

A Multidisciplinary Approach for the Digital Archaeology

Un approccio multidisciplinare per l'archeologia digitale

The aim of the paper is to investigate the potentiality offered by a multidisciplinary methodology in order to create a simply usable digital database, which is always available and scientifically efficient that can be used for different purposes related to the cultural heritage (scientific research, maintenance work, restoration, cultural valorisation, tourism promotion). The database is made up of info-graphic models obtained by three-dimensional surveys which are metrically and chromatically reliable. Furthermore, they are the representation of a virtual reality 'augmented' of historical, iconographic-documentary and archival information related to the heritage. The case of study on which this methodological approach has been experimented is the archaeological area of Tuscolo, on the Alban Hills in the south of Rome.

Obiettivo del contributo è quello di indagare le potenzialità offerte da una metodologia multidisciplinare volta alla creazione di un database digitale facilmente interrogabile, sempre disponibile e scientificamente valido da impiegare per le diverse finalità legate al patrimonio culturale immobile (ricerca scientifica, interventi di manutenzione e restauro, valorizzazione culturale, promozione turistica). La banca dati è composta da modelli infografici elaborati con riferimento a rilievi tridimensionali affidabili dal punto di vista metrico e cromatico e rappresentativi di una realtà virtuale 'aumentata' delle informazioni storiche, iconografico-documentali e archivistiche riferite al bene. Caso studio su cui è stato sperimentato tale approccio metodologico è l'area archeologica di Tuscolo, sui Colli Albani a sud di Roma.



Roolfo Maria Strollo
He is professor of Architectural Survey (ICAR/17) at the Engineering Macroarea of the University of Rome Tor Vergata and scientific coordinator of the Laboratory of Survey and Architecture (LAREA). His research activity is based on survey as a tool for historical, critical and scientific knowledge and on representation as a discipline for technical communication



Saverio D'Auria
He is research fellow at the Engineering Macroarea of the University of Rome Tor Vergata, a member of LAREA laboratory and adjunct professor of Drawing and Survey courses in the Universities of Rome Tor Vergata and Naples Federico II. His research activities are related to the methodologies and technologies of 3d survey (photogrammetry and laser-scanning) applied to the study of architecture and territory.



Fabrizio De Silla
Building engineer with a research scholarship in the SSD ICAR/17 at the Engineering Macroarea of the University of Rome Tor Vergata and member of LAREA laboratory. His research domains include the architectural survey of Cultural Heritage, with a focus on issues related to acquisition, processing, management and representation of 3D data derived from new technologies and methodologies, such as laser scanning and digital photogrammetry

Keywords:
augmented reality; cultural heritage; 3d modeling; archaeological survey; Universal Design

Parole chiave:
realtà aumentata, patrimonio culturale, modellazione tridimensionale, rilievo archeologico,
Universal Design

1. DIGITALIZATION AND VIRTUALIZATION OF CULTURAL HERITAGE

The historical and cultural heritage of Italy is experiencing a new phase of revitalization thanks to awareness campaigns that, supported by the potentialities offered by information and communications technology tools, bring an increasingly vast public. Augmented, virtual and immersive realities, high-tech musealization, gaming, mobile applications, interdisciplinary research projects and interventions focused on the conservation and restoration on architectural and archaeological heritage provide lymph and incentive to a sector that can become a driving force for our country. Various public and private realities are moving in this direction with positive experiences in these fields: we mention, for example, few of the most recent cultural heritage projects that use these technological advancements such as Domus Aurea [1], for the visit in the restoration site of the monument through virtual reality techniques, Father and Son - the game [2], for the awareness of the Neapolitan art and architecture and the scientific divulgation through a video game, and Archeology and new technologies in Cerveteri [3], for the immersive enjoyment and the 3D space exploration in the archaeological context of the Banditaccia Necropolis.

The (cultural) turning point to these high tech approaches is also the result of the new possibilities offered by graphic information technology and three-dimen-

sional survey to the world of cultural heritage. To have available and competently manage virtual models of the manufact, correct by the metric, formal and chromatic points of view, often allows a fast and reliable elaboration of graphics output produced according to expected objectives needs.

Especially in the last decade, the new survey technologies in the architecture, archaeology, infrastructure and territory fields have seen a rapid – sometimes abused – dissemination. The laser scanning, for example, has been the undisputed operating methodology at the basis of valorisation and restoration studies and projects, especially in the field of cultural heritage. The excellent quality of the metric data connected with its good versatility in internal and external environments has often compensated some of the most obvious limitations of technology related to the system cost, the complexity in the point cloud management and the computing power required by computers.

The adoption of digital photogrammetry in the same fields, even if it was initially limited to the textures procedures of three-dimensional models, has been largely used thanks to the development of computer algorithms at the basis of post-processing and photo-modeling procedures and the research on the integration between data of different nature.

In more frequent cases, the use of digital images for modeling is favoured than laser scanner for the offered advantages – in the small scale survey of urban and territorial fields and in the large scale of archaeological finds, facades and architectural details – in terms of cost efficiency and diffusion of equipment, rapidity of data acquisition operations, excellent colorimetric correspondence and metric accuracy (if supported by known control points), high level of accessibility (especially in critical areas with the simultaneous use of terrestrial and aerial drones) and easy elaboration of the captures.

The resistances that are mainly present in the digitalization of the architectural, archaeological and museum heritage for its virtualization, however, are represented by the lack of shared methodologies and protocols in order to improve the efficiency of the survey, the data processing and management and the use of models obtained, causing a massive waste of time, energy, and capital.

The research presented in this paper, that was con-

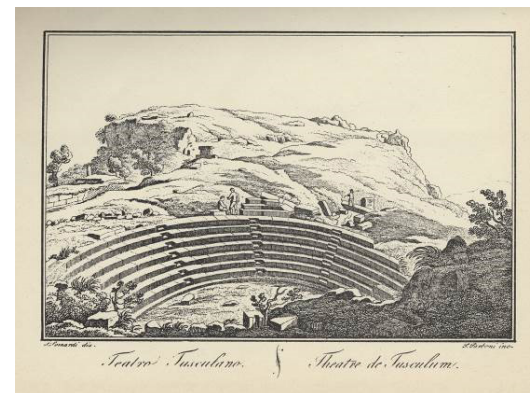


Fig. 2 - Theatre de Tusculum (figure based on Antonio Nibby, Viaggio antiquario nei contorni di Roma, v. 2, Vincenzo Poggioli, 1819 Rome)

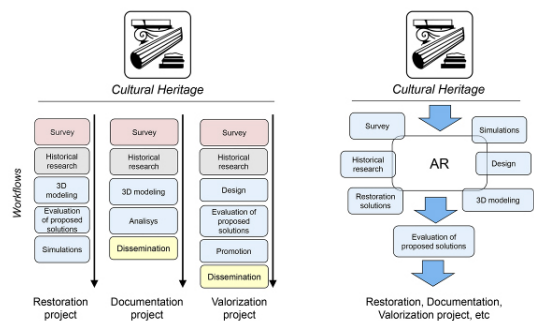


Fig. 1 - Methodological approaches to cultural heritage interventions: on the left some of the sectorial standard workflows, on the right the multisectorial proposal

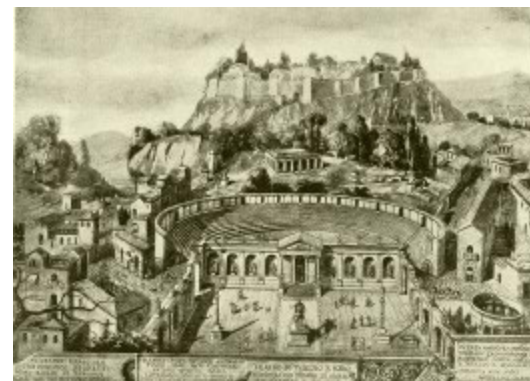


Fig. 3 - Ideal reconstruction of the city of Tusculum (drawing by Emilio Laurenti and reproduced in Saverio Kambo, Il Tuscolo e Frascati, Istituto italiano d'arti grafiche, 1924 Bergamo)

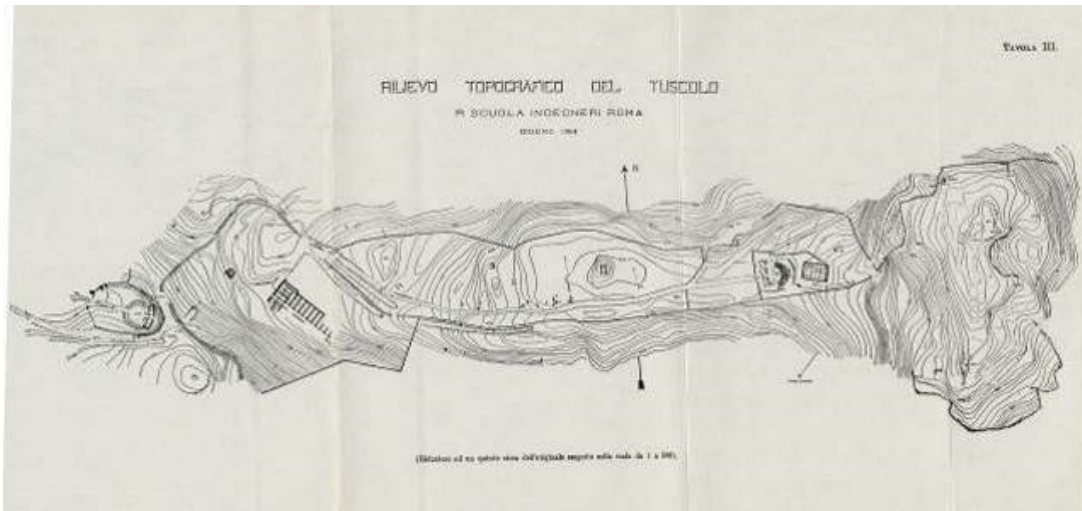


Fig. 4 - One of the first topographic survey of the Tuscolo made in June 1914 by the Regia Scuola degli Ingegneri di Roma (heliographic copy in the availability of the LAREA archive, not catalogued, dim. 1800 x 785 mm)

ducted by the Survey and Architecture Laboratory (LAREA) of the University of Rome 'Tor Vergata', aims to investigate the potentials offered by a multidisciplinary methodology in order to create a digital database that can be easy to consult, always available and scientifically valid to be used for the various purposes connected to the valorisation of the cultural heritage (scientific research, maintenance work, restoration, cultural and tourist development and so on). The database is made up of formally, metrically and chromatically reliable 3D models that represent a virtual reality 'augmented' of historic, iconographic-documentary and archival information of the object. The study on which this methodological approach has been experimented is the archaeological area of Tuscolo, on the Alban Hills in the south of Rome, an important site for the Republican Rome first and for the Pontifical Rome then. Today this area characterized by the presence of the remains of a theatre, an amphitheatre, some religious and civil buildings, and a via tecta.

2. THE METHODOLOGICAL PROPOSAL

The management of cultural heritage represents a

<http://disegnarecon.univaq.it>

complex problem: this, indeed, is made up of several aspects connected to each other, even in a transversal way. The methodological and design approaches adopted in the predisposition of actions and interventions on the heritage, however, is usually unidirectionally dealt, focusing only on the specific aspect. This generates, on the one hand, a redundant production of information and on the other hand, a sectorialization of the study which could exclude potentially significant contributions from other investigation fields. For example, we can think about the workflow that has to be taken for a restoration project or a structural intervention: starting with the essential geometric survey to understand the morphology, it is also fundamental to do historical and archive researches in order to write accurate and critical project assumptions that are often supported by virtual simulations. Some of the above mentioned steps are also required in the case of valorisation projects that can be developed for the same asset: once again the survey and the historical documentation are extremely important, as well as the three-dimensional modeling for the simulations of the interventions planned, supported by sector studies in

the field of specific interest. This repetition of the operations generates a energy and resources dispersions that lengthens and hampers working times (Fig. 1).

The methodological proposal presented here was born with the aim of optimizing the workflow of the operations for projects related to cultural heritage through the creation of a representative digital database of the actual state of the object. This tool contains all the information that can be used for all future investigations, such as historical and archival documentation, data and reports of different survey campaigns, identification of the various stages and stratifications accomplished over time, information on the state of conservation and various types of degradation and so on. This database must be scientifically rigorous regarding the data introduced; multidisciplinary, to embrace all the fields of interest of the heritage; transversal, in allowing the exchange useful data to different sectors; organized, to allow easy access, manipulation and integration.

The virtual environment is built from the survey information about the heritage and derived from advanced techniques such as laser scanning and digital photogrammetry. The high capacity of these technologies to describe the continuous space emphasizes the problem of the management of the captured and produced data that need to be optimized to facilitate the manipulation (and future implementation) and, at the same time, "metabolized" to ensure the representativeness, in line with transparency, communicability and repeatability principles of the methods and results defined by the London Charter for digital visualization of

Fig. 5 - An operational phase with laser scanner



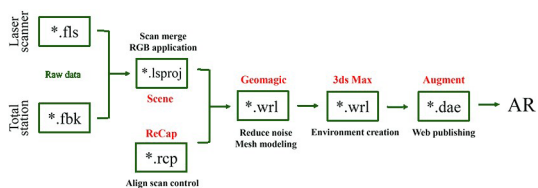


Fig. 6 - Navigation screen of the survey project with: scans preview, plano-altimetric stations layout and, in detail, panoramic image of the theatre and the via tecta ruins

cultural heritage [4].

From this dataset, it is possible to derive 3D models both in point clouds and in continuous surface to which can be associated other types of information. The virtual environment obtained is not a simple digital archive, but an interactive three-dimensional model to consult for new and interdisciplinary investigations, using all the contributions implemented.

Fig. 8 - Data conversion workflow



3. THE CASE STUDY OF THE ARCHAEOLOGICAL AREA OF TUSCOLO

Tuscolo was an ancient town hall that was built before Rome, probably with the involvement of the Etruscans; it was implicated in the Latin League, the city allied with the Romans. After the collapse of the Empire and the following period of barbarian invasions, the city was reborn in the 9th century as the stronghold of the powerful family of Counts of Tuscolo, who influenced the vicissitudes of the power of a vast surrounding territorial for many centuries, including the Church (some popes came from this family) until, in 1191, the city was razed to the ground by Celestine III's will.

In the modern era, its notoriety was due to the Tuscolanae Disputationes, the philosophical conversations written in the middle of the 1st century BC by Marco Tullio Cicerone in his villa on the Tuscolan Hills in the southeast of Rome, so called in reference to the ancient city.

From Humanism, during the Renaissance rediscovery of the classics, there was an interest in the research for the location of the city which saw the same Francesco

Petrarca active in the area [5].

Only in the first quarter of the nineteenth century, archaeologists Antonio Nibby and Luigi Biondi unveiled the “true” position of Tusculum, which has also been confused with the modern Frascati, which rose more downstream (Fig. 2). From now on it was clear the urban articulation defined by a vast oppidum concluded by an arx [6].

The site became an object of interest not only for archaeologists but also for numerous “designers”: travelers, engravers, photographers, vedutists and architects who dealt with depictions or reconstructions that were frequently affected by a powerful imaginative component such as those by Tony Garnier or Luigi Canina (Fig. 3).

The first science-based survey is due to the early years of the twentieth century by the Regia Scuola degli Ingegneri di Roma (Fig 4).

The attention of the scholars concentrated, however, in the easternmost area of the oppidum, almost near

Fig. 7 - Point clouds model of the archaeological area

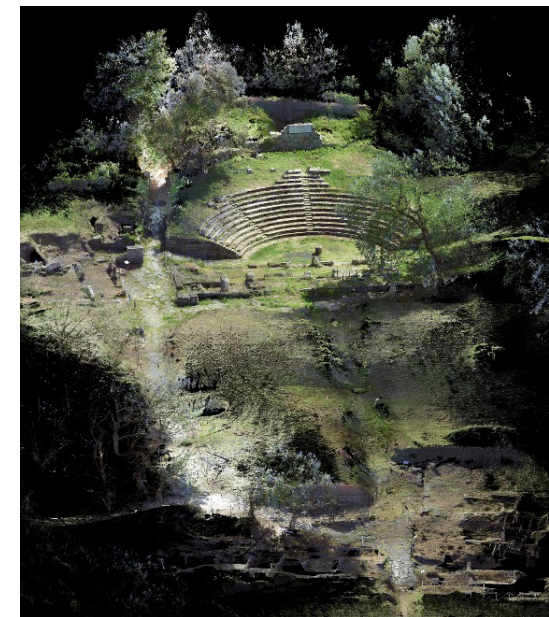




Fig. 8 - Data conversion workflow

Fig. 9 - Top left and bottom, orthoimages from point clouds of the theatre (top and front views); top right, one of the graphic restitutions



the acropolis, where there was the forum of the city, marked by the presence of a theatre that became the symbol of the whole site, the prevalent object of this research along with its immediate around.

The first phase of this work, above the three identified by archaeologists, dates back to the middle of the 1st century BC, while the maximum development is attributed to the middle phase, in the giulio-claudia age (first half of the 1st century AD) [7].

The remains of the theatre, made up of the local stone sperone del Tuscolo [8], denounce a peculiarity that has never been found in the building type, although it is present in a few other cases, but refers to buildings with other public functions [9]: a road was embedded in the building's base (via tecta) and crossed it transversely.

In addition to this peculiarity, the theatre has become a reference point for the knowledge and attendance of the entire Tuscolo area because, over the last two de-

ades, it has occasionally been relegated to its original function as a location for performances (musicals and theatrical) and the will of the directors is increasingly evident to make this function almost permanent [10]. The survey, digital modeling, graphic representation and realistic simulations of the manufacture have therefore taken on the dual value not only related to the documentation aimed at knowledge, protection and preservation of the monument but also to the possible actions related to its usability.

4. THE DIGITAL SURVEY OF ARCHAEOLOGICAL FINDS

The creation of the virtual model of a vast area of the Archaeological-Cultural Park of Tuscolo (that includes the remains of the theatre, the forum, part of the via tecta and of some buildings, covering an area of almost 2 hectares), used as the starting structure in which to implement the information, was based on an accurate morphological reconstruction of the remains and the surrounding environment. The survey of the archaeological area has involved a high dimensional control of the geometries in order to obtain a mathematical model as much as possible objective and close to the complexity of the continuous space. Therefore, for its documentation, it has been chosen to use an integrated survey methodology through the use of a laser scanner and a total station (Fig. 5).

The use of laser scanning has been preferred to other methodologies, such as digital photogrammetry, especially for the metric data accuracy returned in the study of the land and building morphology. The instrument used was the Faro Focus3D X130, which was set to acquire points coordinates at a resolution of 1/5 (one point for 8 millimetres at 10 meters distance) and RGB colour values of the detected surfaces, through the integrated camera. Thirty laser scanner stations (some of them are made to more than 4 meters in height above the ground level using a special tripod) with the use of spherical and planar targets have been made by designing the survey operations according to the prefixed aims (Fig. 6).

The data set was developed with the Faro Scene and the Autodesk ReCap softwares, in order to align the point clouds through well-established procedures and reliable alignment algorithms, filtering and noise reduction. The final product is a 3D point clouds mo-

del with a final scan point tension about 4 millimeters, which is considered acceptable for the architectural-archaeological field detected and for the goals pursued (Fig. 7).

The topographic support survey was conducted to achieve more accurate results in the following phase of point clouds alignment, but also to consider point by point the exact layout of some walking trails and to create a unique reference system to report any subsequent integrations. The station positions have been identified in the preliminary planning phase, in order to obtain a correct and complete survey of the archaeological area. A closed polygon has been defined and it consists of 3 control points, which are positioned near the beginning of the via tecta, at the top of the theatre and in the proximity of the remains of religious buildings located at the entrance of the archaeological area.

The coordinates of 64 points have been acquired between high contrast and planar targets and characteristic points of the remains. These coordinates have been processed in text format, for the following implementation in the point clouds management software, and even in CAD vector format. The latter was used to operate a dimensional control over the next restitution and modeling phases.

The obtained three-dimensional model, in true shape, size and colour, has been used for the construction of the augmented reality and for the update of existing survey graphics. It was also possible to provide new elements for historical analysis and finally to prepare some redevelopment and reconversion design hypotheses (in particular to improve the usability of the archaeological area and reconstruction of the missing parts of the cavea).

5. THE INFORMATIC DATABASE

The realization of the database aimed to the augmented reality has involved several steps of data conversion in many software environments, with the purpose to preserve the metric and chromatic validity of the original 3D model (Fig. 8).

The point clouds triangulation took place in Geomagic Studio by importing the .e57 file format. The points have been decimated in a controlled manner and congruent with the metric precision level determined by noise reduction and disconnected components algo-

rhythms. The complete cloud has been subdivided into three portions, considering an appropriate overlapping surface; in this way it is possible to handle the high amount of data and to interpolate without significant data loss. Each single portion has been converted to a continuous surface and then re-assembled into a single mesh template. These are the areas that were considered: the first one corresponds to the ruins of the religious buildings located near the entrance of the site, the second one that includes the internal paths and the surrounding terrain and the last one in correspondence of the theatre and the via tecta.

In order to obtain the .dae file format needed for virtual reality software (Augment and Sketchfab), the data were imported in Autodesk 3D Studio Max, through the .wrl file.

The obtained database has had an immediate and positive reliance on, for example, updating and editing

Fig. 11 - Some simulation render of the universal design of the archaeological park obtained by the integration between the area model (from survey) and the structures model (from design)



<http://disegnarecon.univaq.it>



Fig. 11 - Some simulation render of the universal design of the archaeological park obtained by the integration between the area model (from survey) and the structures model (from design)

Fig. 12 - The use of the mesh model for VR applications via QRcode

new graphics (Figg. 9-10), spatial reading of artifacts and surrounding environment that were indispensable for Universal Design hypotheses and for evaluating environmental and landscape impact of the designed solutions (Fig. 11).

The mesh model was also transferred to a web platform and associated with a QRcode for free access for a first tour of cultural-tourism valorisation (Fig. 12). Finally, the virtual model has been augmented with descriptive and historical information, always consultable by the interaction with fixed or mobile devices (Fig. 13), and prepared for immersive virtual reality experiences (Fig. 14).

6. CONCLUSIONS

The paper has illustrated a part of the research carried out in the fields of digitalisation – by the survey with scientific protocols – of cultural heritage aimed to improve a methodology that enables a more efficient

multidisciplinary interaction with heritage related issues, by using the communication and management potentialities of reliable virtual models

The formal, metric and chromatic accuracy of point clouds or mesh, combined with the intuition of the narration offered by digital systems and the implementation of historical-documental informations add value to the created database. If made open to users who need it (scholars, researchers, engineers, architects, archaeologists, companies and others), the database can be a peculiar reference for scientific research, cultural and tourist promotion, conservation and restoration, reducing communication errors between different actors and data redundancies.

These virtual systems, thanks to their easy-to-use remote and mobile devices, allow developing more participative and user-informed interactions.

Certainly, the greatest effort will be the creation of effective virtual platforms in which it is possible to organize a coded and universal reading key of the relationship between virtual space, the information in it and the perceived reality.

Fig. 11 - Some simulation render of the universal design of the archaeological park obtained by the integration between the area model (from survey) and the structures model (from design)

Fig. 12 - The use of the mesh model for VR applications via QRcode



NOTES

Although the paper is the result of a joint research, the paragraphs 1, 5 and 6 are written by S. D'Auria, 2 and 4 by F. De Silla and 3 by R.M. Strollo.

[1] The Domus Aurea project is promoted by the Special Superintendence for the Colosseum and the central archaeological Area of Rome, Electa and CoopCulture. The visit to the monument was enriched by immersive reality paths and video story in the perspective of scientific appreciation of the restoration site. The works are aimed for expand the audience's enjoyment by using multimedia installations that employ the latest video-mapping technology on large surfaces and virtual reality.

[2] The mobile game Father and Son - the game is set in the halls of the National Archaeological Museum in Naples and in the streets of the Neapolitan city. The aim is to make the visitor interact - even remotely - with the historical contents of the museum and Naples in an innovative way through the technology and the network, in an audience engagement perspective and with the rigor of the scientific approach.

[3] In recent years, the Superintendence of Archaeology, Fine Arts and Landscape for the Metropolitan Area of Rome, the Province of Viterbo and the Southern Etruria and the Institute for Technologies Applied to the Cultural Heritage of CNR have done study, documentation and enhancement works in different contexts of the Banditaccia Necropolis in Cerveteri. The research has led to define innovative methodologies in order to document and enhance the site, mainly through photogrammetric surveys with drone and 3D photo-modeling for immersive use.

[4] See Inzerillo et al. 2016 and Denard 2012.

[5] See Baldoni & Strollo 2016.

[6] There; Strollo & Baldoni 2016 and bibliography contained therein.

[7] The third phase, at the beginning of the 2nd century AD, recorded a further but less important renewal; see Dupré 2007 and bibliography contained therein.

[8] A metamorphic leucite (effusive volcanic origin igneous rock) characterized by multiple features such as workability, strength and durability.

[9] See Dupré 2007.

[10] This was possible thanks to the transfer of ownership to the public hand: much of the area where the ancient city was placed, in fact, purchased in 1984 by the XI Comunità Montana of Lazio "Castelli Romani e Prenestini".

BIBLIOGRAPHY

Angelini, A., & Gabrielli, R. (2013). Laser scanning e photo scanning. Tecniche di rilevamento per la documentazione 3D di beni architettonici ed archeologici. *Archeologia e Calcolatori* (XXIV), 379-394.

Apollonio, F. I. (2010). La modellazione digitale. In G. Braghieri (Ed.), *Architettura* 38. Aldo Rossi. Due progetti (pp. 13-17). Bologna: Clueb.

Balzani, M., & Maietti, F. (2015). Alberti e Brunelleschi: la conservazione della memoria per il restauro della materia. La banca dati 3D per la documentazione il progetto. *DisegnareCON*, 8(14), 1-12.

Baldoni, C., & Strollo, R.M. (2016). Una medaglia tra due città. *Bollettino della Unione Storia ed Arte*, 9(CVI), 91-126.

Bertocci, S., & Parrinello S. (2015). *Digital Survey and Documentation of the Archaeological and Architectural Sites*. Firenze: Edifir.

Bianchini, C. (2014). Survey, modeling, interpretation as multidisciplinary components of a knowledge system. *Scientific REsearch and Information Technology*, 4(1), 15-24.

Bini, M. (2004). I rilievi per l'archeologia e i castelli crociati in medioriente. *Firenze architettura*. Castelli medievali a Petra e nel Vicino Oriente tra rilievo e archeologia, VIII, 2-9.

Campanella, C. (2017). Il rilievo degli edifici. Metodologie e tecniche per il progetto di intervento. Palermo: Dario Flaccovio Editore.

Cemoli, L., D'Auria, S., De Silla, F., Pucci, S., & Strollo, R.M. (2017). Infographic modeling based on 3D laser surveying for Informed Universal Design in archaeological areas: the case of Oppidum of the ancient city of Tusculum. In proceedings of the 26th International CIPA Symposium - Digital Workflows for Heritage Conservation. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W2, 259-264.

Centofanti, M., Brusaporci, S., & Lucchese, V. (2014). Architectural Heritage and 3D Models. In P. Di Giamberardino et al. (Eds.), *Computational Modeling of Objects Presented in Images* (pp. 31-49). Geneva: Springer.

D'Auria, S., De Silla, F., Gabrielli, R., & Strollo, R.M. (2015). Tecniche di rilievo integrate per la fruizione virtuale di architetture monumentali complesse. Il caso del Ninfeo di Villa Mondragone. *Archeomatica*, 4(VI), 36-40.

D'Auria, S., De Silla, F., & Strollo, R.M. (2017). Augmented Reality for Cultural Heritage. An Application in the Archaeological Area of Tusculum. In Proceedings of the International Conference HeritageBot 2017 - New Activities for Cultural Heritage (pp. 87-94). Cham: Springer International Publishing AG.

Denard, H. (2012). A New Introduction to the London Charter. In Bentkowska-Kafel, A., Baker, D., & Denard, H. (Eds.) *Paradata and Transparency in Virtual Heritage Digital Research in the Arts and Humanities Series* (pp. 57-71). Farnham: Ashgate.

Dupré Raventós, X. (2007). Il Teatro tardorepubblicano di Tusculum. Cronologia e trasformazioni. Il Teatro Romano di Terracina e il Teatro Romano nell'Antichità, *Scienze dell'Antichità* (vol. 12, pp. 23-39). Roma: Quasar.

Emler, T. (2013). Design: the role of Drawing and Survey. *Disegnare. Idee immagini*, 43, 52-63.

Fiasconaro, V., & Guiducci, S. (2011). Realizzazione di un Prototipo di Realtà aumentata applicato ai siti archeologici. In Proceedings of AI & Cultural Heritage Workshop (pp. 39-47). Roma: ENEA.

Gonizzi Barsanti, S., Remondino, F., & Visintini, D. (2013). 3d surveying and modeling of archaeological sites. Some critical issues. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II(5/W1), 145-150.

Guidi, G., Russo, M., & Angheluddu, D. (2013). Digital reconstruction of an archaeological site based on the integration of 3d data and historical sources. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL(5/W1), 99-105.

Inzerillo, L., Lo Turco, M., Parrinello, S., Santagati, C. & Valenti, G.M. (2016). BIM and architectural heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of Cultural Heritage. *DisegnareCON*, 9(16), 1-9.

Labadi, S. (2013). UNESCO, Cultural Heritage, and Outstanding Universal Value: Value-based Analyses of the World Heritage and Intangible Cultural Heritage Conventions. Lanham: AltaMira Press.

Molero Alonso, B., Barba; S., & Álvaro Tordesillas, A. (2016). Cultural Heritage documentation. Method based on the fusion of optical scanning triangulation and photogrammetric techniques. *Ega. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 28, 236-245.

Parrinello, S., Picchio, F., & Bercigli, M. (2016). La 'migrazione' della realtà in scenari virtuali: Banche dati e sistemi di documentazione per la musealizzazione di ambienti complessi. *DisegnareCON*, 9(17), 1-8.

Remondino, F., Rizzi, A., Aguiaro, G., Jimenez, B., Menna, F., Nex, F., & Baratti G. (2011). Rilievo e Modellazione 3D. In Proceedings of 15a Conferenza Nazionale ASITA (pp. 1825-1836).

Russo, M., Guidi, G., & Remondino, F. (2011). Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico. *Archeologia e Calcolatori* (XXII), 169-198.

Strollo, R.M., & Baldoni, C. (2016) Una medaglia tra due città. In XVI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica "El arquitecto, de la tradición al siglo XXI" (vol. II, pp. 927-934), Alcalá de Henares: Grupo Enlace Gráfico.

Un approccio multidisciplinare per l'archeologia digitale

1. DIGITALIZZAZIONE E VIRTUALIZZAZIONE DEI BENI CULTURALI

Il patrimonio storico-culturale italiano sta vivendo una nuova fase di rivitalizzazione grazie anche a campagne di sensibilizzazione che, supportate dalle potenzialità offerte dagli strumenti informatici al mondo della comunicazione, avvicinano un pubblico sempre più vasto. Realtà aumentate, virtuali e immersive, musealizzazioni hightech, gaming, applicazioni mobile, progetti di ricerca interdisciplinari e interventi mirati di conservazione e restauro sui beni architettonici e archeologici forniscono linfa e stimoli a quello che può diventare un settore trainante per il nostro Paese. Diverse realtà pubbliche e private si stanno muovendo in tal senso con positive esperienze in questi ambiti: si citano, ad esempio, solo alcuni dei più recenti progetti sul patrimonio culturale che sfruttano tali avanzamenti tecnologici come Domus Aurea [1] per la visita al cantiere di restauro del monumento mediante tecniche di realtà virtuale, Father and Son - the game [2] per la sensibiliz-

zazione all'arte e all'architettura napoletana e la divulgazione scientifica attraverso un videogioco e Archeologia e nuove tecnologie a Cerveteri [3] per la fruizione immersiva e l'esplorazione dello spazio 3D nel contesto archeologico della Necropoli della Banditaccia.

La svolta (culturale) a questi approcci high tech è sicuramente frutto anche, e soprattutto, delle nuove possibilità offerte al mondo dei beni culturali dall'informatica grafica e dal rilievo tridimensionale. Avere a disposizione e saper gestire consapevolmente modelli virtuali di manufatti, affidabili dal punto di vista metrico, formale e cromatico consente, spesso, l'efficiente elaborazione di output grafici prodotti a seconda delle esigenze e degli obiettivi attesi.

Specialmente nell'ultimo decennio le nuove tecnologie legate al rilevamento negli ambiti dell'architettura, dell'archeologia, delle infrastrutture e del territorio hanno visto una rapida – anche se a volte abusata – diffusione. Il laser scanning, ad esempio, è stata la metodologia operativa indiscussa alla base di studi e

di progetti di valorizzazione e restauro, specialmente nel settore dei beni culturali. L'ottima qualità del dato metrico acquisito e restituito dallo strumento unita alla sua buona versatilità negli ambienti interni ed esterni hanno spesso compensato alcuni dei limiti più evidenti della tecnologia legati al costo del sistema, alla complessità nella gestione delle nuvole di punti e alla potenza di calcolo richiesta dai computer.

L'adozione della fotogrammetria digitale negli stessi campi, se inizialmente limitata alle procedure di texturizzazione dei modelli tridimensionali, sta avendo notevole impiego grazie allo sviluppo degli algoritmi informatici alla base delle procedure di post-processing e fotomodellazione e della ricerca sull'integrazione tra dati di differente natura. In casi sempre più frequenti, infatti, l'uso di immagini digitali per la modellazione è preferito alle scansioni laser per i vantaggi offerti – nel rilievo a piccola scala di ambiti urbani e territoriali e a grande scala di reperti archeologici, facciate e dettagli architettonici – in termini di economicità e diffusione

delle strumentazioni, rapidità delle operazioni di acquisizione dati, ottima corrispondenza colorimetrica e accuratezza metrica (se supportato da punti di controllo di coordinate note), elevato grado di accessibilità (specialmente in zone critiche con il contestuale impiego di droni, terrestri e aerei) e agevole elaborazione delle prese.

Le resistenze maggiormente presenti nella digitalizzazione del patrimonio architettonico, archeologico e museale ai fini della sua virtualizzazione, però, sono rappresentate dall'assenza di metodologie e protocolli condivisi che migliorino l'efficienza delle procedure di rilevamento, di elaborazione dati e di gestione e utilizzazione dei modelli ottenuti, generando sovente dispendio di tempo, energie e capitali.

La ricerca presentata in questo contributo, condotta nell'ambito delle attività del Laboratorio di Rilievo E Architettura (LAREA) dell'Università degli Studi di Roma 'Tor Vergata', intende indagare le potenzialità offerte da una metodologia multidisciplinare volta alla creazione di un database digitale facilmente interrogabile, sempre disponibile e scientificamente valido da poter essere impiegato per le diverse finalità legate alla valorizzazione del patrimonio culturale immobile (ricerca scientifica, interventi di manutenzione e restauro, sviluppo culturale e turistico e così via). La banca dati è composta da modelli 3D formalmente, metricamente e cromaticamente affidabili, rappresentativi di una realtà virtuale 'aumentata' delle informazioni storiche, iconografico-documentali e archivistiche riferite al bene. Il caso studio su cui è stato sperimentato tale approccio metodologico è l'area archeologica di Tuscolo, sui Colli Albani a sud di Roma, un importante sito per la Roma Repubblicana, prima, e Pontificia, dopo, oggi caratterizzato dalla presenza dei resti di un teatro, di un anfiteatro, di alcuni edifici religiosi e civili e di una via tecta.

2. LA PROPOSTA METODOLOGICA

L'amministrazione del patrimonio culturale rappresenta un problema complesso: questo, infatti, risulta costituito da molteplici aspetti legati tra loro, anche in maniera trasversale. L'approccio metodologico e progettuale per la predisposizione di azioni e interventi sul bene, però, viene usualmente affrontato in maniera unidirezionale concentrandosi esclusivamente sullo specifico aspetto preso in esame e generando così, da un lato, una ridondante produzione di informazioni,

dall'altra, una settorializzazione dello studio che porta a trascurare contributi potenzialmente rilevanti da altri campi di indagine. Si pensi al flusso di lavoro da intraprendere per un restauro o per un intervento di consolidamento strutturale: partendo dall'imprescindibile rilievo geometrico per la comprensione della morfologia, risultano necessarie anche le ricerche storiche e d'archivio al fine di redigere accurate e critiche ipotesi progettuali, spesso supportate anche da simulazioni virtuali. Alcuni degli step sopra citati sono richiesti, ad esempio, anche nel caso della predisposizione di progetti di valorizzazione che possono essere sviluppati per lo stesso bene: ancora una volta il rilievo e la documentazione storica sono di primaria importanza, così come la modellazione tridimensionale alla base delle simulazioni degli interventi pianificati, che si affiancano agli studi di settore nel campo di interesse specifico. Questa ripetizione delle operazioni genera una dispersione di energie e risorse che allunga e intralcia i tempi di lavoro (Fig. 1).

La proposta metodologica presentata nasce con l'intento di ottimizzare il flusso di lavoro delle operazioni nella predisposizione dei progetti legati al patrimonio culturale attraverso la creazione di una banca dati digitale rappresentativa dello stato di fatto del bene, contenente informazioni (come la documentazione storica e d'archivio, i dati e le relazioni delle diverse campagne di rilevamento, l'individuazione delle diverse fasi e stratificazioni eseguite nel tempo, le informazioni sullo stato di conservazione e sulle diverse tipologie di degrado, e così via) utili per tutte le investigazioni future. Questo strumento deve essere rigoroso dal punto di vista scientifico riguardo i dati introdotti; multidisciplinare, nell'abbracciare tutti i campi di interesse del bene; trasversale, nel fornire dati utili a settori diversi; organizzato, per consentire un'agevole accessibilità, manipolazione e integrazione.

L'ambiente virtuale è costruito a partire dalle informazioni di rilievo inerenti il bene e derivanti da tecniche avanzate di rilievo, come laser scanning e fotogrammetria digitale. L'elevata capacità di queste tecnologie di descrivere il continuo spaziale pone l'accento sul problema della gestione dei dati acquisiti e prodotti che devono essere ottimizzati per agevolarne la manipolazione (e la futura implementazione) e, al contempo, anche "metabolizzati" per garantirne la rappresentatività, coerentemente ai principi di trasparenza, comu-

nicabilità e ripetibilità dei metodi e dei risultati definiti dalla Carta di Londra per la visualizzazione digitale del patrimonio culturale [4].

Da tale dataset è possibile derivare modelli a nuvola di punti e a superfici continue, ai quali poter associare altre tipologie di informazioni. L'ambiente virtuale così ottenuto non rappresenta un semplice archivio digitale, ma un modello tridimensionale interattivo da interrogare per nuove indagini, anche di carattere interdisciplinare, sfruttando tutti i contributi implementati.

3. IL CASO STUDIO DELL'AREA ARCHEOLOGICA DI TUSCOLO

Tuscolo fu un antico municipio sorto prima di Roma, probabilmente con il coinvolgimento degli Etruschi; coinvolta nella Lega Latina, la città si alleò con i Romani. Successivamente al crollo dell'Impero e al seguente periodo delle invasioni barbariche, la città risorse nel IX secolo quale roccaforte della potente famiglia dei Conti di Tuscolo che per più secoli influi nelle vicende di potere di un vasto ambito territoriale circostante, compreso quello romano della Chiesa (da tale famiglia provennero alcuni papi), fino a quando, nel 1191, la città fu rasa al suolo per volontà di Celestino III.

In epoca moderna, la sua notorietà fu dovuta alle Tuscolanae Disputationes, le conversazioni filosofiche scritte a metà del I secolo a.C. da Marco Tullio Cicerone nella sua villa posta sui Colli Tuscolani a sud-est di Roma, così chiamati anch'essi proprio in riferimento all'antica città.

A partire dall'Umanesimo, infatti, nell'ambito della riscoperta rinascimentale dei classici, si registrò un interessamento legato alla ricerca dell'ubicazione della città che vide lo stesso Francesco Petrarca attivo nella zona [5].

Soltanto nel primo quarto del XIX secolo, gli archeologi Antonio Nibby e Luigi Biondi svelarono la "vera" allogazione di Tusculum che, nel tempo, era stata anche confusa con la moderna Frascati, sorta invece più a valle [6] (Fig. 2).

Fin da subito fu chiara l'articolazione urbana definita da un vasto oppidum concluso da un'arx.

Il sito divenne oggetto di interesse non soltanto degli archeologi ma anche di numerosi "disegnatori": viaggiatori, incisori, fotografi, vedutisti e architetti che si cimentarono in raffigurazioni o ricostruzioni non di rado affette da una forte componente fantasiosa, come

quelle, tra le più note, di Tony Garnier o di Luigi Canina (Fig. 3).

Il primo rilievo condotto su base scientifica è ascrivibile ai primi anni del Novecento, a opera della Regia Scuola degli Ingegneri di Roma (Fig. 4).

L'attenzione degli studiosi si concentrò, comunque, nella zona più orientale dell'oppidum, quasi a ridosso dell'acropoli, ove fu individuato il foro della città, contrassegnato dalla presenza di un teatro che nel tempo sarebbe assurto a immagine simbolo dell'intero sito, oggetto prevalente di questa ricerca insieme al suo immediato intorno.

La prima fase realizzativa di quest'opera, delle tre individuate dagli archeologi, è riferita alla metà del I secolo a.C., mentre il massimo sviluppo è ascrivito alla fase intermedia, in età giulio-claudia (prima metà del I secolo d.C.) [7].

I resti del teatro, costituiti dalla locale pietra sperone del Tuscolo [8], denunciano una particolarità mai riscontrata nel tipo edilizio, anche se presente in pochi altri casi, ma riferiti a edifici con altre funzioni pubbliche [9]: una strada era inglobata nel basamento della costruzione (via tecta) e l'attraversava trasversalmente. Oltre che per questa peculiarità, il teatro è divenuto luogo di riferimento per la conoscenza e la frequentazione dell'intera area di Tuscolo anche perché, negli ultimi due decenni, è stato saltuariamente riportato alla sua originaria funzione di luogo per spettacoli (musicali e teatrali) ed è sempre più evidente la volontà degli amministratori di rendere tale funzione pressoché permanente [10].

Il rilievo, la modellazione digitale, la rappresentazione grafica e le simulazioni realistiche del manufatto hanno assunto, pertanto, la duplice valenza riferita non solo alla documentazione finalizzata alla conoscenza, tutela e salvaguardia del monumento ma anche alle possibili azioni connesse alla fruibilità dello stesso.

4. IL RILIEVO DIGITALE DEI REPERTI ARCHEOLOGICI

La creazione del modello virtuale di una vasta area del Parco Archeologico-Culturale di Tuscolo (comprendente i resti del teatro, del foro, di una parte del tracciato della via tecta e di alcuni edifici, per una superficie di quasi 2 ettari), utilizzato come struttura di partenza nella quale implementare le informazioni, si è basata su un'accurata ricostruzione morfologica dei resti pre-

sentì e del contesto ambientale circostante. Il rilievo della zona archeologica ha implicato un elevato controllo dimensionale delle geometrie al fine di ottenere un modello matematico quanto più oggettivo e vicino alla complessità del continuo spaziale. Pertanto, per la sua documentazione si è scelto di utilizzare una metodologia di rilievo integrata attraverso l'utilizzo di laser scanner e stazione totale (Fig. 5).

L'utilizzo del laser scanning è stato preferito ad altre metodologie di rilievo, ad esempio alla fotogrammetria digitale, soprattutto per l'accuratezza del dato metrico restituito nello studio della morfologia del territorio e del costruito. Lo strumento utilizzato è stato il laser Faro Focus3D X130 settato per acquisire coordinate di punti con una risoluzione di 1/5 (un punto battuto con un passo di 8 millimetri a 10 metri di distanza) e valori cromatici RGB delle superfici rilevate, attraverso l'utilizzo della fotocamera integrata. Progettando opportunamente le operazioni di rilevamento in base agli obiettivi prefissi, sono state eseguite 30 stazioni laser (alcune delle quali mediante apposito tripode ad una quota superiore ai 4 metri dal piano di campagna) con l'impiego di target sferici e piani (Fig. 6).

Il set di dati ottenuto è stato elaborato con il software Faro Scene e in ambiente Autodesk ReCap, al fine di registrare le nuvole di punti mediante procedure ormai consolidate e algoritmi affidabili di allineamento, filtraggio e riduzione del rumore. Il prodotto finale è rappresentato da un modello 3D a nuvola di punti caratterizzata da una tensione media finale di circa 4 mm, ritenuta accettabile per l'ambito architettonico-archeologico rilevato e per gli obiettivi perseguiti (Fig. 7).

Il rilievo topografico di supporto è stato condotto per ottenere risultati più accurati nella successiva fase di allineamento delle scansioni laser, ma anche per analizzare puntualmente i tracciati di alcuni percorsi pedonali e per creare un sistema di riferimento univoco al quale riferire eventuali integrazioni successive. Nella preventiva fase di progettazione sono stati individuati i punti di stazione per il corretto e completo rilievo dell'area archeologica. È stata definita una poligonale chiusa costituita da 3 capisaldi, posizionati rispettivamente in prossimità dell'inizio della via tecta, sulla sommità del teatro e nelle vicinanze dei resti degli edifici religiosi situati all'ingresso dell'area archeologica. Sono state acquisite le coordinate di 64 punti tra target planari ad alto contrasto cromatico e punti caratteristici dei resti.

Le coordinate dei punti battuti sono state elaborate sia in formato di testo, per la successiva implementazione nel software di gestione delle nuvole di punti, sia in formato vettoriale CAD. Quest'ultimo è stato utilizzato per operare un controllo dimensionale sulle successive fasi di restituzione e modellazione.

Il modello tridimensionale così ottenuto, in vera forma, grandezza e colore, è stato impiegato per la costruzione della realtà aumentata e per l'aggiornamento dei grafici di rilievo esistenti. È stato possibile, inoltre, fornire nuovi elementi per analisi storiche e, infine, per predisporre alcune ipotesi progettuali di riqualificazione e rifunzionalizzazione (in particolare rivolte al miglioramento della fruibilità dell'area archeologica e per la ricostruzione delle parti mancanti della cavea).

5. IL DATABASE INFORMATICO

La realizzazione del database finalizzato alla realtà aumentata ha comportato diverse fasi di data conversion in altrettanti ambienti software, con l'obiettivo di conservare la validità metrica e cromatica del modello 3D originario (Fig. 8).

La triangolazione dei punti della nuvola è avvenuta in ambiente Geomagic Studio importando il modello in formato .e57. I punti sono stati decimati in maniera controllata e coerente con il grado di accuratezza metrica prefissata mediante algoritmi di riduzione del rumore e di eliminazione dei componenti disconnessi. Per gestire ancora più agevolmente l'elevata quantità di dati del modello e operare un'interpolazione senza perdita di dati significativi, la nuvola completa è stata suddivisa in tre porzioni, considerando una opportuna superficie di sovrapposizione. Ogni singola porzione è stata convertita in superficie continua e successivamente ri-assemblata in un unico modello mesh. Sono state considerate le seguenti zone: una corrispondente alle rovine degli edifici religiosi situate in prossimità dell'ingresso al sito, una seconda comprendente i percorsi interni e il terreno circostante e l'ultima in corrispondenza del teatro e della via tecta.

Al fine di ottenere il formato file .dae necessario per i software di realtà virtuale impiegati (Augment e Sketchfab) si è reso necessario un 'passaggio ponte' attraverso Autodesk 3d Studio Max, importando il file di interscambio .wrl.

Il database informatico così ottenuto ha avuto immediate e positive ricadute, ad esempio, per l'aggiorna-

mento e la redazione di nuovi grafici di rilievo (Figg. 9-10), per la lettura spaziale dei manufatti e dell'ambiente circostante indispensabile per le ipotesi di Universal Design e per valutare l'impatto ambientale e paesaggistico delle soluzioni progettate (Fig. 11).

Il modello mesh, inoltre, è stato trasferito su piattaforma web e associato ad un QRcode a libero accesso per un primo intervento di valorizzazione turistico-culturale (Fig. 12). Il modello virtuale, infine, è stato aumentato delle informazioni di carattere descrittivo e storico, sempre interrogabili mediante l'interazione con device fissi o mobili (Fig. 13), e predisposto per applicazioni di realtà virtuale immersiva (Fig. 14).

6. CONCLUSIONI

Il contributo ha illustrato una parte della ricerca condotta nell'ambito della digitalizzazione – attraverso il rilievo condotto con protocolli scientifici – dei beni culturali finalizzata al perfezionamento di una metodologia che, sfruttando le potenzialità comunicative e di gestione di affidabili modelli virtuali, consente una più efficiente interazione multidisciplinare con le tematiche legate al patrimonio.

La correttezza formale, metrica e cromatica dei modelli a nuvola di punti o a mesh unita all'intuitività della narrazione offerta dai sistemi digitali e all'implementazione delle informazioni di carattere storico-documentale, producono un valore aggiunto al database creato. Banca dati che, resa open per gli utenti che ne necessitano (studiosi, ricercatori, ingegneri, architetti, archeologi, imprese e quanti altri), può rappresentare un peculiare riferimento per la ricerca scientifica, la valorizzazione culturale e turistica, la conservazione e il restauro, riducendo errori di comunicazione tra attori diversi e ridondanze di dati.

Tali sistemi virtuali, grazie all'agevole fruizione da remoto e da dispositivi mobili, permettono così di sviluppare interazioni più partecipate e consapevoli tra utente e informazione.

Di certo, lo sforzo maggiore consisterà nello sviluppare efficaci piattaforme virtuali in cui strutturare una chiave di lettura codificata e universale delle relazioni tra lo spazio virtuale, le informazioni in esso presenti e la realtà percepita.

NOTE

Sebbene il paper è il risultato di una ricerca congiunta, i paragrafi 1, 5 e 6 sono scritti da S. D'Auria, i paragrafi 2 e 4 da F. De Silla e il paragrafo 3 da R.M. Strollo.

[1] Il progetto Domus Aurea è promosso dalla Soprintendenza Speciale per il Colosseo e l'Area archeologica centrale di Roma, Electa e CoopCulture. La visita al monumento è stata arricchita di percorsi di realtà immersiva e video racconto nella prospettiva di valorizzazione scientifica del cantiere di restauro. Gli interventi sono volti ad ampliare la fruizione da parte del pubblico con l'utilizzo di installazioni multimediali che fanno uso delle più recenti tecnologie di videomapping su grandi superfici e realtà virtuale.

[2] Il videogioco per dispositivi mobili Father and Son - the game è ambientato nelle sale del Museo Archeologico Nazionale di Napoli e tra le strade della città partenopea. L'obiettivo è di far interagire il visitatore – anche da remoto – con i contenuti storici del museo e di Napoli in maniera innovativa attraverso la tecnologia e la rete, in una prospettiva di audience engagement e con il rigore dell'approccio scientifico.

[3] Negli ultimi anni la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'Area metropolitana di Roma, la Provincia di Viterbo e l'Etruria meridionale e l'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali del CNR hanno svolto interventi di studio, documentazione e valorizzazione in diversi contesti della Necropoli della Banditaccia a Cerveteri. Le attività di ricerca hanno portato a definire metodologie innovative di intervento per le esigenze di documentare e valorizzare il sito, soprattutto mediante rilevamenti fotogrammetrici da drone e fotomodellazione 3D per la fruizione immersiva.

[4] Cfr. Inzerillo et al. 2016 e Denard 2012.

[5] Cfr. Baldoni & Strollo 2016.

[6] Ivi; Strollo & Baldoni 2016 e bibliografia in essi contenuta.

[7] La terza fase, agli inizi del II secolo d.C., registrò un ulteriore ma meno importante rinnovamento; cfr. Dupré 2007 e bibliografia in esso contenuta.

[8] Una leucite metamorfizzata (roccia ignea effusiva neovulcanica) caratterizzata da molteplici doti come lavorabilità, resistenza e durabilità.

[9] Cfr. Dupré 2007.

[10] Questo è potuto accadere grazie al passaggio della proprietà alla mano pubblica: gran parte dell'area ove era posta l'antica città fu, infatti, acquistata nel 1984 dalla XI Comunità Montana del Lazio "Castelli Romani e Prenestini".

