

# **F**ROM THE HISTORY OF THE RECOGNITIONS OF THE REMAINS TO THE RECONSTRUCTION OF THE FACE OF DANTE ALIGHIERI BY MEANS OF TECHNIQUES OF VIRTUAL REALITY AND FORENSIC ANTHROPOLOGY

***Stefano Benazzi, Giorgio Gruppioni***

Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali  
Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Ravenna)

***Massimiliano Fantini, Francesca De Crescenzo, Franco Persiani***

Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni Meccaniche, Nucleari, Aeronautiche  
e di Metallurgia, Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Forlì)

***Francesco Mallegni, Gabriele Mallegni***

Dipartimento di Biologia, Università di Pisa

## **1. Introduction**

The technological innovations in several fields of humanities have remarkably contributed to the improvement of life quality and the progress of scientific research. Thanks to new technologies, thorny unsolved problems and old questions that in the past had no answers, can today have explanations. Thanks to innovative technologies, such as Inverse Engineering and the Fast Prototype, mainly employed in industrial field [1], but more and more often applied to the field of cultural heritage, the reconstruction of the face of Dante Alighieri was allowed to begin. In the first half of 1900 researchers already tried to carry out a similar experience by means of techniques and instruments available at that time. Without diminishing the outcomes of past researches that, as we will see, have been essential to finish our work, we were asked for a further contribution in order to better know the human figure of Dante thanks to most advanced scientific knowledge and modern technologies. This work, carried out on occasion of the 7<sup>th</sup> century anniversary of the writing of the Divine Commedia, started from the morphologic and morphometric information acquired during the last recognition of the skeletal remains of the poet executed in 1921, on the six<sup>th</sup> century anniversary of his death, by Fabio Frassetto and Giuseppe Sergi, university professors of anthropology respectively at the University of Bologna and Rome in the first half of the 1900. Considering that it was not possible to have the bony remains of Dante, all the available documentation we have, in particular concerning the skull, refer to two studies conducted on that occasion. That is why

it is necessary to present, before we draw a specific interest in the scientific phase of our job, a short description of the vicissitudes undergone in the centuries by the bony remains of the poet till the outcomes of the 1921 recognition and to the subsequent researches.

## 2. The skeletal remains of Dante

After his death in Ravenna in 1321, probably owing to an attack of malarial fever that he caught during the return travel from Venice where he had been sent for an embassy by Guido Novello from Polenta, mayor of the city of Ravenna, Dante was buried near the church of Ravenna of Saint Francesco where he presumably remained until the beginning of the 1500s. In that period indeed, the Florentines, that had never stopped requiring to get the remains of the poet, found Pope Leone X de Medicis as an important supporter for their demands. Fearing therefore a more resolute action of the Medicis that could take the remains of the poet, the monks of the Convent of S. Francesco probably stole them between 1515 and 1519 and hid the skeletal remains of Dante. Consequently in 1519 the delegation sent to Ravenna by Leone X with the attempt to bring the remains of the divine poet back in the native city, only found in the sepulchre some phalanges and parched leaves of bay.



*Figure 1. Wooden box containing the skeletal remains of Dante Alighieri found near Quadraro di Braccioforte on the 21<sup>st</sup> of May 1865<sup>1</sup>.*

It is not possible to exactly know where the bones remained hidden from that date; the friars may have secretly kept them inside the convent until 1810, when, as a result of the abolition of the religious orders by Napoleon, they were taken away. In those circumstances, closed in a wooden box, the remains may have been kept in the space of a door, near the close cemetery of Braccioforte, where they were found in May 1865 during works of restoration of Dante's sepulchre and of Braccioforte Chapel ordered in the occasion of the sixth centenary of the birth of the poet. The box found on that occasion (fig. 1), showed two inscriptions dating back to 1677 by father Antonio Knows, guardian of the monastery of S. Francesco, that attested on one side the authenticity of the

skeletal remains contained in it, and on the other hand, the fact that, at least between 1500 and the second half of the 1600s, but presumably until the 1800s, they were not taken out of the convent [2-3]. Outside and inside the box in fact the following inscriptions were written: «*Dantis Ossa – a me Fra Antonio Santi – hic posita – Ano 1677 die 18 octobris*»; «*Dantis Ossa – Denuper revisa die 3 Junij 1677*».

The first real recognition of the remains of Dante goes back as early as 1677, it however only remains the registrations on the box drawn up by father Santi. The second recognition instead happened as indicated earlier at the moment of the rediscovery of the bones in 1865 during restorations conducted around to the tomb of the poet, in occasion of the six<sup>th</sup> century anniversary of his birth. Two experts of Ravenna, the surgeons Giovanni Puglioli and Claudius Bertozzi, were in charge of carrying out the study of the bony remains, and an essay was published 5 years later by the Town hall of Ravenna [4]. Taking into account the observations made by the two experts concerning the state of conservation of the bones, it was possible to deduce that the remains had not been directly buried in a grave, but inside a sepulchre. The bones indeed appeared very well kept, they were reported to be of dark red colour, solid, without signs of erosion and they did not show traces of deposit of mineral salts inside the spongy woven, which normally characterizes skeletal remains buried in the earth. In the essay the two surgeons emphasize a detailed list of all the bones contained in the box, which is then substantially confirmed in the last recognition of the remains in 1921. In particular the absence of the jaw, of the teeth, of both ulnas, of the right fibula (splint-bone) and of the greater part of bones of the feet and hands was highlighted. The 1870 document, bare of morphologic and morphometrical descriptions, however declares that the skeletal remains contained in the box belonged to a single individual, male, of advanced age and of medium height around 167 cm. Moreover the asymmetry of the skull was observed especially because of the left parietal that showed more prominent than the right one. At the end of the scientific recognition, the remains were solemnly placed in the original marmoreal urn that had contained, as it has been said, presumably till 1519, the remains of the poet.

Dante's sarcophagus was opened in 1921 again, just between the 28th and 31st of October. The scientific examination of the bones was entrusted to the anthropologists Fabio Frassetto and Giuseppe Sergi who, though little time to dedicate to the study carried out directly on site on the 29th and 30th of October, realized a morphologic description of all found bones and carried out 297 osteometrical measures. On that occasion they also made 16 photographs, 6 of which relative to the skull according to the different norms. The results of this work were described in a document published in 1923 [5].

### 3. The work of the anthropologist Fabio Frassetto

#### 3.1. Comparisons with Dante's iconography

After the recognition of the remains and the publication of the first results, Frassetto further developed his studies on Dante's bones, the results of which were published in a great piece of work with the title "*Dantis ossa. La forma corporea di Dante*" [6]. The anthropologist from Bologna was particularly tormented by a question that has inspired an important part of his work in the following years, a question that remains a current one and that was triggered by the curiosity to know what the real aspect of the face of our greater poet was. The iconography has surely transmitted to us an image of Dante that entered the universal collective imaginary, but to which extent is the representation faithful to the poet's real features? And among Dante's various effigies that art produced, which one can be said to mostly look like his real physiognomic features? In order to provide an answer to this question, Frassetto considered that the face of an individual reflects, to some extent, the skeletal structure; he then developed the idea of comparing the most faithful portraits of Dante as well as some funerary masks, with the profile of the poet's skull drawn from the photographs done during the recognition. Among the different portraits, the anthropologist from Bologna chose the one reproduced in the fresco by Giotto and kept in Florence in the Bargello palace, the one kept in the Palatino Code, portrait executed by Vasari, as well as the miniatures of the Eugenio Code and Riccardiano Code; among the masks, he compared those called of Kirkup and Torrigiani (the last one is actually a bust that is thought to be «...a reproduction... of the mask realized over Dante's body», considered as the moulds of the two most famous masks of Dante, while between the busts he chose the one known as bust of Naples and the one carved by the sculptor Vincenzo Vela.

If we consider the limited technological possibilities of the age, the comparisons were carried out by means of superimpositions of bidimensional images in frontal and lateral norm. It was of course necessary to reorganize the works considered in connection with the measures of the skull and, in the case of the paintings, because the image of the poet is sometimes reported as in the fresco of Giotto and in the Palatino Code, Frassetto had, in order to have the most rigorous comparisons, «... at first, to portray the profile of the skull in the same position as it is in the fresco and, in a second stage, to reduce the profile of portrait... in order to adapt as best as possible to the profile of the skull...»<sup>3</sup>. In all cases, be it for portraits or the busts and masks, the agreement between the compared images was obtained identifying the matching points of the face and of the skull. At the



Figure 2. Miniature of the Palatino Code. In the right image the portrait is compared with the profile of the skull<sup>6</sup>.

end of this complex and very meticulous work, Frassetto thought he could assert that Dante's images were not reliable nor faithful reproductions of the real face of the poet. In fact, the masks and the busts show too many morphologic and morphometrical contradiction that can be found in many works: too receding forehead, insufficiently prominent and symmetrical nose, in contrast with the asymmetry showed by the nasal bones and the nasal septum, small and oblique eyes too distant from one another (in particular in the mask by Kirkup and in the bust by Torrigiani)

On the contrary Frassetto found more corresponding elements with some specific portraits: the fresco by Giotto and even more the Palatino Code, would be the representations of the poet that are best adapted to the morphologic characteristics of skull (fig. 2). Concerning the Palatino code, the anthropologist asserts that «... for the orbits, nose, temples and cheekbones, proportions and shapes of the respective skeletal parts are delineated... in a more faithful way than in the fresco by Giotto»<sup>4</sup> and he also emphasizes that «the highest back of the nose, the most convex profile, the most marked tip, the less oblique base in the lower part... all show in the fresco more matching elements with the real being than any other»<sup>5</sup>.

### 3.2. The model of the skull and the reconstruction of the face

Frassetto remained unsatisfied with the obtained results, because the Code showed

differences with the morphology of the skull; he thought he could directly reconstruct Dante's face starting from the skull of the poet. To do so, in that he had not been allowed on the occasion of the recognition of the remains to mould the skull, he wanted to create a model in chalk taking into account the measures and the photographs taken on the original in 1921; he intended to conduct this action also thanks to the mould of the palate and of the median part of the face that, he declared he was able to realize on that occasion even though it had been forbidden (fig. 3).

After several years of work, through the realization of several models in chalk that better corresponded each time to the morphology and dimensions of the original skull, Frassetto finally obtained a model that was faithful to Dante's skull (fig. 4).

Frassetto therefore got involved in the overall reconstruction of the jaw (that was not found inside the sepulchre) until he realized a copy in chalk that, in terms of morphology and morphometry, was perfectly adapted to the characteristics of the skull, both regarding the temporal-mandibular articulation and the alveolar arch of the maxillary. except for some characteristics of the rest of the skull (temporal-mandibular articulation and dental occlusion), It is obvious that the reconstruction of the jaw remains a rather subjective process, in particular as far as the shape and prominence of the chin, the width of the jaw and the bony strength are concerned, because it cannot rely on objective morphological and metric data collected from the original sample.



*Figure 3. Moulds of the median part of the face (on the right) and of the palate (on the left) of Dante Alighieri's skull, kept in the Museum of Anthropology of the University of Bologna.*





Figure 4. Chalk model of Dante's skull by Fabio Frassetto, kept in the Museum of Anthropology of the University of Bologna.

The obtained cranial model of Dante, including the jaw, led Frassetto to cover the skull with soft parts so as to restore the face. Helped by an artist from Bologna, the sculptor Antonio Borghesani, Frassetto applied at that time the innovative technique of facial reconstruction consisting in covering the skull with soft tissues, according to medium thickness previously determined in specific points of the face and personally verified by x-rays on heads of living individuals with similar physical and constitutional characteristics.

For the modelling of the soft parts that do not directly lie on the skeletal substrate, such as the cartilage nasal pyramid, the lips, the chin, Frassetto took relevant elements from the Codice Palatino's portrait, considered by Frassetto the most faithful facial skeleton, and he lightly emphasized the features in order to represent the poet in more advanced age. After many years of work, in front of Dante's face reconstructed on scientific bases (fig. 5), Frassetto was satisfied of the obtained results and observed that all the features of the face, and in particular the large and thoughtful eyes, the closed lips, the meagre cheeks and the gibbous nose, reveal the strong personality of the poet and arouse feelings of strength and spiritual force.

More than 70 years after Frassetto's work realized through rigorous scientific approach of the time, a new reconstruction of the face of the poet Dante Alighieri was put forward. That was possible thanks to new technologies of three-dimensional modelling as well as modern contributions of the forensic anthropology aimed at facial reconstruction.



Figure 5. Dante's bust carried out by Fabio Frassetto with the collaboration of the Bolognese sculptor Antonio Borghesani, kept in the Museum of Anthropology of the University of Bologna.

#### 4. The work of reconstruction of the new face of Dante

##### 4.1. 3D acquisition of the chalk model of the skull

The work carried out to get to the reconstruction of a new face of Dante started with the 3D scanning of the model in chalk of the skull of the poet executed, as previously said, by Frassetto in the first half of the 1900s (fig. 4). In that common stage of Inverse Engineering, the laser scanner Konika Minolta VI910 was used as an acquisition system. This is a Non Destructive Testing NDT without direct physical contact, because it is based on the optical shot of the object [7-8].

In order to sample the whole surface of the skull, it was necessary to carry out 38 shots, from the upper side, from the bottom and from the sides, which was possible turning around the skull with angles of 45°. The acquisition was carried out trying to guarantee a sufficient superimposition between the various shots (range map), in order to ease the successive procedure of recording in the stage of post-processing [9-10]. Once The recording of all the range maps was over, their fusion was done in a



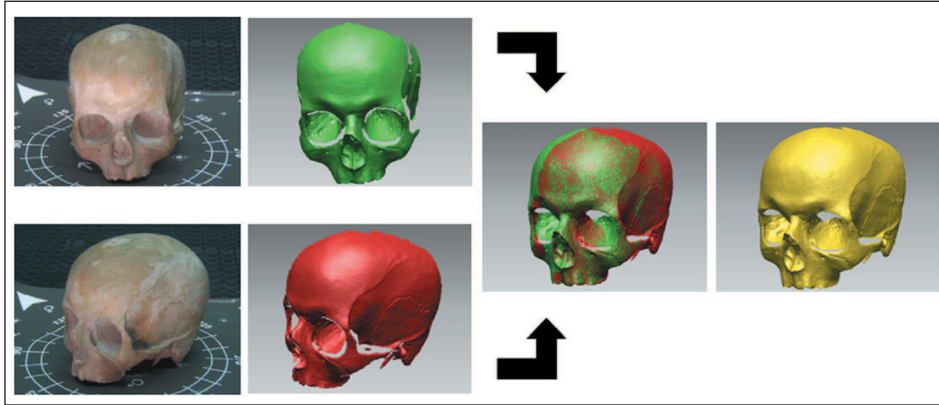


Figure 6. Reconstruction of the digital model of Dante's skull.

single polygonal surface of triangular faces that approximates the surface of the original physical model of the skull (fig. 6). The final mesh was, moreover, corrected so as to turn out closed and without open edges (necessary operation in order to carry out the successive stage of prototype); it turns out to have 700.820 points and 1.401.644 triangles.

In order to check the accuracy of the digital model in comparison with the physical model of the skull carried out by Frassetto, a virtual anthropometric survey in environment CAD Rhinoceros 3,0 was executed, reproducing some measures carried out on the occasion of the 1921 recognition by the two anthropologists, Giuseppe Sergi and Fabio Frassetto on the original skull. To reach this aim, a series of reference points (landmark) on the digital model have been identified and memorized (fig. 7). Thanks to these surveys it was possible to find measurements corresponding to those carried out with the traditional anthropometric approach by means of the callipers (fig. 8).

It is important to emphasize that, once the landmarks identified, all the anthropometric measures can't be invalidated by possible mistakes by the operator. The landmarks can indeed work as a "magnet"; repeating several times the same measurement the result don't change,. The positioning of the landmarks in environment CAD can be accurately managed, avoiding or correcting possible inaccuracies or accidental mistakes. The measurement errors surveyed on the virtual model thus mainly depend on intrinsic errors of the same model, and therefore of a wrong scanning of the single mesh or of a wrong recording of the meshes in order to obtain the definitive 3D model.

The result of the comparison between anthropometric measures surveyed on the cra-

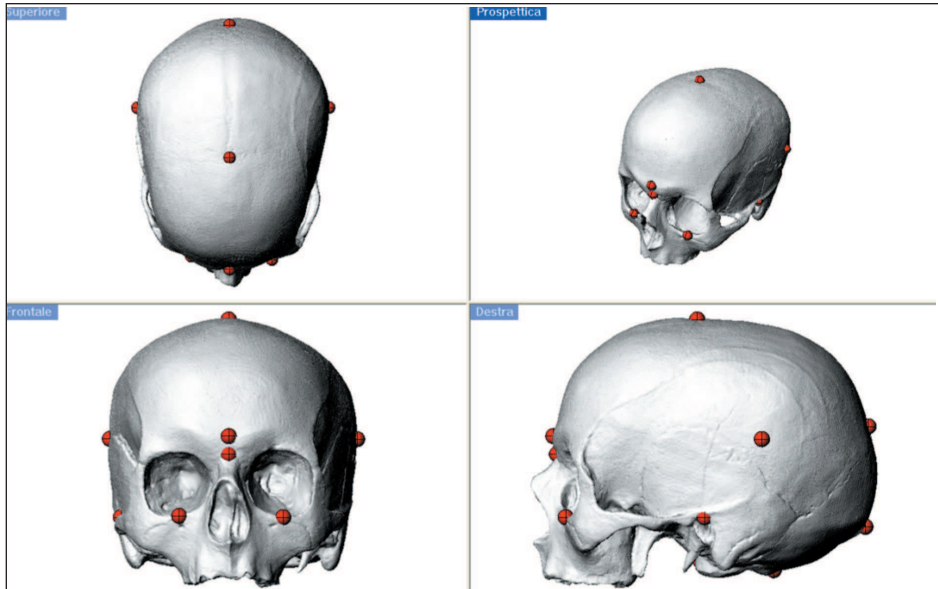


Figure 7. Landmark identification on the digital model.

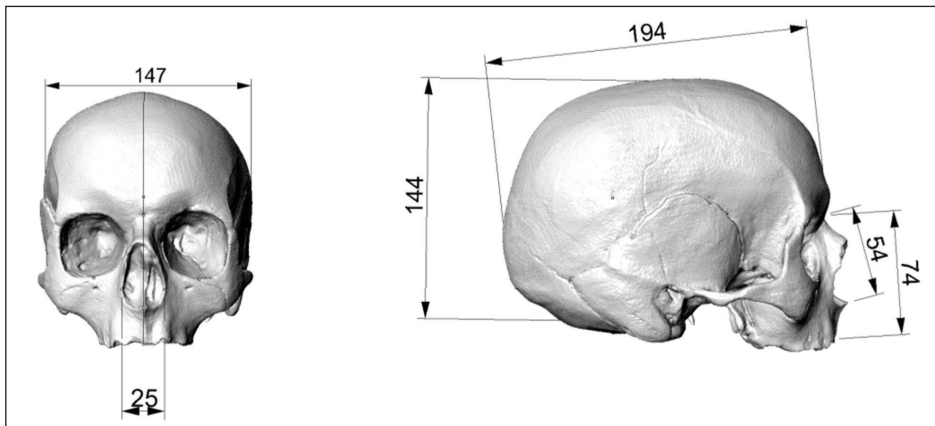


Figure 8. Anthropometric measures on the digital model of the skull.

nial model realized by Frassetto (whose dimensions faithfully reproduce those surveyed in 1921 by the same anthropologist on the original skull) and those obtained on the digital model, confirms the great accuracy of the last one, because the maximum variance between the measures showed inferior to a millimetre.

#### 4.2. Virtual modelling of the jaw

The crucial problem to face, as Frassetto had to, was the re-creation of the jaw, because in 1865 at the time of the discovery of the remains, some bones including the jaw could not be found. Considering that without the jaw it would not be possible to carry out a facial reconstruction, it was necessary to reconstruct a jaw that would be compatible with the morphology and morphometry of Dante's skull, or even better adaptable to the digital model of the skull. While The reconstruction of a jaw must present some requirements reflecting the architecture of the skull, some characteristics cannot be reconstructed from the skull (height and thickness of the mandibular body, dimension of the chin, etc.), because they make the jaw unique as it is for each single individual.

The adopted technologies of 3D modelling have allowed the realization of a digital model of the jaw, but have also permitted to have a greater control in the various stages of the reconstruction. That was very important if we consider the limits met by Frassetto when he undertook the same operation working on chalk models.

The first stage of the work has previewed the selection of a reference jaw, reference point for the following operations of virtual modelling. 90 skulls belonging to the skeletons collection kept in the Museum of Anthropology of the University of Bologna have been therefore examined, in order to select the jaw that could mostly be linked to a skull that, in terms of morphology, was the most similar one to Dante's skull.

The reference jaw was therefore scanned, still with the Konika Minolta VI910 laser scanner, and led to obtain a digital model represented by a mesh of 123.928 points and 247,852 triangles (fig. 9).

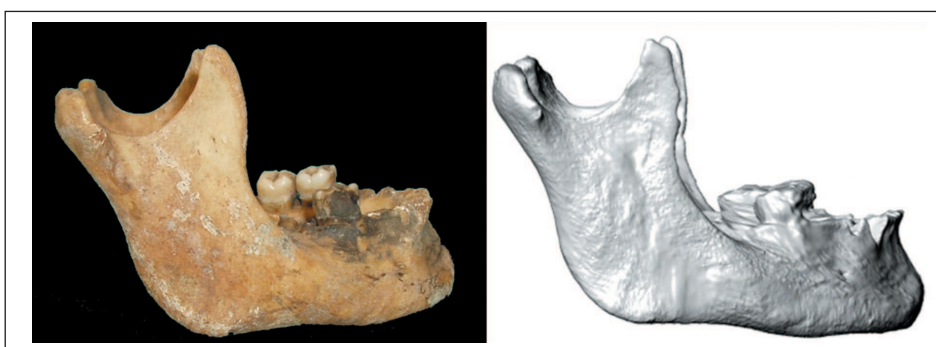


Figure 9. Reference Jaw (on the left) and relative digital model (on the right).

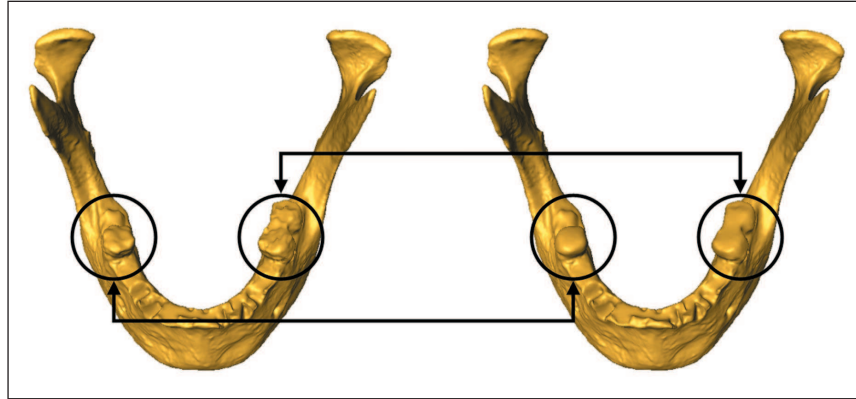


Figure 10. Virtual decay state of the teeth.

This jaw was then subject to some transformations in order to adapt it in terms of temporal-mandibular articulation and of other contact areas of the skull.

Those transformations were based on the correspondence of some reference points selected on purpose. The transformation from the scanned model to the final model was possible through a series of intermediate passages concerning the simulation of the decay level of the teeth, the asymmetry present both in the jaw and in the skull and the adaptation of the jaw to the particular morphology of the palate, relatively wide in the posterior side and straighter in the front side. Considering that the reference jaw belongs to a relatively young subject (circa 30 years old), the teeth were virtually “worn out”, through an operation of smoothing, until it became compatible with a subject older than 50 years old (fig. 10).

The obtained model was subsequently turned upright in comparison to the median sagittal plan, because the left condyloid process of the jaw turned out larger than the right one, while the glenoid cavities of Dante’s skull, within which the same jaw is articulated, show the opposite condition.

Two intermediate models have been obtained from this last, necessary in order to conduct the successive operations of virtual deformation. Such models, called from now as model A and model B, were obtained through operations of scale inside the environment CAD Rhinoceros 3.0. The model A represents an enlargement of the initial jaw such as to guarantee a perfect connection between the articulate surface of the condyle and the surface of the glenoid cavity (temporal-mandibular articulation). The model B represents a narrowing of the jaw at the level of the alveolar arch so as to have it corresponding to the alveolar arch of the maxillary (fig. the 11).

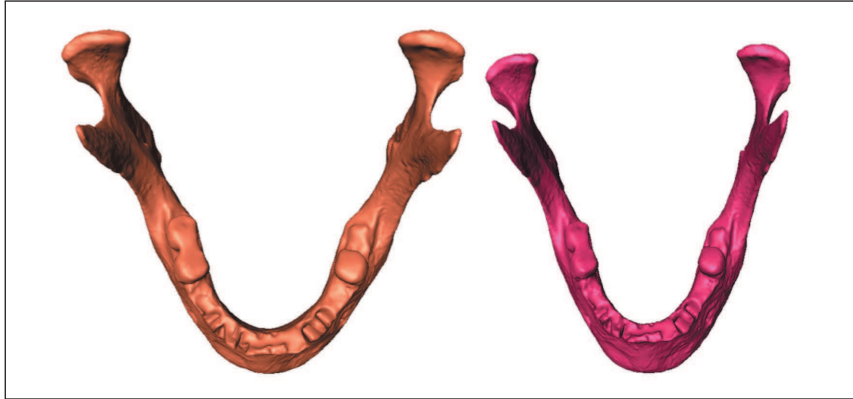


Figure 11. The two intermediate models obtained scaling the mirrored model: model A (left) and model B (right).

At this point an operation of warping, i.e a non linear deformation that allows the realization of the final model, was executed by means of the software Amira 3,1. This deformation leads to transform an original geometric shape into a destination geometric shape. In this case, apart from the original shape represented by the upright model with the virtual “worn out” teeth, two various shapes of destination, the A model and the B model were considered. The departure model has therefore been virtually deformed so as to adapt it to the A model on the back side, and to the B model on the front side. The deformation is based on the definition of points corresponding on both shapes and that, at the end of the transformation, lead to having the shape of departure superimposed to the destination shape (fig. 12).

In order to conduct this operation, the reference points on the departure jaw have been subdivided into two subcategories, among which one of them, the one corresponding to the points found on the back side, has been superimposed to the corresponding points of the jaw A, and the other one corresponding to the points belonging to the front side, refers to the homologous points of the jaw B (fig. 12).

The operation of warping has allowed to obtain a digital model of the jaw to use together with the digital model of the skull represented on the back side by model A, and on the front side by model B (fig. 13).

The modelled jaw (fig. 13) was virtually joined with the skull, obtaining therefore the digital model of the overall skull that was analyzed and, anthropologically speaking, validated in environment CAD (fig. 14)

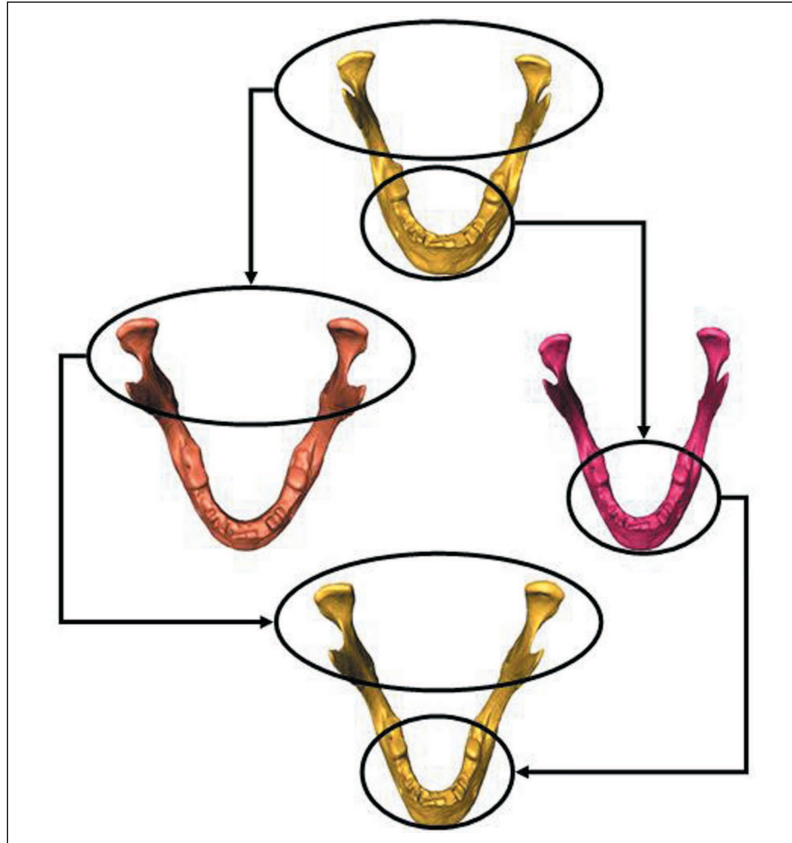


Figure 12. Representation of the homologous points on the starting jaw (right), and on models A and B (left).

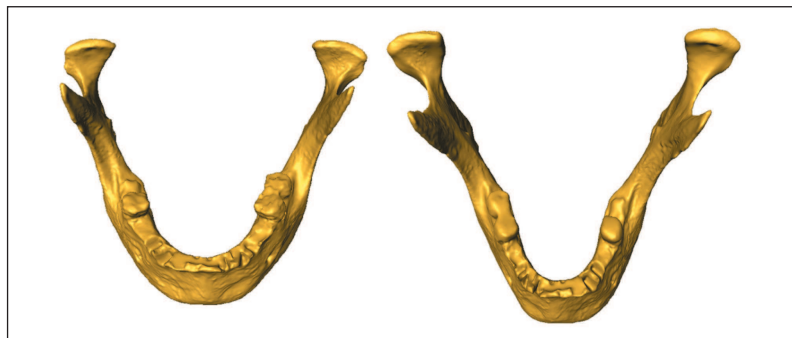


Figure 13. Comparison between the jaw's model obtained by laser scanner and the final model obtained after all the described stages.



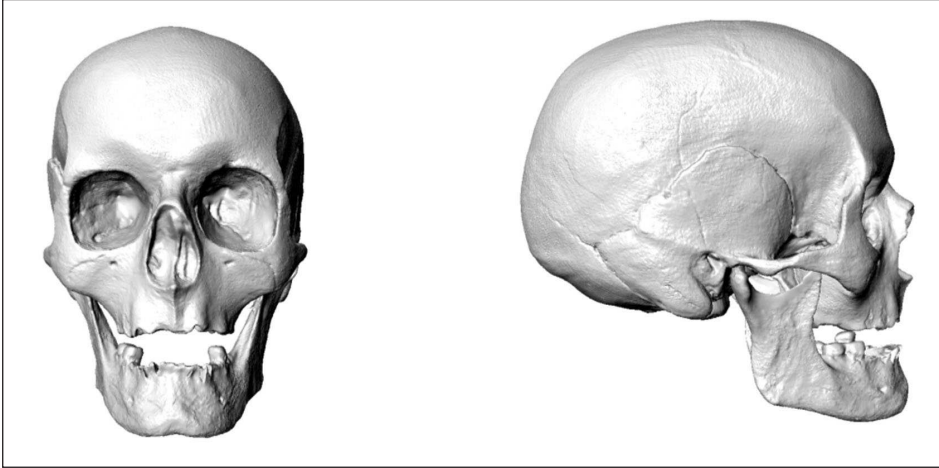


Figure 14. Digital model of the skull including the jaw.

#### **4.3. The prototype procedure (prototyping)**

The physical model of the skull including the jaw in scale 1:1 was obtained through the use of technologies of Fast Prototype procedure that consist in the creation of prototypes by means of material addition layer by layer; those are particularly useful in the case of objects of remarkable geometric complexity [11 ].

In this work the printing 3D Dimension SST (*Soluble Support Technology*) was used, i.e a system based on the technique called FDM (*Fused Deposition Modelling*). This machine, characterized by a maximum work volume of 203 x 203 x 305 millimetre, is able to create objects with a complex shape through the deposition of subsequent layers of material of 0.254 millimetres' thickness. The various sections are realized through extrusion and filament deposition of ABS material at the fused state. This technology previews, moreover, the automatic generation of soluble supports in order to support the prototyped parts. At the end of this stage, the model is located in the washing station, where a warm bath of *WaterWorks* basic solution melts the support and releases the prototype while conserving at the same time integrity of the details of the model. The realization of prototypes (fig. 15) took place in two different work sessions for an overall amount of 47 hours and 3 minutes for the skull model and 7 hours and 9 minutes for the jaw model.

#### **4.4. The facial plastic**

The model of the obtained skull was then useful as a reference for the successive



Figure 15. Model of Dante's skull carried out by Fast Prototyping.

stage of facial reconstruction to be carried out by means of the technique used in the field of forensic anthropology [12]. It consists in the modelling of the soft tissue of the face according to the thickness that they usually have in homogenous beings, according to age, sex and racial type, with the face of whom that is to be reconstructed and taking into account individual elements gathered through an accurate examination of the facial skeleton, in particular of the muscular insertions.

The reconstruction of Dante's face was carried out applying the "method of Manchester" [13-14], i.e. using a chalk mould of the poet's cranial model. On the mould, located according to the "Frankfurt guidelines", 34 even and odd craniometrical points were characterized as the method had previewed it. On these points the thickness of the soft tissues are placed. According to the accurate observation of the muscular insertions on the maxillary, on the inferior margins of the orbits, on bones and on the zygomatic arch as well as on the temporal line, the strength of masticatory muscles and mimic muscles of the face was deduced, and so was their relative development.

In each of the 34 points identified on the mould, a peg with a thickness corresponding to that of the standards and calibrated in function of the relative development of muscles, was stuck, also taking into account the sex and the age range of the studied character (male who died at 56 years old). Subsequently, every facial muscle was reproduced on the mould by means of plasticine, respecting in any cases the thresholds established by the standards of the soft tissues' thickness in each single point [14]. In order to reproduce the skin tissues, the superimposition of a layer of plastilina was then carried out.

On the obtained facial model, the ocular globes on a scale corresponding to the real

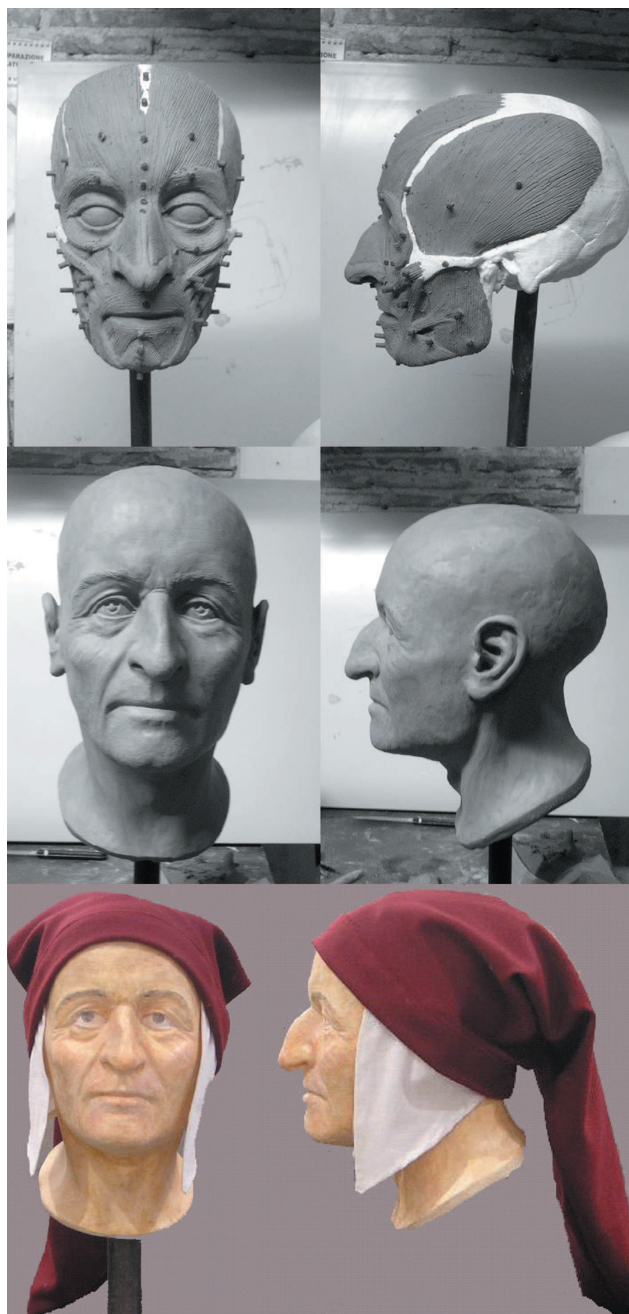


Figure 16. Stages of facial reconstruction.

orbital cavities – that are in Dante's skull rather large – were placed; the shape to the nose was realized taking into account the remarkable development of the nasal spine, the angle-shot of the nasal coana pavement and the convex course of the terminal part of the bony nasal profile, as well as the shunting line towards left of the nasal septum and the gibbosity present at the level of the right nasal bone. The development of the mouth rhyme was calculated according to the indexes put forward by Wilkinson [14]. In particular, for the shape of the upper lip we took into account the *ante mortem* loss of the incisors and of the right canine which involved an upper lip lightly re-entering compared to the inferior one. Finally, the age to the dead poet (death at 56 years old) has led to give the skin the colour and wrinkles that may characterize his age (fig. 16).

## 5. Conclusion

The reconstruction work of Dante's face has represented an interesting case of multidisciplinary integration of techniques and various knowledge. The research was in fact carried out through a methodological development that has joined anthropological competences, technical-planning abilities and skills in achieving accurate requirement and reliability on the process.

Instruments of Inverse Engineering and Fast Prototype procedure were usefully employed for the realization of the physical model of the entire. In particular, every stage of jaw reconstruction through a process of three-dimensional virtual modelling, was carefully examined and validated in CAD environment and this contributed to fastening the modelling operation and reaching a final model with quite a good accuracy.

On the model of the obtained skull, the facial plastic was then realized according to the morphologic and morphometric characteristics of the skull, as well as according to the soft tissues' thickness following the indications supplied by modern forensic anthropology.

Among the miscellaneous portraits of Dante, a new one is introduced; it remains faithful to Dante's appearance as it is in the collective imaginary: his face, indeed keeps the universal features of the poet (a little strong jaw, prominent chin, nose with convex back and lightly crooked). We think, however, that this face is the one that mostly corresponds to the features of the skull that is everything we have from the poet. For sure it is not an idealized face, it appears less personified, perhaps more human and closer to the human beings we are.

In any case we are well aware that such a reconstruction cannot represent a definite memory of the real features of Dante. It indeed depends on many a variable, some of them characterize his own individual (like for instance the shape of the eyes, the nose

and mouth), others on the contrary regard more dynamic aspects, like the thickness of the adipose tissues (and therefore a more or less round face); this leads us to consider and accept subjectivity in a field where science and art meet. This is the reason why *Graphic Computer* is now developing in this field [15]. However both methods show some limits.

The traditional method indeed leads to very realistic results, but it remains stuck to one single possible solution from the same departure skull: we have to take into account the several aspects concerning for instance the variability of the thickness of subcutaneous adipose tissue and therefore the relative thinness or fatness of the face. On the other side, the techniques of *Graphic Computer* applied to facial reconstruction potentially lead to the realization of digital models that can be easily modified, in interactive modality, in order to bring various hypotheses forward, but it must be said that today, they cannot still compete with the traditional manual approach.

In order to overcome the limits of both methods, a possibility could be that of using an approach with both modalities such as manual and digital. Doing so, the obtained digital model from the 3D scanning of the reconstructed face with manual technique, could be subject to virtual modifications in order to answer further hypotheses of the reconstructed face, and maintaining at the same time the precision of the characteristics manually moulded.

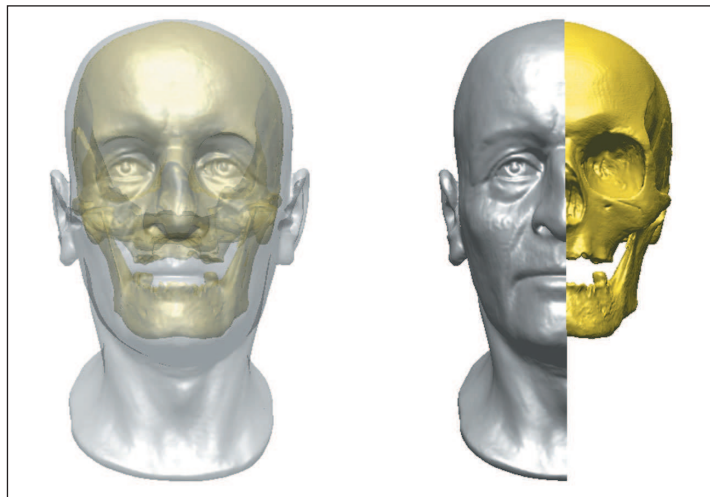


Figure 17. Superimposition of the digital models of the skull and of the face reconstructed through techniques of forensic anthropology.

Striving towards this aim, a first step has been the acquisition, through laser-scanner, of the 3D digital model of Dante's face, realized by hand, and which has allowed to carry out a three-dimensional comparison between the reconstructed face and the skull of the poet. This comparison, that is definitely impossible in that the realization of the face erases the model of the skull, has emphasized the right morphologic and morphometric conformity of the face with the skull (fig. 17), and has testified of the methodological accuracy and of the good quality of the achieved result.

### Notes

- <sup>1</sup> Photographic archives Classense Library.
- <sup>2</sup> Frassetto 1933, p. 161.
- <sup>3</sup> Ibid, p. 85.
- <sup>4</sup> Ibid, p. 95.
- <sup>5</sup> Ibid, p. 110.
- <sup>6</sup> Ibid, pp. 105, 101.

### Bibliography

- [1] CAPUTO F., MARTORELLI M. 2003, *Disegno e progettazione per la gestione industriale*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane.
- [2] RICCI C. 1891, *L'ultimo rifugio di Dante Alighieri*, Milano, Hoepli.
- [3] MESINI G. 1965, *La tomba e le ossa di Dante*, Ravenna, Longo.
- [4] PUGLIOLI G., BERTOZZI C. 1870, *Relazione anatomico-fisiologica sulle ossa di Dante*, in Angeletti G., *Della scoperta delle ossa di Dante, Relazione con documenti per cura del Municipio di Ravenna*, Ravenna.
- [5] FRASSETTO F., MURATORI S., SERGI G., RICCI C. 1923, R. *Accademia Naz. dei Lincei* CCCXX – 17.
- [6] FRASSETTO F. 1933, *Dantis ossa. La forma corporea di Dante*, Bologna.
- [7] BÖHLER W., MARBS A. 2002, *3D Scanning Instruments*, CIPA, Heritage Documentation – International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording-Corfu, Greece.
- [8] BÖHLER W., HEINZ G., MARBS A., SIEBOLD M. 2002, *3D Scanning Software: an Introduction*, CIPA, Heritage Documentation – International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording-Corfu, Greece.
- [9] BERNARDINI F., RUSHMEIER H.E. 2002, *The 3D Model Acquisition Pipeline*, Computer Graphics Forum 21, pp. 149-172.
- [10] SCOPIGNO R., *Gestione Efficiente dei Dati Prodotti dai Sistemi di Scansione Tridimensionale*, Laser Scanner e GPS: Paesaggi Archeologici e Tecnologie Digitali, 4, 2005, pp. 41-68.



- [11] GATTO A., IULIANO L. 1998, *Prototipazione Rapida: le tecnologie per la competizione globale*, Milano, Tecniche Nuove.
- [12] DE GREEF S., WILLEMS G. 2005, *Three-dimensional cranio-facial reconstruction in forensic identification: latest progress and new tendencies in the 21st century*, *Journal of Forensic Science* 50 (1), 12-17.
- [13] PRAG J., NEAVE R. 1997, *Making Faces*, London, British Museum.
- [14] WILKINSON C. 2004, *Forensic Facial Reconstruction*, Cambridge, Cambridge University Press.
- [15] CLEMENT J., MURRAY K. 2005, *Computer-Graphic Facial Reconstruction*, London, Elsevier Academic Press.

***Dalla storia delle ricognizioni dei resti  
alla ricostruzione del volto di Dante Alighieri  
mediante tecniche di realtà virtuale e antropologia forense***

**1. Introduzione**

*Le innovazioni tecnologiche nei vari campi delle attività umane hanno contribuito notevolmente al miglioramento della qualità della vita e al progresso della ricerca scientifica. Grazie alle nuove tecnologie, annose questioni rimaste irrisolte e vecchi quesiti che in passato non trovavano risposte, possono oggi trovare felicemente spiegazioni o almeno qualche elemento in più di conoscenza. È proprio attraverso tecnologie innovative, principalmente impiegate in ambito industriale [1], ma applicate sempre più intensamente nel settore dei beni culturali, quali l'Ingegneria Inversa e la Prototipazione Rapida, che ha preso vita il progetto di ricostruzione del volto di Dante Alighieri. Già nella prima metà del 1900 è stata tentata un'impresa simile, naturalmente mediante le tecniche e le strumentazioni disponibili all'epoca. Senza quindi sminuire gli esiti delle passate ricerche che, come avremo modo di vedere, sono stati imprescindibili ai fini del nostro lavoro, ci si è proposti di fornire, dopo tre quarti di secolo, un ulteriore contributo per meglio conoscere la figura umana di Dante proponendo, sulla scorta delle più avanzate conoscenze scientifiche e con l'ausilio delle moderne tecnologie, un'ipotesi attendibile di quelle che dovevano essere le vere sembianze del poeta. Questo lavoro, svolto in occasione del 7° centenario dell'ideazione della Divina Commedia, ha preso spunto proprio dalle informazioni morfologiche e morfometriche acquisite durante l'ultima ricognizione dei resti scheletrici del poeta (eseguita nel 1921, sesto centenario della morte) da parte di Fabio Frassetto e Giuseppe Sergi, professori di antropologia rispettivamente presso le Università di Bologna e di Roma nella prima metà del '900. Non potendo infatti accedere direttamente ai resti ossei di Dante, tutta la documentazione di cui disponiamo, in particolar modo del cranio, si avvale quasi unicamente dei dati acquisiti dai due studiosi in quella eccezionale occasione. Per questo motivo è necessario premettere alla fase scientifica del nostro lavoro una breve descrizione delle vicende che hanno interessato nel corso dei secoli i resti ossei del poeta, fino agli esiti della ricognizione del 1921 e ai risultati delle ricerche che ad essa seguirono.*

**2. I resti scheletrici di Dante**

*In seguito alla morte avvenuta a Ravenna nel 1321, probabilmente in seguito ad un attacco di febbre malarica che lo aveva colpito durante il viaggio di*

ritorno da Venezia dove era stato inviato per un'ambasceria da Guido Novello da Polenta, podestà della città romagnola, Dante venne sepolto nei pressi della chiesa ravennate di San Francesco dove presumibilmente rimase fino ai primi del 1500. In quel periodo infatti i fiorentini, che non avevano mai smesso di reclamare le spoglie del poeta, trovarono in Papa Leone X de Medici un forte sostenitore delle loro richieste. Temendo quindi un intervento più risoluto della volontà medicea, che potesse tradursi nella sottrazione alla città di Ravenna, da parte dei fiorentini, dei resti del poeta, tra il 1515 ed il 1519 i monaci del convento di S. Francesco, probabilmente, prelevarono e nascosero segretamente i resti scheletrici di Dante, così che nel 1519 la delegazione inviata a Ravenna da Leone X con l'intento di riportare nella città natale le spoglie del divin poeta, non trovò nel sepolcro che alcune falangi e foglie disseccate di alloro.

Dove siano rimaste nascoste da quella data le ossa non è dato saperlo con certezza; è probabile che i frati le abbiano custodite segretamente entro le mura del convento fino al 1810, quando, in seguito alla soppressione degli ordini religiosi voluta da Napoleone, vennero portate fuori dal convento. È plausibile che in quella circostanza, racchiuse dentro una cassetta di legno, esse siano state murate nel vano di una porta, in prossimità del vicino cimitero di Braccioforte, dove furono ritrovate casualmente nel maggio del 1865 durante lavori di restauro al sepolcro di Dante e alla Cappella di Braccioforte ordinati nella ricorrenza del sesto centenario della nascita del poeta. È da rilevare che la cassetta (fig. 1), rinvenuta in quell'occasione, presentava due iscrizioni vergate nel 1677 da padre Antonio Santi, guardiano del monastero di S. Francesco, che attestavano, da un lato l'autenticità dei resti scheletrici in essa contenuti e, dall'altro, il fatto che essi, almeno tra il 1500 e la seconda metà del 1600, ma presumibilmente fino al 1800, non uscirono dal convento [2-3]. All'esterno ed all'interno della cassa erano infatti riportate rispettivamente le seguenti iscrizioni: «Dantis Ossa – a me Fra Antonio Santi – hic posita – Ano 1677 die 18 octobris»; «Dantis Ossa – Denuper revisa die 3 lunij 1677».

Al 1677 si può dunque far risalire la prima ricognizione certa dei resti di Dante, della quale tuttavia non restano che le iscrizioni sulla cassa vergate dal padre Santi. La seconda ricognizione fu invece eseguita al momento della riscoperta delle ossa avvenuta fortuitamente nel 1865, come detto sopra, durante alcuni restauri eseguiti intorno alla tomba del poeta, in occasione del sesto centenario della nascita. Due periti ravennati, i chirurghi Giovanni Puglioli e Claudio Bertozzi, furono chiamati ad effettuare lo studio dei resti ossei, di cui venne pubblicata 5 anni dopo una relazione a cura del Municipio di Ravenna [4]. Dalle osservazioni eseguite dai due periti in merito allo stato di conservazione delle ossa, fu possibile desumere che la salma non fu seppellita direttamente in una fossa terragna, ma all'interno di un sepolcro. Le ossa infatti appaiono ben conservate, di colore rosso scuro, consistenti, senza segni di erosione e all'interno del tessuto spugnoso non si rilevarono tracce di deposizioni di sali minerali, cosa invece che caratterizza i resti scheletrici depositi nel terreno. I due chirurghi riportano nella relazione una lista dettagliata di tutte le ossa presenti nella cassetta, lista che venne poi sostanzialmente confermata nell'ultima ricognizione dei resti avvenuta nel 1921. In particolare fu evidenziata l'assenza della mandibola, dei denti, di entrambe le ulne, della fibula destra e della maggior parte delle ossa dei piedi e delle mani. Dalla relazione del 1870, scarna di descrizioni morfologiche e morfometriche, si evince comunque che i resti scheletrici contenuti nella cassetta erano da attribuire ad un solo individuo, di sesso maschile, di età avanzata e di statura mediocre stimata intorno a 167 cm. Inoltre si rimarcava l'asimmetria del cranio soprattutto a causa del parietale sinistro più prominente del destro. Al termine della ricognizione scientifica i resti furono solennemente collocati nell'urna marmorea originaria che aveva ospitato la salma del poeta, come si è detto, presumibilmente fino al 1519.

Il sarcofago di Dante, come ricordato sopra, fu aperto di nuovo nel 1921, precisamente tra il 28 e il 31 ottobre. L'esame scientifico delle ossa fu affidato agli antropologi Fabio Frassetto e Giuseppe Sergi i quali, nonostante il poco tempo concesso per effettuare lo studio, svolto direttamente sul posto nei gior-

ni 29 e 30 ottobre, fecero una descrizione morfologica di tutte le ossa rinvenute e rilevarono ben 297 misure osteometriche. In quell'occasione vennero effettuate anche 16 fotografie, 6 delle quali relative al cranio nelle varie norme. I risultati di questo lavoro furono riportati in una relazione pubblicata nel 1923 [5].

### 3. L'opera dell'antropologo Fabio Frassetto

#### 3.1. I confronti con l'iconografia dantesca

Dopo la ricognizione dei resti e la pubblicazione dei primi risultati il Frassetto sviluppò ulteriormente i suoi studi sulle ossa di Dante che si concretizzarono nella pubblicazione di un'opera di grande pregio dal titolo «Dantis ossa. La forma corporea di Dante» [6]. In particolare l'antropologo bolognese era tormentato da una domanda che avrebbe ispirato una parte importante del suo lavoro negli anni successivi, una domanda ancora attuale che scaturisce dalla curiosità di conoscere quale fosse il vero aspetto del volto del nostro più grande poeta. Certo l'iconografia ci ha trasmesso un'immagine di Dante che è entrata nell'immaginario collettivo universale, ma quanto è fedele la rappresentazione che essa ci fornisce delle sembianze del poeta? E fra le effigi di Dante che l'arte ha prodotto, quale si avvicina maggiormente alle sue reali fattezze fisionomiche? Per dare una risposta a questo interrogativo, Frassetto, partendo dal presupposto che il volto di un individuo riflette, entro certi limiti, la struttura scheletrica sottostante, sviluppò l'idea di confrontare le effigi di Dante, riprodotte nell'iconografia ritenuta più attendibile e in alcune ipotetiche maschere funerarie, con il profilo del cranio del poeta disegnato sulle fotografie eseguite nel corso della ricognizione. Tra i ritratti, l'antropologo bolognese scelse quello riprodotto nell'affresco attribuito a Giotto e conservato a Firenze nel palazzo del Bargello, quello contenuto nel Codice Palatino, il ritratto eseguito dal Vasari, nonché le miniature del Codice Eugenio e del Codice Riccardiano; tra le maschere, prese a confronto quelle dette del Kirkup e del Torrigiani (quest'ultima è in realtà un busto che si ritiene essere «... una riproduzione... della maschera calcata sopra il cadavere di Dante»<sup>2</sup>, ritenute essere i calchi delle due più celebri maschere di Dante, mentre tra i busti scelse quello conosciuto come busto di Napoli e quello scolpito dallo scultore Vincenzo Vela.

Date le limitate possibilità tecnologiche dell'epoca, i confronti furono eseguiti mediante sovrapposizioni di immagini bidimensionali in norma frontale e in norma laterale. Naturalmente fu necessario ridimensionare le opere considerate in rapporto alle misure del cranio e, nel caso dei dipinti, dato che l'immagine del poeta viene a volte riportata di scorcio, come nell'affresco di Giotto e nel Codice Palatino, il Frassetto, per rendere il più rigorosi possibile i confronti, dovette «... in un primo tempo, ritrarre il profilo del cranio nella stessa posizione che ha la testa nell'affresco e, in un secondo tempo, ridurre opportunamente il profilo del ritratto... in modo da adattarlo il meglio possibile al profilo del cranio...»<sup>3</sup>. In tutti i casi, sia per i ritratti che per i busti e le maschere, la corrispondenza fra le immagini poste a confronto fu ottenuta identificando dei punti omologhi, opportunamente scelti, della faccia e del cranio. Al termine di questo lavoro assai complesso e minuzioso, il Frassetto ritenne di poter affermare che, in generale, l'iconografia dantesca non fornisce riproduzioni attendibili e fedeli del vero volto del poeta. Le maschere ed i busti, infatti, presentano troppe incongruenze morfologiche e morfometriche, incongruenze che oltretutto si ripetono, in parte, in molte opere: fronte troppo sfuggente, naso insufficientemente rilevato e simmetrico, in contrasto con l'asimmetria indicata dalle ossa nasali e dal setto nasale, occhi piccoli ed obliqui (in particolare nella maschera del Kirkup e nel busto del Torrigiani) e troppo distanti fra loro.

Il Frassetto trovò invece una migliore concordanza con alcuni ritratti: l'affresco di Giotto e, in maggior misura, il Codice Palatino, sarebbero le rappresentazioni del poeta che meglio si adattano alle caratteristiche morfologiche del cranio (fig. 2). Riguardo al Codice Palatino l'antropologo afferma che «... per le orbite, per il naso, per le tempie e per lo zigomo, la rispondenza alle proporzioni e alle forme delle rispettive parti scheletriche si delinea... ancor più

esatta che nell'affresco di Giotto»<sup>4</sup> e ancora che «il dorso del naso più alto, il profilo più convesso, la punta più segnata, la base meno obliqua in basso che nell'affresco... documentano in questo profilo la massima corrispondenza col vero»<sup>5</sup>.

### 3.2. Il modello del cranio e la ricostruzione del volto

Non soddisfatto dei risultati raggiunti, dato che anche il Codice Palatino presentava delle discordanze rispetto alla morfologia del cranio, il Frassetto si propose di ricostruire direttamente il volto di Dante sulla base del cranio del poeta. A questo scopo, non essendogli stato consentito, in occasione della ricognizione dei resti, di eseguire il calco del cranio, egli si propose innanzitutto di modellare un esemplare in gesso sulla scorta delle misure e delle fotografie rilevate sull'originale nel 1921, ma grazie anche ad un calco del palato e della parte mediana della faccia che, contravvenendo al divieto, egli rivela, in un suo manoscritto inedito, di essere riuscito a realizzare in quell'occasione (fig. 3).

Dopo diversi anni di lavoro, attraverso la realizzazione di vari modelli in gesso che di volta in volta approssimavano meglio la morfologia e le dimensioni del cranio originale, finalmente il Frassetto ottenne un modello che riproduceva fedelmente il cranio di Dante (fig. 4).

Il Frassetto si dedicò quindi alla costruzione ex novo della mandibola (non rinvenuta all'interno del sepolcro) fino a realizzarne un esemplare in gesso che per morfologia e morfometria si adattava alle caratteristiche del cranio, sia a livello dell'articolazione temporo-mandibolare sia in corrispondenza dell'arcata alveolare del mascellare. È evidente che la ricostruzione della mandibola, a parte alcuni caratteri dedotti dal resto del cranio ai quali la stessa deve necessariamente adattarsi (articolazione temporo-mandibolare e occlusione dentale), per il resto, in particolare per quanto riguarda la forma e la prominenza del mento, la larghezza della mandibola e la robustezza ossea, rimane un'operazione piuttosto soggettiva, non potendo basarsi su dati morfologici e metrici oggettivi rilevati sull'originale.

Il modello cranico di Dante, completo di mandibola, così ottenuto, invogliò il Frassetto a rivestire quel cranio delle parti molli in modo da restituirgli un volto. Avvalendosi dell'aiuto di un artista bolognese, lo scultore Antonio Borghesani, Frassetto applicò la tecnica di ricostruzione facciale, certamente innovativa per l'epoca, che consisteva nell'apportare sul cranio il rivestimento di tessuti molli, secondo spessori medi previamente determinati in specifici punti della faccia e da lui personalmente verificati su radiografie di teste di individui viventi dotati di caratteri fisici e costituzionali approssimativamente simili a quella di Dante. Per la modellazione delle parti molli che non appoggiano direttamente sul substrato scheletrico quali la piramide nasale cartilaginea, le labbra, il mento, il Frassetto prese opportuni elementi del ritratto del Codice Palatino, da egli ritenuto il più corrispondente allo scheletro facciale, accentuandone lievemente i tratti per rappresentare il poeta in età più avanzata. Dopo lunghi anni di lavoro, di fronte al volto di Dante ricostruito su basi scientifiche (fig. 5), Frassetto si compiace del risultato raggiunto ed osserva che tutti i tratti del volto, e in particolare gli occhi grandi e pensosi, le labbra chiuse, le guance scarnie e il naso gibboso, denotano la forte personalità del poeta e suscitano sentimenti di fermezza e forza spirituale.

Dopo più di 70 anni dall'opera del Frassetto, nonostante l'approccio scientifico rigoroso che, con gli strumenti dell'epoca, egli pose a fondamento del suo lavoro, sulla base delle nuove tecnologie di modellazione tridimensionale nonché dei moderni apporti dell'antropologia forense ai fini della ricostruzione facciale, ci si è riproposti di realizzare una nuova ricostruzione del volto del poeta Dante Alighieri.

## 4. Il lavoro di ricostruzione del nuovo volto di Dante

### 4.1. Acquisizione 3D del modello in gesso del cranio

Il lavoro da noi eseguito, finalizzato alla ricostruzione di un nuovo volto di Dante, è partito dalla scansione 3D del modello in gesso del cranio del poeta

eseguito, come riportato sopra, dal Frassetto nella prima metà del '900 (fig. 4). In questa fase, tipica dei processi di Ingegneria Inversa, è stato utilizzato, come sistema di acquisizione, il laser scanner Konika Minolta VI910. Si tratta di un procedimento non invasivo, senza contatto fisico diretto, in quanto basato sulla ripresa ottica dell'oggetto [7-8]. Per campionare l'intera superficie del cranio è stato necessario effettuare 38 prese, dall'alto, dal basso e laterali, ottenute ruotando il cranio su se stesso con angoli di 45°. L'acquisizione è stata effettuata cercando di garantire una sufficiente sovrapposizione tra le diverse prese (range map), al fine di facilitarne l'allineamento attraverso il successivo procedimento di registrazione nella fase di post-processing [9-10]. Una volta terminata la registrazione di tutte le range map si è proceduto alla loro fusione in un'unica superficie poligonale a facce triangolari che approssima la superficie del modello fisico originale del cranio (fig. 6). La mesh finale è stata, inoltre, corretta in modo da risultare chiusa e priva di bordi aperti (operazione necessaria ai fini della successiva fase di prototipazione); essa risulta composta da 700.820 punti e 1.401.644 triangoli.

Al fine di verificare l'accuratezza del modello digitale rispetto al modello fisico del cranio realizzato dal Frassetto, è stato eseguito un rilievo antropometrico virtuale in ambiente CAD Rhinoceros 3.0, riproducendo alcune misure effettuate sul cranio originale dai due antropologi, Giuseppe Sergi e Fabio Frassetto, in occasione della ricognizione del 1921. A questo scopo, sul modello digitale sono stati identificati e memorizzati una serie di punti di riferimento (landmark) (fig. 7), in base ai quali è stato possibile rilevare misurazioni corrispondenti a quelle effettuate con l'approccio antropometrico tradizionale per mezzo del calibro (fig. 8). È importante osservare che, una volta identificati i landmark, tutte le misure antropometriche non sono più inficiate da eventuali errori dell'operatore. I landmark possono funzionare infatti come una sorta di "calamita", di modo che ripetendo più volte la stessa misurazione il risultato non cambia, a differenza di quanto può accadere invece con l'approccio tradizionale. Il posizionamento dei landmark in ambiente CAD può essere gestito molto accuratamente, evitando o correggendo eventuali imprecisioni o errori accidentali. Da ciò risulta che gli errori di misura rilevati sul modello virtuale dipendono principalmente da errori intrinseci del modello stesso, e quindi da un'errata scansione delle singole mesh o da una sbagliata registrazione di queste per ottenere il modello 3D definitivo.

Il risultato del confronto tra misure antropometriche rilevate sul modello cranico realizzato dal Frassetto (le cui dimensioni riproducono fedelmente quelle rilevate dallo stesso antropologo sul cranio originale nel 1921) e quelle ottenute sul modello digitale, confermano l'elevata accuratezza di quest'ultimo, dal momento che il massimo scostamento tra le misure è risultato essere inferiore al millimetro.

#### **4.2. Modellazione virtuale della mandibola**

Il problema cruciale che, come già il Frassetto, anche noi abbiamo immediatamente dovuto affrontare è stato la creazione ex novo della mandibola, dal momento che già al momento del ritrovamento dei resti nel 1865, alcune ossa, tra cui purtroppo questa, non furono rinvenute. Considerando infatti che senza la mandibola non sarebbe possibile effettuare una ricostruzione facciale, è stato necessario ricostruire una mandibola che rispondesse per morfologia e morfometria alle caratteristiche del cranio di Dante, o meglio, che si adattasse al modello digitale del cranio. Se da un lato la ricostruzione ex novo di una mandibola deve presentare certi requisiti che riflettono l'architettura del cranio, dall'altro vi sono alcune caratteristiche che non possono essere congetture sulla base di questo (altezza e spessore del corpo mandibolare, dimensione del mento, etc.), caratteristiche che proprio per questo motivo rendono unica la mandibola di ciascun individuo.

Le tecnologie di modellazione 3D adottate hanno consentito non solo la realizzazione di un modello digitale della mandibola, ma anche di operare un maggior controllo nelle varie fasi in cui si è articolata la sua ricostruzione, a diffe-

renza dei limiti incontrati dal Frassetto quando intraprese la stessa operazione lavorando su modelli in gesso.

La prima fase del lavoro ha previsto la selezione di una mandibola di riferimento, base di partenza per le successive operazioni di modellazione virtuale. Sono stati perciò esaminati 90 crani appartenenti alla collezione di scheletri conservata presso il Museo di Antropologia dell'Università di Bologna, allo scopo di selezionare la mandibola pertinente ad un cranio che, quanto alla morfologia, fosse il più possibile somigliante al cranio di Dante.

La mandibola di riferimento è stata quindi scansionata, sempre con il laser scanner Konika Minolta VI910, ottenendo un modello digitale rappresentato da una mesh di 123.928 punti e 247.852 triangoli (fig. 9).

Questa mandibola è stata poi sottoposta ad alcune trasformazioni al fine di adattarla perfettamente a livello dell'articolazione temporo-mandibolare e delle altre regioni di contatto del cranio, sulla base della corrispondenza di alcuni punti di riferimento opportunamente selezionati allo scopo. Il passaggio dal modello scansionato al modello finale si è articolato in una serie di passaggi intermedi riguardanti la simulazione del grado di usura dei denti, l'asimmetria presente sia nella mandibola che nel cranio e l'adattamento della mandibola alla particolare morfologia del palato, relativamente largo nella parte posteriore e più stretto in quella anteriore. Considerando che la mandibola di riferimento appartiene ad un soggetto relativamente giovane (circa 30 anni di età), i denti sono stati virtualmente "usurati", attraverso un'operazione di smoothing, fino a portare l'altezza della corona ad una misura compatibile con un soggetto di oltre 50 anni di età (fig. 10).

Il modello così ottenuto è stato successivamente specchiato rispetto al piano sagittale mediano, in quanto il processo condiloideo sinistro della mandibola risultava più grande del destro, mentre le cavità glenoidee del cranio di Dante, entro cui si articola la mandibola stessa, presentano la condizione opposta.

Da quest'ultimo modello ne sono stati ricavati due intermedi, necessari per guidare la successiva operazione di deformazione virtuale. Tali modelli, indicati di seguito come modello A e modello B, sono stati ottenuti con operazioni di scalatura all'interno dell'ambiente CAD Rhinoceros 3.0. Il modello A rappresenta un ingrandimento della mandibola iniziale tale da garantire un perfetto accoppiamento tra la superficie articolare dei condili e la superficie della cavità glenoidea (articolazione temporo-mandibolare). Il modello B rappresenta un restringimento della mandibola a livello dell'arcata alveolare in modo da farla corrispondere all'arcata alveolare del mascellare (fig. 11).

A questo punto è stata eseguita, mediante il software Amira 3.1, un'operazione di warping, ossia una deformazione non lineare che ha portato alla realizzazione del modello finale. Questa deformazione consente di trasformare una forma geometrica di partenza verso una forma geometrica di destinazione. In questo caso, oltre alla forma di partenza rappresentata dal modello specchiato con i denti virtualmente "usurati", sono state considerate due diverse forme di destinazione, il modello A e il modello B. Il modello di partenza è stato quindi virtualmente deformato in modo da adattarsi al modello A, nella parte posteriore, e al modello B, nella parte anteriore. La deformazione si basa sulla definizione di punti corrispondenti su entrambe le forme che, al termine della trasformazione, portano la forma di partenza a sovrapporsi a quella di destinazione (fig. 12).

Per eseguire questa operazione, i punti di riferimento sulla mandibola di partenza sono stati suddivisi in due sottoinsiemi, dei quali uno, corrispondente ai punti che si trovano nella parte posteriore, è stato sovrapposto ai punti omologhi della mandibola A, e l'altro, corrispondente ai punti appartenenti alla parte anteriore, è stato riferito ai punti omologhi della mandibola B (fig. 12).

L'operazione di warping ha permesso di ottenere un modello digitale della mandibola da accoppiare al modello digitale del cranio rappresentato, nella parte posteriore, dal modello A, e nella parte anteriore, dal modello B (fig. 13).

La mandibola, così modellata (fig. 13), è stata virtualmente congiunta al cranio, ottenendo così il modello digitale del cranio completo, che è stato analiz-



zato e validato, da un punto di vista antropologico, all'interno dell'ambiente CAD (fig. 14).

#### **4.3. La prototipazione**

*Il modello fisico del cranio completo di mandibola, in scala 1:1, è stato ottenuto attraverso l'impiego di tecnologie di Prototipazione Rapida che consistono nella creazione di prototipi mediante l'addizione layer by layer di materiale e che si prestano particolarmente bene nel caso di oggetti di notevole complessità geometrica [11].*

*In questo lavoro è stata utilizzata la stampante 3D Dimension SST (Soluble Support Technology), un sistema basato sulla tecnica nota come FDM (Fused Deposition Modelling). Questa macchina, caratterizzata da un volume di lavoro massimo di 203 x 203 x 305 mm, è in grado di creare oggetti di forma complessa attraverso la deposizione di successivi strati di materiale dello spessore di 0.254 mm. Le diverse sezioni sono realizzate tramite estrusione e deposizione di filamenti di materiale ABS allo stato fuso. Questa tecnologia prevede, inoltre, la generazione automatica di supporti solubili per sostenere le parti prototipate. Al termine della fase di lavoro, il modello viene collocato nella stazione di lavaggio, dove un bagno caldo di soluzione basica WaterWorks scioglie il supporto e libera il prototipo, conservando l'integrità dei dettagli del modello.*

*La realizzazione dei prototipi (fig. 15) è avvenuta in due sessioni distinte di lavoro impiegando 47 ore e 3 minuti per il modello del cranio e 7 ore e 9 minuti per quello della mandibola.*

#### **4.4. La plastica facciale**

*Il modello del cranio così ottenuto è servito quindi da base per la fase successiva di ricostruzione facciale, mediante la tecnica in uso nel campo dell'antropologia forense [12]. Essa consiste nel modellare i tessuti molli del volto in base agli spessori che essi hanno in media in individui omogenei, quanto ad età, sesso e tipo razziale, con quello di cui si vuole ricostruire il volto e tenendo conto degli elementi individuali desunti da un accurato esame dello scheletro facciale, in particolare delle inserzioni muscolari.*

*La ricostruzione del volto di Dante è stata eseguita applicando il "metodo di Manchester" [13-14], utilizzando un calco in gesso del modello cranico del poeta sopra descritto. Sul calco, posizionato convenzionalmente secondo il "piano di orientamento di Francoforte", sono stati individuati i 34 punti cranio-metrici, pari ed impari, previsti dal metodo, sui quali vengono collocati gli spessori dei tessuti molli. In base all'osservazione minuziosa delle inserzioni muscolari sul mascellare, sui margini inferiori delle orbite, sulle ossa e sulle arcate zigomatiche nonché sulla linea temporale, è stata dedotta la robustezza dei muscoli masticatori e dei muscoli mimici del volto, e di conseguenza il loro sviluppo relativo. In ciascuno dei 34 punti identificati sul calco è stato incollato un piolo, di spessore corrispondente a quello previsto dagli standard e opportunamente calibrato in funzione dello sviluppo relativo dei muscoli, e tenendo conto altresì del sesso e della fascia di età del personaggio (maschio, deceduto a 56 anni). Successivamente, ogni muscolo facciale è stato riprodotto sul calco mediante plastilina, rispettando comunque i limiti imposti dagli standard degli spessori dei tessuti molli in ciascun punto [14]. Si è poi proceduto alla sovrapposizione di uno strato di plastilina in modo tale da riprodurre il tessuto cutaneo. Nel modello facciale così ottenuto sono stati quindi collocati i globi oculari, di grandezza proporzionata all'ampiezza delle cavità orbitarie, che nel cranio di Dante sono piuttosto grandi; è stata data la forma al naso, tenendo conto dello sviluppo notevole della spina nasale, dell'angolazione del pavimento delle coane nasali e dell'andamento convesso della parte terminale del profilo nasale osseo, nonché della deviazione verso sinistra del setto nasale e della gibbosità presente a livello dell'osso nasale di destra. Lo sviluppo della rima buccale è stato calcolato secondo gli indici proposti da Wilkinson [14]. In particolare, per la forma del labbro superiore si è tenuto conto della caduta ante mortem degli incisivi e del canino di destra che doveva comportare un labbro superiore*

leggermente rientrante rispetto a quello inferiore. Infine l'età alla morte del poeta (56 anni) ha consigliato di dare alla pelle la grana e le rughe proprie dell'incipiente età senile (fig. 16).

### 5. Conclusioni

Il lavoro di ricostruzione del volto di Dante ha rappresentato un interessante caso di integrazione multidisciplinare di tecniche e conoscenze diverse. La ricerca è stata condotta infatti attraverso uno sviluppo metodologico che ha unito competenze antropologiche, capacità tecnico-progettuali e abilità nel conseguire requisiti di precisione e affidabilità del processo.

Strumenti di Ingegneria Inversa e Prototipazione Rapida sono stati proficuamente impiegati per la realizzazione del modello fisico del cranio completo di Dante. In particolare, ogni fase della ricostruzione della mandibola, attraverso un processo di modellazione virtuale tridimensionale, è stata attentamente visionata e validata in ambiente CAD, velocizzando le operazioni di modellazione e raggiungendo una buona precisione del modello finale.

Sul modello del cranio ottenuto è stato poi possibile realizzare la plastica facciale rispettando le caratteristiche morfologiche e morfometriche dello stesso nonché gli spessori dei tessuti molli secondo le indicazioni fornite dalla moderna antropologia forense.

La lunga serie di ritratti danteschi si arricchisce così di un nuovo volto, che non stravolge però la fisionomia di Dante entrata nell'immaginario collettivo: il volto che ne è scaturito, infatti, conserva i tratti universalmente noti del poeta (mascella un po' forte, mento prominente, naso a dorso convesso e leggermente storto). Riteniamo però che questo volto sia quello più corrispondente alle fattezze del cranio, che è quanto di più oggettivo ci resta delle sembianze del poeta. Un volto certo non idealizzato, meno disincarnato, forse più umano, più vicino a noi comuni mortali.

Ad ogni modo siamo ben consapevoli che anche una ricostruzione cosiffatta non può assurgere a testimonianza definitiva delle reali sembianze di Dante. Troppe variabili sono coinvolte, alcune tipicamente caratterizzanti l'individuo (come ad esempio la forma degli occhi, del naso e della bocca), altre invece concernenti aspetti più dinamici, come ad esempio lo spessore del tessuto adiposo (e quindi un viso più o meno rotondeggiato), da cui deriva una non trascurabile componente di soggettività in una pratica che miscela scienza e arte. Non a caso si sta sviluppando anche in questo campo l'utilizzo della Computer Graphic [15]. Tuttavia entrambi i metodi presentano dei limiti. Il metodo tradizionale infatti conduce a risultati molto realistici, ma congelati ad una sola delle possibili soluzioni ottenibili dallo stesso cranio di partenza: basti pensare ai diversi aspetti legati, ad esempio, alla variabilità dello spessore del tessuto adiposo sottocutaneo e quindi alla condizione di più o meno accentuata magrezza o grassezza del volto. Dall'altro lato, le tecniche di Computer Graphic applicate alla ricostruzione facciale conducono potenzialmente alla realizzazione di modelli digitali che possono essere modificati semplicemente, in modalità interattiva, per fornire diverse ipotesi, ma, al giorno d'oggi, non possono ancora competere, in termini di realismo, con l'approccio manuale tradizionale.

Un'idea per superare i limiti di entrambi i metodi potrebbe essere quella di utilizzare un approccio combinato di entrambe le modalità: manuale e digitale. In quest'ottica, il modello digitale ottenuto dalla scansione 3D del volto ricostruito con tecnica manuale, potrebbe essere sottoposto a modifiche virtuali al fine di restituire ulteriori ipotesi del volto ricostruito, pur mantenendo comunque la precisione dei particolari modellati manualmente.

Un primo passo in questa direzione è stata l'acquisizione, tramite laser-scanner, del modello digitale 3D del volto di Dante, realizzato manualmente, che ha permesso di effettuare un confronto tridimensionale tra il volto ricostruito e il cranio del poeta. Questo confronto, impossibile nella realtà fisica dal momento che la realizzazione del volto sottrae alla vista il modello del cranio, ha evidenziato la buona conformità morfologica e morfometrica del volto con il cranio (fig. 17), confermando l'accuratezza metodologica e la buona qualità del risultato conseguito.

## Summary

The work consists of the reconstruction of the face of the great poet called Dante Alighieri through a multidisciplinary approach that matches traditional techniques (manual ones), usually used in forensic anthropology, with digital methodologies that take advantage of technologies born in manufacturer-military fields but that are more and more often applied to the field of the cultural heritage. Unable to get the original skull of Dante, the work started from the data and the elements collected by Fabio Frassetto and Giuseppe Sergi, two important anthropologists, respectively at the University of Bologna and Rome, in an investigation carried out in 1921, six<sup>th</sup> century anniversary of his death, on the remains of the poet collected in Ravenna. Thanks to this, we have a very accurate description of Dante's bones, including 297 metric data inherent to the whole skeleton, some photographs in the scale of the skull, the various norms and many other bones, as well as a model of the skull subsequently realized by Frassetto. According to these information, a geometric reconstruction of Dante Alighieri skull including the jaw was carried out through the employment and integration of the instruments and technologies of the virtual reality, and from this the relative physical model through fast prototype was realized. An important aspect of the work regards in a particular manner the methodology of 3D modelling proposed for the new reconstruction of the jaw (not found in the course of the 1921 recognition), starting from a reference model. The model of the skull prototype is then useful as the basis for the successive stage of facial reconstruction through the traditional techniques of forensic art.

## Riassunto

Il lavoro consiste nella ricostruzione del volto del sommo poeta Dante Alighieri attraverso un approccio multidisciplinare che combina tecniche tradizionali (manuali), solitamente utilizzate nell'ambito dell'antropologia forense, e metodologie digitali che sfruttano tecnologie nate in ambiente industriale-militare ma che vengono sempre più applicate anche al campo dei beni culturali. Non potendo disporre del cranio originale di Dante, il lavoro ha preso le mosse dai dati e dagli elementi raccolti da Fabio Frassetto e Giuseppe Sergi, antropologi rispettivamente presso le Università di Bologna e di Roma, nel corso della ricognizione effettuata nel 1921, sesto centenario della morte, sui resti del poeta conservati a Ravenna. Grazie a questa ricognizione disponiamo di una descrizione molto accurata delle ossa di Dante, corredata da ben 297 dati metrici inerenti a tutto lo scheletro, di alcune fotografie in scala del cranio, nelle diverse norme, e di molte altre ossa, nonché di un modello del cranio successivamente realizzato dal Frassetto. Sulla base di queste informazioni è stata eseguita, attraverso l'impiego e l'integrazione degli strumenti e delle tecnologie della realtà virtuale, una ricostruzione geometrica del cranio di Dante Alighieri, completo di mandibola, e da questa è stato realizzato il relativo modello fisico tramite prototipazione rapida. Un aspetto rilevante del lavoro riguarda, in particolare, la metodologia di modellazione 3D proposta per la generazione ex-novo della mandibola (non rinvenuta nel corso della ricognizione del 1921), partendo da un modello acquisito come riferimento. Il modello del cranio prototipato è servito poi da base per la fase successiva di ricostruzione facciale attraverso le tecniche tradizionali di arte forense.

## Résumé

L'étude consiste en la reconstruction du visage de l'illustre poète italienne Dante Alighieri par le biais d'une approche multidisciplinaire qui allie les techniques traditionnelles (manuelles) normalement utilisées dans le champ de l'anthropologie de la médecine légale, et les méthodes digitales qui exploitent les technologies nées dans le domaine industriel-militaire normalement appliquées au champ du patrimoine culturel.

Dans l'impossibilité de disposer du crâne original de Dante, le travail a utilisé les données et les éléments recueillis par Fabio Frassetto et Giuseppe Sergi, anthropologues respectivement à l'Université de Bologna et de Rome, au cours de la reconnaissance effectuée en 1921, sixième cen-

tenaire de sa mort, sur les restes du poète conservés à Ravenne. Grâce à cette reconnaissance, nous disposons alors d'une description très précise des os du poète, avec environ 297 données métriques sur le squelette, des photos du crâne selon les différentes normes, et de nombreux os, sans oublier un modèle du crâne réalisé par Frassetto. De par ces informations, une reconstruction géométrique du crâne de Dante Alighieri avec les mandibules a été réalisée grâce à l'utilisation et à l'intégration d'instruments et de technologies de la réalité virtuelle. Ainsi, un modèle physique a été mis au point par le système de création de prototype rapide. Un aspect important du travail concerne, en particulier, la méthodologie 3D proposée pour la création ex-novo des mandibules (non retrouvées lors de la reconnaissance de 1921), partant du modèle acquis comme référence. Le modèle du crâne comme prototype a permis de représenter une base pour la phase successive de reconstruction faciale au travers de techniques traditionnelles de l'art de la médecine légale.

### Zusammenfassung

Das Werk besteht aus der Rekonstruktion des Gesichtes des höchsten Dichter Dante Alighieri durch eine mehrdisziplinäre Annäherung. Es setzt sich zusammen aus traditionellen Techniken (die im Bereich der gerichtlichen Anthropologie benutzt werden) und digitale Meteorologien (die im industriell-militärischen Bereich entstandene Technologien benutzen). Diese werden auch immer mehr im Bereich der kulturellen Güter angewendet.

Da man über Dantes Original-Schädel nicht verfügen konnte, ist das Werk aus den Daten und Grundlagen konstruiert worden. Diese wurden von Fabio Frassetto und Giuseppe Sergi (Anthropologen in den Universitäten von Bologna und Rom), während der durchgeführten Untersuchung der sterblichen Überreste erlangt, die seit 1921 in Ravenna aufbewahrt wurden.

Dank dieser Erkundung verfügt man über eine sehr sorgfältige Beschreibung der Knochen von Dante. Diese verfügt über 297 metrischen Daten, die das ganze Skelett betreffen, über einige Fotos im Maßstab des Schädels und über viele andere Knochen, sowie über ein von Frassetto realisiertes Modell des Schädels.

Aufgrund dieser Auskünfte hat man durch den Gebrauch und die Vervollständigung der Geräte und der Technologien der virtuellen Realität, eine geometrische Rekonstruktion des Schädels von Dante Alighieri durchgeführt. Aus dieser hat man durch schnelle Prototypisierung das relativ-physischen Modell realisiert. Einen bedeutenden Aspekt des Werkes erlangt besonders die vorgeschlagene dreidimensionale Rekonstruktion des Unterkiefers. Das Modell des Schädels hat nachher als Grundlage für die folgende Stufe der Rekonstruktion des Gesichtes durch die traditionellen Techniken von gerichtlicher Kunst gedient.

### Resumen

El trabajo consiste en la reconstrucción de la cara del sumo poeta Dante Alighieri a través de una aproximación multidisciplinaria que combina técnicas tradicionales (manuales) que se suelen utilizar en el ámbito de la antropología forense y metodologías digitales que utilizan tecnologías nacidas en ambiente industrial-militar y aplicadas cada vez más también en el campo de los bienes culturales. No disponiendo del cráneo original de Dante, el análisis ha comenzado desde los datos y elementos recogidos por Fabio Frassetto y Giuseppe Sergi, antropólogos respectivamente en la Universidad de Bolonia y en la de Roma, durante una reconocimiento realizada en 1921, sexto centenario de la muerte, acerca de los restos del poeta conservados en Rávena. Gracias a dicho examen disponemos de una descripción muy detallada de los huesos de Dante, provista de 297 datos métricos referidos a todo el esqueleto, algunas fotografías en escala del cráneo, en las distintas normas, y de muchos más huesos, además de un modelo de cráneo sucesivamente realizado por Frassetto. En base a estas informaciones se ha llevado a cabo, a través de la utilización y la integración de los instrumentos y las tecnologías de la realidad virtual, una reconstrucción geométrica del cráneo de Dante Alighieri completo de mandíbula, y de esto se ha realizado el modelo físico relativo a través de prototipación rápida. En particular, un aspecto relevante del trabajo concierne la metodología de

modelación 3D propuesta para la creación ex novo de la mandíbula (que no se halló durante el reconocimiento del 1921), partiendo de un modelo adquirido como referencia. El modelo del cráneo prototipado ha servido después para la fase siguiente de reconstrucción facial a través de las técnicas tradicionales de arte forense.

### **Резюме**

Работа заключается в восстановлении лица величайшего поэта Данте Алигьери. Эта реконструкция стала междисциплинарным исследованием, включающим в себя как традиционные методы (работа руками), обычно используемые в области антропологии, так и цифровые методы, использующие технологии, разработанные в военно-производственной области, но которые всё более часто применяются в сфере сохранения предметов культурного наследия.

Не имея возможности исследовать подлинный череп Данте, ученые в качестве начальной базы взяли данные, собранные Фабио Фассетто и Джузеппе Серджи, антропологами соответственно Болонского и Римского Университетов. Эти данные были получены в 1921 г., спустя 600 лет после смерти поэта, в ходе исследования его останков в Равенне. Благодаря этому исследованию останков, мы располагаем очень тщательным описанием костей Данте (297 метрических данных, касающихся всего скелета, некоторые фотографии черепа и многих костей, а также модель черепа, впоследствии использованный Фассетто). На основе этих данных была произведена геометрическая реконструкция черепа (вместе с нижней челюстью) Данте Алигьери. Это воссоздание черепа было произведено с использованием инструментов и методов виртуальной реальности. Нижняя челюсть послужила базой для относительной физической модели, полученной путем быстрого сопоставления с первоначальной моделью. Особое значение в работе было уделено методу трехмерного моделирования, предложенной для воссоздания ex-novo нижней челюсти (не найденной в ходе исследования останков в 1921 г.), рассматривая полученную модель как отправную точку исследования. Полученная модель черепа послужила базой для дальнейшего восстановления лица путем традиционных методов.