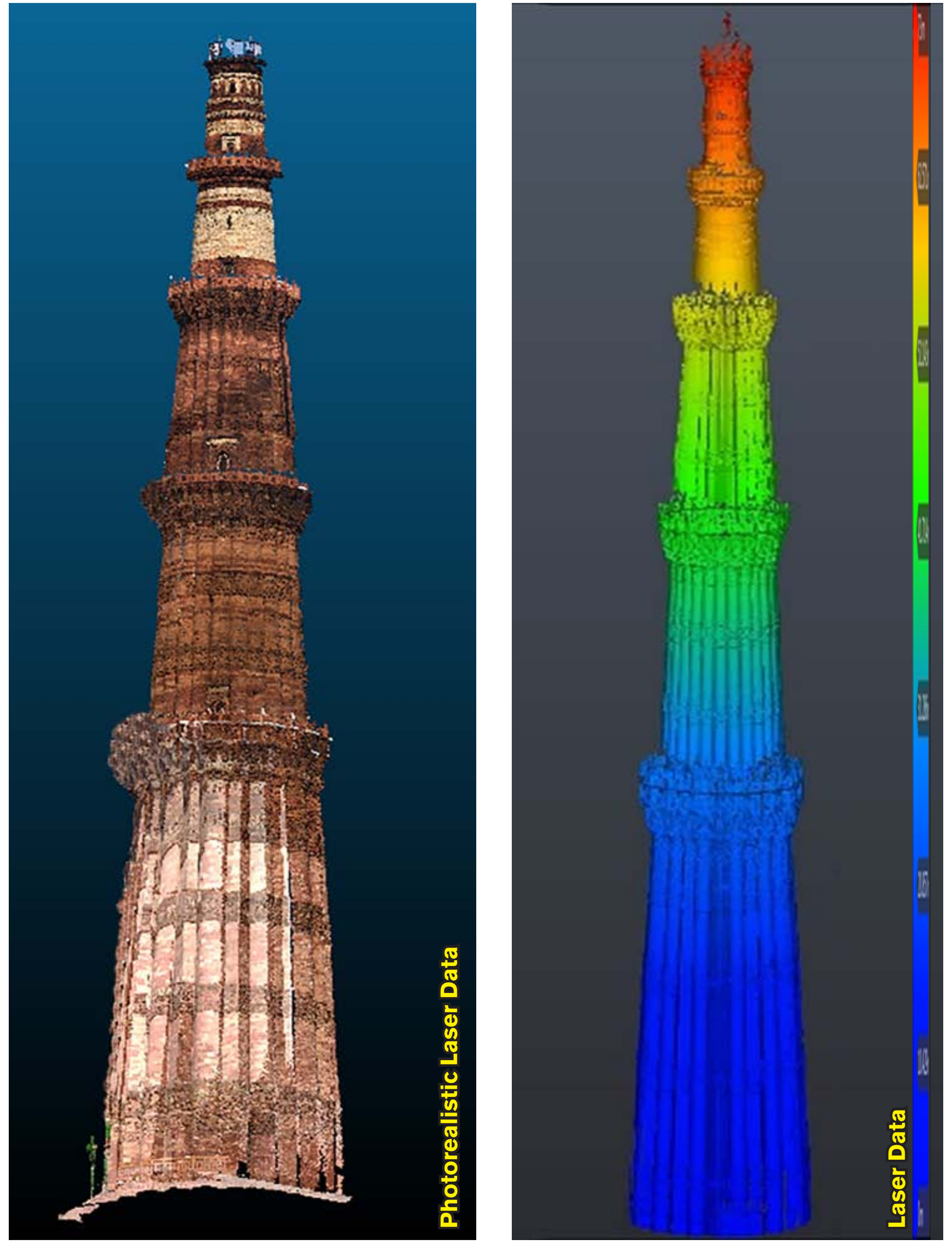
QUTUB COMPLEX

Historical Significance

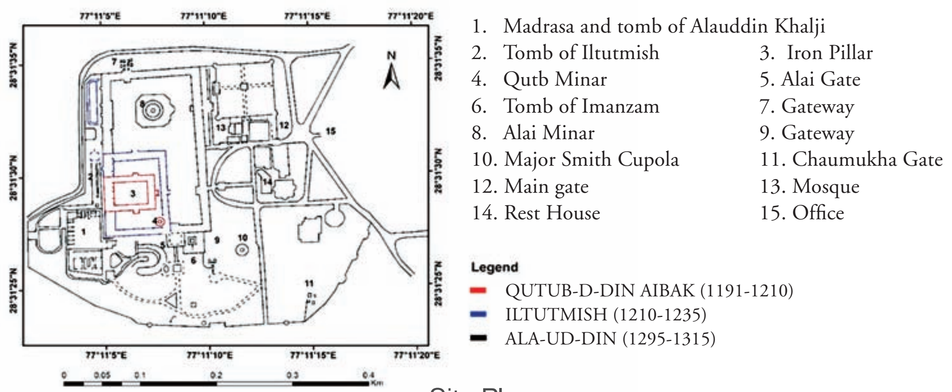
Qutub complex includes monuments and buildings from the Delhi Sultanate in Delhi in India and has been designated as a UNESCO world heritage site. The complex was built over demolished ruins of ancient Jain and Hindu temples. It has monuments from Gupta Empire dating back to the 415 BCE to subsequent additions from the successive empires of Tughlaqs and Alauddin Khalji. Several rise and fall of few glorious empires were witnessed by Delhi while frequently serving as their capital.

ऐतिहासिक महत्त्व

कुतुब परिसर में दिल्ली सल्तनत के स्मारक और इमारतें शामिल हैं और इसको यूनेस्को विश्व धरोहर स्थल के रूप में नामित किया गया है । यह परिसर प्राचीन जैन और हिंदू मंदिरों के ध्वस्त खंडहरों पर बनाया गया था। इसमें 415 ईसा पूर्व के गुप्त साम्राज्य से लेकर तुगलक और अलाउद्दीन खिलजी के क्रमिक साम्राज्यों के स्मारक मौजूद हैं। दिल्ली ने राजधानी के रूप में कुछ गौरवशाली साम्राज्यों के उत्थान और पतन देखे हैं ।



Qutub Minar



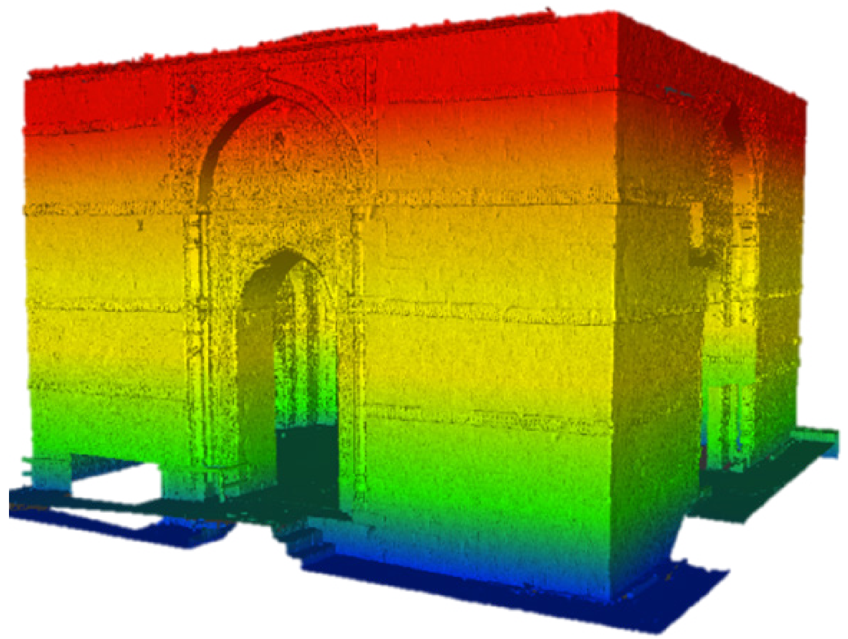
Site Plan

Qutub Minar

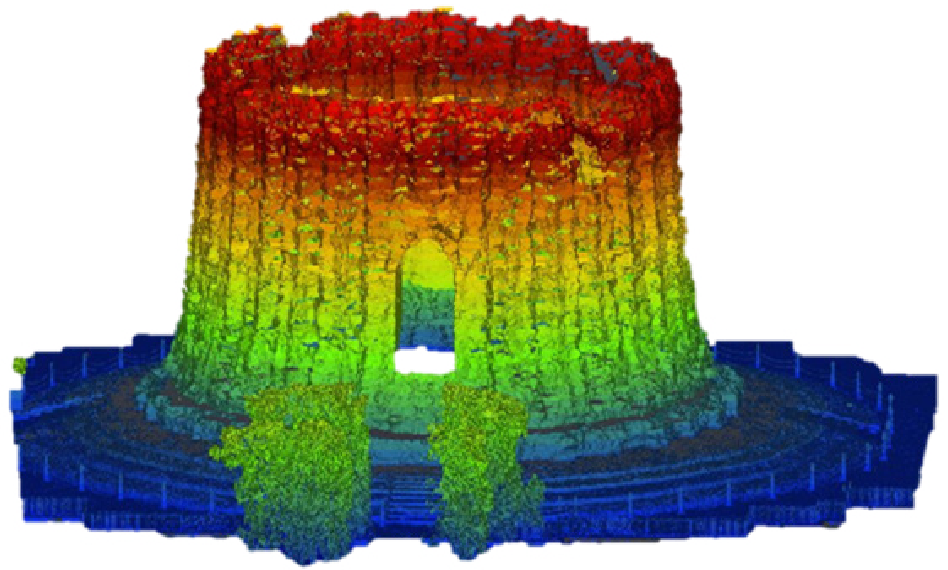
Qutub Minar, built with red and buff standstone is the highest tower in India. It has a diameter of 14.32 m at the base and about 2.75 m on the top with a height of 72.5 m. Numerous inscriptions in Arabic and Nagari characters in different places of the minar reveal the history of Qutub. Construction of the Qutub Minar "victory tower" in the complex, named after the religious figure Sufi Saint Khwaja Qutbuddin Bakhtiar Kaki, was begun by Qutb-ud-din Aibak, who later became the first Sultan of Delhi of the Mamluk dynasty (slave dynasty). It was continued by his successor Iltutmish, and finally completed much later by Firoz Shah Tughlaq, a Sultan of Delhi from the Tughlaq dynasty in 1368 AD.

कुतुब मीनार

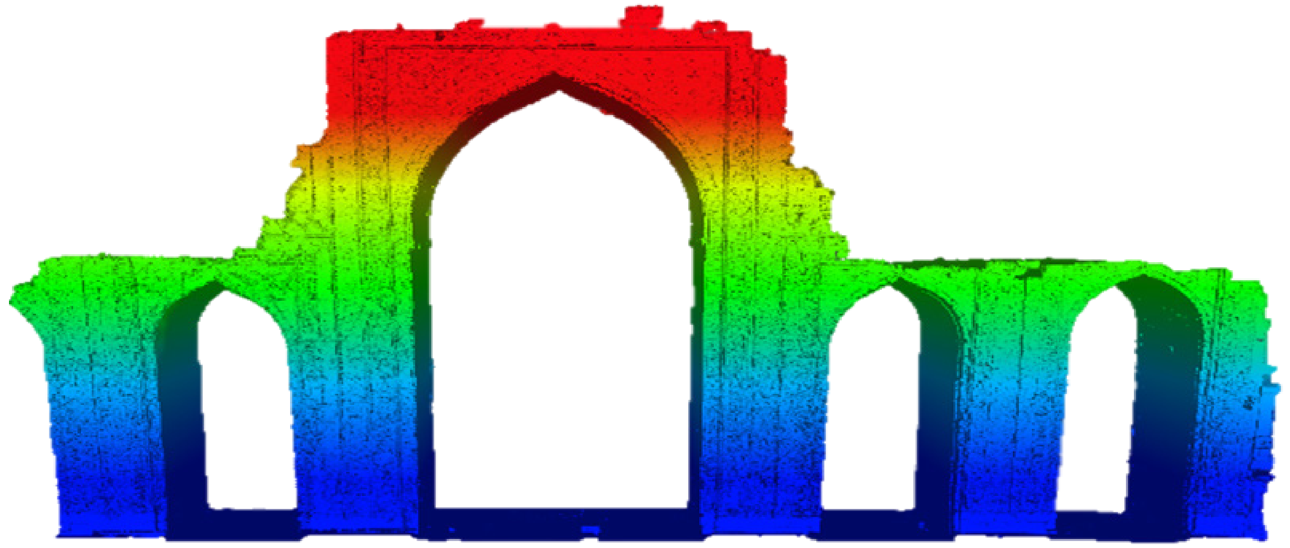
लाल और बफ स्टैंडस्टोन से बना कुतुब मीनार भारत की सबसे ऊंची मीनार है। मीनार 72.5 मीटर की ऊंचाई के साथ, इसका व्यास आधार पर 14.32 मीटर और शीर्ष पर लगभग 2.75 मीटर है। मीनार के विभिन्न स्थानों पर अरबी और नागरी अक्षरों में कई शिलालेख कुतुब के इतिहास को प्रकट करते हैं। सूफी संत ख्वाजा कुतुबुद्दीन बख्तियार काकी के नाम पर परिसर में कुतुब मीनार "विजय टॉवर" का निर्माण कुतुब-उद-दीन ऐबक द्वारा शुरू किया गया था, जो बाद में ममलुक वंश (गुलाम वंश) से दिल्ली के पहले सुल्तान बने। इसका निर्माण उनके उत्तराधिकारी इल्तुतमिश द्वारा जारी रखा गया था। और अंततः 1368 ईस्वी में तुगलक वंश से दिल्ली के सुल्तान फिरोज शाह तुगलक द्वारा पूरा किया गया था।



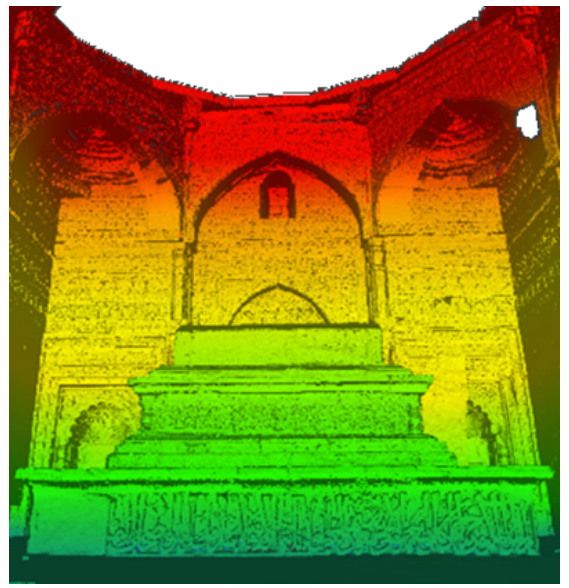
Tomb of Iltutmish



Alai Minar

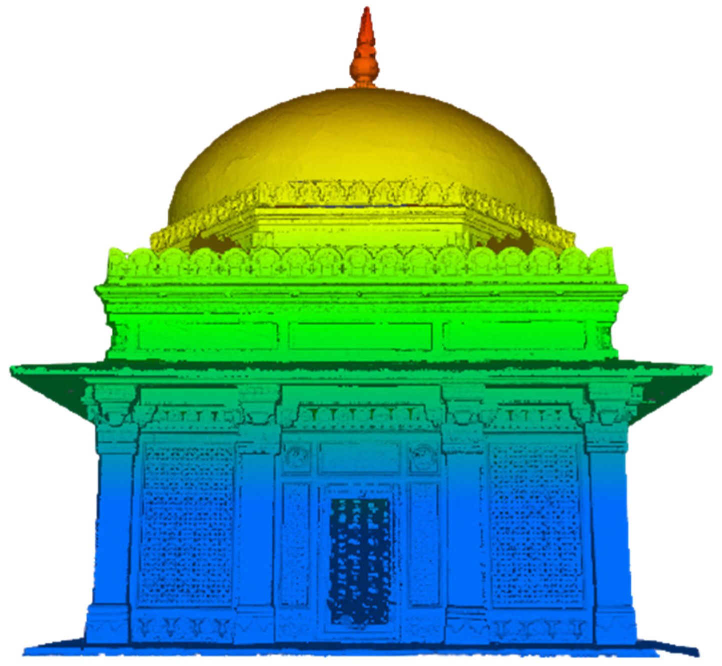


Arches at entrance



Tomb of Iltutmish

Jain Temple Pillar



Tomb of Imam Zamin

Iron Pillar

Historical Significance

The surrounding archaeological area contains many monuments, notably the magnificent Alai-Darwaza Gate, and two mosques, including the Quwwatu'l-Islam, the oldest in northern IndiaThe tomb of Iltutmish (AD 1211-36) was built in AD 1235. It is a plain square chamber of red sandstone, profusely carved with inscriptions, geometrical and arabesque patterns on the entrances and the whole of interior. Other prominent structures in the complex include Ala'i Minar which stands to the north of Qutb-Minar, and was commenced by Alau'd-Din Khalji, with the intention of making it twice the size of existing Minar. He could complete only the first storey which now has an extant height of 25 m. The iron pillar which is 7.21-metre high and weighing more than six tonnes is one of the world's foremost metallurgical marvels. The other remains in the Qutub complex comprise madrasa, graves, tombs, etc.

ऐतिहासिक महत्त्व

आसपास के पुरातात्विक क्षेत्र में अनेक स्मारक शामिल हैं, विशेष रूप से शानदार अलाई-दरवाजा तथा दो मस्जिदें, जिनमें कुव्वतुल-इस्लाम भी शामिल है, जो उत्तर भारत में सबसे पुरानी मस्जिद है। इल्ततमिश (1211-36 ई.) का मकबरा 1235 ई. में बनाया गया था। यह लाल सैंडस्टोन का एक सादा वर्गाकार कक्ष है, जिसमे प्रवेश द्वारों तथा सम्पूर्ण आंतरिक भागों पर ज्यामितीय और अरबी पैटर्न की नक्काशी है। परिसर में अन्य प्रमुख संरचनाओं में अलाई मीनार शामिल है जो कुतुब-मीनार के उत्तर में स्थित है, और इसे अलाउद्दीन खिलजी द्वारा विद्यमान मीनार से दोगुना आकार का बनाने के इरादे से शुरू किया गया था। वह केवल पहली मंजिल को ही पूरा कर सके जिसकी वर्तमान ऊंचाई 25 मीटर है। इस परिसर में 7.21 मीटर ऊँचाई और छह टन से अधिक वजन का लौह स्तंभ भी स्थित है जो दुनिया के सर्वश्रेठ धातुकर्म के अद्भुत उदाहरणों में से एक है। कुतुब परिसर के अन्य अवशेषों में मदरसा, कब्रें, मकबरे आदि शामिल हैं।

Left to Right Images: Laser derived 3D model: Monuments of Qutub Complex

Archiving Heritage :

Extracting Architectural Primitives

Architectural elements are those details and parts that together, form the architectural style of buildings, and structures. Primitive based 3D modelling can be used for automatic recognition and segmentation of heritage sites to extract geometrical entities like walls, towers, roofs, slopes, etc. To extract the architectural elements, integrated point cloud was utilised. The textured point cloud was smoothed using a smoothing filter and was subjected to edge extraction technique. The geometrical inaccuracies in the preliminary edges obtained from above approach needs to be corrected and refined before the drawing of individual architectural elements can be created. A certain amount of manual editing was required for proper representation of the architectural elements.

विरासत का संग्रह :

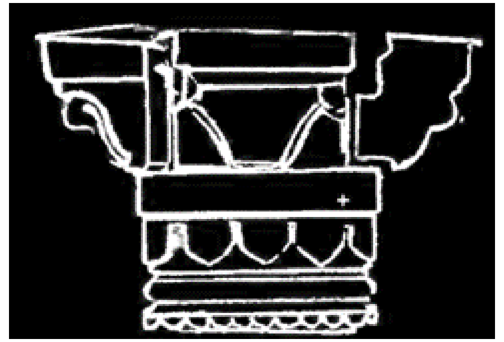
स्थापत्य तत्व निकालना

स्थापत्य तत्व वह विवरण और खंड हैं जिनके मिलान से इमारतों और संरचनाओं की स्थापत्य शैली का निर्माण करते हैं। दीवारों, टावरों, छतों, ढलानों आदि जैसी ज्यामितीय तत्वों को निकालने के लिए विरासत स्थलों के ऑटोमैटिक अभिज्ञान और विभाजन के लिए आधारभूत त्रि-आयामी मॉडलिंग का उपयोग किया जा सकता है। वास्तु तत्वों को निकालने के लिए एकीकृत बिन्दु समूह का उपयोग किया गया। स्मूथिंग फिल्टर द्वारा समतल किए गए टेक्सचर्ड बिन्दु समूह पर एज (किनारे) एक्सट्रैक्शन तकनीक का प्रयोग किया गया। उपरोक्त प्रणाली से प्राप्त प्रारंभिक ऐजो (किनारे) में ज्यामितीय अशुद्धियों होती हैं, जिन को वास्तुशिल्प तत्वों के रेखाचित्र बनाने से पहले संशोधित और परिष्कृत करने की आवश्यकता होती है। वास्तुशिल्प तत्वों के उचित प्रतिनिधित्व के लिए एक निश्चित मात्रा में मैन्युअल संपादन की आवश्यकता होती थी।

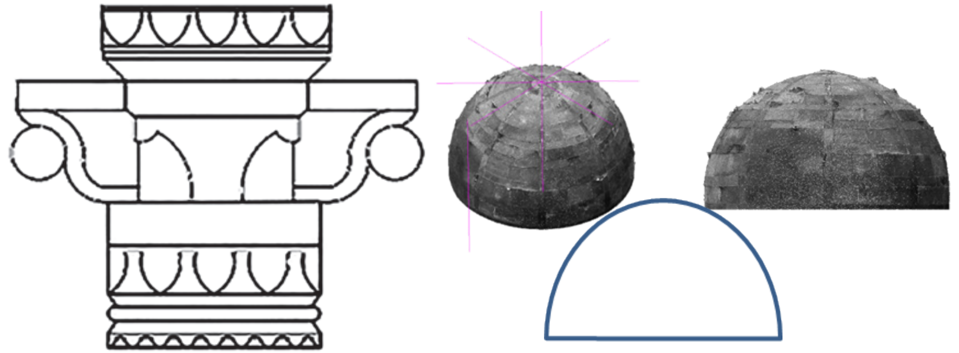
3D Point Cloud

Architectural element subset

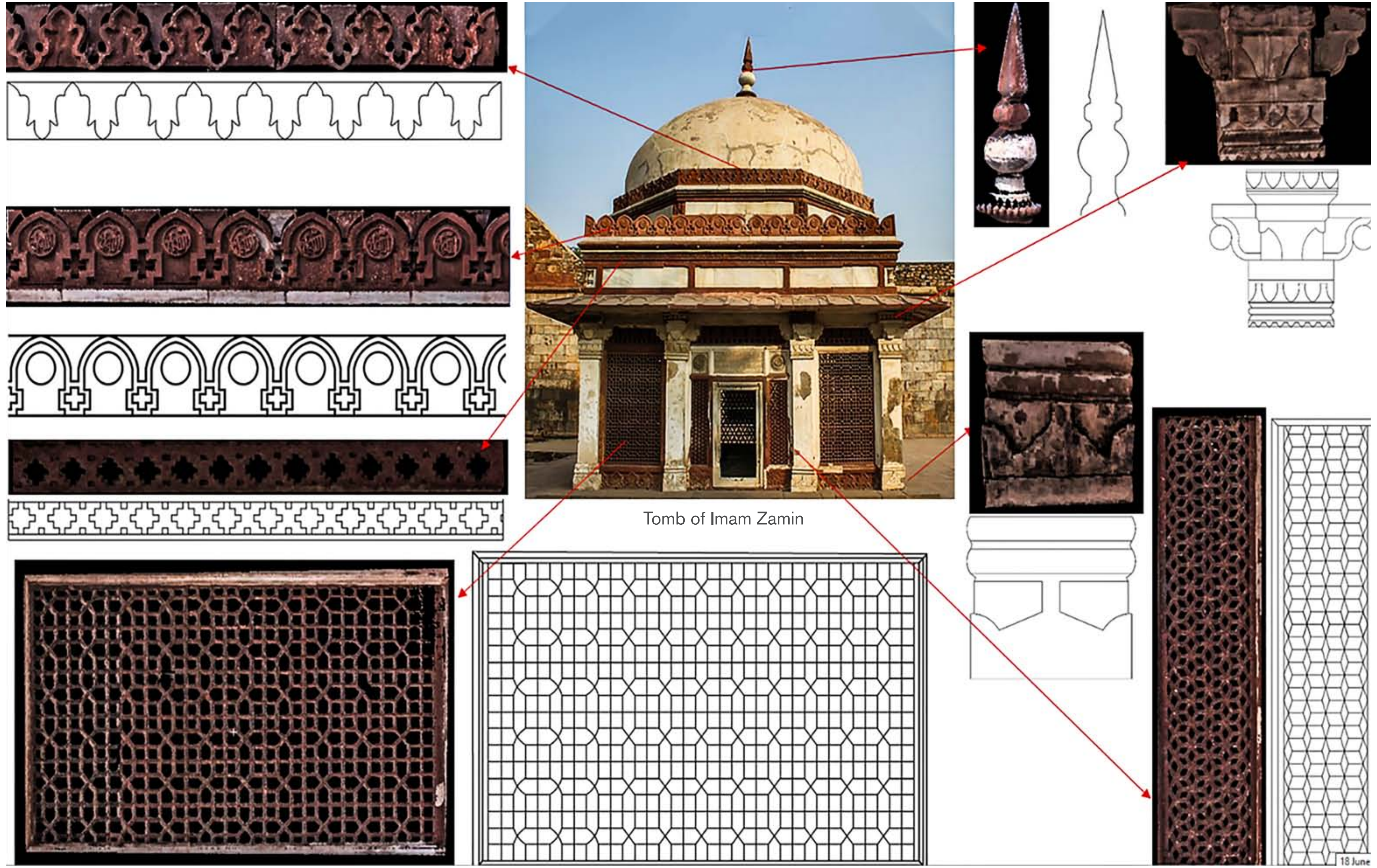
Smoothed image



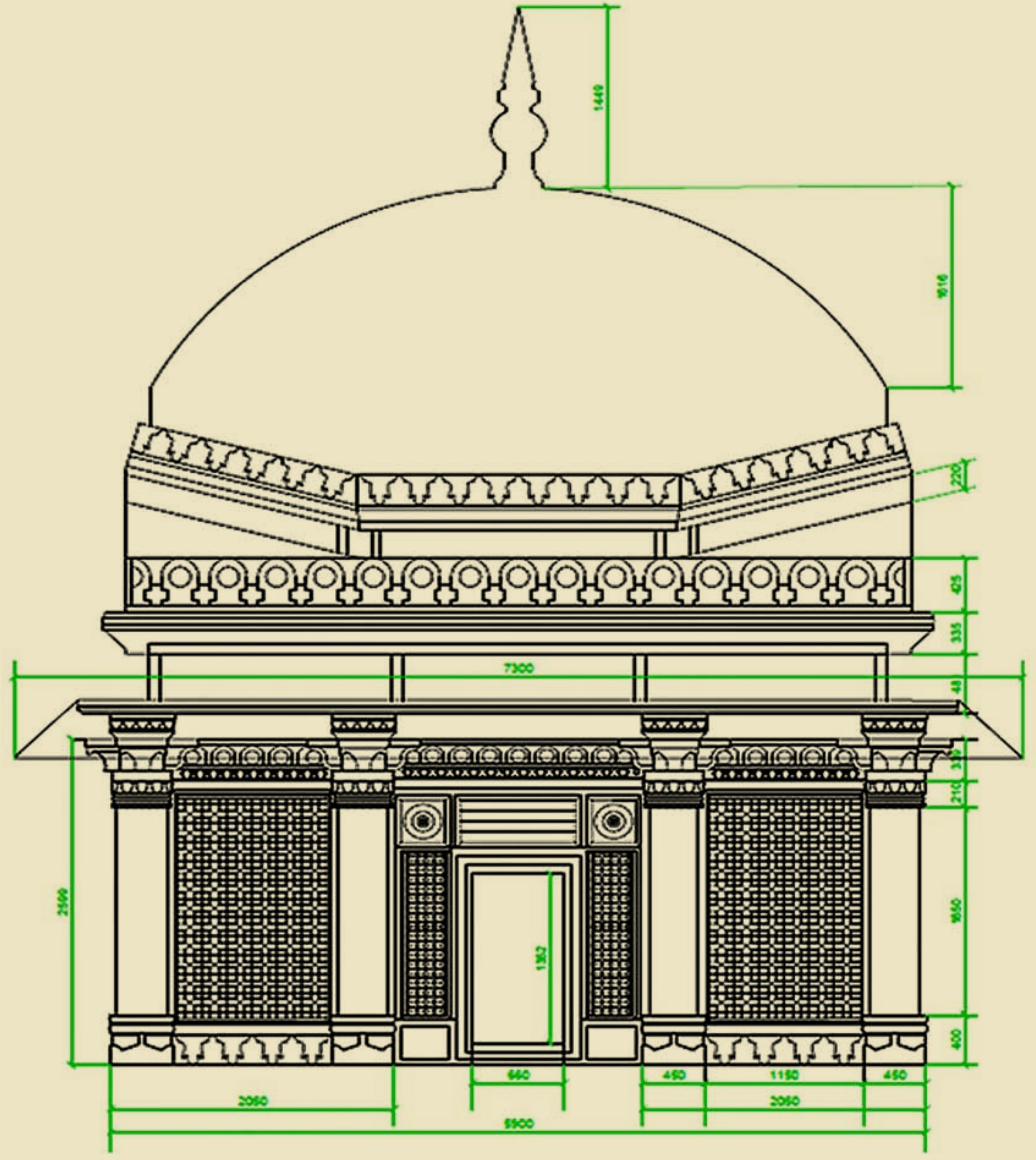
Extracted and Refined Edges



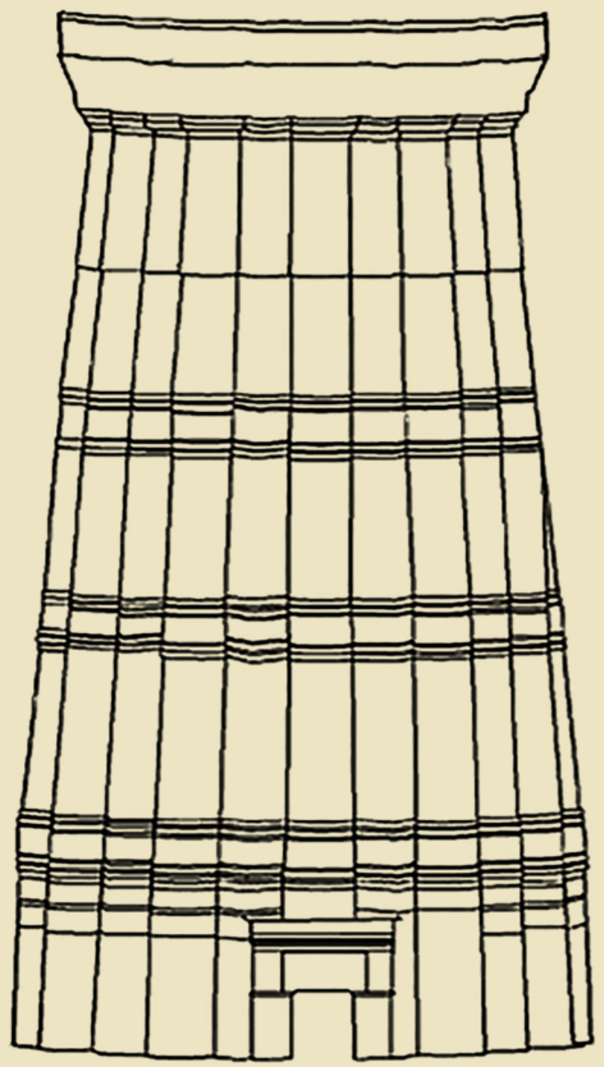
Edited shape



Left to Right Images:
Extraction of Architectural Elements

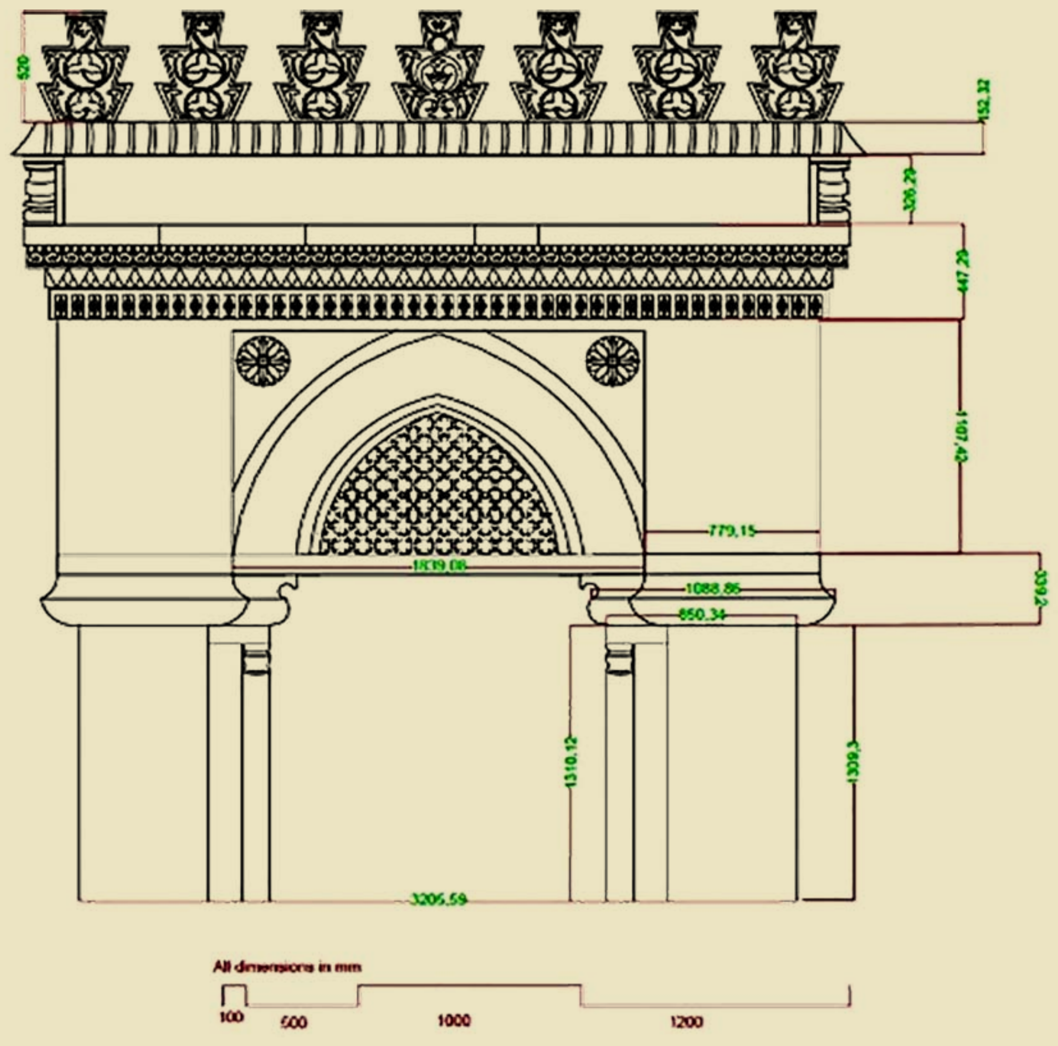


Front Elevation



Qutub Minar first floor

Carving on main gate



Qutub Minar Entrance Gate

Left to Right : Digital Blueprints

Digital Blueprinting

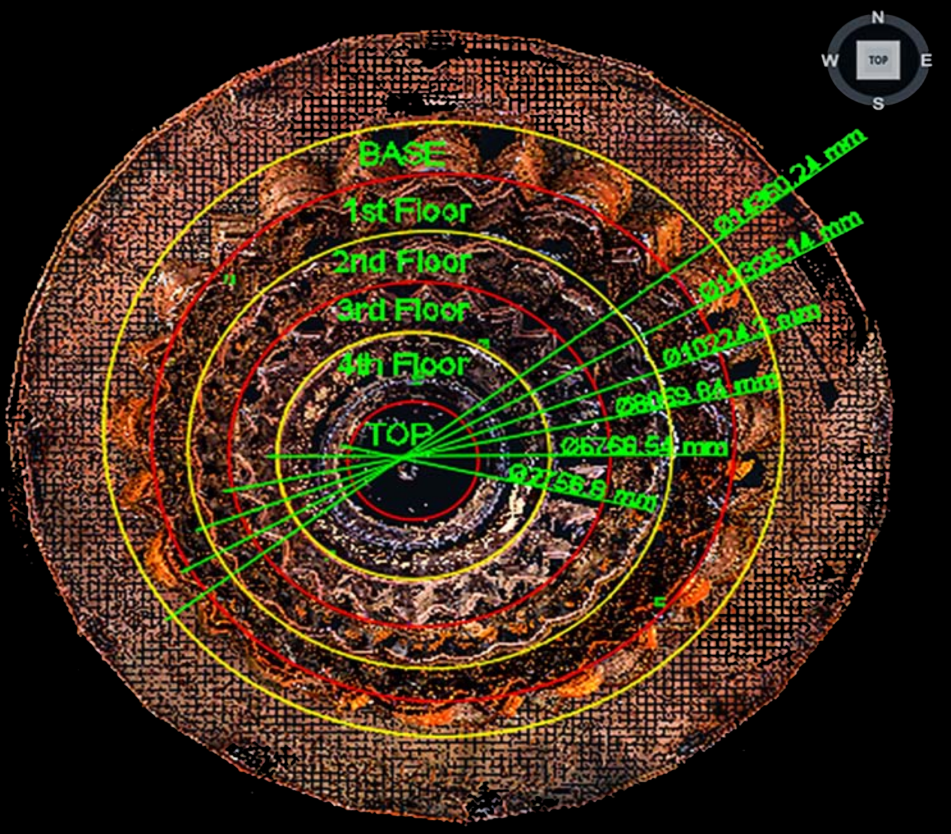
Reality capture solutions such as laser scanning are critical to generate accurate blueprints of built structures especially those with heritage and cultural importance, preserving them for future generations. Laser scanners enable recording the current state of the monuments interior and exterior, as well as create a precise 3D model of the structure. This is an important set of data that will inform restoration experts on how to rebuild or repair the structure and ensure long term survival of heritage monuments.

These digitally constructed blueprints of heritage sites highlight the vital role of laser scanning and photogrammetry in heritage conservation.

डिजिटल ब्लूप्रिंटिंग

लेजर स्कैनिंग जैसी वास्तविकता चित्रांकन तकनीक विरासत और सांस्कृतिक महत्व वाली संरचनाओं के सटीक ब्लूप्रिंट (ख़ाका) उत्पन्न करने के लिए महत्वपूर्ण हैं। यह ब्लूप्रिंट संरचनाओं को भविष्य की पीढ़ियों के लिए संरक्षित करने के लिए भी उपयोगी हैं। लेजर स्कैनर स्मारकों की आंतरिक और बाहरी वर्तमान स्थिति को अभिलेखबद्ध करने में सक्षम होते हैं और साथ ही संरचना का एक सटीक त्रि-आयामी मॉडल बनाते हैं। यह महत्वपूर्ण डेटा है जो विशेषज्ञों को संरचना के पुनर्निर्माण या मरम्मत के बारे में सूचित करेगा तथा धरोहर के दीर्घकालिक अस्तित्व को सुनिश्चित करेगा।

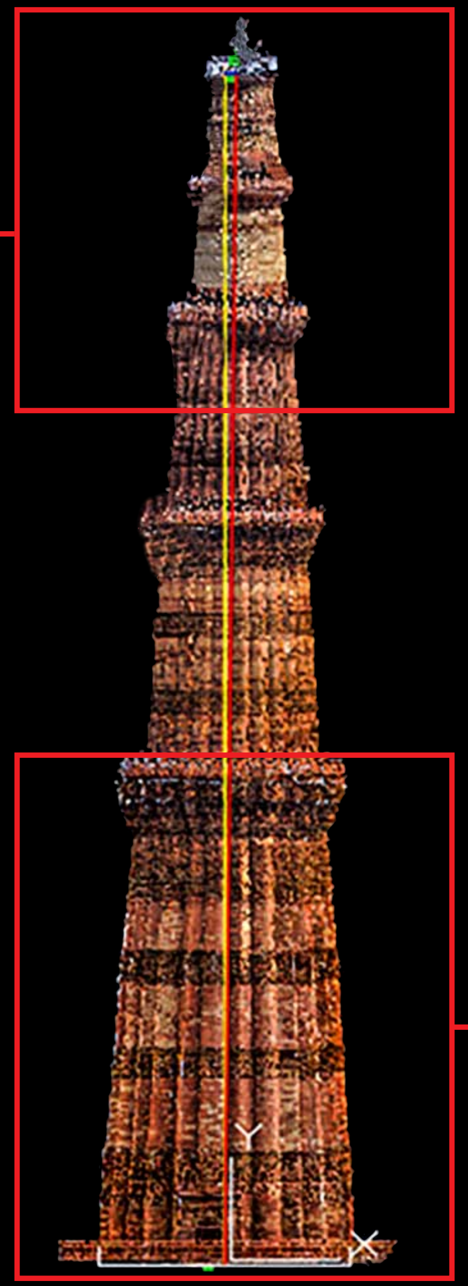
विरासत स्थलों के डिजिटल रूप से निर्मित ये ब्लूप्रिंट विरासत संरक्षण में लेजर स्कैनिंग और फोटोग्रामेट्री की महत्वपूर्ण भूमिका को उजागर करते हैं।



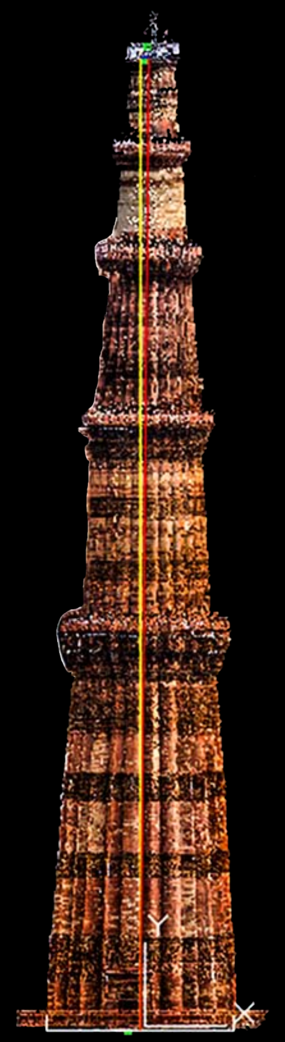
Structural Health Monitoring

Estimation of tilt

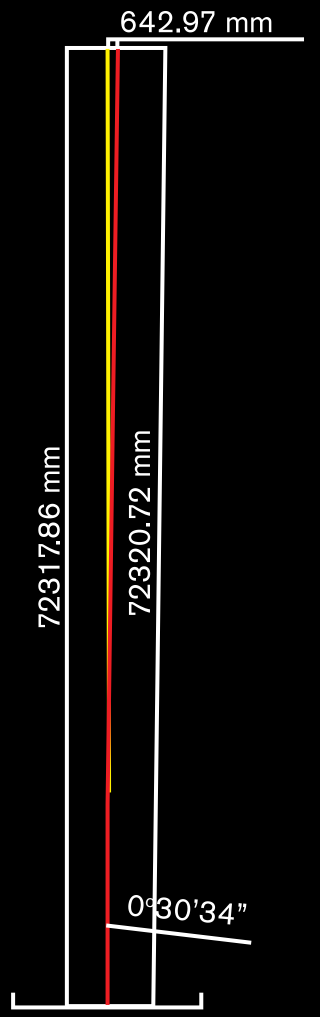
Shift of axis of the Minar (tower) with respect to plumb line was measured using precise georeferenced laser scans for each floor. Length and tilt of Minar axis is measured and tilt of the Minar is calculated. Tilt estimated to be 64. 29 cm towards south west direction. Tilt reported by ASI 63.5 cm (1964).

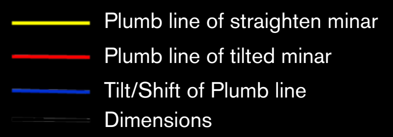


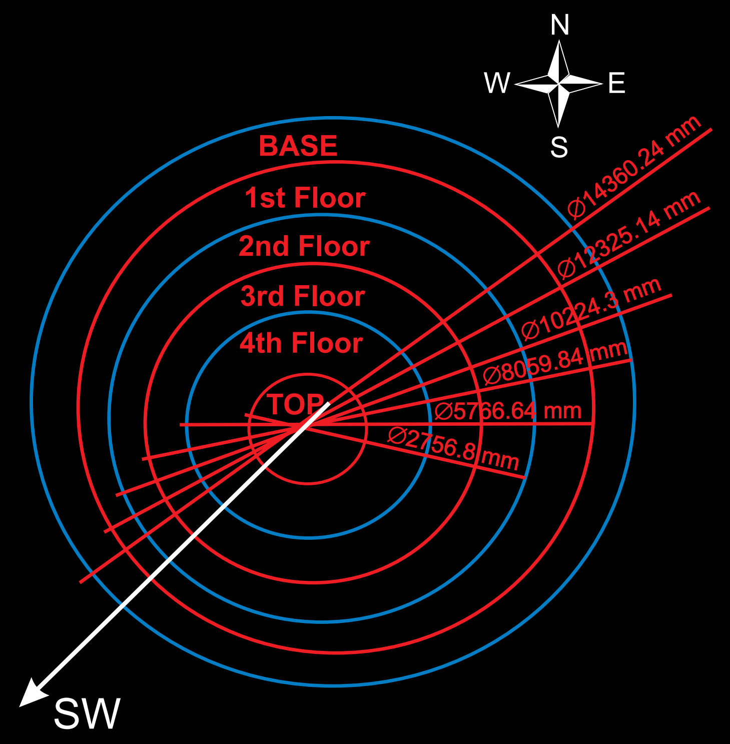
Tilted point cloud



Tilted point cloud







संरचनात्मक स्वास्थ्य निरीक्षण

झुकाव का अनुमान

प्रत्येक मंजिल के लिए सटीक भू-संदर्भित लेजर स्कैन का उपयोग करके प्लंब लाइन के संबंध में मीनार (टॉवर) की धुरी की शिफ्ट को मापा जाता था। मीनार की धुरी की लंबाई और झुकाव को मापा जाता था और फिर मीनार के झुकाव की गणना की जाती थी। दक्षिण पश्चिम दिशा की ओर 64. 29 सेमी झुकाव होने का अनुमान है। एएसआई (1964) द्वारा रिपोर्ट किया गया झुकाव 63.5 सेमी था ।

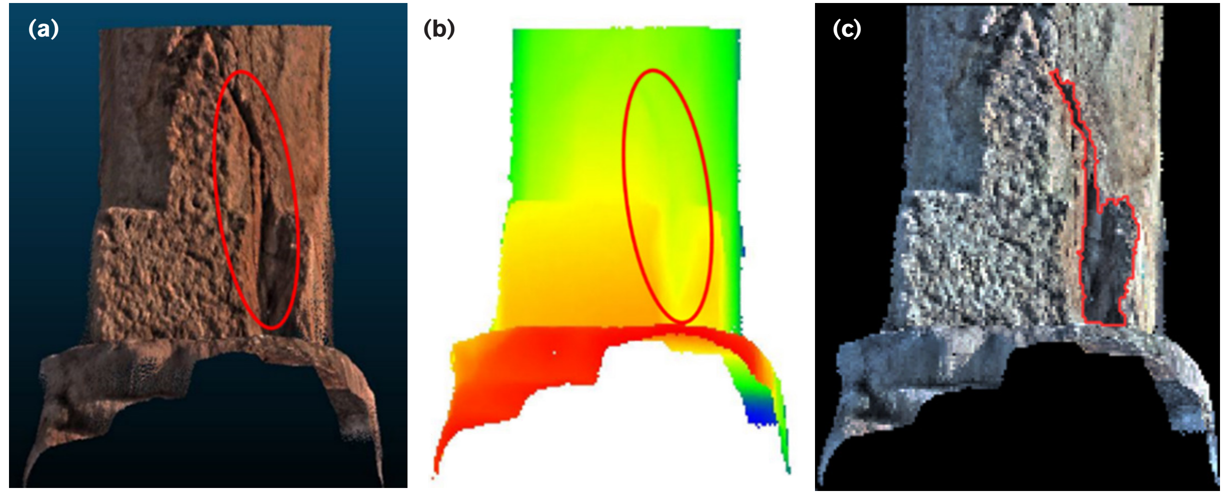
(a) Broken Pattern

(b) Identifying broken area

(c) Identification of broken area

(d) Reconstructed Pattern

(a)-(d): **Identification of Broken Pattern**



Identification of Cracks :

(a) Laser data (crack in red circle),
(b) Crack on Laser Data,
(c) Identification of crack

Virtual reconstruction of broken artefacts, Qutub Complex, New Delhi
(a) Broken artefact, (b) virtually reconstructed artefact

Damage Detection and Virtual Reconstruction

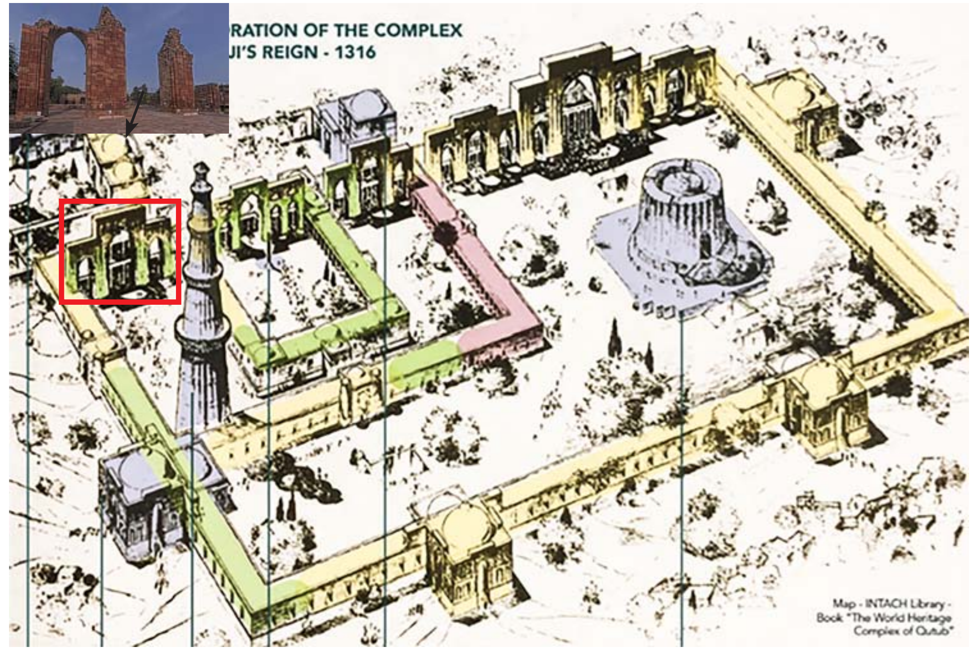
Structural health of heritage structures should be assessed periodically to ensure timely and appropriate intervention strategies for repair, restoration and preservation. This can be ascertained by identifying damages, such as cracks, broken parts, discolorations etc. Traditional methods of crack identification involve visual inspection and in situ measurements which may be time consuming and are invasive in nature unlike laser scanners. Camera images and laser scan were synergistically used for automatic identification of cracks and broken patterns in the heritage structures.

Left to Right : Damage Detection

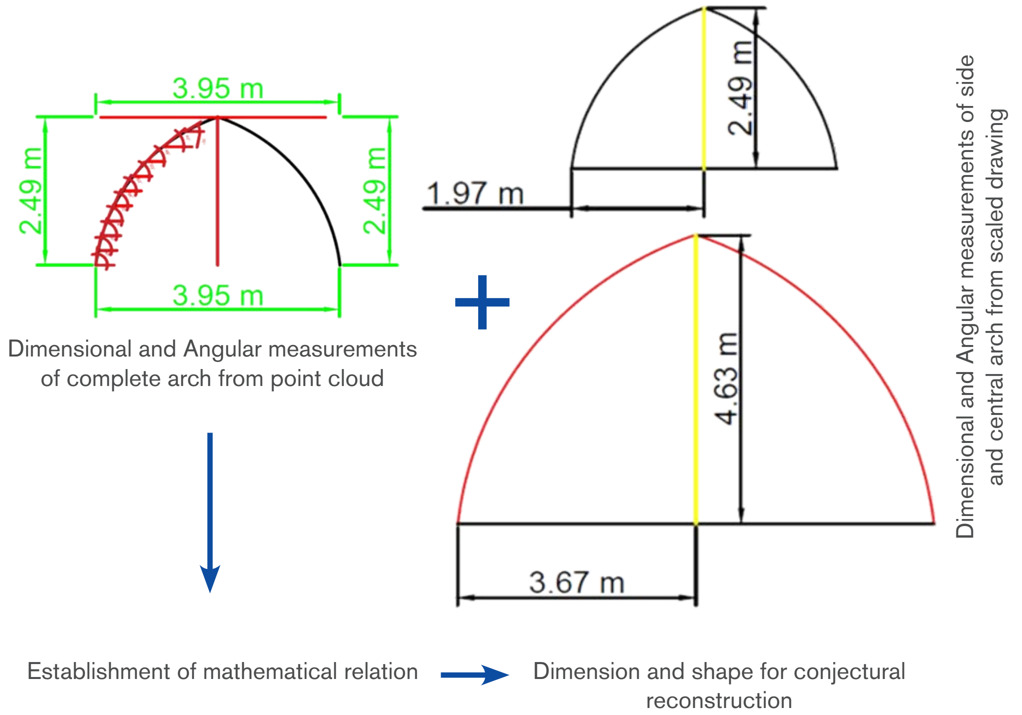
क्षति आंकलन एवं आभासी पुनर्निर्माण

संरक्षण, मरम्मत और बहाली के लिए समय पर और उचित हस्तक्षेप रणनीति सुनिश्चित करने के लिए विरासत संरचनाओं के संरचनात्मक स्वास्थ्य का नियतकालिक मूल्यांकन किया जाना चाहिए। स्वास्थ्य जांच हेतु स्मारक में दरारें, टूटे हुए हिस्से, मलिनकरण आदि जैसे नुकसान की पहचान करनी चाहिए। दरार की पहचान के पारंपरिक तरीकों में दृश्य निरीक्षण और स्वस्थानीक मापन शामिल हैं। लेजर स्कैनर के विपरीत यह पारंपरिक तरीके अधिक समय लेने वाले और इन्वेसिव हो सकते हैं

विरासत संरचनाओं में दरारें और टूटे हुए पैटर्न की स्वतः पहचान के लिए कैमरा छवियों और लेजर स्कैन का सहक्रियात्मक रूप से उपयोग किया गया है।



Conjectural restoration of Qutub Complex – 1316 AD Map-INTACH Library Book “ The World Heritage Complex of Qutub”



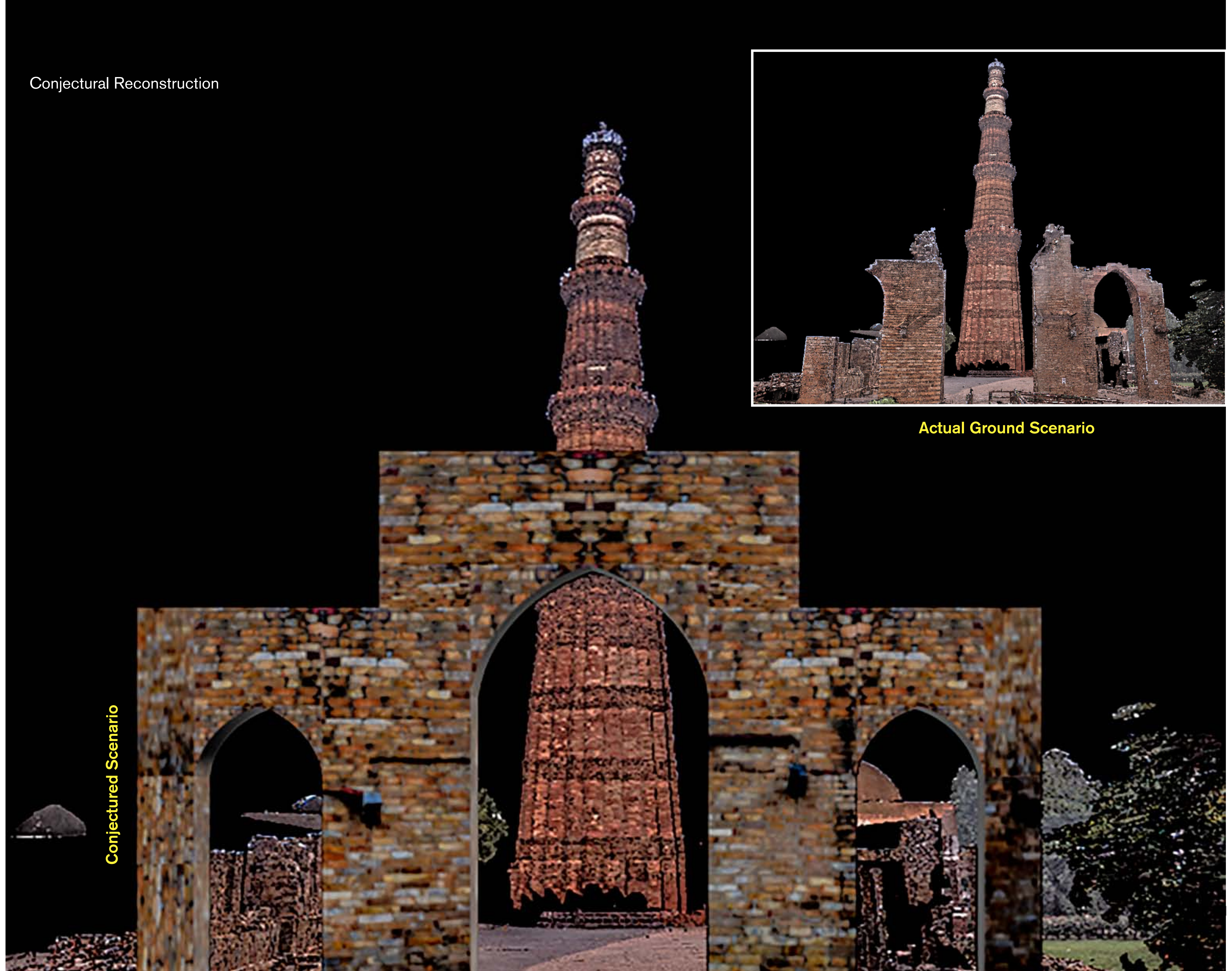
Rebuilding the past : A Conjectural scenario

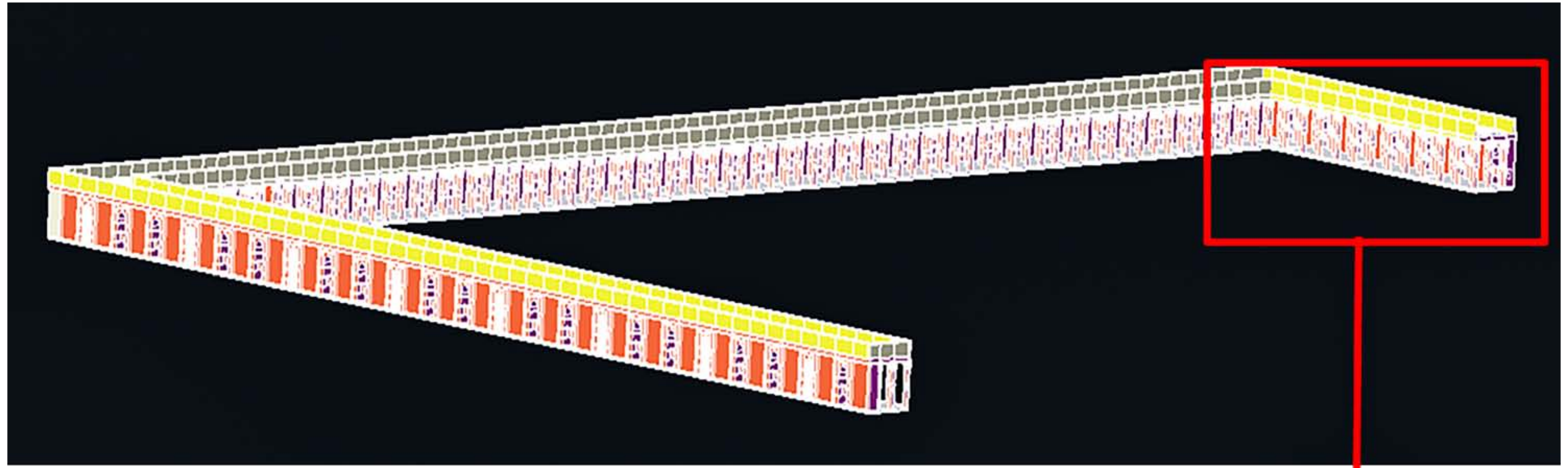
Conjectural reconstruction of built heritage aims at simulating a visual and metric accuracy in representation of historical environments, based on archived sources of history.

A conjectured scenario based on clues obtained from archival material e.g. drawings, maps, photographs etc. is created for the broken arches in The Qutub heritage Complex. The historical information is integrated with present date laser scan and photographic image data. Information interpreted from historical/archival data was mathematically transformed and scaled to geometrically match the existing details. This in conjunction with ultra-dense high resolution 3D information from precisely georeferenced laser scans enabled simulation and conjectural reconstruction of past scenarios.

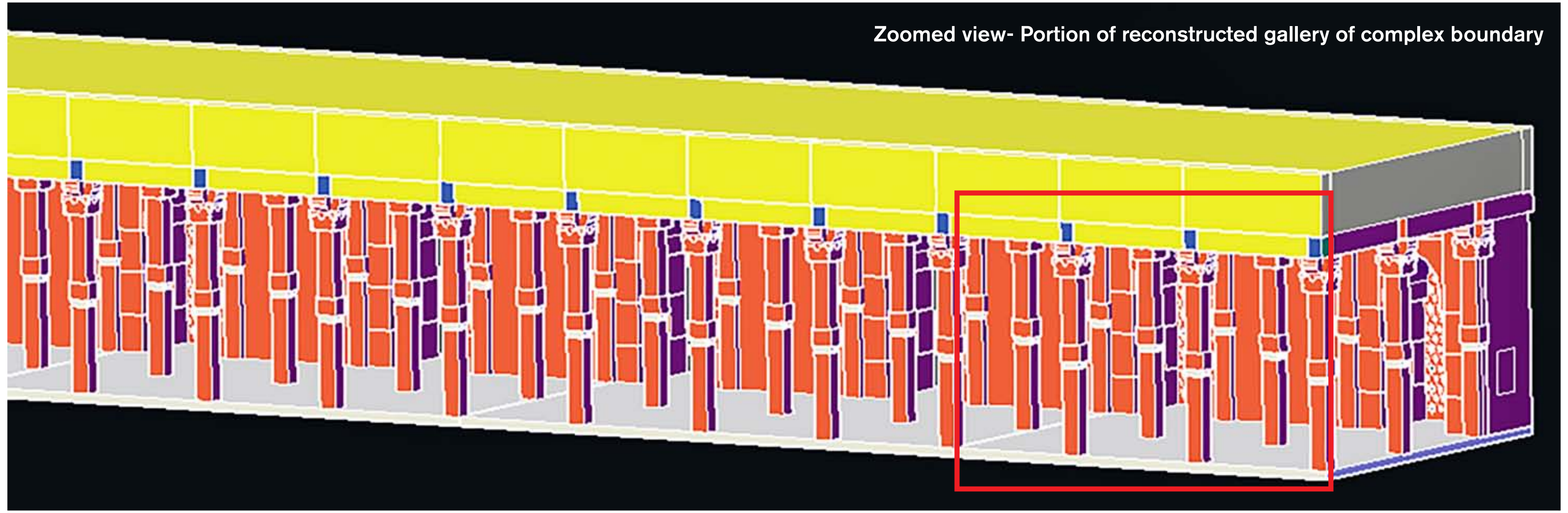
अतीत का पुनर्निर्माण : अनुमान परिदृश्य

निर्मित विरासत के अनुमानित पुनर्निर्माण का उद्देश्य इतिहास के संग्रहीत स्रोतों के आधार पर ऐतिहासिक परिवेश को दृश्यक और मीट्रिक सटीकता के साथ दर्शाना है। कुतुब हेरिटेज कॉम्प्लेक्स में टूटे मेहराबों के लिए ऐतिहासिक अभिलेखों जैसे चित्र, मानचित्र, फोटोग्राफ आदि से प्राप्त सुरागों के आधार पर अनुमानित परिदृश्य बनाए गए हैं। ऐतिहासिक जानकारी तथा वर्तमान तिथि के लेजर स्कैन और फोटोग्राफिक छवि डेटा का एकीकरण किया गया है। ऐतिहासिक/अभिलेखीय डेटा से प्राप्त की गई जानकारी को गणितीय रूप से रूपांतरित किया गया और मौजूदा स्थिति से ज्यामितीय रूप से मिलान करने के लिए प्रवर्धित किया गया। यह डाटा भू-संदर्भित लेजर स्कैन की उच्च सघनता तथा उच्च रिज़ॉल्यूशन त्रि-आयामी जानकारी के संयोजन से ऐतिहासिक परिदृश्यों के अनुकरण और अनुमान के पुनर्निर्माण को सक्षम करता है।

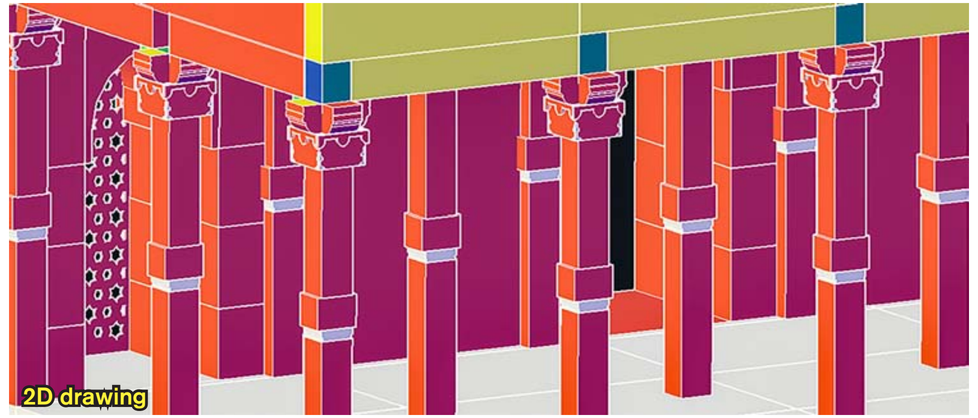




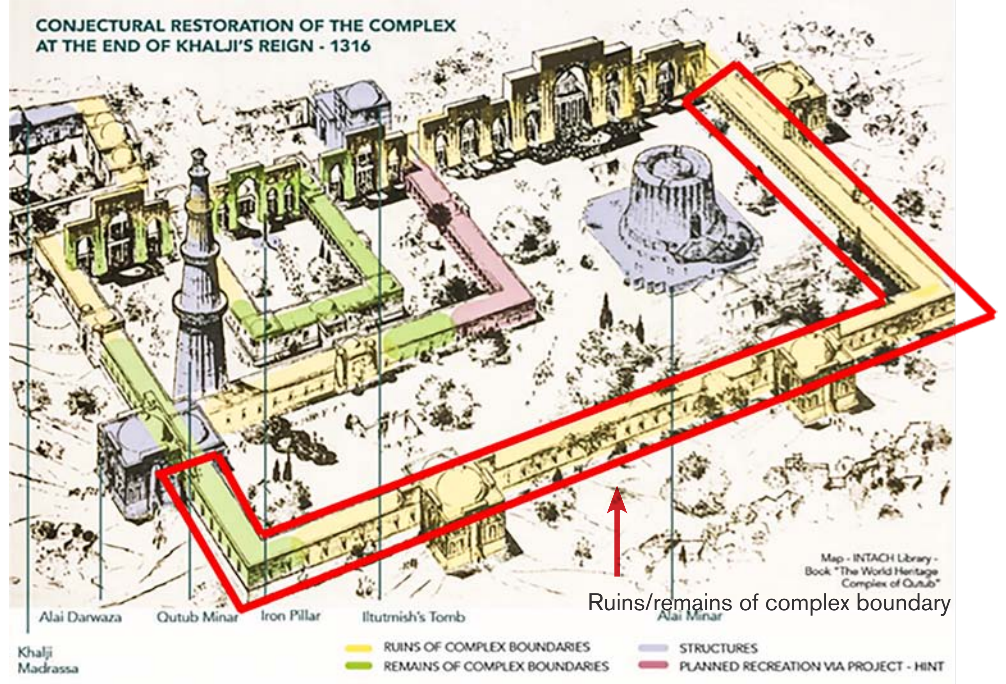
Reconstructed pillars and gallery in 3D



Zoomed view- Portion of reconstructed gallery of complex boundary



Zoomed view of reconstructed pillars and gallery



Conjectural restoration of Qutub Complex – 1316 AD
Map-INTACH Library Book " The World Heritage Complex of Qutub"

A Conjectural scenario

The approach focussed on maintaining visual fidelity and accurate reproduction of historical environment. Having a comprehensive and accurate documentation for any important building especially those which may be non –reproducible like World heritage sites is very important. This is a necessary measure to prepare for the worst case and give the subsequent potential for reconstruction.

Pillars and galleries surrounding the Heritage complex were conjecturally reconstructed by integrating information from based on archived material e.g. artist's impressions, old photographs etc, present date laser scans and photographs.

Left to Right : Conjectural Reconstruction

अनुमान परिदृश्य

यह तकनीक दृश्य निष्ठा को बनाए रखने तथा ऐतिहासिक परिदृश्य को सटीकता से पुनरुत्पादित करने पर केन्द्रित है। विश्व धरोहर स्थल जैसे स्मारकों, जिनको पुनरुत्पादित नहीं किया जा सकता, उनका विस्तृत तथा सटीक प्रलेखन अति महत्वपूर्ण है। यह हमें निकृष्टतम स्थिति के लिए तैयारी करने और तदन्तर पुनर्निर्माण की संभावना के लिए आवश्यक जानकारी देता है।

विरासत परिसर को घेरती हुई स्तम्भ और दीर्घाओं का अनुमानित पुनर्निर्माण ऐतिहासिक जानकारी जैसे कलाकारों की कृतियाँ, ऐतिहासिक छवि चित्र, तथा वर्तमान तिथि लेजर स्कैन और फोटोग्राफिक छवि डेटा के एकीकरण से किया गया है।

Humayun's Tomb, Delhi

HUMAYUN'S TOMB

Historical Significance

Humayun's tomb is the tomb of the Mughal Emperor Humayun in Delhi, India. It was the first garden-tomb on the Indian subcontinent, and is located close to the Dina-panah Citadel, also known as Purana Qila (Old Fort), that Humayun found in 1533. It was also the first structure to use red sandstone. The tomb was declared a UNESCO World Heritage Site in 1993.

ऐतिहासिक महत्त्व

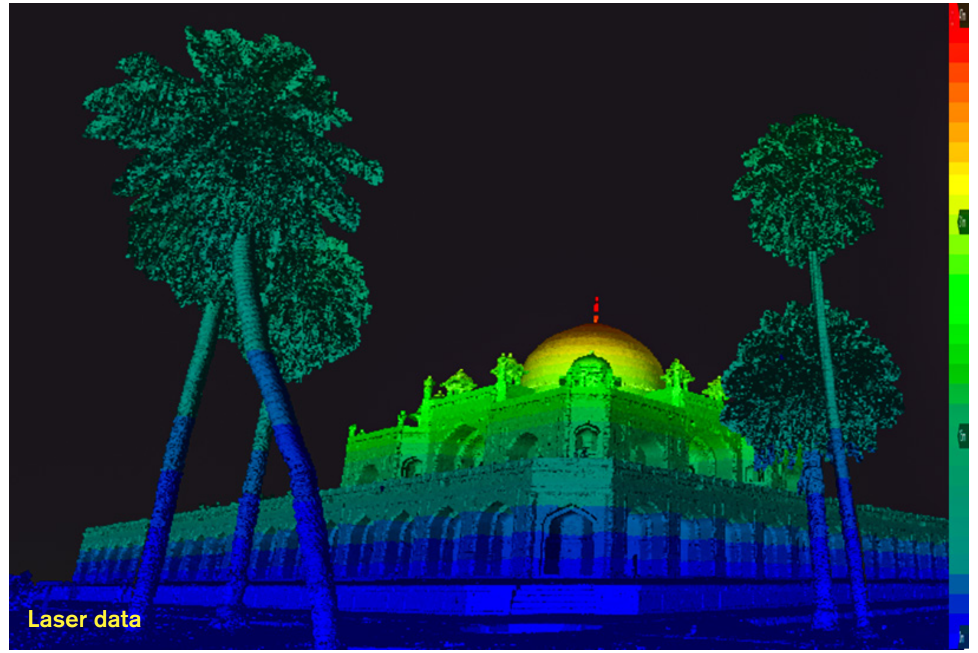
हुमायूँ का मकबरा दिल्ली, भारत में मुगल सम्राट हुमायूँ का मकबरा है। यह भारतीय उपमहाद्वीप, पर पहला उद्यान-मकबरा था जो निजामुद्दीन पूर्व, दिल्ली, भारत में, दीन-पनाह गढ़ के करीब स्थित है, जिसे ओल्ड फोर्ट (पुराना किला) भी कहा जाता है, और जिसे हुमायूँ ने 1533 में बनाया था। लाल बलुआ पत्थर का उपयोग करने वाला यह पहला ढांचा था। मकबरे को 1993 में यूनेस्को की विश्व धरोहर स्थल घोषित किया गया था।

Photo-textured Laser data

The tomb stands in the centre of a square garden, divided into four main parterres (charbagh), in the centre of which ran shallow water-channels. The enclosure is entered through two lofty double-storeyed gateways on the west and south. A baradari occupies the centre of the eastern wall and a hammam in the centre of northern wall. The tomb is 47 m high with a 91 m wide plinth . It was the first Indian building to use the Persian double dome. The dome is topped by 6 metres high brass finial ending in a crescent. As a contrast to the pure white exterior dome, rest of the building is made up of red sandstone, with white and black marble and yellow sandstone detailing.

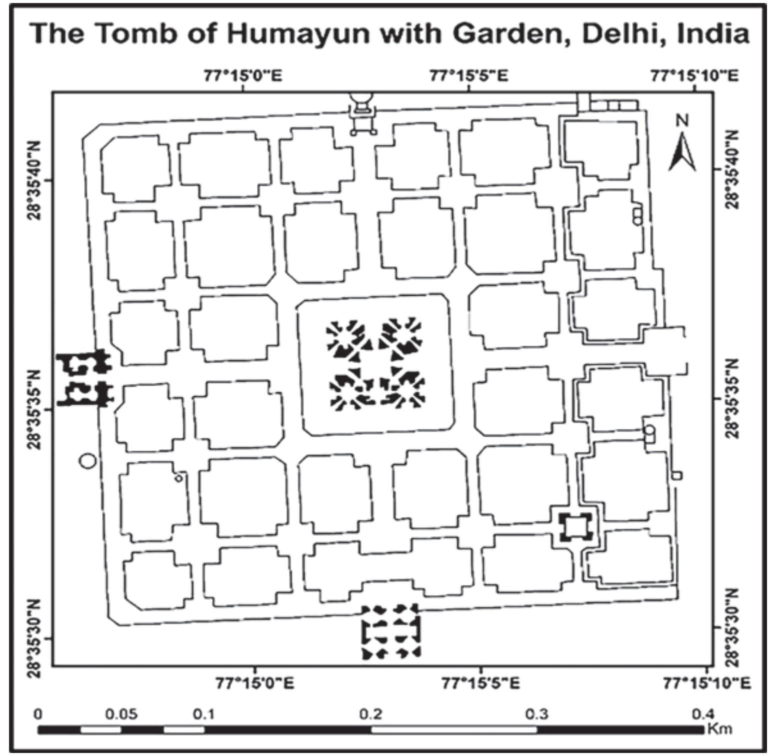
Ground Photograph

Humayun's Tomb, Delhi



Laser data

मकबरा एक वर्गाकार बगीचे के केंद्र में स्थित है, जो चार मुख्य पुष्पवाटिकाओं में विभाजित है, जिसके केंद्र में उथली जलवाहिकाएँ थीं। पश्चिम और दक्षिण में दो मंजिला प्रवेश द्वारों के माध्यम से प्रवेश किया जा सकता है। पूर्वी दीवार के केंद्र में एक बारादरी और उत्तरी दीवार के केंद्र में एक हम्माम है। मकबरा 47 मीटर ऊंचा तथा चबूतरे पर 91 मीटर चौड़ा है। फारसी डबल गुंबद का उपयोग करने वाली यह पहली भारतीय इमारत है। गुंबद के शीर्ष पर 6 मीटर ऊंची पीतल की स्तुपिका है जो एक अर्धचंद्र में समाप्त होती है। बाहरी गुंबद शुद्ध सफेद है, तथा शेष इमारत लाल बलुआ पत्थर से बनी है, जिसमें सफेद और काले संगमरमर और पीले बलुआ पत्थर का सज्जा हेतु विस्तृतीकरण है।



Plan View (Source: ASI)

Laser Scanning Data Collection

Point clouds from terrestrial laser scanners are acquired from different positions and hence have to be brought in a common coordinate system by performing co-registration. Point clouds also contain noise elements which are irrelevant to the processing of the data. The noise from each of the scans has to be removed so that there is only essential information representing the object. Terrestrial Laser scanners are also supplemented with calibrated digital cameras, which provide RGB values which are used to create coloured point cloud. The integrated point cloud may be improved by using the colour information from the images in order to colour the point cloud so as to get a photorealistic 3D dimension model of an object.

लेजर डेटा संग्रह

स्थलीय लेजर स्कैनर द्वारा विभिन्न स्थानों से बिन्दु समूह प्राप्त किए जाते हैं और इसलिए सह-पंजीकरण करके इन्हे एक समान निर्देशांक प्रणाली में लाना पड़ता है। बिन्दु समूह में अशुद्धियाँ भी होती हैं जो डेटा के प्रसंस्करण के लिए अनुपयोगी होती हैं। प्रत्येक स्कैन से अशुद्धियों को हटाना आवश्यक है जिससे वस्तु का प्रतिनिधित्व करने वाली केवल आवश्यक जानकारी ही प्रस्तुत रहे। टेरेस्ट्रियल लेजर स्कैनर के साथ कैलिब्रेटेड डिजिटल कैमरे भी होते पूरक हैं, जो बिन्दुओं के आरजीबी मान प्रदान करते हैं। इनका उपयोग रंगीन बिन्दु समूह बनाने के लिए किया जाता है। बिन्दु समूह को रंग प्रदान करने के लिए छवियों से रंग की जानकारी का उपयोग करके एकीकृत बिन्दु समूह में सुधार किया जा सकता है जिससे किसी वस्तु का फोटोरिअलिस्टिक त्रि-आयामी मॉडल प्राप्त किया जा सकता है।

Left to Right : Humayun's Tomb, Delhi

(a-b) Ground Photograph
(c-d) Laser data

Terrestrial Laser Scanning enables rapid acquisition of fine level details of the structure with high accuracy. However, in practical applications the generated 3D models suffer from a large number of occlusions occlusions, thus complicating the surface reconstruction and texture mapping process. Close Range Photogrammetry technique can supplement the TLS data by acquiring the targeted image blocks for occluded regions.

Left to Right : Humayun's Tomb, Delhi

स्थलीय लेजर स्कैनिंग उच्च गुणवत्ता के साथ संरचना के सूक्ष्म स्तर के विवरण का शीघ्रता से अधिग्रहण करता है। हालांकि, व्यावहारिक अनुप्रयोगों में यह त्रि-आयामी मॉडल बड़ी संख्या में अवरोधों से ग्रस्त पाये जाते हैं। जिससे सतह के पुनर्निर्माण और बनावट मानचित्रण की प्रक्रिया जटिल हो जाती हैं। क्लोज रेंज फोटोग्रामेट्री तकनीक अवरुद्ध क्षेत्रों के लिए लक्षित छवि ब्लॉक प्राप्त करके टीएलएस डेटा को पूरक कर सकती है।

Extracting Architectural Elements

Parametric objects representing architectural elements are mapped with laser scan or photogrammetric survey data. The modelling is based on primitives that represent the simplest objects; which are taken as building blocks and are combined to create the more complex parts.

An automated approach is used for generating 3D model based on a logical sequence of instructions. These can be repeated to automatically produce large 3D scenes.

A library of architectural elements is created for Humayun's tomb e.g. entrance gate, intricate jaali patterns on windows, arches and domes.

Left to Right : Humayun's Tomb, Delhi

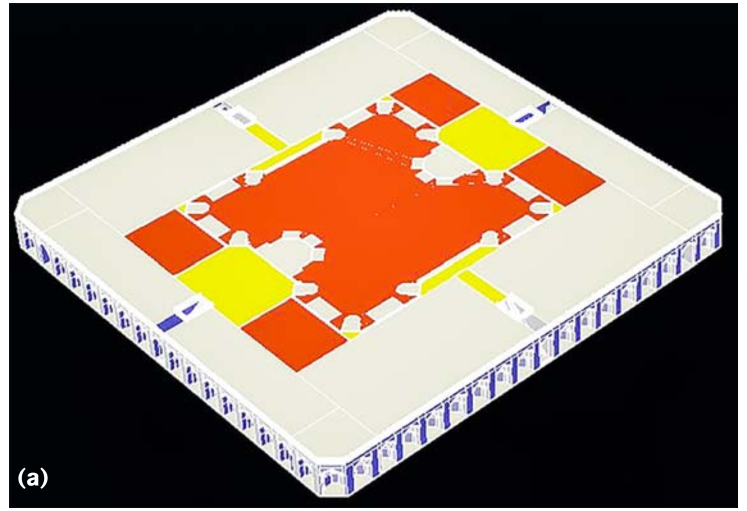
स्थापत्य तत्व निकालना

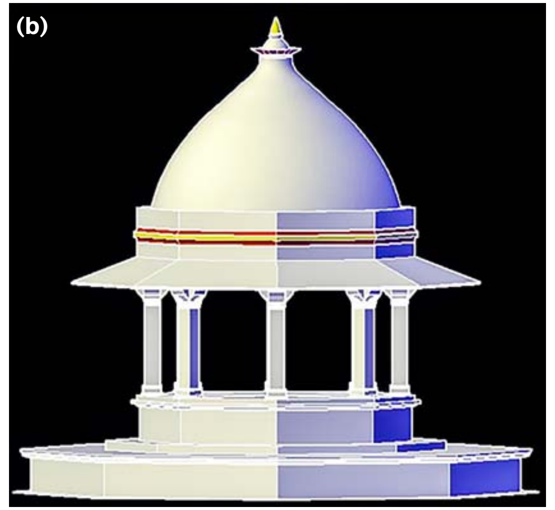
वास्तु तत्वों का प्रतिनिधित्व करने वाली पैरामीट्रिक वस्तुओं को लेजर स्कैन या फोटोग्राममेट्रिक सर्वेक्षण डेटा के साथ मैप किया जाता है। मॉडलिंग का आधार प्राथमिक तत्व हैं जो कि सबसे सरल वस्तुओं का प्रतीक है तथा इन्हे बिल्डिंग ब्लॉक्स के रूप में लिया जाता है और अधिक जटिल भागों को बनाने के लिए संयुक्त किया जाता है।

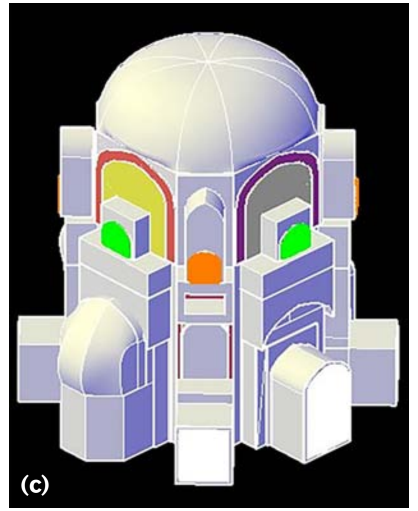
निर्देशों के तार्किक अनुक्रम के आधार पर त्रि-आयामी मॉडल बनाए जाते हैं। इस कार्यप्रणाली द्वारा विशाल त्रि-आयामी दृश्यों को स्वचालित प्रक्रिया से उत्पन्न किया जा सकता है।

हुमायूँ के मकबरे में विभिन्न तत्वों के लिए वास्तुशिल्प आदिमों जैसे प्रवेश द्वार, खिड़कियों, मेहराबों और गुंबदों पर जटिल जालीदार पैटर्न का एक संग्रह बनाया गया है।

(a) Laser Data
(b) Data Smoothning
(c) Feature Extraction
(d) Feature Refinement
(e) 3D Model
(f) Integrated 3D Model







Historic building Information Modeling (HBIM)

Digital information systems are evolving for the visualisation, archival and analysis of heritage sites. Such digitally recorded information of cultural heritage sites from various sensors and ancillary sources is termed Historic Building Information System.

This approach involves integration of the 3D model into a GIS for further management and analysis. HBIM (Historic building Information Modelling) can be used as a comprehensive data set of information, related particularly to the restoration of buildings.

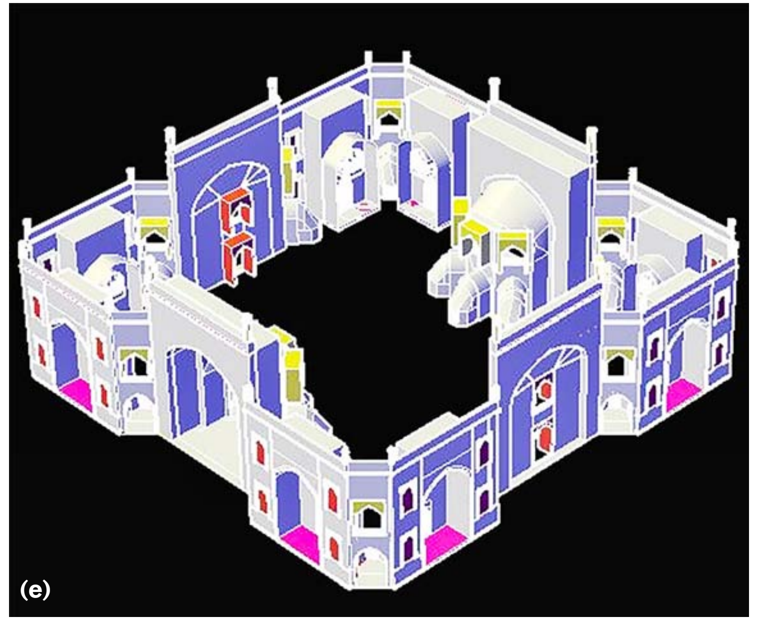
Floor wise 3D Model and architectural drawing of the Humayun's tomb is shown.

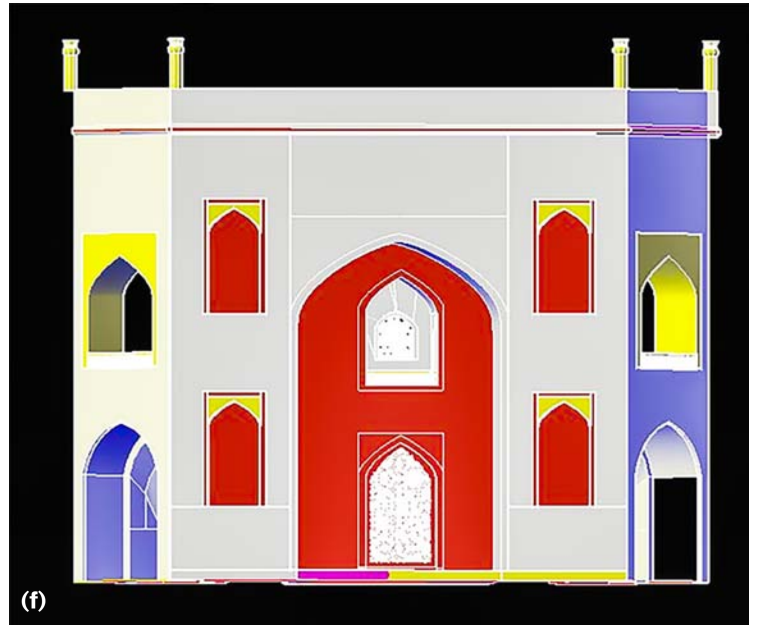
ऐतिहासिक भवन सूचना मॉडलिंग

विरासत प्रलेखन के कल्पित दर्शन, अभिलेखन तथा विश्लेषण हेतु अंकीय सूचना प्रणाली विकसित हो रही है। विभिन्न संवेदकों तथा अनुषंगी आंकडों द्वारा अंकीय रूप में रिकॉर्ड किए गए सांस्कृतिक विरासत स्थलों को ऐतिहासिक भवन सूचना प्रणाली कहा जाता है।

इस प्रक्रिया द्वारा प्रबंधन और विश्लेषण के लिए जीआईएस में त्रि-आयामी मॉडल एकीकरण किया जाता है। एचबीआईएम (ऐतिहासिक भवन सूचना मॉडलिंग) का उपयोग सूचना के विस्तृत डेटा सेट विशेषकर भवनों की बहाली से संबंधित के लिए किया जा सकता है, । हुमायूँ के मकबरे की विभिन्न मंज़िलों का त्रि-आयामी और स्थापत्य रेखाचित्र दिखाया गया है।

(a) Ground Floor
(b) Top Floor
(c) Interior Room
(d) Top Floor
(e) First Floor
(f) Side gate





Left to Right : Floor wise 3D Model and Architectural Drawing

Integrated 3D Model, Humayun's Tomb

The term HBIM is a way of modelling existing heritage and historical buildings, using a BIM process that would produce intelligent models containing and managing information. Such models contain components and include their geometric and identifying information, and all the physical properties that best describe the structure of interest. It comprises of dimensionally precise and visually rich 3D point cloud data draped with high resolution photography, representing heritage sites. This associated metadata includes information that users require to be able to understand, interpret, and make use of the data.

The integrated model of the Humayun's tomb is shown on the facing page

एचबीआईएम मौजूदा विरासत और ऐतिहासिक इमारतों को मॉडलिंग करने का एक तरीका है जो बीआईएम प्रक्रिया का उपयोग करके जानकारी युक्त और प्रबंधन करने वाले बुद्धि-युक्त मॉडल तैयार हो सकता है। ऐसे मॉडलों में घटक होते हैं जिनमें उनकी ज्यामितीय और अभिनिर्धारित करने वाली सूचना होती है, और वे सभी भौतिक गुण होते हैं जो संरचना का यथा संभव वर्णन करते हैं। इसमें संरचना के आयाम और परिमाण का सटीक और समृद्ध, उच्च रिज़ॉल्यूशन फोटोग्राफी से आवृत त्रि- आयामी बिन्दु संग्रह होता है। इसमें संबंधित मेटाडेटा में वह जानकारी शामिल होती है जिसकी उपयोगकर्ताओं को डेटा को समझने, व्याख्या करने और उसका उपयोग करने में सक्षम बनाती है।

हुमायूँ के मकबरे का एकीकृत मॉडल मुख पृष्ठ पर दिखाया गया है।