

**Gabriella Liva**  
She is an architect, graduated at the University IUAV of Venice, where she also won a research grant. In 2012 she received the title of Ph.D. in “Theory and History of Representation” at the University of Catania, Faculty of Architecture of Siracusa. Since 2006 she is adjunct professor for different courses of drawing and geometry at the University IUAV of Venice, University of Udine and University of Padova.

## Digital identities. Technologies for the Conservation, Reconstruction and Fruition of the Sculptural Heritage

The following essay investigates the study of ancient statuary in close connection with the application of digital technologies that are involved from the indirect survey of anthropomorphic artefacts to the reading, interpretation and communication about the formal metamorphosis processes that have involved some valuable Greek and Roman models preserved at the National Archaeological Museum of Venice.

The research in *itinere* takes advantage of credible digital clones as a tool for critical interpretation, simulation, scientific dissemination and it also aims to provide a whole the information useful for precise and thoughtful future strategies of conservation and intervention.

The application of digital photogrammetry allows to restore the bodies free form, generating digital clones in which the use of mesh surfaces, mapped with high resolution textures, intervenes in a non-invasive way, to highlight the signs of

breakage, the stratifications, the adaptations present on the rediscover fragment.

The digital support, is able to widen the field of art-historical investigation and to prefigure appropriate solutions of conservative or integrative restoration, facilitating a greater critical analysis of lost archetypes or ‘surviving bodies’ changed over time, but also their appreciation and promotion in the exhibition field through innovative displays that narrate the formal decompositions and exhibit physical replicas obtained through digitization and subsequent 3D printing.

Keywords:  
Statues; Digital Photogrammetry; 3D Modelling;  
Virtual Reconstruction; Cultural Heritage

## 1. INTRODUCTION

In recent years, 3D digital techniques, intensively applied in the cultural heritage field, became an essential and indispensable tool among the methods and principles of conservation and restoration; giving privilege to renewed methodological and scientific aspect, experimentation in the virtual field is committed to assume a fundamental role in the prefiguration of possible scenarios related of preservation, integrity, authenticity and aesthetics of the historical-artistic heritage.

Adopting a digital approach is justified by series of advantages which derive from the support of 3D clones, nowadays extremely accurate and with minimal geometric errors for the purposes of real physical interventions. The fragility of the relics and the consequent possibility of damage have led to conduct preliminary analyses, comparative evaluations of reconstructive hypotheses, chromatic simulations based on the residual traces of polychromy, planning of disassembly/reassembly, conservation and restoration actions within specific modeling and visualization software. Moreover, the incomplete state of most ancient artifacts needs appropriate solutions to complete the fragmented bodies or to relocate the fragments in a plausible way, especially in view of a correct matching of the parts that survived the destructive or change caused by time. Starting from a detailed survey of the find, its digital copy becomes an active tool on which allows to study and focus on the punctual phases of the restoration process, providing the possibility of an effective and safe intervention methodology. The cloning of the work, both as a tool for performing specific investigations, and as a support for archiving and integration of restoration information, allows to develop solutions and procedures that combine the restoration consolidated practice using visual computing technologies [1]. It is therefore feasible to intervene on the existing or radically rethink models for museum use, enriching the collections and generating new experiences for the public.

## 2. VIRTUAL RESTORATION APPLIED TO STATUARY

For decades now, the cognitive and communicative paradigm uses digital technologies to reinterpret and reconfigure material and immaterial cultural heritage by studying, synthesizing and archiving in interactive environments. Even the sculpture section has not escaped the advantages offered by technology and many examples of the last decade have provided an analytical methodology and effective intervention, in terms of durability over time. The research and experiments carried out are ascribed to the so-called “electronic or digital restoration” [2], borrowed in the more widespread binomial “virtual restoration”, up to the more correct “digital iconological restoration” that is able to overcome the Brandi’s “limit” of stopping where one is afraid to intervene erroneously. His principles, based on reversibility, compatibility of materials, minimum intervention and recognizability, acquire even more significance in the simulation context, which promotes an operative mode anticipated by a prefiguration of the digital image of the work and, therefore, by the data acquisition and the 3D models management intended as instruments of analysis and verification. The virtual environment becomes an ample place of experimentation in which to advance hypotheses, verify integrative methodologies, preventive evaluations of the restoration effects without any contact, allowing diagnostic analyses or monitoring even at a later time.

In the light of these considerations, the intensive application of digital restoration, despite its linguistic contradiction, which sees a clash between the practical technique and the virtual world, has led to remarkable results in the cultural heritage field, including statuary. The following examples demonstrate the applicative effectiveness and valuable contribution of a methodology that uses 3D clones for precise conservation and restoration interventions.

The CNR, both in the restoration of Michelangelo’s David [3], recently further scanned to obtain the 3D clone to be exhibited at the expo in Dubai [4], or in the fragmented terracotta statues recomposition

[5], has implemented a whole series of investigations on the finds and strategies to proceed with operations of recomposition, relocation, assembly and verification of the fragments.

The digitization of *Nero’s torso* and the reconstruction of his entire figure (2016) [6], the architectural/sculptural recovery of the Monument to Costanzo Ciano in Montenero di Livorno (2017) [7], the additive 3D printing for the two scarred busts of Palmyra (2018) [8], the recent integration study on some theatrical masks linked to an edutainment strategy (2020) [9] and the digitization of finds that are not directly accessible, such as the treasure of St. Euphemia preserved at the British Museum in London (2021) [10], show how the interest in technology applied to sculpture is constantly evolving and allows to deal with very complex anthropomorphic artifacts.

Currently, a close collaboration between the Capitoline Museums in Rome and the Louvre Museum has created the reunification, inside the Exedra of Marcus Aurelius, of the gilded bronze finger, in the possession of the Parisian museum since 1863, with the famous lacerated hand of the colossal statue of Constantine. In 2018, following a test carried out in Rome with a 3D model, an index finger portion fiberglass cast of the Parisian fragment perfectly fit the original hand and now, finally, it is possible to admire the completion (fig. 1).

Finally, an exemplary case of cultural preservation and fruition concerns the Egyptian Museum, which, in addition to its focus on the digitization of the collection, has inaugurated the exhibition *Invisible Archaeology* [11] based on 3D scans and CT scans, to analyze in a non-destructive way the archaeological material, flanking virtual reconstructions to reproduce, in 1:1 scale, jewels contained in the sarcophagi [12].

This brief examination of experiments, many of which ended with real interventions, shows that the use of digital technologies has consolidated a constructive dialogue between different professional skills and between the museum institutions involved, implementing a cultural exchange based on a greater contamination and dissemination of knowledge.



Fig. 1 - Constantine's bronze hand, Musei Capitolini, Exedra of Marcus Aurelius, Rome. Photograph by G. Liva, 2021.

### 3. ROMAN SCULPTURE: HERA AND APHRODITE SOSANDRA

The study of cultural heritage, in close connection with the application of digital technologies involved from the indirect survey of anthropomorphic artifacts including their reading, interpretation and communication in the exhibition context, finds an effective application also in ancient statuary and, in particular, in the processes of formal metamorphosis of some valuable Greek and Roman marbles preserved at the National Archaeological Museum of Venice.

The management of complex numerical models, from which to derive graphical representations and video simulations describing the actual condition, historical stratifications and aesthetic mutations, is part of a large project of the Venetian museum with the University Iuav of Venice [13].

In this essay, the research focuses on two case studies present in the museum - the *Bust of Hera* and the *Bust of Aphrodite Sosandra*, both Roman copies [14] of the II century AD (figg. 2-3) -, so the application of digital technologies, to support the survey and analysis, shows the possibility to provide a deeper knowledge of the artistic and cultural heritage, in order to visualize and introduce the many restoration actions following discovery until their exposure to the public.

The *Bust of Hera*, probably a copy of a classical Greek model, clearly reveals its Renaissance completion which sees the insertion of the original Roman head, in red and white marble, on a drapery that frames it, in Carrara marble of the XVI century. It was thus displayed, first in the Grimani Tribune of the family palace and then in the Public Statuary niche [15], in a symmetrical position with respect to *Efestione di Pella* [16], also in double coloration, with her face in dark basanite and bust covered by white marble armor and coat, completions unfortunately removed in the 1920s (fig. 4). The unfinished structure of the Hera back was justified by the high location and leaning against the wall.

Therefore, the restoration of many statues in the Grimani collection was part of a precise project of integration of their aesthetics, on the basis of harmonious arrangements which envisaged connection of the object to the exhibition environment and its position in it.

Conscious collecting, which took place during the Renaissance, demonstrated the recognition of the object's intrinsic value, as well as being a message of the social prestige, wealth and culture of the families involved.

The *Bust of Aphrodite Sosandra* [17], a Roman copy of a classical Greek prototype in bronze, was also subjected to finishing which has led the facial mask to be wrapped in a light coat, which, however, was inconsistent with the heavy marble fabrics present in similar statues, such as the famous full figure of the National Archaeological Museum of Naples, also a Roman copy of the II century, from a Greek bronze original model. In order to justify the choice of sculpture made during the Renaissance, it is essential to understand how the representation of the goddess experienced substantial changes in the Greek world: the statues sculpted before the 4th century BC were strictly dressed with covering fabrics that also encircled the head [18], but in 360 BC the Greek sculptor Praxiteles renewed the iconography of the goddess with *Aphrodite Cnidia*, showing her for the first time naked, appearing vulnerable, therefore more human and less heroic.

From this image derive the numerous sensual interpretations resumed in Roman times and passed on to the modern age: the *Aphrodite of Milo*, famous Greek work dated 130-120 BC, preserved at the Musée du Louvre and the famous Roman copies including the *Capitoline Venus*, the *Aphrodite Medici*, the *Crouching Aphrodite*, whose pose is resumed in a double version in the recent exhibition of the Torlonia collection (fig. 5).

In the Renaissance restoration, the Venetian Aphrodite limited to a bust, despite it distances herself from the iconographic tradition that depicts her totally dressed or naked in an attempt to cover



Fig. 2 - *Bust of Hera* inv. 60, *Bust of Aphrodite Sosandra*, inv. 32, both Roman copies of the II century AD. Photographs by G. Liva, 2021.



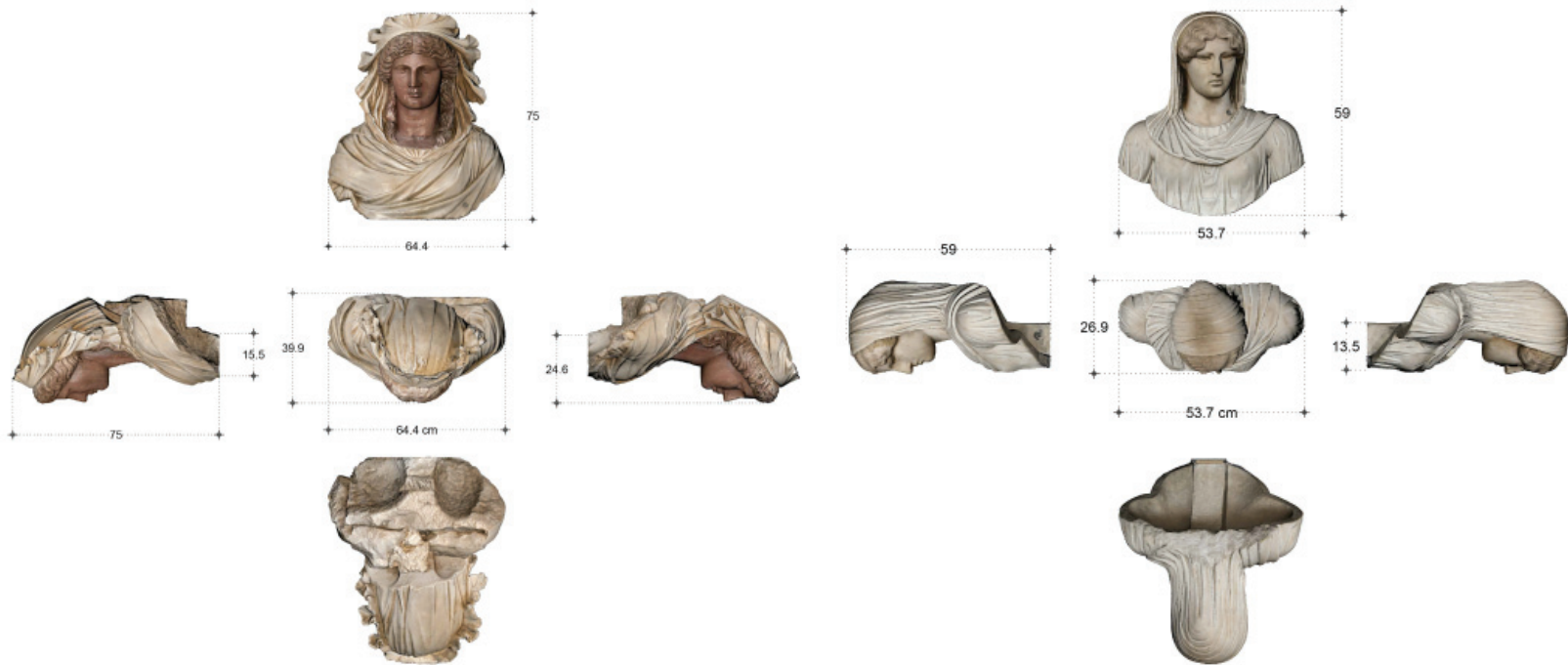


Fig. 3 - *Bust of Hera*, *Bust of Aphrodite Sosandra*, orthogonal projections, rendering of the numerical model. G. Liva, 2021.

herself, mediates between the two representations, showing her sensuality precisely through her dress transparency that allows to glimpse her breasts [20]. The completion intervention looks with admiration at the ancient world but it feels the need, in line with the time culture, to interpret her according to the Renaissance canon that recovers the more feminine image of the goddess. The result is conflicting but equally balanced and elegant, making three historical eras coexist in the well-known divinity: a Greek memory recovered by Roman skill and a modern intervention that makes the rigid and severe archaic image dialogue with a more sensual interpretation.

<http://disegnarecon.univaq.it>

#### 4. SURVEY, RESTITUTION AND DIGITAL RECONSTRUCTION OF ARTIFACTS

Starting from the historical changes that the archaeological museum statues have undergone, the research in progress takes advantage of digital clones to be used as tools for critical interpretation, simulation, reconstruction and scientific dissemination. It also aims to provide some information useful for precise and thoughtful future strategies of conservation and intervention. The operative modality adopted, which is part of the current virtual restoration, foresees a prefiguration in the digital Cartesian space of the pho-

DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.27.2021.12>

torealistic three-dimensional copy, endowed with a measurable and reproducible spatiality. Each action of polygonal modeling on the surface mesh acquired, allows to experiment with projects of digital anastylosis, in identity reconstructions and preventive simulations, ensuring maximum freedom of action and excluding irreversible interventions, as occurred in previous centuries.

The digital photogrammetry application and structure from motion algorithms permit to restore the free form of the bodies, generating digital clones in which the use of mesh surfaces, mapped with very high-resolution textures, allows to intervene in a non-invasive way, so as to highlight the signs

of breakage, the stratifications, the adaptations present on the fragment found.

*Hera and Aphrodite* were subjected to an indirect survey campaign, carried out using a full frame digital camera, Nikon D800E, 24 mm focal length (fig. 6). Due to the small size of the busts, the image acquisition procedure was easier than for other complex artifacts safeguarded in the museum. Once the camera parameters were set and a circular geometry was studied at about one and a half meters distance from the center of gravity of the works, the only difficulty encountered concerned the two rooms lighting conditions. In order to limit errors in the point cloud automatic elaboration, possible reflections on the surface, due to natural lighting, have been solved through the adoption of black fabric curtains manually adjustable. The presence of a homogeneous background tint, in the single photographic shots, has also allowed to isolate the subject to be detected from the context, making easier the calculation of the software for the multi-stereo matching [21]. The substantial number of frames, about a hundred distributed at different altitudes, was necessary to increase the information useful for the individual images alignment, from which the spatial coordinates are inferred.

The final result, after several hours of computational calculation, includes a dense cloud of points and a surface mesh, a copy almost close to original, mapped with very high-resolution textures.

The next step concerns the complex polygonal density management of the model; thanks to operations of surfaces virtual section, inside the Digital Modeling, the different anatomical, ornamental or dressing parts belonging to different periods are separated, returning the parts conforming to the original, according to the historical and iconographic sources.

In order to increase the accuracy degree, at the breaking surfaces boundaries and the rejoining of the parts, the cutting operations were assisted by the unwrapping technique, which allows to fit the spatial model on the plane [22]. The double visualization side by side in the software interface [23] allows to proceed on the mesh and, in detail,



Fig. 4 - *Palazzo Grimani Tribuna*, staging of the exhibition *Domus Grimani 1594-2019*. Palazzo Grimani museum, 7 maggio 2019 - 30 maggio 2021. Photograph by G. Liva 2020.





Fig. 5 - Statues of Aphrodite/Venus: *Crouching Aphrodite*, Hadrianic age (117-138 AD), Palazzo Massimo alle Terme, Rome; *Crouching Aphrodite*, early 1st century replica, modern head attributed to Pietro Bernini; *Crouching Aphrodite* early 1st century replica; *Group of Aphrodite and Eros with sea monster*, first half of 2nd century AD with modern additions, *Venus Cesarini*, I-II AD; these three statues belong to the Torlonia Collection; *Capitoline Venus*, first half of 2nd century AD replica; *Aphrodite* end of 1 century B.C.-beginning of 1 century A.D.; these statues belong to the National Archaeological Museum of Aquileia. Photographs by G. Liva, 2021.

on the single triangular faces, with the tracing of any graphic sign, that color and thickness are decided, generating continuous lines on the virtual marble blocks (figs. 7-8). By alternating the single elements selection and control the respectively on the 3D configuration and on its plane translation, thanks also to the bi-univocal relationship between the texel of the mesh and the pixels of the bitmap, it is possible to obtain an accurate survey and an immediate visualization of the fractures, disconnections or gaps on which to proceed with eventual sections or maps and degradation tables (figs. 9-10). The analysis of multiple images constitutes a two-dimensional output which is great help for restorers in planning of physical intervention. In particular, in the case of *Aphrodite*, the digital clone was also subjected to a further study, experimenting with the retopology technique of reconstruction from scratch [24], in order to reproduce the goddess' facial mask, whose formal characteristics remind mainly works performed in metal rather than those in marble [25].

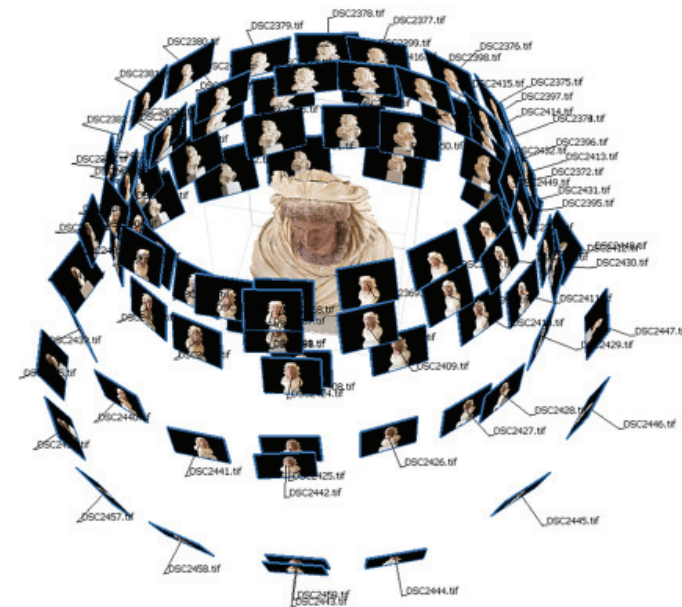


Fig. 6 - *Bust of Hera*, alignment and construction of the points cloud; processed in Agisoft Metashape 1.6.1. G. Liva, 2021.

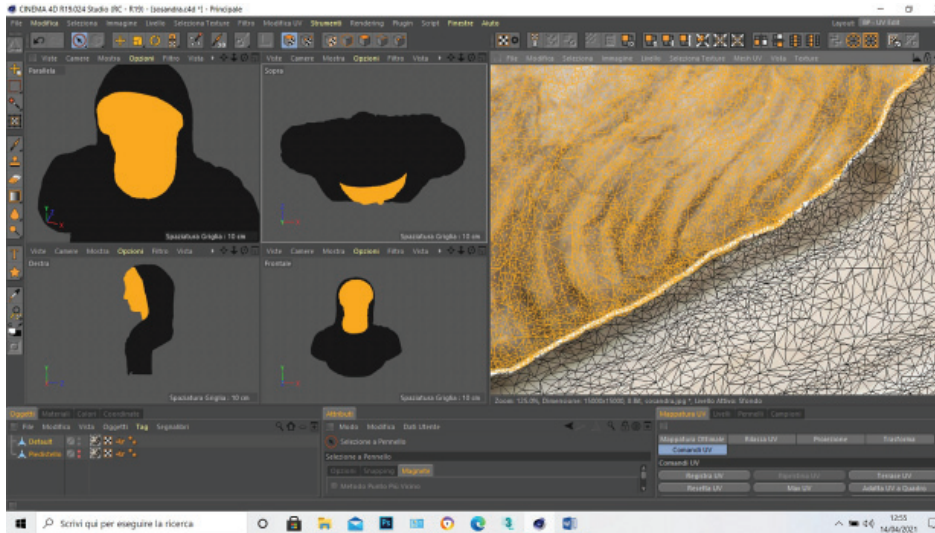
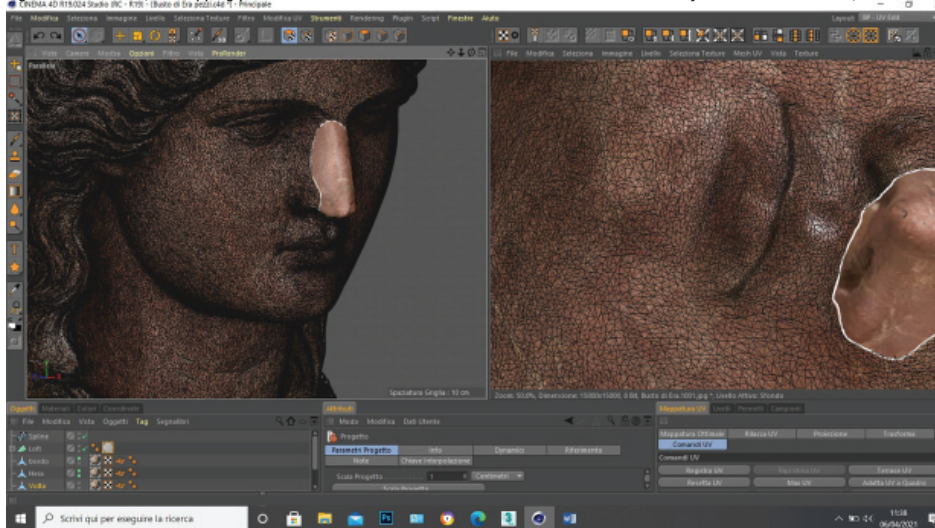


Fig. 7 - *Bust of Aphrodite Sosandra*, unwrapping procedure in Cinema 4D. Identification of the cross section in BodyPaint UV editor. G. Liva, 2021.

Fig. 8 - *Bust of Hera*, unwrapping procedure in Cinema 4D. Identification of the cross section in BodyPaint UV editor. G. Liva, 2021.



In the light of this suggestion, the Roman artefact was separated from the Renaissance completion, according to the methodology applied on the bust of Hera, and then polygonal modeling was applied. Although there are many software programs that allow to modify the topology, according to which the models are subjected to total or partial automation operations [26], given the complexity of the initial mesh, a traditional technique was chosen, which allows, through a system of forced attraction on the existing vertices of the triangular-faced mesh, the construction of the new mesh, positioning each quadrilateral. By adding a subsequent one starting from a side in common with the existing one, a surface is constructed organized in a more or less detailed grid able to approximate the initial object (fig. 11). Thanks to progressive refinement it is possible to modify the general morphology, increasing number of subdivisions but still obtaining a polygonal mesh lighter and easier manageable than the initial one. Taking into account that this modeling involves a loss in terms of details, necessary for a geometry simplification, the optimization objective of the models concerns the genesis of a topology suitable to be tested or animated in interactive or video game contexts, moving away from actions related to restoration.

## 5. TECHNOLOGIES FOR THE CONSERVATION, RECONSTRUCTION AND FRUITION OF THE SCULPTURAL HERITAGE

From the experiments carried out, it is clear that digital clones constitute an indispensable cognitive and communicative paradigm for the analysis, conservation, reconstruction and fruition of the sculptural heritage, whether they are used in the restoration field or in the museum exhibition. The current presence of social platforms, as vehicles for dissemination of the digital resources, ensures a massive use of 3D models for the visualization and diffusion of cultural heritage. Museums have opened up to social media and exploit digital technologies to update themselves, to create new narratives, to reconfigure and re-read



the past, to implement innovative forms of fruition and interaction. Exhibition spaces preserve knowledge, but are created and mediated by technology, communicating sensorially and activating new cognitive paths. They are no longer static places, shrouded in an aura of anachronism, temples of ancient and lost visions, but diffuse realities able to hold together protection and research, education and entertainment, becoming carriers of a society that admires the past and reflects the present on it, building the future. The user is encouraged to experiment, to connect inside and outside the museum, establishing relationship in the web and therefore in an interoperable network without geographical boundaries [27]. The space of knowledge is shared and participatory, in which the cultural heritage of even the most remote eras dialogues with the new technologies [28].

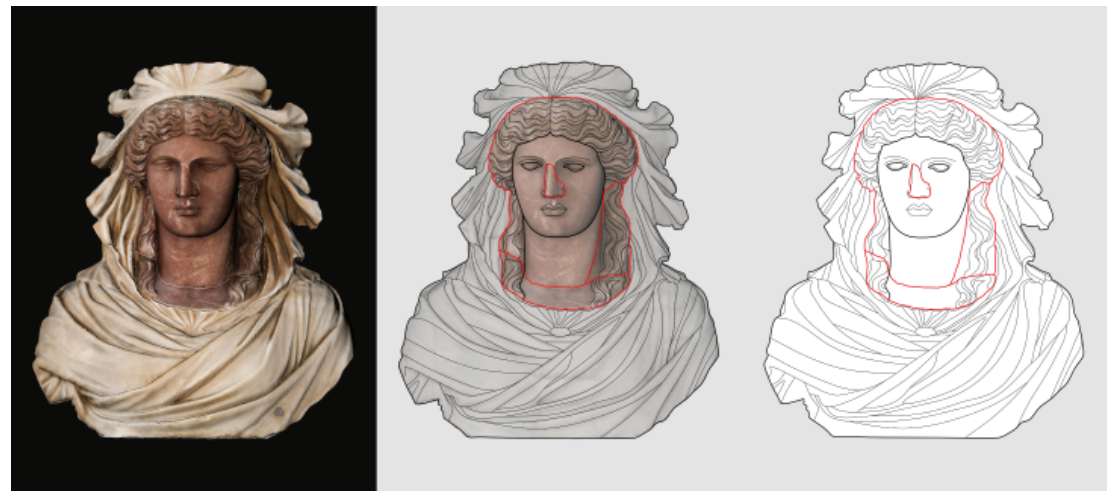
Following this logic, the collaboration with the National Archaeological Museum of Venice proves to be exemplary in many ways. The material produced by the acquisition and management of 3D models, translatable into static images, video animations, 3D prints, will allow to enhance the Grimani collection in many aspects retracing the tortuous historical events that have seen substantial movements of this sculptural heritage on the Venetian territory. A video mapping could repopulate the ancient antechamber of the Marciana Library, placing multiple projections of entire statues and busts on the floor or in the shelves and niches designed by Scamozzi himself; alternatively, we could provide the physical realization of tangible copies, a process already begun to reconfigure the original Tribuna Grimani image, the primigenial *antiquarium* wanted by the patriarch Domenico Grimani at his family palace, located in Ruga Giuffa in Venice [29].

Certainly, any detail study and research conducted on the individual artifacts will be implemented, first of all, on the Polo Museale del Veneto institutional website, which scholars or simple visitors will be able to access, and then will become an integral part of new layout of the archaeological museum planned for 2022-2023. In this reconfiguration project of the rooms, in which the works



Fig. 9 - *Bust of Hera*, axonometric detail of the numerical model and exploded axonometric view of parts of the statue. G. Liva, 2021.

Fig. 10 - *Bust of Hera*, the numerical model, redesign and graphical elaborations of the main discontinuities. G. Liva, 2021.



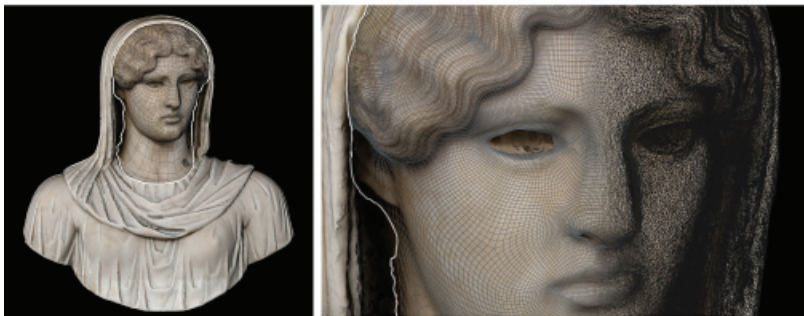
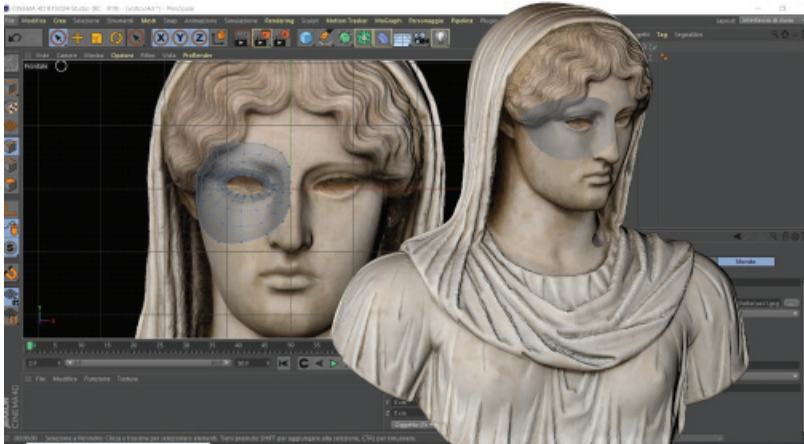


Fig. 11 - *Bust of Aphrodite Sosandra*, the numerical model, retopology procedure G. Liva, 2021.

are redistributed by new thematic groups, abandoning the chronological order imposed by the archaeologist Carlo Anti in the 1920s, the digital clones referring to the fragmentary antiquities will dialogue with the real artifacts, highlighting the completing operations and the interpretative restorative interventions that have taken place over time [30] (fig. 12).

## 6. CONCLUSIONS

The decomposition work of the two female busts, as well as of many other valuable marbles belonging to the National Archaeological Museum of Venice, makes us understand the signs stratification meaning that have followed one another from their discovery to their acquisition and exhibition. The integrative or interpretative interventions, which took place during the Renaissance, are imprinted in the material and preserve the obsession to restore a formal integrity that had been lost, sometimes risking that the reconstructed part would be excessive. Not only in Venice, but also in the famous Torlonia collection there is no massive restorations lack on rather small finds. The *Statue of a Warrior*, which recalls the postures of the Gauls, presents as original parts only the buttocks, the lower part of the belly and the right leg (fig. 13). The completion inserts, in different colors, reveal multiple actions of intervention as different artists provided a new posture by sanding, gluing, scraping, and consolidating.

The signs have retained a memory and thanks to digital technology it is possible to decode the temporal sequence. Current restorations aim to remove any patinas and surface layers, which were intended to restore formal integrity, but have deteriorated over the centuries, revealing fractures and insertions that were previously hidden. Once the intervention signs have been brought to light, digital technology performs the function of recovering the original artefact and narrating its temporal metamorphosis. In the virtual environment it is possible to decompose



Fig. 12 - Installation in room VI dedicated to Renaissance restorations. Concept and design cured by G. Liva, 2021.



and recompose the various anatomical parts for a deeper knowledge, mainly aimed at educational entertainment (fig. 14). Thanks to the algorithms of geometry processing, which allow through semi-automatic computerized calculation flows to obtain detailed numerical models, the interaction between the 3D expert and the restorer is successful to proceed with greater confidence in *corpore vivo* on the ancient material. Therefore, the digital support, especially in its three-dimensional conjugation, is able to widen the field of art-historical investigation and to prefigure appropriate solutions of conservative or integrative restoration, facilitating a greater critical analysis of lost archetypes or 'surviving bodies' changed over time, but also their appreciation and promotion in the exhibition field through innovative displays that narrate the formal decompositions and exhibit physical replicas obtained through digitization and subsequent 3D printing.



Fig. 13 - *Statue of a Warrior*, Giustiniani collection, imperial age for ancient body fragment, 2nd century AD. Yellow area: original fragment, red area: modern additions, orange area: irrelevant additions. Photography and graphic elaborations G. Liva, 2021.

Fig. 14 - *Fallen Gaul*, inv. 55, the numerical model. Video animations frames showing the elements decompositions of statue. 3D modeling, and rendering G. Liva, 2021.

NOTE

[1] The Visual Computing deals with 2D/3D digitization, geometry processing related to mesh parameterization and re-mesh techniques, integrative graphics based on Computer Graphics algorithms and applications, 3D graphics for cultural heritage and 3D printing.

[2] Moschini, D. (2001), *Restauro virtuale. La tecnica per il recupero digitale delle informazioni nascoste*, pp. 45-54; Bennardi, D., Furferi, R. (2007), *Restauro virtuale: tra ideologia e metodologia*; Colombo, A., Perzolla, V. (2017). *Le tecnologie digitali al servizio della conservazione. Dall'integrazione scultorea al restauro virtuale*.

[3] Callieri, M., Cignoni, P., Ganovelli, F., Impoco, G., Montani, C., Pingi, P., Ponchio, F., & Scopigno, R. (2004), *Visualization and 3D data processing in David's restoration*, pp. 1-7.

[4] The physical copy was transported to Dubai to be exhibit in the *Theatre of Memory* of the Italian Pavilion at Expo, from 1/10/2020. The very-high definition 3D scanning was performed with two different instruments, a Leica Absolute Tracker AT960 laser tracker and a StereoScan Neo structured light scanner by Hexagon Manufacturing Intelligence in collaboration with the University of Florence.

[5] Arbase, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Iaccarino Idelson, A., & Scopigno, R. (2012). Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue, *Journal of Cultural Heritage*, pp. 1-14.

[6] Manferdini, A.M., Gasperoni, S., Guidi, F., & Marchesi, M., (2016), *Unveiling Damnatio Memoriae. The*

*Use Of 3d Digital Technologies For The Virtual Reconstruction Of Archaeological Finds And Artefacts*, pp. 9-17.

[7] Ippoliti, E., Carnevali, L., & Lanfranchi, F. (2017). Il Disegno per la ricostruzione di una storia. Il restauro virtuale del Monumento a Costanzo Ciano a Montenero di Livorno, *Restauro Archeologico*, 25(2), pp. 52-73.

[8] Ranellucci, S. (2018). Verifiche di stampa 3d nel restauro archeologico per Palmira: [http://www.esempidiarchitettura.it/sito/journal\\_pdf/PDF%202018/68.%20RANELLUCCI\\_2018.pdf](http://www.esempidiarchitettura.it/sito/journal_pdf/PDF%202018/68.%20RANELLUCCI_2018.pdf);

[9] Marraffa, A. (2020). An extensive analysis of the magno-greek terracotta theatrical masks of Lipari and development of a protocol for their (digital) integration and their (semantic) anastylis. In Lo Turco, M., Giovannini, E.C., & Mafri, N. (2020), *Digital & Documentation. Digital Strategies for Cultural Heritage*, 2, pp. 127-139; Manferdini, A.M., Remondino, F. (2012). *A review of reality-based 3D model generation, segmentation and web-based visualization methods*, pp. 103-124.

[10] La Trofa, F., Simonetta G., & Villella, F. (2021). Il Tesoro di Sant'Eufemia rinasce in 3D. In *Archeomatica 1*, 2021, pp. 1-14.

[11] *Mostra Archeologia Invisibile* dal 13 marzo 2019 al 6 gennaio 2020.

[12] <https://museogegizio.it/esplosora/mostre/archeologia-invisibile/>

[13] Two-year research project 2019-21 entitled "The Statuary of the National Archaeological Museum of Venice. Digitization, graphic restitution and exhibition project"; research follow: AUTHOR, scientific responsables:

Massimiliano Ciammaichella e Monica Centanni.

[14] The concept of copying is previous to Roman culture and it is already present in the Greek Hellenistic period, a period that favors the conscious imitation of older subjects by well-known masters. Later, with the conquest of cities of Magna Graecia and the Mediterranean area, the Romans showed a keen interest in antiquities, beginning the production of classical subjects copies. Cfr. Settis, S., Gaspari C. (2020). *I marmi Torlonia. Collezione capolavori*, pp. 112-121.

[15] The Grimani family was devoted to collect ancient statues and it embellished its palace near Santa Maria Formosa with a collection of Greek and Roman sculptures, recovered thanks to the ecclesiastical positions of its members who moved between Venice, Rome and Udine. In 1587 Giovanni Grimani (1500 - 1593) decided to donate part of the collection to the lagoon city, declaring the birth of the Public Statuary.

[16] Ciammaichella, M. (2018). Geometria del volto. Memoria e immagine di Efestione di Pella. In: R. Salerno (a cura di). *Rappresentazione / Materiale / Immateria* vol. 1, p. 433-440, Roma: Gangemi, 40° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della Rappresentazione. Quindicesimo congresso UID - 13, 14, 15 settembre 2018.

[17] *Aphrodite Sosandra* of the sculptor Calamides (465 BC), once placed on the access path to the Athens Acropolis, presented solemnly wrapped in her heavy cloak and showed only her face and left hand. The dual name, *Aphrodite Sosandra* is equivalent to *Auxiliary Aphrodite*, or she "who saves men" (sosandra).

[18] The hair, divided symmetrically in the middle, exhibited accentuated waves that descended laterally toward the ears.

[19] The *Capitoline Venus* is a Roman copy of an original 2nd-century BC Greek model; the *Medici Aphrodite*, a copy of a 3rd-century BC Greek model; the *Crouching Aphrodite*, known as *Aphrodite Lely*, a 2nd-century AD Roman copy of a Hellenistic prototype.

[20] A headless copy, preserved in the National Archaeological Museum of Naples could be a similar model. This Aphrodite derives from a prototype probably in bronze at the end of the fifth century BC, attributed to the sculptor Callimachus. The fabric, which allows a glimpse of a breast, appears light and adheres completely to the body as if it were soaked in water.

[21] Agisoft Metashape (<http://www.agisoft.com>, versione 15/06/2020).

[22] A closed surface can be stretched over the "texture space" thanks to cuts that are automatically generated by the software program or can be decided by the operator. In the case of complex meshes, multiple portions are reordered using a UV-Remapping process. <https://3d-scansexpert.com/3d-scan-uv-texture-remap-c4d/>

[23] Software: Cinema 4D and BodyPaint R19 2017.

[24] Modeling through manual reconstruction based on the placement of photographic references on the viewports software.

[25] Favaretto, De Paoli, Dossi (2004), *Museo Archeologico Nazionale di Venezia*, p. 48.

[26] *3D-Coat* is a software specialized in 3D sculpting operations,

texture painting and manual retopology or automatic remeshing (*Autopo* algorithm). Interesting retopology tool is also *SketchRepto* that allows you to generate a quadrangular mesh through curves generated freehand by the user. The result is a patch, a polygonal structure formed by a set of quadrangles.

[27] Caraceni, S. (2012). *Musei virtuali. Augmented Heritage. Evoluzione e classificazione delle tipologie di virtualità in alcuni case histories*, 2.1-2.6; Ippoliti, E., & Albinis, P. (2016), *Musei Virtuali*. Comunicare e/è rappresentare. In *DisegnareCon* 9/17, pp. 52-73.

[28] Bonancini, E. (2012), *Il museo partecipativo sul web: forme di partecipazione dell'utente alla produzione culturale e alla creazione di valore culturale*, pp. 93-125.

[29] Cfr. D'Acunto, G., *Augmented Reality and Museum Exhibition*. The Reconstruction of the Statues of The Tribuna of Palazzo Grimani in Venice, pp. 273-278. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone, *Representation Challenges. Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, FrancoAngeli 2021; Sorgente Group S.p.A., *Multimedialità e Scultura Digitale fanno rivivere l'Atena Nike*. In *Archeomatica* 4, 2012.

[30] To explore a hypothesis of temporary installation and exhibition strategy for the National Archaeological Museum of Venice: Ciammaichella, M., & Liva, G. (2021). *Machines For Thinking And Bodies To Preserve. Exhibition Proposal For The Venice National Archaeological Museum*, pp. 81-96.

REFERENCES

- Arbace, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Iaccarino Idelson, A., & Scopigno, R. (2012). Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. *Journal of Cultural Heritage*, 1-14.
- Bennardi, D., & Furferi, R. (2007). *Restauro virtuale: tra ideologia e metodologia*. Firenze: Edifir.
- Bonancini E. (2012). Il museo partecipativo sul web: forme di partecipazione dell'utente alla produzione culturale e alla creazione di valore culturale. Il Capitale culturale, *Studies on the Value of Cultural Heritage*, 5, 91-127.
- Botsch, M., Kobbelt, L., Pauly, M., Alliez, P., & Levy, B. (2010). *Polygon Mesh Processing*. Natick/Massachusetts: A K Peters/CRC Press.
- Caraceni S. (2012). *Musei virtuali. Augmented Heritage. Evoluzione e classificazione delle tipologie di virtualità in alcuni case histories*. Rimini: Guaraldi.
- Callieri, M., Cignoni, P., Ganovelli, F., Impoco, G., Montani, C., Pingi, P., Ponchio, F., & Scopigno, R. (2004). *Visualization and 3D data processing in David's restoration*. Pisa: ISTI-CNR.
- Ciammaichella, M., Liva, G. (2021). *Mutant Bodies. Statue Digitization and Exhibition at the National Archaeological Museum of Venice*. In Digital Modernism Heritage Lexicon. Cham: Springer.
- Ciammaichella, M., & Liva, G. (2021). Machines For Thinking And Bodies To Preserve. Exhibition Proposal For The Venice National Archaeological Museum. *SCIRES-IT*, 11 (1) 81-96.
- Colombo, A., & Perzolla V. (2017). *Le tecnologie digitali al servizio della conservazione. Dall'integrazione scultorea al restauro virtuale*. Padova: Il Prato.
- D'Acunto, G. (2021). *Augmented Reality and Museum Exhibition. The Reconstruction of the Statues of The Tribuna of Palazzo Grimani in Venice*. In *Representation Challenges. Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain* (vol. 1, pp. 273-278). Milano: FrancoAngeli.
- Dall'Asta, E., & Roncella, R. (2014). A Comparison of semiglobal and Local Dense Matching Algorithms For Surface Reconstruction. In The International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (XL (5), pp. 187-194), Riva del Garda: ISPRS Technical Commission V Symposium.
- De Luca, L. (2011). *La fotomodellazione-architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*. Palermo: Flaccovio.
- De Paoli, M. (2004). «Opera fatta diligentissimamente». *Restauri di sculture classiche a Venezia tra Quattro e Cinquecento*. Roma: L'Erma di Bretschneider.
- Favaretto, I., De Paoli, & M., Dossi, M.C. (2004). *Museo Archeologico Nazionale di Venezia*. Milano: Electa.
- Grossman, J.B., Podany J., & True M. (2003). *History of Restoration of Ancient Stone Sculptures*. Los Angeles: Getty Publications.
- Guidi, G., Remondino, F., Russo, M., Menna F., Rizzi A., & Ercoli S. (2009). A multi-resolution methodology for the 3D modeling of large and complex archeological areas. *International Journal of Architectural Computing* (Special issue, pp. 39-55).
- Ippoliti, E., & Albisinni, P., Musei Virtuali. Comunicare e/è rappresentare. *DisegnareCon* 9/17, pp. 52-73.
- Ippoliti, E., Carnevali, L., & Lanfranchi, F. (2017). Il Disegno per la ricostruzione di una storia. Il restauro virtuale del Monumento a Costanzo Ciano a Montenero di Livorno. *Restauro Archeologico*, 25(2), 52-73.
- La Trofa, F., Simonetta G., & Vilella, F. (2021). Il Tesoro di Sant'Efemia rinasce in 3D. *Archeomatica* 1, 1-14.
- Liva, G. (2021). Immagini divine: le metamorfosi digitali nei corpi antichi. *Disegnare Idee Immagini*, n. 61, 44-55.
- Lo Turco, M., Giovannini, E.C., & Mafri N. (2020), *Digital & Documentation. Digital Strategies for Cultural Heritage*, 2. Pavia: Pavia University Press.
- Manferdini, A.M., Remondino, F. (2012). A review of reality-based 3D model generation, segmentation and web-based visualization methods. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1, 103-124.
- Manferdini, A.M., Gasperoni S., Guidi F., & Marchesi M. (2016). Unveiling Damnatio Memoriae. The Use Of 3d Digital Technologies For The Virtual Reconstruction Of Archaeological Finds And Artefacts. *Virtual Archeology Review*, 7, 15, 9-17.
- Moschini, D. (2001). Restauro virtuale. La tecnica per il recupero digitale delle informazioni nascoste. *Kermes*, 41, 45-54.
- Previtali, M., Barazzetti, L., & Scaioni, M. (2011). Una strategia di matching multi-immagine per la ricostruzione accurata di superfici e oggetti 3D. In Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA (pp. 1797-1806). Reggio di Colorno.
- Pozzi, M. (2011). *La ri-mediazione digitale nell'esperienza museale scientifica*, Trento: Tangram Edizioni Scientifiche.
- Settis S., & Gasparri C. (2021). *I marmi Tortonia. Collezionare capolavori*. Milano: Electa.
- Sorgente Group S.p.A. (2012). Multimedialità e Scultura Digitale fanno rivivere l'Atena Nike. *Archeomatica* 4, 18-20.



## Identità digitali. Tecnologie per la conservazione, ricostruzione e fruizione del patrimonio scultoreo

### 1. INTRODUZIONE

Le tecniche di digitalizzazione 3D, applicate in maniera intensiva nel campo dei beni culturali, sono diventate negli ultimi anni uno strumento essenziale ed indispensabile all'interno dei metodi e dei principi della conservazione e del restauro; privilegiando un rinnovato aspetto metodologico e scientifico, la sperimentazione in ambito virtuale si impegna ad assumere un ruolo cardinale nella prefigurazione di possibili scenari connessi alla salvaguardia dell'integrità, autenticità ed estetica del patrimonio storico-artistico.

L'adozione di un approccio digitale è giustificata da una serie di vantaggi che derivano dal supporto di cloni 3D, oggi estremamente accurati e con errori geometrici trascurabili ai fini di reali interventi fisici. La fragilità del reperto e la conseguente possibilità di recare danni hanno portato a condurre analisi preliminari, valutazioni compara-

tive di ipotesi ricostruttive, simulazioni cromatiche in base alle tracce residue di policromia, pianificazioni delle azioni di smontaggio/rimontaggio, di conservazione e di restauro all'interno di specifici software di modellazione e visualizzazione. Inoltre, lo stato di fatto incompleto della maggioranza degli artefatti antichi necessita di appropriate soluzioni per completare i corpi frammentati o per ricollocare i frammenti in modo plausibile, soprattutto a fronte di una corretta adiacenza tra le parti sopravvissute alle azioni di distruzione o alterazione temporale.

A partire da un rilievo dettagliato del reperto, la sua replica digitale diventa uno strumento attivo su cui concentrare e studiare le fasi puntuali del processo di restauro, fornendo la possibilità di una metodologia di intervento efficace e sicura. La clonazione dell'opera, sia come strumento per l'esecuzione di specifiche indagini, sia come supporto per l'archiviazione e l'integrazione delle informa-

zioni relative al restauro, permette di elaborare soluzioni e procedure che affiancano la consolidata pratica del restauro con le tecnologie di *visual computing* [1]. È dunque fattibile intervenire sull'esistente o ripensare radicalmente i modelli di fruizione museali, arricchendo le collezioni e generando nuove esperienze per il pubblico.

### 2. IL RESTAURO VIRTUALE APPLICATO ALLA STATUARIA

Ormai da decenni il paradigma conoscitivo e comunicativo utilizza le tecnologie digitali per rileggere e riconfigurare il patrimonio culturale materiale e immateriale studiandolo, sintetizzandolo e archiviandolo in ambienti interattivi. Anche il comparto scultoreo non si è sottratto ai vantaggi offerti dalla tecnologia e molteplici esempi dell'ultimo decennio hanno fornito una metodologia di analisi

e di intervento efficace, in termini di durabilità nel tempo. Le ricerche e le sperimentazioni effettuate sono ascrivibili in ciò che è noto come “restauro elettronico o digitale” [2], mutuato nel più diffuso binomio “restauro virtuale”, fino ad arrivare al più corretto “ripristino iconologico digitale” che è in grado di superare il “limite” brandiano di fermarsi laddove si abbia paura di intervenire erroneamente. I suoi principi, fondati sulla reversibilità, compatibilità dei materiali, minimo intervento e riconoscibilità, acquistano ancor più significato nell’ambito della simulazione che promuove una modalità operativa anticipata da una prefigurazione dell’immagine digitale dell’opera e, dunque, dell’acquisizione dei dati e della gestione dei modelli 3D intesi come strumenti di analisi e verifica. L’ambiente virtuale diviene un ampio luogo della sperimentazione in cui avanzare ipotesi, verificare metodologie integrative, valutazioni preventive degli effetti di un restauro senza alcun contatto, consentendo analisi diagnostiche o monitoraggi anche in tempi successivi.

Alla luce di queste considerazioni, l’applicazione intensiva del restauro digitale, pur nella sua contraddizione linguistica, che vede uno scontro tra la tecnica pratica e il mondo virtuale, ha portato a risultati notevoli nel campo dei beni culturali, compresa la statuaria. I seguenti esempi dimostrano l’efficacia applicativa e il prezioso contributo di una metodologia che si avvale di cloni 3D per precisi interventi di conservazione e restauro.

IL CNR, sia nel restauro del David michelangiolesco [3], di recente scansionato ulteriormente per ottenere il clone 3D da esporre all’expo di Dubai [4], o nella ricomposizione di statue di terracotta frammentate [5], ha messo in atto tutta una serie di indagini sui reperti in esame e strategie per procedere ad operazioni di ricomposizione, ricollocazione, assemblaggio e verifica dei frammenti.

La digitalizzazione del *torso di Nerone* e la ricostruzione della sua intera figura [2016] [6], il recupero architettonico/scultoreo del Monumento a Costanzo Ciano a Montenero di Livorno [2017] [7], la stampa 3D additiva per i due busti sfregiati di Palmira [2018] [8], il recente studio di integrazione su alcune maschere teatrali legate a una stra-

tegia di edutainment [2020] [9] e la digitalizzazione di reperti non direttamente fruibili, come il tesoro di Sant’Eufemia conservato al British Museum di Londra [2021] [10], dimostrano come l’interesse rivolto alla tecnologia applicata all’ambito scultoreo sia in continua evoluzione e permetta di confrontarsi con artefatti antropomorfi molto complessi.

Attualmente, importanti ricadute in ambito espositivo vedono una stretta collaborazione tra i Musei Capitolini a Roma e il Museo del Louvre a seguito del ricongiungimento, all’interno dell’Esedra di Marco Aurelio, del dito in bronzo dorato, dal 1863 in possesso del museo parigino, con la celebre mano lacera della colossale statua di Costantino. A seguito di una prova effettuata a Roma con un modello 3D, un calco in vetroresina della porzione di dito indice del frammento parigino, nel 2018 ci si è accorti che si adattava perfettamente alla mano originale ed ora, finalmente, è possibile ammirare il completamento (fig. 1).

Infine, un caso esemplare di conservazione e fruizione culturale riguarda il Museo Egizio, che, oltre alla sua attenzione rivolta alla digitalizzazione della collezione, ha inaugurato la mostra *Archeologia Invisibile* [11] basata su scansioni 3D e TAC, per analizzare in maniera non distruttiva il materiale archeologico, affiancando ricostruzioni virtuali per riprodurre in scala 1:1 monili e gioielli contenuti nei sarcofagi [12].

Questa breve disamina di sperimentazioni, molte delle quali concluse con reali interventi, dimostra che l’utilizzo delle tecnologie digitali ha consolidato un dialogo costruttivo tra le diverse competenze professionali e tra le istituzioni museali coinvolte, attuando uno scambio culturale basato su una maggiore contaminazione e disseminazione del sapere.

### 3. SCULTURE ROMANE: HERA E AFRODITE SOSANDRA

Lo studio dei beni culturali, in stretta connessione con l’applicazione delle tecnologie digitali coinvolte dal rilievo indiretto degli artefatti antropomorfi fino alla loro lettura, interpretazione e comunica-

zione in ambito espositivo, trova un’efficace applicazione anche nella statuaria antica e, in particolare, nei processi di metamorfosi formale di alcuni pregevoli marmi greci e romani conservati presso il Museo Archeologico Nazionale di Venezia.

La gestione di complessi modelli numerici, dai quali ricavare rappresentazioni grafiche e simulazioni in video che descrivono lo stato di fatto, le stratificazioni storiche e le mutazioni estetiche, rientra in un ampio progetto di ricerca del museo veneziano con l’Università luav di Venezia [13].

In questo saggio, la ricerca si focalizza su due casi studio presenti all’interno del museo - il *Busto di Hera* e il *Busto di Afrodite Sosandra* entrambe copie romane [14] del II sec. d.C. (fig. 2) -, pertanto l’applicazione delle tecnologie digitali, a supporto del rilievo e dell’analisi, dimostra come sia possibile fornire una conoscenza più approfondita del patrimonio artistico e culturale, al fine di visualizzare e far conoscere le molteplici azioni di restauro che si sono susseguite, a partire dal loro ritrovamento fino all’esposizione al pubblico.

Il *Busto di Hera*, copia probabilmente di un modello greco classico, palesa chiaramente il suo completamento rinascimentale che vede l’inserimento dell’originale testa romana, in marmo rosso e bianco, su un panneggio che la incornicia, in marmo di Carrara del XVI sec. Fu così esposta, prima nella Tribuna Grimani del Palazzo di famiglia e poi in una nicchia dello Statuario Pubblico [15], in posizione simmetrica rispetto a *Efestione di Pella* [16], anch’egli in duplice colorazione, col volto in basanite scura e busto rivestito da corazza e mantello in marmo bianco, completamenti purtroppo rimossi negli anni Venti del Novecento (fig. 3). La struttura non finita del retro di *Hera* venne giustificata dalla scelta della collocazione alta e addossata alla parete. Si comprende, dunque, come le azioni di restauro su molte statue della collezione Grimani, rientrassero in un preciso progetto di integrazione della loro estetica, in virtù di armoniosi allestimenti che prevedevano una relazione e una distribuzione calcolate tra gli oggetti e l’ambiente espositivo.

Il collezionismo consapevole, che si affermò in epoca rinascimentale, dimostrò il riconoscimento

del valore intrinseco del reperto, oltre a farsi portavoce del prestigio sociale, della ricchezza e della cultura delle famiglie coinvolte.

Anche il *Busto di Afrodite Sosandra* [17], copia romana di un prototipo greco classico in bronzo, venne sottoposto ad un'azione di completamento che portò la maschera facciale a essere avvolta da un leggero mantello, discordante però dai pesanti tessuti marmorei presenti in statue affini, come la celebre figura intera del Museo Archeologico Nazionale di Napoli, anch'essa copia romana del II sec. di un originale bronzeo greco. Per giustificare la scelta scultorea effettuata nel Rinascimento, è fondamentale capire come la rappresentazione della dea abbia subito sostanziali modifiche nel mondo greco: le statue scolpite prima del IV sec. a.C. erano rigorosamente vestite con tessuti coprenti che cingevano anche il capo [18], ma nel 360 a.C. fu lo scultore greco Prassitele a rinnovare l'iconografia della dea con *Afrodite Cnidia*, mostrandola per la prima volta nuda, apparentemente vulnerabile, dunque più umana e meno eroica. Da questa immagine discendono le numerose interpretazioni sensuali riprese in epoca romana e tramandate all'età moderna: l'*Afrodite di Milo*, celeberrima opera greca datata al 130-120 a.C., conservata al Musée du Louvre e le note copie romane tra cui la *Venere Capitolina*, l'*Afrodite Medici*, l'*Afrodite accovacciata*, la cui posa è ripresa in duplice versione nella recente esibizione della collezione Torlonia [19] (fig. 4).

Nel restauro rinascimentale, l'*Afrodite veneziana* limitata a un busto, nonostante si discosti dalla tradizione iconografica che la ritrae totalmente vestita o nuda nel tentativo di coprirsi, media tra le due rappresentazioni, mostrando la sua sensualità proprio attraverso la trasparenza della veste che lascia intravedere il seno [20]. L'intervento di completamento guarda con ammirazione il mondo antico ma sente l'esigenza, in linea con la cultura del tempo, di interpretarla secondo il canone rinascimentale che recupera l'immagine più femminile della dea.

Il risultato è discordante, ma ugualmente equilibrato ed elegante, facendo coesistere nella nota divinità tre epoche storiche: una memoria greca

recuperata dall'abilità romana e un intervento moderno che fa dialogare la rigida e severa immagine arcaica con una più sensuale interpretazione.

#### 4. RILIEVO, RESTITUZIONE E RICOSTRUZIONE DIGITALE DEGLI ARTEFATTI

Partendo proprio dalle mutazioni storiche che hanno subito le statue del museo archeologico, la ricerca *in itinere* si avvale di cloni digitali verosimiglianti, da assumere come strumenti di interpretazione critica, simulazione, ricostruzione, divulgazione scientifica. Si pone anche l'obiettivo di fornire un corpus di informazioni utili per precise e ponderate strategie future di conservazione e di intervento. La modalità operativa adottata, che rientra nell'attuale restauro virtuale, prevede una prefigurazione nello spazio cartesiano digitale della copia tridimensionale fotorealistica, dotata di una spazialità misurabile e riproducibile. Ogni azione di modellazione poligonale sulla superficie *mesh* acquisita, permette di sperimentare progetti di anastilosi digitale, in ricostruzioni identitarie e simulazioni preventive, garantendo massima libertà d'azione ed escludendo interventi di irreversibilità, come si sono verificati nei secoli precedenti.

L'applicazione della fotogrammetria digitale e degli algoritmi di *structure from motion* consentono di restituire la forma libera dei corpi, generando dei cloni digitali in cui l'utilizzo di superfici *mesh*, mappate con texture ad altissima risoluzione, permette di intervenire in maniera non invasiva, così da evidenziare i segni di rottura, le stratificazioni, gli adattamenti presenti sul frammento rinvenuto.

*Hera e Afrodite* sono state sottoposte a una campagna di rilievo indiretto, effettuata mediante una fotocamera digitale *full frame*, Nikon D800E, a focale 24 mm (fig. 5). Grazie alle dimensioni contenute dei busti, la procedura di acquisizione delle immagini è stata più agevole rispetto ad altri complessi artefatti custoditi nel museo. Impostati i parametri della fotocamera e studiata una geometria di presa circolare a circa un metro

e mezzo di distanza dal baricentro delle opere, l'unica difficoltà riscontrata riguardava le condizioni luminose delle due sale. Per limitare errori nell'elaborazione automatica della nuvola di punti, eventuali riflessi sulla superficie, riconducibili all'illuminazione naturale, sono stati risolti mediante l'adozione di quinte nere in tessuto manualmente orientabili. La presenza di una tinta omogenea di sfondo, nei singoli scatti fotografici, ha permesso anche di isolare il soggetto da rilevare dal contesto rendendo più agevole il calcolo del *software* per il *multi-stereo matching* [21]. Il numero consistente di fotogrammi, un centinaio distribuiti a differenti quote, è stato necessario per aumentare le informazioni utili all'allineamento delle singole immagini, dalle quali si desumono le coordinate spaziali. Il risultato finale, dopo alcune ore di calcolo computazionale, comprende una densa nuvola di punti e una superficie *mesh*, copia pressoché fedele della realtà, mappata con *texture* ad altissima risoluzione.

Il passo successivo riguarda la gestione della complessa densità poligonale del modello; grazie a operazioni di sezione virtuale delle superfici, all'interno della *Digital Modeling*, le diverse parti anatomiche, ornamentali o vestimentarie appartenenti a epoche differenti vengono separate, restituendo le parti conformi all'originale, in accordo con le fonti storiche e iconografiche.

Per aumentare il grado di precisione, in corrispondenza dei limiti delle superfici di rottura e del ricongiungimento tra le parti, le operazioni di taglio sono state assistite dalla tecnica di *unwrapping*, che consente di adattare il modello spaziale sul piano [22]. La duplice visualizzazione affiancata nell'interfaccia del *software* [23] consente di procedere sulla *mesh* e, in dettaglio, sulle singole facce triangolari, col tracciamento di qualsiasi segno grafico, del quale si decide colore e spessore, generando delle linee continue sui blocchi marmorei virtuali (figg. 6-7). Alternando la selezione e il controllo dei singoli elementi rispettivamente sulla configurazione 3D e sulla sua traduzione piana, grazie anche alla relazione biunivoca tra *texel* della *mesh* e *pixel* della *bitmap*, si ottengono un accurato rilievo



e un'immediata visualizzazione delle fratture, sconnessioni o lacune su cui procedere con eventuali sezioni o mappe e abachi di degrado (figg. 8-9). Le molteplici immagini di analisi costituiscono un *output* bidimensionale di grande aiuto per pianificare azioni di intervento fisico da parte dei restauratori.

In particolare, nel caso di *Afrodite Sosandra*, il clone digitale è stato sottoposto anche a un ulteriore studio, sperimentando la tecnica di *re-topology* su una ricostruzione *from scratch* [24] e sulla *mesh*, al fine di riprodurre la maschera facciale della dea, le cui caratteristiche formali ricordano maggiormente le opere fuse in metallo anziché quelle realizzate in marmo [25].

Alla luce di questa suggestione, il reperto romano è stato separato dall'intervento di completamento rinascimentale, secondo la metodologia applicata sul *Busto di Hera*, per poi applicare una modellazione poligonale. Nonostante esistano numerosi *software* che consentono di modificare la topologia, secondo i quali i modelli vengono sottoposti a operazioni di automatizzazione totale o parziale [26], data la complessità della *mesh* iniziale, è stata scelta una tecnica tradizionale, che permette, tramite un sistema di attrazione forzata sui vertici esistenti della maglia a facce triangolari, la costruzione della nuova *mesh*, posizionando ogni singolo quadrilatero. Aggiungendone uno successivo a partire da un lato in comune con quello esistente si costruisce una superficie organizzata in una griglia più o meno dettagliata in grado di approssimare l'oggetto iniziale (fig. 10). Grazie a una rifinitura progressiva si può modificare la morfologia generale, aumentando il numero di suddivisioni ma ottenendo comunque una *mesh* poligonale più leggera e facilmente gestibile, rispetto a quella iniziale. Tenendo conto che tale modellazione comporta una perdita in termini di dettagli, necessaria per una semplificazione della geometria, l'obiettivo dell'ottimizzazione dei modelli riguarda la genesi di una topologia adeguata ad essere testurata o animata in contesti interattivi o videoludici, discostandosi da azioni relative a interventi di restauro.

## 5. LE TECNOLOGIE PER LA CONSERVAZIONE, RICOSTRUZIONE E FRUIZIONE DEL PATRIMONIO SCULTOREO

Dalle sperimentazioni effettuate si evince come i cloni digitali costituiscano un paradigma conoscitivo e comunicativo indispensabile per l'analisi, la conservazione, la ricostruzione e la fruizione del patrimonio scultoreo, siano essi impiegati nel settore del restauro, sia in quello dell'esposizione museale.

L'attuale presenza di piattaforme social, come veicoli per la disseminazione delle risorse digitali, garantisce un uso massiccio dei modelli 3D per la visualizzazione e diffusione del patrimonio culturale. I musei si sono aperti ai social media e sfruttano le tecnologie digitali per aggiornarsi, per creare nuove narrazioni, per riconfigurare e rileggere il passato, per implementare innovative forme di fruizione e interazione. Gli spazi espositivi conservano il sapere ma sono creati e mediati dalla tecnologia, comunicando sensorialmente e attivando inediti percorsi conoscitivi. Non sono più luoghi statici, avvolti da un'aura di anacronismo, templi di visioni antiche e perdute, ma realtà diffuse in grado di tenere insieme tutela e ricerca, formazione e intrattenimento, diventando portavoce di una società che ammira il passato e su di esso riflette il presente, costruendo il futuro. L'utente è incoraggiato a sperimentare, a connettersi dentro e fuori al museo, relazionandosi nel web e dunque in una rete interoperabile priva di confini geografici [27]. Lo spazio della conoscenza è condiviso e partecipativo, in cui il patrimonio culturale anche delle epoche più remote dialoga con le nuove tecnologie [28].

Assecondando questa logica, la collaborazione con il Museo Archeologico Nazionale di Venezia si dimostra esemplare per molteplici aspetti.

Il materiale prodotto dall'acquisizione e gestione dei modelli 3D, traducibile in immagini statiche, animazioni video, stampe 3D, permetterà di valorizzare su più fronti la collezione Grimani, ripercorrendo le tortuose vicende storiche che hanno visto sostanziali spostamenti di tale patrimonio scultoreo sul territorio veneziano. Un *video map-*

*ping* potrebbe ripopolare l'antica antisala della Biblioteca Marciana, collocando proiezioni multiple di intere statue e busti a terra o nelle mensole e nelle nicchie progettate dallo stesso Scamozzi; in alternativa si potrebbe provvedere alla realizzazione fisica di copie tangibili, processo già iniziato per riconfigurare l'immagine dell'originaria Tribuna Grimani, primigenio *antiquarium* voluto dal patriarca Domenico Grimani presso il suo palazzo di famiglia, sito in Ruga Giuffa a Venezia [29].

Sicuramente ogni approfondimento e ricerca condotta sui singoli artefatti implementerà, innanzitutto, il sito web istituzionale del Polo Museale del Veneto al quale potranno accedere studiosi o semplici visitatori, per poi diventare parte integrante del nuovo allestimento del museo archeologico previsto per il 2022-2023. In tale progetto di riconfigurazione delle sale, nelle quali le opere sono ridistribuite per nuovi gruppi tematici, abbandonando l'ordine cronologico imposto dall'archeologo Carlo Anti negli anni Venti del Novecento, i cloni digitali riferiti alle antichità frammentarie dialogheranno con gli artefatti reali, evidenziando le operazioni di completamento e gli interventi di restauro interpretativo susseguiti nel tempo [30] (fig. 11).

## 6. CONCLUSIONI

Il lavoro di scomposizione dei due busti femminili, come di molti altri pregevoli marmi appartenenti al Museo Archeologico Nazionale di Venezia, fa comprendere il significato di una stratificazione di segni che si sono succeduti dal ritrovamento, all'acquisizione e alla loro esposizione. Gli interventi integrativi o interpretativi, avvenuti nel Rinascimento, sono impressi nella materia e custodiscono l'ossessione di voler restituire una integrità formale andata perduta, talvolta rischiando che la parte ricostruita sia eccedente. Non solo a Venezia, ma anche nella celebre collezione Torlonia non mancano restauri massicci su reperti piuttosto ridotti. La *Statua di un Guerriero*, che richiama alla mente le posture dei Galli, presenta come parti originali solo le natiche, la parte bassa del

ventre e della gamba destra (fig. 12). Gli inserti di completamento, di colore differente, rivelano più azioni di intervento, perché diversi artisti hanno fornito una nuova postura mediante levigatura, incollaggio, raschiatura e consolidamento.

I segni hanno conservato una memoria e grazie al digitale è possibile decodificare la sequenza temporale. Gli attuali restauri mirano a togliere eventuali patine e strati superficiali, che avevano lo scopo di restituire un'integrità formale ma che si sono deteriorati nei secoli, rivelando fratture e inserimenti prima nascosti. Riportati alla luce i segni di intervento, il digitale assolve la funzione di recuperare il reperto originale e di narrare la sua metamorfosi temporale. In ambito virtuale è possibile scomporre e ricomporre le varie parti anatomiche per una conoscenza più approfondita, principalmente rivolta all'intrattenimento educativo (fig. 13).

Grazie agli algoritmi di *geometry processing*, che consentono tramite flussi di calcolo computerizzato e semiautomatico di ottenere dettagliati modelli numerici, l'interazione tra l'esperto della rappresentazione e il restauratore risulta vincente per procedere con maggiore sicurezza *in corpore vivo* sulla materia antica.

Il supporto digitale, dunque, soprattutto nella sua coniugazione tridimensionale, è in grado di ampliare il campo di indagine storico-artistico e di prefigurare opportune soluzioni di restauro conservativo o integrativo, favorendo una maggiore analisi critica di archetipi perduti o di 'corpi superstiti' mutati nel tempo, ma anche una loro valorizzazione e promozione in ambito espositivo, tramite innovativi allestimenti che narrano le scomposizioni formali ed esibiscono repliche fisiche ottenute mediante digitalizzazione e conseguente stampa 3D.

NOTE

[1] La *Visual Computing* affronta la digitalizzazione 2D/3D, l'elaborazione della geometria connessa alla parametrizzazione della mesh e alle tecniche di re-mesh, la grafica integrativa basata su algoritmi e applicazioni per la *Computer Graphics*, la grafica 3D per i beni culturali e la stampa 3D.

[2] Moschini, D. (2001), *Restauro virtuale. La tecnica per il recupero digitale delle informazioni nascoste*, pp. 45-54; Bennardi, D., Furferi, R. (2007), *Restauro virtuale: tra ideologia e metodologia*; Colombo, A., Perzolla, V. (2017), *Le tecnologie digitali al servizio della conservazione. Dall'integrazione scultorea al restauro virtuale*.

[3] Callieri, M., Cignoni, P., Ganovelli, F., Impoco, G., Montani, C., Pingi, P., Poncho, F., & Scopigno, R. (2004), *Visualization and 3D data processing in David's restoration*, pp. 1-7.

[4] La copia fisica è stata trasportata a Dubai per essere esposta all'interno del Teatro della Memoria del Padiglione Italia a Expo, dal 1/10/2020. La scansione 3d ad altissima definizione è stata eseguita con due diversi strumenti, un laser tracker Leica Absolute Tracker AT960 e uno scanner a luce strutturata StereoScan Neo dalla Hexagon Manufacturing Intelligence in collaborazione con l'Università di Firenze.

[5] Arbase, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Iaccarino Idelson, A., & Scopigno, R., (2012). Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue, *Journal of Cultural Heritage*, pp. 1-14.

[6] Manferdini, A.M., Gasperoni, S., Guidi, F., & Marchesi, M., (2016),

*Unveiling Damnatio Memoriae. The Use Of 3d Digital Technologies For The Virtual Reconstruction Of Archaeological Finds And Artefacts*, pp. 9-17.

[7] Ippoliti, E., Carnevali, L., & Lanfranchi, F. (2017). Il Disegno per la ricostruzione di una storia. Il restauro virtuale del Monumento a Costanzo Ciano a Montenero di Livorno. *Restauro Archeologico*, 25(2), pp. 52-73.

[8] Ranellucci, S. (2018). Verifiche di stampa 3d nel restauro archeologico per Palmira: [http://www.esempiarchitettura.it/sito/journal\\_pdf/PDF%202018/68.%20RANELLUCCI\\_2018.pdf](http://www.esempiarchitettura.it/sito/journal_pdf/PDF%202018/68.%20RANELLUCCI_2018.pdf);

[9] Marraffa, A. (2020). An extensive analysis of the magno-greek terracotta theatrical masks of Lipari and development of a protocol for their (digital) integration and their (semantic) anastylis. In Lo Turco, M., Giovannini, E.C., & Mafri, N. (2020), *Digital & Documentation. Digital Strategies for Cultural Heritage*, 2, pp. 127-139; Manferdini, A.M., Remondino, F. (2012). *A review of reality-based 3D model generation, segmentation and web-based visualization methods*, pp. 103-124.

[10] La Trofa, F., Simonetta G., & Vilella, F. (2021). Il Tesoro di Sant'Eufemia rinasce in 3D. In *Archeomatica 1*, 2021. pp. 1-14.

[11] *Mostra Archeologia Invisibile* dal 13 marzo 2019 al 6 gennaio 2020.

[12] <https://museoegizio.it/esplorare/mostre/archeologia-invisibile/>

[13] Progetto di ricerca biennale 2019-21 dal titolo "La statuaria del Museo Archeologico Nazionale di Venezia. Progetto di digitalizzazione, restituzione grafica ed esposizione"; assegnista di ricerca:

AUTHOR, responsabili scientifici: Massimiliano Ciammaichella e Monica Centanni.

[14] Il concetto di copia è precedente alla cultura romana e affonda le sue radici già in epoca ellenistica greca, periodo che favorisce l'imitazione consapevole di soggetti più antichi ad opera di noti maestri. In seguito con la conquista di città della Magna Grecia e dell'area mediterranea, i Romani dimostrarono un vivo interesse verso le antichità dando impulso a una produzione di copie di soggetti classici. Cfr. Settis, Gaspari 2020, pp. 112-121.

[15] La famiglia Grimani era dedicata a collezionare statue antiche e abbellì il proprio palazzo vicino a Santa Maria Formosa con una raccolta di sculture greche e romane recuperate grazie alle cariche ecclesiastiche dei suoi componenti che si spostarono tra Venezia, Roma e Udine. Nel 1587 Giovanni Grimani (1500 - 1593) decise di donare parte della collezione alla città lagunare, decretando la nascita dello Statuario Pubblico.

[16] Ciammaichella, M. (2018). Geometria del volto. Memoria e immagine di Efestione di Pella. In: R. Salerno (a cura di). *Rappresentazione / Materiale / Immateriale*, vol. 1, p. 433-440, Roma: Gangemi, 40° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della Rappresentazione. Quindicesimo congresso UID - 13, 14, 15 settembre 2018.

[17] L'Afrodite Sosandra dello scultore Calamide (465 a.C.), un tempo collocata sulla via di accesso all'Acropoli di Atene, si presentava solennemente avvolta nel suo pesante mantello e mostrava solo il volto e la mano sinistra. Il duplice nome, Afrodite Sosandra equivale ad Afrodite ausiliatrice, ovvero colei "che salva gli uomini" (sosandra).

[18] La capigliatura, divisa simmetricamente al centro, esibiva accentuate onde che scendevano lateralmente verso le orecchie.

[19] La *Venere Capitolina* è una copia romana di un originale modello greco del II secolo a.C.; l'*Afrodite Medici*, copia di un modello greco del III sec. a.C.; l'*Afrodite accovacciata*, detta *Afrodite Lely*, copia romana del II sec. d.C. di un prototipo ellenistico.

[20] Un riferimento acefalo, conservato al Museo archeologico nazionale di Napoli potrebbe essere un modello simile. Tale Afrodite deriva da un prototipo verosimilmente di bronzo della fine del V sec. a.C., attribuito allo scultore Callimaco. La stoffa, che lascia intravedere un seno, appare leggera e aderisce completamente al corpo come se fosse inzuppata d'acqua.

[21] Agisoft Metashape (<http://www.agisoft.com>, versione 15/06/2020).

[22] Affinché una superficie chiusa possa essere distesa sulla *texture space* necessita di tagli che vengono generati in automatico dal programma o possono essere decisi dall'operatore. Nel caso di mesh complesse si generano più porzioni che possono essere riordinate mediante un processo di *UV-Remapping*. <https://3dscanexpert.com/3d-scan-uv-texture-remap-c4d/>

[23] Software utilizzato: Cinema 4D e BodyPaint R19 2017.

[24] Modellazione che avviene grazie a una ricostruzione manuale basata sul posizionamento di *reference* fotografiche sulle finestre del software.

[25] Favaretto, De Paoli, Dossi (2004), *Museo Archeologico Nazionale di Venezia*, p. 48.

[26] 3D-Coat è un software specializzato in operazioni di *sculpt 3D*, *texture painting* e *retopology* manuale o di *remeshing* automatico (algoritmo Autopo). Interessante tool di *retopology* è anche Sketch-*Retopo* che consente di poter generare una *mesh* quadrangolare tramite curve generate a mano libera dall'utente. Il risultato è una *patch*, una struttura poligonale formata da un insieme di quadrangoli.

[27] Caraceni, S. (2012). *Musei virtuali. Augmented Heritage. Evoluzione e classificazione delle tipologie di virtualità in alcuni case histories*, 2.1-2.6; Ippoliti, E., & Albinini, P. (2016), *Musei Virtuali. Comunicare e/è rappresentare*. In *DisegnareCon* 9/17, pp. 52-73.

[28] Bonancini, E. (2012). *Il museo partecipativo sul web: forme di partecipazione dell'utente alla produzione culturale e alla creazione di valore culturale*, pp. 93-125.

[29] Cfr. D'Acunto, G., *Augmented Reality and Museum Exhibition. The Reconstruction of the Statues of The Tribuna di Palazzo Grimani in Venice*, pp. 273-278. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone, *Representation Challenges. Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, FrancoAngeli 2021; Sorgente Group S.p.A., *Multimedialità e Scultura Digitale fanno rivivere l'Atena Nike*. In *Archeomatica* 4, 2012.

[30] Per approfondire un'ipotesi di installazione temporanea e di strategia di allestimento del Museo archeologico nazionale di Venezia: Ciammaichella, M., & Liva, G. (2021). *Machines For Thinking And Bodies To Preserve. Exhibition Proposal For The Venice National Archaeological Museum*, pp. 81-96.