

## From survey to 3d model and from 3d model to “videogame”. The virtual reconstruction of a Roman Camp in Masada, Israel.

### *Dal rilievo al modello e dal modello al gioco. La ricostruzione virtuale di un campo romano a Masada in Israele.*

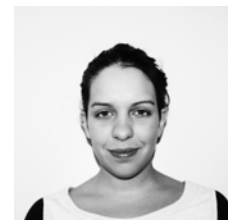
The archaeological survey is carried out by combining the study and observation of material reality with the in-depth study of historical sources, thus allowing to “translate” the signs of history into drawings, or rather as complex representations of an embedded system of information. The MRP-Masada Research Project was developed by the Joint Inter-University Laboratory Landscaper, Survey & Design with the aim of experimenting with various digital technologies in order to create a complete digital documentation of the important archaeological site, now protected by UNESCO. The paper describes the case study of the virtual 3D reconstruction of the F2 Roman camp, so-called “Campo del Generale Silva” and the potentialities that 3d models offer in terms of communication and dissemination of the Archaeological Heritage.

*L'indagine archeologica si svolge combinando lo studio e l'osservazione della realtà materiale con lo studio approfondito delle fonti storiche, permettendo così di poter tradurre i segni della storia in disegni, intesi questi come rappresentazioni complesse di un sistema stratificato di informazioni. Il progetto di ricerca MRP-Masada Research Project è stato sviluppato dal Laboratorio Congiunto Interateneo Landscape Survey & Design con l'obiettivo di sperimentare diverse tecnologie digitali al fine di realizzare una documentazione completa dell'importante sito archeologico oggi tutelato dall'UNESCO. Il presente lavoro illustra il caso studio della ricostruzione virtuale 3d del campo romano F2 cosiddetto “Campo del Generale Silva” e le potenzialità che i modelli 3d offrono in termini di comunicazione e promozione del Patrimonio Archeologico.*



**Sandro Parrinello**

Associate Professor at the Department of Civil Engineering and Architecture of the University of Pavia and European PhD; scientific coordinator of the Joint Landscape Survey & Design Laboratory and director of the Dada Lab. Laboratory He is responsible for numerous research projects in Italy and abroad for the documentation of the heritage.



**Monica Bergigli**

PhD Student XXXI cycle architecture, curricula of Survey and Representation of the Architecture and the Environment. It conducts research at international level, participating in numerous projects in the Middle East. She is interested in the digital survey methodologies and 3D modeling for the realization of digital database and Serious Game.



**Daniele Bursich**

Archaeologist specialized in Roman provinces, expert in new technologies applied to the survey and dissemination of Cultural Heritage. For several years he has been a Professor for the Brera Academy of Fine Arts in Milan and for the University of Milan.

Key words:  
digital survey, 3d reconstruction, virtual reality, roman camp, Masada

Parole chiave:  
rilievo digitale, ricostruzione 3D, realtà virtuale, campo romano, Masada

## 1. MULTIMEDIA SYSTEMS FOR THE USE OF ARCHAEOLOGICAL COMPLEXES.

Forwarding to the public the significance of signs that history has produced on a specific place represents one of the primary objectives of valorisation processes envisaged for museum itineraries of archaeological sites.

The architectural drawing, especially in recent developments related to digital representation, is configured as the most appropriate discipline to generate virtual environments, reconstructions and three-dimensional models for the development of immersive systems or simply interactive systems in which to allow the user of a site to be able to interact with different types of information, thus giving to the drawing the function of guiding tool for the information system, useful for giving structure and configuring complex databases.

In interactive drawing, information can be qualitatively articulated, differentiated and digitally placed in virtual spaces in the form of cards, signs, video or audio tracks that are enjoyed through immersive systems that exploit the principles of virtual reality. They can then be connected to real space through augmented reality systems, thus amplifying the descriptive possibilities of existing museum paths and creating parallels between real space and virtual environment.

In the field of representation for archaeology, technical drawings or surveys of excavation missions are often used to integrate exhibition itineraries, developing narrative tools for experts in the sector and for specialized audiences. In the desire to create descriptive tools designed for a wide audience, technical drawing has to be able to support research and archaeological analysis on the one hand and to help to read and understand the site. The archaeological site represents a contest that must be read and understood *in loco*, where signs and symbols, construction systems and artefacts in general should be described together with the life that characterized the specific culture in which the work has to be read. Bring the archaeological site back to life, giving meaning to the signs of history, becomes the goal of studies aimed at interpreting traces of the past, life that can be described through numerous tools aimed

at facilitating relationships and qualitative connections on informative contents of given databases.

This experimental research conducted by drawers and archaeologists aims to construct a method for the drawing and development of a rational construction of three-dimensional models functional to the creation of descriptive systems for the implementation of museum paths. In particular, the experimentation is carried out within a research project for the study of the archaeological site of Masada in Israel [1], and it specifically regards the analysis of the remains of Roman camps that surround the archaeological site and which led to the appointment of a UNESCO site [2].

Digital survey allows to acquire a three-dimensional database on the measure of the place where it is possible to observe the space of the ruin to carry out reflections at different levels of analysis, from general to particular. The possibility to remotely investigate the space of the surveyed area, allowing to produce sections and prospectus of elevations, allows to make me-

trical and typological considerations and comparisons to develop hypotheses about life in the Roman camps themselves. The interdisciplinarity of this experience emerges in the drawings and in the various types of elaborate products that constitute an important stone in the process of preserving the memory of place. The architecture represented, filtered by reading and data collection modalities, becomes the mirror of reality and can be understood as a simulacrum for the development of descriptive tools useful for planning ideal scenarios in which the near future can be configured. Drawing historical architecture involves knowing how to read the past and to build in the present, through research, appropriate tools functional to the critical representation of space and the structuring of virtual systems to plan, through the symbols and network space, future choices and experiments. Drawing the ruins evokes the sublime defining in space and in the measure, the time that, through life, has left signs and traces in the present.



Fig. 1 - General views of the archaeological site of Masada in its relationship with the Dead Sea and the Roman siege system; in the zenithal view the system of the fields and the ramp; the two photographs show the view of Masada from the high field, with the Dead Sea in the background, and from the fortified perimeter to the bottom of the valley.





## 2. THE MASADA EVENTS: THE ROMAN SIEGE AND THE CREATION OF THE ARCHAEOLOGICAL SITE

The last inhabitants of Masada [3] of which we have proof were Byzantine monks, who built several facilities from the ruins of the ancient buildings. Afterwards the site was completely abandoned for about 1000 years, until the end of the 1700s, when Masada was somehow rediscovered. It was thanks to the growing, European *Grand Tour* trend and to the Old Testament essays, that the westerners started being interested in Middle Eastern antiquities. The first travellers documenting the site at the beginning of the 20th century were Eric and Edith Matson. This couple of photographers, helped by local guides, reached the top of the Herodian fortress and photographed it from various points of view, providing us with several documents that also represented the underlying Roman camps [4].

In 1933 historian and archaeologist A. Schulten [5] visited Masada and was the first one to measure the camps and to compile a detailed report. Schulten focused his studies on the military perspective and on the Roman siege methods, comparing what was found in Numacia (Spain) with similar - although about two centuries older - structures found at Masada. From that moment on, the archaeological expeditions were conducted integrating the existing cartography (produced in 1875 by *Royal Engineers* lieutenant Claude R. Conder) with the blueprints of the Roman camps, thanks to the essential work by I. A. Richmond (1962) [6]. Between 1963 and 1965, the top of Masada was dug under the supervision of Y. Yadin and in 1966 the restoration and the musealization were already complete, also thanks to the massive reconstruction operations [7] conducted on the site. The archaeological survey was taken up again in 1986 by E. Netzer from the Hebrew University, academic heir to Y. Yadin [8]. In 1995 the *Masada Project* started: a five-year development plan to increase the infrastructure and to upgrade

Fig. 2 - Map of Richmond in 1962 with Roman camps and siege structures (in yellow).

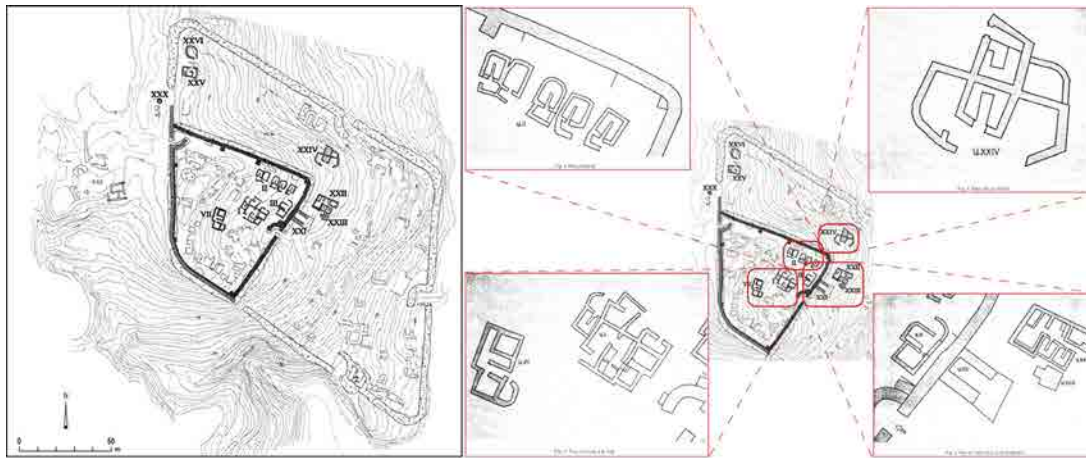


Fig. 3 - Plan of the surveys carried out in 2000 related to the F2 Camp, highlighting the cataloging with Roman numerals of the single portions of the buildings studied. Clockwise: U.II - contubernia, U. XXIV - building for unknown use, U.III - storage building, U. I - service building, U. VII - dormitory for officers.



Fig. 4 - Views of the Roman camp. On the left, the picture taken from the Roman ramp on the western side of the upland. On the right, an aerial view shows the size and the fence of camp F2, compared to the original camp F.

the services offered to the numerous visitors [9]; for this purpose several archaeological surveys were conducted on the whole area, surveys that proved useful also in relation to the restoration of the cable car for which 40 million dollars were allocated. Masada was declared World Heritage Site by UNESCO the next year. The Roman siege and the main archaeological findings are represented in the museum, built at the entrance of the park in the Dead Sea depression. About the siege, it is appropriate to report a few notes about the *Legio X Fraetensis*, that doesn't fail a siege in the time span of about ten years from the beginning until the end of the military activity in Judea. It's not necessary to be experts to notice it, it's enough to observe the arrangement of the 8 temporary camps (plus the *Builders Enclosure*) and the defensive walls employed to ring the Masada cliff in a lethal grip.

The position of the camps during the sieges was influenced by the area's orographical structure: the purpose was to obtain complete control over the natural gaps, developing strategies to break through the enemy defenses and, at the same time, prevent the occupants from fleeing.

The peak of the western rocky side of Masada is protected by camp F, that also controls the Hebron – Jerusalem road. Goods and resources were transported [10] daily from here to the legion and to the *canabae* [11] located outside the western lines of walls and forts.

Between the years 1995 and 2000, thanks to the *Masada Project*, the scientific and archaeological research about Masada focused on the dig of camp F2 with the work of H. Goldfus and B. Arubas [12], whose studies have defined several functional aspects of the camp, beside determining the exact dating of the period of occupation. In this instance, the first stratigraphic studies and preliminary surveys are conducted, which will lead to the publication of a new planimetry in which the investigated buildings are called units and are numbered with a Roman number [13].

### 3. THE STRUCTURE OF CAMP F2

At the end of the siege, an unfortunate [14] contingent of legionnaires was left to guard the area; the troops were split in two and sent to occupy camp F and camp



Fig. 5 - Detail of the Trajan's Column illustrating a Roman temporary camp. In the white box there are two soldiers who observe the territory beyond the wall of the camp, thanks to the raised structures.

Fig. 6 - Study of the section of the perimeter wall. The part of the wall identified as "collapse" is highlighted in yellow. The blue area represents the surface reported on the width of the wall to verify the original height of the fence.

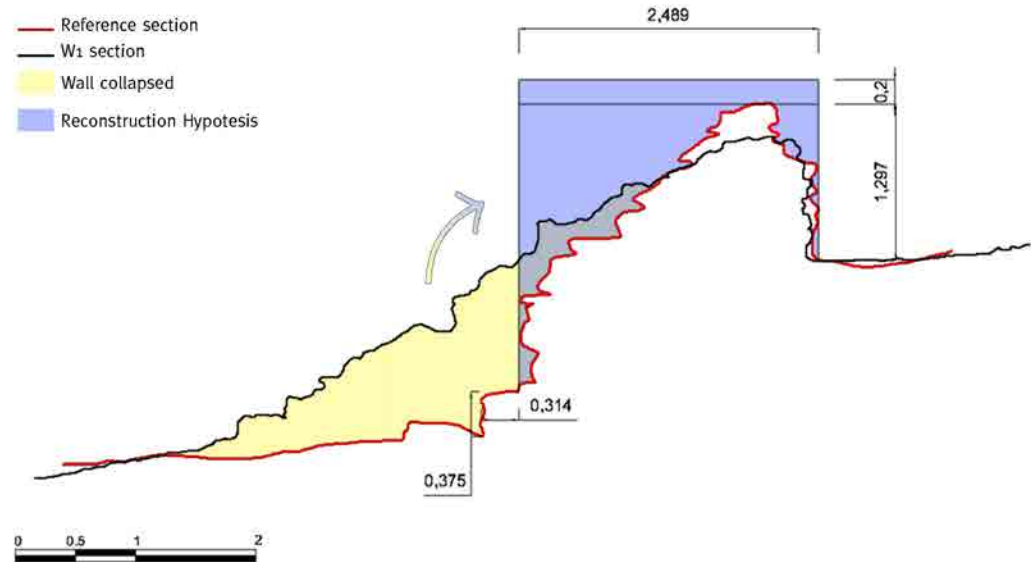
C. Therefore, the camps were rearranged and the new camp F (F2) was created from the previous one (F1). This was done by modifying the pre-existent dry-stone structures and by taking advantage of the western, semicircular rocky side. The walls were thickened, while the access points were reduced to two, the north-western and the eastern ones. The new *clavicula* doors were reduced in size [15], probably because a smaller entry point allowed better control and required fewer guards.

The buildings inside the camp don't follow the classic layout of the legionary camp described by *Pseudo Iginio*, but they do respect some of its fundamentals: the legionary *contubernia* are built right next to the defensive perimeter and they take advantage of the natural shape of the land, probably in order to find shelter from the weather; in the middle we find what seem to be permanent buildings, among which we have Unit I, interpreted [16] as "*garrison's headquarters*". This might have been a common area, pointed towards the enemy [17].

West to Unit I we find Unit VII, the second largest building in the camp (12 m x 6 m). This might have been the accommodation of the garrison's functionaries, namely the officials' dormitory. The eastern entry point allows access to a hallway that divides the building in two parts: the southern part with only one room and the northern part, with a passageway and a square room. There is also a semicircular chamber accessible from the outside, probably used as storage room.

Unit III, located next to the eastern door of the camp, is shaped differently. This building seems to have been used for two different purposes. At first this was a square room, entrance located north-east, with thick walls, heavily plastered both inside and out. The floor has been raised by debris and very compact soil, almost resembling a beaten earth floor. At this time,

<http://disegnarecon.univaq.it>



the building might have been functional to daily life at camp F1. The northern part of the building was built at a later time and it includes an anteroom of unknown purpose and a room where an impressive amount of pottery was found. This might have been a storage room for goods.

Unit II is a complex of six similar buildings, aligned and overlooking the inside of the camp, each including a small foyer and a square room called *triclinium-shaped room* [18].

Many of the so-called foyers presented scraps of pottery as well as areas suitable for cooking. Metal finishing for horses and mules were often found [19]. The identified spaces are the *contubernia*, the shelters used by the legionnaires.

The top of the perimeter wall no longer exists, as the gravel that formed it collapsed, but it can still be found along the perimeter of the camp [20]. The perimeter wall has been reinforced with square-sectioned struc-

tures that were built at the same time. This is easily visible next to door E, where the blocks intersect to form right angles. The square-sectioned structure could have been an observation point [21]. The blocks were used as lifts and they were equipped with a stand that allowed the guard to observe the land beyond the perimeter wall - as seen in a detail of the Trajan's Column (Figure 5). The blocks found at camp F2 are different sizes, but none of them is higher than 70 - 90 cm (about 3 ft).

The only representations of the temporary Roman camps that still exist today can be found on the Trajan's Column, a magnificent narrative project that meticulously describes the story of emperor Trajan during the Dacian Wars (101-106 AD). In the illustrations that recount the facts that led Rome to conquer Dacia (today the area that includes Romania, part of Bulgaria and part of Hungary) is not unusual to find temporary camps, surrounded by high walls that protected the

*contubernia* and the soldiers focused on reinforcing the camp, observing the enemy, chopping wood and much more. The artifact is 100 Roman feet tall (about 30 meters), it is still visible in the Imperial Fora in Rome and it is extraordinary proof of how the Romans took on a military campaign and how they organized a legionary camp 40 years after the events of Masada. This is almost contemporary to the siege and it can therefore be considered a valid iconographical comparison.

Among the good practices of building, Igino lists the creation of a *vallum* (surrounding wall) that is not thicker than 8 ft and not taller than 6 ft. The wall is built with clumps of soil or with dry-stone [22]. The wall is well preserved, especially in the northeastern part, as shown in the picture. Thanks to the surveys and analysis of the wall through the comparison of its sections, it was possible to calculate and propose a virtual anastylosis of the collapsed portion of the wall. From the diagram (Figure 6) we infer that the preserved wall

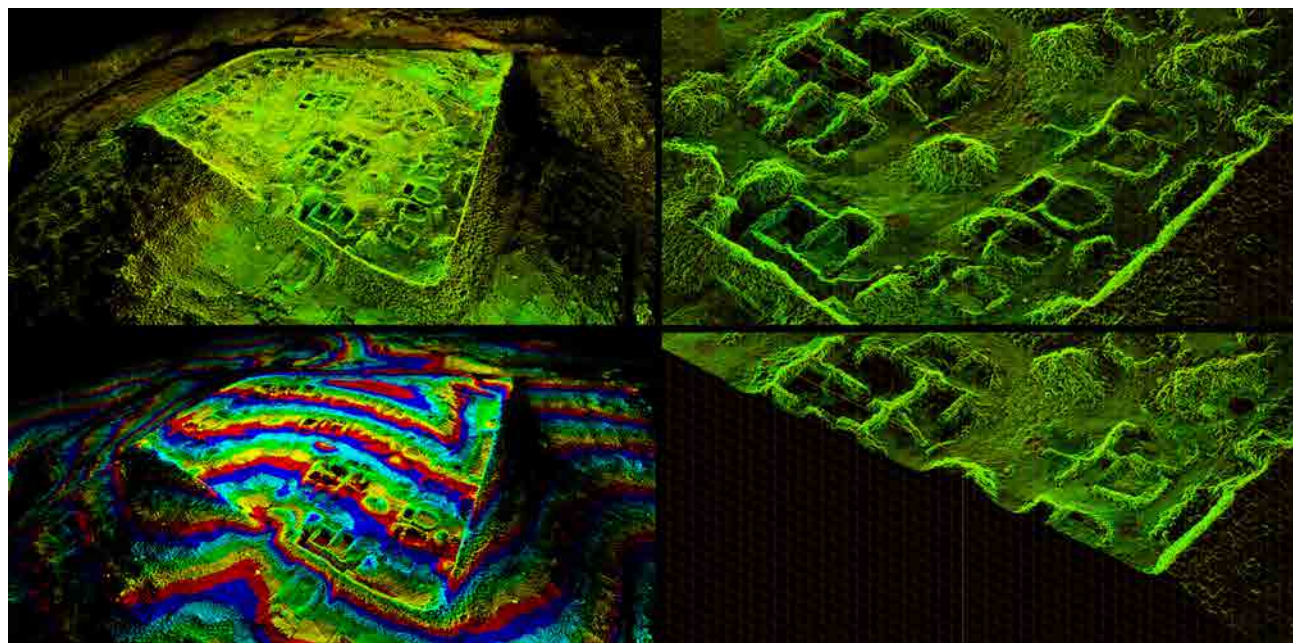


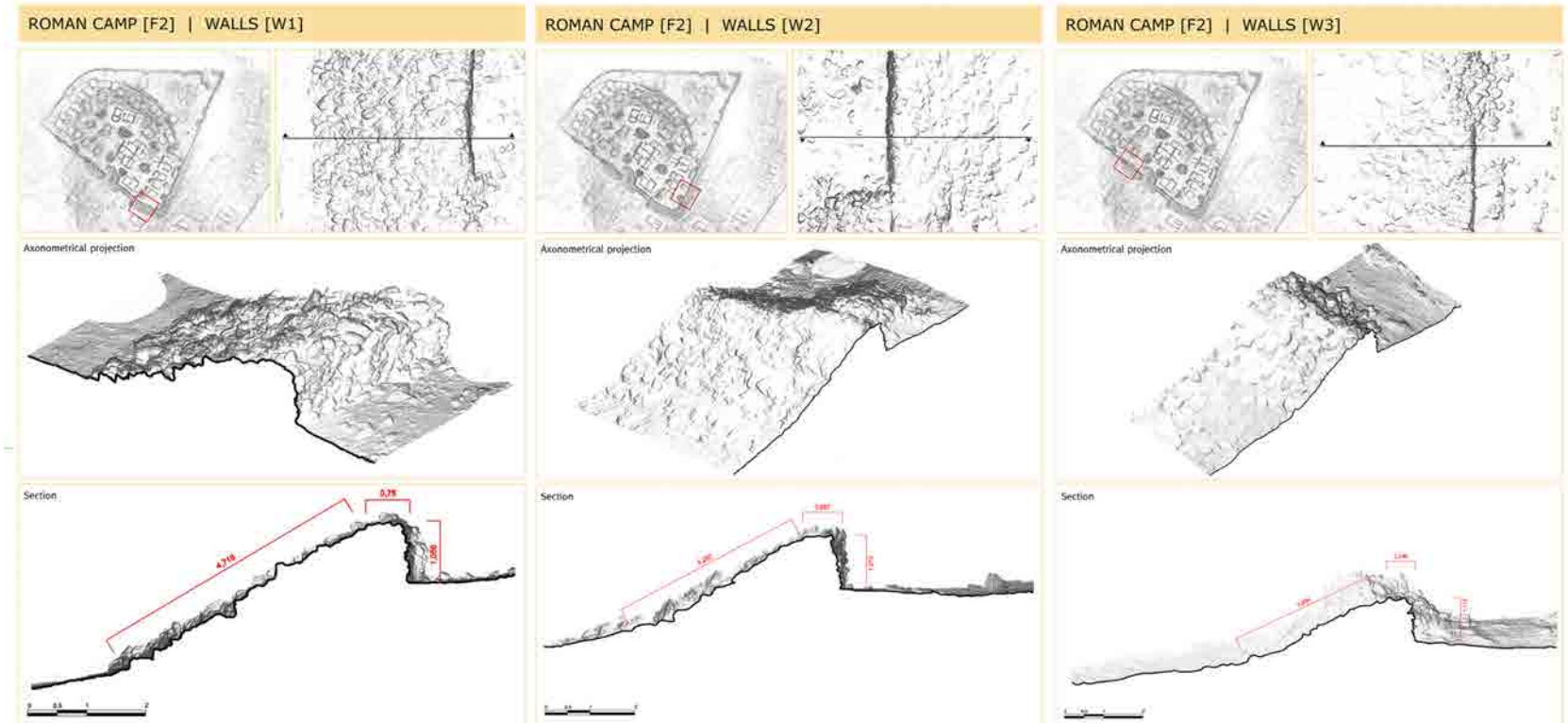
Fig. 7 - Views of the point cloud: on the left the "elevation map" display, useful for the extrapolation of level curves. On the right, instead, detailed views illustrate an example of extraction of environmental sections, useful for reconstructing the complex morphology of the terrain and three-dimensional surfaces.





Fig. 8 - 3D models of some portions of the Roman field realized through SfM methodologies and elaborated within Agisoft Photoscan software.

Fig. 9 - Census sheets elaborated based on the point cloud for the study of the boundary wall. In each tab there are images of the detail, an axonometric section and a dimensioned section.



is almost complete, compared to what it used to be. The estimated height is about 1,5 m (5 ft), the estimated thickness is 2,5 m (about 8 ft).

#### 4. TRANSFORMATION OF "SIGNS" INTO "DRAWINGS": THE DIGITAL SURVEY OF THE ROMAN CAMP

Discussing about heritage documentation imposes a reflection on the value that digital technologies assume today in the research for landscape and architectural drawing. The 'virtualisation' of image and the ability to configure systems of cognitive knowledge associated with digital interconnections has changed the grammar of architectural representation. Constitutive elements of drawing have found a correspondence as fragment of digital databases set in virtual spaces, whose characteristics qualify forms and models of a language that naturally moves between the structuring of symbols and the research for hyper-reality and reliability.

In this grammatical reformulation of the graphic text, signs become containers of information and the processes of acquisition of same information change in favor of a graphic decomposition of the object analyzed for the construction of an information system.

The digital space is composed of qualitative data defining a network of metadata that transform the drawing and the study of archaeological system into a tool for analyzing the research itself; data collected from various survey operations can be queried, navigated, integrated, and sectioned to export images that describe the three-dimensional database space in two dimensions. On the common documentary matrix, each analysis system is developed according to integrated protocols of relevance where morphological systems, construction and decorative elements present multiple levels of detail, from the large scale to the single wall detail.

It is possible to compare data to understand the reliability of the three-dimensional database generated and, in the desire to build reliable models from which to appreciate the quality of the ornament, also to develop methodologies for the transposition of data and the optimization of the quality of models. The integration of different point clouds, laser and photogram-

metric, besides being functional to a further control on the reliability of metric data, allows the drawer, by aligning the reference systems, to focus the attention on morphological complexity.

The point cloud, a three-dimensional database, must be ordered to define an organic system and to structure data of the continuous system in a new configuration whose reasons can be reached with the semantic reading of forms of the built for discretization and simplification of data.

Through SFM (Structure from Motion) modeling it was possible to quickly obtain 3D models with reduced processing of polygonal surfaces, more approximate but

suitable for virtual transposition for common digital display platforms. The result is a highly reliable model that can be manipulated and interconnected with other information system management tools.

The way of documenting archaeological excavations has evolved over time in parallel with survey technologies. Digital archives, nowadays, are featured to receive, in addition to images, texts and graphics, also metric documentation of point clouds and 3D models of considerable importance and consistency that must be structured in order to guarantee access and use of data over time, avoiding the deterioration of digital information.

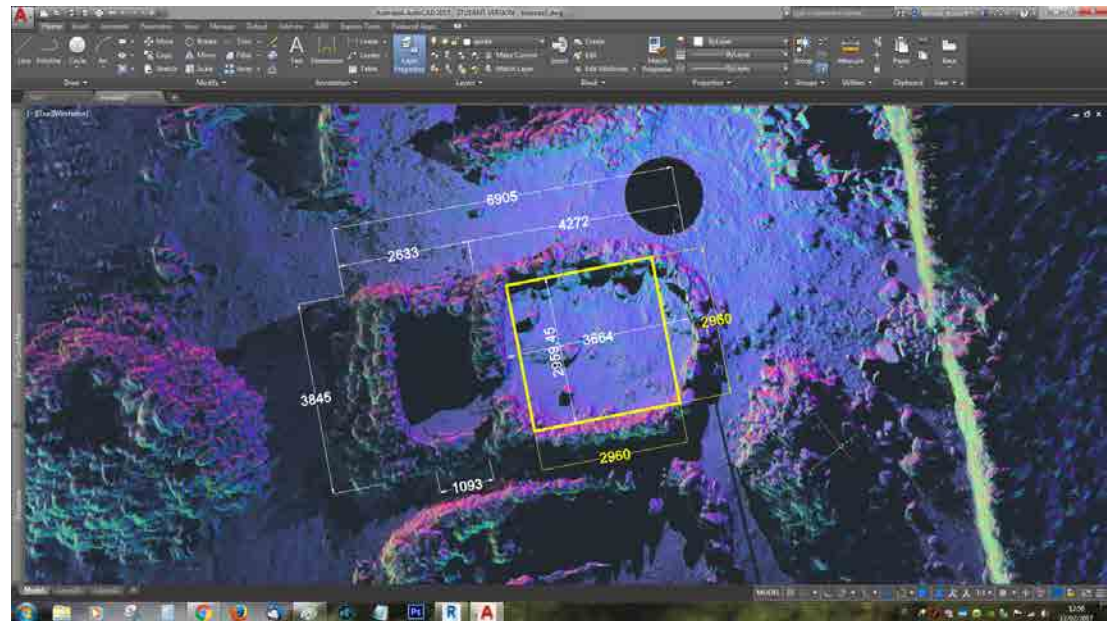


Fig. 10 - The central building of Unit II, an almost perfectly preserved contubernium, of which the measurements of the rooms are reported. In yellow the area occupied by a legionary tent is indicated with measurements taken from the indications of Igino. The size of the tents, called papiliones, are given with certainty by Igino (Hyg., I, 1: "Papilio unus occupat pedes X, accipit incrementum tensurae pedes II, tegit homines VIII.") And other ancient authors : the base measures 10x10 and the height 8 feet. The tent seems to adapt perfectly to the size of the structure, confirming the model of shelter found in other fields. The height of the tent makes it possible to access it in an erect position. Probably the dry stone walls had a structural function, which allowed the tents to remain stable on the ground and at the same time not to be subjected to hostile weather conditions.



## 5. FROM THE DIGITAL SURVEY TO THE HISTORICAL RECONSTRUCTION OF THE 3D MODEL

The point cloud obtained from the laser scanner survey allowed to develop considerations and in-depth analysis on the typological elements present in the camp: the walls, analyzed in several positions, a structure interpreted by Goldfus and Arubas as a second phase *contubernium* (F2 camp), permanent buildings, turrets and artillery platforms. The results of the following studies were first collected in a catalog of census sheets concerning the single wall sections, to be then translated into drawings and 3D models that constituted an abacus of the elements present in the camp. The primary purpose of the research conducted on the F2 Roman camp, is to use the tools of survey and representation, to analyze the "finds" of the architecture and to reconstruct their original image, both metric and material.

The representation through 3D modeling makes necessary the reading of drawings, traits and essential characters of the artifacts so as to understand them and be able to choose the most effective communication systems. Based on the two-dimensional drawings made and following the considerations and the analysis of the building typologies, we proceeded to the virtual reconstruction of the Roman camp. The operative methodology, here applied to a defined case record, is characterized by its wide applicability and repeatability on contexts and themes similar to the one tested here: we proceeded by defining a module (corresponding to 1 Roman foot) in order to represent the volumes of the masonry. In the case of the wall, thanks to the study on the sections, it was possible to establish the size of the masonry of about 5x8 modules.

The realization of a 3d model defined by simple surfaces and representative of a little section of walls, served to test the most appropriate method for modeling and representing the "dry stone wall". The external surface of the NURBS model was used as a "formwork" in which the "stone" elements of various sizes were placed (established by making sample measurements on the point cloud). Considering the large extension of the Roman camp walls and the redundancy of the elements present in the 3D model, a "virtual 3D scan" [23] was carried out in order to generate a mesh surface

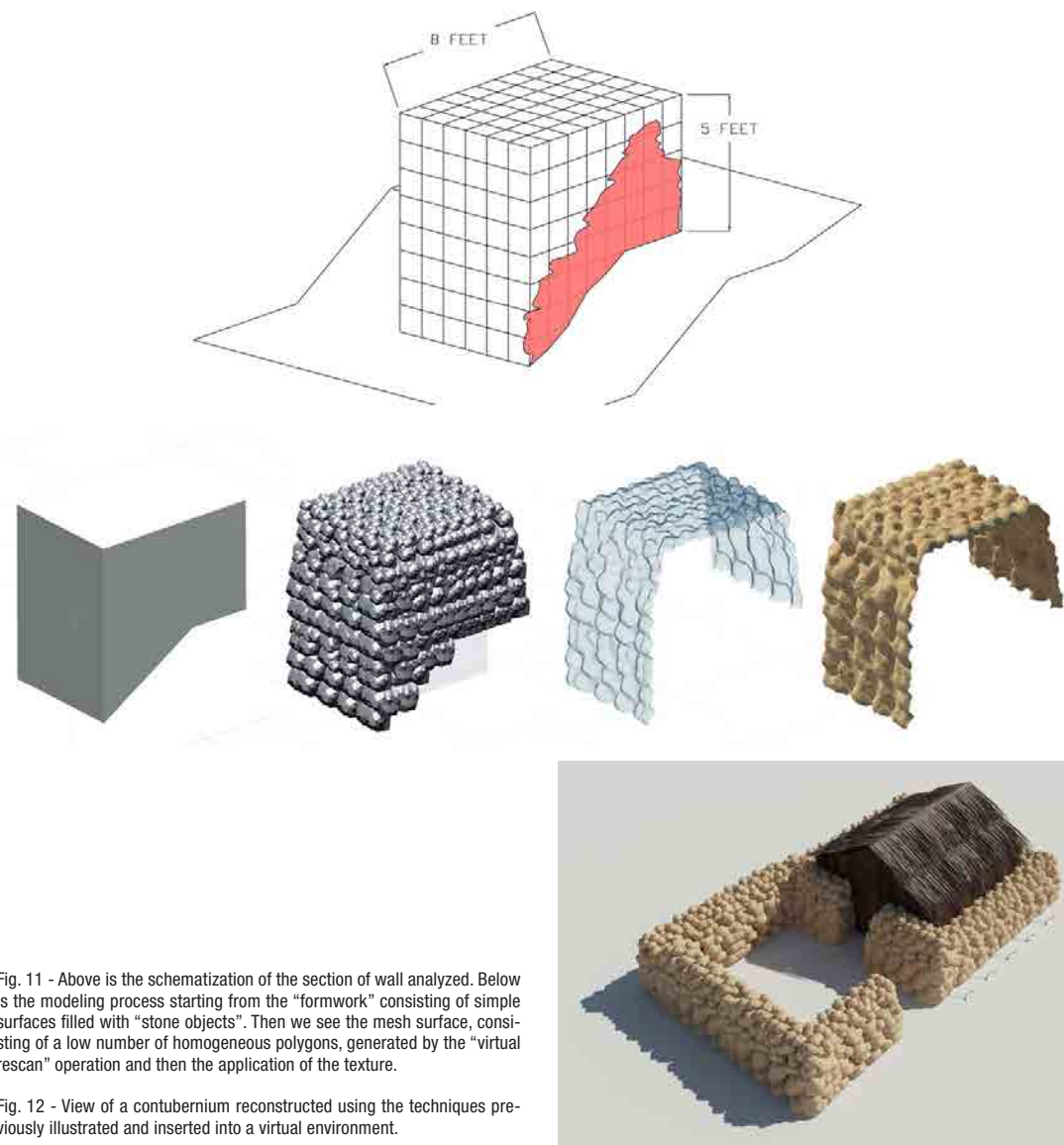


Fig. 11 - Above is the schematization of the section of wall analyzed. Below is the modeling process starting from the "formwork" consisting of simple surfaces filled with "stone objects". Then we see the mesh surface, consisting of a low number of homogeneous polygons, generated by the "virtual rescan" operation and then the application of the texture.

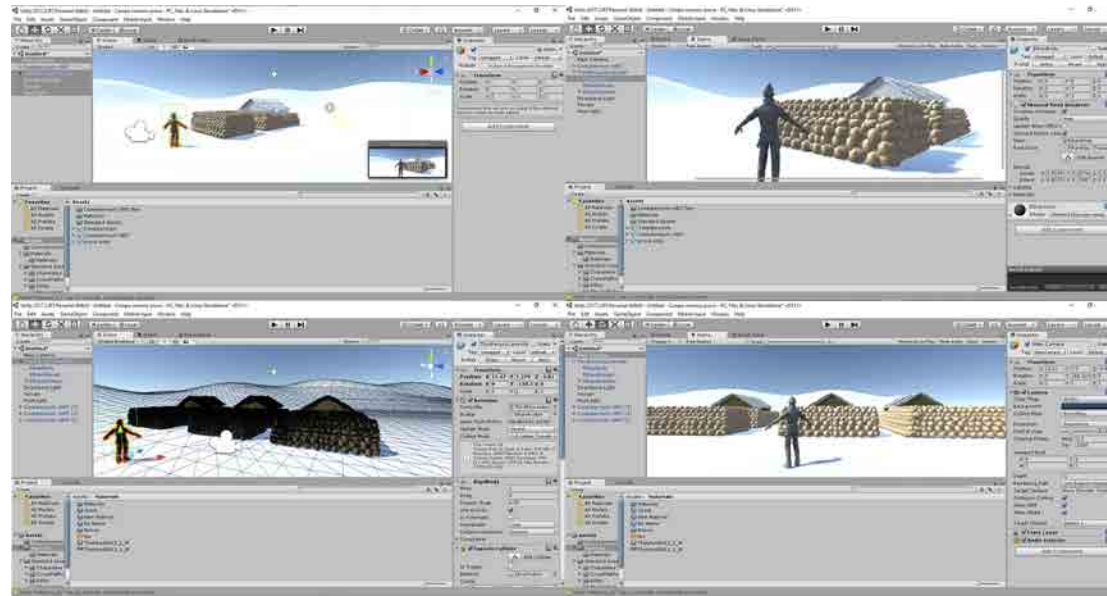
Fig. 12 - View of a *contubernium* reconstructed using the techniques previously illustrated and inserted into a virtual environment.

Fig. 13 - Process of creating the virtual scenario and inserting the reconstructed artifacts within Unity 3D. Later, thanks to the addition of details, high definition textures and "interactive" elements, it will be possible to interact with the model.

Fig. 14 - Examples of scenarios for the serious game.

consisting of a limited number of polygons, lighter and easily manageable. The greatest difficulty in the reconstruction of the wall surface is represented by the lack of complete and fully preserved artifacts; more information, and visual suggestions, are given us by the low walls visible on the camp and through the photographs. The methodology used proved to be effective for the transformation of 2D drawings into a 3D surface, which, following the application of a simple texture (consisting of diffuse and bump channels), proved to be satisfactory also from a graphical and representative point of view.

In addition to the 3D model of the boundary wall, other elements were created for the final reconstruction of the entire Roman camp. Some so-called "permanent" buildings identified by archaeological and bibliographic studies as *principia* and *praetorium*, were simpler from the modeling point of view, as they were made of stone walls covered in adobe (animal dung, mud and straw) of a maximum height of one floor. Because of the lack of information regarding the elevation of these buildings, the dimensions of the openings (doors and windows) have been hypothesised, in line however with the available bibliographic documentation. Besides the turrets and the artillery platforms, the *contubernia* have been modeled, a very present element in the camp. The walls were made according to the same process used for the boundary walls, then integrated with the addition of the "tents" made according to known measures and proportions and complementing them with the application of textures. In fact, the curtains have been made with dark leather sprinkled with oil to waterproof the material, fixed by tie rods and nails and covered with shrubs.





## 6. FROM THE 3D MODEL TO THE INTERACTIVE GAME

In the last 30 years the use of *serious game* [24] has grown to facilitate learning, simulation and training even of specialized technical personnel. The awareness of how the game is effective in the transfer of information of a very complex nature is now consolidated and, in the archaeological field, the interaction between informative content and graphic support requires a reasoned reflection on the quality of the graphic system and virtual design. The game in the field of Cultural Heritage differs from the other games as it aims at cultural promotion but also at the preservation of artifacts. Serious games let people quickly interact with virtual historical monuments. The sensation of satisfaction during the exploration of this virtual world is proportional to the modalities of interaction and the completeness of the digital contents with which the player confronts during the game. In the case of the F2 Roman camp, also the refinement of the contents and their historical veracity and fidelity with respect to the original artifacts, entail the fulfillment of expectations, both playful and, above all, cultural. The realization of the game scenario and its narrative structure are still under development but already in the design phase the graphic language takes on an important role in order to better describe the place where the character is interacting. The primary purpose of the game is to tell the story of the F2 Roman camp and explain what were the Roman construction technologies of that age, virtually reconstructing a scenario no longer exists. The "visitor" will move within the game through a customizable avatar so as to create a certain "empathy" and "familiarity" between the real person and the virtual character. The game is based on the exploration aimed at collecting a series of objects (such as work tools and equipment). The hunting for objects to be collected is facilitated by two elements, a map and a radar. The playing area and the position of the player are shown on the map, but not the position of the objects to be found. The map helps to orientate itself in the scenario while the radar, giving a general indication of the position of the objects, encourages and invites the exploration of certain places. When the player is in the immediate vicinity of interactive objects,

the quiz interface is activated. The "progress" method in the game is based on a prizes-rewards system: the player must answer questions and solve "puzzles" to continue the game, and the difficulties are progressive to keep the interest and motivation high in the player. The "challenge" factor therefore becomes fundamental to make the game attractive and to keep alive the interest in exploration and knowledge. The player, during the course of the game, in addition to learning notions and information probably unknown until then, will be "walking" within the faithful reconstruction of the camp thus becoming the main subject and actor of the narration, conditioning the outcome of the game through their own actions and choices.

The methodological procedures described above, have been experimented in order to create simple 3D models, easily manageable and with immediate visual impact so as to "immerse" the player in an unusual but plausible scenario. Drawing a complex three-dimensional architectural structure and using it through the fluid and dynamic virtual reality involves a remarkable control of all the phases of design and implementation of the 3D model, starting from the in-depth study of historical sources and evidence, up to the effectiveness of the representations. The reconstruction of the typological elements of the Roman camp and their insertion in virtual scenarios will then have to dialogue with software for the creation of games, such as Unity or Unreal Engine by Epic Games, and it will be necessary to face compatibility issues between software and interoperability between 3D models.

The serious games of this type, even more than representing an instrument for sharing Cultural Heritage, support the preservation of artifacts and their reproduction, creating de facto a "digital memory", which represents a further historical and evolutionary stage of the archaeological site.

## CREDITS

Sandro Parrinello wrote the paragraphs 1 and 4.  
Daniele Bursich wrote the paragraphs 2 and 3.  
Monica Bercigli wrote paragraphs 5 and 6 and created 3d models.

## NOTES

[1] MRP-Masada Research Project was developed by Joint Laboratory University-Enterprise LS3D Landscape Survey & Design of University of Pavia and University of Florence in collaboration with Shenkar College of Tel Aviv, and it has the primary objective of experimenting various digital technologies in order to make a complete documentation of the archaeological site now protected by UNESCO. The project, still under study, has a multidisciplinary nature, started in 2013 and it is still ongoing. During the third campaign conducted in 2015, a portion of one of the Roman camps of the siege system of Masada was documented, identified as "F2" or the second phase of life of so-called "Silva General Camp".

[2] UNESCO application is approved according to three criteria: I) Masada is a symbol of the ancient Jewish kingdom of Israel, of its violent destruction in the late 1st century AD and the consequent diaspora. II) The palace of Herod at Masada is an exceptional example of a luxurious villa from the Imperial Roman period, while the legionary camps and other fortifications surrounding the monument are one of the most complete examples of Roman siege survived to present day. III) The tragic events of Jewish refugees who occupied the fortress of Masada, make it a symbol both for Jewish culture and universally speaking, emblem of continuous struggle between oppression and freedom. (<http://whc.unesco.org/en/list/1040>)

[3] The year 680 AD marks the beginning of the Arab domination, which began in the ommayade period and lasted until the founding of the State of Israel in 1948. From that moment on, for 13 centuries, Masada-Marda is known as Sebbeh, name still used today to indi-

cate the wadi Sebbeh located south of the complex.

[4] From the terraces of Herod's palace, northwest of Masada, camp F (F2) is visible. Camp F2 was created by modifying the pre-existent dry-stone structures and by taking advantage of the western, semicircular rocky side as natural defense.

[5] Schulten 1933. - A. Schulten, Masada: Die Burg des Herodes und die römischen Lager. ZDPV-Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins, 56. 1933.

[6] The remaining military buildings that ring the fortress were systematically recorded by Richmond in 1962 and numbered from letter A to H. - I. A. Richmond, The Roman Siege-Works of Masada, Israel. Journal of Roman Studies 1962, 52.

[7] In all the raised structures found at Masada, the passage between antique and modern is marked by a black line, a black varnish mark painted on a thin mud strip that runs along every wall. This solution is as clever as it is precarious because, due to its composition, the band is subject to decay caused by environmental conditions as well as the passing of time. - D. Bursich, Masada 2014, New Perspectives. In Masada notebooks. Report of the research project 2014. Vol. II, Firenze, 2014.

[8] E. Netzer, Masada III. The Yigael Yadin Excavations 1963-1965, Final Reports: The Buildings, Stratigraphy And Architecture. Israel Exploration Society And The Hebrew University Of Jerusalem. 1991.

[9] In the year 2000 the site was visited by seven hundred thousand people, in 2010 1.25 million entrances were registered. Israel saw 3.3 million visitors, 57% of which visited Masada and the Negev desert. About 1.9 million people per

year. - <http://mfa.gov.il>

[10] Roth1991, p. 211 Asserts that the Romans, in order to sustain the legionnaires, had to transport food and water from En Gedi (16 km North) using at least 450 mules a day. - J. Roth, *The logistics of Roman Army in the Jewish War*, Columbia University, 1991, 211

[11] G. Davies identified some brickwork found North-West to camp F2. He interpreted it as canabae, extremely rare to find both in permanent as well as temporary camps similar to the Masada ones. The canabae were civilian buildings that offered services to the Roman soldiers, such as blacksmiths, merchants, prostitutes, etc. - G. Davies, *Under Siege: The Roman Field Works at Masada*, in *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* – ASOR. 2011, 362.

[12] Goldfus-Arubas 2000, pp 207–214. - H. Goldfus, B. Arubas, *Excavations at the Roman siege complex at Masada -1995*. In *Limes XVIII Proceedings of the 18th Intern. Congr. Of Roman Frontier Studies*. Amman, Giodania. 2000.

[13] The nomenclature will be used in this article. The enumeration doesn't follow a precise system.

[14] G. Davies, *Under Siege: The Roman Field Works at Masada*, in *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* – ASOR. 2011, 362, p.80.

[15] Smaller, measuring 6 x 6 m (20 x 20 ft), against camp F1's dimensions of 10 x 10 m (30 x 30 ft)

[16] Goldfus-Arubas 2000, pp 207–214. - H. Goldfus, B. Arubas, *Excavations at the Roman siege complex at Masada -1995*. In *Limes XVIII Proceedings of the 18th Intern. Congr. of Roman Frontier Studies*. Amman, Giodania. 2000.

[17] It is a structure that measures 15 x 13 m and it includes 10 rooms. It is located in the middle of an open space in front of the eastern door. According to the digs, the building collapsed and had to be rebuilt. The central space includes two long chambers with "benches", a foyer and what was assumed to be a storage room. An impressive amount of pottery was found here, among which crockery, fire pottery, Nabatea ceramic, glass scraps and various coins. IBIDEM.

[18] Ibidem.

[19] Stibel-Magness 2007, pp. 1–94. - G. D. Stiebel, J. Magness, *The Military Equipment from Masada*. Jerusalem, Israel Exploration Society. 2007, Masada VIII.

[20] It is necessary to highlight the fact that this is a seismic area. Some of the collapses are definitely ascribable to natural phenomena. Very powerful earthquakes occur periodically in this area, the most recent registered in 1927 by A. Shulten during the study conducted at Masada. SHULTEN 1933, p. 107.

[21] Flavio Giuseppe, *Bellum Judaicum*, III.

[22] Hyginus Gromaticus, *De Munitioibus Castrorum*, I, 50 – 53.

[23] The "Virtual rescan" tool used in Inus Technology's Rapidform software performs a virtual scan of the object as if a physical laser scanner were used. The tool allows to acquire, through various options, the visible surface of the object.

[24] Since the 1970s, virtual environments and flight simulators have been a key point in military training. In recent decades, video games, for educational purposes as well as games, have also invaded the field of CH (Cultural Heritage) as considered an instrument expres-

sively powerful to represent, learn and disseminate knowledge of cultural heritage. Serious games are defined as those "games that do not have entertainment, enjoyment or fun as their primary purpose". (See Michael D. R. & Chen S. L., 2005. *Serious games: Games that educate, train, and inform* Muska & Lipman / Premier-Trade).

## BIBLIOGRAPHY

Bertocci S., Parrinello S., & Vital R. (2013). *Masada Notebooks*, Report of the Research Project 2013, Vol.1. Pisa, Italia: Edifir Edizioni Firenze.

Bertocci S., Parrinello S., & Vital R. (2014). *Masada Notebooks*, Report of the Research Project 2014, Vol.2. Pisa, Italia: Edifir Edizioni Firenze.

Davies G. (2011) *Under Siege: The Roman Field Works at Masada*, in *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* – ASOR.

Guidi G., & Angheluddu D. (2016), *Displacement mapping as a metric tool for optimizing mesh models originated by 3D digitalization*. In: *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 9(2).

Goldfus H., Arubas B. (2000) *Excavations at the Roman siege complex at Masada -1995*. In *Limes XVIII Proceedings of the 18th Intern. Congr. of Roman Frontier Studies*. Amman, Giodania.

Laamarti F., Eid M., & El-Saddik A. (2014) *An overview of Serious Game*. In: *International Journal of Computer Gamer Technology*.

Michael D., & Chen S. (2006) *Serious Games: Games that Educate, Train and Inform*. Thomson Course Technology PTR, Boston.

Mortara M., Catalano C.E., Bellotti F., Fiucci G., Houry-Panchetti M., & Al (2014) *Learning cultural heritage by serious games*. In: *Journal of Cultural Heritage*. Elsevier, vol.15(3), pp 318-325.

Netzer E. (1991) *Masada III, The Yigael Yadin Excavations 1963-1965, final reports, the buildings stratigraphy and architecture*. Israel Exploration Society, Jerusalem.

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*. In: *Musei virtuali dell'architettura e della città*, Disegnarecon, 9(17).

Remondino F., & El-Hakin S. (2006) *Image-based 3D modelling: a review*. In: *The Photogrammetric Record*, 21(115).

Schulten A. (1933) *Masada: Die Burg des Herodes und die römischen Lager*. ZDPV- Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins.

Stiebel G. D., & Magness J., (2007) *The Military Equipment from Masada*. Jerusalem, Israel Exploration Society. Masada VIII.

Roth J. (1991) *The logistics of Roman Army in the Jewish War*, Columbia University.



## ***Dal rilievo al modello e dal modello al gioco. La ricostruzione virtuale di un campo romano a Masada in Israele.***

### 1. SISTEMI MULTIMEDIALI PER LA FRUIZIONE DI COMPLESSI ARCHEOLOGICI

Trasmettere al pubblico il significato dei segni che la storia ha prodotto su un determinato luogo costituisce uno degli obiettivi primari dei processi di valorizzazione previsti per i percorsi museali dei siti archeologici. Il disegno architettonico, specialmente in virtù dei recenti sviluppi connessi alla rappresentazione digitale, si configura come la disciplina più idonea per generare ambientazioni virtuali, ricostruzioni e modelli tridimensionali per lo sviluppo di sistemi immersivi o semplicemente sistemi interattivi nei quali permettere al fruitore di un sito di poter interagire con diverse tipologie di informazioni, conferendo così al disegno la funzione di strumento orientante del sistema informativo, utile per dare struttura e configurare banche dati complesse.

Nel disegno interattivo le informazioni possono essere qualitativamente articolate, differenziate e collocate

digitalmente in spazi virtuali sotto forma di schede, segni, filmati video o tracce audio che vengono fruiti attraverso sistemi immersivi che sfruttano principi di realtà virtuale. Possono poi essere collegate allo spazio reale tramite sistemi di realtà aumentata, andando così ad amplificare le possibilità descrittive dei percorsi museali esistenti e creando paralleli tra spazio reale e ambiente virtuale.

Nell'ambito della rappresentazione per l'archeologia spesso disegni tecnici o rilievi delle missioni di scavo vengono utilizzati per integrare percorsi espositivi creando strumenti narrativi destinati ad esperti del settore e ad un pubblico specializzato. Nella volontà di creare strumenti descrittivi progettati per un pubblico vasto il disegno tecnico deve riuscire da un lato a supportare la ricerca e l'analisi archeologica e dall'altro a diventare di aiuto alla lettura e alla comprensione del sito. Il sito archeologico rappresenta un testo che deve essere letto e compreso *in loco*, dove i segni e i simboli, i sistemi costruttivi e i reperti in genere, dovrebbero

poter essere descritti assieme alla vita che qualificava la specifica cultura nella quale l'opera deve essere letta. Far tornare a vivere il sito archeologico, dando senso ai segni della storia, diventa il fine degli studi mirati ad interpretare le tracce del passato, vita che può essere descritta attraverso numerosi strumenti volti a facilitare relazioni e connessioni qualitative su contenuti informativi di banche dati.

Questa ricerca sperimentale condotta da disegnatori e archeologi mira a costruire un metodo per il disegno e lo sviluppo di una costruzione ragionata di modelli tridimensionali funzionali alla creazione di sistemi descrittivi per l'implementazione di percorsi museali. In particolare la sperimentazione viene condotta all'interno di un progetto di ricerca per lo studio del sito archeologico di Masada in Israele [1], e riguarda nello specifico l'analisi dei resti dei campi romani che circondano il sito archeologico e che ne hanno determinato la nomina a sito UNESCO [2].

Il rilievo digitale permette di acquisire una banca dati

tridimensionale sulla misura del luogo nella quale poter osservare lo spazio della rovina per svolgere riflessioni a diversi livelli di analisi, dal generale al particolare. La possibilità di indagare in remoto lo spazio dell'area oggetto dell'indagine, permettendo di produrre sezioni e prospetti degli elevati, consente di effettuare considerazioni e confronti metrici e tipologici per sviluppare ipotesi circa la vita nei campi romani stessi. L'interdisciplinarietà di tale esperienza emerge nei disegni e nelle diverse tipologie di elaborati prodotti che costituiscono una pietra importante nel processo di preservazione della memoria del luogo. L'architettura rappresentata, filtrata dalle modalità di lettura e di rilevamento dei dati, diventa lo specchio di quella reale e può essere compresa come simulacro per lo sviluppo di strumenti descrittivi utili alla pianificazione di scenari ideali in cui si può configurare il prossimo futuro. Disegnare l'architettura storica comporta saper leggere il passato e costruire nel presente, attraverso la ricerca, gli strumenti opportuni funzionali alla rappresentazione critica dello spazio ed alla strutturazione di sistemi virtuali per pianificare, attraverso lo spazio dei simboli e della rete, le scelte e le sperimentazioni future. Disegnare le rovine evoca il sublime definendo nello spazio e nella misura, il tempo che, attraverso la vita, ha lasciato segni e tracce nel presente.

## 2. LE VICENDE DI MASADA: L'ASSEDIO ROMANO E LA CREAZIONE DEL SITO ARCHEOLOGICO

Gli ultimi abitanti di Masada [3], di cui si hanno testimonianze certe, furono dei monaci bizantini, che vi costruirono numerose strutture utilizzando le rovine dei palazzi. In seguito il sito venne completamente abbandonato per circa 1000 anni, fino alla fine del Settecento, quando Masada viene in qualche modo riscoperta e ricomincia ad essere frequentata grazie al crescente moda europea del *Grand Tour*, per cui gli occidentali si interessano alle antichità del Medio Oriente anche grazie ai trattati veterotestamentari. I primi viaggiatori che documentarono il sito all'inizio del XX secolo, fotografandolo da più punti di vista, furono Eric and Edith Matson, una coppia di fotografi che, con l'ausilio di guide locali, salirono fino sulla sommità della fortezza erodiana fornendo numerosi documenti raffiguranti anche i campi romani sottostanti [4].

Nel 1933 lo storico e archeologo A. Schulten [5] visitò Masada, misurando per primo i campi e scrivendone una dettagliata relazione. Schulten studiò principalmente gli aspetti militari e le tecniche d'assedio romane comparando quanto rilevato a Numancia, in Spagna, con le strutture simili, ma posteriori di circa due secoli, riscontrate a Masada. Vennero così condotte esplorazioni archeologiche integrando la cartografia preesistente del sito prodotta nel 1875 dal luogotenente della *Royal Engineers*, Claude R. Conder, a cui vennero aggiunte planimetrie dei campi romani, grazie al fondamentale lavoro di I. A. Richmond del 1962 [6]. Tra il 1963 e il 1965, sotto la direzione di Y. Yadin, venne scavata la sommità di Masada e già nel 1966 vennero conclusi i lavori di musealizzazione e restauro del sito, grazie anche a pesanti interventi di anastilosi [7]. Nel 1986 l'erede accademico di Y. Yadin, E. Netzer della *Hebrew University*, riprese le indagini archeologiche [8]. Nel 1995 venne avviato il *Masada Project*, un piano di sviluppo quinquennale per incrementare le infrastrutture e per adeguare l'offerta di servizi ai numerosissimi visitatori [9]; in tale occasione vennero svolte numerose indagini archeologiche, riguardanti tutta l'area, anche in funzione del rifacimento della cabinovia per cui vennero stanziati quaranta milioni di dollari e l'anno seguente Masada venne dichiarata patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO.

Nel museo, costruito all'ingresso del parco nella depressione del Mar morto, viene raccontato l'assedio romano e i principali ritrovamenti archeologici. Circa la storia dell'assedio è doveroso riportare alcune note sulla *Legio X Fraetensis*, che non fallisce un assedio nell'arco temporale di una decina d'anni da quando inizia a quando termina le attività belliche in Giudea. Lo si percepisce immediatamente senza essere degli esperti solo osservando la disposizione degli 8 campi temporanei (più il Recinto dei Costruttori) e le fortificazioni adottate per cingere la rupe di Masada in una morsa letale.

La posizione dei campi durante l'assedio fu vincolata dalla conformazione orografica del territorio per ottenere un totale controllo sui varchi naturali elaborando soluzioni per cercare di fare breccia nelle difese nemiche e, al contempo, impedendo agli occupanti di fuggire.

A ovest il costone roccioso di Masada è presidiato sul-

la sommità dal campo F, che ha anche la funzione di controllo della strada per Hebron – Gerusalemme. Da qui venivano organizzati i trasporti giornalieri [10] per l'approvvigionamento di beni e risorse per la legione, ma che parzialmente rifornivano anche le *canabae* [11] poste a ovest, all'esterno della linea di mura e fortini. Negli anni '95 – 2000, grazie al *Masada Project*, la ricerca scientifica archeologica su Masada si è concentrata sullo scavo del campo F2 con il lavoro di H. Goldfus e B. Arubas [12] i cui studi hanno definito numerosi aspetti funzionali del campo oltre alla datazione specifica del periodo di occupazione. In questa occasione vengono condotte le prime indagini stratigrafiche e dei rilievi di massima, grazie ai quali viene pubblicata una nuova planimetria in cui le strutture indagate vengono nominate come Unità e numerate con un numero romano [13].

## 3. LA CONFORMAZIONE DEL CAMPO F2

Una volta terminato l'assedio, venne lasciata a Masada una sfortunata [14] contingentazione di legionari a presidio del territorio; le truppe vennero divise in due parti e insediate nel campo F e nel campo C. Così i campi vengono riorganizzati e il nuovo campo F (F2) fu ricavato da quello precedente (F1) modificando le strutture a secco preesistenti e sfruttando come difesa naturale il costone roccioso semicircolare posto a O. I muri vennero inspessiti, mentre gli accessi vennero ridotti a due, quello N-O e quello E. Le nuove porte a *clavicula* vennero ridotte di dimensioni [15], probabilmente perché rimpicciolendo il varco d'accesso si permetteva un miglior controllo con meno uomini a guardia.

Le strutture poste all'interno del campo non seguono la disposizione classica del campo legionario descritto da *Pseudo Igino*, ma ne rispettano alcuni principi fondamentali: i **contubernia** legionari sono costruiti accanto al perimetro difensivo e al contempo sfruttano le conformazioni naturali del terreno, forse per trovare protezione e riparo dagli agenti atmosferici; al centro trovano spazio delle strutture che sembrano essere permanenti, tra cui l'Unità I, interpretata [16] come "*garrison's headquarters*", forse uno spazio comune per la guarnigione, rivolta verso il nemico [17].

A ovest dell'Unità I è stata individuata l'Unità VII, il secondo più grande edificio del campo (12x6m) interpre-



tato come probabile alloggio dei "garrison's functionaries", ovvero il dormitorio degli ufficiali. L'entrata a E permette l'accesso a un corridoio che divide la struttura in due parti, quella meridionale con un solo ambiente e quella settentrionale composta da un disimpegno con una stanza quadrata. Vi è inoltre un ambiente semicircolare accessibile dall'esterno ad uso magazzino. Di diversa forma l'Unità III, posta accanto alla porta E del campo. Anche questo edificio sembra aver avuto due fasi di vita. La prima prevede la costruzione di una camera quadrata con ingresso a NE con pareti spesse, ben costruite e pesantemente rivestite sia dentro che fuori da intonaco. Il pavimento è stato innalzato da detriti e terra molto compatta, quasi a formare un pavimento in battuto. Forse in questo momento l'edificio è funzionale alla vita del campo F1. Nella fase successiva è stata aggiunta la parte nord dell'edificio composta da un'anticamera di cui è ignota la destinazione d'uso (all'aperto o all'esterno) e una camera in cui è stata ritrovata una notevole quantità di ceramica. Forse si tratta di un edificio di stoccaggio delle merci.

L'Unità II è invece un complesso di sei edifici simili allineati e affacciati verso l'interno del campo, ciascuno composto da un piccolo atrio e un'ambiente quadrato che viene definito "*triclinium-shaped room*" [18]. In molti dei cosiddetti atri sono stati trovati frammenti di vasellame e zone per cucinare, con frequenti ritrovamenti di finiture metalliche per cavalli/muli [19]. Gli spazi individuati sono i *contubernia*, i ripari dei legionari.

Riguardo al muro di cinta tutta la sommità non esiste più in alzato, perché i materiali lapidei di cui era composto sono franati verso sud ma ancora identificabili nei numerosi crolli in situ rinvenuti lungo il perimetro del campo [20]. Il muro di cinta è stato rinforzato con delle strutture a sezione quadrangolare costruite contemporaneamente e non successivamente. Si nota molto bene accanto alla porta E, dove i vari blocchi litici si intersecano per creare degli angoli rettangoli, la presenza di una struttura a sezione quadrangolare è identificabile come un punto di osservazione [21]. Essi erano dei rialzi dal terreno composti da un piedistallo che permetteva alla guardia di osservare il territorio al di là del muro di cinta, come visibile anche in un dettaglio della Colonna Traiana (Figura 5). Quelli individuati nel campo F2 hanno diverse dimensioni ma che non

superano mai i 70-90 cm (3 piedi circa di altezza). Le uniche rappresentazioni storiche e figurate di campi temporanei romani oggi esistenti, sono identificabili sulla Colonna Traiana, un grandissimo progetto narrativo che descrive minuziosamente le vicende dell'imperatore Traiano nelle guerre daciche del 101-106 d.C. Durante la narrazione dei fatti che portano Roma a conquistare la Dacia (l'attuale zona che comprende la Romania, parte della Bulgaria e dell'Ungheria), non è insolito vedere sullo sfondo raffigurazioni di campi temporanei, con alte mura contenenti *contubernia* e operosi militari nell'atto di fortificare il campo, osservare il nemico, tagliare la legna, e molto altro ancora. Il manufatto alto cento piedi romani (circa 30 m) ancora oggi visibile nei fori imperiali a Roma, è una straordinaria testimonianza di come veniva affrontata una campagna militare romana e di come veniva allestito un campo legionario 40 anni dopo i fatti di Masada, quindi quasi coevo all'assedio e pertanto considerabile come un valido confronto iconografico.

Igino enuncia tra le buone pratiche di costruzione del campo la creazione di un *vallum* (muro di cinta) le cui misure massime sono spessore 8 piedi e altezza 6, costruito con zolle di terra o con pietre a secco [22]. Molti tratti di muro si sono conservati per buona parte specialmente nella porzione NE, come visibile in foto. Grazie alle operazioni di rilievo e di analisi della muratura attraverso il confronto delle sezioni, è stato possibile calcolare e proporre un'anastilosi virtuale della porzione di muro crollata *in situ*. Dal grafico (Figura 6) si evince che il muro conservato in alzato è quasi completo rispetto a quello che doveva essere in origine, la cui altezza è stimata intorno a 1.50 m (5 piedi) per uno spessore di 2.50 m (8 piedi circa).

#### 4. TRASFORMAZIONE DEI "SEGNI" IN "DISEGNI": IL RILIEVO DIGITALE DEL CAMPO ROMANO

Parlare di documentazione del patrimonio impone una riflessione sul valore che le tecnologie digitali assumono oggi nel panorama della ricerca per il disegno architettonico. La 'virtualizzazione' dell'immagine e la capacità di configurare sistemi di approfondimento conoscitivo associati a interconnessioni digitali ha stravolto la grammatica della rappresentazione architettonica. Gli elementi costitutivi del disegno hanno trovato

una corrispondenza come frammento di banche dati digitali ambientate in spazi virtuali, le cui caratteristiche qualificano forme e modelli di un linguaggio che naturalmente si muove tra la strutturazione di simboli e la ricerca dell'iper-realtà e dell'affidabilità.

In questa riformulazione grammaticale del testo grafico i segni diventano contenitori di informazioni e i processi di acquisizione delle stesse informazioni mutano in favore di una scomposizione grafica dell'insieme analizzato per la costruzione di un sistema informativo. Lo spazio digitale si compone di dati qualitativi definendo una rete di metadati che trasformano il disegno e lo studio sul sistema archeologico in uno strumento di analisi della ricerca stessa; i dati raccolti dalle diverse operazioni di rilevamento sono interrogabili, navigabili, integrabili, sezionabili per esportazioni di immagini che descrivono bidimensionalmente lo spazio tridimensionale della banca dati. Sulla comune matrice documentativa, ogni sistema di analisi si sviluppa secondo protocolli integrati di rilievo dove sistemi morfologici, dettagli costruttivi e decorativi, presentano molteplici livelli di approfondimento, dalla grande scala al singolo dettaglio murario.

Si possono comparare i dati per comprendere l'affidabilità della banca dati tridimensionale generata e, nella volontà di costruire modelli affidabili dai quali poter apprezzare le qualità dell'ornato, si sviluppano metodologie per la trasposizione del dato e l'ottimizzazione delle qualità dei modelli. L'integrazione delle diverse nuvole di punti, laser e fotogrammetrica, oltre ad essere funzionale ad un ulteriore controllo circa l'affidabilità del dato metrico, permette al disegnatore, allineando i sistemi di riferimento, di focalizzare l'attenzione sulla complessità morfologica.

La nuvola di punti, banca dati tridimensionale, dovrà essere ordinata per definire un sistema organico e per strutturare i dati del sistema continuo in una nuova configurazione le cui ragioni si evincono in virtù di una lettura semantica delle forme del costruito per una discretizzazione e semplificazione del dato.

Attraverso la modellazione SFM (Structure from Motion) è stato possibile ottenere rapidamente modelli 3D con ridotta elaborazione di superfici poligonali, più approssimati ma adatti ad una trasposizione virtuale per le comuni piattaforme di visualizzazione digitale. Il risultato è un modello altamente affidabile che è possi-

bile manipolare ed interconnettere con altri strumenti di gestione del sistema informativo.

Il modo di documentare gli scavi archeologici si è evoluto nel tempo di pari passo con le tecnologie di rilevamento. Gli archivi digitali si trovano oggi ad accogliere, oltre ad immagini, testi e grafici, anche una documentazione metrica di nuvole di punti e modelli 3D di notevole importanza e consistenza che deve essere strutturata in modo da garantire nel tempo l'accesso e la fruizione al dato, evitando il deperimento dell'informazione digitale.

## 5. DAL RILIEVO DIGITALE ALLA RICOSTRUZIONE STORICA DEL MODELLO 3D

La nuvola di punti ottenuta dal rilievo laser scanner ha permesso di sviluppare considerazioni ed analisi approfondite sugli elementi tipologici presenti nel campo: la cinta muraria, analizzata in più punti, una struttura interpretata da Goldfus e Arubas come un *contubernium* di seconda fase (campo F2), gli edifici permanenti, le torrette e le piattaforme per l'artiglieria. Gli esiti dei seguenti studi sono stati raccolti dapprima in una documentazione di tipo censuaria costituita da schedature sulle singole porzioni murarie, per poi essere tradotti in disegni e modelli 3D che costituissero un abaco degli elementi presenti nel campo. Lo scopo primario della ricerca svolta sul campo romano F2, è quello di servirsi degli strumenti del rilievo e della rappresentazione, per analizzare i "reperti" delle architetture e poterne ricostruire la loro originaria immagine, sia a livello metrico che materico.

La rappresentazione attraverso la modellazione 3D rende necessaria la lettura dei disegni, dei tratti e dei caratteri essenziali dei manufatti così da comprenderli e poter scegliere i sistemi comunicativi più efficaci.

Sulla base degli elaborati bidimensionali prodotti e di seguito alle considerazioni e approfondimenti sulle tipologie edilizie, si è proceduto alla ricostruzione virtuale del campo romano. La metodologia operativa, qui applicata ad una casistica definita, si caratterizza per la sua ampia applicabilità e ripetibilità su contesti e tematismi simili a quello in esame: si è proceduto attraverso la definizione di un modulo (corrispondente ad un piede romano) in modo da rappresentare le volumetrie delle murature. Nel caso del muro di cinta,

grazie allo studio sulle sezioni, si è potuta stabilire la dimensione della muratura di circa 5x8 moduli.

La realizzazione di un modello 3d definito da superfici semplici e rappresentativo di un breve tratto di mura, è servito per sperimentare il metodo più appropriato per la modellazione e la rappresentazione del "muro a secco". L'involucro esterno del modello NURBS è stato impiegato come "cassaforma" dentro alla quale sono stati collocati gli elementi "pietra" di varie dimensioni (stabilite effettuando misurazioni campione sulla nuvola di punti). Data la grande estensione della cerchia muraria del campo romano e la ridondanza degli elementi presenti nel modello 3d, è stata effettuata una "scansione 3d virtuale" [23] in modo da generare una superficie mesh costituita da un numero limitato di poligoni, più leggera e facilmente gestibile. La difficoltà maggiore nella ricostruzione del paramento murario è rappresentata dalla mancanza di manufatti completi e conservati integralmente; le maggiori informazioni, e suggestioni visive, ci sono date infatti dai bassi muretti visibili sul campo e attraverso le fotografie. La metodologia operativa impiegata si è rivelata efficace per la traduzione dei disegni 2D in una superficie tridimensionale, che a seguito dell'applicazione di una texture semplice (costituita dai canali *diffuse* e *bump*) è risultata essere soddisfacente anche dal punto di vista grafico e rappresentativo. (figura 11)

Oltre al modello 3D della cinta muraria, sono stati realizzati altri elementi utili alla realizzazione finale della ricostruzione dell'intero campo romano. Alcuni edifici cosiddetti "permanenti" identificati dagli studi archeologici e bibliografici come *principia* e *praetorium*, sono risultati più semplici dal punto di vista della modellazione, in quanto costituiti da muri in pietra rivestiti in adobe (sterco animale, fango e paglia) di altezza massima di un piano. A causa della mancanza di informazioni riguardo agli alzati di questi edifici, le dimensioni delle aperture (porte e finestre) sono state ipotizzate, in linea però con la documentazione bibliografica disponibile a riguardo. Oltre alle torrette e alle piattaforme per l'artiglieria, sono stati poi modellati i *contubernia*, elemento molto presente nel campo. Le murature sono state realizzate secondo lo stesso iter impiegato per la cinta muraria, integrandole poi con l'aggiunta delle "tende" realizzate secondo misure e proporzioni note e completandole con l'applicazione di texture. Le tende

risultano infatti essere state realizzate con cuoio scuro cosparso di olio per impermeabilizzare il materiale, fissate da tiranti e chiodi e coperte da arbusti.

## 6. DAL MODELLO 3D AL GIOCO INTERATTIVO

Negli ultimi 30 anni è cresciuto l'uso dei *serious game* [24] per facilitare l'apprendimento, la simulazione e la formazione di personale tecnico specializzato. Ormai è consolidata la consapevolezza di come il gioco risulti efficace nel trasferimento di informazioni di natura anche molto complessa e, in ambito archeologico, l'interazione tra contenuto informativo e supporto visivo richiede una riflessione sulla qualità del sistema grafico e del disegno virtuale. Il gioco nel campo del Cultural Heritage differisce dagli altri giochi in quanto mira alla promozione culturale ma anche alla preservazione degli artefatti. I *serious game* permettono di interagire in maniera rapida con i monumenti storici virtuali. Il senso di appagamento durante l'esplorazione di questo mondo virtuale è proporzionale alle modalità di interazione e alla completezza dei contenuti digitali con i quali ci si confronta durante il gioco. Nel caso del campo romano F2, anche la ricercatezza dei contenuti e la loro veridicità storica e fedeltà rispetto ai manufatti originali, comportano il soddisfacimento delle aspettative, sia ludiche che, soprattutto, culturali.

La realizzazione dello scenario del gioco e la sua struttura narrativa sono ancora in fase di sviluppo ma già in fase di progettazione il linguaggio grafico assume un ruolo importante per poter raccontare al meglio il luogo in cui il personaggio si trova ad interagire. Lo scopo primario del gioco è quello raccontare la storia del Campo Romano F2 e di far conoscere quali erano le tecnologie costruttive romane dell'epoca ricostruendo virtualmente uno scenario non più esistente. Il "visitatore" si muoverà all'interno del gioco tramite un *avatar* personalizzabile così da creare una certa "empatia" e "familiarità" tra persona reale e personaggio virtuale. Il gioco è basato sull'esplorazione finalizzata alla raccolta di una serie di oggetti (come ad esempio strumenti da lavoro e materiali).

La ricerca/esplorazione degli oggetti da raccogliere è facilitata da due elementi, una mappa ed un radar. Sulla mappa viene mostrata l'area di gioco e la posizione del giocatore, ma non la posizione degli oggetti



da trovare. La mappa aiuta ad orientarsi nello scenario mentre il radar, dando un'indicazione di massima sulla posizione degli oggetti, incoraggia ed invita l'esplorazione di certi luoghi. Quando il giocatore si trova nelle immediate vicinanze degli oggetti sensibili, si attiva l'interfaccia del quiz. Il metodo di "avanzamento" nel gioco si basa su un sistema di premi-ricompense: il giocatore deve rispondere a domande e risolvere "enigmi" per proseguire nel gioco, e le difficoltà sono progressive per tenere alto l'interesse e la motivazione nel giocatore. Il fattore di "sfida" diviene dunque di fondamentale per rendere il gioco accattivante e per mantenere vivo l'interesse nell'esplorazione e nella conoscenza. Il giocatore, durante il corso del gioco, oltre ad apprendere nozioni e informazioni probabilmente sconosciute fino a quel momento, si troverà a "camminare" all'interno della fedele ricostruzione del campo diventando quindi il principale soggetto e attore della narrazione influenzando sull'esito del gioco attraverso le proprie azioni e scelte.

Le procedure metodologiche descritte precedentemente, sono state sperimentate al fine di realizzare modelli 3D leggeri, facilmente gestibili e di grande impatto visivo così da "immergere" il giocatore in uno scenario insolito ma verosimile. Disegnare un complesso apparato architettonico nel suo sviluppo tridimensionale e fruirlo attraverso la fluida e dinamica realtà virtuale comporta un notevole controllo di tutte le fasi della progettazione e realizzazione del modello 3D, a partire dallo studio approfondito delle fonti storiche e delle evidenze sul campo, fino alla efficacia delle rappresentazioni.

Le ricostruzioni degli elementi tipologici del campo romano e il loro inserimento in scenari virtuali, si troveranno poi a dover dialogare con software per la realizzazione dei giochi, come Unity di Unity technologies o Unreal Engine di Epic Games, e sarà necessario affrontare problematiche di compatibilità tra software e di interoperabilità tra modelli 3D.

La *serious game* di questo tipo, oltre che a rappresentare uno strumento per la condivisione del patrimonio culturale, sostengono la conservazione del manufatti e la loro riproduzione creando di fatto una "memoria digitale", la quale rappresenta un'ulteriore fase storica ed evolutiva del sito archeologico.

## CREDITI

Si devono a Sandro Parrinello i paragrafi 1 e 4

Si devono a Daniele Bursich i paragrafi 2 e 3

Si devono a Monica Bersicli i paragrafi 5, 6 e l'elaborazione dei modelli 3D.

Fig. 1 - Vedute generali del sito archeologico di Masada nella sua relazione con il Mar Morto e con il sistema di assedio romano; nella veduta zenitale il sistema dei campi e della rampa; le due fotografie riportano la veduta di Masada dal campo alto, con il Mar Morto sullo sfondo, e dal perimetro fortificato a fondo valle.

Fig. 2 - La mappa di Richmond nel 1962 con riportati i campi romani e le strutture d'assedio (in giallo).

Fig. 3 - Planimetria con i rilievi del 2000 relativi al campo F2 con evidenziata la catalogazione con numeri romani delle singole porzioni di edifici studiati. In senso orario: U.II - contubernia, U. XXIV - edificio ad uso ignoto, U.III - edificio di stoccaggio, U. I - edificio di servizio, U. VII - dormitorio degli ufficiali.

Fig. 4 - Vedute del campo romano. A sinistra la fotografia scattata dalla rampa romana sul versante Ovest dell'altopiano. A destra una veduta aerea mostra la dimensione e il muro di cinta del campo F2 rispetto all'originario campo F.

Fig. 5 - Dettaglio della Colonna Traiana raffigurante un campo temporaneo romano. Nel riquadro bianco si evidenziano due soldati che osservano il territorio al di là del muro di cinta del campo, grazie a delle strutture di rialzo da terra.

Fig. 6 - Studio della sezione del muro di cinta. Il giallo è evidenziata l'area del muro identificata come "crollo". Il blu la superficie riportata sulla larghezza del muro per verificare l'originaria altezza del muro di cinta.

Fig. 7 - Vedute della nuvola di punti: a sinistra è rappresentata la visualizzazione in "elevation map", utile per l'estrapolazione di curve di livello. A destra invece vedute di dettaglio illustrano un esempio di estrazione di sezioni ambientali, utili al fine di ricostruire la complessa morfologia del terreno e delle superfici tridimensionali.

Fig. 8 - Modelli 3D di alcune porzioni del campo romano realizzati tramite metodologie SfM ed elaborati all'interno del software Agisoft Photoscan.

Fig. 9 - Schede censuarie elaborate sulla base della nuvola di punti del rilievo 3D per lo studio del muro di cinta. In ogni scheda sono presenti immagini di inquadramento del dettaglio, una sezione assonometrica ed una sezione quotata.

Fig. 10 - L'edificio centrale dell'Unità II, un contubernium quasi perfettamente conservato, di cui si riportano le misure dei vani. In giallo è indicata l'area occupata da una tenda legionaria con misure tratte da Igino. La misura delle tende, dette papiliones, sono date con certezza da Igino (Hyg., I, 1: "Papilio unus occupat pedes X, accipit incrementum tensorum pedes II, tegit homines VIII.") e da altri autori antichi: la base misura 10x10 e l'altezza 8 piedi. La tenda pare adattarsi perfettamente alle dimensioni della struttura, confermando il modello di riparo riscontrato anche negli altri campi. L'altezza della tenda la renderebbe accessibile anche mantenendo la posizione eretta. Probabilmente i muretti a secco avevano una funzione strutturale, che permetteva alle tende di mantenersi stabili sul terreno e al contempo di non essere soggette a condizioni atmosferiche ostili.

Fig. 11 - In alto la schematizzazione del tratto di mura analizzato. In basso il processo di modellazione a partire dalla "cassaforma" costituita da semplici superfici riempite di "oggetti-pietra". Si vede poi la superficie mesh, costituita da un basso numero di poligoni omogenei, generata dall'operazione di "virtual rescan" e successivamente l'applicazione della texture.

Fig. 12 - Veduta di un contubernium ricostruito attraverso le tecniche precedentemente illustrate ed inserito all'interno di un ambiente virtuale.

Fig. 13 - Processo di creazione dell'ambientazione virtuale e dell'inserimento dei manufatti ricostruiti all'interno di Unity 3D. In seguito grazie all'aggiunta di dettagli, textures ad alta definizione ed elementi "sensibili", sarà possibile interagire con il modello.

Fig. 14 Esempio di scenario all'interno del quale inserire i contenuti per il serious game.

## NOTE

[1] Il progetto di ricerca MRP-Masada Research Project è stato sviluppato dal Laboratorio Congiunto Interateneo LS3D Landscape Survey and Design dell'Università di Firenze e dell'Università di Pavia in collaborazione con lo Shenkar College di Tel Aviv ed ha l'obiettivo primario di sperimentare diverse tecnologie digitali al fine di realizzare una documentazione completa del sito archeologico oggi tutelato dall'UNESCO. Il progetto, ancora in corso di studio, ha una natura multidisciplinare ed è iniziato nel 2013 ed è ancora in corso. Durante la terza campagna condotta nel 2015 è stata documentata una porzione di uno dei campi romani dell'ecosistema d'assedio di Masada, identificato come "F2" ovvero la seconda fase di vita del cosiddetto "Campo del Generale Silva".

[2] La candidatura UNESCO viene approvata secondo tre criteri: I) Masada è un simbolo dell'antico regno ebraico di Israele, della sua violenta distruzione nel tardo I sec. d.C. e della conseguente diaspora. II) Il palazzo di Erode a Masada è un esempio eccezionale di una lussuosa villa di epoca romana imperiale, mentre i campi legionari e le altre fortificazioni che circondano il monumento, costituiscono una delle testimonianze più complete di assedio di periodo romano sopravvissuto fino ai giorni nostri. III) I tragici eventi dei rifugiati ebrei che occupavano la fortezza di Masada, ne fanno un simbolo sia per la cultura ebraica, sia universalmente parlando, emblema di continua lotta tra oppressione e libertà. romani. - <http://whc.unesco.org/en/list/1040>

[3] Il 680 d.C. è l'anno di inizio dell'era di dominazione araba (iniziata nel periodo ommayade), che perdurerà fino alla costituzione dello stato di Israele nel 1948.

Da quel momento, per 13 secoli, Masada-Marda diviene nota come Sebbeh, come è ancora oggi chiamato il wadi Sebbeh posto a sud del complesso.

[4] Dalle terrazze del palazzo di Erode, A NO di Masada, è visibile il campo F (F2), che è stato ricavato da quello precedente (F1) modificando le strutture a secco preesistenti e sfruttando come difesa naturale il costone roccioso semicircolare al suo interno.

[5] Shulten 1933. - A. Schulten, Masada: Die Burg des Herodes und die römischen Lager. ZDPV- Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins, 56, 1933.

[6] Le strutture belliche rimaste che cingono la fortezza sono state rilevate sistematicamente da Richmond nel 1962 e numerate dalla lettera A alla H. - I. A. Richmond, The Roman Siege-Works of Masada, Israel. Journal of Roman Studies 1962, 52.

[7] In tutte le strutture in alzato di Masada, il passaggio tra antico e moderno è segnalato da una black line, ovvero un tratto di vernice nera dipinto sopra una sottile banda di fango corrente lungo tutti i muri. La soluzione è tanto ingegnosa quanto precaria perché, a causa della sua composizione, è soggetta a degrado causato dalle condizioni ambientali e dallo scorrere del tempo. - D.Bursich, Masada 2014, New Perspectives. In Masada notebooks. Report of the research project 2014. Vol. II, Firenze, 2014.

[8] E. Netzer, Masada III. The Yigael Yadin Excavations 1963-1965, Final Reports: The Buildings, Stratigraphy And Architecture. Israel Exploration Society And The Hebrew University Of Jerusalem. 1991.

[9] Nel 2000 visitarono il sito settantemila persone, nel 2010 si

contano 1.25 milioni di ingressi. In Israele i visitatori sono stati 3.3 milioni di cui il 57% ha visitato Masada e il deserto del Negev, circa 1.9 milioni di persone all'anno. - <http://mfa.gov.il>

[10] Roth 1991, p. 211. Afferma che i romani per sostenere i legionari dovevano trasportare acqua e cibo da En Gedi (16km a N) con almeno 450 muli al giorno. - J. Roth, The logistics of Roman Army in the Jewish War, Columbia University, 1991, 211.

[11] A N-0 del campo F2 sono state identificate e interpretate delle strutture in muratura da G. Davies come canabae, rarissime da riscontrare sia accanto a campi permanenti che a campi temporanei simili a quelli di Masada. Le canabae dovevano essere delle strutture civili che offrivano servizi ai soldati romani, quali maniscalchi, fabbri, commercianti, prostitute, ecc. - G. Davies, Under Siege: The Roman Field Works at Masada, in Bulletin of the American Schools of Oriental Research - ASOR. 2011, 362.

[12] Goldfus-Arubas 2000, pp 207-214. - H. Goldfus, B. Arubas, Excavations at the Roman siege complex at Masada -1995. In Limes XVIII Proceedings of the 18th Intern. Congr. of Roman Frontier Studies. Amman, Giordania. 2000.

[13] La nomenclatura utilizzata sarà adottata anche nel presente articolo. La numerazione non segue uno schema preciso.

[14] G. Davies, Under Siege: The Roman Field Works at Masada, in Bulletin of the American Schools of Oriental Research - ASOR. 2011, 362, p.80.

[15] Più piccole con dimensioni 6x6 m = 20x20 piedi, contro i circa 10x10 m = 30x30piedi del campo F1

[16] Goldfus-Arubas 2000, pp 207-214. - H. Goldfus, B. Arubas, Excavations at the Roman siege complex at Masada -1995. In Limes XVIII Proceedings of the 18th Intern. Congr. of Roman Frontier Studies. Amman, Giordania. 2000.

[17] È una struttura di 15x13m composta da 10 stanze e posta al centro di uno spazio aperto davanti alla porta E. Secondo gli scavi l'edificio avrebbe avuto due fasi di vita testimoniato da crolli precedenti e livellati per un riuso successivo. Lo spazio centrale è costituito da due lunghe stanze con "panchine", un atrio e quello che è stato definito come un magazzino. La quantità di ceramica rinvenuta nell'edificio è notevole, tra cui vasellame vario, da fuoco, ceramica nabatea, frammenti di vetro e varie monete. IBIDEM.

[18] Ibidem.

[19] Stiebel-Magness 2007, pp. 1-94. - G. D. Stiebel, J. Magness, The Military Equipment from Masada. Jerusalem, Israel Exploration Society. 2007, Masada VIII.

[20] Va sottolineato che la zona è sismica, alcuni crolli si devono sicuramente anche a fenomeni di questo tipo in quanto ciclicamente si manifestano fortissimi terremoti, il più recente registrato nel 1927 da A. Shulten, durante lo studio condotto a MasadaSHULTEN 1933, p 107.

[21] Flavio Giuseppe, Bellum Iudaicum, III.

[22] Hyginus Gromaticus, De Munitionibus Castrorum, I, 50 - 53.

[23] Il comando utilizzato di "Virtual rescan" all'interno del software Rapidform di Inus Technology effettua una scansione virtuale dell'oggetto come se venisse utilizzato uno scanner fisico. Il comando dunque

permette di acquisire, attraverso varie opzioni, la superficie visibile dell'oggetto.

[24] A partire dagli anni '70 le ambientazioni virtuali e i simulatori di volo hanno costituito un punto chiave nell'ambito dell'addestramento militare. Negli ultimi decenni i videogiochi, con scopi didattici oltre che ludici, hanno invaso anche il campo del CH (Cultural Heritage) poiché ritenuti un mezzo espressivamente potente per rappresentare, apprendere e divulgare la conoscenza del patrimonio culturale. I serious game sono definiti come quei "giochi che non hanno l'intrattenimento e il divertimento come il loro scopo primario". (Cfr. Michael D. R. & Chen S. L., 2005. Serious games: Games that educate, train, and inform. Muska & Lipman/Premier-Trade).

**BIBLIOGRAFIA**

- Bertocci S., Parrinello S., & Vital R. (2013). *Masada Notebooks, Report of the Research Project 2013, Vol.1.* Pisa, Italia: Edifir Edizioni Firenze.
- Bertocci S., Parrinello S., & Vital R. (2014). *Masada Notebooks, Report of the Research Project 2014, Vol.2.* Pisa, Italia: Edifir Edizioni Firenze.
- Davies G. (2011) *Under Siege: The Roman Field Works at Masada*, in *Bulletin of the American Schools of Oriental Research – ASOR.*
- Guidi G., & Angheluddu D. (2016), *Displacement mapping as a metric tool for optimizing mesh models originated by 3D digitalization.* In: *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 9(2).
- Goldfus H., Arubas B. (2000) *Excavations at the Roman siege complex at Masada -1995.* In *Limes XVIII Proceedings of the 18th Intern. Congr. of Roman Frontier Studies.* Amman, Giodania.
- Laamarti F., Eid M., & El-Saddik A. (2014) *An overview of Serious Game.* In: *International Journal of Computer Gamer Technology.*
- Michael D., & Chen S. (2006) *Serious Games: Games that Educate, Train and Inform.* Thomson Course Technology PTR, Boston.
- Mortara M., Catalano C.E., Bellotti F., Fiucci G., Houry-Panchetti M, & Al (2014) *Learning cultural heritage by serious games.* In: *Journal of Cultural Heritage.* Elsevier, vol.15(3), pp 318-325.
- Netzer E. (1991) *Masada III, The Yigael Yadin Excavations 1963-1965, final reports, the buildings stratigraphy and architecture.* Israel Exploration Society, Jerusalem.

Parrinello S., Picchio F., & Bercigli

<http://disegnarecon.univaq.it>

M. (2016) *La "migrazione" della realtà in scenari virtuali: banche dati e sistemi di documentazione per la musealizzazione di ambienti complessi.* In: *Musei virtuali dell'architettura e della città, Disegnarecon*, 9(17).

Remondino F., & El-Hakin S. (2006) *Image-based 3D modelling: a review.* In: *The Photogrammetric Record*, 21(115).

Schulten A. (1933) *Masada: Die Burg des Herodes und die römischen Lager.* ZDPV- Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins.

Stiebel G. D., & Magness J., (2007) *The Military Equipment from Masada.* Jerusalem, Israel Exploration Society. *Masada VIII.*

Roth J. (1991) *The logistics of Roman Army in the Jewish War*, Columbia University.