

Sezione 1  
Section 1

LE RICERCHE TOPOGRAFICHE E URBANISTICHE  
TOPOGRAPHIC AND URBANISTIC STUDIES



## RELATING TIME WITHIN THE GENERAL METHODOLOGICAL STRUCTURE OF ARCHAEOLOGICAL INTERPRETATION

### 1. INTRODUCTION

We have presented and published these past few years a series of papers on the development work that we have been undertaking in the GDR 880 of the CNRS, in our quest for a methodological structure for the recording and analysis of archaeological data and the creation of a European Archaeological Information System.

This project, under the name ArchéoDATA, has been assumed with the varied collaborations essential to be able and test, ameliorate and refine the different components of a system designed to formalise and to structure archaeological document in general.

### 2. OBJECT, SPACE AND TIME

The three basic components of archaeological recording and analysis are the factors of object, space and time. It is through the interaction of these three components, or what we could call the three "S"s of archaeological recording: something somewhere at sometime, that the archaeologist must employ to forge his interpretation and argument his thesis.

During the course of excavation finds are discovered, walls and floors are unearthed, and buildings take shape. These are all objects that at one moment, due to human activity, made up part of one or more areas occupation, and it is through the study of stratigraphic relationships and the associations that are derived, that it becomes possible for the archaeologist to reconstruct individual or multiple spatial complexes. These individual complexes will in turn mirror the occupation at one or more instances of time. Even though many of the particular constituents used to process any one part of the object-space-time trilogy can be said to be important, it is nevertheless these three fundamental relationships, as a whole, which are essential to archaeological interpretation and to all the studies derived from them. It is to further this objective that considerable reflection and experimentation has been undertaken.

Despite the methodological strides that have been undertaken in archaeology this century, and in particular since World War II, we are very far away from the possibilities that could be ours in the present computer aided age. Our profession continues to be dominated by the self centred characteristic that has been ours since the beginning and that continues to extend its

pervasive effect on us and we take refuge in the reasoning that as scientists we cannot but do good work, and, that the methods that we each use, are without doubt, the best.

To compound the problem, if we do find some literature on field archaeology and the techniques of archaeological evaluation and excavation, there is in general a dearth of archaeological literature pertaining to methodological practice and the effectiveness of particular methodologies on archaeological strategy as a whole. Though works from Wheeler, Barker, and others have urged archaeologists, through their writings, for them to be as careful and precise as possible in recording and analysing archaeological phenomena in the field and in the laboratory, there is little debate on how to structure the intellectual process in itself.

The fact is that today the elementary structuring of archaeological interpretation can only lead to, or play into the hands of, those who are only fundamentally interested in "justification" archaeology. Today we find that a frequent result of this policy is that the excavations schemes that are implemented in rescue archaeology have little relevance to cultural heritage and research, and much more to the cost effectiveness seen from a developer's budget-based point of view. The introduction of competitive tendering has undoubtedly raised some of the standards of rescue archaeology, but it has also probably noticeably changed its priorities. Inversely, how many research studies have never been undertaken because of the lack of the methodological means to assure the manipulation of data and maintain the flow of information.

### 3. STRUCTURING INFORMATION

We will overview the fundamental components of the system but we will omit going into excessive detail, as the basic structural concepts and the development work that has already gone into it, has been published elsewhere. We will though present in detail new work that has been undertaken on structuring time.

#### 3.1 *Geographical and administrative space*

Geographic space is recorded directly on the Universal Transversal Mercator (UTM) projection of latitude and longitude. Each grid block comprises of one hundred squares numbered from zero to ninety-nine and related in three stages to the hundreds, tens and units of the UTM coordinates, and correspond directly with the metric system's own structure of kilometre, hectare, are and metre. The resulting number locates the exact unit directly on the surface of the earth. When an excavation grid is set up, the number of each square is determined directly by its X and Y coordinates. Since no two

places can have the same absolute coordinates, all excavation or site data is unique and it can be related to other data recorded in the same way. This is very important for intra and inter-site analysis, and especially for those who will work with Geographic Information Systems.

To manage administrative space, common national and international denominators have been found, as it should be possible for the archaeologist to process data at all spatial scales. The code derived is based on a fourteen digit number structured in three significant parts. The first three numbers identify the country, and are based on the code originally developed for international telecommunications, the following seven numbers are the Postal Union Code, that localise the site on a national level, and the last four position the site and survey data.

It is not only administrators who will find themselves at home with being able to manage their data according to administrative limits and boundaries, but also researchers who will adapt them to their work through the use of Spatial Entities, as will be presented below. For research purposes, most administrative boundaries are either very similar, or are easily adaptable, to those of historic periods, thus reflecting periods of historical space, occupation, culture, influence, etc.

#### 4. RECORDING THE SITE

Everything that has been developed has been done with the relational model in mind and the efficient functioning of these relationships on a computer-based system. That is not to say that it cannot be done manually on a small excavation, it is just that it would be unreasonable on a large or complex excavation and that the long term goal of multi-site analysis would be unattainable.

The management of data pertaining to each one of the components of object, space and time, should be undertaken, if possible with the same common elementary structure. Due to the diversity of recording methods, and in particular the inconsistent terminology used to express what in essence were similar things, a designation based on the word "Entity" was initiated so as not to be handicapped by ambiguity in meaning.

##### 4.1 *Archaeological Entities*

The Archaeological Entities (AE) assign a precise archaeological identity to one or more related stratigraphic units that have been interpreted as being a specific archaeological manifestation (Fig. 1). If they are identified as being a wall, they are identified by a name in the form of a three letter abbreviation (WAL) and numbered uniquely (WAL 1, WAL 2, ...). Once identification has been achieved, it is no longer necessary to continue to reason, in the

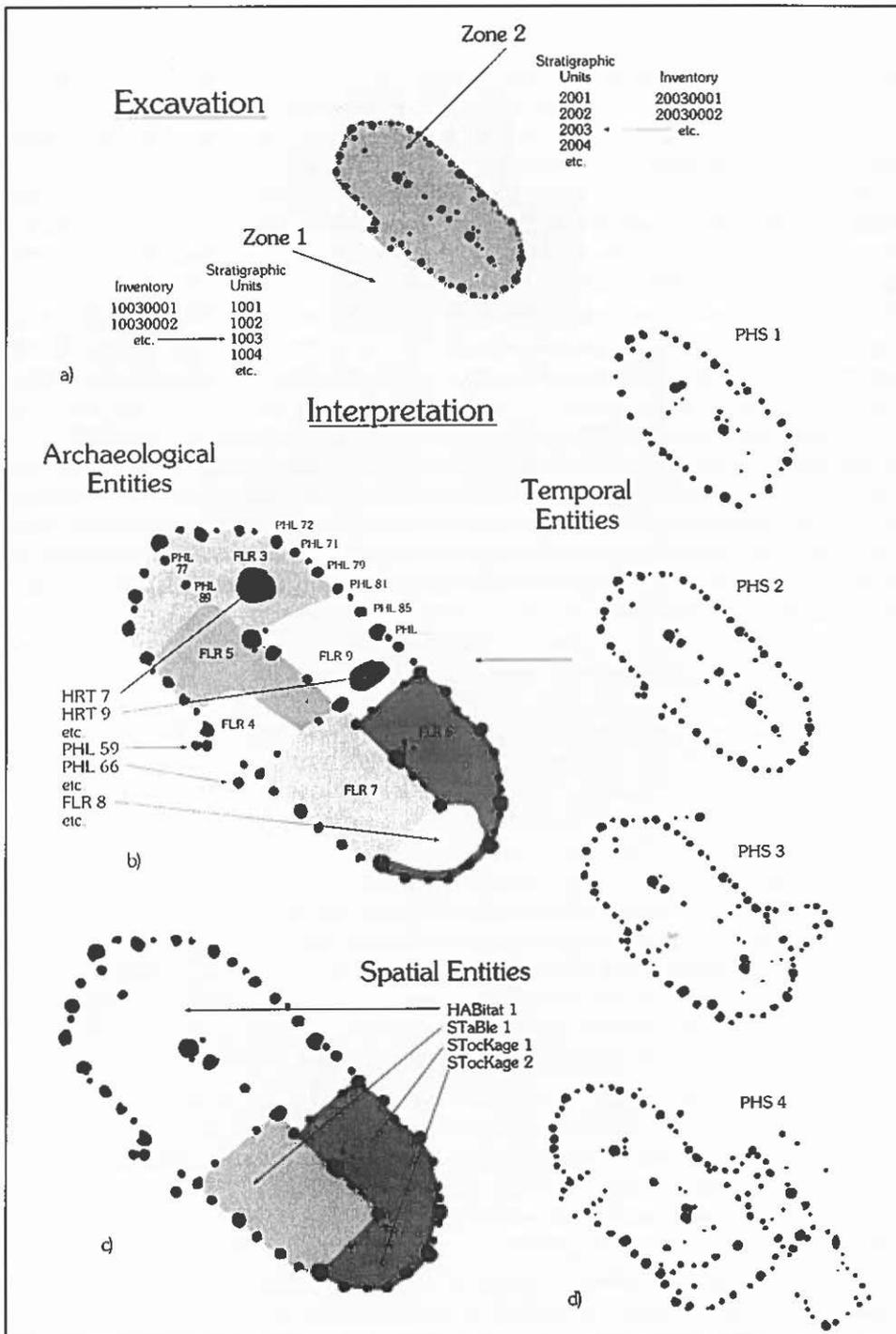


Fig. 1

following stages of interpretation, in stratigraphic units, but instead in the building blocks created by man at the time: walls, floors (FLR), silos (SIL), etc.. By identifying them clearly it becomes possible to readily select, group and compare; to quantify the components and contents of a series of AEs, to determine their origin, their use and their chronology. Nothing impedes the archaeologist from going back at a later moment to details of the stratigraphic units that make up the AE to check on composition, content or a particular relation.

Archaeological Entities, as the other Entities, exist in a second variant, the Structured Entity. This follows along a hierarchical logic, were it is accepted that there are successive levels of integration, both physical and interpretational, in describing the archaeological record. In the case of the Structured Archaeological Entity, it can be easily illustrated by the example of a house (HSE), which is composed of numerous Archaeological Entities of many different types. HSE 17 can be composed of 24 WALs, 6 FLRs, 2 FRP, a WEL, and surrounded by 3 PITs and as many SILs.

While these two types of Entities correspond to "feature" and "structure" in contemporary excavation terminology, their usage is considerably more flexible. Using the relational model, it is very easy to organise, though the Structured Entities, different levels of data in an unconstrained manner.

A derived type of entity are the Architectural Entities and they exist for recording and analysing standing structures and they vary only in name from their archaeological homologue, as it is simply the passage of time that converts one to the other. In practice it has been found that it is better to use two names to characterise each specific area of use, as would, for example, an architectural study consider a refuse pit as being an architectural structure.

#### *4.2 Spatial Entities*

The Spatial Entities (SE) are elements of interpretation determined to be those which make up the natural environment, the human modification of this environment, and lastly, the spaces created, in and around places of human activity. It is from these elementary notions that we have formalised the elements necessary to manage the data that is to be spatially studied.

The concept of the Spatial Entity is set forward as the spatial element for managing a collection of spatially related data so as to determine and compare content and usage of a given space. The space is characterised by material remains present and through them it is possible to contrast different spatial elements that make up a structure. Spatial Entities can be configured to cover practically any space. Some are logical and their configuration is dictated by the physical shape of a room, a corridor or a courtyard, while others, the surroundings of a house, for example, can stay indeterminate as

to their use, until later stages of interpretation when they might be characterised and then designated as areas of storage or disposal. The interior areas of a longhouse can be chemically analysed, its sherds quantified and spaces of occupation determined and structurally compared to other houses. Spaces can be designated as work areas, where specific actions have taken place. A room where a hearth and certain types of ceramics are found can be designated a kitchen, and a room near it, a storage area because of its content.

Two levels of Spatial Entities are available, the first, as we have said can be a room, a corridor, etc., they are the basic components used to identify elemental spaces, the second is composite. Several associated spaces can be said to be a HABitat, is the Structures Spatial Entity which brings together several Spatial Entities. Even though they are essentially a means for spatially structuring intra-site data, SEs are not necessarily limited to this scale of analysis, and they can be adapted to intra-site work and defined by the archaeologist to cover larger units of space depending on research needs.

### 4.3 *Temporal Entities*

Archaeology as an object-space-time relationship, needs to manage all three of these factors in order to arrive at valid conclusions, but in particular the temporal aspect. To effectively model evolution, it is necessary to efficiently access spatio-temporal data, that is, to process the dimensions of both space and time in relation to one another. If we in archaeology are to effectively analyse human chronological / historical evolution through the study of material remains and of the traces left through time, it is fundamental that a spatio-temporal component be structured to analyse the data in this dimension. The Temporal Entities again use the three letter abbreviation: PHaSe, PeRioD, etc.

At their basic level, Temporal Entities mimic the contemporary use of “phase” and “period” to structure the passage of time. But to assemble chronologically contemporary data, they have the inherent capacity to integrate one or more Archaeological Entities and/or Spatial Entities, into coherent manifestations of human presence at a given moment.

Where there is an enhancement to the basic traditional methods is at the site, inter-site, period, etc., levels of analysis. Structured Temporal Entities can be used to manage any level of chronology and to associate related data to them; for example ROMan 3, MEDieval 6, etc.

### 4.4 *Interpretative and Analytical Entities*

Throughout the ArchéoDATA projects development process, the obligation to utilise uniformly structured environments has led to the efficient flow of information within the system. But, as it is only possible to structure what is known, it became apparent that to efficiently carry out certain stages

of research, it was frequently required, to be able to assemble data in a heterogeneous and piecemeal manner. It was, therefore, necessary to develop of a procedure for grouping data and data structures in an independent manner, and at the same time, to benefit from previous structuring. Interpretative and Analytical Entities (IAE) permit data to be assembled for a particular study.

They permit the selection and integration of homogeneous and heterogeneous data, isolating subject matter clearly for a specific analyse or to build a particular synthesis or model. Interpretative and Analytical Entities can be used in many different ways, they can globalise the final stage of a hierarchically structured system, or inversely the potential for grouping data independently of previous types of structuring. Equally they can be used, from the beginning, to structure studies on specific subjects such as NUMismatics, CERamics, etc.

To illustrate this, a farm may be comprised of only one building, although usually there are also barns, stables, enclosures, etc., every one of them structures or SAEs, as well as fields, grasslands, or Spatial Entities, etc. Together these make up a farm (FRM), or in other words, an analytical unit (IAG) if we were to study rural life at a given moment. To these we could add inventory from survey, excavation, or even from a city museum.

An Interpretational and Analytical Entities can also include other IAGs as is the case where several farms (FRM 1, FRM 2, FRM 3 ...) and a church (CRH 1) make up a village (VLG 1), to be studied with other villages (VLG 2, VLG 4, VLG 5 ...), which make up a geographical feature such as a valley (VAL 3), a natural or user defined region (REG 1), etc.

## 5. THE PROBLEM WITH TIME

If in our work to structure data, we had reached an acceptable level for conceptually identifying the passage of time through the Temporal Entities, it was still far from what was necessary to manage it. What was missing were the basic elements which a computer could readily use to base its calculations and structure the data. Created, this key component should also encourage flexibility in analysis and interpretation.

One of the advances towards a structured management of the passage of time was the matrix system developed at the Winchester archaeological excavations in the mid-sixties and published by Edward Harris in the middle and late 1970's. Later, in the early nineties, he published a book containing several papers on the adaptations of the matrix system to various types of excavations and projects. Ever since the Winchester matrix system started to generalise, there has been substantial interest to find ways of automating the process. Although many tried in the late seventies and the early nineties, to computerise the process, most have met with only limited success, and by consequence, with limited value for interpretational stage.

The fundamental problem seems to have been the lack of an appropriate data structure on which to set up and manage the analytical process. The whole process had been exclusively based on the immediate “before” and “after” stratigraphic relationship, while leaving other associations and correlations, to be carried out manually by the archaeologist. Contemporary archaeological methodology thus uses this couple to found the basic chronology of an excavation. While this procedure is fundamental for interpretation and important for detecting and correcting errors in the basic stratigraphic relationships, it offers very little in the way of extensively structuring analysis in any useful and meaningful way. This is particularly true, as we have pointed out before, if computerisation is to play an important role in the interpretation to be carried out at the various stages of excavation and post-excavation work, but, there was no questioning the basic stratigraphic relation of “before” and “after” as the point of departure for structuring time.

As we have seen the Temporal Entities are a combination of a three letter abbreviation, which in most cases function quite acceptably to present instances of time, but they are not adequate for basing the primary needs of calculation. Nevertheless, computation is naturally best done mathematically, so it became necessary, if time was to be efficiently managed, that we have a fully mathematical element on which to base calculation. Furthermore, for this new element to be practically acceptable, it should readily relate to the Archaeological Entities structure already incorporated into the system, and if possible, further enhance their flexibility.

Urban archaeologists in France have been using, for quite some time, the following structure on which to base chronology:

“Unité Stratigraphique” > “Séquence” > “Phase” > “Période”

However quite efficient, this structure is of course different from the aforementioned definition of the stratigraphic sequence. There seems to have been an error some twenty-five years ago, but that has been totally assimilated by contemporary French archaeologists. Nonetheless, even though sequence is the same as stratigraphic unit as the departure point, there is a definite need for the intermediary methodical step to help structure chronology.

We decided to keep the Winchester definition of stratigraphic sequence as the parting point of chronology, and as being the same as Stratigraphic Unit, but it was evident that the now missing structural element had to be replaced. The word “events” has been retained as the expression suitable to express this second ordering of chronological data. The structure is then represented by:

Sequence > Event > Phase > Period

In our continuing quest to systematise the structural process, it was calculated that each stage in the chronological process should have an inter-

nal hierarchical framework of 99 steps (Fig. 2). This 99 unit systemisation has already proven itself in several other of our data structuring needs, it is mathematically efficient without sacrificing the possibility of accessing directly a stratigraphic sequence, a particular event or a whole phase or period. Nonetheless, to render this mathematically compatible, the components have rearranged in an ascending order, giving the following representation:

$$\begin{aligned} \text{Period} < \text{Phase} < \text{Event} < \text{Sequence} \\ 99 \ 99 \ . \ 99 \ 99 \\ 1209.0515 = \\ \text{Period } 12 < \text{Phase } 9 < \text{Event } 5 < \text{Sequence } 15 \end{aligned}$$

Even though this structure has the appearance and feeling of potential complexity, at the moment of putting it into practice, it has been designed in a way that most of the work is done progressively and transparently. At each stage of excavation and interpretation, the archaeologist adds to the structure, and the computer calculates, or recalculates, as need be the new chronology. When the archaeologist records a stratigraphic sequence, as in the case of a wall, the computer will automatically create the first level sub-sequence. As he advances in interpretation he will create the subsequent levels of chronology and associate events to one another, and then, to phases and periods. An advantage to having a potentially automated system is that stratigraphic data need not await for the advanced stages of analysis to take form, this information can, if processing is carried out more directly, be more readily used during the actual excavation in the field.

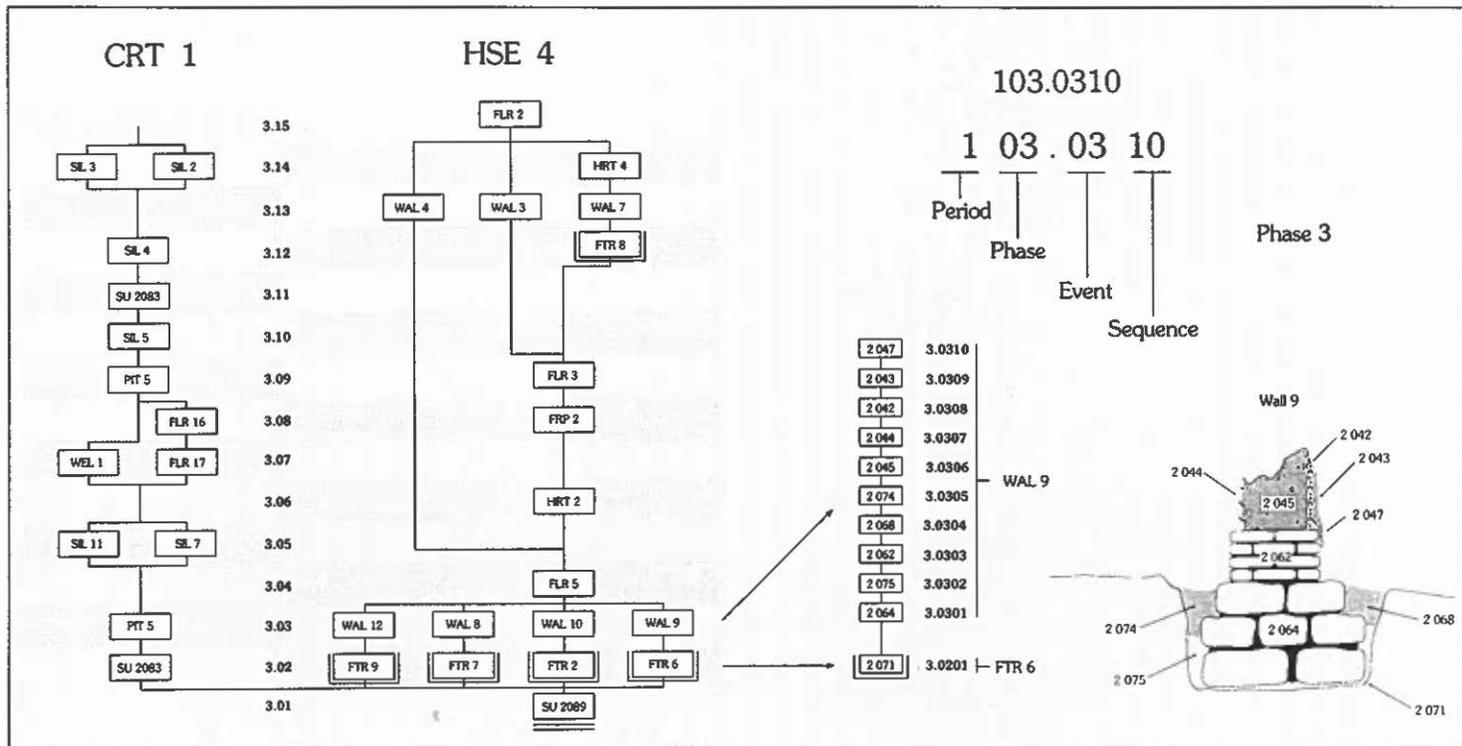
Even though the stratigraphic sequence is unique in time, conceptually, one or more events can take place at the same time (Fig. 3). Four walls that make up the construction of a house need not necessarily be numbered as four distinct chronological events, if it is deemed they were laid out simultaneously and reflect common logic, whereas the floor, which could be said to be installed after the walls, is a new event. The walls are however, in the recording process, considered as four distinct Archaeological Entities. This system also favours visualising chronology in the form of different Entities, and at different levels, as they are always present.

Flexibility is apparent when there are numerous changes to be made as new elements of interpretation are incorporated though progress in analysis or extension of the excavation. It should not be underestimated the burden that changes in stratigraphic interpretation can be on the workload of an excavation team.

## 6. CONCLUSION

All that has been said is of course applicable at various levels of interpretation and analysis. Until now we have privileged the micro level of ar-

Fig. 2



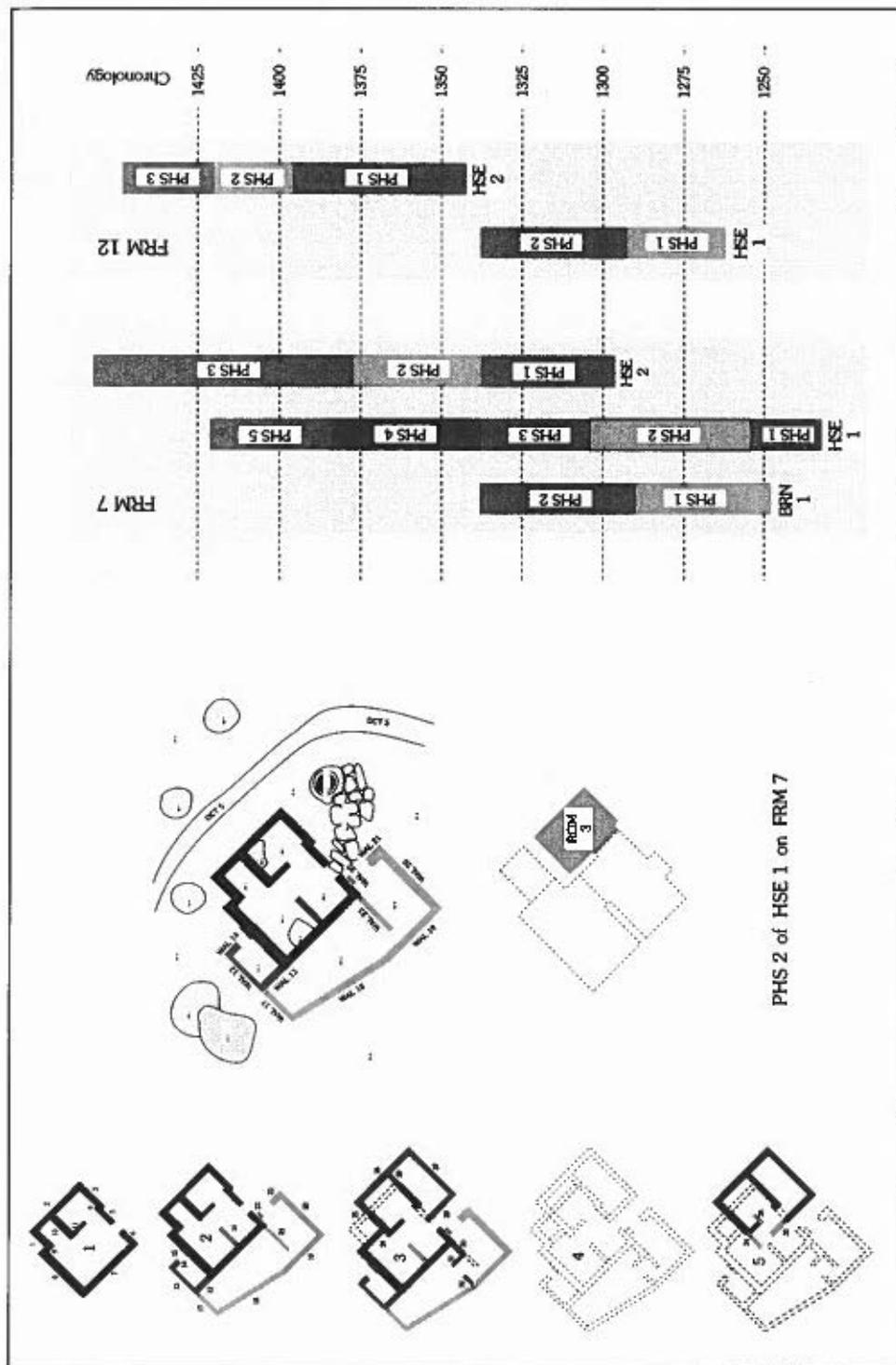


Fig. 3

chaeological excavation, but what we have discussed becomes even more important to long term research as the quantity of information grows and becomes more complex and difficult to manage. It is because these techniques are applicable at different levels, local, regional, etc., and that they can ensure the basis for an automated analytical process, that advances can be expected.

In the future we must be able to draw great swaths through data to find the information that we need, we must be able to slice through a particular moment in time and be able to retrieve collections of structured data and associate them to specific places, finds and actions. For archaeological analysis to continue to develop and to attain new levels of interpretation it must be able to efficiently make use of accumulated knowledge.

DANIEL ARROYO-BISHOP  
Université Paris I  
GDR 880 du CNRS  
"Terrains et Théories en Archéologie"

#### ABSTRACT

During the past few years we have presented and published a series of papers on the project ArchéoDATA that we have been developing in the GDR 880 of the CNRS, in our quest for a methodological structure for the recording and analysis of archaeological data and the creation of a European Archaeological Information System, designed to formalise and to structure archaeological documents.

The three basic components of archaeological recording and analysis are the factors "objects", "space" and "time". Through their interaction the archaeologist must attempt to forge his interpretation and argue his thesis. The management of data pertaining to each one of the components of "object", "space" and "time" should be undertaken with the same elementary structure. Due to the diversity of recording methods, and to inconsistent terminology used to express what in essence were similar things, a designation based on the word "Entity" was initiated and the "Archaeological, Spatial, Temporal, Interpretative and Analytical Entities" were consequently defined. This paper presents in detail new work that has been undertaken on structuring the basic component "time".

## SPATIAL ANALYSES, FIELD SURVEY, TERRITORIES AND MENTAL MAPS ON THE ISLAND OF BRAČ

### 1. INTRODUCTION AND PROJECT BACKGROUND

The principal subject of this paper is to discuss the use of geographic information systems (GIS) within archaeological landscape studies and to present some recent results of such work. Our study has been carried out in the central Adriatic where an international team of archaeologist, historians, geographers and other specialists has been studying the archaeology of the Central Dalmatian islands (Croatia) for more than 10 years (Fig. 1).

The research goals of the Adriatic Island Project was to study interaction between human and environment from prehistory to the present time with emphasis to settlement patterns, colonization, population trends, subsistence strategies, contacts, land use and economy of the prehistoric, protohistoric, Greek and Roman communities who lived in the area. The research was first focused on the island of Hvar (GAFFNEY, STANČIČ 1991) and then to other neighbor islands: Brač, Šolta, Vis and Palagruža. This region was incorporated in comparative analysis between the islands.

However, this paper will focus on the recent research carried out on the island of Brač. On the basis of archaeological data and the natural environment data we wanted to make some spatial models with GIS and analyse of the island of Brač. In 1994 extensive field survey of the island was completed, providing more than 600 records in the sites and monuments database. Simultaneously extensive archive research was completed providing useful data for our analysis. Since one of the goals of the research was to analyse the long term changes of the Mediterranean landscape of the island of Brač, natural environment data were gathered as well, and later on incorporated into GIS. Digital elevation model (DEM), soil and geology information layers were the most important data in further GIS analysis.

### 2. THE ISLAND OF BRAČ

The island of Brač is third largest island in the Adriatic Sea. It has an elliptical shape with maximum length of 36 kilometers measured from eastern tip to the western tip of the island (Fig. 2). Its maximum width is 12 kilometers. Total surface is 395 square kilometers. The orientation of the island is E-W and is different from the general orientation of the Adriatic coast which is NW-SE.

From the geologists perspective Brač is an anticline peak with an east-west strike surrounded by synclinals; Brač Channel on north and Hvar Chan-

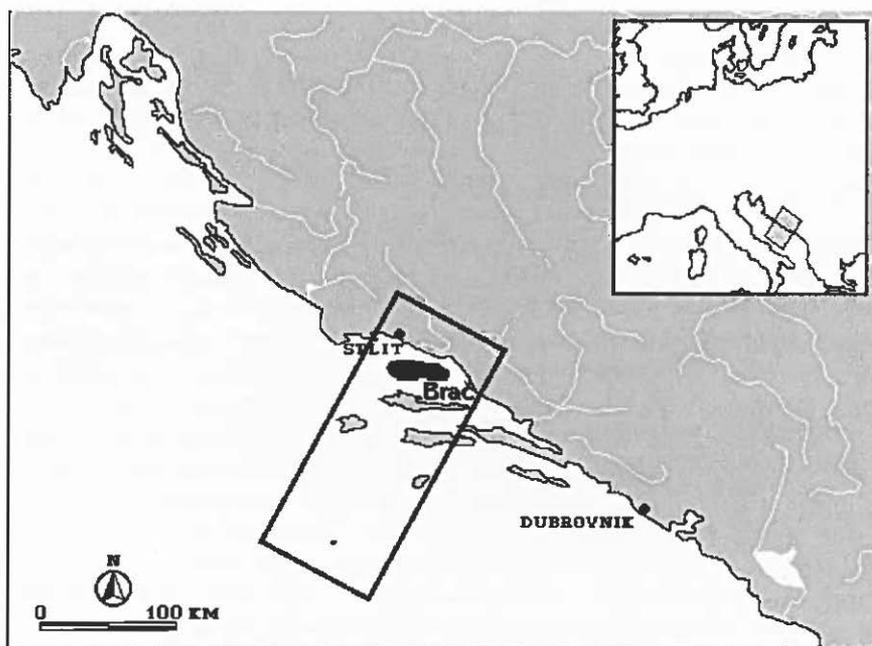


Fig. 1 – The study area.

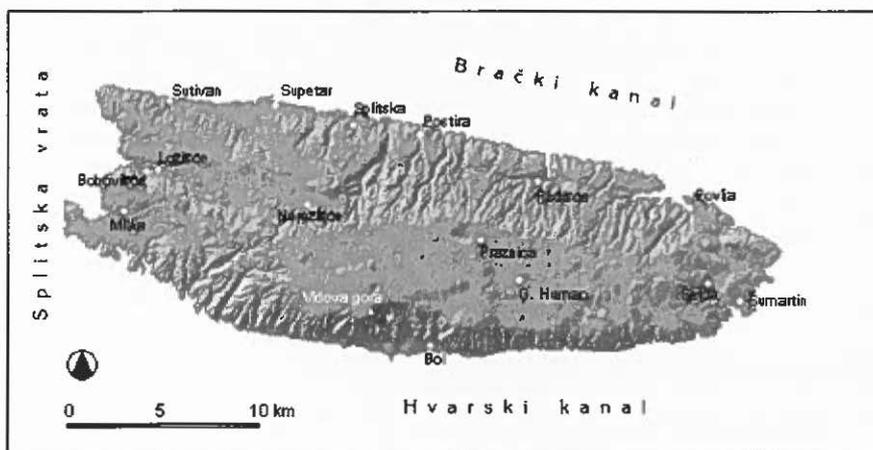


Fig. 2 – The island of Brač.

nel on south. Brač is also characterized by especially dramatic relief. The highest peak of the island Vidova gora raises 778 meters above sea level and is the highest peak on all Adriatic islands. The depth of the channels is on some locations over 80 meters. The anticline is asymmetrical and is much

closer to the southern coast of the island. The relief is therefore asymmetrical. From the anticline the terrain drops dramatically to the southern coast. To the north three plateaus can be distinguished. The highest one is from the peak up to the elevation of 700 meters, the second plateau is lower and its minimum elevation is 400 meters. Finally the lowland is from the coast to the elevation of c. 170 meters (DERADO 1984). Due to this asymmetrical shape of the island most of the slopes are north facing.

The island is also characterized by numerous dry valleys, especially in its lower parts. Most of these valleys are tectonic by its origin, however, some of them are fluvial origin. The valleys are often very deep and with very steep slopes. Most of the valleys on the northern coast have thick Pleistocene deposits and are very suitable for agriculture. Majority of these valleys were closely related to one of the major settlements on the island.

The climate of Brač is that of typical Mediterranean climate with relatively mild winters and hot summers (JURAS 1984). Despite the island is relatively small, there are significant differences between the coastal air temperatures and the air temperatures inland. Temperature is dropping 0.6 degrees Celsius every 100 metres of elevation. Therefore, average the air temperature on the coast is 16 degrees Celsius and 12 degrees Celsius inland. The hottest month is July while January is the coldest month in a year. The differences between the southern and northern coast in air temperature are relatively high in autumn and winter while in late spring and summer they do not seem to be significant.

The rainfall are extremely important in the Mediterranean climate. The rainfall varies from 799 mm in Ložišće to 1320 mm for Pražnice. The highest rainfall is on the highest plateaus of the island (Gornji Humac 1153 mm and Pražnice 1320 mm). North and north-eastern coasts have a bit less, even smaller is rainfall on the southern and south-eastern coast. The driest areas are on western and north-western coast. The rainfall is not regularly dispersed thorough the year. Most of rain is in winter and autumn, much less in spring. Summers are usually very dry, with July as the driest month with 25-30 mm of rainfall. Due to high evaporation and very little rainfall summer draughts are usual.

### *2.1 The geology and hydrology of Brač*

The basic form of the island results from its origin as an anticline peak with similar orientation like the island of Hvar. The geology of the island is relatively monotonous (ČUBRAKOVIČ 1984) and the majority of the Brač lithology are limestone, dolomitised limestone, dolomites, sandy limestone, sandstone, flysch, breccia and quaternary deposits.

During the Eocene, a series of flysch deposits were laid down in a syncline along the southern edge of the island. The most marked occurrences

of flysch, a redeposited limestone sediment, occur above Bol. Quaternary deposits occur in many localised areas and include isolated colluvial layers on the steep southern slopes and the alluvial and brecchia deposits within the numerous north facing valleys. The distribution of lithological classes on the island is shown in Fig. 3. On the basis of this map, originally produced in scale 1:100 000, the data was incorporated into GIS.

The hydrology of the island is largely influenced by the permeable limestone which has led to an almost total absence of surface water. Due to relatively bad collector characteristics of dolomites compared to limestone, dolomites sometimes act like hydroisolators. However, the only real hydroisolator on the island are the Eocene flysch on the southern coast of the island close to Bol. This results in a series of seasonal or permanent streams occurring at the interface of the flysch and limestone.

Since the island of Brač has very few resources of sweet water, most of the water for animal consumption had to be collected in large ponds or *lokve*. Lokve were especially frequent in the upper two plateaux where pastoralism was traditional. Water for human consumption was collected in cisterns. In some cases watercaptures were built in stream valleys. The water supply changed dramatically when in 70s the pipeline brought fresh water from the Cetina river from the mainland.

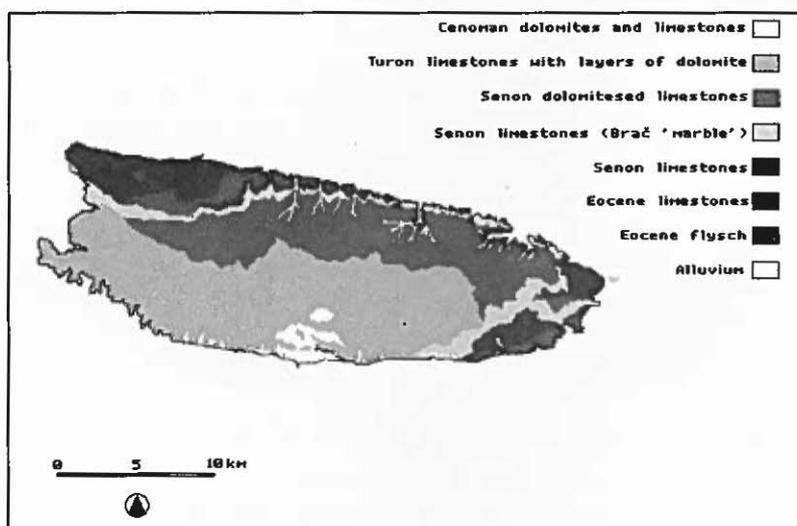


Fig. 3 – Lithology of the island of Brač.

## 2.2 Soils on Brač

The development of soils on Brač was influenced by similar factors like the soils on other islands of Central Dalmatia: climate, geological basis, re-

lief, live organisms and humans. Since most of these factors can easily be compared with the case of island of Hvar, Vis and Šolta, only the differences and Brač characteristics will be stressed here. On Brač five different series of soils are represented:

- soils developed on limestone and dolomites,
- soils developed on crystallised dolomites,
- soils on Eocene flysch and carbonate sandstone,
- soils on colluvial and delluvial deposits,
- anthropogenic soils.

On the basis of relatively poor soil map of the island in scale 1:200 000 (MILOŠ 1984) a reclassified soil map was produced and incorporated into GIS (Fig. 4).

### 3. THE ISLAND OF BRAČ FIELD SURVEY AND ARCHAEOLOGICAL DATABASE

The island of Brač has been archaeologically studied for more than a century. In the case of the island of Brač there was no archaeological database available. Since the island of Brač seemed to be perfect for the study of changes of landuse and settlement patterns in prehistory, it was decided to collect the archaeological data. The island of Brač has an extensive plateau in the central part of the island with an elevation of 400 meters up to 778 meters. The initial study of the archaeological remains (VRSALOVIČ 1957, 1968) indicated

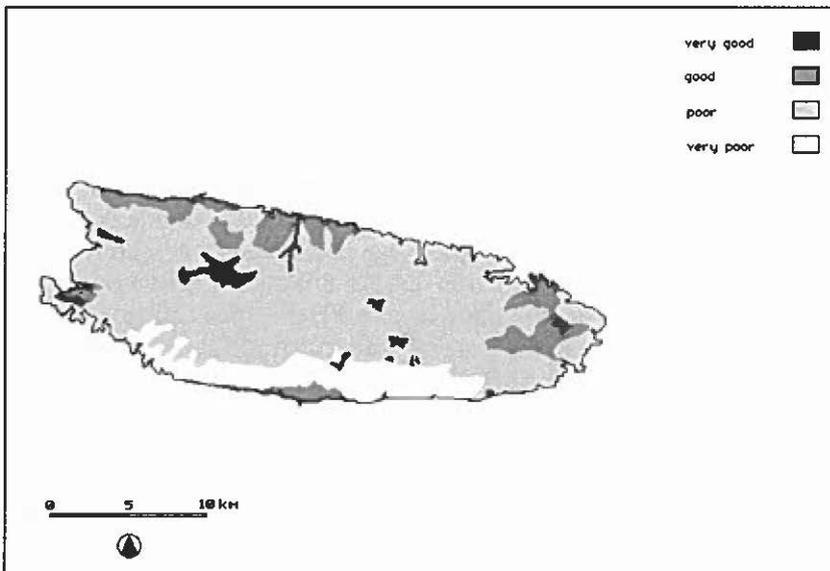


Fig. 4 – Soil classes on the island of Brač.

that this plateau might have been the focus of landuse during the Bronze age. The existence of the Iron age sites closer to the coast, most notably the hillfort of Rat near Ložišće (MAROVIČ, NIKOLANCI 1977) indicated that there might have been a shift in the settlement pattern from the Bronze age to the Iron age. On the island of Hvar this change was impossible to study due to its elongated shape. The territories of the Bronze and Iron age sites were all controlling southern as well as northern coasts. The island of Brač is much wider and therefore perfect for these kinds of studies.

On the basis of the results of previous field campaigns it was assumed that a systematic survey would give us much better insight into the past occupation and human activities on the island. It was decided that the stratified sampling of the landscape should be applied in the field walking.

During a four months field campaign in 1994 all the sites were surveyed using an extensive survey sampling strategy. Most of the sites were discovered by systematic field survey; however, sometimes some additional information was used to find them. All previously known and new archaeological sites were recorded, as well as some natural resources, like flint, ponds and wells. Archaeological sites from periods ranging from earliest prehistory through to the early Middle Ages were the focus of our research; however, some ethnographic monuments and industrial archaeological sites had to be documented as well.

During the field work a total of more than 600 sites were recorded of which some 3/5 were not previously known. The necessity of the field work completed is demonstrated in the number of previously known sites is compared with the present data. Previously some 25 Roman sites were known; during the field work, nearly 90 Roman sites were documented, of which about 1/3 are major settlement sites with surviving structures. Even more dramatic are the results for the prehistoric settlements, with 7 sites known before and 10 new sites discovered. During the field work, a large amount of written and drawn data on new sites was recorded. The field team extensively recorded each site on the spot, while some variables (e.g. bibliography) were completed later on. During the course of the field work all the data was gathered and instantly stored in the database. Since it was hoped that the archaeological database will remain in use by the local authorities for the protection and management of natural and cultural heritage, the database was designed and all the data input in Croatian language.

#### 4. NATURAL ENVIRONMENT DATABASE

For the purpose of the analysis of the long term man/environment interaction an extensive natural environment data was needed. First the thematic data on soils, geology and digital elevation model had to be produced.

In all circumstances, when a thematic map with appropriate information on the subject concerned was available, the data was input into the geographic information system. Thematic maps with soil data and the geological map of the island of Brač were digitised. Both information layers were then integrated into the IDRISI geographic information system. For the purpose of this thematic data integration in geographic information system a spatial resolution of 30 meters was selected as the most suitable. This spatial resolution is accurate enough to provide detailed data on the environment and the information layers are still treatable by convenient GISs. The geology information layer was produced from the geology map on a scale of 1:100,000 (DERADO 1984), while the soil map was on a scale of 1:200,000 (MILOŠ 1984).

Special attention was paid to the production of the digital elevation model (DEM), since it is a very important information layer in any natural environment analysis. All sorts of information can be derived from DEM, most notably slope, aspect, visibility, watersheds and much more. A 30 meter resolution was chosen for our purposes since the DEM would still represent the natural terrain with considerable accuracy despite the fact that many smaller features would be lost. Contour lines on eight 1:25,000 maps covering the island of Brač were digitised, including special features like karst dolinas and mountain peaks. After the process of digitising, editing, interpolation and filtering, DEM was produced and integrated into the natural environment database providing, together with information layer on the soil and geology data, a good basis for the further analysis.

## 5. SPATIAL ANALYSES

In the research presented in this report there is no chance for us even attempt to consider the human/environment interface on the island of Brač as a whole, nor given the number of other specialists working on the subject, would it be particularly useful. What we can do is try to investigate and present some specific areas of the archaeology or landscape archaeology of Brač through the application of GIS techniques. We would also like to use these case studies to illustrate the type and resolution of data that archaeologists working in these regions or elsewhere must collect if they are to make good use of the potential of GIS. Following this line of thought, we have restricted ourselves to four particular problem areas:

- the definition of Bronze age, Iron age and Roman age site territories,
- aspects of the analysis of land use within site territories,
- to analyse transition and migration trends from the Bronze to Iron ages,
- to model perception of space and territories on selected sites from the Bronze age using mental maps approach.

### 5.1 *Analysing settlement patterns and territories of Bronze and Iron age sites*

Virtually all human groups produce boundaries and the history of archaeological research is littered with attempts to locate these problematic barriers (DE ATLEY, FINDLOW 1984). Cultural boundaries, ethnic boundaries, property boundaries and the less tangible boundaries of personal space have all become the object of archaeological research at some point or another and a bewildering range of archaeological examples and ethnographic cautionary tales relating to their definition can be found in literature. Despite the perpetual dangers of «drawing lines that don't exist around areas that don't matter», in this chapter we intend to look how GIS can be applied to the problems of boundary identification.

Eleven hillfort sites on the island of Brač were dated on the basis of pottery detected in the Bronze age. The initial inspection of their distribution shows a strong concentration of these sites on the highest plateau. There seems to be only two sites which occur closer to the sea. The settlement pattern in the Iron age is dramatically different. Two of the Bronze age sites remain inhabited. The Gračišče site on the eastern coast of the island and Gradac in the higher plateau retain their position in this period, while all other Bronze age hillforts appear to be abandoned. However, five new sites appear and they are all positioned very close to the sea.

Most GIS include a module to calculate a relative cost surface across a landscape using the DEM. The cost surface shows the relative energy or time consumption expended when an individual crosses from one point to another. If the land crossed is steep in one direction the energy use and time consumption will be greater and the distance to the edge of the catchment shorter. If the land in another direction is relatively flatter this will be reflected by a longer distance to the edge of the catchment. In considering these results we should note that 1 hours walk catchment was suggested as a limit of the territory (BINTLIFF 1977, 112).

We can demonstrate the process of constructing a catchment using all Bronze age sites in Fig. 5. For example, the site on Vidova Gora above Zlati rat, which is observed, the territory to the north, which includes the high plateau, produces a greater distance to the edge of the catchment. The area to the south which is in the direction of the coast produces a far shorter distance to the catchment boundary. This is due to a very dramatic drop in elevation and extremely steep terrain.

We can assume that the territories calculated with the cost surface approach present a sufficient approximation to territories of the Bronze age hillforts. Using this model it can be clearly proved that even the site Gnjlac at the north-western part of the island did not include coast in its territory. All Bronze age societies on the island of Brač were definitely oriented towards the high plateau and Nerežiško polje. The proximity of sea did not play any

important roll in the society.

However, in the Iron age, the situation is very different. If the cost surface approach is applied on Iron age hillforts one can clearly see very a different pattern of territories (Fig. 6).

Iron age communities definitely moved toward the sea. All seven sites include coast in their territories, with the exemption of Gračišće near Donji Humac and Gradac at the high Plateau. Gračišće near Donji Humac is positioned above Nerežiško polje and must have used the resources from this very fertile field extensively. This site is less than 1 kilometer away from the Bronze age site of Gnjilac and might represent some kind of continuity of the earlier settlement. The Gradac hillfort on the high plateau might have been

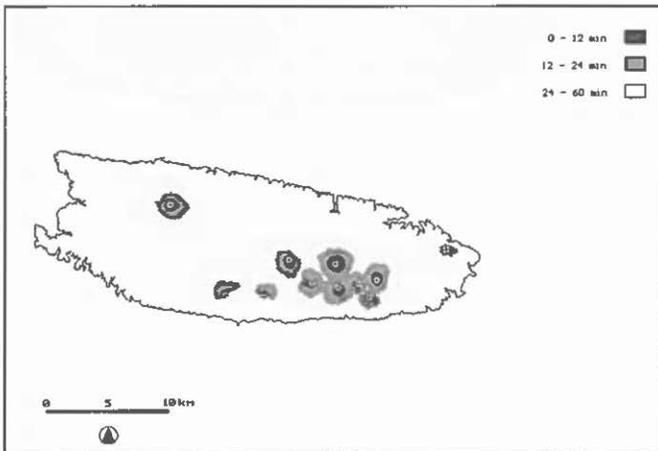


Fig. 5 – Cost surface territories of the Bronze age hillforts.

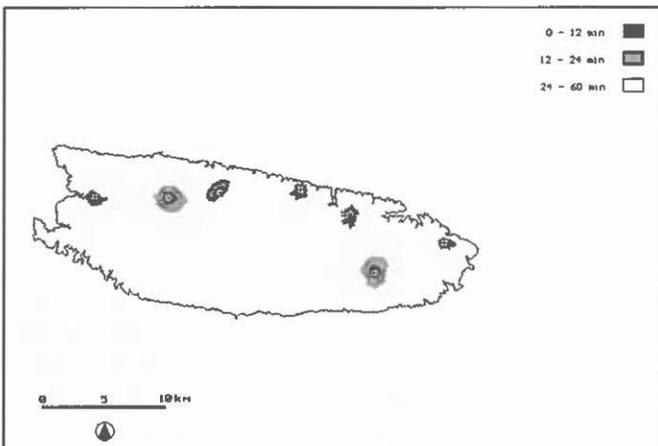


Fig. 6 – Cost surface territories of the Iron age hillforts.

in continuous use throughout the Bronze and Iron age. It has probably extensively used resources on *polje* which lies east from the site.

The change of geographical location of the hillforts is marked by the movement from the inland and higher plateau to locations closer to the coast. Hillforts now control sea resources and, most notably, safe anchorage. For example, the Vicja Luka bay is only a kilometer away from the Split gates, which can be very difficult to sail in the very frequently dangerous north-eastern and south-western winds, and together with the hillfort above, it contains important records on the trade and other contacts with the Greeks (MAROVIČ 1971; MAROVIČ, NIKOLANCI 1977). The location of the Iron Age hillforts is clearly a compromise between the wish to control sea resources, trade routs and fertile land.

### 5.2 Perception of space in Bronze age

Following the initial analysis of territories, landuse and migration trends in prehistory and the Roman age we were very tempted to try to move in other directions with GIS research. While most of the analysis performed was oriented towards the economy, and since we already criticised some aspects of this kind of research, we decided to try to model the perception of landscape of some past societies. During the field work on the island of Brač some 240 Bronze age barrows were documented. It was assumed that they might help us in modeling the perception of space and mental maps of the Bronze age population.

Our general hypothesis is that barrows are not distributed randomly over the landscape but are positioned very carefully. We think that they might be positioned on special points relatively close to individual hillfort settlements where they could simultaneously mark the territories of individual hillfort societies and inform the intruders that they are coming on someone else's land. In accordance with this assumption, several hypotheses were set. The first one is on the distribution of barrows considering the distance from the central settlement. We would like to see how far away from the settlement are the barrows which belonged to that individual settlement positioned. The second hypothesis is that the barrows act as some kind of landmark and therefore would have to be positioned in locations such that they would be intervisible from the hillfort. Finally, we would like to model the landscape in terms of which points on the landscape are the most visible from all barrows. By doing this we might be able to investigate some trends in the perception of space in the Bronze age. All the research described was carried out on the area around the hillfort Gradac on the eastern part of the island. Gradac is a very prominent hillfort lying close to the hillforts Hum and Smrcevik veli. In its close proximity there are 55 barrows which most probably belonged to the commune living on Gradac. The area under study is shown on Fig. 7

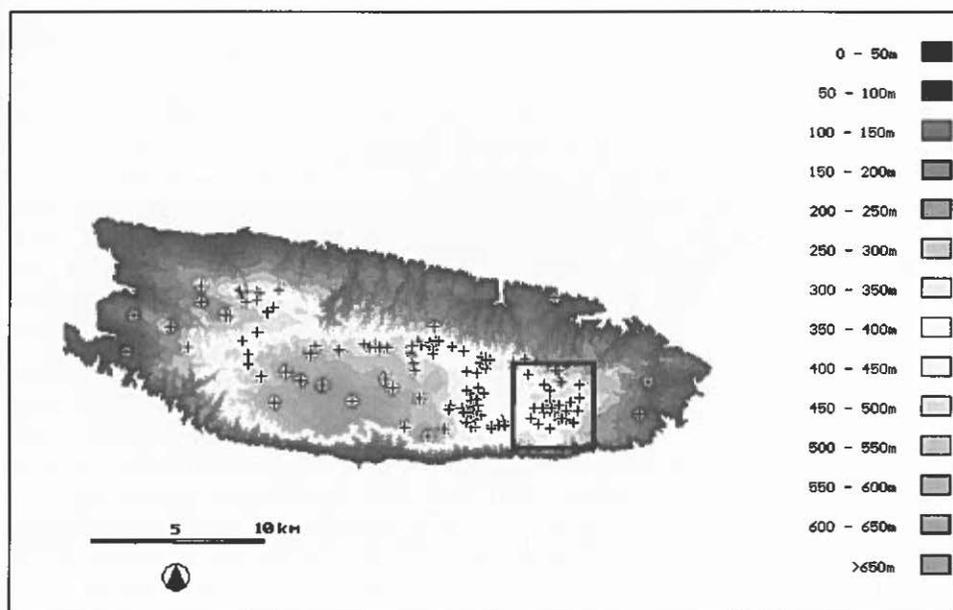


Fig. 7 – Location of the area under study with the distribution of Bronze age barrows.

together with the general distribution of all barrows documented.

The analyses began by testing the first two hypothesis which were questioning the distance from hillfort to the barrows belonging to it. A cost surface model was used to design a catchment within 30 minutes walking distance from the hillfort Gradac. If the catchment is compared to the distribution of sites, one can clearly see that all the barrows belonging to this hillfort are positioned within 30 minutes catchment. We continued the analysis by analysing which locations in the landscape are visible from the hillfort. In Fig. 8 the solid line represents 30 minutes catchment, while the shaded area represents all surfaces which are visible from the hillfort Gradac. The Gradac hillfort is represented with a black dot and barrows with crosses. In some cases a cross can represent more barrows if they are clustered in a smaller area.

The largest cluster in the area is composed of 7 barrows. One can clearly see that 41 barrows from total 55 analysed in the area fall within the area visible from the hillfort. There are a few exceptions in this pattern which are worth stressing. On the southwestern part of the study area there are two barrows lying in the valley going from the Gradac hillfort towards the hillforts Hum and Smrčevik veli. They are not visible from Gradac but they stand on the easiest route towards the two neighboring hillforts. We can assume that they mark some kind of crossing point in the landscape. It is worth noting how the 30 minutes catchment line follows the area visible from the Gradac

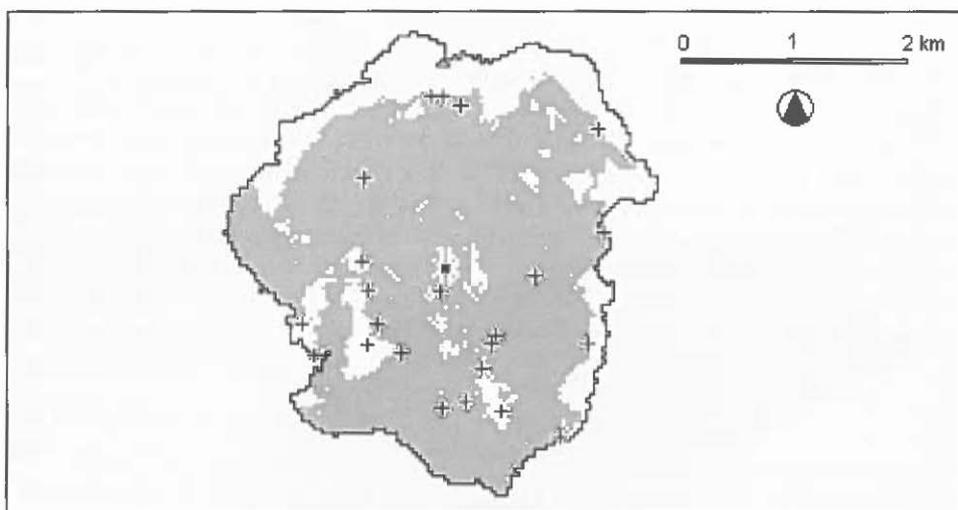


Fig. 8 – Surface visible from Gradac hillfort, Gradac 30 minutes catchment and barrows locations.

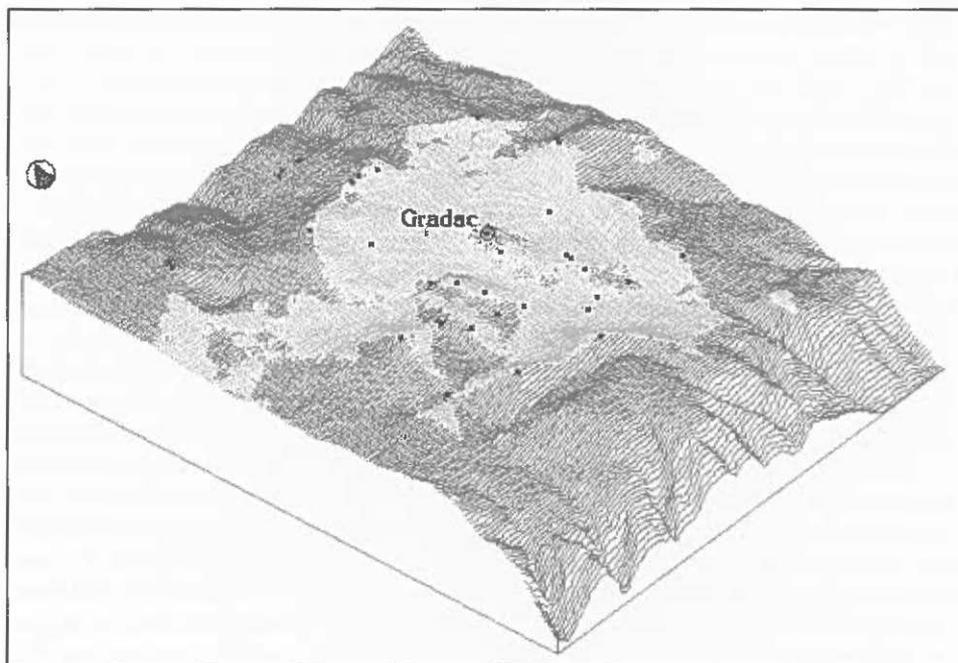


Fig. 9 – Perspective view on the landscape under study. Lighter grey colour presents the surface visible from the Gradac hillfort. Black dots are barrows.

hillfort. All these patterns are much easier to perceive on the perspective image of the landscape in Fig. 9. The lighter grey colour represents surfaces seen from the Gradac hillfort and black dots present the location of barrows or barrows clusters.

In further analysis we wanted to model the space as seen from all barrows in the area under study. The analysis of this data involved the calculation of the viewshed for each monument, that is the area which can be seen from an individual site. This information represents the area within which that monument is likely to communicate visual information. Monument viewsheds can overlap, producing zones in which an observer might be aware of many monuments, all of which may carry information. Presumably, the increasing density of such information can be interpreted in some circumstances as a measure of the importance of a particular area. In the context of this work, it is perhaps better to emphasise the ability of such a procedure to provide a mapable, spatially variable index of perception, which incorporates groups of monuments and plots their visual relationship with the surrounding landscape. Analysis of this data should give an insight into the cognitive landscape within which the monuments operated.

This procedure is called cumulative viewshed produced interesting results (Fig. 10). Within the cumulative viewshed the areas which are only visible to one monument have a value of one and the areas which are intervisible have a value of two. Analysis of these viewsheds provides a number of inter-

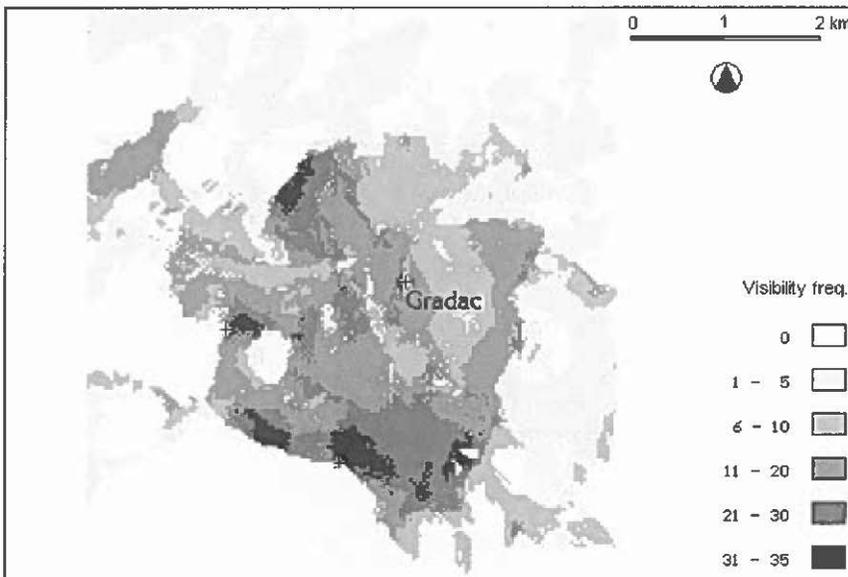


Fig. 10 – Cumulative viewshed from all barrows within Gradac catchment.

esting patterns. The highest cumulative viewshed values are on top of the hills around Gradac which dominate the landscape. On the locations which are seen from most barrows there are usually no archaeological features. However, the Gradac hillfort is seen from 34 barrows in the area out of which 41 have been interpreted to fall in its catchment.

## 6. CONCLUSIONS

The analysis of the Brač barrows and hillforts clearly illustrates the potential of GIS for the study of large-scale cognitive phenomena and its ability to utilise the full landscape for such purposes. This is new and we are only just beginning to explore the possibilities on offer (GAFFNEY *et al.* 1995). The future for innovative work in GIS will therefore lie in the development of more sophisticated mathematical modules explicitly for archaeological purposes and within the context of GIS technologies. The approaches presented here present the possibility to produce results on changes of landscape, settlement patterns, perception of space and environment.

VINCENT GAFFNEY  
Field Archaeology Unit  
University of Birmingham

KRIŠTOF OŠTIR  
TOMAŽ PODOBNIKAR  
ZORAN STANČIČ

Centre for Scientific Research of the Slovenian Academy of  
Sciences and Arts, Ljubljana

## Acknowledgement

The project was sponsored by the Slovene Ministry of Science and Technology and the Commission of the European Communities, Directorate General XII. Thanks are also due to the Open Society Found, who provided funding toward the III Convegno Internazionale di Archeologia e Informatica conference for Tomaž Podobnikar.

## BIBLIOGRAPHY

- BINTLIFF J.L. 1977, *Natural Environment and Human Settlement in Prehistoric Greece*, BAR Supplementary Series 28, Oxford.
- BURROUGH P.A. 1986, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford.
- ČEČUK B. 1981, *Kopacina, Otok Brač – višeslojno prehistorijsko nalazište*, «Arheološki pregled», 22, 9-10.
- ČUBRAKOVIČ V. 1984, *Uvod u geologiju i hidrogeologiju otoka Brača*, «Brački zbornik», 14, 17-22.
- DE ATLEY S.P., FINDLEY F.J. 1984, *Exploring the Limits: Frontiers and Boundaries in prehistory*, BAR International Series 223, Oxford.
- DERADO K. 1984, *Reljef otoka Brača*, «Brački zbornik», 14, 7-13.

- GAFFNEY V., STANČIČ, Z. 1991, *GIS Approaches to Regional Analysis: A Case Study of The Island of Hvar*, Ljubljana, Znanstveni institut filozofske fakultete.
- GAFFNEY V., STANČIČ Z., WATSON H. 1995, *The impact of GIS on archaeology: a personal perspective*, in *Arhaeology and Geographical Information Systems*, London, Taylor & Francis, 211-229.
- JELASKA V. 1984, *Bituminozne stijene otoka Brača*, «Brački zbornik», 14, 39-42.
- JURAS V. 1984, *Klimatski prikaz otoka Brača*, «Brački zbornik», 14, 57-65.
- MAROVIČ I. 1971, *Zeljeznodobni grobovi u Zaganj-docu (o. Brač)*, «Vjesnik za arheologiju i historiju dalmatinsku», 65-67, (1963-1965), 1-26.
- MAROVIČ I., NIKOLANCI M. 1977, *Cetiri groba iz nekropole u Vičjoj Luci (o. Brač) u 1908 god.*, «Vjesnik za arheologiju i historiju dalmatinsku», 70-71, (1968-1969), 5-55.
- MILOŠ B. 1984, *Brača tla*, «Brački zbornik», 14, 66-77.
- VRŠALOVIČ D. 1957, *Bilješke s reambulacije*, «Brački zbornik», 3, Split, 88-97.
- VRŠALOVIČ D. 1968, *Povijest otoka Brača*, «Brački zbornik» 6, Supetar.

#### ABSTRACT

An international team of scholars from Croatia, Canada, Britain and Slovenia is trying to analyse human adaptation of nature on the Central Dalmatian islands in Croatia. Archaeological data and various environmental information was integrated into GIS. GIS was ideal platform for a variety of analytical procedures: the economy of past societies was analysed, territories of larger communities were modelled, trade routes were predicted and the positioning of different sites was observed. In the paper special emphasis is paid to the GIS application of sites and monuments database in the analysis of the perception of space using the data from the Bronze age.



## A VIEW FROM SPACE: MONITORING AND MANAGEMENT FOR WORLD HERITAGE SITES

The increasing global environmental awareness which has developed over the last twenty years is reflected by the existence of the World Heritage List, identifying sites considered of international importance for their environmental, archaeological, or historic values, and for this reason deserving particular care in their management. The diversity of environment, location and local infrastructure that provides the context for these sites, however, is immense.

For the purpose of this paper we are concerned with only those sites listed on account of their cultural heritage component. They are found in such diverse areas as arid deserts and rainforests, remote locations and urban centers; in fact almost anywhere that has supported significant human activity. That the cultural heritage is part of the broader environmental issue is reflected in the classes of threat which can compromise the integrity or lead to the total destruction of the site itself. These factors can be summarized under five headings, the relative significance of which will vary from site to site:

- Environmental change
- Human-induced or natural catastrophe
- Tourist pressure
- Treasure hunting and other vandalism
- Development

If these sites are to survive, efficient and economic methods of site monitoring are required to identify threats to the monuments and their environments and assist those trying to provide a response to these threats. Just as sites are in very different environments, so resources for monitoring and maintaining these sites are unfortunately equally diverse, ranging from excellent to non-existent, with budgets in the order of several million dollars or a few hundred dollars. It is within this context that an approach was made from the World Heritage Committee to the Getty Conservation Institute and NASA to investigate the viability of current air and space-borne remote sensing technology for the purposes of global site monitoring. The current project, which is drawing upon data from a wide range of sources at a variety of resolutions, is concerned as much with the principles of this approach as with current data limitations. This is a rapidly changing field and improved data quality and resolution will continue to become available.

Ultimately the potential of any such monitoring mission is constrained by three factors:

- repeatability, necessary for undertaking change detection,

- resolution, which determines the scale of threat that can be identified, and
- registration, which allows problem areas to be precisely located.

Clearly 30 meter pixel data from Landsat images will not allow us to identify localized erosion or the effects of treasure hunters. Even data at this resolution, however, can be utilised for defining site context. Although the resolution of much digital data collected is low, ranging from 2.5m. to 30m. per pixel, the recovery of data in thermal wavelengths beyond the visible, and the image rendered by radar provides the opportunity for the recovery of new evidence of site function or activity not detected using conventional means. The poor resolution of space-borne remote sensing restricts our ability to identify sites smaller than 5.5 hectares in Landsat data, and 2.5 hectares from SPOT imagery. In the Southwest regions of the USA, only about 12% of the archaeological sites recorded so far are larger than 2.5 hectares (a pattern observed in other semi-arid regions of the world, such as the Middle East): this clearly limits our ability to fully appreciate the physical context of human occupation in this area, let alone the impossibility of "mapping" the archaeological landscape from space.

Present technology still cannot facilitate any form of automated monitoring system, for its low resolution, lack of repeatability, and cost. However, by incorporating the remotely sensed data with other sources in a geographic data management system (GDMS) a monitoring management tool could be prototyped to test the potential usability and cost effectiveness of a fully integrated approach to site monitoring, management, and site definition. The fully integrated data management system should be both easy to use, provide the day to day functionality required by both site managers and researchers, should run on relatively cheap and widely available hardware and cost less than \$10,000 in a basic implementation. G-Sys GDMS was selected as the working tool for integrating the data set.

It is economic, runs on a PC under Windows, is easy to use, handles multiple data sets at any resolution, has been used on a number of heritage management projects in Britain and the USA and supports the use of the full range of available data. The project comprises five stages of data collection, processing, analysis, documentation and integration. The largest task of all, digital data collection and assembly, was undertaken by NASA through the commercial remote sensing program based at the Stennis Space Center; the remaining tasks are being undertaken in tandem as the project progresses. Work is still in progress and so the present paper should be viewed as an interim statement.

## 1. THE TEST CASE

The primary test site chosen for the current project, the major Anasazi

complex at the Chaco Culture National Historical Park, in New Mexico, USA is in an essentially arid environment which is liable to flash flooding. Additional evidence has also been examined from another project supported by the National Environmental Research Council (NERC) and English Heritage in the UK which concerns the application of low level multi-spectral survey on an intensively farmed multi-period landscape around West Heslerton in North Yorkshire, England, and provides valuable data from a completely different environment in which most of the archaeological features lie beneath ploughed fields.

Chaco Canyon contains hundreds of site foci, besides 13 major archaeological complexes representing the highest point of the Anasazi Pueblo culture, which flourished in the south-western areas of the USA between the seventh and the thirteenth centuries AD. Chaco Canyon was an ideal test site for the project, given its complex topography, the variety of archaeological site types present in the area, the long history of archaeological research and data collection and the delicate balance between indigenous values and tourism that now prevail; in addition the site is a World Heritage Site and was readily accessible for both fieldwork and for air-borne data collection.

The data collected comprise a representative data set from the various available and suitable data gathering platforms from air photography to satellite imagery. The wealth and coverage of survey and other detailed data recovered in more than half a century of research at Chaco provides the cultural context for the data which is perhaps unparalleled.

## 2. DATA COLLECTION

The data assembled by NASA for Chaco Canyon includes Landsat and SPOT satellite imagery, Russian KFA "spy photographic imagery", air-borne multi-spectral data (ATLAS), high resolution infra-red photographs, digital vector maps, ground based Global Positioning System (GPS) surveys and digital elevation models (DEM). In order to provide good georeferencing data, a very detailed differential GPS survey was undertaken at the site, establishing hundreds of bench-marks all over the National Park including a number of permanent base stations with accuracies within a few centimeters. In addition a number of other organizations including the Chaco Center at the University of New Mexico, the New Mexico State Archaeology Service and the National Park service archives have contributed important survey and excavation data in addition to historic photographs and plans.

The air-photographic archive for Chaco is particularly impressive starting with the pioneer flier Charles Lindbergh and followed by a number of vertical photographic surveys which have been conducted over the last 50 years; these are of the greatest significance as they allow us to examine the potential for undertaking change detection arising from known events.

This data has been gathered together for integration in the GDMS and includes databases in a variety of formats including dBase, Paradox and Oracle, scanned maps and plans and a sample of field drawings which are now being digitized. The quantity of data is vast and since this project is concerned with assessment of potential rather than long term research, attention has been focused on sample areas and particular problems such as visitor pressure and erosion. The collected archive is an important resource in which the assemblage is greater than the sum of its parts. The data collection phase of the project is now complete.

### 3. DATA PROCESSING

The digital image data has been processed using Erdas Imagine and PCI image processing software on Sun workstations and PCs running Windows 3.11 and NT. The primary exercise undertaken by NASA was the georeferencing of the data which has isolated some unexpected problems in a project of this kind, mainly due to the difference in absolute coordinates between the georeferenced satellite imagery, the GPS survey stations, and the digital USGS maps of this area. The low resolution satellite images and KFA photographs provide an environmental backdrop for the high resolution data and could be used for monitoring broad environmental change in some environments such as the removal of vegetation cover with the consequent problems of erosion and deposition.

Basic classification of these data can assist in identifying the true environmental boundaries of a site, witness the boundary between the area fenced off as the national park and the overgrazed and eroded areas beyond the park boundary at Chaco. This is an example of the risk of delimiting a site on the basis of considerations which have little to do with historical or environmental considerations, so that features that lie outside of the protected zone will suffer damage simply as a result of being "beyond the fence".

For the high resolution air-borne multispectral data, of which there are several gigabytes, only very limited classification has so far been undertaken and more work is in progress in this area. Some data processing problems have been encountered due to the size of the images being worked upon: the primary rectified multi-spectral image, including data from a single wavelength, has a file size of more than 270MB.

Using a combination of map data and stereo photography, a medium resolution DEM of the area has been generated with high resolution surface models being constructed covering the key sites chosen on account of their easy accessibility to the general public which are therefore subject to the greatest risk from erosion.

#### 4. DATA ANALYSIS

The analysis of the digital images is being approached from two sides, through visual scanning and through digital classification. Visual scanning of the data reveals that in the arid climate of Chaco Canyon thermal data offers great potential for the identification of site components which cannot be seen using conventional air reconnaissance. Digital classification which relies upon the presence of unique spectral signatures within a multi-spectral image is possibly useful for site identification at Chaco since the black and white pottery that is characteristic of Anasazi culture and frequently covers large midden deposits, contrasts with the naturally occurring spectra.

Using a combination of trained and untrained classification procedures we are attempting to isolate archaeological features which can be verified against the vast body of survey data and ultimately by verifying on the ground the presence of features recognized through the automatic classification, a procedure known as ground truthing.

#### 5. DOCUMENTATION

One of the objectives of the project is to produce a CD-ROM based management tool and archive which can form the basis of a prototype site management system for the National Park Service. In addition it is hoped to produce a CD-ROM sampler which can demonstrate the potential and limitations of the various different data sets.

A hypertext project help system is being developed which gives the full details of data resolution, collection and manipulation so that a novice user can quickly get to grips with and use the data. It is not good enough simply to collect together an eclectic group of data and provide access to it, the user must be given as much information as possible regarding each data set if they are to use the data to its fullest capabilities.

#### 6. INTEGRATION

This stage of the project coupled with the publication of the assessment of potential provides the ultimate test of applicability of both the data collected and the method of data management. In addition this step demonstrates the problems of data registration which increase massively as the resolution increases. The project aims at demonstrating that the generation of a fully integrated data set is neither difficult nor expensive once the primary data sets have been established, as is already the case at Chaco. One issue of considerable importance with regard to the data integration is the difficulties presented by the use of multiple different grid systems and map projections and the use of GPS survey which provides a level of accuracy not found in the

primary data. This has been collected and georeferenced using standard cartographic methods in which the relative locations of one feature to another are, no doubt, correct but the relationship to the global position is not.

Digital maps generated from old air photographic surveys and provided by the USGS include errors greater than 100m with reference to the GPS georeferenced digital image data. The discrepancy between GPS and map coordinates is certain to become a major issue anywhere GPS is used for gathering point locations in an environment for which the available cartographic data is not GPS referenced (presently most of the world). Further issues being addressed are the need for some degree of data protection since the more detailed the data that is made available through interactive and integrated Geographic Information System (GIS) applications the higher is the risk of that data being abused by treasure hunters and other cultural vandals.

Other data sets have also been reviewed although they do not cover the key test site. Synthetic Aperture Radar (SAR) data, currently collected by the space-shuttle (the last mission was conducted in October 1994), offers the best long term capabilities for automated change detection. Radar data, incorporating three wavelengths, is not constrained by weather or day/night conditions in the way that thermal and visible wavelength data is, and one of the three collected wavelengths has some ability to penetrate vegetation, only to be reflected from solid surfaces. In an arid region SAR data can be used to identify buried features as, with a sufficiently dry environment, sand penetration can be greater than 5 meters.

SAR data is currently distributed as 20m resolution data. Within a few years data resolutions will be as high as 2m. per pixel, collected by satellites orbiting the Earth and providing total coverage on a weekly basis. This will offer the potential for automatic difference extraction provided problems of georeferencing and scan line repeatability can be overcome.

As increasingly high resolution data is collected the potential returns for the cultural resource manager is higher; however, as resolution increases the problems of image registration and image processing will magnify, if just due to the sheer volume of data available. Currently high resolution data is only available using air-borne scanners, which presently operate only in limited areas. Improvements in resolution up to a single meter in panchromatic and 4 meters in multi-spectral will be possible with the new generation of EarthWatch and Space Imaging satellites which will be launched between 1997 and 1998.

Our joint experiments with NASA generated 2.5 m data for Chaco and at Heslerton in England the NERC collected 1.8m. data. Clearly this is not sufficient to indicate the presence of any but the most determined treasure hunters activities, or larger scale land-use changes. These data when combined with information on geology, drainage and a DEM of matching resolution may allow us to identify areas which may be subject to erosion or flood-

ing, and to provide information on land use modifications. The effect of visitor traffic could be monitored using data at this resolution since pathways and other areas subject to human erosion can clearly be seen. A series of historic vertical photographs in the Chaco archives show clearly the widening of tracks used by visitors to get to the monuments with pathways doubling in width between the late 1960's and early 1970's.

While the possibility of using air - or space - borne data to undertake automatic global monitoring of anything other than large scale damage to World Heritage sites cannot be feasibly applied for a few more years, using presently available remote sensing platforms, the application of this type of technology can already offer real benefits to the heritage management community.

High resolution multi-spectral data, particularly thermal data, provides us with an opportunity to identify and extract features which do not show using conventional air photographic survey techniques. The disturbed nature of the soils filling buried features or the contrast between structural debris and undisturbed ground frequently provides an environment that responds well to recording in the thermal bandwidth.

The low-level multi-spectral surveys at Chaco and Heselton both show detail not available from conventional air-photography. In the latter case, in an intensively farmed environment, a single multi-spectral scan has recovered more site-specific data than 15 years of oblique crop-mark photography. Many features not previously known could be identified and detail added to already known crop-mark complexes. At Heselton, ground based geophysics have further enhanced the picture built up from air photography and the multi-spectral survey.

Once sub-meter resolution photography, radar and multi-spectral data are available from space the benefits of this technology will increase exponentially. In the meantime experimentation as at Chaco and Heselton should be continued so that we can develop and test the right tools and approaches to the data as resolution quality and bandwidths are improved. Already hyper-spectral instruments recovering data across more and narrower spectral bandwidths are being launched; it is only a matter of time before suitable instruments for site monitoring are available.

In conjunction with our experimental application of remotely-sensed data, the GIS management project will be geared towards the construction of predictive models to assist park managers in being pro-active in attempting to reduce the negative impact of human and natural agents threatening the delicate cultural and natural resources of these sites.

GAETANO PALUMBO, DOMINIC POWLESLAND  
Getty Conservation Institute  
Marina del Rey, CA

ABSTRACT

NASA and The Getty Conservation Institute are conducting an experiment in the application of remotely sensed multispectral and radar data for monitoring change at World Heritage Sites. The project is concerned both with the principles of this approach and with current limitations. The latter have clearly demonstrated that automatic monitoring cannot be easily achieved, due to problems of low resolution, lack of repeatability, and cost, but the integration of this remotely sensed data with other data types into a geographic data management system may provide a monitoring management tool that can be used to test the potential of a fully integrated approach to site definition, monitoring, and management. The test case being adopted covers the area of Chaco Culture National Historic Park, in New Mexico, USA, a major Anasazi complex which is registered in the UNESCO's World Heritage List. Data assembled included a variety of remotely-sensed information, GPS surveys, and the preparation of a baseline GIS, but also historic aerial photographs and excavation data. The resulting data management system, which also includes basic classification conducted on some of the multispectral data available, is an example of a relatively simple system of archaeological data management which could serve the needs of site managers and archaeologists.

## ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DI IMMAGINI TELERILEVATE PER LO STUDIO SISTEMATICO DELLE TESTIMONIANZE ANTROPICHE NEL TERRITORIO. I CASI DI PALMYRA E DI SELINUNTE

### 1. INTRODUZIONE

L'uso di fotografie aeree per indagare il territorio inizia con il nostro secolo e trova molto presto numerose ed efficaci applicazioni in campo archeologico. Un ampliamento delle possibilità di realizzare la ricerca storica è stato permesso, negli ultimi due decenni, dalla disponibilità di immagini da satellite, gestite con l'ausilio della tecnologia informatica.

Il sistema di ripresa orbitale consente, innanzitutto, sintesi di aree molto vaste; in secondo luogo, la caratteristica delle immagini consiste nella registrazione di più dati in funzione della lunghezza d'onda impiegata, acquisendo sia l'energia riflessa, sia quella emessa. Poiché entrambe dipendono dalla natura dell'oggetto a terra, è effettuabile l'identificazione di tutte le tracce distinguibili al suolo e nell'immediato sottosuolo.

L'uso di sensori multispettrali e le numerose piattaforme di ripresa permettono, dunque, di conoscere al meglio le risorse naturali del pianeta e di raccogliere una notevole massa di informazioni sull'ambiente utilizzato dall'uomo. Inoltre, il telerilevamento offre validi apporti per l'analisi e lo studio delle strutture antropiche attuali e passate. Si ha, infatti, la possibilità di registrare, attraverso una selezione nella lettura delle immagini orbitali, dati su tutto ciò che il suolo, in queste riprese, contiene, riconducibile ad una attività umana.

Queste informazioni, che sono funzione delle variazioni dell'energia emessa e riflessa dalla superficie del terreno, devono essere spiegate e interpretate per diventare documenti utilizzabili nella ricostruzione storica dei sistemi insediativi che si sono succeduti sul territorio investigato. Pertanto, è necessaria la raccolta parallela di dati sulle conoscenze pregresse nella stessa area, cartografici, bibliografici e di archivio, elementi determinanti per illuminare l'interpretazione.

Il riconoscimento dell'orientamento delle tracce interpretate e l'individuazione, ad esempio, di una certa regolarità nelle forme riscontrate sull'immagine - regolarità che è distintiva di un'azione antropica - rappresentano le linee-guida dell'analisi del territorio attraverso il telerilevamento, traducibili in termini topografici dopo la georeferenziazione delle immagini. L'orientamento è, infatti, il segno evidente di un progetto dell'uomo che occupa il territorio ed è la forma sottesa al concetto di sistema insediativo, come impianto abitativo connesso con l'insieme delle risorse naturali dell'area. L'iden-

tificazione delle organizzazioni territoriali nell'area indagata è, perciò, il primo capitolo dell'applicazione del *remote sensing* alla ricerca archeologica e il supporto su cui appoggiare le informazioni maggiormente dettagliate fornite dalle riprese a più bassa quota.

Parallelamente, i sistemi insediativi individuati vanno confrontati e spiegati con le caratteristiche geoambientali del territorio in esame, che offrono indicazioni determinanti sulla sua suscettività di occupazione: l'analisi delle relazioni diacroniche esistenti tra insediamenti e ambiente rappresenta, infatti, una delle applicazioni più stimolanti del metodo.

L'interfaccia del modello così ottenuto con l'insieme delle informazioni pregresse, gestito con adeguati sistemi informativi, permette di passare alla ricostruzione storica delle forme di presenza umana sul territorio studiato. Il quadro può ricevere le integrazioni finali attraverso i controlli, puntuali e molto significativi, rappresentati dalle prospezioni geofisiche e dai carotaggi. Infine lo scavo, al termine di queste procedure, ne diventa il controllo definitivo.

L.P.

## 2. IL CASO DI PALMYRA

Il progetto di realizzazione di una cartografia archeologica della Siria affidato dall'UNESCO al Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino contempla, come intervento campione, l'indagine del territorio di Palmyra, determinato in base ad una scelta di priorità avanzata dalle autorità siriane.

Il lavoro, che ha avuto inizio nel 1995 e si svolge in collaborazione con la Direction Générale des Antiquités et des Musées (DGAM), è stato condotto, in fase preliminare, su un'area di 30 per 30 km centrata sulla città.

L'oasi di Palmyra, citata nelle fonti del II millennio a.C. con il nome di Tadmor, assunta ad importante centro di scambi commerciali e culturali tra il mondo romano e quello partico nei primi secoli della nostra era, è uno dei siti maggiormente investigati della Siria. Oltre sessant'anni di ricerche archeologiche seguite agli studi del profondo conoscitore delle antichità palmirene H. Seyrig hanno illuminato vividamente la storia di questo grande nodo carovaniero, punto di sosta nel deserto siriano sull'asse che unisce Homs ad Abu Kemal, a metà strada tra Damasco e l'Eufrate (Fig. 1).

Non solo le rovine dell'antica città, ma molto presto anche il territorio ad essa circostante sono divenuti oggetto di studi. Sfiando solo le tappe più significative della ricerca, si possono ricordare i primi sforzi pionieristici di A. Poidebard che, investigando la regione per mezzo della fotografia aerea, mise in evidenza la rete di strade e piste che si dipartivano dalla città (POIDEBARD 1937). D. Schlumberger esplorò sistematicamente negli anni '40 i resti relativi ad una occupazione dell'ampia area che battezzò "La Palmyrène du nord-ouest" (SCHLUMBERGER 1951). Il recente convegno internazionale dal titolo

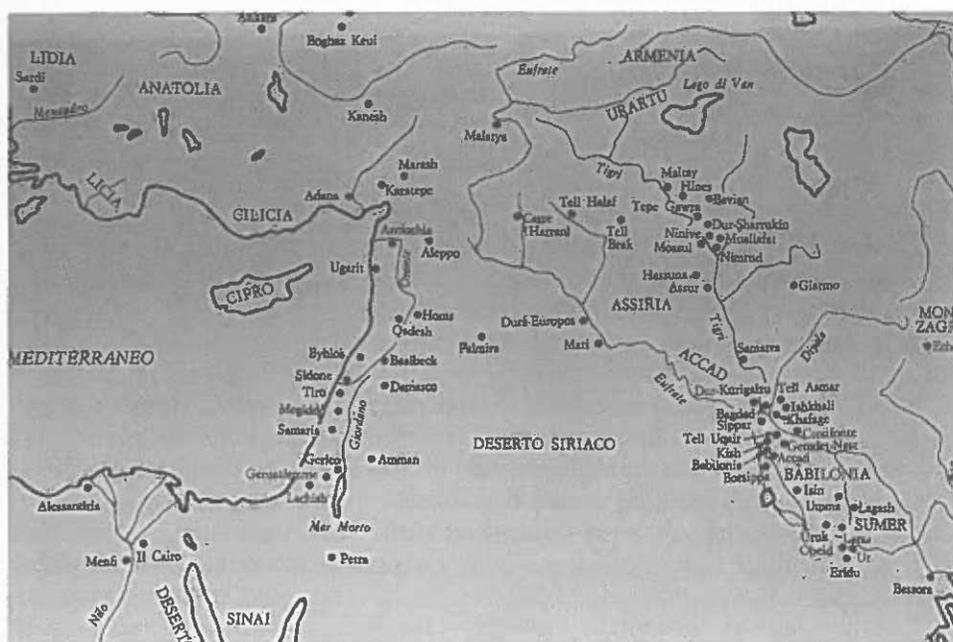


Fig. 1 - Localizzazione geografica dei principali centri antichi del Vicino Oriente.

“Palmyra and the Silk Road” (*Palmyra and the Silk Road* 1996) ha consentito di fare il punto sullo stato delle ricerche e ne ha fornito un quadro di sintesi estremamente valido. In particolare, un notevole contributo all’indagine del territorio più prossimo a Palmyra è costituito dal lavoro di J.-M. Dentzer il quale, avvalendosi del prezioso apporto di una serie di fotografie aeree scattate dall’Aviation Française du Levant nel 1930, ha individuato la presenza di numerose strutture sepolte nell’area immediatamente circostante la città, sia a nord - da interpretare, verosimilmente, come costruzioni legate all’attività commerciale e carovaniera del sito (DENTZER 1994),- sia a sud - dove si estendeva la zona urbana,- nonché nella valle delle note tombe monumentali (DENTZER, SAUPIN 1996).

Il progetto che il Centro Scavi sta realizzando si propone l’indagine sistematica di un’ampia area del territorio palmireno applicando la metodologia di studio integrato sopra descritta.

L.P.

## 2.1 L’elaborazione delle immagini

Nella presente indagine sono stati utilizzati dati acquisiti dal sensore Thematic Mapper del satellite Landsat 5 e dal sensore pancromatico del satellite SPOT.

La visione sinottica delle riprese telerilevate, gli intervalli di ripresa spettrale e la risoluzione geometrica al suolo (rispettivamente 30 m per il sensore Thematic Mapper e 10 m per il sensore Pancromatico) sono le caratteristiche che rendono questi satelliti particolarmente adatti all'identificazione di eventuali presenze antropiche, soprattutto in aree a clima semi-arido.

Questo lavoro si propone di illustrare la metodologia di studio applicata per i dati acquisiti dai due satelliti e i risultati ottenuti e testati con controlli in situ dell'identificazione e ubicazione delle presenze antropiche.

Le immagini utilizzate sono relative ad una ripresa del sensore Thematic Mapper del satellite Landsat 5, acquisita in data 04/aprile/1994, e ad una ripresa del sensore Pancromatico del satellite SPOT, acquisita il 29/maggio/1993.

Al fine di ottenere una ubicazione degli elementi presenti nell'immagine in termini di coordinate geografiche e per eliminare l'effetto dovuto alla distorsione panoramica delle riprese satellitari (effetto della curvatura terrestre), la correzione geometrica dei dati è stata effettuata applicando il metodo dei Ground Control Points (DAVISON 1986), selezionati sulla cartografia a scala 1:200.000 del 1972 prodotta dal Servizio Topografico della Repubblica Araba Siriana.

Gli effetti atmosferici, indotti da fenomeni di scattering, sono stati, almeno in parte, corretti con metodi di normalizzazione dell'istogramma (MATHER 1987).

Per individuare la migliore combinazione di bande del sensore Thematic Mapper, da porre in sintesi RGB, è stata utilizzata la metodologia proposta da Sheffield (SHEFFIELD 1985) che definisce la terna "maggiormente informativa" quella che massimizza il determinante della matrice varianza-covarianza.

La terna "maggiormente informativa" utilizzata in questo lavoro è risultata essere quella formata dalle bande spettrali 4, 3 ed 1. Le bande 4, 3 ed 1 sono state sottoposte ad un miglioramento del contrasto e della luminosità e combinate, secondo l'ordine citato, in sintesi RGB.

L'immagine risultante non si presta ad un'accurata identificazione visuale delle tracce legate a presenze antropiche. Esse, infatti, non sono ben distinguibili, cromaticamente e geometricamente, dagli elementi circostanti.

Un procedimento per aumentare l'interpretabilità di un'immagine a colori consiste nell'espandere la distribuzione dei punti, corrispondenti al colore del pixel, nello spazio RGB. Mediante tale metodologia si accentuano le differenze tra colori all'origine molto simili. In questo lavoro è stato applicato il metodo denominato IHS Colour Enhancement (IHS-CE) (GILLESPIE 1986).

Nel caso di bande correlate tra loro e con distribuzione gaussiana, nello spazio 3D la distribuzione dei pixel si configura con la forma di un ellissoide più o meno allungato.

Con operazioni di contrast stretch, eseguito sulle singole bande, l'effetto prevalente è un aumento del contrasto dell'Intensità dell'immagine RGB,

mentre la Tinta e la Saturazione restano all'incirca inalterate. Si ottiene, in definitiva, un allungamento dell'ellissoide.

Il metodo IHS-CE è fondato su un cambio del sistema di coordinate nello spazio di rappresentazione dei colori. Intensity, Hue e Saturation sono grandezze numeriche con le quali è possibile descrivere buona parte dei colori visibili in modo più direttamente collegato alla percezione umana del colore di quanto lo siano i valori RGB. Eseguita la trasformazione da RGB a IHS, le tre nuove componenti possono essere elaborate in modo tra loro indipendente per poi ritornare al sistema RGB e alla successiva visualizzazione.

In relazione alle immagini Landsat-TM (bande 1, 3 e 4), dopo la conversione in immagini I, H ed S, è stato applicato uno stretch lineare della sola componente saturazione, lasciando volutamente inalterata la Hue. Delle tre componenti, la Intensity è quella che contiene la maggior parte delle informazioni legate alla variazione di contrasto luminoso (ad esempio luce-ombra o caldo-freddo). Basandosi su tali considerazioni, le variazioni ad alta frequenza (connesse a rapide variazioni di luminosità) sono state enfatizzate applicando alla Intensity un filtro passa alto e ricombinando l'immagine risultante con la Intensity stessa.

Tale operazione consente di accentuare la separazione tra le diverse strutture presenti nell'immagine e compensa, anche se in modo parziale, l'effetto di sfocatura introdotto dal ricampionamento durante la fase di correzione geometrica. Successivamente si ritorna al sistema di coordinate R, G e B e l'immagine è nuovamente visualizzata in sintesi additiva.

Nell'immagine ottenuta per mezzo dell'applicazione del metodo IHS-CE (Tav. I) risultano ben evidenti con il colore violetto (al centro della scena) le aree antropizzate relative alla città di Palmyra.

Con colori variabili dal blu scuro al nero, al centro dell'immagine (a sud del centro abitato), sono ben riconoscibili i limiti della grande area di sabka che occupa questa zona, mentre ad ovest del centro abitato sono distinguibili in verde chiaro le aree vegetate e usate per coltivazioni. Immediatamente a sud del centro abitato è ben evidente in verde scuro l'area attualmente occupata dall'oasi a palme.

Nell'area in alto a sinistra dell'immagine è visibile una zona abbastanza estesa di colore bianco corrispondente ad una fascia di sedimentazione fluviale percorsa verso il suo limite settentrionale (in nero), con direzione all'incirca NE-SW, da un corso d'acqua, oggi a carattere non perenne.

Di particolare interesse è l'area immediatamente ad ovest dell'attuale centro abitato di Palmyra, dove è riconoscibile con tessitura granulare e con colori variabili dalle tinte di viola al rosso e con taluni andamenti lineari, il sito archeologico di Palmyra. Utilizzando la risposta spettrale di questo, l'interpretazione visuale è stata estesa a tutta la scena e una zona con caratteristiche spettrali molto simili e geometrie regolari (di colore bianco) visibili chiaramente nell'immagine SPOT-PAN di Fig. 2 è stata identificata nell'area a sud

del centro abitato (limite inferiore della scena) a circa 18 km dallo stesso. Da un controllo diretto (novembre 1995), come spiegato più avanti, è risultato essere un consistente sito che si estende su un'ampia superficie, noto solamente per le strutture ancora emergenti che ne occupano solo una piccola parte, conosciuto come Al Bakhra (BOUNNI, AL AS'AD 1989, 122). Alcuni dettagli sono riprodotti nelle Figg. 4 e 5. Nell'immagine della Tav. I, inoltre, sono ben riconoscibili le tracce di strade (piste) anch'esse segni evidenti di un sistema insediativo.

L'impiego di due bande di ripresa nell'infrarosso vicino (bande 3 e 4 del sensore Thematic Mapper) congiuntamente ad una nel visibile (banda 1 dello stesso sensore), in virtù delle condizioni climatico-ambientali dell'area di studio (elevata differenza di riflettività tra litologie a carattere sabbioso del terreno e manufatti antropici, in concomitanza con assenza di vegetazione di copertura), ha contribuito ad un esito positivo nell'identificazione di tracce correlate a presenze antropiche sul territorio.

Le immagini dell'area posta oltre il limite meridionale del lago salato sembrano inoltre evidenziare come esista una stretta interrelazione tra strutture antropiche ed evoluzione paleogeografica del territorio. Tracce di odierne piste non asfaltate e di probabili antichi percorsi oggi non più praticati sono evidenti in modo più persistente a partire da un rilievo morfologico (tell Schéjara) in direzione sud che non in direzione nord (verso il centro abitato), dove solo alcune tracce di piste lo attraversano in corrispondenza della sua area di minima espansione (Fig. 3).

Lo studio delle caratteristiche morfologiche del territorio e delle sue variazioni paleogeografiche, condotto con integrazione di dati telerilevati e dati di campagna, potrebbe risultare particolarmente significativo per l'identificazione ulteriore di vicende insediative. L'indagine diviene così sistematica e fondata su presupposti anche di carattere ambientale e non solo affidata a scoperte casuali.

D.S.

## 2.2 Il riscontro al suolo

L'elaborazione delle immagini Landsat TM e Spot (Tav. I; Figg. 2, 3) ha condotto ad individuare una maglia di testimonianze di presenze umane, oltre a quelle di una fitta rete di tracciati viari che attraversavano l'area nell'ambito dei collegamenti più diretti tra la Mesopotamia e il Mediterraneo.

Una completa georeferenziazione sul terreno, realizzata con GPS e stazione totale, ha permesso di attuare un controllo diretto, molto significativo, di quanto interpretato nelle immagini, con notevoli corrispondenze. Le ricognizioni sul territorio e la raccolta di materiali in superficie troveranno integrazione nel sistema informativo che si sta costruendo con i dati già noti attraverso archivio e bibliografia. L'interfaccia del GIS con le immagini



Fig. 2 – Immagine SPOT-Pancromatica, 29.05.1993. Area a sud di Palmyra (Al Bakhra).



Fig. 3 – Immagine SPOT-Pancromatica, 29.05.1993. Area a sud-est di Palmyra (Tell Schéjara).

georeferenziate e interpretate permetterà una più approfondita ricostruzione storica e indicherà le aree per le riprese da bassa quota. Queste consentiranno di ottenere informazioni molto analitiche per le aree più specificatamente indiziate e guideranno eventuali successive operazioni di scavo.

Fin da ora sembra evidenziarsi un quadro generale dell'occupazione del territorio in età storica che privilegia i quadranti a sud di Palmyra, dal momento che quelli a nord, montuosi, restituiscono prevalentemente materiale litico preistorico, sovente non in giacitura primaria.

Il settore meridionale, che si sviluppa attorno ad un antico lago attualmente eutrofico (*sabka*) (Tav. I), presenta insediamenti che paiono disposti generalmente su piccoli rilievi o tell emergenti dalla steppa. La loro caratteristica costante pare essere quella di un'occupazione notevolmente ampia in senso diacronico, spesso caratterizzata da una fase preistorica (posteriore al Paleolitico medio) che scende sino all'età islamica.

Alcuni di tali siti, come il possente complesso fortificato di epoca ommayyade di Al Bakhra, situato a ca. 18 km a sud di Palmyra, presentano tecniche costruttive e materiali ceramici che attestano con sicurezza anche una fase di età romana (BOUNNI, AL AS'AD 1989, 122). Nel caso citato, si tratta di una cittadella a pianta rettangolare dalle dimensioni di circa m 300 per 250, cinta da mura, che si impone e riutilizza resti di un insediamento di epoca imperiale (Fig. 4). La fortificazione, in blocchi di calcare, presenta due ingressi opposti, l'intero muro nord-est raddoppiato per tutta la lunghezza e quattordici torri semicircolari che scandiscono lo sviluppo delle mura. All'interno sono distinguibili resti di costruzioni, anche se i vari ambienti, con ingressi indicati da grandi soglie monolitiche, non sono chiaramente leggibili (Fig. 5). All'esterno dell'area fortificata risultano decisamente notevoli, per estensione, le tracce di quartieri d'abitazione o di servizio; è da segnalare, inoltre, ad ovest, un'area sepolcrale islamica, anch'essa situata su un rilievo. Una cisterna di grandi dimensioni rappresentava una delle ragioni di vita del complesso.

L'aspetto fortificato e le relazioni spaziali che sembrano legare la maggior parte di questi insediamenti lasciano ipotizzare una loro logica disposizione topografica in corrispondenza di precisi assi viari antichi, verosimilmente in direzione di Damasco e del Mediterraneo nel settore sud-ovest investigato e verso l'Eufrate in quello sud-est.

Interessante appare anche il caso di tell Schéjara, posto a 12 km a sud-est di Palmyra e attualmente ancora sfruttato per la coltivazione, con orti e palmeti (Fig. 6). Esso non presenta strutture antiche visibili, ma restituisce parecchia industria litica preistorica e ceramica islamica, mentre sulle immagini satellitari è chiaramente leggibile la presenza di quattro assi viari che si dipartono a raggiera all'esterno di una struttura racchiudente il perimetro della collina (Fig. 3).

Si tratta, per ora, solo di alcuni accenni esemplificativi di una situazio-



Fig. 4 – Al Bakhra. Veduta d'insieme da sud-est.



Fig. 5 – Al Bakhra. Area interna del complesso fortificato



Fig. 6 – Tell Schéjara. Veduta d'insieme da sud.

ne estremamente variegata, in cui ogni elemento troverà la sua esatta collocazione storica solo in una fase più avanzata della ricerca. Un esempio può essere offerto dalla possibilità di ricostruire interamente il tracciato della *strata Diocletiana*, suggerito dalle immagini e verificato al suolo tramite le strutture maggiormente evidenti e i numerosi blocchi e colonne, forse interpretabili come edicole e come miliari.

L.P.

### 3. IL CASO DI SELINUNTE

L'area di diretta influenza della colonia greca di Selinunte, come già indicarono Hulot e Fougères nei primi anni del '900 (HULOT, FOUGÈRES 1910, tav. IV), corrisponde a un vasto comprensorio, delimitato dal fiume Mazaro ad ovest e dal monte S. Calogero, presso Sciacca, ad est, ed esteso, verso nord, lungo la fascia collinare che racchiude in un'ampia curva i centri moderni di S. Margherita Belice, Partanna, S. Ninfa e Salemi. Su quest'area si sta operando, tramite l'elaborazione e l'interpretazione di immagini telerilevate multispettrali e multitemporali, al fine, da un lato, di assumere nuove conoscenze sull'assetto stratigrafico, strutturale e geomorfologico della zona, dall'altro lato, per tentare di ricostruire, con l'apporto di diverse competenze, le dinamiche insediative che caratterizzarono questo ricco territorio.

In questa sede, oltre ad uno studio tettonico-strutturale a scala regionale, si presentano i dati preliminari relativi al territorio, fisicamente omogeneo, racchiuso tra il fiume Belice ad est, il fiume Modione ad ovest ed il lungo banco di calcarenite delle Cave del Barone verso nord. Sono i dati che permetteranno di costruire il sistema informativo territoriale da interfacciare con i sistemi insediativi letti dalle immagini per giungere alla più completa interpretazione storica delle vicende occupazionali del territorio. Le valli del Belice e del Modione delimitano un'ampia fascia collinare, che verso sud si sfalda in una serie di pianori stretti ed allungati protesi verso il mare, incisi dalle numerose diramazioni del Gorgo Cottone (Tav. II).

Il centro urbano di Selinunte venne ad occupare il promontorio roccioso denominato "Acropoli", tra i fiumi Modione e Cottone, e si estese verso nord sull'ampio pianoro di "Manuzza". L'area urbanizzata, che nel V sec. a.C. raggiunse la massima estensione, espandendosi verso ovest e verso est lungo le vallate dei due fiumi e a ridosso dei porti, dopo il 409 a.C. iniziò a contrarsi, fino a che, alla fine del IV secolo, solo la Collina Meridionale ("Acropoli") era ancora abitata, mentre gli antichi quartieri cittadini di Manuzza, ormai abbandonati, furono occupati da necropoli.

Se molto, ormai, si conosce del centro urbano, il territorio che direttamente circonda Selinunte è stato fino ad oggi scarsamente indagato, sebbene, come le ricognizioni hanno dimostrato, esso fosse densamente occupato in antico.

Sono stati di qualche aiuto per la ricerca alcuni studi topografici, correlati da mappe più o meno puntuali ed esaustive, condotti da autori di fine '800. Essi prestarono, infatti, particolare attenzione alle vie di comunicazione tra la città e l'entroterra e riportarono alcune informazioni su ritrovamenti e strutture, oggi scomparse, in una zona compresa tra la Collina Orientale, la collina della Buffa e l'altura di Galera-Bagliazzo. Il Cavallari, per esempio, accenna a resti archeologici di incerta natura nei pressi dell'area dei templi della Collina Orientale (CAVALLARI 1872, 8), ma l'indicazione dei luoghi e la collocazione dei resti è vaga, così come la loro interpretazione.

Le conoscenze sui dintorni di Selinunte non sono di molto progredite nel corso di questo secolo: sulle colline che circondano il centro urbano, oltre allo studio parziale delle vaste necropoli di Galera-Bagliazzo e della Buffa (per una bibliografia aggiornata vedi KUSTERMAN GRAF 1991, 101-123; inoltre AA.VV. 1992a), non è mai stato affrontato alcun tipo di indagine, e gli scarsi ritrovamenti sono stati per lo più fortuiti e occasionali.

Dunque, pur non tralasciando le scarse informazioni bibliografiche e d'archivio, la ricerca sul terreno si è svolta sulla base delle numerose indicazioni forniteci dall'analisi delle immagini telerilevate.

F.C.

### *3.1 Immagini e geologia*

La continua evoluzione tecnologica consente l'utilizzazione di complessi sistemi computerizzati di ripresa e di elaborazione di immagini a un'utenza sempre più ampia, tali da rendere l'analisi da telerilevamento un approccio oramai imprescindibile per qualsiasi studio di tipo ambientale; esso infatti consente di comprendere ed evidenziare, in tempi reali, le presenze e i processi di trasformazione territoriale con una capacità di definizione analitica raffinata e di notevole dettaglio. La quantità e la qualità delle informazioni riconducibili ad oggetti o fenomeni naturali o antropici che emergono da un tale tipo di analisi non debbono comunque rimanere una semplice rilevazione delle risposte fisiche (riflettività, emissione termica ...) degli elementi territoriali, bensì debbono diventare oggetti di un processo interpretativo interdisciplinare, la cui completezza di informazioni e di verifiche è affidata all'intervento simultaneo e coordinato di indirizzi scientifici multipli.

Tale metodologia di approccio sistematico ha trovato applicazione nello studio del territorio di Selinunte; con l'analisi da telerilevamento si è svolta l'indagine a cascata in tre fasi conseguenti l'una all'altra, con l'utilizzo di immagini multitemporali e multibanda riprese da satellite, da aereo e da bassa quota.

Le informazioni deducibili dai dati digitali telerilevati sono state restituite al suolo in termini di coordinate topografiche attraverso le operazioni di georeferenziazione, che consentono di orientare e di correggere geometricamente le immagini. Con l'uso di immagini multispettrali e attraverso op-

portune elaborazioni computerizzate, proprie di specifici parametri territoriali, è stato possibile ricavare una serie di informazioni su tematiche ambientali diverse. I vari elementi ottenuti attraverso l'analisi, l'elaborazione e la combinazione delle diverse bande spettrali delle immagini satellitari sono stati messi a confronto ed integrati in più elaborati tematici, di cui si intendono presentare qui alcuni esempi che rappresentano le fasi metodologiche di lavoro.

Nell'ambito di un inquadramento fisiografico e geo-archeologico del territorio di Selinunte, si è ritenuto fondamentale effettuare uno studio della tettonica tardiva regionale. La possibilità di individuare le tracce tettoniche ed inserirle nel contesto geologico-strutturale della regione risulta di notevole importanza, in quanto i grandi sistemi di fratturazione della crosta terrestre, oltre a costituire delle vie di trasporto di soluzioni minerali e zone di localizzazione di giacimenti minerali, risultano elementi condizionanti l'evoluzione morfologica e idrogeologica del territorio e sono i responsabili dei movimenti tellurici, noti storicamente in tutta la valle del Belice. In particolare, per il territorio di Selinunte le immagini riprese da satellite Landsat 5 (con risoluzione a terra = 30 m) si sono dimostrate le più adatte per il riconoscimento delle caratteristiche lineazioni di significato tettonico-strutturale. In Fig. 7 è rappresentato il modello tettonico-strutturale regionale emerso dall'interpretazione di un'immagine ripresa da satellite Landsat 5 TM nel 1985; il quadro tettonico è stato confermato ed arricchito nel dettaglio dall'interpretazione condotta su immagini aeree schematizzata in Fig. 8. I principali sistemi di faglie e di fratturazione individuati da telerilevamento sono stati controllati e confermati da rilevamenti diretti sul terreno e da indagini geofisiche in profondità (AA.VV. 1992a).

In tale inquadramento strutturale si sono trovate le ragioni della scelta della costruzione degli imponenti monumenti architettonici eretti sulla Collina Orientale; le faglie individuate sembrano essere le responsabili dei rigetti della piastra calcarenitica che si inspessisce proprio in corrispondenza della Collina Orientale, essendo qui il substrato roccioso in grado di sopportare meglio i carichi delle strutture architettoniche.

Attraverso l'analisi di immagini satellitari sono state inoltre identificate le tracce indotte dagli interventi di tipo antropico del passato. Tali interventi, infatti, restano "memorizzati" al suolo e nell'immediato sottosuolo e sono riconoscibili per la particolare risposta dei loro parametri fisici; essi sono stati successivamente controllati ed inseriti in un contesto di uso del territorio nei tempi antichi, anche se a piccola scala. L'acquisizione periodica e multitemporale delle immagini da satellite risulta di notevole aiuto al processo interpretativo, dato che le anomalie riferite a strutture antropiche sepolte possono essere riprese in diverse sequenze ed in condizioni ottimali.

La Fig. 9 è un esempio di interpretazione delle tracce antropiche sepolte applicata all'area di Selinunte, tratta da un'immagine ripresa nell'aprile del 1986 dal satellite SPOT. È stato possibile distinguere due sistemi sovrapposti

di anomalie sepolte, riferibili a due sistemi di segni reticolati, diffusi e diversamente addensati, legati probabilmente a due fasi di organizzazioni territoriali antiche.

Da una serie di fotografie aeree, multiscalarie e multitemporali (1968, 1975, 1987, 1993), riprese non multispettrali, ma solo nello spettro del visibile pancromatico, è stato possibile confermare, con maggior dettaglio e definizione, le tracce dei segni lasciati dalle due occupazioni antropiche nel territorio selinuntino. L'interpretazione integrata delle serie di foto aeree è rappresentata in Tav. II, ove emergono i diversi sistemi di tracce di organizzazione territoriale, le anomalie relative a percorsi viari e quelle dovute ad antichi insediamenti.

La correzione geometrica delle fotografie aeree è possibile attraverso l'uso di immagini digitali e di un relativo software di image processing. Le foto sono state quindi acquisite tramite uno scanner, memorizzate e trattate con un software (Erdas 8.1) dedicato all'elaborazione di immagini (operazioni ancora in fase di svolgimento). Dopo aver corretto geometricamente le immagini fotografiche si è proceduto al miglioramento delle stesse attraverso l'utilizzo di opportuni filtri che hanno consentito una facilitazione all'interpretazione. La Fig. 10 è un esempio di interpretazione di una porzione di immagine, ripresa nel 1987, in scala originale 1:13.000 circa, in corrispondenza al sito romano di "Trenta Salme"; in tal modo i segni interpretati aiutano a chiarire il significato geometrico degli elementi individuati come strutture sepolte riferite all'occupazione dell'uomo antico.

La fase finale dell'analisi utilizza riprese da piattaforme da bassa quota di immagini ad alta risoluzione e possibilmente con sensori diversi per le varie bande dello spettro elettromagnetico, che in genere, per l'analisi archeologica, sono la banda del visibile, dell'infrarosso fotografico e dell'infrarosso termico.

La Fig. 11 si riferisce all'interpretazione di un'immagine fotografica, ripresa nel visibile b/n durante un volo a bassa quota (circa 200 m d'altezza dal suolo) effettuato dal Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino nel luglio del 1990 sulla Collina Orientale di Selinunte per mezzo di una piattaforma mobile, costituita da un aereo ultraleggero motorizzato in grado di volare a velocità di circa 50 Km/ora. La ripresa delle immagini con una camera semimetrica Rollei, associata ad un sistema di restituzione fotogrammetrica computerizzato, ha consentito la localizzazione corretta al suolo delle anomalie interpretate. Infatti, i negativi delle immagini sono stati acquisiti tramite scanner di una stazione computerizzata; i dati digitali sono stati quindi georiferiti, migliorati e si è proceduto all'interpretazione delle anomalie antropiche sepolte.

L'esempio qui riportato si riferisce ad un'area test localizzata sulla Collina Orientale di Selinunte, zona oggetto anche di successive verifiche puntuali, anche mediante prospezioni geofisiche (geoelettriche, geomagnetiche e

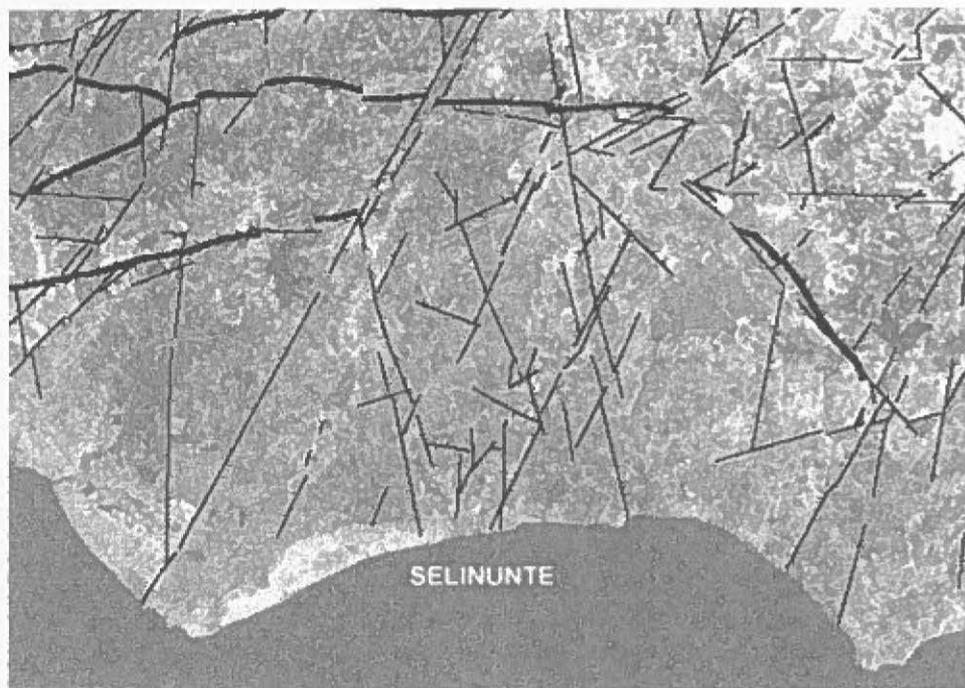


Fig. 7 - Carta Tettonica della Sicilia sud-occidentale da satellite Landsat 5 TM del 23 luglio 1985. Interpretazione: P. Baggio - C. Zamboni (CNR Padova - L.A.TER. Torino)

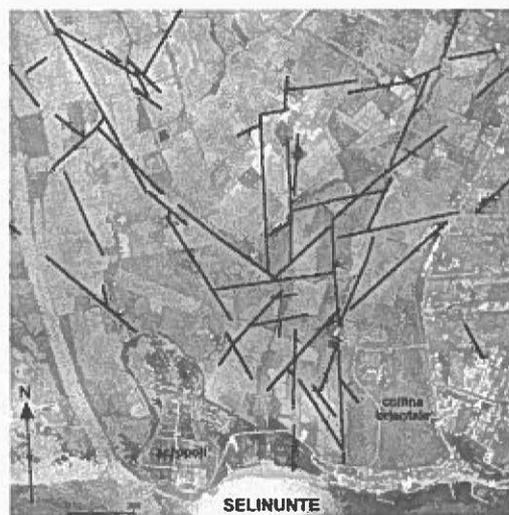


Fig. 8 - Carta Tettonica della zona di Selinunte da foto aerea del 1975. Interpretazione: P. Baggio - C. Zamboni (CNR Padova - L.A.TER. Torino).

Fig. 9 - Il territorio di Selinunte. Tracce di antropizzazioni sepolte interpretate da satellite SPOT 1 del 1986. Interpretazione: P. Baggio - C. Zamboni (CNR Padova-L.A.TER. Torino).



Fig. 10 – il sito di "Trenta Salme". Tracce delle strutture antropiche sepolte da foto aerea del 1987.

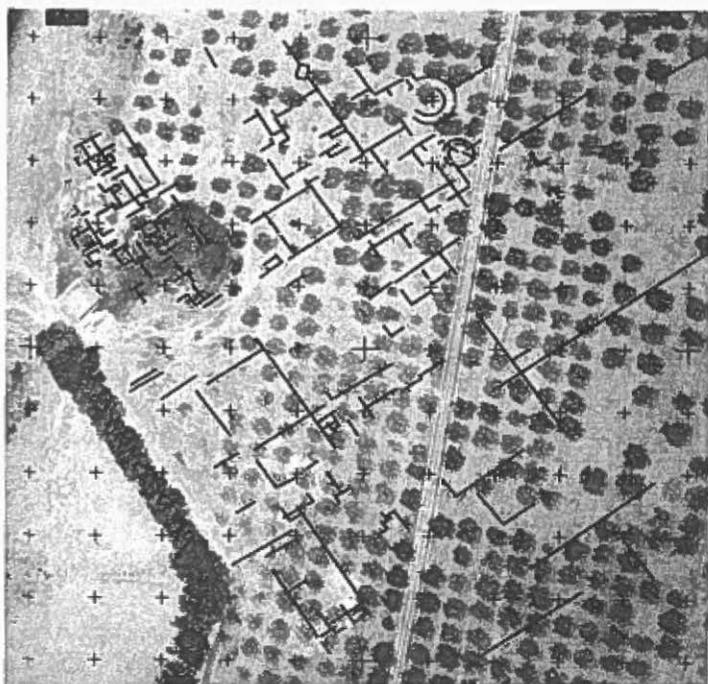


Fig. 11 – La collina orientale di Selinunte. Anomalie antropiche sepolte in un'immagine del 1990 ripresa da bassa quota a nord-ovest del tempio G. Interpretazione: P. Baggio - C. Zamboni (CNR Padova - L.A.TER. Torino).

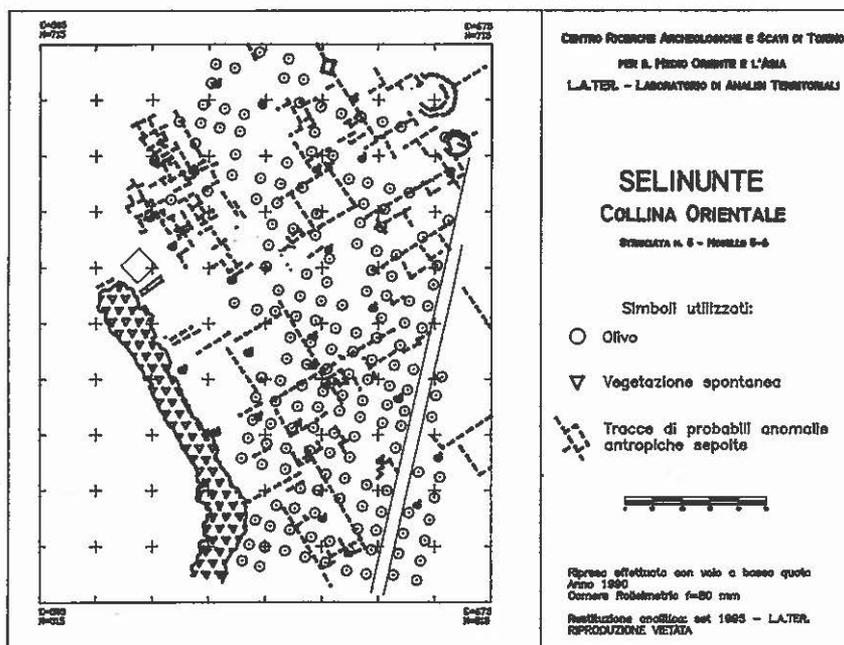


Fig. 12 - La Collina Orientale di Selinunte. Restituzione fotogrammetrica digitale e interpretazione di immagini da bassa quota. (C.A. Birocco - C. Zamboni - L.A.TER. Torino)

radar) effettuate da esperti del C.N.R. dell'I.T.A.B.C. di Roma (PIRO, VERSINO 1992). La vettorializzazione delle tracce individuate ed interpretate come probabili anomalie antropiche sepolte ha reso possibile la loro localizzazione esatta sul terreno mediante un trasferimento su un supporto topografico (Fig. 12) - in una scala di dettaglio - la cui restituzione fotogrammetrica digitale è stata curata dall'ing. C.A. Birocco. L'analisi di tale area, localizzata nell'oliveto al margine della collina orientale a nord ovest del tempio G, ha evidenziato un reticolo di segni con direzione ENE-WSW che si infittiscono in una zona al limite con la scarpata sulla valle del Cottone nei pressi di un abbeveratoio alimentato da una sorgente ancora oggi ricca d'acqua.

C.Z.

### 3.2 La ricognizione sul terreno

I risultati delle ricognizioni di superficie confermano ed allargano l'interpretazione delle immagini: per lo più agli indizi di presenze antropiche sepolte dedotte dalle foto aeree corrispondono vaste aree di frammenti fittili, talvolta accompagnate dalla presenza di blocchi da costruzione di grosso ta-

glio o da elementi architettonici modanati; più raramente si conservano tratti di muri molto danneggiati o strutture tombali. Emerge il quadro di una fascia territoriale molto popolata, su cui, pur variando le modalità di occupazione, sono tuttora riconoscibili le tracce di uno sfruttamento continuato ed intensivo.

La colonia di Selinunte venne ad occupare un territorio già densamente abitato, come evidenziano i resti di un villaggio indigeno sulla collina di Manuzza (RALLO 1976-77, 720-733), sporadiche attestazioni ceramiche dal santuario della Malophoros (TUSA 1982, 111-117) e dall' "Acropoli" (DE LA GENIÈRE 1975, 83-84), e indizi di una occupazione pre-coloniale nell'area della Collina Orientale (GULLINI 1985, 488, nota 25).

La fondazione della *polis* comportò certamente, tramite relazioni più o meno amichevoli con le genti locali, la graduale presa di possesso del territorio e la programmata spartizione della terra coltivabile. Infatti lungo le fasce collinari a nord e a nord est di Selinunte, a partire da una certa distanza dalle grandi necropoli cittadine, si attestano una serie di abitati databili almeno dalla fine del VI sec. a.C. Una serie di divisioni ortogonali individuate sulle foto aeree (in rosso su Tav. II), insieme alla distribuzione regolare di questi insediamenti, fanno pensare ad una suddivisione in lotti in funzione della coltivazione. Si può inoltre ipotizzare la loro dislocazione lungo alcune vie di uscita dalla città; infatti l'andamento di una strada diretta verso nord è stata in parte individuata sulle foto aeree: essa, costeggiando la necropoli di Gale-  
ra, si snodava lungo la parte occidentale del pianoro, attraversando il grande sito 32. È possibile che tale tracciato corrisponda al "Weg zur Burg", indicato su una mappa topografica della seconda metà dell'800 (HOLM 1870, tav. IV) e che ricalchi, in parte, il percorso descritto dal Cavallari «...che dall'Acropoli attraversa la città dirigendosi al nord per comunicare con la necropoli di Galera Bagliazzo, e, ripiegando a nord est, conduce nell'ora chiamata Contrada di Giancontieri» (CAVALLARI 1872, 5).

Sulle immagini da satellite (Fig. 9) e sulle foto aeree è stata identificata una seconda organizzazione territoriale, riconoscibile da una serie di tracce distribuite su tutta l'area indagata, con orientamento circa NW/SE (in verde ed in blu su Tav. II). Dalle ricognizioni di controllo è emersa una fitta rete di abitati, distribuiti regolarmente tra i fiumi Belice e Modione. In parte essi, a cui erano annesse piccole necropoli, continuarono ad occupare i più antichi insediamenti, ma è completamente nuova l'occupazione diffusa e capillare della fascia territoriale compresa tra il fiume Belice e la Collina Orientale. Il materiale ceramico e laterizio ha permesso di datare queste fattorie tra la seconda metà del IV sec. e la metà del III sec. a.C., quando, cioè, il comprensorio di Selinunte rientrò definitivamente nell'eparchia punica, e quando un nucleo abitativo si insediò sulla Collina Orientale, annidandosi tra i templi G ed F e avvolgendo E (MARCONI BOVIO 1961, 12; 1966, 110-111).

Alcune tra esse furono occupate anche in età romana, ma rispetto all'epoca precedente si assiste ad una certa rarefazione degli insediamenti ac-

compagnata ad un aumento delle loro dimensioni. I grandi siti di “Trenta Salme” (n. 9), di “Baglio Florio” (n. 1), di “Case Pisciotta” (n. 28.), di “Casa Amari” (n. 32), di “Casa Pecorella” (n. 7) presentano caratteristiche insediative molto simili: sono distesi ai margini di ampi pianori coltivabili, in posizione di controllo dei grandi corsi d’acqua ed in prossimità delle vie di comunicazione (Fig. 13). Sebbene in alcuni casi sia attestata una presenza ininterrotta dal II sec. a.C. alla prima età imperiale, solo a partire dal II sec. d.C. gli abitati assunsero la vasta estensione che attualmente li caratterizza: sembra dunque che in questo secolo alcune fattorie produttive di limitate risorse si

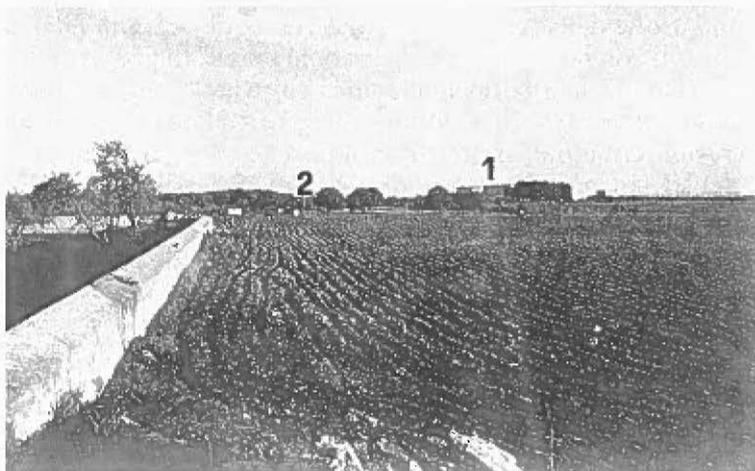


Fig. 13 – Insediamento di età romana N.9 visto da ovest - 1) Baglio “Trenta Salme”. 2) Fiume Belice.



Fig. 14 – Versante occidentale della “Collina Orientale” - 1) Insediamento di età romana. 2, 3, 4) Templi “E”, “F” e “G”. 5) Abbeveratoio. 6) Fondo valle Gorgo Cottone.

siano trasformate in ampi complessi rurali, la cui vita si protrasse fino al V sec. d.C e oltre.

Mediante l'aiuto delle immagini a bassa quota (Figg. 11 e 12) è stato possibile scendere ad un'analisi di maggior dettaglio su uno dei più cospicui e significativi insediamenti di età romana: il grande stanziamento a nord del tempio G (Fig. 14, n. 1). Infatti le ricognizioni di superficie hanno permesso di localizzare, in corrispondenza delle tracce a reticolo con orientamento ENE-WSW individuate sulle immagini, una vasta area di frammenti fittili, particolarmente concentrati ai limiti occidentali del pianoro, in prossimità del vecchio abbeveratoio. Per la costruzione di questo sono stati riutilizzati grossi blocchi antichi da costruzione in calcare; altri, molto numerosi, sono accumulati ai limiti del pianoro, all'inizio del pendio e lungo la stradella proveniente da Baglio Florio. Infine la crescita spontanea e molto abbondante di rovi intorno all'abbeveratoio e nelle vicinanze dello stesso, suggerisce la presenza di accumuli di pietra, oggi del tutto nascosti dalla vegetazione. Essi, insieme a frammenti di cocciopesto e ad alcune lastre in marmo, segnalano la presenza di strutture interrato.

Per questa ragione sull'area sono state effettuate una serie di campagne di prospezioni geofisiche nell'ambito del progetto strategico "Moderne tecnologie per il patrimonio culturale in Italia Meridionale". I risultati ottenuti confermano la presenza di un insieme di strutture sepolte con orientamenti nord-ovest/sud-est e perpendicolari, e di pavimentazioni sepolte a piccola profondità (PIRO, VERSINO 1992). Si può quindi affermare che, su un'area molto vicina ai templi orientali, si installò un abitato, che il materiale ceramico di superficie permette di datare tra la seconda metà del II sec. a.C. ed il VI sec. d.C. (alcuni frammenti di ceramica a vernice nera di buona qualità e di tegole di varia foggia di epoca greca sono probabilmente relativi a sepolture, già segnalate dallo SCHUBRING (1865) sulla sua pianta topografica della città). La portata della scoperta è significativa, se pensiamo che a lungo si è supposto un totale abbandono di Selinunte dal 250 a.C. all'epoca tardo imperiale (MARCONI BOVIO 1957, 70-78).

Degna di particolare interesse, infine, è una documentazione non molto ampia, ma senza dubbio significativa, che segnala la presenza nel Selinuntino di agglomerati sviluppati tra la tarda età romana ed il periodo bizantino. Oltre, infatti, all'individuazione di strutture murarie, di tombe, di lucerne di tipo africano e della nota lampada con monogramma cristiano e l'iscrizione "Deo Gratias" tra i templi C e D (CAVALLARI 1882, 462-468; SALINAS 1882, 332; GABRICI 1930, 63-65), al ritrovamento di un accumulato di lucerne e statuette votive alla Gaggera, e al riconoscimento di lavori di restauro al Megaron della Malophoros (HULOT, FOUGÈRES 1910, 296 e 131, nota 4; SALINAS 1883, 132-134; GABRICI 1927), da un'area di necropoli ad est dei templi della Collina Orientale proviene l'iscrizione funeraria di un certo Ausanius Diaconus, probabilmente giunto in Sicilia per sfuggire alla persecuzione ariana e rifu-

giatosi a Selinunte (BIVONA 1970, 59. n. 44, tav. XXIX). In questo panorama ben si inquadra la presenza di un insediamento tardo romano o bizantino alla foce del fiume Belice, come probabile postazione di controllo della via fluviale.

F.C.

FRANCESCA COLOSI

Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali  
C.N.R. Area della Ricerca - Montelibretti

LAURA POMPEO  
DOMENICO SANGIORGIO  
CRISTINA ZAMBONI

L.A.TER. Laboratorio di Analisi Territoriali,  
Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino

#### BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 1992, *Collezione archeologica del Banco di Sicilia*, Palermo.
- AA.VV. 1992a, «Boll. Geof. Teor. Appl.», Trieste, 134-135, june-september.
- AL AS'AD K. 1996, *Caravan Roads of Palmyra*, in *Palmyra and the Silk Road* 1996, 123-124
- BAUZOU Th. 1989, *Les routes romaines de Syrie*, in J.-M. DENTZER (ed.), *Archéologie et histoire de la Syrie, II, de l'époque perse à l'époque byzantine*, Saarbrücken, 205-221.
- BIVONA L. 1970, *Iscrizioni latine lapidarie del Museo di Palermo*, Palermo.
- BOUNNI A., AL AS'AD K. 1989, *Palmyre. Histoire, monuments et musée*, Damas.
- CAVALLARI F.S. 1872, *Topografia di Selinunte e suoi dintorni*, «Bullentino Comm. Ant. Belle Arti in Sicilia», 5, 1-8.
- CAVALLARI F.S. 1882, *Selinunte*, Memorie dell'Accademia Nazionale dei Lincei, s. III, 10, 462-468.
- DAVISON G. J. 1986, *Ground control pointing and geometric trasformation of satellite imagery*, «International Journal of Remote Sensing», 1.
- DE LA GENIÈRE J. 1975, *Saggi sull'acropoli di Selinunte*, «Kokalos», 21, 68-107.
- DENTZER J.-M. 1994, *Khàns ou casernes à Palmyre? A' propos de structures visibles sur des photographies aériennes anciennes*, «Syria», 71, 45-112.
- DENTZER J.-M., SAUPIN R. 1996, *L'espace urbain à Palmyre. Remarques sur des photographies aériennes anciennes*, in *Palmyra and the Silk Road* 1996, 287-318.
- DODINET M., LEBLANC J., VALLAT J.P., VILLENEUVE F. 1990, *Le paysage antique en Syrie: l'exemple de Damas*, «Syria», 67, 338-355.
- GABRICI E. 1927, *Il santuario della Malophoros a Selinunte*, «Monumenti Antichi dei Lincei», 32, 1-406.
- GABRICI E. 1930, *Acropoli di Selinunte. Scavi e topografia*, «Monumenti Antichi dei Lincei», 33, 61 ss.
- GILLESPIE A. et al. 1986, *Color Enhancement of Highly correlated images, I. Decorrelation and HSI Contrast Stretches*, Remote Sensing of Environment.
- GULLINI G. 1985, *L'architettura*, in *Sikanie. Storia e civiltà della Sicilia greca*, Milano, IVAG, 417-491.
- HOLM H. 1870, *Geschichte Siziliens im Altertum*, I, Leipzig.
- HULOT J., FOUGÈRES H. 1910, *Sélinonte*, Paris.

- KENNEDY D.L., RILEY D. 1990, *Rome's Desert Frontier from the Air*, London.
- KUSTERMANN GRAF A. 1991, *Necropoli di Selinunte (necropoli Manicalunga, gruppo di tombe Gaggera)*, in *Documentazione analitica delle necropoli dell'Italia meridionale e della Sicilia*, diretta da J. de La Genière e G. Nenci, «Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa», 21, 1, 101-123.
- MARCONI BOVIO J. 1957, *Inconsistenza di una Selinunte romana*, «Kokalos», 3, 70-78.
- MARCONI BOVIO J. 1961, *Recenti scoperte dell'archeologia della Sicilia occidentale, con particolare riguardo agli scavi di Selinunte*, in *Atti del VII Congresso Internazionale di Archeologia Classica*, II, 9-30.
- MARCONI BOVIO J. 1966, *Selinunte. Scavi intorno al tempio E*, «Bollettino d'Arte», 51, 110-111.
- MATHER P.M. 1987, *Computer Processing of Remotely Sensing Data*, Wiley.
- Palmyra and the Silk Road* 1996, «AAS», 42 (Special Issue Int. Coll. "Palmyra and the Silk Road, Palmira, 7-11 April 1992).
- PIRO S., VERSINO L. 1992, *Primi risultati delle indagini geofisiche effettuate nell'area archeologica di Selinunte (Collina Orientale). Metodo Magnetico, Elettromagnetico induttivo ed impulsivo Georadar*, in *Monografia Selinunte 1*, Intesa di programma CNR - MISM, 9 - 32.
- POIDEBARD A. 1937, *La trace de Rome dans le désert*, Paris.
- RALLO A. 1976-77, *Scavi e ricerche nella città di Selinunte*, «Kokalos» 21-23, 2, 720-733.
- SALINAS A. 1882, *Selinunte (Castelvetrano)*, «Notizie degli Scavi», 332-336.
- SALINAS A. 1883, *Ricordi di una Selinunte cristiana*, «Archivio Storico per la Sicilia», n.s. 7, 132-134.
- SCHLUMBERGER D. 1951, *La Palmyrène du nord-ouest*, Paris.
- SCHUBRING J. 1865, *Die Topographie der Stadt Selinus*, Nachrichten von der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Gottingen, 15, 1 Nov.
- Servizio Topografico Repubblica Araba Siriana 1972, *Carta Topografica 1:200.000*.
- SHEFFIELD C. 1985, *Selecting band combinations from multispectral data*, «Photogrammetric Engineering and Remote Sensing», 2.
- TUSA S. 1982, *Presenze indigene nel territorio selinuntino*, «Sicilia Archeologica», 15, 49-50, 111-117.
- WILL E. 1992, *Les Palmyréniens. La Venise des sables*, Paris.

## ABSTRACT

The remote sensing, by the orbital, airborne or close range images, is, today, the most accurate and suitable methodology to achieve an exhaustive investigation of a defined territory, intended as the great reservoir of any document left by the past human societies, settled in the studied area and at the same time, to recover the spatial organisation of the cultural produced by those societies. The multispectral images record both the reflected and the emitted energy; the last one is linked to the nature of the soil and of the included structures, especially the built artefacts.

The ground control by direct surveys or geophysics detection and an accurate georeferentation, mainly by GPS receivers, allows to build a topographic information system to be interfaced with those built by the already known information of all the preserved documents about the settling system within the investigated region. Two case histories are offered to the reader: the area surrounding Palmyra in Syria and the territory of Selinus in Sicily; both allow to understand, by newly discovered evidences, the historical results of the applied methodology.



## RADDRIZZAMENTO DIGITALE APPLICATO AL RILIEVO DI BENI CULTURALI

### 1. INTRODUZIONE

I metodi di rilievo basati sull'acquisizione digitale delle immagini si stanno rapidamente affiancando a quelli tradizionali che prevedono l'uso della tecnica fotogrammetrica. L'elaboratore, ancora una volta, si trova al centro del sistema ed il software, sempre più interattivo e facile da utilizzare anche per i non addetti ai lavori, permette di eseguire rilievi bidimensionali (oggetti piani o considerabili come tali, e quindi raddrizzamento) o nelle tre dimensioni (restituzione digitale).

I procedimenti di raddrizzamento digitale, più o meno rigorosi, sono oramai ampiamente utilizzati per una vasta serie di applicazioni. Tuttavia, vogliamo richiamare l'attenzione su alcuni aspetti del metodo e sulle caratteristiche che il software specializzato (dedicato, cioè, all'ambito strettamente fotogrammetrico) presenta. Inoltre, riportiamo alcune considerazioni su una tecnica di ripresa digitale che stiamo attualmente studiando, allo scopo di ottenere uno strumento di rilievo flessibile nel settore dei beni culturali.

### 2. L'IMMAGINE

L'immagine digitale, come noto, è un insieme discreto di punti (di dimensione finita) caratterizzati da un valore di luminanza (per chiarezza ci riferiamo ad un'immagine monocromatica). Ogni punto è caratterizzato quindi da una coppia di coordinate che ne individuano la posizione sul piano dell'immagine, e da un numero che caratterizza il colore (su una scala di grigi). I programmi di raddrizzamento operano sulle immagini digitali calcolando, per ogni punto dell'immagine affetta dalla deformazione prospettica, le coordinate corrispondenti nell'immagine non distorta.

I modelli analitici utilizzati per indicare tale deformazione sono i seguenti:

$$X = a_1 + b_1x + c_1y \quad \text{Trasformazione affine} \quad [1]$$

$$Y = a_2 + b_2x + c_2y$$

$$X = (a_1 + b_1x + c_1y)/(ux + vy + 1) \quad \text{Trasformazione prospettica} \quad [2]$$

$$Y = (a_2 + b_2x + c_2y)/(ux + vy + 1)$$

Nella trasformazione affine, i raggi proiettanti sono paralleli tra loro. Questo si verifica, ad es., per distanze di presa elevate. Invece, nella trasformazione prospettica i raggi proiettanti convergono in un punto, ossia il centro della prospettiva.

I programmi di raddrizzamento digitale, nella maggior parte dei casi, operano utilizzando queste relazioni: per ogni punto  $(x_d, y_d)$  vengono calcolate le coordinate corrette  $(x_n, y_n)$ .

Per citare un esempio, il programma Archis (Siscam) prevede un algoritmo di correzione a sei parametri, ossia una trasformazione affine.

Quanto detto finora, però, riguarda solo deformazioni di natura prospettica. E le altre cause di deformazione dovute, ad es., all'ottica? Osservando le [1] [2], si vede chiaramente come le sole variazioni di scala lineari vengano assorbite dal modello. Se si vuole correggere anche la distorsione radiale dell'ottica, che (com'è noto) viene solitamente espressa con il polinomio di grado  $n$ :

$$d_r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7 + \dots \quad [3]$$

occorre correggere le coordinate  $(x_d, y_d)$  del contributo [3] prima di inserirle nella [1] o nella [3].

I parametri che compaiono nelle [1] e [2] sono ricavati, rispettivamente, per mezzo di un minimo di 3 o 4 punti noti oppure indicando, sull'immagine, una serie di linee che, nella realtà dell'oggetto, sono sicuramente orizzontali o verticali. In questo caso, il programma ricostruisce il centro della prospettiva e dopo si ricava i parametri di trasformazione.

### 3. APPLICABILITÀ

Il raddrizzamento, in generale, si applica su oggetti piani, o comunque quando la massima variazione nel profilo non supera l'1% della distanza camera-oggetto. La disponibilità di punti di coordinate note, ed in numero sovrabbondante, è da preferire al metodo delle linee di fuga perchè si ottiene, oltre alla determinazione dei parametri, l'immagine già portata alla scala corretta. Per oggetti di piccole dimensioni, si può ricorrere ad una cornice o ad un campo di ripresa tarato.

La camera da presa deve avere requisiti ottico-meccanici elevati, in quanto deve assicurare una distorsione legata all'ottica che sia a livelli accettabili ed un'ottima planarità al film. In caso contrario si restringerà la porzione centrale di fotogramma raddrizzato che può essere utilizzata (dalla [3] si vede chiaramente che la distorsione radiale cresce all'aumentare della distanza dal centro).

Qualora un singolo fotogramma raddrizzato non sia sufficiente a coprire l'estensione della superficie dell'oggetto da rilevare, si provvede alla mosaicatura di più immagini raddrizzate. Si tratta di un'opzione comunemente presente nei programmi di raddrizzamento. Occorre individuare un certo numero di punti di collegamento tra le due immagini (presenti, perciò, nella zona di sovrapposizione): in base alle loro coordinate immagine, il software calcola i parametri necessari alla scalatura di una delle due immagini

(questo nell'ipotesi che siano state raddrizzate con il metodo delle linee di fuga; se si utilizzano i punti di coordinate note, le immagini dovrebbero trovarsi già alla stessa scala, a meno di piccole imprecisioni). Come risultato si ottiene un'immagine unica, nel formato prescelto, che necessita solo di una eventuale scalatura per adeguarla alle caratteristiche di risoluzione del dispositivo di output (plotter elettrostatico, inkjet o altro).

#### 4. METODI DI ACQUISIZIONE DELL'IMMAGINE

L'immagine di lavoro può essere acquisita con diverse modalità. La più comune prevede l'utilizzo di una camera fotogrammetrica (o anche professionale, purchè con i requisiti visti in precedenza) e la successiva digitalizzazione dei fotogrammi ottenuti. La risoluzione varia in funzione del dispositivo di output (e anche della scala finale del plottaggio che si vuole ottenere). In alternativa, si possono utilizzare i dorsi digitali recentemente presentati da diversi Costruttori (es. Kodak, Rollei, Zeiss) che trasformano una camera tradizionale (metrica, semimetrica o professionale) in un sistema di ripresa digitale. Dispositivi interni od esterni permettono di registrare una serie di immagini alla risoluzione stabilita dal sensore d'immagine (tecnologia CCD) che si trova all'interno. Il vantaggio, in questi casi, è di evitare la conversione immagine analogica-digitale realizzata con lo scanner, in quanto l'immagine è già acquisita in forma digitale. Si segnala il costo elevato (per ora) di questi dorsi digitali e la necessità (se le immagini da acquisire sono molte) di un dispositivo di memorizzazione esterno (ad es., personal computer portatile).

Attualmente stiamo indagando la possibilità di utilizzare una videocamera amatoriale per raccogliere una serie di immagini "on the fly", memorizzarle su nastro, e digitalizzarle successivamente. Il segnale video, in questi apparati, viene registrato in forma analogica (segnale video composito); occorre quindi ricampionare il segnale. Si effettua, di norma, solo un campionamento asincrono, il cui effetto è di deformare l'immagine con una variazione di scala anisotropa (SENA 1991). Dal punto di vista dimensionale, la geometria del pixel viene persa, ma l'operazione successiva di raddrizzamento riporta l'immagine in scala corretta e quindi la rende nuovamente utilizzabile. Non si ha, certamente, una qualità confrontabile con quella dell'immagine fotografica digitalizzata, ma il vantaggio principale è nel controllo in real time della ripresa televisiva attraverso il finder della telecamera. Inoltre, su una cassetta di media capacità si possono memorizzare innumerevoli immagini (bastano pochi secondi per ripresa).

Un approccio al problema di questo tipo richiede, oltre alla videocamera, anche la disponibilità di un frame grabber (campionatore di immagini), accessorio un tempo esotico e che oggi si trova a buon mercato con una serie di driver che ne permettono l'utilizzo in ambiente Windows.

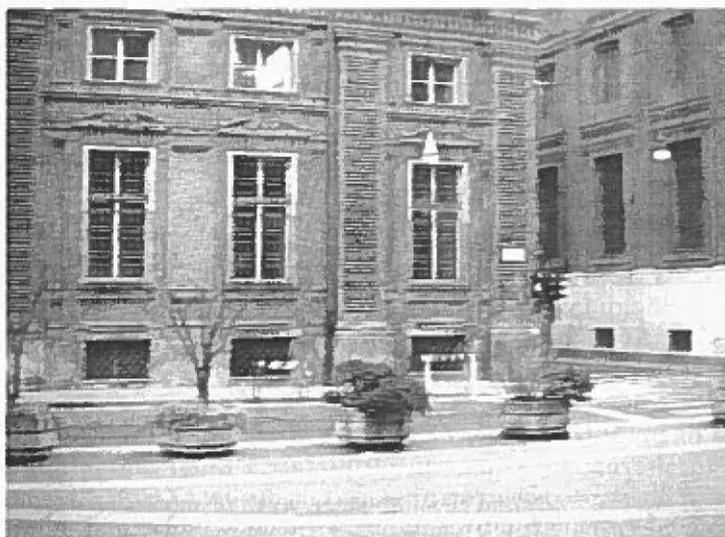


Fig. 1 - Palazzo Carignano - Torino.



Fig. 2 - Immagine raddrizzata.

Nella Fig. 1 si può osservare una ripresa (facciata nord di Palazzo Carignano a Torino) effettuata con una videocamera amatoriale (formato Video-8). Il frame grabber utilizzato è un processore Itex 100 (Imaging

Technology), con una finestra di campionamento pari a 768 x 576 pixel. Nella Fig. 2 si vede la stessa immagine raddrizzata per linee, e quindi ancora da scalare con l'introduzione di almeno due distanze note.

A prescindere dalla qualità di stampa, l'immagine che si ottiene al termine del processo non presenta contorni ben definiti (è un problema dovuto al campionamento e alla bassa risoluzione del sensore): non dimentichiamoci che abbiamo basato su una videocamera "consumer". Siamo comunque in fase di acquisizione di una camera digitale ad alta risoluzione (la scelta è orientata ai modelli adatti per visione artificiale, robotica, controlli industriali) che permetterà un incremento della precisione nel prodotto "raddrizzamento digitale".

Per concludere, suggeriamo di non procedere alla post-elaborazione dell'immagine raddrizzata con filtri del tipo "edge enhancement" o forzature del contrasto perché questi portano uno scadimento, dal punto di vista metrico, dell'immagine, anche se questa risulta di migliore osservazione.

CARLO ALBERTO BIROCCO

L.A.TER. Laboratorio di Analisi Territoriali  
Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino

#### BIBLIOGRAFIA

AA. VV. 1989, *Manual of Non-Topographic Photogrammetry*, 2ª ed., ASPRS, Virginia (USA).

CAPPELLINI V. 1985, *Elaborazione numerica delle immagini*, Torino, Boringhieri.

SELVINI A. 1988, *Principi di fotogrammetria*, Torino, Clup.

#### ABSTRACT

The present technique of digital image processing follows the concepts of the analytical rectification, allowing for the elimination of the geometric distortions from the original image and the retrieval of the correct dimensional information.

The work image can be produced in various ways: usually, sampling was made with scanners, but recently a new method is becoming more and more used, that is the acquisition of digital images directly on ground by means of digital cameras with CCD image sensor.

The appropriate software is now offered by various Producers of photogrammetric equipment and, in various cases, it allows us to carry out the survey of manufactured items which are almost flat starting from a single image, realizing a vectorial graphics superimposed in CAD environment.



## ANALISI DI SITI ARCHEOLOGICI INQUADRATI NEL LORO CONTESTO TERRITORIALE: GLI INSEDIAMENTI PROTOSTORICI DEL BACINO DEL FIUME FIORA

Lo studio dei rapporti tra comunità e territorio circostante rappresenta un punto chiave nell'interpretazione delle scelte insediamentali; quindi, al fine di ottenere informazioni fondamentali sulle organizzazioni economica e sociale delle antiche popolazioni è necessario ricostruire il paesaggio, considerato come il risultato delle relazioni tra uomo ed ambiente. A questo scopo si segue un approccio multidisciplinare in cui alle informazioni provenienti dalle scienze umanistiche vengono affiancate quelle ricavate dalla geografia, geologia, geomorfologia, fisica, paleobotanica e non ultimo dal telerilevamento. I dati così raccolti possono essere analizzati in una forma integrata che permetta un'interpretazione più completa dei risultati ottenuti.

L'area presa in esame in questo lavoro corrisponde al bacino idrografico del fiume Fiora situato al confine tra il Lazio e la Toscana (PARMEGIANI, POSCOLIERI 1993). I "siti" considerati sono gli abitati pre-protostorici (dal Neolitico al Bronzo Finale) schedati nell'ambito del Progetto di ricerca diretto da Nuccia Negroni dell'Istituto di Archeologia dell'Università di Milano.

Dal punto di vista informatico lo scopo finale è quello di verificare le tecniche di analisi territoriale che vengono di norma applicate nelle indagini che studiano le relazioni tra uomo ed ambiente. In questa ottica si sono effettuate elaborazioni di dati, per lo più in forma "raster", da cui si sono ricavati tematismi sussidiari che, insieme a quelli originali, hanno permesso di creare, per tutti i siti, una tabella di parametri strettamente legati alla lettura del territorio; queste informazioni sono state aggiunte a quelle archeologiche.

Si sono utilizzati dati raster di tipo spettrale e morfologico e altri, di tipo vettoriale o puntuale, che descrivono gli assetti idrologico, idrogeologico e strutturale della zona.

I dati di base sono stati i seguenti: una sottoscena Landsat 4 Thematic Mapper (6 bande spettrali) ripresa il 22 gennaio 1983; i valori dell'Archivio della Quote Medie (CAROZZO *et al.* 1985), distribuito dal Servizio Geologico d'Italia, compresi tra le latitudini N 42° 25' e 42° 41' e le longitudini E 11° 33' e 11° 55'; le strutture idrologiche e idrogeologiche digitalizzate dalla Carta idrogeologica a scala 1:250.000 (BONI *et al.* 1988), redatta dalla Regione Lazio, e dalla Carta idrografica d'Italia a scala 1:250.000, pubblicata dal Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio nel 1904.

Dai valori dell'Archivio delle Quote Medie è stato ricavato, seguendo il grigliato geografico dei fogli dell'Istituto Geografico Militare, un Modello Digitale del Terreno (d'ora in poi indicato come DEM) che è stato a sua volta riportato in proiezione UTM con risoluzione del singolo pixel di 100 m. Dal

DEM si sono ottenute, tramite procedure Fortran appositamente sviluppate, cinque carte tematiche digitali (ONORATI *et al.* 1992): assetto altimetrico a livelli di grigio, acclività, esposizione, carta di deflusso delle acque meteoriche (valli) (Fig. 1) e codifica numerica dell'assetto morfologico. Queste carte sono il risultato dell'analisi di matrici estese 300x300 m (3x3 pixels) e su di esse sono stati georeferenziati i siti archeologici, secondo le rispettive coordinate geografiche. Si sono così ottenuti i seguenti parametri morfometrici: quota, acclività, esposizione, codice morfometrico, energia del rilievo (MARK 1975) e densità areale di drenaggio (FAIRFIELD, LAYMAIRE 1991). I primi quattro sono stati estratti dalle carte tematiche derivate dal DEM, gli ultimi due sono stati calcolati direttamente dal DEM per aree estese 1 kmq. intorno alla collocazione dei siti, ma non sono stati usati nel corso dall'analisi statistica qui presentata.

La sottoscena Landsat Thematic Mapper (TM), utilizzata per ricavare i parametri spettrali, è stata trasformata in proiezione UTM, con risoluzione finale del pixel di 20 m (ONORATI *et al.* 1987) (Tav. III, a). Le sei bande spettrali sono state poi elaborate in forma di combinazione lineare, ricavando le cosiddette "Tasseled Caps Features" (CRIST, CICONE 1984; CRIST *et al.* 1986):

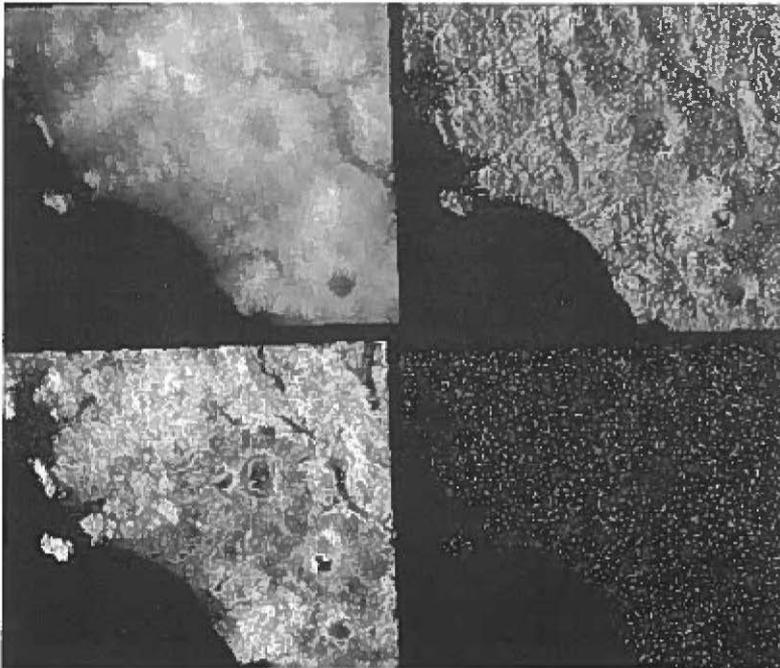


Fig. 1 – Quattro carte tematiche digitali ricavate dalla elaborazione del DEM: a = altimetria a livelli di grigio, b) esposizione, c) acclività, d) carta di deflusso delle acque meteoriche.

Brightness, Greenness e Wetness (rispettivamente luminosità, intensità di verde e umidità) (Fig. 2), che rappresentano parametri descrittivi delle proprietà fisiche del terreno. Dalle stesse bande TM sono stati calcolati i rapporti di differenze normalizzate delle bande 4-3 (NDVI = indice normalizzato di vegetazione, TUCKER 1979), 4-7 (HUGH-JONES *et al.* 1992) e 5-7 (MUSICK, PELLETIER 1986): questi ultimi due parametri sono stati utilizzati come indicatori di umidità.

I parametri spettrali descritti sono stati assegnati ai siti archeologici calcolando media e deviazione standard per finestre di 5x5 pixels, centrate sulla collocazione di ogni sito. Tale procedura ha uniformato le dimensioni areali di riferimento dei parametri spettrali a quelle dei parametri morfometrici, ottenendo anche in questo caso valori di 100x100 m.

L'ultimo aspetto esaminato è stato il rapporto tra siti e risorse idrologiche: si sono digitalizzate le due carte idrologiche già menzionate, ricavando dati vettoriali rappresentati da: aste fluviali, limite del bacino del fiume Fiora, sorgenti lineari e puntuali, coste di laghi e mari (Fig. 3), limiti delle unità idrogeologiche, isopieze, ed alcune strutture tettoniche (completate con lineazioni ricavate dall'analisi del DEM, FREDA *et al.* 1990).

I dati relativi a laghi, sorgenti e fiumi sono stati esaminati in rapporto alla distribuzione degli abitati del Bronzo nel bacino del Fiora. Per l'analisi successiva si sono utilizzate, come parametri, la distanza euclidea minima tra sito e struttura idrologica, quale principale variabile discriminante in relazione all'approvvigionamento idrico, e quella tra sito e corso d'acqua maggiore considerato come via di comunicazione (PARMEGIANI, POSCOLIERI 1994).

Un altro parametro è stato estratto dalle isopieze, linee di uguale altezza della falda acquifera rispetto al livello del mare: si è calcolata la profondità della falda stessa in corrispondenza del sito, tenendo anche conto della quota di quest'ultimo. Un'ulteriore informazione di tipo idrologico è stata ricavata dalle unità idrogeologiche, terreni caratterizzati da litologia e permeabilità omogenee, si è ottenuta così la descrizione dello stato di permeabilità e del tipo di terreno su cui il sito è collocato, mentre i lineamenti strutturali sono stati presi in esame perché ritenuti vie preferenziali di infiltrazione delle acque meteoriche.

Tutti questi parametri hanno dato luogo ad una tabella di valori relativi agli abitati pre-protostorici; si è così creata una base dati territoriale da interpretare in funzione del rapporto tra assetto paleoambientale del bacino del Fiora, durante le varie fasi dell'età del Bronzo, e le scelte insediamentali delle popolazioni ivi stanziate.

L'insieme dei dati è stato analizzato statisticamente, in forma univariata e multivariata: tramite la prima elaborazione si sono identificati i rapporti di correlazione tra tutti i parametri, con la seconda si è effettuata, sulla base del metodo gerarchico di cluster analisi "average linkage-weighted pair group" (SOKAL, SNEATH 1963), una classificazione degli abitati per gruppi omogenei considerando separatamente i parametri spettrali, morfometrici e morfo-idrologici.

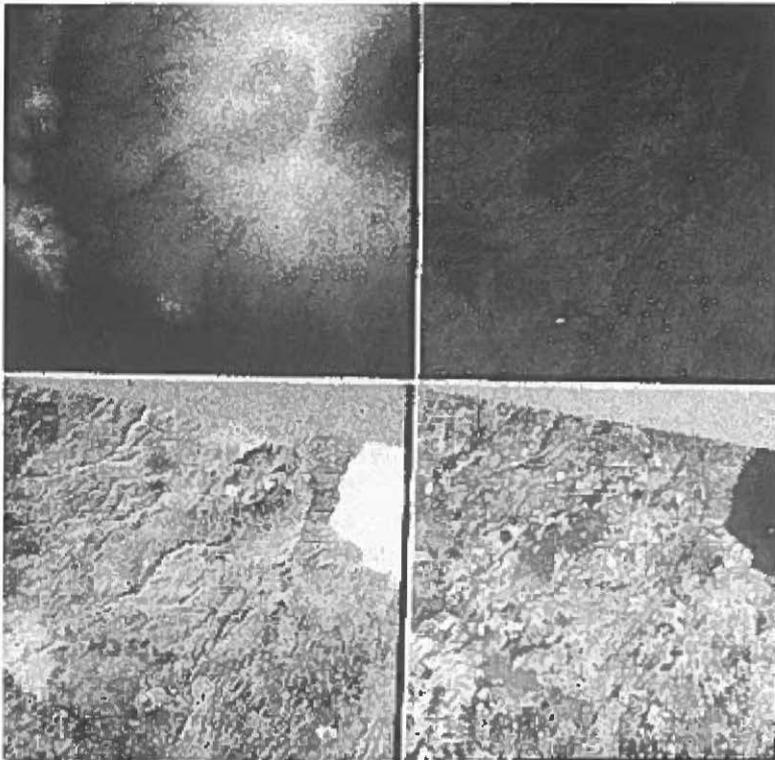


Fig. 2 – DEM (a) e immagini delle 3 Tasseled Cap Features derivate dai dati TM: b) Brightness, c) Wetness, d) Greenness.

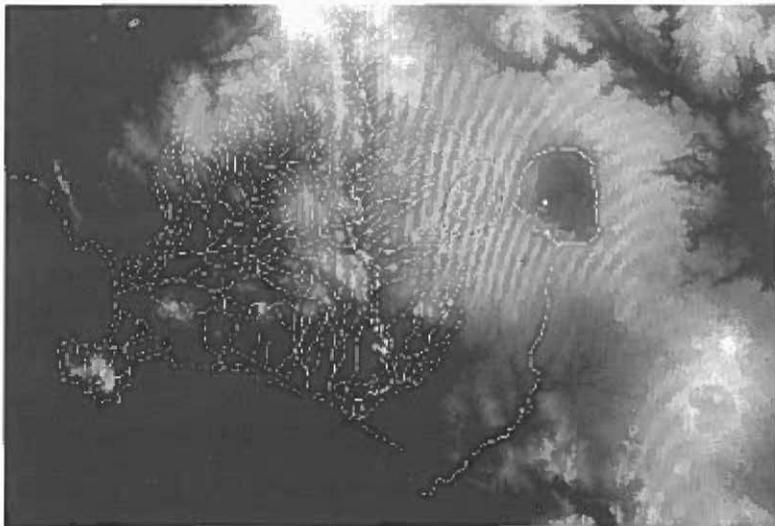


Fig. 3 – DEM con sovrapposti gli abitati e le strutture idrologiche digitalizzate dalla Carta idrografica del 1904.

I risultati dell'elaborazione statistica multivariata dei parametri spettrali sono stati interpretati in funzione dei valori delle Tasseled Cap Features (luminosità, intensità di verde e umidità), considerati parametri indipendenti dal contesto specifico della scena. L'analisi ha riguardato 46 abitati (Fig. 4), esclusi quelli dell'area di Vulci perché fuori dalla sottoscena Landsat. Due siti si sono separati nettamente, mentre gli altri si sono suddivisi in due grandi gruppi: il primo è caratterizzato da terreni con riflettività medio-alta, percentuale di vegetazione medio-bassa e umidità variabile, il secondo invece presenta delle caratteristiche più definite, suoli per lo più scuri (a bassa riflettività e vegetazione scarsa) e molto umidi. Questo secondo sottocluster è omogeneo anche dal punto di vista archeologico: comprende il 32% degli abitati del Bronzo Finale.

I due abitati al di fuori delle due grandi classi sono caratterizzati, Poggio Olivastro (n. 137) da valori di intensità di verde e di umidità molto bassi, ed elevata riflettività (si tratta di un abitato disturbato da una cava moderna), Poggi del Mulino (n. 230A) da una percentuale altissima di vegetazione, alta riflettività e valori medio-alti di umidità. Esaminando la distribuzione dei siti in un grafico tridimensionale che riporta i valori delle tre Tasseled Cap Features, si nota che le quattro classi esaminate si dispongono in maniera nettamente distinta, in particolare nei valori della Brightness (Fig. 5).

Prima di analizzare i risultati della classificazione morfometrica, per una migliore definizione delle caratteristiche geo-morfologiche dell'area su cui è situato l'abitato, si è messa a punto una procedura che esamina, a partire dal DEM, l'assetto altimetrico circostante, per una superficie utile di 300x300 m. Si è ottenuta così una codifica "morfometrica digitale" che ha permesso una immediata lettura del paesaggio, fornendo una semplice classificazione morfologica del terreno attorno al sito (picco, vallecola, cresta, circo, terrazzi, ecc.; LEE 1994).

Lo schema della procedura è il seguente: dal punto centrale (corrispondente alla collocazione del sito) si considerano gli otto punti circostanti, lungo le direttrici della rosa dei venti. A partire dall'angolo NO, in senso orario, si definisce un codice "numerico" corrispondente alle otto direzioni citate, dove l'1, indica differenze positive o nulle di quota tra il punto centrale e quello circostante, e lo "0" le differenze negative. La codifica binaria a otto bit di questo codice ha permesso di creare una carta tematica (Tav. III, b) sulla quale sono stati collocati i siti secondo i risultati della classificazione dei parametri morfo-idrologici e morfometrici.

Questi ultimi (Fig. 6) mostrano come la quota sia la variabile discriminante nell'applicazione della cluster analisi agli abitati protostorici che si distribuiscono in due gruppi principali. Il primo comprende soltanto siti con quote al di sopra di 400 metri, mentre il secondo, che appare più articolato, è costituito da due gruppi suddivisi a loro volta in due sottogruppi, uno comprendente abitati situati per lo più tra le quote tra 50 e 200 metri, l'altro

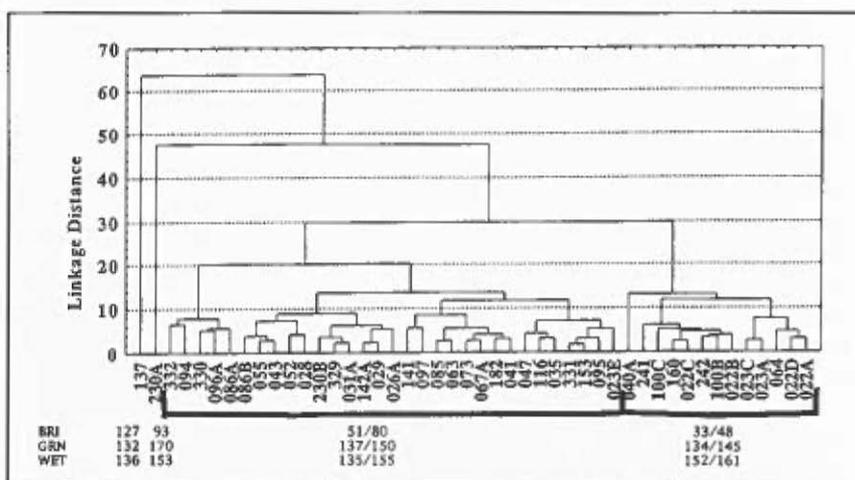


Fig. 4 - Dendrogramma che mostra la suddivisione in gruppi risultante dall'applicazione della cluster analisi alle 6 bande spettrali TM.

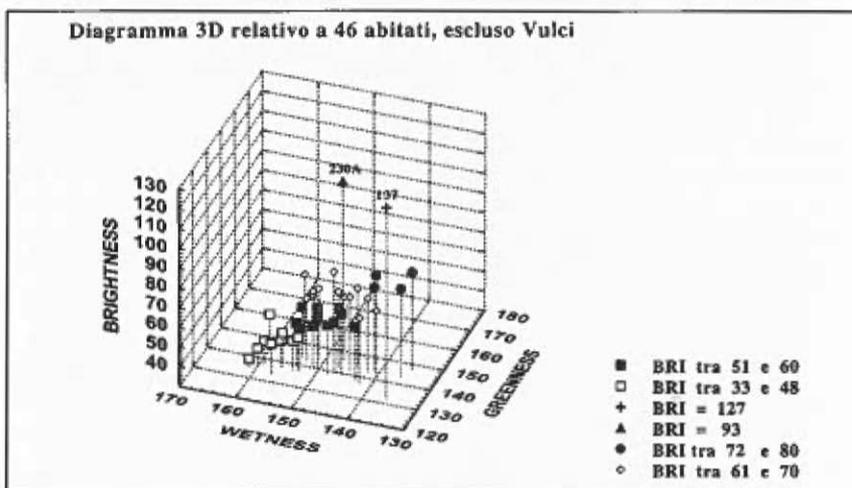


Fig. 5 - Diagramma tridimensionale che riporta, sui tre assi, i valori delle 3 Tasseled Cap Features.

abitati posti a quote tra 200 e 400 metri. Il diagramma tridimensionale (Fig. 7) evidenzia come la quota discrimini i diversi clusters; si notino i siti tra quota 57 e 204 metri con valori piuttosto bassi di acclività (quadrato bianco nel grafico).

Un aspetto più interessante (Fig. 8) è fornito dall'esame della cronologia degli abitati di alcune sottoclassi, che mostrano tre interessanti raggruppamenti del Bronzo Finale che sono posizionati a quote tra 57/176 m e 231/

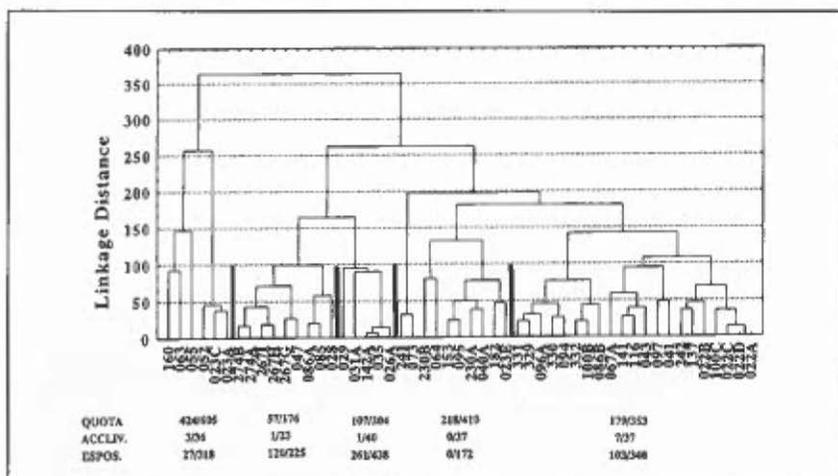


Fig. 6 - Dendrogramma che mostra la suddivisione in gruppi risultante dall'applicazione della cluster analisi ai 3 parametri morfometrici.

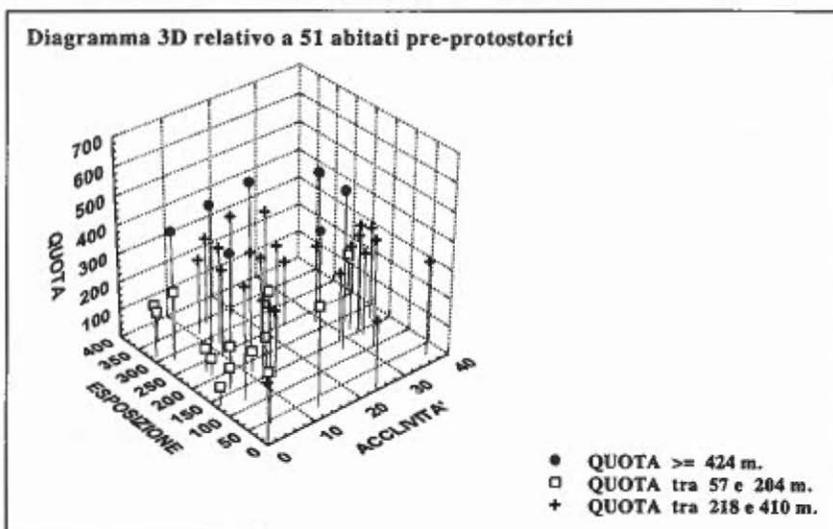


Fig. 7 - Diagramma tridimensionale che riporta, sui tre assi, i valori dei tre parametri morfometrici.

287 m ed uno con abitati del Bronzo Antico posti a quote tra 288/326 m.

Ai parametri morfometrici è stata aggiunta, per una successiva analisi, la distanza dalla fonte idrica più vicina (FARLEY *et al.* 1990). Si è ottenuta una ridistribuzione dei siti in cui la quota perde l'assoluto fattore discriminante che viene ad essere parzialmente condiviso dalla distanza dall'acqua (Fig. 9).

Un interessante risultato è la netta separazione dell'abitato di Poggio

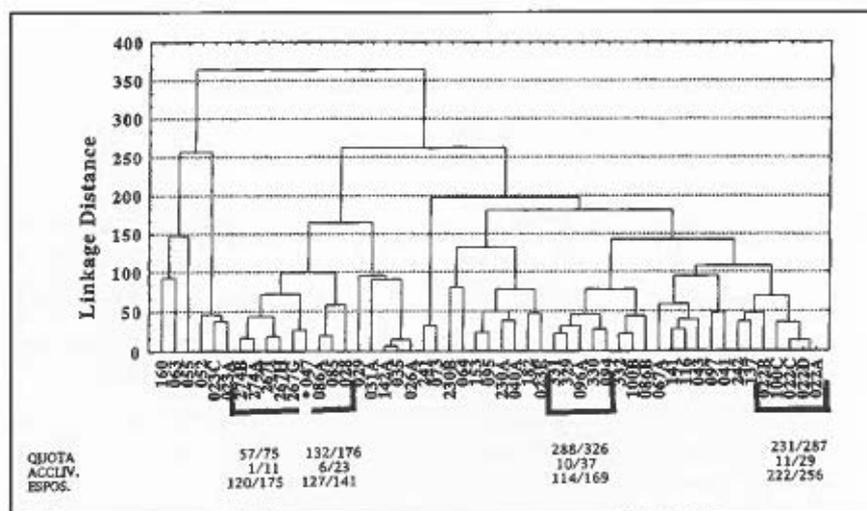


Fig. 8 - Dendrogramma, come da Fig. 6, con indicati i sottogruppi degli abitati cronologicamente omogenei.

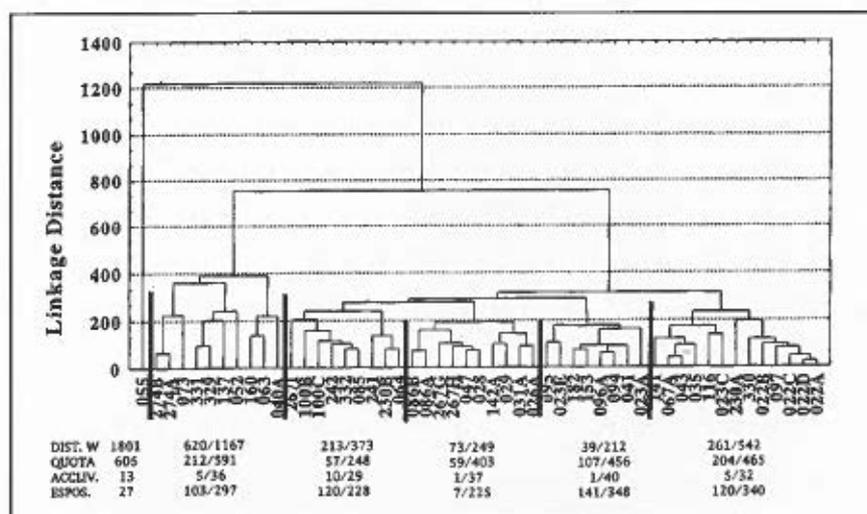


Fig. 9 - Dendrogramma che mostra la suddivisione in gruppi risultante dall'applicazione della cluster analisi ai tre parametri morfometrici e alla distanza dalla fonte idrica più vicina.

Evangelista (n. 055) che presenta sia la quota più alta che la maggiore distanza dall'acqua. Anche in questo caso si sono formati tre raggruppamenti di abitati del Bronzo Finale, in cui la distanza dall'acqua sembra essere il parametro discriminante.

Dall'esame delle unità idrogeologiche attribuite ad ogni sito e considerando i risultati dell'elaborazione statistica dei parametri morfometrici (dal n. 097 al 022A, escluso il n. 137 che è un abitato eneolitico) si può notare che gli abitati del Bronzo Finale, che formano l'ultimo raggruppamento risultante dalla classificazione morfometrica (Fig. 6), sono impostati su terreni del complesso delle piroclastiti plio-pleistoceniche caratterizzate da buona permeabilità con presenza di falde anche notevoli ed estese negli edifici vulcanici. Questi siti sono stati controllati anche dal punto di vista spettrale e si è notato che presentano tutti valori elevati della Tasseled Cap Feature Wetness (da 150 a 160, tipico dei terreni umidi).

Possiamo concludere che, anche se gli abitati considerati non si raggruppano sempre in cluster cronologicamente omogenei, si è notata, in tutte le classificazioni ottenute (spettrale, morfometrica e morfo-idrologica), la separazione di sottoclassi con abitati sia del Bronzo Antico ma, ancor più, di sottogruppi di abitati del Bronzo Finale.

NEDA PARMEGIANI

Istituto per gli Studi Micenei ed Egeo-Anatolici  
CNR - Roma

MAURIZIO POSCOLIERI

Istituto di Astrofisica Spaziale  
CNR - Frascati, Roma

## BIBLIOGRAFIA

- BONI C., BONO P., CAPPELLI G. 1988, *Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio*, Regione Lazio e Dipartimento Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza", Roma.
- CARROZZO M.T., CHIRENTI A., LUZIO D., MARGIOTTA C., QUARTA T., TUNDO A.M., ZUANNI F. 1985, *Data base of Mean Height values for the whole Italian landmass and surrounding areas: determining and statistical analysis*, «Bollettino Geodesia di Scienze Affiliate», 44, 1, 37-56.
- CRIST E.P., CICONE R.C. 1984, *A physically based transformation of Thematic Mapper Data - The TM Tasseled Cap*, «IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing», GE-22, 3, 256-263.
- CRIST E.P., LAURIN R., CICONE R.C. 1986, *Vegetation and soils information contained in Transformed Thematic Mapper Data*, in *Atti IGARSS'86 Symposium*, Zurigo, ESA SP-254, 1465-1470.
- FAIRFIELD J., LAYMAIRE P. 1991, *Drainage network from Grid Digital Elevation Model*, «Water Resources», 17, 5, 709-717.
- FARLEY J.A., LIMP W.F., LOCKHART J. 1990, *The archaeologist's workbench: integrating GIS, remote sensing, EDA and database management*, in K.M.S. ALLEN, S.W. GREEN, E.B.W. ZUBROW (edd.), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, Londra, Taylor and Francis, 141-164.
- FREDA C., PALLADINO D., PIGNATTI S., TRIGILA R., ONORATI G., POSCOLIERI M. 1990, *Volcano-tectonic scenario of Mt. Vulsini (Central Italy) from Landsat-MSS Images and digital elevation data*, «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», 45, 316-328.

- HUGH-JONES M., BARRE N., NELSON G., EHNE K., WARNER J., GARVIN J., GARRIS G. 1992, *Landsat-TM identification of Amblyomma variegatum (Acari: Ixodidae) habitats in Guadeloupe*, «Remote Sensing and Environment», 40, 43-55.
- LEE J. 1994, *Digital analysis of watershed inclusion and topographic features on Digital Elevation Models*, in *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 60, 4, 451-456.
- MARK D.M. 1975, *Geomorphometric parameters: a review and evaluation*, «Geographiska Annaler», 57A, 165-177.
- MUSICK H.B., PELLETIER R.E. 1986, *Response of some thematic mapper band ratios in soil water content*, «Photogrammetry Engineering Remote Sensing», 52, 1661-1668.
- ONORATI G., POSCOLIERI M., SALVI S., TRIGILA R. 1987, *Use of TM Landsat data as a support to classical ground-based methodologies in the investigation of a volcanic site in central Italy: the Caldera of Latera*, in *Atti IGARSS'87 Symposium*, Ann Arbor (Mi-USA), 1173-1178.
- ONORATI G., POSCOLIERI M., VENTURA R., CHIARINI V., CRUCILLA U. 1992, *The Digital Elevation Model of Italy for geomorphology and structural geology*, «CATENA», 19, 147-178.
- PARMEGIANI N., POSCOLIERI M. 1993, *Study of pre-protolithic sites, identified in the area between the Bolsena Lake and the Albegna river (Italy), based on the analysis of selected environmental parameters*, in *Atti International Symposium Operationalization of Remote Sensing*, Enschede (Olanda), 225-235.
- PARMEGIANI N., POSCOLIERI M. 1994, *Appraisal of the interactions between pre-protolithic settlements and hydrological hydrogeological features in a large area of southern Etruria*, in R. VAUGHAN (ed.), *Remote Sensing from Research to Operational Applications in the New Europe*, in *Atti 13th EARSeL Symposium*, Dundee (GB), Budapest, Springer-Verlag, 209-216.
- PARMEGIANI N., POSCOLIERI M. (in corso di stampa), *Analisi dei rapporti tra risorse idrologiche e siti archeologici nel bacino del fiume Fiora*, in *Atti del III Incontro di Studi: Preistoria e Protostoria in Etruria (Manciano-Farnese (Italia))*, maggio 1995.
- SOKAL R.R., SNEATH P.H.A. 1963, *Principles of Numerical Taxonomy*, S. Francisco e Londra, Freeman.
- SU Z., NEUMANN P., FETT W., SCHUMMAN A. SCHULTZ G.A. 1992, *Application of Remote Sensing and Geographical Information System in Hydrological Modeling*, «EARSeL Advances in Remote Sensing», 1, 3-VII, 180-185.
- TUCKER C.J. 1979, *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*, «Remote Sensing and Environment», 8, 127-150.

## ABSTRACT

Relationships between communities, inhabiting the Fiora river basin during the Bronze Age, and surrounding land have been examined to give more insight into their settlement location choices, on the basis of landscape analysis methods adopted in environmental studies.

By processing Landsat TM and elevation (raster) data and water related (vector) data (all georeferenced to a UTM grid), respectively spectral (the six TM bands values), morphometric (elevation, aspect and slope and so on) and hydrological (water distance from the sites and others) parameters have been derived for about 50 settlements detected in the study area. These parameters have been statistically analyzed, by separately processing the spectral, the morphometric and the morpho-hydrological ones by using a hierarchical cluster analysis method. The spectral data classification has yielded, except for two peculiar sites, two main groups, one characterized by intermediate reflectivity, medium-low vegetation percent and variable moisture; the other, more defined, with mostly dark and very humid soils, including also 32% of the Final Bronze settlements.

The classification of the morphometric parameters has stressed the elevation to be the discriminating variable, obtaining two main clusters: the former, including sites located above 400 m; the latter, splitted into two subclusters, one with sites between 50 and 200 m, the other between 200 and 400 m. Among the subclasses, three exhibit sites belonging to the Final Bronze Age, one includes sites of the Early Bronze Age. Therefore, the classification of the morpho-hydrological parameters shows that both elevation and water distance appear discriminating. The highest values of these two variables characterize a single site, clearly separated after cluster analysis application, which, by the way, again yielded three subgroups belonging to the Final Bronze Age.



## UNA NUOVA METODOLOGIA DI ARCHIVIAZIONE PER UNA MIGLIORE GESTIONE DEL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO

### 1. DESCRIZIONE

#### *Era dell'Information Technology*

Viviamo in un'epoca nella quale i dati dei Tecnici del Restauro, dei Ricercatori e delle Amministrazioni sono sempre più comunemente disponibili, in forma utilizzabile dai calcolatori. Ci si presenta la necessità, quindi, di rendere più familiari le procedure e le funzionalità che permettono di servirsi sempre meglio dei dati disponibili. Da questa premessa nasce la necessità di una nuova impostazione dei criteri per l'archiviazione delle informazioni in un'ottica di standardizzazione dei medesimi sia nell'ambito del singolo progetto che in progetti simili.

Un modo di organizzare una struttura dati, che funga da contenitore affinché possa anche essere usata più volte nell'ambito di una standardizzazione dell'archiviazione di progetti simili, è quello di impostare il metafile della banca dati. Il metafile conterrà le specifiche di archiviazione dei dati descrittivi e sarà l'insieme delle tabelle di *database* che permetteranno in seguito di porre interrogazioni alla banca dati e di eseguire operazioni sulle entità che hanno caratteristiche spaziali.

Il presente intervento illustra la metodologia di preparazione della cartografia "intelligente" per il "tematismo archeologia". La preparazione del metafile è una fase del progetto che richiede la transdisciplinarietà di quanti operano nel cantiere di restauro. Infatti, le procedure di archiviazione richiedono la conoscenza sia del settore specifico del restauro, sia delle tecniche informatiche che rendono possibili tali operazioni di archivio. La rappresentazione dei luoghi dovrebbe avvalersi di tecniche topograficamente corrette per permettere analisi spaziali.

### 2. PREPARAZIONE DELLA CARTOGRAFIA "INTELLIGENTE" PER IL TEMATISMO ARCHEOLOGIA

Preparata la base dati in modo da essere utilizzata da un sistema GIS, si otterrà:

- la capacità di compiere analisi spaziali sui dati georeferenziati, la possibilità di accedere ad informazioni diverse, in luoghi diversi;
- la funzionalità di porre interrogazioni relazionali sulla base dati descrittiva ed evidenziare tali risultati sulla base grafica.

Poiché oggi, con la notevole diminuzione del prezzo dell'hardware e del software ci troviamo in un momento di transizione tra l'essere i sistemi

informativi territoriali una specializzazione di pochi ed un loro divenire strumento di largo uso, ci chiediamo cosa si possa fare una volta che il ricercatore abbia compiuto la trasposizione dei dati territoriali da cartacei a vettoriali, in modo da giustificare la spesa del Sistema Informativo Territoriale (SIT). La domanda che ci si pone è quali vantaggi una cartografia intelligente offra in più rispetto ad una carta tradizionale e quali siano le funzioni nuove che lo strumento GIS fornisce ai progetti di ricerca.

La presente metodologia si propone di illustrare, con esempi concreti, l'uso della tecnologia GIS ed il suo porsi al servizio sia delle attività di archivio sia di quelle progettuali: ad esempio l'archiviazione dati di un cantiere di scavo, o la costituzione della base informativa di un Parco Archeologico.

Vediamo allora come si imposta il progetto GIS per una Archeologia del Paesaggio, che documenti itinerari turistici alternativi, o come si possano archiviare i dati delle campagne di scavo utilizzando le tecnologie informatiche. Ciò sia per memorizzare posizioni e contenuti degli archivi descrittivi, sia per facilitare la lettura dello scavo, nonché la sua fruizione per l'utente finale che acceda ad un sub-set di tali informazioni attraverso un chiosco informativo.

Si comprenderà come le tecnologie informatiche siano di ausilio al compito del ricercatore quando questi si appresta a svolgere il suo lavoro quotidiano al fine di renderlo produttivo e completo. Illustriamo prima le operazioni di carattere tecnico e poi quelle tecnico-funzionali del GIS.

### 3. FINALITÀ SCIENTIFICHE

Ci si propone ora di illustrare le funzionalità di un GIS e di introdurre i concetti di base per l'archiviazione di preesistenze archeologiche in ambito urbano e regionale. I progetti di archiviazione delle campagne di studio troveranno nel sistema informativo territoriale una facilitazione per poter trattare in modo semplice fenomeni a complessità sempre maggiore.

Il materiale raccolto in ricerche di superficie si potrà così georeferenziare sulle foto aeree e sulle restituzioni grafiche. La preparazione di carte tematiche diacroniche sarà così resa assai più spedita.

Per iniziare la messa a punto del Sistema Informativo, si può partire sia dai dati alfanumerici e georeferenziare i medesimi unendoli a quelli grafici, o unendo i dati grafici con quelli descrittivi. Si deve cioè fare in modo che ogni oggetto disegnato abbia associata una informazione descrittiva, alfanumerica, pittorica, sonora o di animazione.

Una volta costruita tale base informativa si potrà avere a disposizione tutti i dati che gli atti pianificatori e di visualizzazione richiederanno al Sistema Informativo:

– dalla stampa selettiva dei tematismi, al plottaggio di carte tematiche, che rispondano ad interrogazioni sui dati di base;

- dalla preparazione delle cartografie di rischio, ad elaborazioni particolari per le analisi delle emergenze;
- dalla definizione delle aree di rispetto come aree di buffer, attorno alle aree perimetrali, all'uso di opportuni algoritmi interpretativi delle emergenze sul patrimonio archeologico;
- dalle archiviazioni dei rilievi di affreschi con le indicazioni delle aree da trattare o trattate con tecniche particolari, all'esame interpretativo delle relazioni tra i diversi stati conservativi delle opere.

La politica di acquisizione delle aree fragili attorno alle pre-esistenze archeologiche troverà negli strumenti GIS la capacità tecnologica per la sua efficacia burocratica, logica e giuridica.

L'Archeologia del Paesaggio, potrà trarre notevole beneficio dall'uso della tecnologia GIS che, rendendo semplice la visualizzazione di temi diversi che insistono sulla stessa area, faciliterà non solo la documentazione di itinerari turistici alternativi, ma mostrerà quegli indicatori sociali che permetteranno un uso non distruttivo della risorsa archeologica. In tal modo l'uso della tecnologia GIS sarà lo strumento strategico capace di generare un indispensabile consenso popolare, per la conservazione del patrimonio archeologico.

#### 4. METODOLOGIA PER L'ARCHIVIAZIONE DEI CANTIERI SCAVO

La metodologia proposta per l'archiviazione del materiale raccolto nei cantieri di superficie parte dalla messa a punto di uno strumento informatico di semplice uso in ambiente PC (Tav. IV, a).

Il lavoro è iniziato con l'analisi degli strumenti informatici oggi presenti sul mercato; considerando importante la ripetitività della metodologia si è preferito rivolgere l'attenzione su strumenti di mercato standard di larga diffusione, facile reperibilità e semplice uso.

##### 4.1 *Strumenti Software*

La scelta si è incentrata sull'adozione di un editor grafico e di un database relazionale a grande diffusione. L'editor grafico oggi più diffuso al mondo sulla piattaforma Personal Computer è AutoCad, della AutoDesk Inc., mentre il DataBase è il BDIII/IV della Ashton Tate. L'unione di questi due ambienti che sono stati separati per anni, è fornita da GDL-Graphic Data Link della Alpha Consult Srl di Roma e della Californiana Facility Mapping System Inc.

Si è poi passati allo sviluppo di una procedura che unisse questi tre strumenti di base e permettesse un facile uso dell'applicativo per l'archiviazione dei dati di campo e la produzione della carta del tematismo archeologia. La prima fase del lavoro di personalizzazione è stata la preparazione

delle procedure di immissione automatica delle iconografie ricorrenti nelle aree di studio. La definizione delle tabelle di database collegate alle icone "intelligenti" è stata oggetto di un approfondito studio che è partito dall'esame di quelle proposte per le archiviazioni della Necropoli di Orvieto. La definizione delle legende e la standardizzazione dei campi sono state in seguito trasposte su AutoCad come blocco da inserire nel disegno.

Dotati così di un facile strumento che fornisce in automatico le tabelle per archiviare i dati descrittivi, relativi alle aree di studio, si è passati alla mappatura di tali aree su supporto informatico.

#### *4.2 Metodologia operativa*

Dalla carta topografica di insieme, inserita tramite scanner, si sono rilevate le aree di interesse archeologico che sono state integrate con rilievi inediti di campo. Da tale supporto si sono altresì ricavate le coordinate che hanno permesso la georeferenziazione degli elementi archiviati nel seguito.

La base topografica è stata così memorizzata su supporto magnetico; su di essa si è proceduto all'archiviazione manuale a tavolo digitalizzatore degli oggetti rinvenuti. Si è trascurato di riportare su supporto vettoriale le curve di livello e le altre caratteristiche delle aree limitrofe, in quanto si è preferito seguire la nuova tendenza offerta dagli strumenti informatici di trattare l'immagine base come sfondo raster per il progetto. Tale scelta è stata dettata dal voler mettere più in risalto le caratteristiche dello scavo e lasciare la sola lettura visiva dei tematismi fuori scavo. In aree più estese, la base IGM potrebbe essere utilizzata per calibrare alcuni punti interni della carta tematica, partendo dai riferimenti fiduciarci a coordinate note.

Grazie alla potenzialità del software AutoCAD® ed alla capacità della tecnologia di GDL®-Graphic Data Link, si è così potuto operare a diverse scale durante le differenti fasi del lavoro. Sulla cartografia di base, ottenuta come sopra descritto e contenente la planimetria della Necropoli, si è provveduto a posizionare i punti di campionatura e ad archiviare le osservazioni fatte in campo.

Si sono inseriti a scanner i disegni degli oggetti da archiviare, che sono stati vettorializzati in automatico ed inseriti come icone alla loro scala e con il loro orientamento e il loro puntatore al database. Per poter operare a video si è usata una scala di dettaglio, e si è provveduto ad archiviare le diverse parti delle tavole con ADE (AutoDesk Data Extention). Si è quindi ridotta la scala e si è plottato su carta, per la verifica delle ipotesi fatte nella fase di immissione dati. Si è infine proceduto alla georeferenziazione dei dati pittorici ripresi in campo.

Una volta immesso il materiale come sopra descritto, si può quindi iniziare il viaggio virtuale nella Necropoli, scegliendo dove andare e guardando le riprese delle zone scelte.

### 4.3 Librerie di simboli "intelligenti"

La base cartografica per un sistema informativo territoriale deve contenere oggetti georeferenziati collegati alla relativa tabella di database: in tal senso si indica con cartografia "intelligente" quella cartografia digitale che permette di interrogare le superfici, le linee ed i punti in essa contenuti. Il risultato di tale interrogazione fornisce il contenuto del metafile in uso.

Per ottenere agevolmente tale cartografia "intelligente" la tecnologia usata dal programma GDL-Graphic Data Link fornisce le funzioni per creare librerie di simboli "intelligenti" (Fig. 1). In tal modo si ottiene di mantenere il valore topografico delle rappresentazioni iconografiche, avendo ad esse aggiunto anche l'informazione descrittiva. Si potrà così georeferenziare, sulle restituzioni topografiche, anche le foto, le riprese, le animazioni o le ricostruzioni fotorealistiche (Fig. 2).

La preparazione di carte tematiche diacroniche sarà così resa assai più spedita. I ricercatori che dovranno archiviare le linee di un'area perimetrata, una tomba, una strada, i domini delle pre-esistenze contenute nelle riserve archeologiche, troveranno nello strumento GDL-Graphic Data Link messo a punto a tal fine, un valido strumento di ausilio.

Per la preparazione delle cartografie tematiche le essenze arboree presenti, i muri perimetrali, le gallerie ... e più in generale gli oggetti disegnati, verranno così riferiti al proprio database, alla propria foto o animazione. Qualora si interroghi l'oggetto disegnato appariranno automaticamente i suoi attributi presenti nella base dati.

Il ricercatore che deve preparare la planimetria di un Parco Archeologico, potrà anche archiviare, oltre alla zona perimetrata, le caratteristiche fisiche del paesaggio circostante e correlarle alla base di dati grafici ed alfanumerici provenienti da altre fonti e da altri Enti. Grazie alla tecnologia delle reti telematiche delle costituenti "information super highways", tale scambio dati e le relative consultazioni potranno avvenire anche in remoto ed in tempo reale.

## 5. TECNOLOGIA USATA

La tecnologia alla base dell'applicativo usato per l'archiviazione dei dati dei siti archeologici è quella offerta dalla AutoDesk con i programmi AutoCAD® ed ADE®. Tali strumenti informatici permettono di memorizzare non solo il vettore delle caratteristiche spaziali (X, Y, angolo ...) e grafiche (colore, tipo di linea, classe di oggetti < linee, cerchi, archi, blocchi... >, piano informativo, attributo, ...) ma permettono anche di avere a disposizione uno slot per inserire una serie di caratteri alfanumerici definibili dall'utente.

È proprio in questo slot che GDL-Graphic Data Link inserisce l'identificativo univoco che lega l'oggetto disegnato al database. Usando GDL®

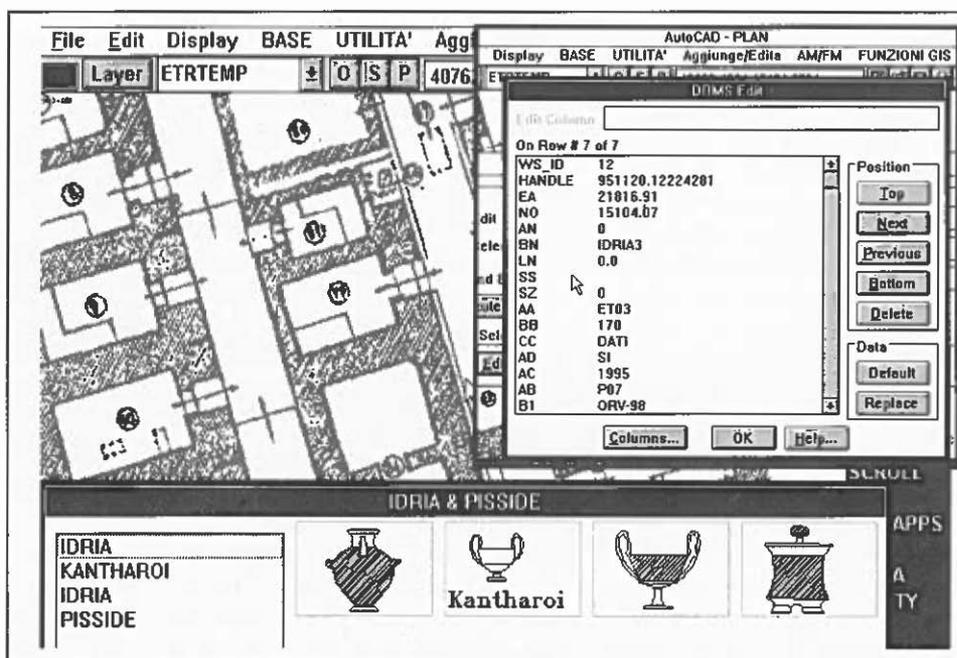


Fig. 1 – Libreria di simboli da inserire nel disegno per facilitare l'archiviazione.

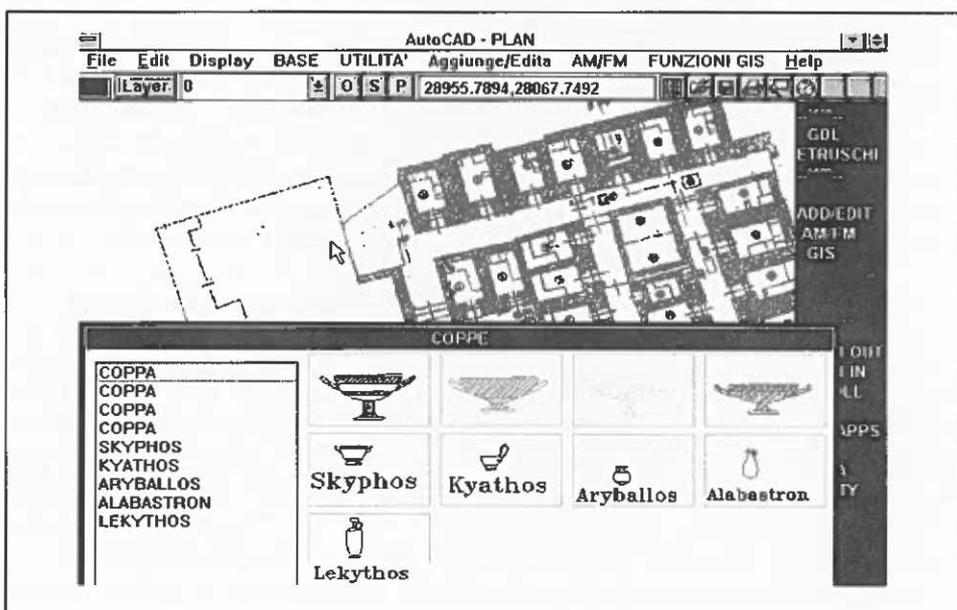


Fig. 2 – Icone "intelligenti": blocchi disegnati in AutoCAD con attributi che vengono inseriti automaticamente nel database per preparare la banca dati georeferenziata.

in congiunzione con ADE®, si possono richiamare sul disegno corrente gli oggetti archiviati in altri disegni presenti nel server che siano stati collegati anch'essi al database. È così ottenibile un *continuum* di oggetti grafici vettoriali richiamabili da interrogazioni SQL. La funzionalità offerta da EED, Extended Entity Data, fornita sia da AutoCAD che da ADE ed utilizzata da GDL permette quindi di operare su file grafici più piccoli, pur mantenendo il legame con il database.

Una volta stabilito il collegamento con il database, la struttura dati sarà composta da un file grafico ".dxf" o ".dwg" che contiene lo *slot* con l'identificativo univoco, ed un file ".dbf" che contiene le informazioni descrittive alfanumeriche. Questi dati possono, se necessario, essere utilizzati da sistemi GIS come ArcINFO, Intergraph, FMS o MapInfo che utilizzino il legame costruito tra oggetti disegnati e database.

Poiché la totalità del lavoro di archiviazione dati è fatta in questa prima fase, si ottiene il risultato di operare a basso costo, con piccoli investimenti, in ambiente Personal Computer solamente con AutoCAD ed un suo applicativo, sicuri che l'investimento sul dato di base non verrà perduto passando, in futuro, se necessario, a sistemi con maggiori prestazioni.

Se, inoltre, si considera la facilità d'uso, la flessibilità operativa sia di stampa che di *data exchange*, si capisce quale larga diffusione possa avere uno strumento così preparato.

## 6. ICONE COLLEGATE AL DATABASE

Nel riportare a video la cartografia, si deve fare in modo che ogni simbolo della carta (icona), e più in generale ogni oggetto disegnato (punto, linea, superficie), cioè l'elemento vettoriale trascritto in mappa, abbia un identificativo univoco, un valore alfanumerico, che lo distingua dagli altri.

Tale valore opportunamente codificato, sarà il tassello di unione, il *link*, tra fatto graficizzato e database.

## 7. LEGAME TRA L'ELEMENTO DEL DISEGNO E IL DATO DEL DATABASE

Con l'uso di GDL-Graphic Data Link, sia in fase di vettorializzazione che, più in generale, in fase di immissione dei dati grafici, si ha il vantaggio di ottenere subito una cartografia "intelligente". Infatti il software GDL Graphic Data Link, automaticamente associa all'oggetto disegnato non solo la posizione (data base grafico, DBMS), ma anche il suo attributo nel database (Fig. 3).

L'utente ha, quindi, il beneficio di ottenere, alla fine del lavoro di immissione dati, una cartografia ove gli oggetti disegnati hanno un nome, (identificativo), per mezzo del quale essi possono essere automaticamente ricercati. Si possono cioè selezionare gli oggetti del disegno in un sotto insieme spaziale, in base ad una serie di interrogazioni SQL (Standard Query

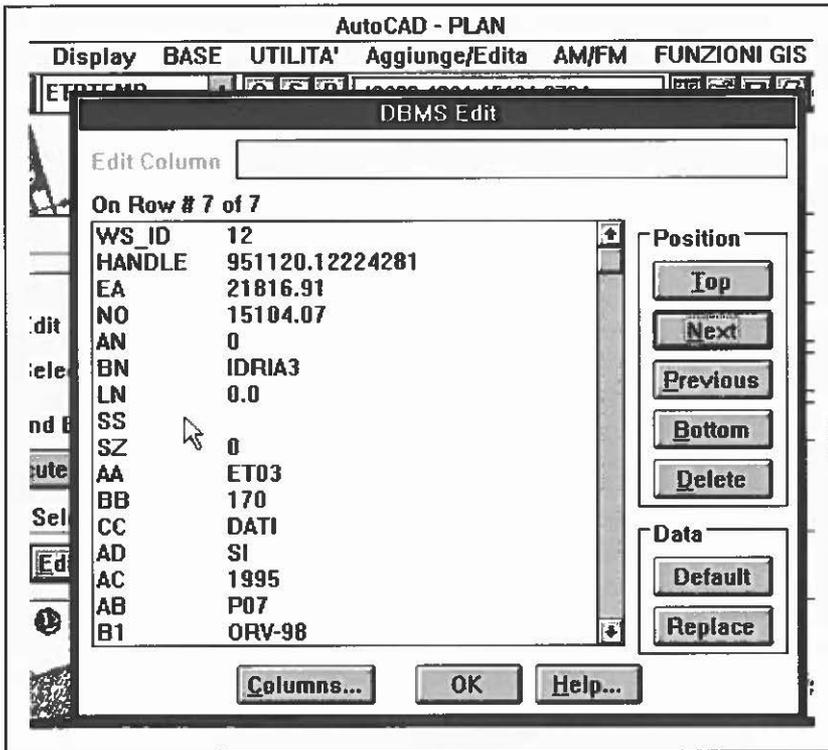


Fig. 3 – DBMS, Data Base Management System: editing di un record collegato al disegno.

Language), sui valori archiviati nella tabella collegata con l'oggetto o addirittura ad una tabella esterna con un campo che si pone in relazione ad un campo della tabella principale.

## 8. RISULTATI OTTENUTI

Nei capitolati che i Ricercatori andranno a preparare, si dovrà specificare che gli oggetti vettoriali disegnati (punti, linee, polilinee, tracce, blocchi e testi...) della cartografia informatizzata dovranno essere collegati con i campi chiave della banca dati. Ciò per evitare di dover ritoccare le cartografie digitali, per effettuare tale collegamento appena si inizierà il lavoro GIS.

Quanto sopra significa che nel tracciato record delle linee che definiscono un'area perimetrata, una tomba, una strada, verranno inseriti gli identificativi di collegamento con il database. Tale legame sarà poi utilizzato da ArcCAD per leggere e scrivere la struttura dati ArcInfo, della ESRI, da Intergraph, da FMS, o da MapInfo a seconda del motore GIS di cui l'Ente vorrà di volta in volta dotarsi. L'investimento di base dell'Ente è così protetto

dal mutamento degli standard di mercato dovuto alle politiche marketing delle società estere produttrici di programmi GIS.

La potenzialità offerta da GDL - Graphic Data Link di avere a disposizione uno strumento proprietario standard a livello mondiale garantisce l'investimento dell'Ente e permette anche soluzioni proprietarie senza escludere soluzioni commerciali adottate da altre Amministrazioni in Italia.

Quando si utilizzerà una cartografia informatizzata le linee che delimitano i confini dei tematismi dovranno essere "intelligenti", indicheranno cioè, non solo la loro posizione geografica, ma anche conterranno il legame con il database e le caratteristiche di topologia. Pertanto, bisognerà dire al sistema che un certo numero di linee identificano un'area e che quell'area è individuata da alcuni parametri e che a questi parametri l'Utente del Sistema GIS può aggiungere una lista di altri valori, o di altri record, che potranno contenere descrizioni, foto, filmati, o animazioni di pertinenza dell'oggetto graficizzato durante il divenire del progetto GIS.

Potrebbe così anche essere possibile partire dai dati alfanumerici delle preesistenze contenute nelle Riserve Archeologiche e riferirli alla posizione delle particelle catastali e verificare i dati delle cartografie tematiche. Le essenze arboree presenti, i muri perimetrali, le gallerie, i reperti catalogati e più in generale gli oggetti disegnati, verranno così riferiti al proprio database, alla propria foto o montaggio foto realistico. Ogni volta che sarà interrogato l'oggetto disegnato, appariranno automaticamente tutti i suoi attributi.

### 8.1 Legame tra cartografia informatizzata e dati alfanumerici

Una volta che siano georeferenziati i dati testuali del database o che viceversa gli oggetti disegnati siano stati relazionati ai dati testuali (o come si dice, che i dati grafici siano stati *linkati* al database), si può utilizzare questo legame per compiere le operazioni che la cartografia tradizionale non permette di fare.

Si possono cioè applicare al disegno i concetti di interrogazione propri dei database e viceversa fornire ai database l'espressività intuitiva propria delle rappresentazioni grafiche. I dati delle tabelle alfanumeriche e degli oggetti grafici formano un database in cui la grafica, la foto, la ripresa o la composizione fotorealistica costituiscono un tutt'uno, quasi un altro campo del database.

## 9. FUNZIONI GIS

Un altro concetto fondamentale dei Sistemi Informativi Territoriali è quello di stratificazione delle diverse informazioni (o dei diversi tematismi) su differenti piani informativi. Qui nascono le prime diversità tra progetto e progetto e si impone la necessità di avere specifiche comuni da adottare in casi analoghi.

È necessario, pertanto, preparare un capitolato dei lavori di memorizzazione e, quindi, serve un ricercatore con preparazione specifica, il quale, conoscendo i requisiti, definisca le voci e le specifiche delle operazioni di input e che possibilmente possa mediare tra le esigenze di budget e quelle di un riutilizzo futuro dei dati territoriali. In molti casi sarebbe più corretto usare fotografie in formato raster, meglio se prese con un sensore multispettrale, e posizionare solo le informazioni vettoriali.

Fino a questo momento si sono illustrate solo le funzionalità di *automatic mapping* di un SIT che permettono di creare cartografie tematiche rispondenti ad interrogazioni relazionali. In tal modo si può rispondere alle domande di stampa selettiva di alcuni tematismi: si può produrre la carta del reticolo idrografico, della rete stradale e delle curve di livello, oppure la carta della localizzazione delle zone archeologicamente più fragili.

Vorrei illustrare ora le funzioni specifiche degli strumenti GIS come *buffer, overlay e polygon processing*.

**Buffer:** la funzione di buffer crea un dominio areale definito dalla distanza costante da un oggetto raccordato agli angoli, eventualmente con un arco di cerchio; tale funzione è utilizzata per creare un insieme spaziale, area di rispetto, attorno ad un oggetto areale (una zona perimetrata, un lago), lineare (una strada, l'asta di un fiume), o puntiforme (una tomba, un pozzo). Ad esempio permette di disegnare una fascia di rispetto intorno ad un percorso archeologico, oppure di definire un'area con determinati vincoli intorno alle preesistenze archeologiche, oppure una zona di filtro intorno ad una area fragile, per la sua salvaguardia.

**Overlay:** è una funzione GIS estremamente importante e consente di porre le informazioni una sopra l'altra e su piani diversi. Gli oggetti che si rappresentano normalmente su di un disegno sono: puntiformi come un pozzo; lineari come il tratto di un acquedotto o di una strada; areali come una particella catastale, un'area a Parco Archeologico. La tecnologia offre la possibilità di associare all'area di *buffer* attorno a tali oggetti, un identificativo con un valore caratteristico di tale area.

**Polygon processing:** nell'ambito della pianificazione territoriale, l'uso delle aree di buffer e degli overlay porta ad operare con poligoni chiusi che descrivono il territorio.

Una funzione GIS che opera sui poligoni è quella che gli americani chiamano *Polygon Processing*. Una volta preparati i piani tematici fa comodo trovare il tematismo intersezione dei poligoni trattati nei diversi tematismi. La funzione *polygon processing* permette di generare automaticamente il tematismo formato dalla intersezione dei poligoni presenti nei piani considerati. In tal modo si ottengono, come attributi dei poligoni risultanti, gli attributi presenti nei poligoni che insistono su di una particolare area.

## 10. CARTOGRAFIE DI RISCHIO

Con le funzioni GIS sopra descritte si può così procedere alla preparazione di cartografie tematiche e di rischio per le preesistenze archeologiche, in relazione da una parte alla loro fragilità e peculiarità, e dall'altra alla pressione esercitata sull'ambiente dalla presenza delle attività antropiche e da fenomeni naturali specifici: aree inondabili, aree sismiche... Da qui si evince la necessità di determinare le esigenze relative alle aree da proteggere anche a scala regionale.

Bisogna ridisegnare il territorio e su di esso un tematismo nuovo, che rappresenti gli ambiti fragili, tematismo per tematismo; affinché si possa predisporre un piano di risanamento territoriale. Bisogna mappare il Tematismo Archeologia che comprenda le cartografie delle aree fragili e delle zone di *buffer* in modo tale da proporre uno sviluppo armonico del territorio che valorizzi il patrimonio archeologico, ne contempli la sua conservazione e ne permetta una fruizione controllata da parte dei cittadini.

Occorre concludere con un'ultima osservazione sull'uso dei sistemi informativi per la preparazione delle cartografie di rischio che sono alla base di una corretta impostazione dei Piani Territoriali, sia per gli Enti Locali che per le Amministrazioni Regionali. Siamo abituati a vedere esempi dell'uso del GIS per le cartografie di rischio sismico e di esondazione; infatti, partendo dall'analisi dei dati e collegandoli alle caratteristiche del territorio e della sua geomorfologia, si possono indicare le aree più vulnerabili.

Da tutto quanto precede si evince quanto sia sempre più necessario ed urgente usare cartografie di rischio anche per le bellezze naturali, per l'inquinamento delle coste, dei corsi d'acqua, delle falde acquifere e del Patrimonio Archeologico.

FRANCESCO PAOLO DI GIACOMO  
Alpha Consult Srl - Roma

## BIBLIOGRAFIA

- ARONOFF S. 1989, *Geographic Information System: A Management Perspective*, WLD Publications, Ottawa, Canada.
- DI GIACOMO F.P. 1989, *Guidelines for the setting up of a Geographic Information System of the Nigerian Dams as a tool to tackle some of the problems in the design and construction of earth dams in Nigeria*, in *Colloquio internazionale sulla sicurezza delle Dighe in Terra*, Kano.
- DI GIACOMO F.P. 1992, *GIS in an Emerging Nation*, «Geodetical Info Magazine, International Trade Journal for Land, Satellite, Hydrographic and Mining Surveying, Photogrammetry, Remote Sensing and Mapping, (GIS/LIS)».
- DI GIACOMO F.P. 1993, *Nigerian Water Management Application: a success*, «GIS WORLD, The World's Leading Geographic Information System Publication», 5, 3 (Aprile 1992).

- DI GIACOMO F.P. 1994, *Una nuova coscienza cartografica*, «Rivista dell'Unione Romana Ingegneri e Architetti», XLIV, 4-5 (Luglio-Ottobre).
- KLEIN D.H., AICP 1986-1994, *The FMS Book*, Facilities Mapping Systems Inc., San Francisco, Ca.
- KLEIN D.H., AICP 1995, *Ideal decision making... Geographic Information Systems: the Missing Piece*, Eagle Point-FMS, San Francisco, Ca.

## ABSTRACT

The procedures for the preparation of the thematic layers, describing the finding in an Etruscan site, are presented. The testimonial shows the advantages of using AutoCAD based tools, in order to link the database, containing the description of the objects in the drawing, to the CAD elements.

This paper shows how to use the potential of a desktop GIS, based on AutoCAD and DBIV, in a variety of fields: from the preparation of hazard maps, showing the risk zones of fragile archaeological sites, to the preparation of a micro GIS project of fractures and related sections of a painting restoration project.

The methodology proposed starts from the preparation of the topographic layer for the archiving of the objects found on site. The use of AutoCAD in conjunction with GDL-Graphic Data Link by Alpha Consult srl of Rome and ADE by AutoDesk Inc. Ca. is proposed, in order to simplify mapping of archaeological sites and perform relational query on stored data. The AutoCAD application, called GDL/ARCHEO, is designed to establish and maintain DWG/DXF-DBF LINK, that can be utilized by ArcCAD (ARCINFO Data Structure), MAPINFO, INTERGRAPH. GDL/ARCHEO, a personalization of GDL, Graphic Data Link, is used as data input environment of descriptive data related to AutoCAD featured in the drawing. The program has a library of Etruscan vases that can be further personalized and expanded; the default database can be modified to accommodate personalized projects. GDL/ARCHEO has the ability to create overlays, to assign ID-values to the resulting polygon, and to provide network tracing capabilities and establish buffer areas for further studies. The program is an add-on ADE (AutoDesk Data Extension) for large archaeological sites. The paper describes also the GIS functions of overlay, buffer, polygon processing and network tracing to prepare hazard maps showing the risk analysis related to the different sites.

## IMPIEGO DI UN SISTEMA GEOGRAFICO INFORMATIVO PER UN CONFRONTO MODELLISTICO PRELIMINARE TRA DUE AREE ARCHEOLOGICHE SABINE

### 1. PREMESSA

Nelle scienze territoriali e nelle applicazioni allo studio del territorio (processi di pianificazione urbanistica, valutazione delle risorse territoriali ed ambientali) va sempre di più affermandosi l'utilizzo dei Sistemi Informativi Geografici (GIS). Tali sistemi, costituiti da un dispositivo di elaborazione (Hardware) e da un programma per l'elaborazione (Software), consentono di trattare dati geografici, informazioni geometriche nonché tutte quelle informazioni descrittive legate al territorio. Utilizzando un GIS sarà quindi possibile eseguire analisi complesse ed accurate sia mediante la sovrapposizione tematica sia attraverso lo studio e l'elaborazione dei parametri numerici e alfanumerici che legano i dati territoriali. Schematicamente si può immaginare l'utilizzazione di un GIS suddiviso in tre fasi distinte:

1. acquisizione di dati geometrici, numerici ed alfanumerici;
2. sviluppo di procedure, per l'interrogazione e l'applicazione di modelli, per effettuare l'analisi dei processi territoriali;
3. restituzione dei risultati sia in forma tabellare che come carte tematiche.

Una esauriente definizione sui GIS la si deve a BURROUGH (1986) «...*Un Sistema Geografico Informativo (G.I.S.), è un potente strumento per la raccolta, l'immagazzinamento, il recupero, la trasformazione, l'analisi statistica e la visualizzazione di dati territoriali in vista di un prefissato insieme di scopi ...*». In sintesi si può affermare che un GIS, oltre che gestire, integrare ed elaborare l'enorme volume di dati distribuiti spazialmente sul territorio, permette di creare correlazioni tra i diversi livelli informativi territoriali al fine di generare "nuove" informazioni.

Queste informazioni saranno generate sia attraverso tecniche di sovrapposizioni tematiche sia combinando i vari attributi degli elementi geografici per essere utilizzate dalla metodologia statistica e soprattutto in vista della creazione di appropriati modelli stocastici.

Nel presente lavoro viene proposto di utilizzare questa caratteristica peculiare dei GIS per lo studio di una zona di interesse storico archeologico definita dalle fonti «Sabina tiberina», della quale vengono mostrate le tavole I.G.M. (Figg. 1-2).

### 2. POLEOGRAFIA DELLA SABINA TIBERINA IN EPOCA ARCAICA

L'esame di una carta geografica dimostra che in epoca arcaica lungo il corso del Tevere si dispongono una serie di insediamenti, identificati in se-

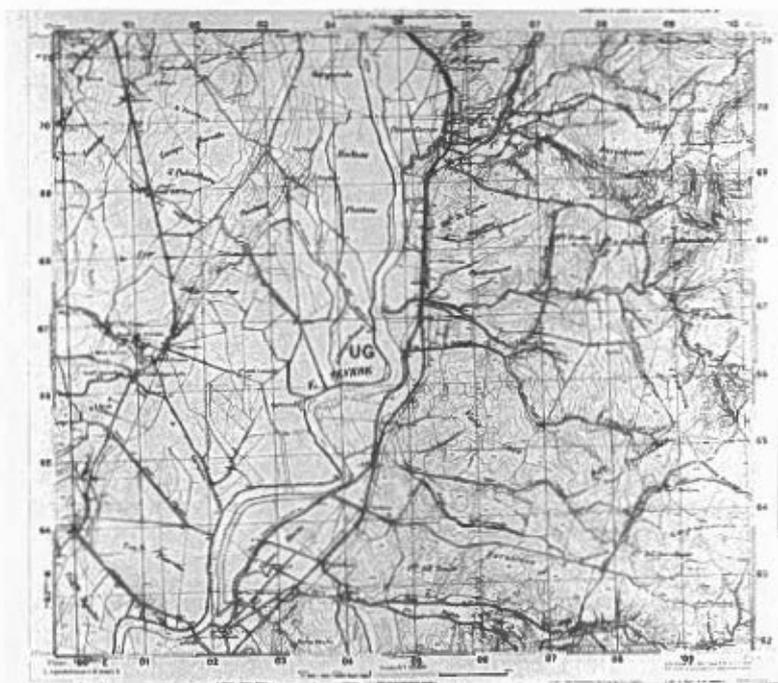


Fig. 1 - Tavoletta I.G.M. Passo Corese.



Fig. 2 - Tavoletta I.G.M. Magliano Sabina.

guito a ricognizioni topografiche condotte sul territorio, noti con i nomi di Otricoli, Magliano Sabina, Poggio Sommavilla, *Cures* ed *Eretum*. Tutti questi insediamenti presentano un medesimo modello di occupazione del territorio: si dispongono sulle colline immediatamente prospicienti il corso del fiume, o sulla quinta di alture leggermente arretrata, allo sbocco di valli, che costituiscono lo sbocco nella valle tiberina di percorsi che immettono nell'interno del paese. Per tutti in questa fase si può parlare di un adeguamento ad un modello di tipo urbano, ben noto nelle aree confinanti etrusca e laziale, che prevede spazi ben distinti per l'insediamento e per le necropoli.

Questo aspetto poleografico in epoca arcaica dell'area tiberina della Sabina segna un punto di arrivo di un lento processo di articolazione degli abitati e di organizzazione del territorio, che affonda le sue radici nel corso dell'età del ferro.

Già dall'VIII secolo infatti nella Sabina tiberina si riconoscono una serie di piccoli insediamenti, che si dispongono sia lungo il Tevere, negli stessi siti dove si svilupperanno i centri di epoca arcaica, sia lungo le valli, solitamente percorse da fiumi, che immettono nella valle del Tevere. I caratteri fondamentali cui questi insediamenti sembrano rispondere sono eminentemente due: il controllo del territorio e una base di appoggio lungo rotte percorse dalla transumanza del bestiame. La ricognizione topografica, condotta nella zona di Magliano ed in quella di *Eretum*, sebbene non ancora conclusa, sembra dimostrare la continuità di vita in epoca arcaica di tutti questi insediamenti, con la conseguenza che la forma di occupazione e organizzazione territoriale resta immutata nella Sabina tiberina, anche se fenomeni di rapida urbanizzazione coinvolgono i centri più a diretto contatto con il Tevere.

Questa ipotesi di lavoro, che comunque risulta suffragata dagli studi sul territorio, ha suggerito l'idea di provare ad elaborare i dati disponibili per verificare se si può definire un modello statistico di occupazione territoriale. Per eseguire un primo approccio a questo studio sono state scelte due aree campione: una riguarda gli insediamenti archeologici riguardanti la zona del comune di Magliano Sabina, l'altra quelli riguardanti la parte di territorio denominata *Ager Eretanus* (parte di territorio compresa tra i comuni di Monterotondo, Passo Corese e Montelibretti Tav. 144 III N.E. 1:25.000).

### 3. L'INSEDIAMENTO DI MAGLIANO SABINA

Magliano Sabina è situata su un colle prospiciente il Tevere, che nell'antichità ne lambiva le falde. L'insediamento, di cui le fonti non tramandano il nome, si organizza verso la fine del VII secolo a.C. secondo un modello urbano, ben noto nello stesso periodo cronologico in Etruria e nel Lazio: l'abitato si estende su un'altura ben difendibile separata dalle alture adiacenti sulle quali si estendono le necropoli.

Le abitazioni dovevano disporsi liberamente sull'altura e sulle pendici,

con interposte aree di servizio. La tipologia edilizia doveva prevedere l'esistenza di case con copertura del tetto con tegole e quindi pareti atte a sostenerne il peso con uno zoccolo in pietrame ed alzato in graticcio e mattoni crudi.

#### 4. L'INSEDIAMENTO DI ERETUM

Nella Sabina tiberina, *Eretum* e *Cures* sono le città sabine più volte ricordate dalle fonti per le loro connessioni con la Roma di epoca regia. *Eretum* occupa l'estrema propaggine delle alture di Casacotta. I materiali raccolti a seguito di ricognizioni topografiche, condotte sull'altura, testimoniano l'occupazione generalizzata del versante volto verso il Fosso Fiora nel corso della seconda metà del VII secolo a.C. ed una organizzazione del sito, che prevede l'utilizzazione a fini cimiteriali della collina di Colle del Forno, posta al di là del fosso. È con l'epoca arcaica che assume piena evidenza la configurazione dell'abitato, che si estende su tutta la collina. Il limite orientale doveva essere rafforzato dalla presenza di un fossato.

Su tali aree, partendo dalla elaborazione digitale del terreno (D.T.M), sono state ottenute delle carte tematiche che consentono di mettere in relazione le varie tipologie di siti di una determinata epoca con la conformazione del territorio (Figg. 3-6; Tav. IV, b; V, a)

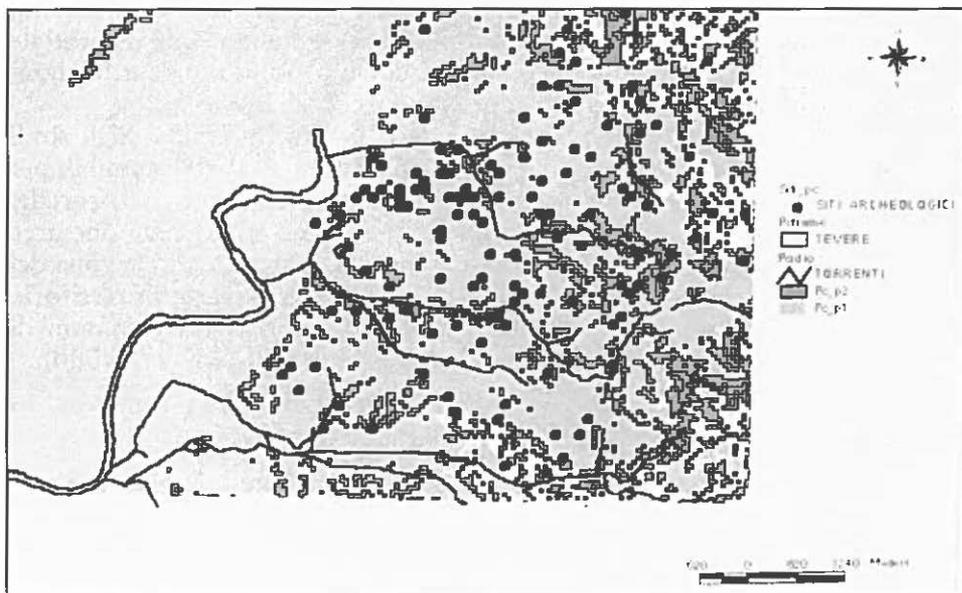


Fig. 3 - Rappresentazione a sovrapposizione tematica tra il diagramma delle pendenze,  $Pc_{p1} = 0^\circ - 5^\circ$ ;  $Pc_{p2} = 6^\circ - 10^\circ$  del terreno, derivato dalla ricostruzione D.T.M. con l'idrografia principale e la localizzazione dei siti archeologici per la zona di *Eretum*.

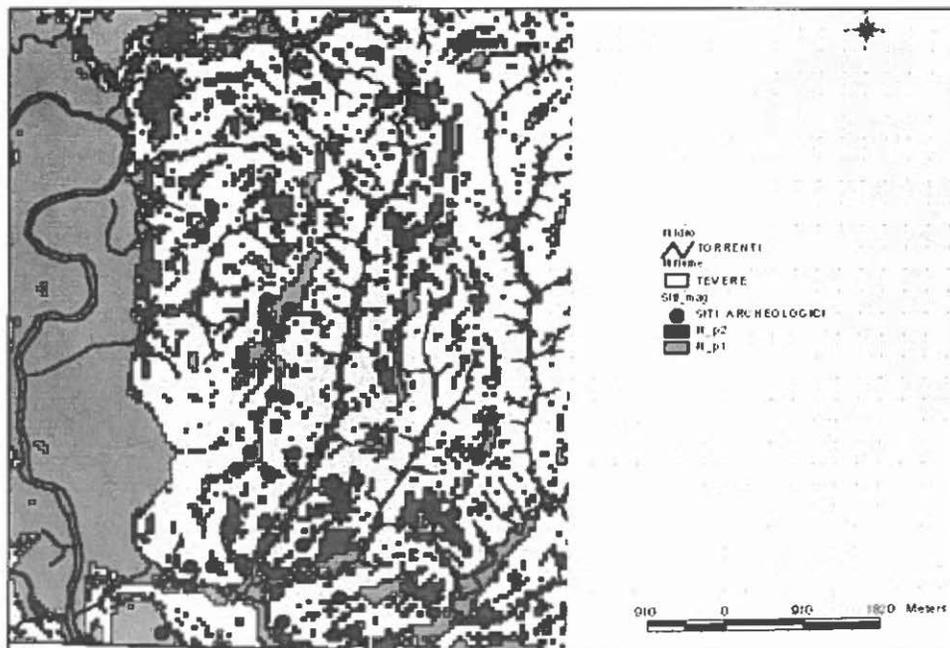


Fig. 4 – Rappresentazione a sovrapposizione tematica tra il diagramma delle pendenze,  $M_{p1} = 0^\circ - 5^\circ$ ;  $M_{p2} = 6^\circ - 10^\circ$  del terreno, derivato dalla ricostruzione D.T.M. con l'idrografia principale e la localizzazione dei siti archeologici per la zona di Magliano Sabina.



Fig. 5 – Rappresentazione a sovrapposizione tematica tra il diagramma delle esposizioni dei versanti,  $Pc_{e45^\circ}$  (esposizione est),  $Pc_{o45^\circ}$  (esposizione ovest), derivato dalla ricostruzione D.T.M. con l'idrografia principale e la localizzazione dei siti archeologici per la zona di Eretum.

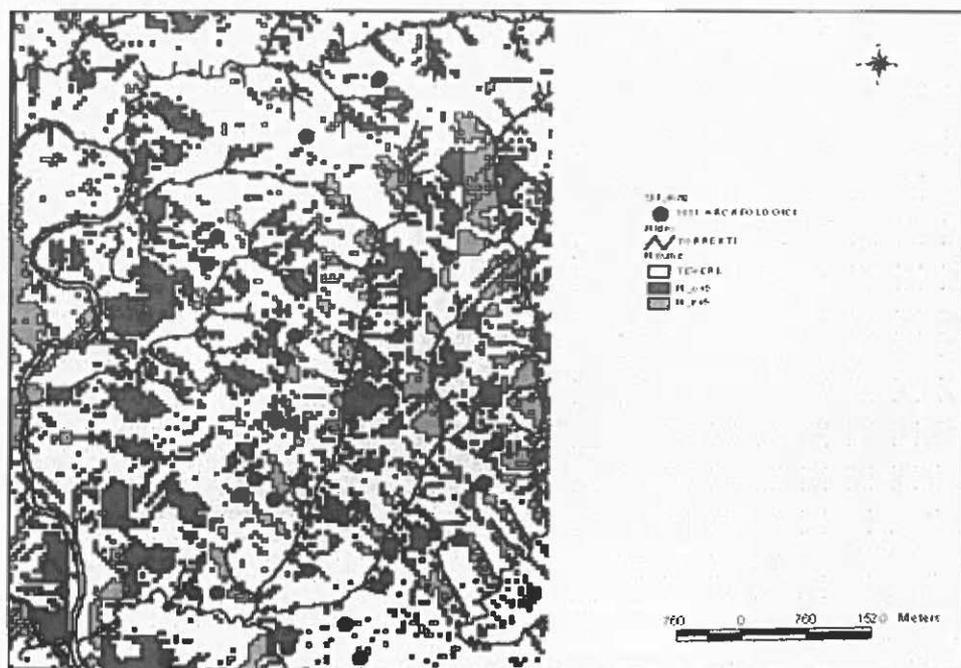


Fig. 6 - Rappresentazione a sovrapposizione tematica tra il diagramma delle esposizioni dei versanti, M<sub>e</sub>45° (esposizione est), M<sub>o</sub>45° (esposizione ovest), derivato dalla ricostruzione D.T.M. con l'idrografia principale e la localizzazione dei siti archeologici per la zona di Magliano Sabina.

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per una maggiore completezza del lavoro svolto sono state effettuate alcune indagini di tipo geologico. La lettura delle figure (Tav. V, a-b) sulle quali vengono rappresentati stralci di due fogli (138 e 144) della Carta Geologica d'Italia, permette di osservare i depositi che più frequentemente affiorano nell'area della Sabina tiberina.

Si tratta prevalentemente di sabbie argillose del Plio-Pleistocene e di materiale tufaceo pleistocenico proveniente dall'attività dei distretti vulcanici laziali. Tali depositi si estendono lungo una fascia a direzione circa nord-sud confinante ad est con le alluvionali oloceniche del Tevere; ad ovest si rinvencono a ridosso dei massicci calcareo-dolomitici del Meso-Cenozoico, che costituiscono i Monti Sabini. L'affioramento di materiale argilloso-sabbioso e vulcanico evidenzia che l'area in esame è stata particolarmente influenzata da alcuni fenomeni postorogenetici, connessi con l'apertura del bacino tirrenico.

Circa 5 milioni di anni fa, infatti, mentre si andava formando il Mar

Tirreno, il settore occidentale degli Appennini appena formati incominciò ad assottigliarsi determinando lo sprofondamento di interi settori di catena lungo profonde dislocazioni tettoniche caratterizzate da migliaia di metri di rigetto. Tale sprofondamento non fu del tutto omogeneo, alcuni settori rimasero al di sopra del livello del mare, originando così un insieme di isole tra cui anche l'attuale Monte Soratte e i Monti Cornicolani. A causa di questo processo si sono generate una serie di sequenze deposizionali marine, attualmente visibili in affioramento, di natura argillosa e sabbioso-conglomeratica.

Durante il Pliocene medio e superiore ed il Pleistocene inferiore alcuni sollevamenti regionali e l'accumulo sempre maggiore di sedimenti limitarono la possibilità del mare di trasgredire verso est. Quello che quindi un tempo era il fondo del mare divenne così una regione collinare con ampie zone paludose e piccoli laghi: il Paleotevere. In seguito, come diretta conseguenza dell'abbassamento del livello marino, l'attività erosiva delle acque meteoriche divenne particolarmente intensa ed il Tevere incise un'ampia valle fluviale.

Alcune migliaia di anni dopo, a causa del lento innalzamento del livello del mare, la fase di intensa erosione fu sostituita da una fase di deposito, in cui i corsi d'acqua accumularono una grande quantità di sabbie e ciottoli nelle valli da loro stessi incise. Si formò quindi la pianura alluvionale del Tevere e dei suoi affluenti, il fiume cominciò a formare ampi meandri assumendo il suo corso definitivo. Inoltre l'assottigliamento crostale dovuto all'espansione tirrenica ha provocato la risalita attraverso lineamenti profondi di fluidi magmatici che hanno dato luogo, nel Plio-Pleistocene, ad imponenti fenomeni vulcanici. Il vulcanismo del Lazio si è impostato infatti lungo una fascia strutturalmente depressa parallela alla costa tirrenica, dando origine ad una serie di distretti vulcanici che hanno emesso tonnellate di materiale, creando così dolci rilievi in prossimità della costa, più o meno paralleli alla dorsale appenninica.

È stata studiata con maggiore dettaglio l'area compresa nell'ambito dei confini comunali dell'abitato di Magliano Sabina, dove sono state effettuate alcune ricognizioni di campagna che hanno permesso di osservare con più dettaglio le caratteristiche dei depositi sopra descritti. In quest'area si osservano per lo più affioramenti di sabbie argillose del Plio-Pleistocene di colore grigio chiaro e giallo, generalmente non stratificate. Si presentano a granulometria grossolana e molto friabili. Spesso si notano passaggi laterali a conglomerati a matrice sabbioso-calcareo.

Sono stati inoltre rinvenuti estesi depositi sabbiosi del Plio-Pleistocene. Si presentano di colore grigio chiaro, non stratificati e di consistenza piuttosto massiccia. Sono caratterizzati da una notevole quantità di resti di fauna da marina a salmastra (Fig. 7). Sono inoltre molto diffusi i depositi di materiale vulcanico. Si tratta prevalentemente di tufi plio-pleistocenici. In alcuni casi sono molto friabili e farinosi, altri affioramenti sono caratterizzati da una notevole consistenza, sono quindi molto compatti e con poche scorie all'interno (Fig. 8).

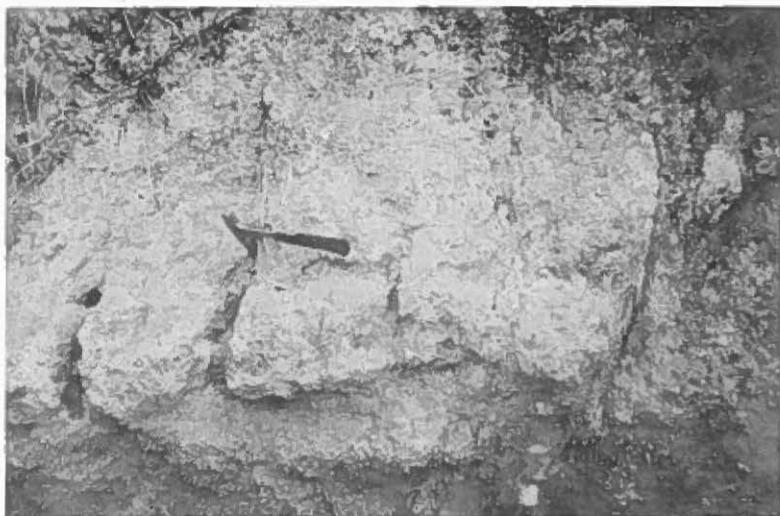


Fig. 7 – Sabbie plio-pleistoceniche ricche di resti di fauna da marina a salmastra.



Fig. 8 – Tufi plio-pleistocenici compatti.

## 6. CONCLUSIONI

Il presente lavoro è una parte integrante del programma tutt'ora in corso dell'unità operativa del Progetto Strategico sui "Beni Culturali". I risultati presentati non vogliono e non possono essere sintetizzati in una valutazione esplicativa dal punto di vista storico o scientifico. Tuttavia gli elaborati

mostrati, oltre ad essere di immediata lettura circa lo sviluppo degli insediamenti antropici e degli elementi ambientali che li hanno condizionati, sono stati un utile lavoro preparatorio alla modellistica territoriale.

Infatti, attraverso classiche operazioni di overlay si sono ottenuti nuovi livelli informativi e alcune variabili ausiliarie. Queste possono essere tra l'altro, utilmente impiegate nella definizione di modelli stocastici per la previsione di sito archeologico.

SALVATORE ESPA, ANNA DE MEO, ROBERTO GABRIELLI  
UGO RICCI -

Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali  
C.N.R. - Area della Ricerca di Roma, Montelibretti

GIUSEPPE ESPA  
Università degli Studi di Trento

#### RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il dott. Guido Righini dell'A.d.R. di Roma per la collaborazione prestata nello sviluppo di procedure per l'elaborazione dei dati territoriali con tecniche di visualizzazione in falso colore.

Ringraziano inoltre i sigg. Mario Mascellani e Gaetano Pappalardo dell'I.T.A.B.C. - C.N.R. per il rilievo effettuato nella zona di indagine.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANGILERI V. 1993, *La qualità dei GIS: considerazioni a margine di alcune esperienze*, «Genio Rurale», 1, 46-53.
- BURROUGH P.A. 1986, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Oxford, Clarendon Press.
- COSENTINO D., PAROTTO M., PRATURLON A. 1993, *Guide Geologiche Regionali*, 14 Itinerari, Lazio, BE-MA editrice.
- ESPA G., ESPA S., GABRIELLI R., PIFFERI A., RICCI U. 1995, *Impiego integrato di metodi statistico-spaziali e tecniche informatiche nell'analisi di aree di interesse storico-archeologico*, «Archeologia e Calcolatori», 6, 35-60.
- GIGLI QUILICI S., SANTORO P. 1994, *Eretum: ricerca topografica sull'abitato in epoca arcaica*, «Archeologia Laziale», 12, 641-663.
- GETIS A., FRANKLIN J. 1986, *Second-Order Neighborhood Analysis of Mapped Point Patterns*, «Ecology», 65(3), 473-477.
- I.G.M. Foglio 138 - Terni, *Carta Geologica d'Italia*, scala 1:100.000.
- I.G.M. Foglio 144 - Palombara Sabina, *Carta Geologica d'Italia*, scala 1:100.000.
- OGLIVIE R. M. 1965, *Eretum*, «Papers of the British School at Rome», 32, 70-112.

#### ABSTRACT

The aim of this work is to contribute to a better knowledge of the historical-archaeological heritage. Archaeological and territorial data have been collected and processed in a G.I.S. in order to provide information on the evolution of the population

settlement in a selected area used as a "case study". The area investigated was that located between the rivers Nera and Aniene (North - South direction) and between the Tiber river and the Sabini Mountains (East - West direction). It is identified by historical names as the "Sabina Tiberina" area. It is an area characterized by a large number of sequential settlements of different populations starting from the Iron to the Middle age.

The G.I.S. developed offers the possibility of describing and interpreting all territorial changes caused by the various populations. One of the main features of our G.I.S. is the easy access and use for non specialised people (like teachers, students and decision makers). Examples of different types of maps that can be generated by our G.I.S. are presented. Two examples of composite maps containing different type of information (geographical, historical, geological etc.) are displayed to show the possibilities afforded by our system.

## SISTEMA CARTOGRAFICO PER IL CENTRO ANTICO DI NORA

### 1. IL PROGETTO NORA

Fondata dai Fenici nell'VIII secolo a.C. sulla costa meridionale della Sardegna, una trentina di chilometri a ovest di Cagliari, Nora fu, secondo Pausania (X, 17, 5), la prima città dell'isola. Certamente fu una delle principali fondazioni fenicie in Sardegna e più tardi centro nevralgico del potere cartaginese nell'isola. Passata sotto il dominio romano nel 238 a.C., divenne *municipium*<sup>1</sup> e conobbe un'ulteriore fase di grande prosperità in età imperiale, grazie alla sua posizione strategica, che ne faceva una tappa obbligata nei traffici commerciali fra Roma e le ricchissime province africane. Ma proprio quella posizione geografica – su un basso promontorio proteso nel mare e legato alla costa sarda solo da un'esile lingua di sabbia (Fig. 1) – che aveva fatto la fortuna della città fin tanto che Roma era stata in grado di garantire la sicurezza delle rotte mediterranee, fu causa della sua rovina quando, venuto meno quel controllo, i pirati tornarono a terrorizzare con le loro scorrerie le popolazioni rivierasche. Di fatto indifendibile dagli attacchi provenienti dal mare, Nora cominciò allora ad essere abbandonata dai suoi abitanti, che le preferirono un po' alla volta le alture retrostanti. Nel VII secolo l'Anonimo Ravennate accenna non più ad una città, ma soltanto ad un *praesidium* militare, che più avanti si ridusse a nulla più che una cava di materiali da costruzione, come attesta la chiesetta di Sant'Efisio, realizzata sulla spiaggia di Nora nel 1089 quasi esclusivamente con blocchi di reimpiego (TRONCHETTI 1986).

Da allora le cose non sono cambiate granché sul promontorio, che fino a non molti decenni fa ha continuato ad essere in parte coltivato e in parte utilizzato per il pascolo delle pecore. I primi scavi nel centro urbano, preceduti da alcune indagini nell'area delle necropoli<sup>2</sup>, hanno avuto inizio soltanto nel 1952, per opera dell'allora soprintendente archeologo Gennaro Pesce (PESCE 1972), ma in compenso sono proceduti con sconcertante rapidità. In meno di un decennio una cinquantina di sterratori ha riportato in luce oltre tre ettari di rovine di edifici pubblici e privati, di strade e di piazze (Figg. 2, 3, 4), senza curarsi di fornirne una documentazione adeguata. Il risultato è che tutt'oggi manca un'edizione scientifica degli scavi effettuati, delle strutture edilizie riportate in luce e dei reperti mobili, che nel frattempo sono andati in massima parte dispersi.

<sup>1</sup> Lo *status* della città è documentato dall'iscrizione dedicatoria di una statua a Quintus Minucius Pius, *quattuorvir iure dicundo*.

<sup>2</sup> Le necropoli e il *tofet* della città, ubicati sulla lingua di sabbia che collega il centro urbano alla costa sarda, sono stati indagati a partire dal 1889: VIVANET 1891; PATRONI 1901, 1902, 1904; TRONCHETTI 1986.



Fig. 1 – Il promontorio di Nora, visto da Sud.



Fig. 2 – Nora, la zona del foro. Sullo sfondo la punta di Coltellazzo, con il foro.

Fig. 3 – Nora, la punta «e su coloru», con i resti del cosiddetto tempio di Esculapio.

Fig. 4 – Nora, la via lastricata che costeggia la rada di ponente.

Per ovviare a questa situazione, agli inizi degli anni '90 la Soprintendenza Archeologica – per iniziativa soprattutto del dr. Carlo Tronchetti, direttore del Museo Nazionale di Cagliari – ha deciso di avviare una serie di nuove indagini a Nora, concentrando l'attenzione su un isolato centrale<sup>3</sup>, che negli anni '50 era stato sterrato solo in parte. L'obbiettivo era quello di intraprendere nuovi scavi, senza trascurare nel contempo il recupero di ogni possibile informazione anche all'interno di complessi già scavati, come l'*horreum-macellum* e le cosiddette Piccole terme. Per la nuova campagna di indagini la Soprintendenza ha cercato la collaborazione di quattro Università, Genova, Padova, Pisa e Viterbo, che hanno colto l'occasione per fare di Nora non solo un progetto scientifico, ma anche un cantiere-scuola per studenti, specializzandi e dottorandi di ricerca in Archeologia.

Mentre nel cantiere prendevano l'avvio le prime indagini stratigrafiche, negli archivi della Soprintendenza di Cagliari, del Comune di Pula e dell'I.G.M.I. iniziava un'accurata ricerca di tutta la documentazione grafica e fotografica esistente: dai più antichi disegni della fine del secolo scorso, a quelli redatti negli anni '50 dal Pesce, senza trascurare i dati forniti da alcune esplorazioni subacquee tutt'intorno al promontorio (McNAMARA, ST. WILKES 1967), le osservazioni condotte sulle fotografie aeree da Giulio Schmiedt (SCHMIEDT 1975) e, più di recente, il rilievo aerofotogrammetrico di una parte del centro urbano realizzato dalla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Cagliari, le planimetrie di alcuni edifici redatte dalla Soprintendenza Archeologica e una serie di disegni di cisterne e muri in prossimità dell'attuale linea di costa, eseguiti nell'ambito del progetto «Porti e Approdi», che si è avvalso dei finanziamenti della legge sui «Giacimenti culturali».

Al termine di questo preliminare lavoro di ricognizione è apparso con evidenza come non esistesse alcun rilievo d'insieme del promontorio, in cui il centro urbano di Nora fosse compreso per intero, per non parlare delle necropoli, dei resti dell'acquedotto, dell'anfiteatro e di tutto ciò che si trovava ai margini dell'abitato. Né d'altra parte, in mancanza di un quadro di riferimento certo, era possibile "comporre" i rilievi esistenti, che erano stati eseguiti in tempi diversi, con finalità, criteri e strumenti non omogenei.

Da qui la necessità di predisporre un nuovo strumento cartografico aggiornato, che tenesse conto di tutte le conoscenze acquisite e nel contempo servisse da base in futuro per ogni tipo di progetto, di ricerca, restauro e valorizzazione del parco archeologico. È a questo punto che si è inserita la preziosa collaborazione offerta dall'ENISUD, che ha messo a disposizione del gruppo di ricerca formato dalla Soprintendenza e dalle quattro Università

<sup>3</sup> I confini dell'isolato sottoposto a indagine sono costituiti a est dalla strada che corre sotto la pendice occidentale della collina di Tanit, a sud da quella che dal teatro e dal foro si dirige verso la rada di ponente, a ovest da quella che costeggia il lato occidentale del promontorio e a nord dall'attuale confine settentrionale del parco archeologico.

interessate fondi e soprattutto competenze, senza le quali il «progetto Nora» non sarebbe mai arrivato al punto in cui è oggi.

MARIA LETIZIA GUALANDI  
Università di Pisa

## 2. IL SISTEMA CARTOGRAFICO COMPUTERIZZATO

Il progetto, realizzato per conto di ENISUD da parte di TEMA (gruppo ENI), si è posto l'obiettivo di creare uno strumento operativo per lo studio, la tutela e la progettazione infrastrutturale del sito archeologico. A tale scopo è stato messo a punto un sistema cartografico composto di una base informativa relativa non soltanto ai resti archeologici ed all'apparato schedografico descrittivo, ma anche alla topografia moderna e alla morfologia del promontorio.

L'intervento si è articolato, a partire dall'autunno del 1992, in più fasi di lavoro – l'ultima non ancora completata – che possono essere così schematizzate:

- definizione della maglia topografica;
- rilevamento aereo della zona del Capo di Pula;
- restituzione aerofotogrammetrica;
- realizzazione del sistema cartografico numerico;
- implementazione degli archivi.

Punto di partenza è stata la predisposizione di una base cartografica che comprendesse tutta l'area occupata dalla città antica e dalle sue necropoli – corrispondente all'incirca al promontorio e alla lingua di sabbia che lo collega alla costa sarda – redatta ad una scala di rappresentazione idonea a leggere con chiarezza i dati topografici aggiornati. Considerate le esigenze di tutti i possibili utenti futuri (studiosi, funzionari della tutela, amministratori del territorio), si è optato per una scala 1:1000, in grado di consentire una lettura delle strutture archeologiche sufficientemente dettagliata – e quindi utilizzabile anche come base per l'integrazione, il controllo e l'aggancio sul terreno delle planimetrie archeologiche di dettaglio – e di offrire nel contempo una visione d'insieme dell'impianto urbano e delle necropoli di Nora.

La restituzione aerofotogrammetrica analitica dell'area archeologica si è avvalsa di una ripresa aerofotografica effettuata appositamente nel novembre del 1992 da una quota di circa 450 metri s.l.m., che ha consentito, attraverso l'uso di una camera grandangolare di focale pari a circa 150 mm, una scala dei fotogrammi di circa 1:3000 (Fig. 5), ottimale per la restituzione in scala 1:1000 che era stata preventivata. La copertura aerofotografica è stata ottenuta con due strisciate ortogonali, con sovrapposizione longitudinale dei fotogrammi compresa tra il 60 e il 70% (Fig. 6). I punti di appoggio necessari all'orientamento degli stereogrammi sono stati determinati attraverso una campagna topografica progettata per:



Fig. 5 – Nora, foto aerea della zona dell'abitato. In basso la punta «e su coloru».

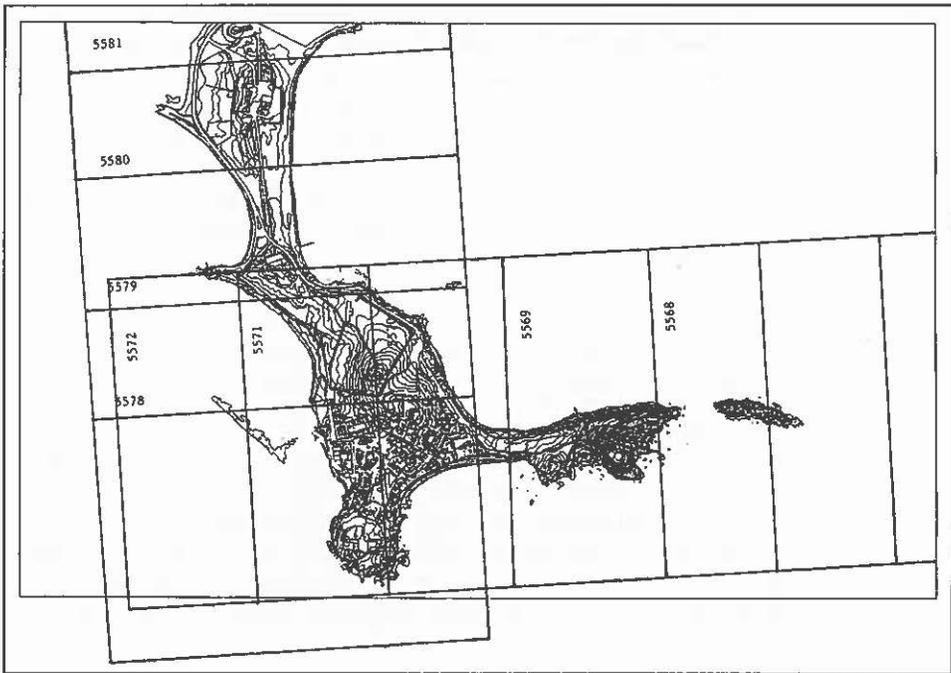


Fig. 6 – Nora, indicazione delle due strisciate ortogonali di foto aeree.

- determinare le coordinate plano-altimetriche dei vertici di una poligonale, legata alla rappresentazione conforme di Gauss-Boaga e riferita al sistema geodetico italiano attraverso l'aggancio a trigonometrici I.G.M.I. presenti nella zona;
- determinare successivamente le coordinate plano-altimetriche dei P.P.A.A.

La successiva restituzione è stata eseguita con strumento restitutore analitico<sup>4</sup> che permette di:

- assegnare ad ogni elemento acquisito uno specifico codice descrittivo per una gestione semplificata in ambiente CAD;
- archiviare il lavoro su supporto magnetico;
- poter effettuare anche in futuro tutte le modifiche ed integrazioni che si ritengano opportune.

Un'accurata ricognizione sul posto ha consentito inoltre di aggiungere tutti i particolari sfuggiti all'indagine stereoscopica - perché coperti, ad esempio, da vegetazione - prima che i dati fossero inseriti nei *files* di acquisizione attraverso *workstation* videografica, che ha garantito l'assoluta omogeneità del risultato finale.

In questa fase del lavoro, inoltre, non ci si è limitati alle normali operazioni per l'inquadramento topografico, ma si è ritenuto opportuno realizzare, in vista del procedere delle indagini archeologiche a Nora e dei futuri sviluppi del parco archeologico, una vera e propria rete topografica a terra, i cui capisaldi - costituiti da viti di acciaio inserite stabilmente negli affioramenti rocciosi, e pilottini in calcestruzzo realizzati all'interno dell'area archeologica in modo tale da non danneggiarne la stratigrafia - coprono l'intero promontorio. Questa maglia, indicata graficamente sia nel sistema cartografico che sulle mappe, costituisce la base per l'aggancio alla planimetria generale della città di qualsiasi rilievo di dettaglio, sia di quelli già esistenti che di quelli che saranno realizzati in futuro, e rappresenta quindi uno strumento di fondamentale importanza per la creazione di una vera e propria "carta archeologica" del promontorio di Nora.

Come si è accennato, la restituzione aerofotogrammetrica analitica ha prodotto una serie di *files* numerici (Tav. VI, a) che contengono dati tridimensionali: ogni elemento cartografato, pertanto, è noto nella sua posizione spaziale riferita al sistema di coordinate Gauss-Boaga e quotato rispetto al livello del mare. Questo tipo di rappresentazione offre molteplici spunti di ricerca e di utilizzazione operativa, poiché costituisce la base di partenza per sviluppare modelli tridimensionali del supporto geomorfologico e degli edifici soprastanti, permette di analizzare l'altimetria del promontorio, di leggere l'interazione tra piani di calpestio antichi e moderni e di conseguenza di progettare correttamente i futuri interventi infrastrutturali nel parco archeologico.

<sup>4</sup> Il lavoro è stato eseguito da Roberto Cozzolino, Roma.

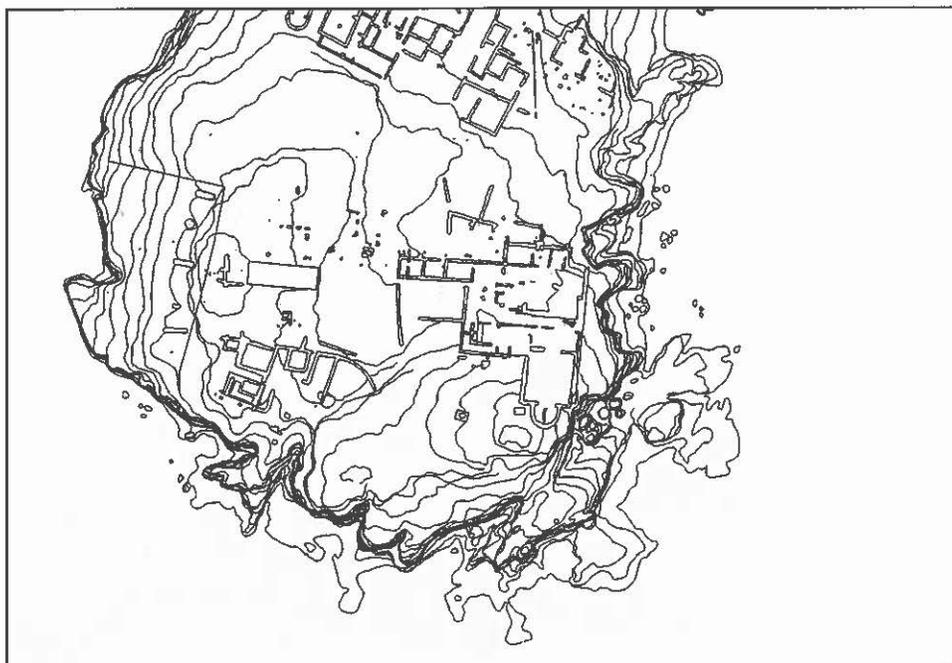


Fig. 7 – Nora, restituzione aereofotogrammetrica del promontorio. Particolare con la punta “e su coloru”.

Si è ritenuto opportuno non apportare alcuna modifica interpretativa alle geometrie rilevate dalla lettura aereofotografica, fatta eccezione, come si è detto, per le integrazioni relative alle zone non visibili per la presenza di vegetazione o coni d'ombra. Si è mantenuto cioè il maggior dettaglio possibile nella graficizzazione delle strutture murarie, i cui profili risultano infatti assai irregolari, ma assolutamente rispondenti allo stato di effettiva conservazione delle strutture al momento della ripresa fotografica (Fig. 7, Tav. VI, b). Tale scelta, operata nell'ottica di mantenere in futuro le informazioni su livelli diversificati a seconda della loro provenienza (aereofotografia, rilievi sul terreno, cartografie storiche, catasti ecc.) fa sì che la ripresa aereofotografica acquisti anche un valore storico, “fissando” la situazione del centro di Nora qual'era nel novembre 1992: il dato non è secondario, considerate le precarie condizioni degli edifici norensi, il cui degrado si misura a vista d'occhio anno dopo anno, mareggiata dopo mareggiata.

I dati desunti dalla lettura aereofotografica sono stati suddivisi inoltre in tre livelli distinti (Fig. 8), ma sovrapponibili, contenenti rispettivamente le informazioni sulla geomorfologia del sito, sulla topografia moderna e sui resti archeologici. La base orografica riporta il tracciato delle curve di livello, rilevate con un'equidistanza di 0,5 metri, ed una serie di punti dislocati in

### STRUTTURA DELL'ARCHIVIO GRAFICO

BASE TOPOGRAFICA

OROGRAFIA

ARCHEOLOGICO

RILIEVI DIRETTI

Fig. 8 – Struttura dell'archivio grafico.

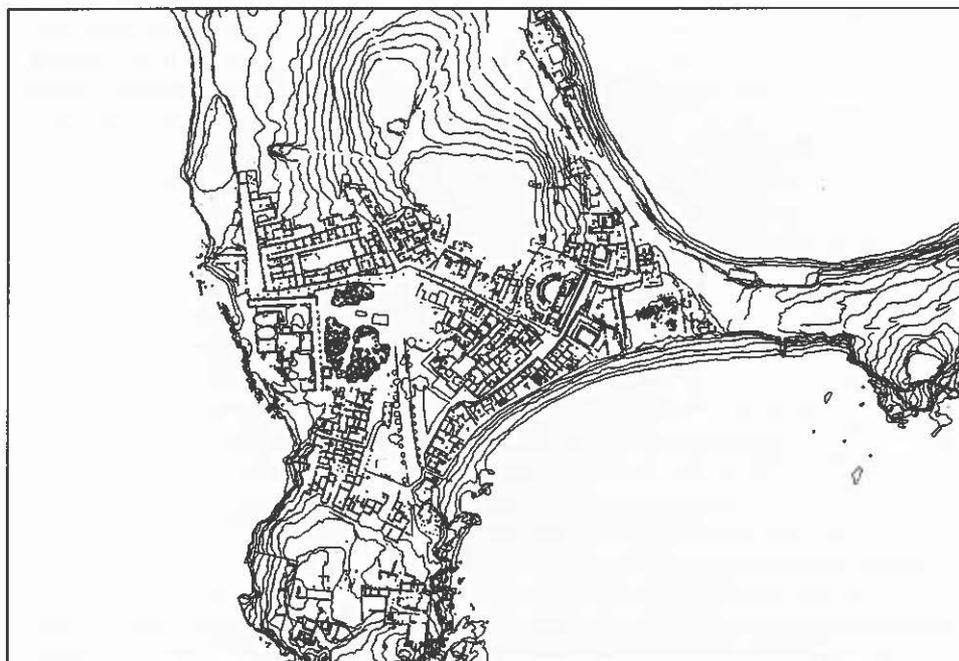


Fig. 9 – Nora, restituzione aerofotogrammetrica. Particolare del centro urbano, in cui compaiono tutti e tre i livelli di dati in cui è strutturato l'archivio.

tutta l'area cartografata, segnati sul terreno o sulle strutture murarie ogni qualvolta vi fossero modifiche altimetriche significative (Fig. 9).

I dati relativi alla topografia moderna, suddivisi per comodità in ulteriori sottolivelli, si riferiscono non solo agli edifici presenti, alla viabilità attuale e alla vegetazione, ma anche ai percorsi del parco, alle attrezzature stabili o provvisorie (recinzioni, panchine, pannelli illustrativi ecc.), ai punti luce e, in sintesi, a tutti gli elementi utili alla progettazione e alla gestione del comprensorio archeologico. Particolare risalto è stato dato inoltre alla graficizzazione dei caposaldi della rete topografica a terra, su cui si basa l'aggancio dei rilievi di dettaglio alla planimetria generale del promontorio.

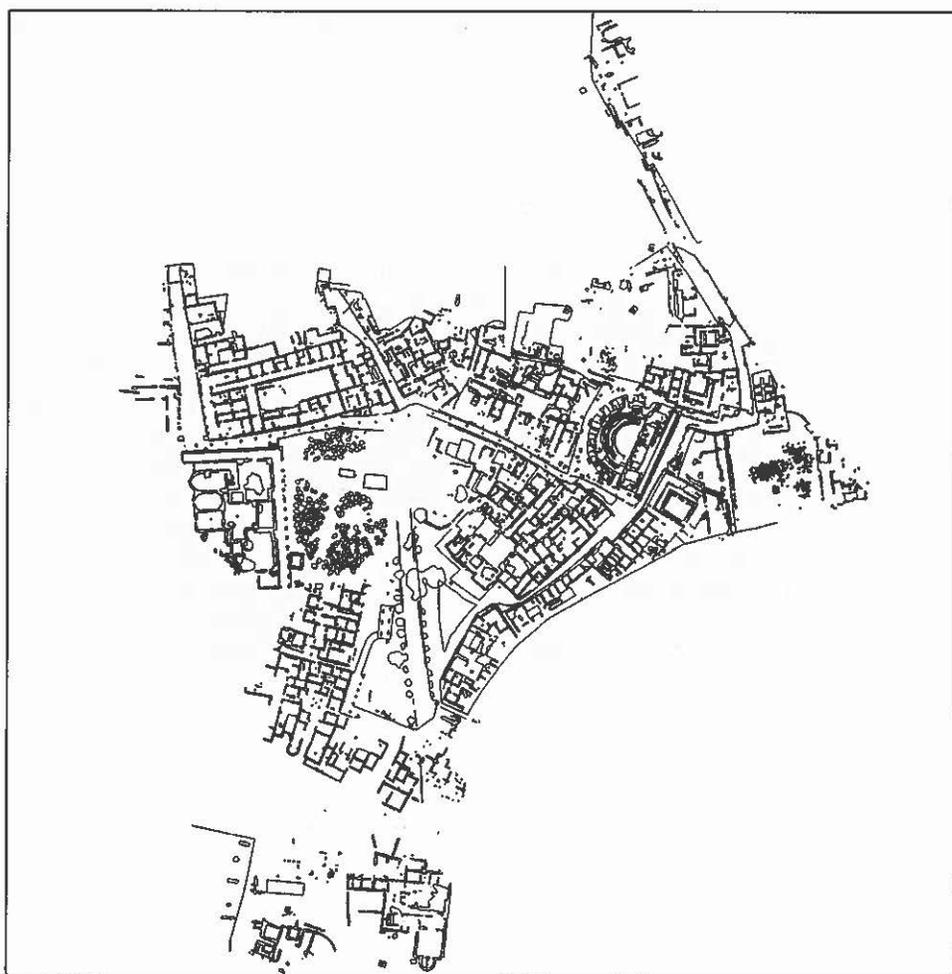


Fig. 10 -Nora, restituzione aerofotogrammetrica. Particolare del centro urbano, in cui compaiono solo i dati del livello archeologico.

Assai più complessa rispetto a quelle descritte è la struttura dei dati archeologici (Fig. 10), che è stata progettata nell'ottica di fornire, già in fase di restituzione, una prima sistematizzazione degli elementi cartografati secondo uno schema interpretativo di massima, in cui, ad esempio, le strutture murarie (divise per tipologie: elevati, fondazioni, pavimenti, soglie ecc.) appaiono distinte dalle infrastrutture (canalette, condutture, cisterne, viabilità ecc.) e ancora dagli elementi fuori posto (frammenti architettonici, lacerti murari ecc.) e dai restauri.

L'applicativo cartografico realizzato permette di intervenire in maniera

guidata su tutte le geometrie cartografate. Per quanto riguarda, in particolare, i dati archeologici, alla luce delle conoscenze già acquisite e delle future indagini sul terreno ogni elemento viene ridefinito come entità specifica, scomponendo o accorpando le linee tracciate nel corso della restituzione. Ogni entità viene quindi relazionata a *record* d'archivio, compilabili con facilità grazie ad una maschera attivabile dal menu dedicato. I campi contenuti nel *data base* collegato alla base cartografica consentono quindi di precisare tutte le caratteristiche degli oggetti grafici che non è possibile rendere graficamente (ad esempio la cronologia, la tecnica e i materiali edilizi impiegati ecc.).

La fase ulteriore del lavoro, tuttora in corso di elaborazione, riguarda la lettura puntuale e la verifica a terra di ogni singolo elemento cartografato, l'integrazione del sistema con ulteriori livelli informativi (relativi, ad esempio, alle principali fasce cronologiche individuate) e infine il controllo e l'aggiornamento di tutte le planimetrie archeologiche già esistenti: un lavoro, quest'ultimo, particolarmente lungo e difficoltoso, giacché i disegni esistenti sono stati realizzati, nel corso degli anni, spesso senza alcun riferimento topografico alle strutture circostanti e per lo più con strumenti inadeguati, considerate le dimensioni, spesso notevoli, delle strutture messe in pianta. In molti casi, inoltre, essi documentano uno stato di conservazione dei monumenti che può essere assai diverso da quello attuale, quando non si tratta addirittura di rilievi di strutture ormai scomparse. Soltanto al termine di questo lavoro, tuttavia, Nora potrà avere finalmente la sua prima vera e propria "carta archeologica".

MANUELA TASCIO  
TEMA, Roma  
GIORGIO PALA  
Roma

### 3. PROGETTI DI SVILUPPO DELLA CARTOGRAFIA DI NORA

La rappresentazione cartografica numerica della città, prodotta secondo il procedimento fin qui descritto, costituisce già, allo stadio attuale, un ideale strumento di riferimento plano-altimetrico per guidare gli interventi e gli studi sulla città antica. Lo sviluppo futuro del progetto intende però sfruttare ancor più a fondo le potenzialità insite nella gestione numerica della carta, tramite la trasformazione dello strumento disponibile in un completo sistema informativo, capace di gestire nei minimi dettagli la realtà architettonico-urbanistica di Nora, le sue problematiche di tutela e la fruibilità del

<sup>5</sup> L'impiego della cartografia numerica negli studi di urbanistica antica vanta ormai un decennio di esperienze. Molti contributi di riferimento generale sull'analisi spaziale al computer sono contenuti in ALLEN, GREEN, ZUBROW 1990 e ANDRESEN, MADSEN, SCOLLAR 1993. Alcune applicazioni realizzate in Italia su centri urbani antichi a continuità di vita

sito<sup>5</sup>. Questo potenziamento del sistema cartografico prevede, secondo un programma di avanzamento graduale per aree campione, l'associazione dei dati di posizione, che già caratterizzano gli elementi antropici dell'area archeologica, con dati a carattere informativo che descrivano e connotino le varie entità secondo le loro caratteristiche tipologiche, funzionali, cronologiche e di altra natura.

La creazione di questo archivio, che unisce georeferenziazione e qualificazione descrittiva delle emergenze, richiede una preliminare campagna di controlli a terra che integrino il rilievo fotogrammetrico con riporto in carta delle emergenze non rilevabili dalle strisciate aeree o con rettifica di quelle non correttamente rappresentate; inoltre la verifica autoptica delle emergenze porterà a un'indispensabile individuazione e ad una successiva distinzione di tutte le singole unità architettonico-edilizie significative, che risultano spesso accorpate in uniche macrounità strutturali nella restituzione attualmente in uso, ma che devono invece trovare una reciproca differenziazione netta sulla base di particolarità tipologico-edilizie e funzionali. L'ultima fase dell'intervento preliminare integrativo condurrà all'inserimento in carta dei rilievi a terra già eseguiti su alcuni monumenti, dei dati provenienti dalle campagne di scavo avviate nel 1990 e delle attività di prospezione geofisica con i relativi risultati in termini di dati previsionali<sup>6</sup>.

La scomposizione del complesso e non sincronico panorama urbano di Nora in minime porzioni omogenee distinte (fondazioni, muri, pavimenti, soglie, elementi divisori, sostegni, coperture, sistemi idraulici, viabilità, etc.) punta ad individuare ogni minima parte della città antica secondo una propria individualità grafica e logica, che potrà in un secondo momento tornare utile per analisi e sintesi basate sulla conoscenza di tutti i suoi aspetti, anche singolarmente considerati.

Dopo questa fase preliminare integrativa si può procedere infatti alla qualificazione di ciascun elemento, "isolato" dal punto di vista logico, ma legato al suo contesto topografico, tramite una serie di attributi descrittivi costituiti da lemmi codificati. Quest'operazione di qualificazione prevede l'uso di specifiche generali che definiscano di ciascun elemento il codice unico identificativo, l'ambito di appartenenza, lo stato di conservazione e la scala minima alla quale esso può venire visualizzato; altre specifiche di dettaglio individueranno invece le particolarità tipologiche e cronologiche dell'elemento (Fig. 11). L'inserimento di queste qualificazioni in altrettanti "campi codice" di una scheda già in parte integrata nel programma, e la possibilità di interrogazioni tramite selezione degli stessi codici costituiscono la fondamentale chia-

sono pubblicate in AZZENA, MATTARELLI 1987; SOMMELLA 1987; TASCIO 1987; MARCHIORI 1991; AZZENA 1992; BONETTO, BUSANA 1994; BONETTO, GIACOMETTI, ROSADA 1994; D'ANDRIA, SEMERARO 1995.

<sup>6</sup> Per esperienze di integrazione tra cartografia numerica e prospezioni geofisiche alcune interessanti esperienze sono presentate in CUCARZI 1995.

ATTRIBUTI CODIFICATI DEGLI ELEMENTI IN CARTA				
<b>SPECIFICHE GENERALI</b>				
<b>Identificativo</b> Codice numerico	<b>Ambito di appartenenza</b> Geomorfologia Moderno Antico	<b>Conservazione</b> Reale Incerto Ricostruito	<b>Scala di visualizzazione</b> («generalizzazione») maggiore di 1:500 minore di 1:1000	
<b>SPECIFICHE TIPOLOGICHE E CRONOLOGICHE</b>				
<b>Tipologia funzionale</b>	<b>Tipologia edilizia</b>	<b>Edificio di pertinenza</b>	<b>Tipologia funzionale</b>	<b>Cronologia</b>
Strada	Opera testacea	Foro	Abitazione	Fenicio
Cordolo stradale	Opera quadrata	Tempio «romano»	Spettacolo	Punico
Canaletta	Opera a telaio	Teatro	Produzione	Romano repubblicano
Adduzione idrica	Opera mista	Macellum	Culto	Romano imperiale
Smaltimento idrico	Opera incerta	Terme a mare	Amministrazione	Romano tardo imperiale
Raccolta idrica	Opera cementizia	Tenne centrali	Commercio	Tardo antico
Elem. divisorio	.....	Terme piccole	Utilità pubblica	.....
Fondazione/basamento	.....	Tempio di Esculapio	Necropoli	.....
Muro	Mosaico	Casa atrio tetrastilo	.....	.....
Pavimento	Signino	Basilica	.....	IV a.C.
Piano di frequentazione	Lastricato	Fontana	.....	III a.C.
Soglia	Cocciopesto	Edifici anonimi	.....	.....
Scalino	Battuto	Incerto	<b>Destinazione utilizzo</b>	.....
Sostegno verticale	.....	.....	<b>Edificio pubblico</b>	VI d.C.
Copertura	.....	.....	<b>Edificio privato</b>	VII d.C.
Materiale arch.				
Strutt. sommersa				
Sepoltura				
Curva direttrice				
Curva ordinaria				
Curva ausiliaria				
Punto quota				
Linea costa				
Rete topografica				
Edificio attrezzato				
Edificio servizio				
Vegetazione				
Percorsi				
Toponimo				
Infrastrutture				
Limiti scavi				
Recinzione				

Fig. 11 – Attributi codificati degli elementi in carta.

ve per evidenziare, con opportune distinzioni grafico-cromatiche sulla carta complessiva, qualsiasi aspetto della città, generico o specifico, che esigenze di ricerca, tutela o valorizzazione di volta in volta emergenti abbiano richiesto di individuare; solo per fare qualche esempio, si possono così porre in evidenza specifiche tipologie edilizie in riferimento ad una fase storica o a più momenti di vita urbana, i casi di impiego di una determinata tecnica edilizia, i complessi architettonici specifici o gruppi di edifici particolari, la distribuzione areale di complessi con determinate destinazioni d'uso, la dislocazione dei complessi privati e di quelli pubblici, fasi edilizie urbane singole o combinate tra loro per disporre di confronti diacronici, aspetti geomorfologici dell'area combinati a particolari aspetti antropici ed altre particolarità liberamente individuabili.

L'aspetto qualificante e di maggiore novità del sistema informativo del sito antico di Nora è rappresentato dalla possibilità di impiegare l'analicità

strumentale del calcolatore in un ambito in cui i dati architettonici e planimetrici antichi presentano un grado di conservazione decisamente elevato e sono inseriti in un complesso urbano noto praticamente nella sua interezza. L'impiego abituale dello strumento è stato invece finora prevalentemente indirizzato verso centri che, a causa delle sovrapposizioni insediative medievali e moderne, hanno forzatamente permesso di prendere in esame e studiare solo una percentuale nettamente ridotta dei componenti del quadro urbano antico<sup>7</sup>. Nora invece, come può avvenire per gli altri, poco numerosi, siti urbani abbandonati e conservati in buono stato, si presenta come un laboratorio di applicazione dell'analisi spaziale informatizzata decisamente privilegiato, dove ogni studio sulle realtà materiali e sull'organizzazione areale trovano ragione d'essere proprio nella completezza ed omogeneità del *record* di partenza. In questo senso un esempio emblematico è rappresentato dall'applicazione dell'informatica allo studio di Pompei, la cui completa leggibilità ha permesso l'avvio di interessanti ricerche sulle "funzioni urbane" e sulla distribuzione degli edifici di diversa natura nelle varie porzioni della città<sup>8</sup>.

L'attribuzione di un codice numerico univoco ad ogni entità strutturale o architettonica permetterà inoltre il suo collegamento a moduli esterni rappresentati da articolate banche dati, strutturate in schede di riferimento che amplino le informazioni degli schematici codici descrittivi attraverso campi numerici per informazioni quantitative, campi di testo, riferimenti bibliografici, piante, sezioni, prospetti; si prevede inoltre, in una fase più avanzata del progetto, la costituzione di una banca dati fotografica in cui inserire le immagini digitalizzate dei manufatti particolari (mosaici, reperti mobili, decorazioni parietali, foto aeree) che integrino la conoscenza descrittiva o grafica di parti della città attraverso un diretto riferimento visivo.

Per facilitare il trattamento dei dati e rendere più incisiva e produttiva l'analisi dei fenomeni architettonici e insediativi si prevede inoltre di predisporre una separazione di tutti gli elementi in distinti livelli logici tematici. La procedura, ampiamente diffusa in tutti i Sistemi Informativi Geografici, consente di selezionare liberamente i livelli da visualizzare o da escludere, come lucidi da disegno, al fine di produrre mirate e sempre rinnovabili combinazioni di dati planimetrici che evidenzino connessioni e interrelazioni tra fenomeni.

Per quanto riguarda gli aspetti grafico-planimetrici, se da un lato l'assoluta precisione raggiunta tramite la restituzione aerea la strada ad analisi planimetriche di dettaglio e a studi metrologici sugli edifici e sull'organizza-

<sup>7</sup> In questi casi il calcolatore ha svolto un'eccezionale funzione come mezzo di tutela previsionale o come mezzo di confronto tra fasi urbane sovrapposte, ma meno utile si è rivelato per le analisi architettoniche-edilizie dei resti conservati proprio a causa del loro isolamento e della sola parziale conservazione.

<sup>8</sup> In proposito si veda *Pompei. L'informatica a servizio di una città antica. Analisi delle funzioni urbane. Fotopiani e piante* 1988 e *Neapolis. Progetto sistema per la valorizzazione integrale delle risorse ambientali e artistiche dell'area vesuviana* 1994.

zione dello spazio urbano, la completa memorizzazione delle coordinate altimetriche di ogni punto permette l'avvio di progetti di ricostruzione tridimensionale dell'edificato sulla base di moduli già predisposti nel programma di gestione. La possibilità di selezionare separatamente i soli tematismi relativi alla geomorfologia dell'area dà inoltre l'opportunità di produrre significative piante quotate, carte delle isoipse attuali e del livello geologico, modelli tridimensionali del terreno, sezioni del promontorio o ipotesi sulle variazioni della linea di costa; attraverso questi quadri geomorfologici risulta facilitata l'analisi delle relazioni e dei possibili condizionamenti del pur modesto, ma articolato andamento altimetrico del sito, con i livelli di frequentazione dell'abitato nelle sue varie fasi e nelle sue varie parti e con le scelte tecniche e locazionali dei complessi e delle funzioni urbane.

In prospettiva futura la carta, corredata dal supporto informativo integrato, può mirare a divenire, con ovvie semplificazioni, mezzo progettuale della gestione di salvaguardia del sito per la competente Soprintendenza Archeologica di Cagliari e Oristano, e contemporaneamente sistema di divulgazione in ambiti museali, tramite la realizzazione di prodotti multimediali che proponcano percorsi topografici virtuali all'interno della città antica.

La conversione della cartografia del sito antico in formato numerico ha inoltre reso possibile una condivisione globale dello strumento – operazione improponibile con supporti cartacei – tra le cinque sedi istituzionali coinvolte nel progetto (Università di Genova, Padova, Pisa, Viterbo e Soprintendenza di Cagliari e Oristano), alle quali è auspicabile che possa aggiungersi al più presto il Comune di Pula, nel cui territorio si trova Nora; la possibilità di riproduzioni immediate dei *files*, senza perdita o alterazione di precisione, e di trasferimento degli stessi *files* attraverso le reti telematiche ha infatti concretizzato l'auspicata diffusione delle piante e degli aggiornamenti in tempo reale a soggetti distanti per sede operativa e spesso per esigenze di lavoro, con evidenti benefici per la ricerca.

Attualmente la cartografia è gestibile in ambiente grafico MICROSTATION (DOS e Windows) con stazioni *hardware* di comune diffusione (configurazione minima: proc. 486, Ram 16 MB), ma sono in fase di positiva sperimentazione procedure di trasferimento dei dati al fine di renderli leggibili anche da altri *software* grafici, dotati di un'interfaccia utente drasticamente semplificata e di una diffusione ampia su piattaforme diverse (Macintosh e Windows). A fronte di una parziale perdita di funzionalità operative specialistiche, questo passaggio mira a svincolare lo strumento da un'utenza specializzata, ma necessariamente limitata, per trasformarlo in prezioso e comune mezzo informativo fruibile dalla più ampia gamma possibile di ricercatori e di figure professionali ad esso interessate.

JACOPO BONETTO  
Università di Padova

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN K.M.S., GREEN W., ZUBROW E.B.W. (edd.), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, London-New York-Philadelphia, Taylor and Francis.
- ANDRESEN J., MADSEN T., SCOLLAR I. (edd.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Aarhus, Aarhus University Press.
- AZZENA G., MATTARELLI P. 1987, *Appendice*, in *Atri. Forma e Urbanistica*, Roma, Erma di Bretschneider, 107-108.
- AZZENA G. 1992, *Tecnologie cartografiche avanzate applicate alla topografia antica*, in *Archeologia del paesaggio, IV ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano 1991)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 747-765.
- BONETTO J., BUSANA M.S. 1994, *L'applicazione della cartografia numerica come strumento di studio e di conservazione del patrimonio storico e archeologico delle città e del territorio*, in *La ciudad en el mundo romano, Actas del XIV Congreso Internacional de Arqueologia Clasica (Tarragona, 5-11/9/1993)*, II, Tarragona, 69-71.
- BONETTO J., GIACOMETTI G., ROSADA G. 1994, *Esperienze di cartografia numerica applicata ai centri storici*, in F. BOCCHI, P. DENLEY (edd.), *Storia & Multimedia. Atti del Settimo Congresso Internazionale "Association for History & Computing"*, Bologna 1994, Grafis Edizioni.
- CUCARZI M. 1995, *Sistemi informativi territoriali e prospezioni archeologiche: una convergenza necessaria*, «Archeologia e Calcolatori», 6, 61-73.
- D'ANDRIA F., SEMERARO G. 1995, *Un sistema integrato per la cartografia e i dati di scavo*, «Archeologia e Calcolatori», 6, 159-180.
- MARCHIORI A. 1991, *Carta archeologica di Padova: la realizzazione del prototipo S.I.T.A.R.*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 7, 223-226.
- MCMANARA E., ST. WILKES W.G. 1967, *Underwater exploration of the ancient Port of Nora, Sardinia*, «Papers of the British School at Rome», 35, 4-11.
- Neapolis. Progetto sistema per la valorizzazione integrale delle risorse ambientali e artistiche dell'area vesuviana*, Roma 1994, Erma di Bretschneider.
- PATRONI G. 1901, *Nora. Scavi eseguiti nel perimetro di quella antica città e in una delle sue necropoli durante i mesi di maggio e giugno 1901*, «Notizie degli Scavi», 365-381.
- PATRONI G. 1902, *Nora. Scavi eseguiti durante il mese di luglio 1901*, «Notizie degli Scavi», 71-82.
- PATRONI G. 1904, *Nora. Colonia fenicia in Sardegna*, «Monumenti Antichi dei Lincei», 14, 109-268.
- PESCE G. 1972, *Nora. Guida agli scavi*, II edizione, Cagliari.
- Pompei. L'informatica a servizio di una città antica. Analisi delle funzioni urbane. Fotopiani e piante*, 2 voll., Roma 1988, Erma di Bretschneider.
- SCHMIEDT G. 1975, *Antichi porti d'Italia. Gli scali fenicio-punici e i porti della Magna Grecia*, Firenze, 11-14.
- SOMMELLA P. 1987, *Cartografia archeologica computerizzata*, in F. D'ANDRIA (ed.), *Informatica e archeologia classica. Atti del convegno internazionale (Lecce 12-13 maggio 1986)*, Galatina (Lecce), 17-30.
- TASCIO M. 1987, *Appendice 3*, in *Todi. Forma e Urbanistica*, Roma, Erma di Bretschneider, 125-127.
- TRONCHETTI C. 1986, *Nora*, Sassari, Delfino Editore.
- VIVANET F. 1891, *Nora. Scavi nella necropoli dell'antica Nora nel comune di Pula*, «Notizie degli Scavi», 299-302.

ABSTRACT

The recommencing of methodical archaeology excavation on the site of Nora, first Phoenician then Punic and Roman town, situated on the southern coast of Sardinia at about 30 Km west of Cagliari, made it necessary setting up a cartographic system extended to all the hill on which the settlement stood (actually the settlement had never been completely mapped).

This system had to be useful both to the recovery of the surveys that already exist – in fact they are not so many – and to continuous updating with data resulting from new excavations. With these premises, a computerized cartographic system has been arranged, which consisted of a basic information regarding not only the archaeological remains and the scheduled descriptive apparatus, but also the modern topography and the morphology of the hill.

The aim was disposing of an operative system that could be practical for studying but also for safeguarding the archaeological site and allowing an infrastructural planning of it. The intervention has been worked out in several phases: 1. planning of the cartographical base; 2. aerial survey of the zone; 3. aerophotogrammetric zone; 4. carrying out of the numerical cartographic system; 5. layout of the archives.

The aerophotogrammetric return produced numerical files containing 3D data of every mapped point; therefore starting from this data it is possible to create 3D models whose utility is realized not only in the research but find expression in a correct planning of future infrastructural intervention on the archaeological park.

## UNBIASING THE ARCHAEOLOGICAL RECORD

### 1. INTRODUCTION

Regional GIS projects have been a "promising" archaeological activity since the technology became available in Europe in the late '80s. However, it appears that this promise is not being delivered on, and from the literature (see, for instance, ALLEN *et al.* 1990; LOCK, STANČIČ 1995) a worrying picture emerges in which GIS for archaeological management purposes has acquired a certain foothold but in which its research potential is limited.

What is causing this? There are obvious technological limitations to the capability of today's GIS to handle archaeological data satisfactorily. I need only mention the issues of 3D (spatial) and 4D (spatio-temporal) GIS, the problems of dealing with 'fuzzy' data and 'fuzzy' logic, etc. But in this paper I will argue that a much more fundamental problem to the application of GIS technology in archaeology is the low quality of the data that are available to us. I will illustrate this thesis, and outline some of the strategies adopted to try and deal with the problem, using current research within the Wroxeter Hinterland Project.

### 2. THE WROXETER HINTERLAND PROJECT

The Wroxeter Hinterland Project is a three year regional research project, based at the University of Birmingham Field Archaeology Unit, that aims to reconstruct the landscape and settlement history of a 38 by 31 km area in south Shropshire, centred on *Viroconium Cornoviorum*, the capital of the Romano-British *Cornovii* tribe (see also R. WHITE, this volume). Largely unoccupied since the early Middle Ages, this town and its surrounding hinterland present us with one of the best-preserved archaeological landscapes in which to study urban-rural dynamics from the Later pre-Roman Iron Age (LPRIA) to the sub-Roman period (*circa* 100 BC – *circa* 600 AD) in Britain. The project's ultimate goal is to test and refine current thinking about the processes of Romanisation in Britain (see, for instance, MILLETT 1990). GIS is used to store and analyse existing and newly collected archaeological and geographic data sets, to manage the project's extensive field work programme, and to build and test models of social and economic processes within the study area (for an introduction to the project, see GAFFNEY, VAN LEUSEN 1996).

The project is a typical regional GIS study in that it has started out in the autumn of 1994 to acquire a comprehensive set of 'base maps' for the area. These consist of both archaeological records and environmental maps. Among the archaeological databases acquired were those held by bodies rang-

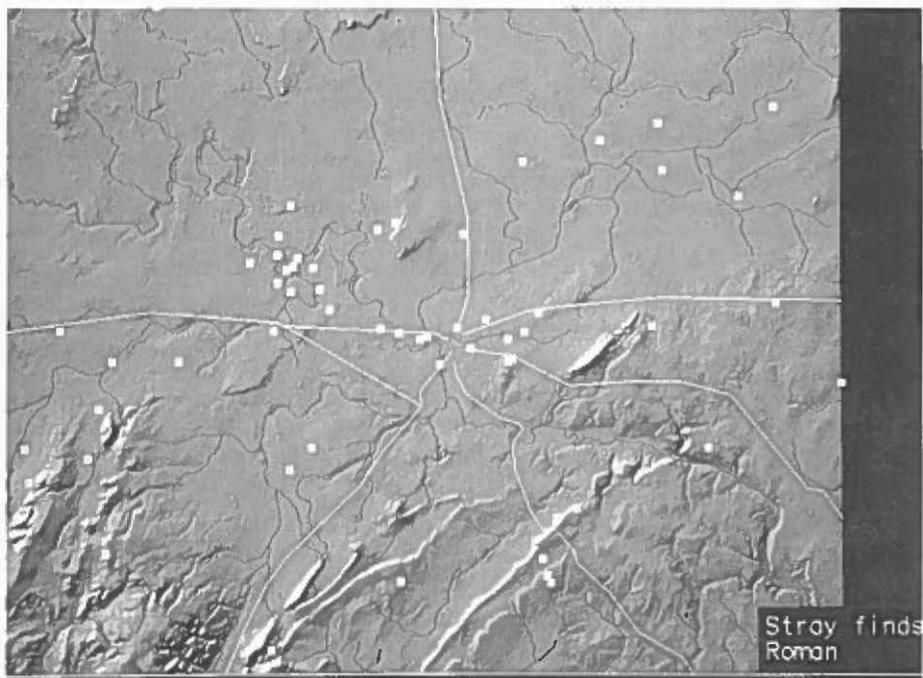


Fig. 1 – Distribution of 'stray finds' from the Roman period (source: Shropshire Sites & Monuments Records) against a background of the presumed contemporary infrastructure – roads and rivers.

ing from the Royal Commission for the Historic Monuments of England to Shropshire County Council, the National Trust, and other research projects operating in the same area. Among the environmental data acquired were maps that could be digitised from published map sheets (e.g., streams, land use, drift geology) or unpublished manuscripts (soils), and maps that were bought in digital form (DTM, Landsat TM). From these, we expect to derive yet other maps using well-known GIS techniques (e.g., local relief, slope).

At this stage of the project it was possible to produce some 'pretty pictures' (Tav. VII, a, showing the locations of archaeological site records against the background of the DTM). Preliminary selections and combinations of the base data were made and some simple spatial analysis was performed (Fig. 1, for instance, shows the distribution of stray finds from the Roman period against a background of the presumed contemporary infrastructure). We could then have gone wild and started modelling, say, the distribution of bronze age barrows in terms of the distance to the nearest watershed, amount of exposition and underlying geology. Fortunately, the project design had anticipated this and directed our research toward more fruitful, if less immediately rewarding, problems.

### 3. GARBAGE IN, GARBAGE OUT

One of the unexpected benefits of the use of GIS in archaeological research has been the increased visibility of gaps, biases, errors and uncertainties in the base data. Although all of this has been known for decades to archaeologists who have used maps in their work, the formalisation of map analysis caused by the advent of GIS technology has brought a new awareness of just how unreliable our current font of knowledge about past (or even present) landscapes really is. And if our current records of past human behaviour are so scanty and biased by differential preservation, visibility and reporting of finds, by the vagaries of staffing, funding and research interests, how can we trust that they reflect the past landscape in any sense (MILLS 1985)? How can we trust the archaeological models – either ‘theoretical’ or GIS-derived – that, in one way or another, are founded upon it?

Many authors have encountered this problem in one guise or another. CHARTRAND and MILLER (1994), for instance, highlight their difficulties in dealing with inconsistent and disparate archaeological databases in the York Environs Project. In my own work modelling Linear Bandkeramic settlement in the southern Netherlands, I found that the strongest correlation between these early Neolithic sites and ‘environmental’ base maps was a highly significant  $\chi^2$  of 13.6 – with built-up areas in the *modern* land use map (VAN LEUSEN 1993)! More examples can easily be found elsewhere in this volume. They all go to show the shakiness of what we like to think of as our ‘knowledge’ of past spatial behaviour, which in effect rarely goes much beyond conjecture. When one thinks of all the depositional and post-depositional processes, the accidents of visibility, reporting, and research which are filtering our vision of the past, this can hardly be surprising.

### 4. UNBIASING THE ARCHAEOLOGICAL RECORD

So, archaeological records, even if they are diligently collected and carefully screened, are too heavily biased to be used directly for GIS modelling of past spatial behaviour. The models we build would probably bear little relation to past reality. An important area of research within the Wroxeter Hinterland Project is therefore to develop strategies to ‘unbias’ the base data. In this paper I will detail two of the many ways in which the Project team tries to do this. The first of these is what I call *bias modelling*, the second is the more traditional collection and use of control samples through field work.

### 5. BIAS MODELLING

Many authors have identified factors that tend to bias the archaeological record. Examples are geological erosion and deposition (ALLEN 1991),

land use and land cover (VAN LEUSEN 1993), and coverage and technique of archaeological surveying. By mapping such 'bias factors' and modelling their effects on both pre-existing archaeological records and the project team's newly collected data we can correct for the bias.

Taking land use in our study area as an example, we decided to map both the current (1992) land use by classifying a Landsat TM image of the area, and the land use before the industrialisation of agriculture (mapped in the 1930s by the Ordnance Survey). On the latter, we see (Tav. VII, b) that the existing recorded archaeological sites have a marked 'preference' for arable land. If we break the records down into groups of similar sites, this preference appears to be largely caused by a subset of enclosures and field systems that were identified from air photographs, a technique which is known to introduce a strong bias in favour of arable land – either freshly ploughed or under mature grain crop. Rather than interpreting the patterning we have discovered in our data as a reflection of the *original* distribution of this type of site, we would suspect it to be caused perhaps by especially disruptive agricultural practices in these areas, or by a heightened soil and crop response which makes certain archaeological features show up better in air photographs. Either way, recent and modern land use is heavily implicated in the formation of the pattern.

Having identified land use as a factor contributing bias to our recorded site distributions, it is now possible to use GIS to, firstly, quantify that bias and, secondly, compensate for it. Various ideas and GIS techniques for doing this have been proposed (VAN LEUSEN 1996, in press); they are generally referred to as *weighting* or *evaluation schemes*. Quantifying the bias in a distribution of archaeological sites could be done by directly assigning weights or values to each of the land use categories on the basis of its presumed effect on the visibility of sites. For example, high weights (i.e. low visibility) are assigned to built-up and forested areas and water bodies, intermediate weights to heath and grassland, and low weights (high visibility) to arable land. Weights or values could also be derived automatically by assuming that the known distribution of archaeological sites directly reflects differential visibility – in this case, one could, for instance, use the  $\chi^2$  or P values for random distribution of sites as the weight. It is important to remember, however, that these are just the extremes of a whole range of possible methods for creating a map quantifying a particular bias.

In the next step, the bias map is combined with the original site distribution to produce an unbiased map. This is most easily done if archaeological sites are represented as a density distribution, i.e. a continuous raster surface. The Project team will be developing methods to do this in early 1996. It should therefore be stressed that the examples presented here are for purposes of illustration only.

## 6. FIELD WORK

Traditionally, archaeologists have dealt with bad or missing data by collecting their own data *de novo*, using survey and excavation designs that are calculated to either "fill the gaps" in the existing archaeological record or to provide independent control samples from the same underlying population, and taking care that the areas covered and the numbers of artefacts collected are sufficiently large to allow statistical inferences to be made. The Wroxeter Hinterland Project, in addition to implementing the bias models described above, also collects such independent data, using systematic field walking and airborne remote sensing techniques.

A three year programme of extensive surface collection, carried out during the autumn and spring seasons and using our 200-strong local volunteer force, provides the Project with detailed information about artefact densities in a number of carefully selected areas. These areas, which will eventually total some 20 km<sup>2</sup>, are spread about along a Y-shaped field work transect which cuts across the main geological structure of the study area and follows the important Severn river valley out from Wroxeter (Tav. VIII, a). The total area of the transect itself is 225 km<sup>2</sup>, or some 18% of the study area. Positioning the transect in this manner allows us to not only look for variations that are distance dependent with respect to Wroxeter itself, but also to separate that effect from variations due to the nature of the drift geology and soils.

Finds from this survey, when plotted as point on a map, already give some idea of the intensity and distribution of background land utilisation, but by further processing these distribution data into continuous raster maps of the fieldwalked areas (Tav. VIII, b), and eventually – by interpolation – of the whole of the transect arms, the Project will have a full set of background find density maps for all periods under study at its disposal. By comparing the pre-existing archaeological records in detail to this fresh dataset, we can trace both qualitative and quantitative biases. An example of the former is the existence of unenclosed settlements in the study area, which are not picked up from air photography, but which do produce assemblages of surface finds that will be picked up during field surveys. An example of the latter is the preferential reporting of Roman pottery over less attractive Iron Age and Medieval pottery, which skews existing records whereas controlled field walking does not.

## 7. FUTURE WORK

Although not the subject of the present paper, base 'environmental' data sets suffer from problems very similar to those discussed above. They reflect recent rather than past environmental characteristics; map printing requirements limit the type and amount of information represented, etcet-

era. The Wroxeter Hinterland Project team will be studying ways to improve the representation of such data in digital form, ways of quantifying their inherent biases and uncertainties, and ways of using them for the making and testing of archaeological predictions.

In addition to surface-collected data, the Wroxeter Hinterland Project uses various air photographic and remotely sensed data sets collected via the Natural Environment Research Council's airborne remote sensing platform. Multiband Thematic Mapper images and colour stereophotographs, sampling about 20 percent of the transect area, are currently being acquired to study the presence of biases in the existing air photographic records. After pre-processing of these GPS controlled data we expect to begin studying them in the autumn of 1996.

The problem of bias in base data is one that not only the Wroxeter Hinterland Project has had to deal with. Increased processing speed and power, and increasingly sophisticated GIS software, are drawing many archaeologists into the study and management of extended archaeological 'landscapes', and it is to be hoped that eventually robust methods of unbiasing base data will be developed.

MARTIJN VAN LEUSEN  
Field Archaeology Unit  
University of Birmingham

#### BIBLIOGRAPHY

- ALLEN K.M.S. *et al.* (eds.) 1990, *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, London, Taylor & Francis.
- ALLEN M.J. 1991, *Analysing the landscape: a geographical approach to archaeological problems*, in A.J. SCHOFIELD (ed.), *Interpreting Artefact Scatters: contributions to ploughzone archaeology*, Oxbow Monograph 4, 39-58.
- LOCK G., STANČIČ Z. (eds.) 1995, *Archaeology and Geographic Information Systems*, London, Taylor & Francis.
- CHARTRAND J., MILLER P. 1994, *Concordance in rural and urban database structure: the York experience*, «Archeologia e Calcolatori», 5, 203-217.
- GAFFNEY V., VAN LEUSEN P.M. 1996, *Extending GIS Methods for Regional Archaeology: the Wroxeter Hinterland Project*, in H. KAMERMANS *et al.* (eds.), *Computer Applications in Archaeology 1995*, *Analecta Praehistorica Leidensia* 28, Leiden, Leiden University Press, (in press).
- MILLETT M. 1990, *The Romanisation of Britain*, Cambridge, Cambridge University Press.
- MILLS N. 1985, *Sample Bias, Regional Analysis and Fieldwalking in British Archaeology*, in C. HASELGROVE *et al.* (eds.), *Archaeology from the Ploughsoil: studies in the collection and interpretation of field survey data*, Sheffield, J.R. Collis, 39-50.
- Ordnance Survey of England and Wales, n.d. (approx. 1938), *Land Utilisation Survey of Britain*, map sheets 60: Shrewsbury and Welshpool, 61: Wolverhampton, and 70: Bishop's Castle.
- VAN LEUSEN P.M. 1993, *Cartographic Modelling in a Cell-based GIS*, in J. ANDRESEN *et al.* (eds.), *Computing the Past: Proceedings of the 1992 Computer Applications in*

*Archaeology Conference, Aarhus, Aarhus University Press, 105-124.*

VAN LEUSEN P.M. 1996, *CRM and Academia in the Netherlands: Assessing Current Approaches to Locational Modelling in Archaeology*, in H. MASCHNER (ed.), *New Methods, Old Problems: Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research*, Carbondale, Center for Archaeological Investigations (in press).

ABSTRACT

The Wroxeter Hinterland Project is a three-year regional research project employing GIS technology in the planning, management, research and publication of a study of the Iron Age and Roman landscape around the Roman city of *Viroconium* (Wroxeter) in Shropshire. The use of GIS technology in projects such as this has again highlighted the problems associated with scientific interpretation of the known archaeological record, built up mainly over the past century. In particular, the capability of GIS to recognise, extract, and extrapolate patterns in multivariate map data has meant that archaeologists must now resist the temptation to interpret such patterns as anything more than relatively recently introduced biases of site preservation and visibility. This paper explores ways in which GIS can be used to discover, and correct, such biases.



## BUILDING AN URBAN IMAGE

### 1. INTRODUCTION: THE NEED FOR A GEOPHYSICAL SURVEY OF WROXETER

One of the frustrations of urban archaeology is the inability to view enough of a town's remains to understand the overall layout and nature of its buildings. Often, all that is available provides no more than a key-hole into the construction and plan of the buildings making up the urban form. The interpretation of much urban archaeology can be aided considerably through the application of newly-developed scientific techniques and by the study of those few towns whose historic circumstances have led to their abandonment. The archaeological attractions of such sites are obvious since many are single period and thus provide a clearer understanding of the planning and typical buildings of the period in question.

For Roman Britain, there are three major towns whose near-total abandonment after the early middle ages has meant that they are available for such detailed study. Of these three towns, *Verulamium* (St Albans) and *Calleva* (Silchester) have been extensively excavated, the latter more completely than the former. The third, *Viroconium* (Wroxeter, in Shropshire), is less well understood and presents many opportunities for testing new techniques of archaeological prospecting and reconstruction. A three-year Leverhulme Trust-funded project led by Vince Gaffney and based at Birmingham University is keen to exploit these opportunities.

*Viroconium* was the fourth largest town by area in Roman Britain, the defences enclosing 78 ha. The southern end of the site is obscured by the modern village which in the mid-19th century consisted of thirty or more cottages covering approximately ten percent of the town's area. Isolated buildings within the town's defences mean that another five percent or so of the town is unavailable for study. Of the remaining eighty five percent of the intramural area, probably only ten percent has been excavated. These excavations have concentrated almost exclusively on the public buildings of the town: the forum and public baths on either side of the main street. Town houses have only been examined on three occasions: in 1912-14 by J.P. BUSHE-FOX (1913, 1914, 1916), in 1953-4 by K. KENYON (1980), and in 1968-9 by A.W.J. HOUGHTON (1969). The last two excavations listed here were limited in scope and scale, precluding the discovery of all but the most obvious structures. Only Bushe-Fox's excavations were on a large scale and provided detailed information about a range of town houses, although one suspects that evidence of the latest periods may not have been recognised. Thus about three-quarters of the town has never been examined archaeologically.

Despite this, the impression given by plans of *Viroconium* is that very

little remains to be discovered. A recent English Heritage reconstruction by Ivan Lapper shows a Roman 'New Town', similar to its modern neighbour Telford, with isolated town houses set in extensive greenery, the centre dominated by the massive public buildings which have been the subject of so much recent study. The painting draws on the only reliable information currently available: a plan compiled from a set of vertical photographs of quite extraordinary clarity taken by the Cambridge University Committee for Aerial Photography (CUCAP) during 1975 (ST. JOSEPH 1977; WILSON 1984). These have been supplemented by the (mostly oblique) photographs taken by Dr Arnold Baker and Jim Pickering.

The plan shows isolated and often substantial houses scattered over much of the town's interior, although smaller-scale and more densely-packed areas are shown towards the centre where the picture is supplemented by the excavated record. That the plan is by no means complete is shown by comparing the drawings of the northern part of the town by David Wilson with the version of the same area published by Philip Barker (WILSON 1984; BARKER 1985; Figs. 1a, 1b). One might also point out that of over 70 structures identified on the baths basilica site during Barker's excavations (BARKER *et al.* in press) only one, the baths basilica itself, was known beforehand and only two (including the basilica) were built of stone. The rest of the buildings were constructed from organic materials and would thus be difficult to detect in air photographs. If this preponderance of timber buildings is in any way typical of the occupation at Wroxeter, then only the most sensitive techniques of archaeological prospection and excavation will detect them.

Even with the present rather basic level of knowledge, assumptions concerning the density of population and its cultural development have been made, based almost entirely on the town plan, itself constructed practically exclusively from aerial photography (MILLETT 1990, WEBSTER 1991). The limitations of using a single form of evidence to reconstruct the density of occupation on the site are obvious and need not be developed further here. There is a need to improve substantially the quantity and quality of the evidence. Given that the greater part of the site is under the ownership and protection of the state through the agency of English Heritage, Wroxeter presents an ideal opportunity to pioneer techniques for the recovery of the urban form through geophysical prospecting on a sufficiently large scale.

The co-ordination of the work is being carried out by the Wroxeter Hinterland Project (WHP), the aim of which is to assess the impact that the imposition of the town had on the Iron Age landscape, a landscape that does not appear to have progressed towards urbanisation before the arrival of the Romans in the mid-1st century AD (BUTEUX *et al.* 1993). The importance of reconstructing the type and density of settlement in the town throughout the Roman period is of obvious concern to the project since this is certain to have determined the impact that the town had on its surroundings:

«we cannot divide the city from the countryside, or the countryside from the city. They are both part of the Roman conceptual landscape» (LAURENCE 1994, 139).

## 2. THE AIMS OF THE GEOPHYSICAL SURVEY

Given that excavation of 78 ha of urban form is neither feasible nor desirable at the present time, the only practical method of recovery must be through geophysical work. The aims of such geophysical survey would be to determine the relative density of settlement both horizontally, across the town, and vertically to determine changes in the relative density of settlement, and also to detect any pre-Roman or pre-urban archaeology which might survive beneath the town. Given that the town's foundation lies in a legionary fortress of the period between Nero and Domitian, there is also an interest in determining both the impact of this fortress on the ultimate urban form, and in identifying areas of associated civilian settlement which might well have formed the nucleus of the later *civitas capital*.

A reconstruction of the overall horizontal density of settlement for a given period will enable some estimation of the town's population (although it is evident that such a figure can only be gross). The greater the town's population, then the greater would have been its impact on the surrounding landscape in terms of its requirements for raw materials both for consumption and production.

It has been an important aim of the geophysical campaign at Wroxeter to use as many techniques as possible to examine the site. This is for two principal reasons. First, it is to be hoped that the use of many techniques will generate a picture as complete as possible, and that this picture will be all the fuller through the various technologies which, we hope, will cross-fertilise and inform each other so that the sum of the final image is greater than the constituent parts. Second, through the promotion of Wroxeter as a geophysical test-bed, we hope to pioneer the use of new techniques of geophysical prospecting and the testing of new geophysical hard- and soft-wares.

The need for such a test-bed is apparent to anyone working in the field since the unpredictability of geophysical results is notorious. For example, Prof. Paul Young of the Applied Seismology and Rock Physics Laboratory, University of Keele, has suggested that a continuous monitoring of the resistance on the site should be established for one year to investigate any electrical variations that may occur over a period. This could have wider implications in that it might indicate which times during the year might be more productive for resistivity work, thus leading to more accurate results both at Wroxeter and elsewhere.

### 3. METHODOLOGY

Whilst the project has been co-ordinated through the WHP, most of the work has been carried out by a number of other organisations. Magnetometry throughout the town has been carried out by the Ancient Monuments Laboratory (AML) and Geophysical Surveys of Bradford (GSB) with smaller supplementary areas being surveyed by teams from the University of Liverpool. All teams have been using Fluxgate gradiometers at 0.25 m intervals. During the 1995 season, up to 40 ha of the town was surveyed using magnetometry, a considerable amount of the area available (Fig. 2).

The University of Keele has carried out work that is more experimental on smaller areas using proton magnetometers. We hope in the future to use a caesium magnetometer since this is a more sensitive instrument in detecting traces of timber buildings. Resistivity was carried out by Centre National des Recherches Scientifiques (CNRS) at Garchey under the direction of Albert Hesse, using a multi-probe, automated, continuous-reading resistivity meter (Fig. 3). This has revolutionised the speed of survey allowing over 1 ha to be covered in day. By contrast, conventional resistivity survey using an RM15 and RM4 covered only 40 square metres in the same time. Both GSB and Keele have also carried out depth profiling using resistivity along selected transects to examine particular buildings detected in other surveys. A Ground Penetrating Radar (GPR) survey carried out by the National Cultural Properties Research Institute (NARA) led by Prof. Yasushi Nishimura and Dean Goodman of the University of Miami (Japan) produced the largest continuous area ever surveyed using this technique, nearly 3 ha, as well as profiles carried out across specific points on the site to evaluate known deep features such as the town's defences (Fig. 4).

This survey was supplemented later in the season by a smaller investigation by the University of Keele using a shorter wavelength. Finally, further survey was carried out by University of Keele using two types of conductivity meter to produce both area survey and profile data, and GSB carried out selected seismic survey over specific buildings located through the magnetometry work. The last element in the surface survey will be a full earthworks assessment which will be carried out on selected areas of the town, such as the defences, by the Royal Commission of Historic Monuments (England) led by Mark Corney.

To supplement the surface survey technologies, there is also a programme of aerial survey. This will use both conventional oblique aerial photography based on the superb collection of images taken by Dr Arnold Baker between the 1950s and 1980s which supply many otherwise unrecorded details of the known stone buildings of Wroxeter, and on the colour vertical stereoscopic images taken by the National Environmental Research Council (NERC). The same organisation is also responsible for the second arm of the aerial survey

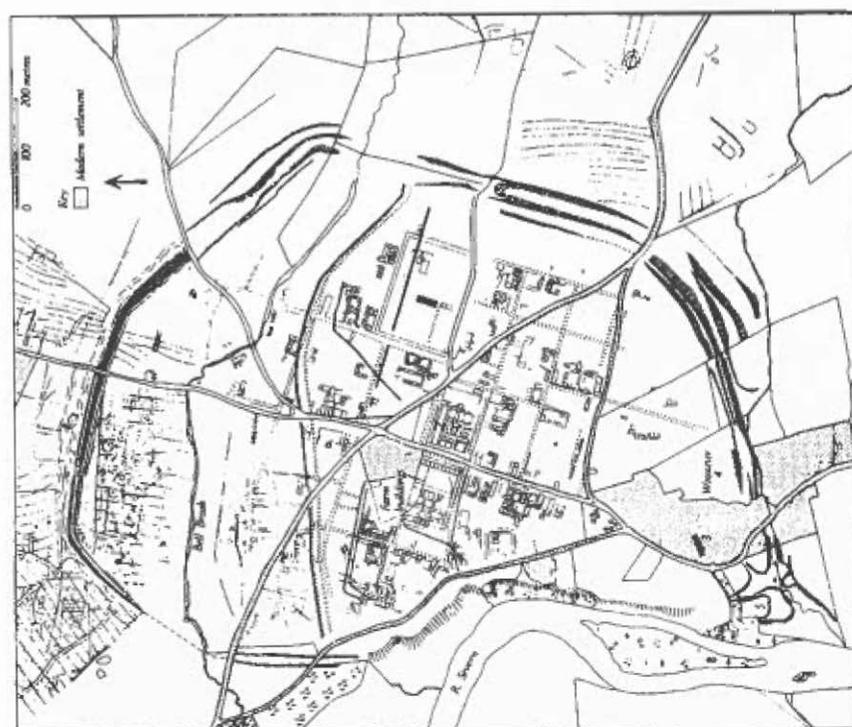
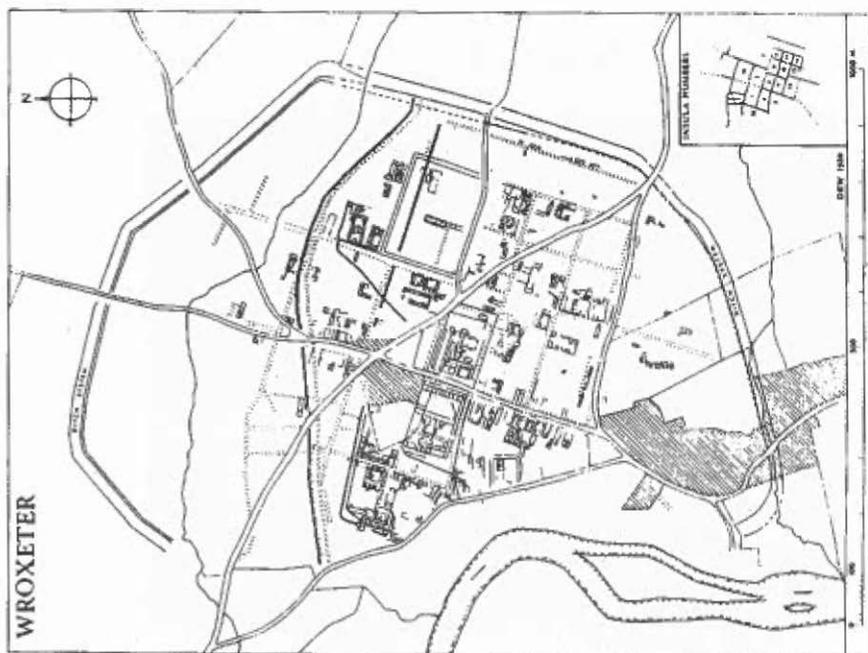


Fig. 1a - Plan of Wroxeter (after WILSON 1984).  
 Fig. 1b - Plan of Wroxeter (after BARKER 1985).

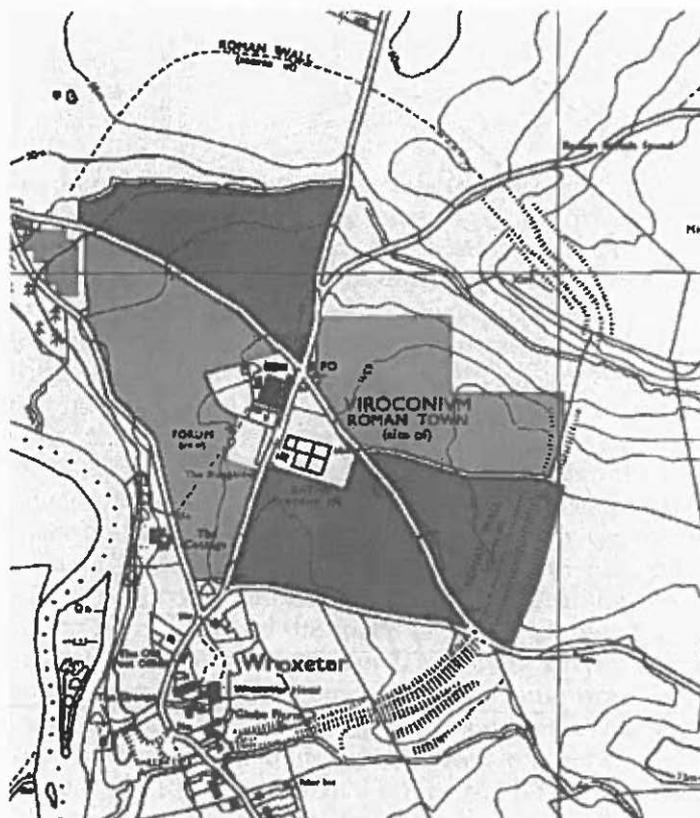


Fig. 2 – Extent of magnetometer survey by the end of 1995.



Fig. 3 – Albert Hesse using CNRS automated resistivity meter.

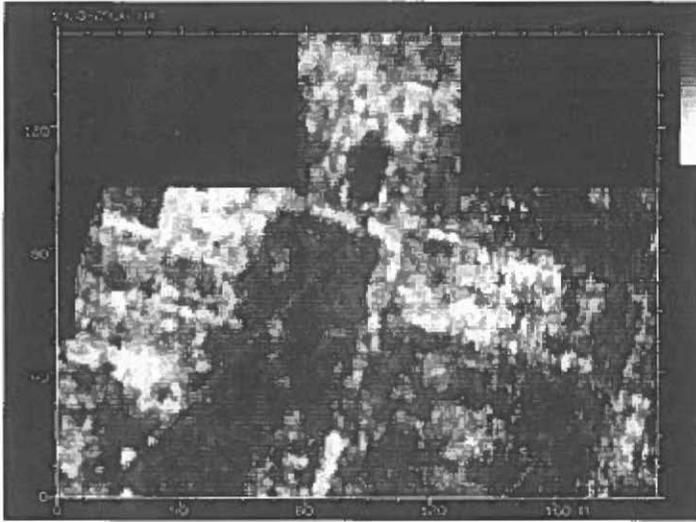


Fig. 4 – Ground Penetrating Radar time-slices through *insula* 10.

which comprises Airborne Thematic Mapping on 11 wavebands, and Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI) on 77 bands for greater detail. The raw detail of the improved map of the town will still be based on the series of nine photographs taken by CUCAP in 1975. These have been scanned into the project's GIS system operated by the information technologist on the Leverhulme project, Martijn van Leusen, enabling their manipulation at any scale and level of detail.

They can also be superimposed on the digital terrain model to provide a keener understanding of the local effects of microtopography. Their detail will be further improved by the use of enhancing techniques including directional and Fourier filters which clean and define the buildings by increasing the contrast between the light and dark areas appearing on the photographs, enabling internal features such as partition walls and hypocausts to be identified (Fig. 5). Such enhancements will be of particular value for determining some of the stratigraphic details of the more complex structures. To this base map will be added the detail from the various geophysical surveys which are also being collated and prepared by Martijn van Leusen.

#### 4. PROBLEMS

Inevitably with such a complex combination of technologies, there have been a number of problems with the survey carried out this year. Not least of these was the weather which, as ever in Britain, played a full role through creating drought conditions. While this meant that some survey re-

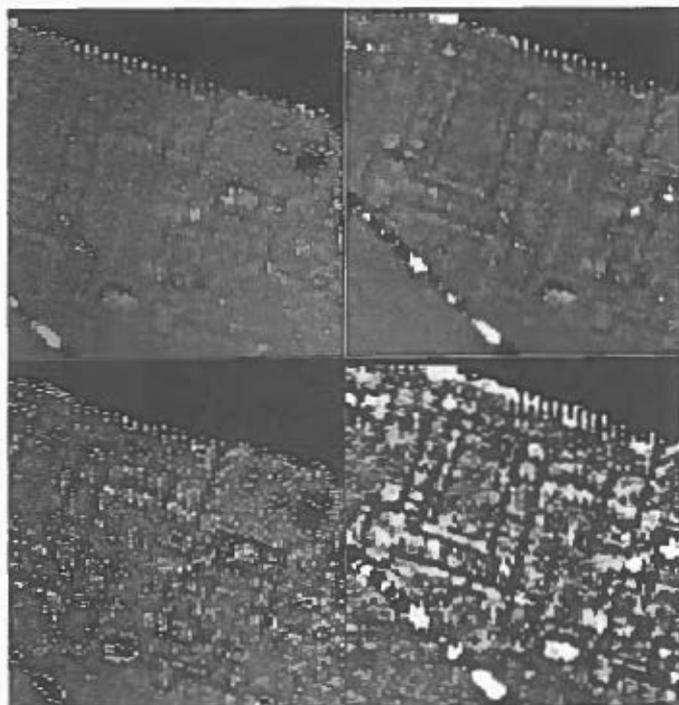


Fig. 5 – Detail of Fig. 6 showing results of computer enhancements of data.

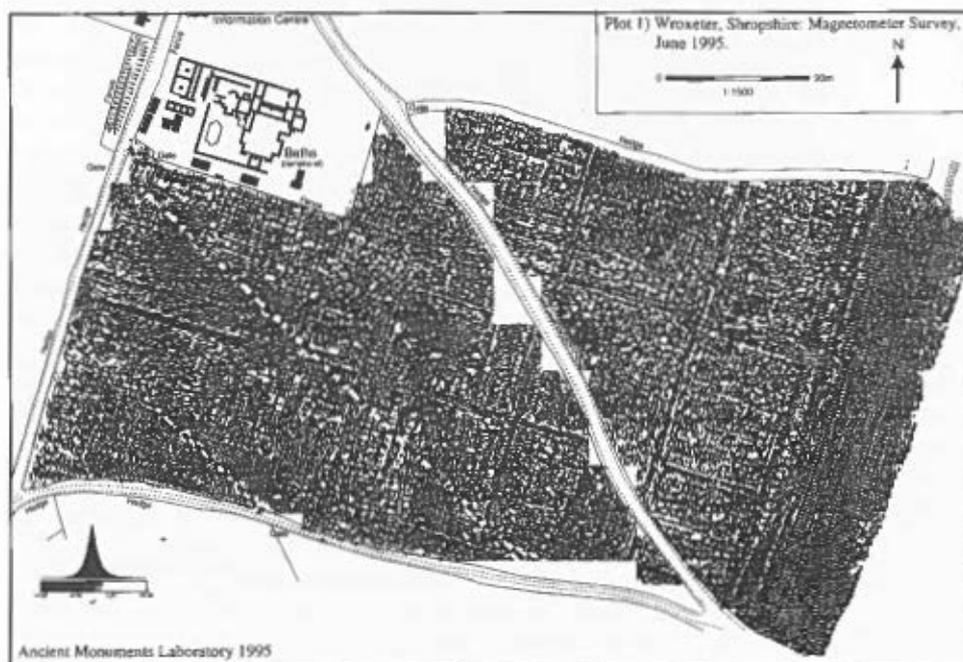


Fig. 6 – Magnetometer survey of *insulae* south of the baths by Ancient Monuments Laboratory.

sults improved (e.g. GPR) others were near useless (seismics and conventional resistivity). Indeed, only the timely intervention of a 12-hour thunderstorm allowed the automated resistivity survey to take place at all! The fact that the survey is programmed to continue throughout the year means that such problems should be kept to an absolute minimum, and should optimise the overall results of the various technologies.

There were also a number of technical problems with the equipment. Given the scale and intensity of work this was inevitable but will have to be taken into account in the future. Another potential problem with such a survey might be the problem of replication of results. Since there were a number of different groups working at different times, there was a great danger that the grid systems used by each survey would not exactly co-ordinate with the overall site grid. It was thus crucial to establish an adequately geo-referenced site grid to allow the easy repetition of survey and localised laying out of the grid. This was achieved by the laying out of 17 individual permanently anchored survey stations by Dr Glyn Barrett of University College London who geo-referenced each station to an accuracy of 3 mm using GPS. This should satisfy any future archaeological and site management requirements.

## 5. RESULTS

The results of this, the first season of geophysical work on Wroxeter, have been spectacularly successful, not just in the discoveries, but also in the proving of new technologies. The magnetometry results in particular were of extraordinarily high quality with three new *insulae* added on the east side of the town and an extremely dense level of occupation identified (Fig. 6).

The GSB survey of *insulae* 2 and 3 showed reversal of the normal magnetic signal of the buildings which may indicate that parts of the town were destroyed by fire (as had already been detected by excavation in the forum) and that some of the buildings in this area had been rebuilt. The automated resistivity readings were also of exceptional quality and definition: the smooth operation of the equipment shows strong promise for the future. The GPR data was also consistently good despite technical difficulties and the time-slicing is showing promise as an effective tool in understanding the earlier phases of the town's development. As yet, it is too early to assess fully the results of the other techniques, but all involved in the project are certain that significant advances have been and will continue to be made.

## 6. PUBLICATION

The survey of Wroxeter is still in its early stages and the publication plans are by no means finalised yet but it is likely that the results will be

published as an atlas of plans covering either individual fields or *insulae* rather than as a single map. Accompanying the plans will be a detailed commentary and interpretation. We also aim to make the results of the geophysical surveys available on the World Wide Web so that they may be easily accessed by other researchers.

## 7. THE FUTURE

Clearly, there is great potential at Wroxeter for recovering a considerable amount of new information relating to the site, and for elucidating much of its history and development. A primary aim after the completion of the project will be to test key areas of the town to check the quality and veracity of the data collected by the geophysical survey and this will form part of a larger programme of continuing research into the town of *Viroconium Cornoviorum*.

ROGER WHITE  
Field Archaeology Unit  
University of Birmingham

## BIBLIOGRAPHY

- BARKER P.A. 1985, *Aspects of the topography of Wroxeter (Viroconium Cornoviorum)*, in F. GREW, B. HOBLEY (eds.), *Roman Urban Topography in Britain and the Western Empire*, Council British Archaeol. Res. Rep. 59, 109-117.
- BARKER P.A., WHITE R.H., PRETTY K.B., BIRD H., CORBISHLEY M.J. 1996, *Wroxeter, Shropshire. Excavations on the Site of the Baths Basilica, 1966-1990*, English Heritage Monograph, London.
- BUSHE-FOX J.P. 1913, *Excavations on the site of the Roman town at Wroxeter, Shropshire, 1913*, Rep. Research Ctte Soc. Antiq. London 1, Oxford, Oxford University Press.
- BUSHE-FOX J.P. 1914, *Second report on the excavations on the site of the Roman town at Wroxeter, Shropshire, 1913*, Rep. Research. Ctte Soc. Antiq. London 2, Oxford, Oxford University Press.
- BUSHE-FOX J.P. 1916, *Third report on the excavations on the site of the Roman town at Wroxeter, Shropshire, 1914*, Rep. Research. Ctte Soc. Antiq. London 4, Oxford, Oxford University Press.
- BUTEUX S., GAFFNEY V.L., WHITE R.H. 1993, *Wroxeter and its Hinterland: A Draft Research Design*, University of Birmingham.
- HOUGHTON A.W.J. 1969, *Excavations at Viroconium*, «Shropshire News Letter», 36, 22-4.
- KENYON K.M. 1980, *Excavations at Viroconium in Insula 9, 1952-3*, «Trans Shropshire Archaeol. Soc.», 60, (1975/6), 5-73.
- LAURENCE R. 1994, *Roman Pompeii, Space and Society*, London, Routledge.
- MILLETT M. 1990, *The Romanization of Britain*, Cambridge, Cambridge University Press.
- St. JOSEPH J.K. 1977, *Air Reconnaissance in Roman Britain, 1973-76*, «Jnl Roman Studies», 67, 125-61.
- WEBSTER G. 1991, *The Cornovii* (2nd edn), Gloucester, Alan Sutton.
- WILSON D.R. 1984, *The plan of Viroconium Cornoviorum*, «Antiquity», 58, 117-120.

ABSTRACT

Abandoned towns have long been recognised as one of the most important resources for understanding the development and decline of the urban environment. In Britain, the number of opportunities for studies into abandoned Roman towns is limited as most have continued in use until the present day. The *Wroxeter Hinterland Project* is currently engaged in research on the best-preserved deserted Roman town in Britain: *Viroconium Cornoviorum*, in Shropshire – modern Wroxeter. The approach has been to use a broad range of geophysical prospecting methods to elucidate the nature and density of occupation on the site. Standard geophysical techniques such as magnetometry and resistivity have been extensively deployed alongside the newer technologies of Ground-penetrating radar, multi-probe, continuous-reading automated resistivity, seismology and conductivity. Airborne survey is adding another dimension through multi-spectral scanning and conventional aerial photography, while sub-surface surveys are being hatched up with ground-truthing data collected through conventional survey methods. The results are being processed on the Project's GIS database and will provide as full an insight into the nature of occupation at Wroxeter as is possible without further extensive excavation. It is intended that the results will be published in an atlas and will also be accessible via the World-Wide-Web.



## TRATTAMENTO INFORMATICO DEI DATI RELATIVI ALLE TRASFORMAZIONI DI AREE CENTURIATE DELL'ITALIA CENTRALE: IL CASO DI URBS SALVIA

### 1. PREMESSA

Gli studi condotti negli ultimi anni sui territori centuriati nel mondo romano hanno spesso privilegiato l'analisi metrologica, potenziata mediante la messa a punto di particolari metodi di ricerca come il filtraggio ottico e l'analisi spettrale (COMPATANGELO 1989, 1994). Non a caso alcuni recenti tentativi di storicizzare interventi di pianificazione territoriale sono stati basati sulle differenziazioni modulari dei catasti (CHOUQUER, CLAVEL LÉVÊQUE, FAVORY, VALLAT 1987).

Questo tipo di impostazione, pur con i suoi limiti (GABBA 1989; MOSCATELLI 1990; QUILICI 1994), ha contribuito a migliorare l'approccio tecnico al paesaggio centuriato, coerentemente con le indicazioni che il *Corpus Agrimensorum* ci fornisce circa la varietà di moduli impiegati. Esso però non ha rivolto la stessa attenzione ai modi in cui i catasti antichi si trasformarono dopo il loro primo impianto, con particolare riferimento ai cambiamenti verificatisi dopo l'età classica.

Le ricostruzioni dei tessuti centuriali poggiano non sulle morfologie agrarie originali, ma su quegli oggetti del nostro paesaggio che da esse si presume derivino. Pertanto è evidente che gli studi sulla centuriazione non possono prescindere da un inquadramento storico di lunga durata che prenda coscienza dei molteplici fattori che hanno indotto modificazioni nei quadri rurali. I catasti insomma vanno studiati anche in termini di storia del paesaggio (SERENI 1976).

È solo così che in mezzo all'enorme massa di segni sedimentati nel territorio si può arrivare a distinguere ciò che è effettivamente riconducibile ad una pianificazione agraria in centurie (MOSCATELLI, VETTORAZZI 1988). Tale procedimento inoltre può essere determinante in quei contesti in cui risulta difficoltoso recuperare l'esatta morfologia del catasto romano per la presenza di elementi combinabili secondo moduli ed orientamenti differenziati. Va infine tenuto presente che i recenti sviluppi delle ricerche sulla tradizione manoscritta altomedievale relativa alle opere di agrimensura (TONEATTO 1992, 1994) devono indurre a valutare con maggiore attenzione alcune forme di organizzazione dello spazio rurale.

Sulla base di tali presupposti presso l'Istituto di Archeologia dell'Università di Macerata è stato elaborato un progetto di ricerca finalizzato allo studio di aree centuriate dell'Italia centrale e della loro trasformazione nel tempo. La scelta delle zone è ovviamente legata alla disponibilità di documentazione d'archivio, tanto edita quanto inedita.

Attualmente sono in esame le divisioni agrarie individuate, per le Marche, lungo la valle del Fiastra nel territorio di *Urbs Salvia* e, per l'Abruzzo, lungo la valle del torrente Vibrata e lungo la bassa valle del Sangro nel territorio di *Anxanum*. Proprio a Lanciano, nel quadro di una convenzione stipulata con la Soprintendenza Archeologica dell'Abruzzo, si è appena conclusa la seconda campagna di ricognizioni topografiche. I dati che stanno emergendo, di notevole interesse per la ricostruzione del popolamento d'età romana ed altomedievale, consentono stimolanti confronti con le indicazioni desumibili dalla documentazione d'età medievale.

## 2. L'INFORMATIZZAZIONE DEI DATI

L'impostazione sopra descritta richiede la raccolta di una notevole quantità di dati che vanno necessariamente graficizzati tutte le volte che ciò risulta possibile. Il miglior modo per ottimizzarne il trattamento è quello di organizzarli all'interno di un sistema di gestione di cartografia numerica collegato a databases contenenti le schede informative su siti archeologici, dati d'archivio, toponomastica, dati paleobotanici e via dicendo (*infra*).

Per l'attuazione del progetto si è quindi previsto, per ogni area indagata, la realizzazione di una carta computerizzata. Il prodotto finale, almeno per quanto concerne il territorio marchigiano, dovrebbe presto collegarsi con un più ampio progetto di carta archeologica regionale coordinato dalla locale Soprintendenza Archeologica con il concorso delle Università di Macerata, Urbino e Bologna.

Al momento della scelta del software ci si è indirizzati verso due pacchetti commerciali: la release 13 di Autocad per la parte grafica e Paradox 5.0 per Windows per la gestione delle basi di dati. I drivers forniti dalla Autodesk consentono la lettura delle tabelle di Paradox dall'interno di Autocad. Per ragioni di spazio ometterò di entrare nei dettagli relativi alla strutturazione dei databases. Per quanto attiene invece alla parte grafica, vale la pena di soffermarsi brevemente sulla strutturazione dei livelli tematici.

Un primo gruppo di layers è dedicato alla base cartografica; questa varia a seconda delle disponibilità locali. Per il territorio di *Anxanum*, ad esempio, si stanno utilizzando un rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:10000 appositamente redatto per il Comune di Lanciano e le carte aerofotogrammetriche in scala 1:5000 del Consorzio di Bonifica Frentano. Idrografia, orografia, rete stradale, limiti di coltura, tessuto edilizio rurale e urbano, toponomastica sono inseriti su piani distinti.

Le informazioni mancanti, ma necessarie per una approfondita lettura del tessuto rurale attuale, vengono ricavate dalle ortofotocarte regionali e dai rilievi topografici particellari. Oltre ai piani che illustrano la distribuzione dei siti archeologici e a quelli che contengono le informazioni sul reticolo centuriale (schema teorico e persistenze effettive), specifici layers sono previsti per i dati

ricavabili dalla documentazione d'archivio di vario genere, come sequenze confinarie, toponomastica, distribuzione delle colture e del manto vegetale.

Ovviamente ognuno di questi livelli comprende sottolivelli cronologicamente differenziati. Ulteriori dati sugli aspetti morfologici e paleobotanici del territorio possono essere ricavati da studi specialistici; a tale scopo si sta cercando di raggiungere un'intesa con il Dipartimento di Scienze della terra di Camerino per la definizione di un piano di intervento mirato.

Un'ultima nota sugli aspetti tecnici del progetto: il supporto hardware è costituito da attrezzature in possesso dell'Istituto di Archeologia di Macerata. Si tratta di un digitizer formato A0 collegato ad un personal dotato di una scheda 486 DX4 100 Mhz, 16 Mb RAM, 256 Cache, SVGA 16M colori e un HD da 1.6 Giga.

### 3. IL CATASTO ROMANO DI *URBS SALVIA*

Della ricerca sul catasto di *Urbisaglia* mi limito ad esporre in questo contributo un breve resoconto sulle nuove acquisizioni circa la morfologia del reticolo centuriale e sugli elementi di continuità nelle sequenze confinarie dei secc. XI-XII.

La scelta di includere *Urbs Salvia* nel progetto dipende da una concomitanza di requisiti ottimali. Oltre al fatto che da alcuni anni sono in corso estese ricognizioni topografiche, si può disporre qui del ricchissimo fondo di oltre 3000 pergamene dell'abbazia cistercense di S. Maria di Chiaravalle di Fiastra la cui fondazione, avvenuta nel cuore dell'agro centuriato, si fa risalire al 1142 (ma cfr. CHIAVARI 1991, 122-141).

L'edizione integrale di tale fondo è in via di ultimazione (BATELLI 1974; DE LUCA 1990): è attualmente utilizzabile il vecchio volume dell'Ovidi, che contiene solo una raccolta parziale di carte datate tra XI e XII secolo (OVIDI 1908). Per le epoche successive, inoltre, esiste un supporto documentario di tutto rilievo costituito da una serie di catasti tra XVII e XVIII secolo e da un cabreo del 1722 contenente le piante delle tenute in possesso del Collegio Romano della Compagnia di Gesù.

Il primo contributo scientifico sulle divisioni agrarie di *Urbs Salvia*, documentate dai *Libri Coloniarum*, fu dato da Lucia Vettorazzi (MOSCATELLI, VETTORAZZI 1988; VETTORAZZI 1990), che ritenne di individuare persistenze riferibili a due diversi catasti sovrapposti e di identico orientamento ma basati su moduli diversi (20x20 e 16x16 *actus*). La ricerca della Vettorazzi fu condotta utilizzando come base cartografica le tavolette I.G.M. al 25000, e come supporto le ortofocarte regionali in scala 1:10000, le mappe catastali vigenti e quelle del Catasto Gregoriano. La verifica degli impianti condotta con l'aiuto di Autocad ha portato però ad una sostanziale revisione. Il software ha infatti evidenziato, nei punti di sovrapposizione tra schemi teorici e persistenze effettive, alcuni sfalsamenti non leggibili nella cartografia I.G.M.

Un più recente contributo di Christiane Delplace (DELPLACE 1993) mi sembra difficilmente condivisibile. Gli schemi in esso ipotizzati (quattro distinti reticoli con moduli ed orientamenti diversi) si appoggiano ad elementi troppo frammentari e probabilmente riconducibili a situazioni più tarde.

A differenza delle precedenti, la nuova ricostruzione prevede un unico catasto costituito da quadrati di 15 *actus* di lato basati su un piede di m 0.298 (Fig. 1). Esso risulta perfettamente coerente con la conformazione orografica del terreno, con particolare riguardo al settore in corrispondenza e ad est dell'abbazia di Chiaravalle dove sopravvivono le persistenze più convincenti.

Nell'area interessata dalla pianificazione agraria la valle del Fiastra presenta una morfologia piuttosto uniforme (Fig. 2): una serie di dorsali collinari si allunga da OSO a ENE con andamento parallelo alla valle del Chienti, che corre più a nord. Le variazioni di assetto interne al sistema collinare sono messe in evidenza, ad est e ad ovest, dall'adattamento alle principali linee di pendenza dei limiti di coltura riferibili alle sistemazioni agrarie successive all'età romana (Fig. 3).

All'interno del catasto, ben otto monumenti funerari risultano disposti o in corrispondenza dei *limites* principali o delle divisioni intermedie sull'intervallo di 7.5 *actus*. Questo stretto rapporto costituisce la logica premessa ai fenomeni di continuità riscontrabili nelle sequenze confinarie d'età medievale (*infra*).

L'attuale proposta di ricostruzione riconferma lo scavalcamento del fiume Chienti a nord e, contestualmente, l'estensione dell'*ager urbisalviensis* in quella direzione. Il layer delle persistenze (Fig. 4) mostra un gruppo di tre assi consecutivi perfettamente incardinati con il sistema a sud. Proprio a sud, nella zona centrale, si collocano i resti più convincenti, come efficacemente rivelato, nell'immagine di dettaglio, dalla sovrapposizione dei layers relativi allo schema teorico, alle persistenze, ai limiti di coltura e al sistema stradale (Fig. 5).

Per ciò che concerne la posizione dei monumenti funerari è necessario precisare che due soli di essi (m 3-m 11) presentano lo stesso orientamento delle centurie; tutti gli altri si adattano all'orografia o al tracciato della Salaria. I monumenti m 4-m 5, ad esempio, sono disposti parallelamente al percorso di quest'ultima, qui riconfermato dalla SS. 78 (Fig. 6). Ad essi si addossò la chiesetta quattrocentesca della Maestà: forse si può ipotizzare una relazione con un culto compitale, poiché uno degli incroci principali del catasto cade a pochi metri di distanza. Si noti che la diagonale condotta da questo punto verso le non lontane mura di *Urbs Salvia* (Fig. 7) ne infila perfettamente la porta NE; l'angolo, diagonalmente opposto a quello della Maestà, di una ipotetica centuria tracciata verso Sud cadrebbe dentro le mura, nell'area del criptoportico.

Il limite su cui si attestano m 4 ed m 5 (il primo da sud del sistema) raggiunge più ad ovest il monumento m 2, mentre la linea mediana dell'ultima fila di centurie ad ovest passa sul monumento m 3. Lungo la medesima divisione si allineano alcuni piccoli insediamenti rustici. In prossimità del



Fig. 1

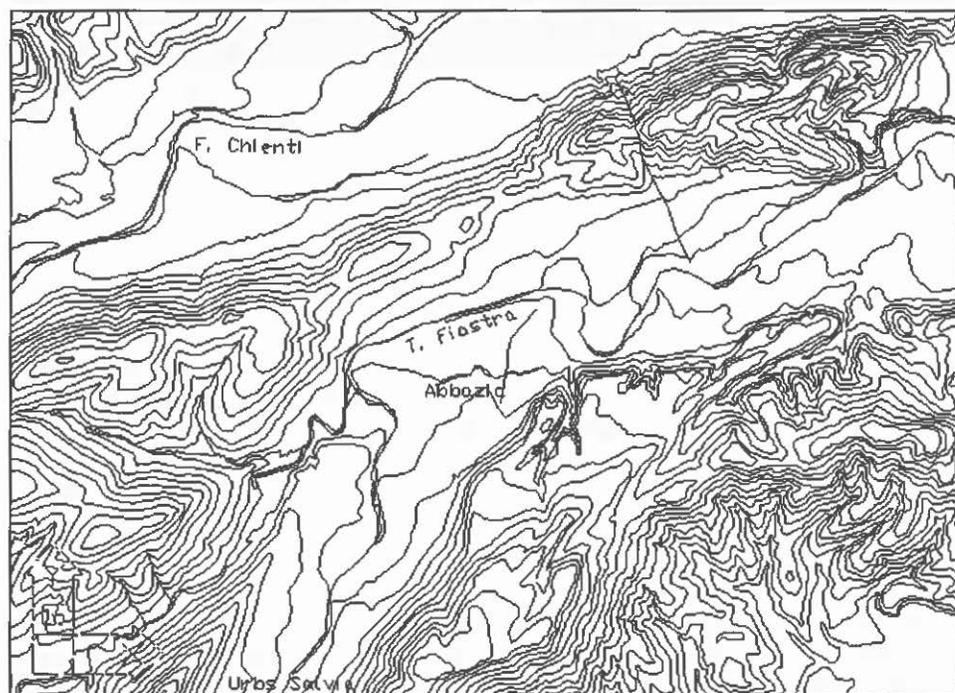


Fig. 2

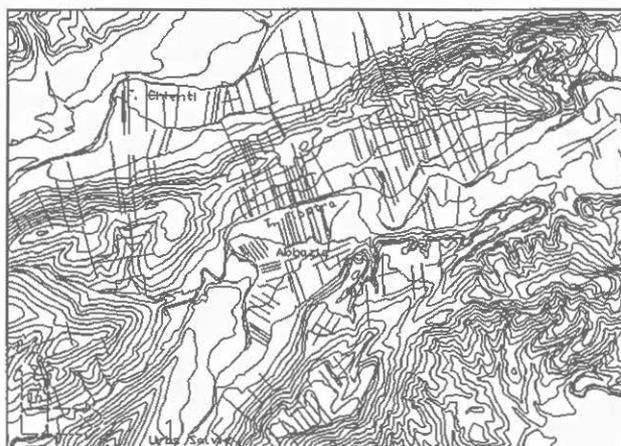


Fig. 3

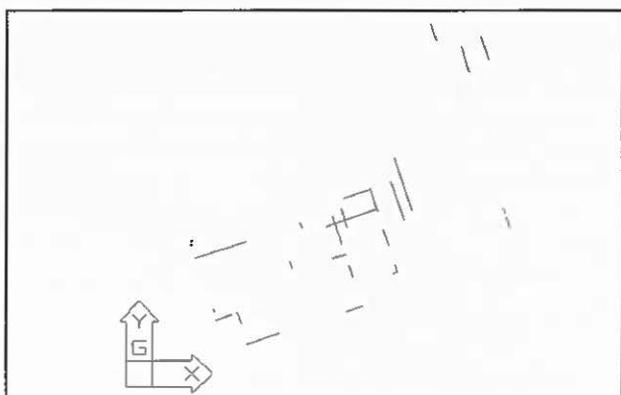


Fig. 4

Fiastra, più ad Est, anche il monumento m 11 cade su uno dei *limites* e ad ovest dell'abbazia di Chiaravalle, infine, i monumenti m 9 ed m 10 si trovano sulla linea mediana di due file contigue di centurie. Solo m 7 ed m 8 sembrano svincolati dal sistema, anche se la linea che passa per i due monumenti punta verso il vicino *compitum*. I monumenti m 7 ÷ m 10 marciano il percorso della Salaria.

#### 4. ELEMENTI DI CONTINUITÀ NELLE SEQUENZE CONFINARIE DEI SECC. XI-XII

Gli elementi che ci vengono forniti dall'unica edizione attualmente disponibile delle carte di Fiastra, benché largamente incompleta, sono copiosi. Essi però andranno necessariamente interpretati alla luce delle informazioni

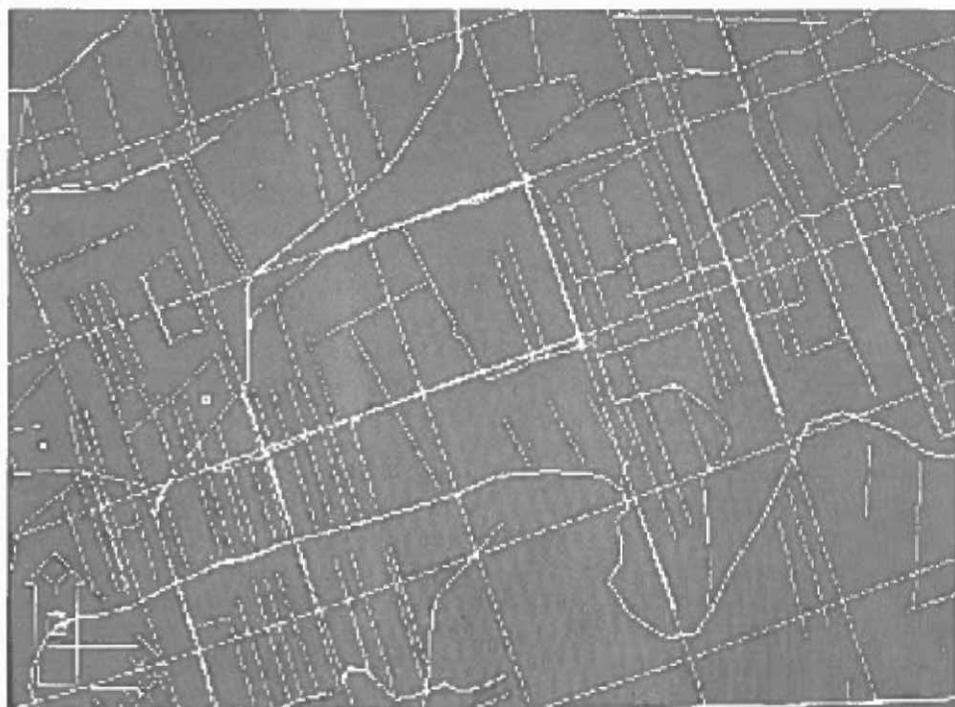


Fig. 5

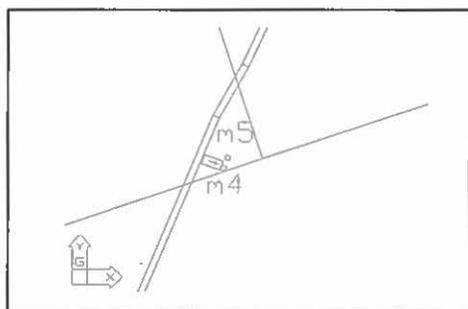


Fig. 6

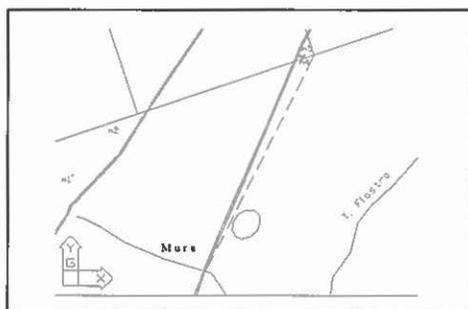


Fig. 7

di cui si potrà disporre con l'edizione integrale del fondo. Alcuni documenti tuttavia permettono rilevanti acquisizioni.

Da essi apprendiamo che all'inizio dell'XI sec. due *curtes* con castello, Collalto e Villamagna, si erano formate nell'area centuriata dividendosene in parte il territorio. Su una precedente *curtis S. Benedicti*, menzionata dal *Liber Largitorius Monasterii Pharphensis*, possiamo notizie molto vaghe (PACINI 1967, CHIAVARI 1989).

I confini delle due *curtes* mostrano evidenti segni di continuità rispetto alla tessitura agraria dell'agro centuriato. I dati più impressionanti sono quelli contenuti in una concessione del 1036 (OVIDI 1908, doc. II, 2-4) in cui vengono indicati i confini tra la corte di Villamagna e quella di Collalto: ... *a prima sinaita flumen Clenti et vadit ad massatium Collina que est inter sinaita Guilla Maina et sinaita castelum Collealti et vadit ad Massatium Ara vetula et pergit in [p]ede Lentogia, et vadit per riva Flastra ...*

Poiché il toponimo Collalto ed il toponimo Collina sono localizzabili grazie ad alcune testimonianze più tarde, sappiamo con certezza che la prima parte della sequenza confinaria si riferisce alla fascia lungo la quale si allineano i monumenti m 8, m 9 e m 10 (Fig. 8). È proprio ad essi che si riferiscono i toponimi *massatium Collina* e *Massatium Ara vetula*. In una precedente analisi del documento (CHIAVARI 1991; cfr. anche CATANI 1990) venne proposta l'identificazione tra il *Massatium Ara vetula* ed il monumento m 9, ipotizzando la scomparsa di un altro monumento funerario, da ricercare più ad est, al quale avrebbe dovuto essere riferita la denominazione di *massatium Collina*.

In realtà leggendo il documento sembra più logico riconoscere il *massatium Collina* in m 9 ed il *Massatium Ara vetula* in m 7 o m 8 (ma probabilmente nel secondo) (Fig. 9). Infatti il confine, partendo dal Chienti, *vadit* al primo massaccio, *vadit* al secondo, ma *pergit* verso la confluenza tra Fiastra ed Entogge (*in pede Lentoia*). *Pergit*, rispetto a *vadit*, indica un cambiamento di direzione del confine che sembra avvenire all'altezza del tratto terminale dell'Entogge, visto che il Fiastra viene nominato solo successivamente.

Un'analogia variazione lessicale si verifica più avanti quando, proseguendo nell'elencazione dei confini, il testo recita: *et vadit per riva Flastra, per pede terra ecclesia Sancte Crucis que est est [sic] cellam monasterio Rambona, et vadit per ipsa Flastra et vadit ad Castellare Leone et exit per rivum subtus ecclesia Sancti Benedicti, dove exit* esprime ancora una volta un mutamento rispetto ad una linea topografica continua. Questa, nel caso precedente, doveva essere rappresentata dal corso della Salaria. Infatti una carta del marzo 1163 (OVIDI 1908, doc. LXXXVI, 93-94), nella quale vengono precisati i confini della corte di Collalto, indica questa sequenza: *a II latere Clenti e vadit ad pontem lapideum, a III ponte lapideum et vadit ad Ara vetula et in Flastra, a IIII rivum Spisce e venit in Lentoia*.

Del terzo lato – quello orientale, confinante con la corte di Villamagna – vengono indicate le due estremità: da un lato ancora la contrada *Ara vetula* e dall'altro un *ponte lapideum* che per precedenti ricerche sappiamo dover essere identificato con i resti del ponte della Salaria sull'antico corso del Chienti.

Le analogie con la precedente carta del 1036 sono evidenti e tanto più significative in quanto in essa il *massatium Collina* fungeva da confine tra il territorio di Collalto e quello di Villamagna. Del resto, che il confine orientale della corte di Collalto corresse lungo una strada, è esplicitamente dichiarato in una donazione del 2 gennaio 1060 (OVIDI 1908, doc. IV, 6-8): ... *a primo*

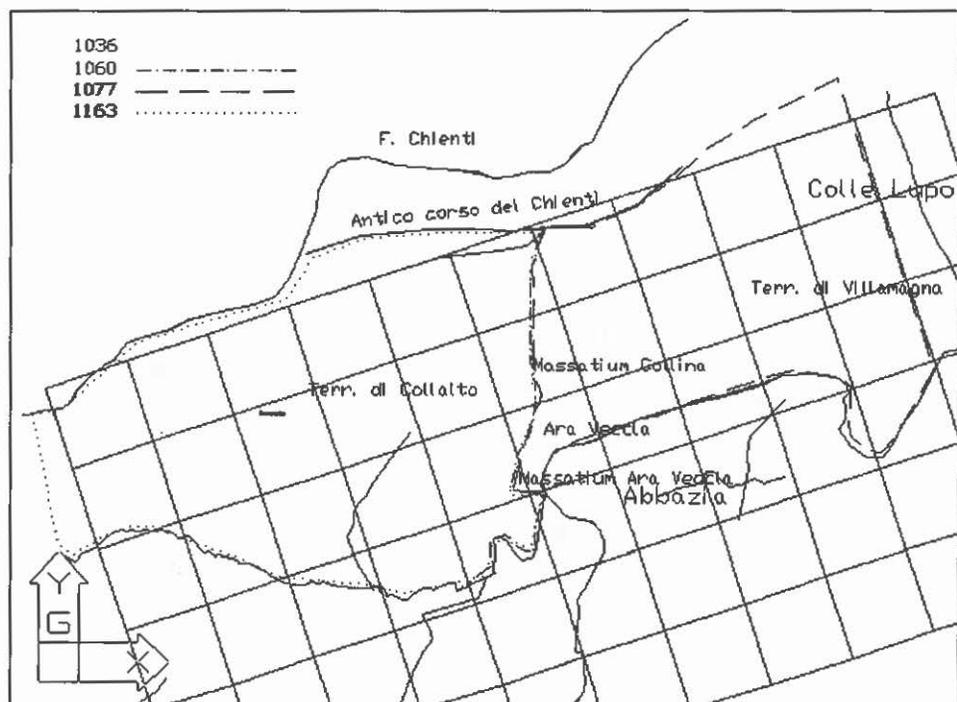


Fig. 8

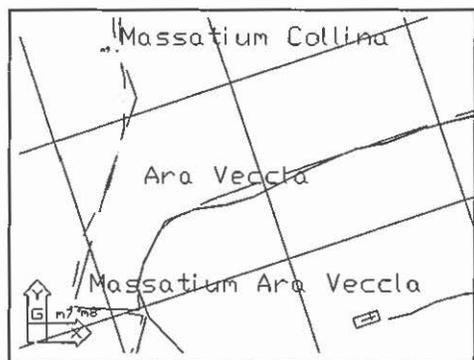


Fig. 9

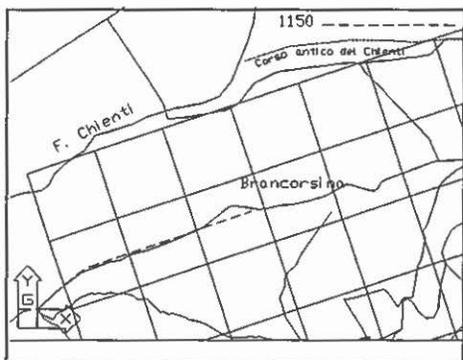


Fig. 10

*latere fluvio Clenti, et a secundo latere fine via que perrigi da sanctu Benedictu et veniente a lu Massaciu et veniente in Flasta, et a tertio latere fine Lentoca ...*

In conclusione è evidente che in una parte dell'agro centuriato la ripartizione territoriale agli inizi dell'XI secolo risulta in parte ancorata a quegli stessi monumenti funerari di cui ho già illustrato la funzione confinaria in età romana.

Particolare degno di nota: in un cabreo del 1720 il confine tra i territori di Tolentino e di Urbisaglia passa ancora sui due monumenti m 7-m 8 e sulla confluenza tra il Fiastra e l'Entogge.

Altre situazioni di grande interesse sono quelle che riguardano la chiesa di S. Croce, il *Colle Lupu* e la collina della Brancorsina. L'ecclesia *Sancte Crucis*, menzionata dalla carta del 1036 come dipendenza dell'abbazia benedettina di Rambona, si trovava in corrispondenza di uno degli incroci principali. La stessa abbazia di Chiaravalle, circa un secolo più tardi, venne edificata in prossimità di una delle linee di divisione mediane.

Il confine nordorientale della corte di Villamagna passava in linea retta sul *Colle de Lupu*, dove si colloca uno degli incroci del reticolo centuriale. Ce ne informa una carta del maggio 1077 con la quale Grimaldo di Attone rinunciò ai suoi diritti sul fondo *Collina* ed *Ara Veccla*, siti nel territorio di Villamagna, a favore di Farolfo del quondam Offone: *A primo lato flumen Clienti et a secondo lato flumen Flastra, et a tertio lato Colle de Lupu, et a quarto lato Massazo.*

Poiché le indicazioni topografiche appaiono alquanto sommarie, è ovvio che si faceva qui riferimento ad una situazione a tutti nota. Ad ovest il *Massazo* è probabilmente il *massatium Collina*, che già nel 1036 segnava il confine *inter sinaita Guilla Maina et sinaita castelum Collealti*. Dalla parte opposta, sul *Colle de Lupu*, pare di capire che il confine corresse in linea retta verso sud fino al Fiastra e, verso nord, fino al Chienti.

Infatti nella parte finale del lungo elenco di confini menzionati nel contratto del 1036, vera miniera di informazioni, si passa direttamente dal Fiastra al *Colle Lupu* e di qui subito al Chienti: *pergit in Flastra et exiit ad colle Lupu et pergit in Clenti in prima sinaita*. La funzione confinaria del colle viene ribadita anche nel 1566 (CHIAVARI 1991, 169); è però incerto in quale momento si sia verificato lo spostamento verso ovest documentato dalla lunga linea di confine che separa attualmente i comuni di Tolentino e Corridonia.

A NO dell'Abbazia di Chiaravalle un ultimo elemento di continuità è rappresentato dalla strada che correva sulla collina della Brancorsina a metà della seconda fila di centurie da nord (Fig. 10). Essa viene spesso citata come linea di confine, come ad esempio in una carta dell'aprile 1150 (OVIDI 1908, doc. XXXXVII, 62-63), in cui essa delimita da un lato i fondi Buttano e Collalto: *Currentie eius: a primo latere strada currente et Branca Ursina, a II latere silva de li fili de Gezo, a III latere fluvio Clenti, a IIII latere terra de li Petroniski ...*

UMBERTO MOSCATELLI  
Istituto di Archeologia  
Università di Macerata

BIBLIOGRAFIA

- BATTELLI G. 1974, *Il più ricco fondo diplomatico delle Marche: le pergamene di Fiastra*, «Studi Maceratesi», 10, 79-104.
- CATANI E. 1990, *Monumenti funerari dell'agro urbisalviense*, «Studi Maceratesi», 23, 121-162.
- CHIAVARI A. 1991, *Note di topografia medievale nell'area dell'abbazia di Fiastra*, «Studi Maceratesi», 25, 117-213.
- CHOUQUER G., CLAVEL LÉVÊQUE M., FAVORY F., VALLAT J.P. 1987, *Structures agraires en Italie centro-méridionale. Cadastres et paysage ruraux*, Roma, École Française.
- COMPATANGELO R. 1989, *Un cadastre de pierre. Le Salento romain*, Paris.
- COMPATANGELO R. 1994, *Recherches sur l'occupation du sol et les cadastrations antiques du territoire de Canosa*, «Dialogues d'histoire ancienne», 20.1, 199-243.
- DELPAGE C. 1993, *La romanisation du Picenum. L'exemple d'Urbs Salvia*, Roma, École Française.
- DE LUCA A. 1990, *Per un'edizione delle pergamene di Fiastra. Problemi di cronologia e di autenticità*, «Studi Maceratesi», 23, 189-230.
- GABBA E. 1989, *Sui sistemi catastali romani in Italia*, «Athenaeum», 67, 567-570.
- MOSCATELLI U., VETTORAZZI L. 1988, *Aspetti delle divisioni agrarie romane nelle Marche*, «Le Marche. Archeologia storia territorio», 1, 7-84.
- MOSCATELLI U. 1990, *A proposito di alcuni recenti ricerche sulle divisioni agrarie in Italia centro-meridionale*, «Annali della Facoltà di Lettere dell'Università di Macerata», 22-23, 659-677.
- OVIDI E. 1908, *Le carte dell'Abbazia di Chiaravalle di Fiastra*, Ancona, Deputazione di Storia Patria.
- PACINI D. 1967, *I monaci di Farfa nelle valli picene del Chienti e del Potenza*, «Studi Maceratesi», 2, 129-174.
- QUILICI L. 1994, *Centuriazione e paesaggio agrario nell'Italia centrale*, in J. CARLSEN-P. ØRSTED, J.E. SKYDSGAARD (edd.), *Landuse in the Roman Empire*, Roma, L'Erma di Bretschneider, 127-133.
- SERENI E. 1976, *Storia del paesaggio agrario italiano*, Bari, Laterza.
- TONEATTO L. 1992, *Il nuovo censimento dei manoscritti latini d'agrimensura (tradizione diretta e indiretta)*, in O. BEHREND, L. CAPOGROSSI COLOGNESI (edd.), *Die römische Feldemeßkunst. Interdisziplinäre Beiträge zu ihrer Bedeutung für die Zivilisationsgeschichte Roms*, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 26-66.
- TONEATTO L. 1994, *Codices artis mensoriae. I manoscritti degli antichi opuscoli latini d'agrimensura (V-XIX sec.)*.
- VETTORAZZI L. 1990, *Ricerche topografiche nel territorio a nord di Urbs Salvia*, «Le Marche. Archeologia storia territorio», 2, 97-136.

ABSTRACT

The Author illustrates the main purpose of a research that he is carrying out on Roman centuriation in Central Italy. This paper particularly concerns the evolution of Roman cadastre of *Urbs Salvia* during the Early Middle Ages and Middle Ages. The Author maintains that starting from a hypothetical centuriated form we have to study the changes of field boundaries that we can take out from medieval documents, ancient maps, cabrei and so on. In this way, if we find significant data, we have a reliable confirmation of the supposed original schema. In the *Urbs Salvia's* centuriation several medieval field boundaries leans against the Roman limits or the burial monuments that the Romans used to mark limits. Moreover some roads, mentioned in several documents of the Chiaravalle di Fiastra Cistercian Abbey, run exactly in the middle of a row of *centuriae*. Recording of data is entrusted to AutoCAD R13 (numeric cartography) and Paradox 5.0 for Windows (other data).



## UN ARCHIVIO GEOREFERENZIATO DI INSEDIAMENTI ARCHEOLOGICI

### 1. INTRODUZIONE

Questo contributo si è sviluppato dalla ricerca svolta da due degli autori sotto la guida del prof. Guido Vannini dell'Università di Firenze, iniziata come tesi di laurea (PARDI 1995) ed avente come oggetto la rilevazione di siti medievali in Toscana. Per quanto riguarda l'area che qui presentiamo, i dati sono stati già immessi nel database, che è quindi già operativo, mentre è tuttora in corso l'acquisizione dei dati e la costituzione del database relativo a un'altra zona della Toscana.

L'obiettivo della rilevazione è la documentazione storico-territoriale delle emergenze archeologiche medievali, per consentire:

- la registrazione dei dati territoriali, sia topografici che antropici, con uno strumento in grado di ricevere una lettura stratigrafica del territorio, sia verticale che orizzontale;
- l'integrazione tra fonti di natura diversa: materiali, scritte, iconografiche, cartografiche;
- la lettura storica e la lettura diagnostica del territorio, per pianificare la conservazione (vincoli, interventi, restauri) da un lato e la ricerca dall'altro (ricerca di superficie intensiva, ad esempio con le tecniche dell'archeologia del paesaggio, pianificazione delle campagne di scavo o di analisi archeologica).

Rispetto a questo programma, non è perciò casuale ma diventa un passaggio obbligato la scelta dello strumento informatico, che resta tuttavia aperto sia all'immissione di nuovi dati che alla realizzazione di ulteriori operatività. In questa prospettiva si collocano le riflessioni e le proposte formulate nella seconda parte della relazione, che nascono da una collaborazione interdisciplinare da tempo in atto: essa si è già concretizzata nella messa a punto di un sistema informativo efficiente ed ha fornito lo stimolo per le idee che oggi presentiamo, che forse possono trovare applicazione anche al di fuori del contesto che le ha prodotte. Anche per queste l'esperienza e i suggerimenti del prof. Vannini sono stati preziosi.

### 2. AMBITO DI STUDIO

Il territorio studiato, corrispondente all'area controllata dalla famiglia comitale Ardenghesca, tra i secoli XI e XIV, si trova nella Toscana centro meridionale, parte nella provincia di Siena e parte in quella di Grosseto.

La storia della famiglia, al contrario di quanto avvenne delle altre dinastie di conti senesi, fu caratterizzata dalla compatta aggregazione territoriale nella zona tra il Farma e l'Ombrone che fu densamente incastellata e nella quale venne insediata l'abbazia di S. Lorenzo dell'Ardenghesca.

Le caratteristiche del dominio – l'ubicazione, il potenziale umano e la dimensione (circa 500 Km<sup>2</sup>) – furono i motivi per i quali il Comune di Siena, compresso a Nord a Est e a Ovest dai territori di Firenze, Arezzo e Volterra, sin dalla prima offensiva a metà del secolo XII, perseguì la propria espansione verso Sud, per ottenere il controllo del corridoio Siena-Roselle e quindi l'accesso al mare, ai danni della Contea.

Il graduale processo di sottomissione degli Ardengheschi al Comune di Siena è documentato nel 1179 dal patto di alleanza e di subordinazione – nel quale sono minuziosamente descritti i confini della Contea – e negli anni 1202, 1213, 1254 e 1264, da reiterati giuramenti, tra i quali quello del 1254 nel quale ciascun nucleo familiare si sottomise con i propri eredi, con *castrum, curia et habitatores eiusdem*, promettendo perenne obbedienza e la disponibilità dei castelli per le esigenze militari senesi.

Durante la lunga fase di progressiva sottomissione, la famiglia fu costretta a spostarsi verso Sud ed i singoli nuclei familiari si organizzarono ciascuno presso un castello trasferendovi il titolo comitale: Conti di Civitella, di Pari e di Fornoli.

Altri elementi contribuirono, comunque, alla disgregazione della Contea; essi furono da una parte lo sviluppo di forme di autonomia di comuni di castello attraverso l'istituzione di propri rettori e la redazione di propri statuti, dall'altra la contrazione del territorio dovuta a vendite al Comune di Siena, donazioni a enti religiosi, cessioni per debiti contratti dalla famiglia con banchieri e mercanti, che costituirono grosse proprietà fondiarie nel contado e acquistarono diritti e giurisdizioni su castelli e residenti.

Alla fine del '300 il processo di erosione della contea era esaurito e gli Ardengheschi erano stati completamente soppiantati, nel dominio e nella giurisdizione del territorio, dalla Repubblica di Siena.

La metodologia utilizzata per la ricostruzione della rete insediativa è stata applicata all'intera area di influenza del dominio Ardenghesco, mediante la catalogazione degli insediamenti attestati dalle fonti nell'ambito cronologico del dominio comitale.

### 3. LA SCHEDA DI RILEVAZIONE E LA STRUTTURA DEL DATABASE

Per la catalogazione degli insediamenti è stata creata una scheda utilizzando come base la scheda Sito elaborata da A. Ricci (RICCI 1983), adattandola alle necessità che derivano dalla rilevazione di insediamenti medievali, ovvero integrando numerose voci relative ai dati storici ed ambientali.

La Fig. 1 illustra il tracciato attuale della scheda.

Denominazione <input type="text"/>		Identificativo <input type="text"/>	
Località <input type="text"/>		Comune <input type="text"/>	Provincia <input type="text"/>
Abitato <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Giurisdizione ecclesiastica <input type="text"/>	
Coordinate punto di riferimento <input type="text"/>		Catasto <input type="text"/>	
Riferimenti IGM <input type="text"/>		Riferimenti CTR <input type="text"/>	Altitudine: min <input type="text"/> max <input type="text"/>
Geomorfologia <input type="text"/>			
Idrografia <input type="text"/>			
Uso del suolo <input type="text"/>		Visibilità <input type="text"/>	
Definizione documentaria <input type="text"/>			Fonte <input type="text"/>
Origine toponimo <input type="text"/>			
Varianti toponimo <input type="text"/>			
Avvenimenti			
Data <input type="text"/>	Descrizione <input type="text"/>		Fonte <input type="text"/>
		Fonte <input type="text"/>	Ambito cronologico <input type="text"/>
Giurisdizione civile antica	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Dominio	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Giurisd. ecclesiastica antica	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Diocesi	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pieve	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Chiesa	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Patronato	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Monastero	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Strade antiche <input type="text"/>			
Cartografia <input type="text"/>			
Iconografia <input type="text"/>			
Epiografia <input type="text"/>			
Fonti orali <input type="text"/>			
Descrizione storica <input type="text"/>			Fonte <input type="text"/>
Descrizione situazione attuale <input type="text"/>			
Vincoli			
Tipo <input type="text"/>	Caratt. <input type="text"/>	Numero <input type="text"/>	Riferimento <input type="text"/>
Scavi: Data <input type="text"/>	Direttore <input type="text"/>	Rif. bibliografico <input type="text"/>	
Materiali rinvenuti: Tipo <input type="text"/>	Quantità <input type="text"/>	Collocazione <input type="text"/>	Riferimento <input type="text"/>
Itinerario di accesso <input type="text"/>		Gruppo archeologico di zona <input type="text"/>	
Data compilazione <input type="text"/>	Compilatore <input type="text"/>	Schede collegate <input type="text"/>	

Fig. 1

I dati rilevati, organizzati sotto forma di database relazionale, vanno a costituire più archivi:

*Archivio principale* contenente le sezioni che riuniscono i dati amministrativi, geografici, ambientali, storici, descrittivi e interpretativi.

*Dati amministrativi*: riunisce informazioni sulla gerarchia amministrativa civile e religiosa della località in oggetto, specificando se tale località è abitata o abbandonata.

*Dati geografici*: riguarda la collocazione geografica, identificata sulle cartografie

I.G.M. e C.T.R. e l'altitudine minima e massima dell'insediamento.

**Dati ambientali:** riunisce le informazioni relative alle caratteristiche geologiche, idrografiche e di uso del suolo della località, specificando anche il grado di visibilità dell'insediamento.

**Dati storici:** la sezione storica risulta la più ampia e riunisce i dati riguardanti l'origine del toponimo, la giurisdizione civile ed ecclesiastica antica, le informazioni sulla viabilità storica, i riferimenti alla presenza di epigrafi, cartografie e/o iconografia storica.

**Dati descrittivi:** vi si riportano le descrizioni del sito desunte dalla bibliografia e la descrizione dovuta alla ricognizione sul luogo; le fonti orali raccolte e le informazioni sulla presenza di scavi archeologici, e sui vincoli che vi insistono.

**Dati interpretativi:** riunisce i dati sulla destinazione d'uso del sito nelle varie epoche, sulla sua estensione e fornisce un'interpretazione generale basata sull'elaborazione dei precedenti dati.

**Altri dati:** riporta indicazioni sul riferimento catastale, il nome del gruppo archeologico di zona, il percorso di accesso al sito, e l'eventuale rinvenimento di materiali e la loro collocazione.

**Archivio storico documentario** contenente gli avvenimenti storici relativi ai siti esaminati desunti da fonti edite e inedite.

**Archivio delle fotografie e dei disegni** contenente le fotografie, i filmati, le piante, i prospetti e i rilievi relativi a ciascuno dei siti.

**Archivio cartografico** contenente la cartografia storica e la cartografia attuale di ogni sito.

**Archivio bibliografico** contenente la bibliografia generale relativa agli insediamenti schedati.

La terminologia è stata normalizzata mediante l'uso di tabelle utilizzate come archivi di servizio.

Ogni scheda è georeferenziata mediante le coordinate di un suo punto al quale è riferita la planimetria del sito. La Fig. 2 illustra la struttura complessiva del database e la sua organizzazione.

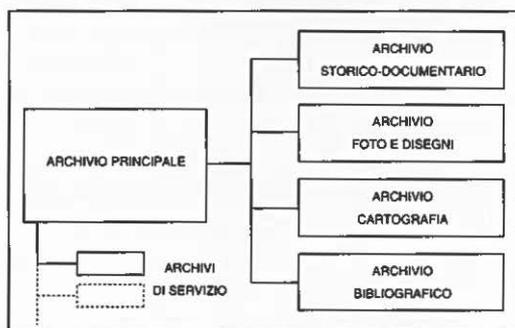


Fig. 2

Nel database sono registrati i dati di tutti gli insediamenti di origine medievale (143 in totale, di cui 30 allo stato di rudere e 6 scomparsi) collocati nell'area di circa 500 Km<sup>2</sup> corrispondente, come si è detto, al territorio dominato dalla famiglia comitale Ardenghesca. I siti presentano un'ampia varietà di condizioni: si tratta di castelli, villaggi fortificati, villaggi aperti, monasteri, pievi ed infine di mulini. Come già detto, ogni oggetto presente nel database è riferito a coordinate spaziali ed è quindi suscettibile di elaborazione anche da questo punto di vista.

#### 4. IL DATABASE COME SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE

La presenza dei riferimenti geografici permette di effettuare delle analisi che tengano in considerazione anche l'aspetto spaziale. Prima di tutto si possono citare le possibilità di restituzione dei risultati di interrogazioni non soltanto come viste del database o liste di oggetti ma anche in forma cartografica. È inoltre possibile integrare i dati presenti nel database con altre informazioni anch'esse georeferenziate, ad esempio con finalità di pianificazione o di salvaguardia, utilizzando come elemento di collegamento fra dati di fonte diversa il comune riferimento spaziale.

L'aspetto che vogliamo trattare riguarda però le possibilità di analisi spaziale consentite dal riferimento geografico insieme alla disponibilità di informazioni cartografiche sotto forma digitale. Tali elementi rendono possibile dare una risposta a domande sulle relazioni di carattere spaziale che intercorrono fra gli oggetti presenti nel database: ad esempio, il chiedersi se i punti censiti, o alcuni di essi, sono collegati a vista a due a due a formare una catena, può ricevere una risposta algoritmica anziché richiedere un non sempre possibile sopralluogo.

Ogni elaborazione che contempra relazioni nello spazio è basata sul concetto di distanza, che potrebbe sembrare non richiedere ulteriori specificazioni: in realtà, come osserva argutamente Gatrell (GATRELL 1991), "il mondo è pieno di spazi" e l'impressione è che nessuno di questi si adatti perfettamente al nostro caso.

Generalmente si assume come distanza fra due punti A, B quella cosiddetta euclidea, data nel piano dal teorema di Pitagora:

$$d(A,B) = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

che nello spazio si generalizza a

$$d(A,B) = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}$$

Essa corrisponde alla distanza chiamata di solito "in linea d'aria".

In tutti quei casi in cui si può trascurare la curvatura della superficie

terrestre, questa metrica è perfettamente adeguata per la maggior parte dei problemi e per questo viene incorporata senza discussioni in tutti i GIS. Tuttavia, in alcune categorie di problemi essa non corrisponde alle reali possibilità di spostamento nello spazio: ad esempio, in alcuni casi è stata sostituita con la metrica detta "del tassista", che prevede per la distanza la formula:

$$d(A,B) = |x_B - x_A| + |y_B - y_A|$$

Tale formula traduce gli spostamenti che si devono fare a Manhattan (o, se preferite, a Torino) per percorrere un itinerario che collega A a B (Fig. 4). Ma anche la metrica del tassista non funzionerebbe a Milano (come già notò Umberto Eco nel suo "Paradosso di Porta Ludovica") e neppure nel centro storico di Firenze. La questione non è puramente accademica né influenza soltanto problemi di percorrenza: a metriche diverse corrispondono relazioni spaziali diverse.

Se, ad esempio, si vogliono considerare "aree di influenza" (qualunque cosa si intenda con questo termine), relative a due poli A e B, si può ottenere una prima approssimazione di tali aree dividendo con una linea, che geometricamente è l'asse del segmento AB, i punti che sono più vicini ad A da quelli che sono più vicini a B.

Con più punti, si può ripetere la costruzione, ottenendo dei poligoni aperti detti poligoni di Thiessen: la forma di essi, però, varia se si usano metriche diverse, come illustra la Fig. 5 (tratta da GATRELL 1991).

Dunque i risultati che si ottengono in termini di relazioni spaziali sono dipendenti dalla metrica che si stabilisce di adottare. Nel nostro sistema le relazioni spaziali fra i siti non sono basate né su spostamenti compiuti volando (distanza euclidea) né in taxi (distanza del tassista): occorre perciò approfondire l'analisi del concetto di distanza.

Un punto di partenza potrebbe essere la considerazione che ogni percorso può essere ridotto alla somma di una serie di piccoli spostamenti in linea retta, per ognuno dei quali è lecito mantenere il familiare concetto di distanza euclidea: tutti insieme, essi formano un tracciato che in generale non sarà rettilineo, dovendo rispettare i vincoli fisici esistenti. Fra gli infiniti percorsi possibili sceglieremo quello di lunghezza complessiva minore: ciò ci porterà, ad esempio, a compiere un arco di cerchio per muoverci fra due punti posti su di una collinetta sferica e a salire lungo un percorso elicoidale per raggiungere un punto posto sulla superficie di una montagna a forma (approssimativamente) conica, senza scavare trincee o tunnel per mantenere un percorso rettilineo (Fig. 6).

Sembra quindi ragionevole assumere come distanza fra due punti il tratto della linea di lunghezza minima che li congiunge, chiamata geodetica. Se l'equazione della superficie su cui ci si muove è

$$f(x,y,z) = 0$$

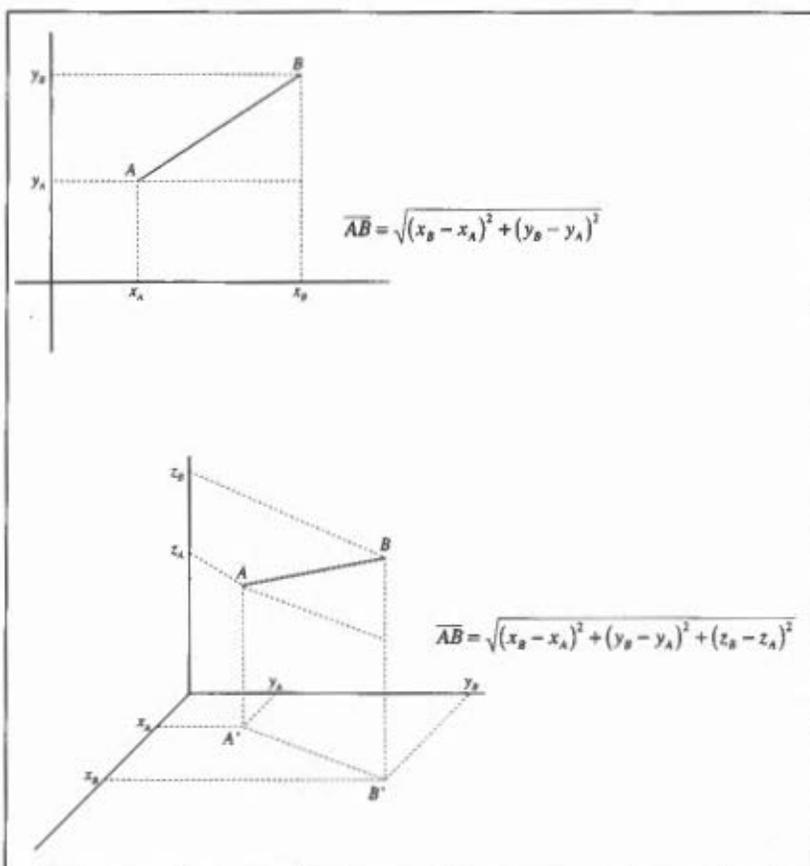


Fig. 3

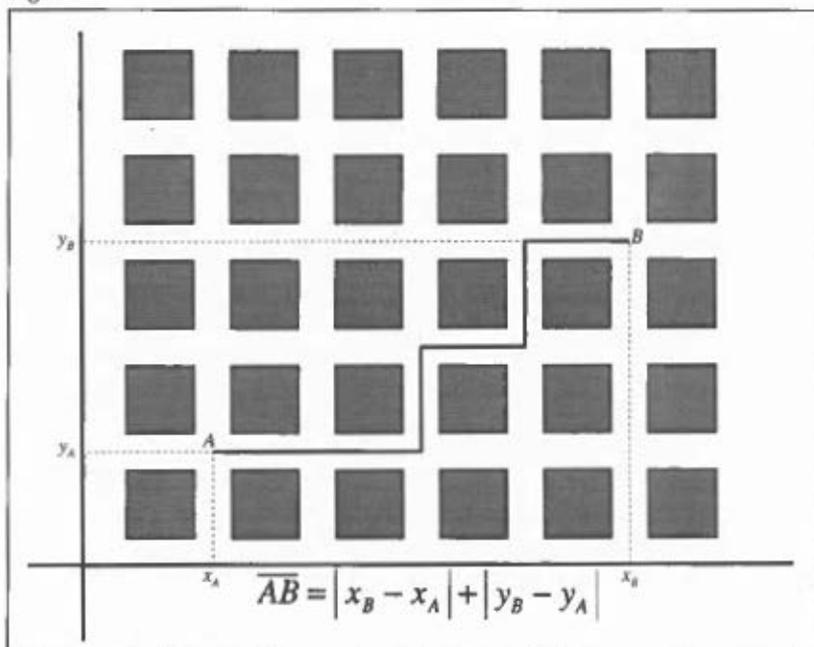


Fig. 4

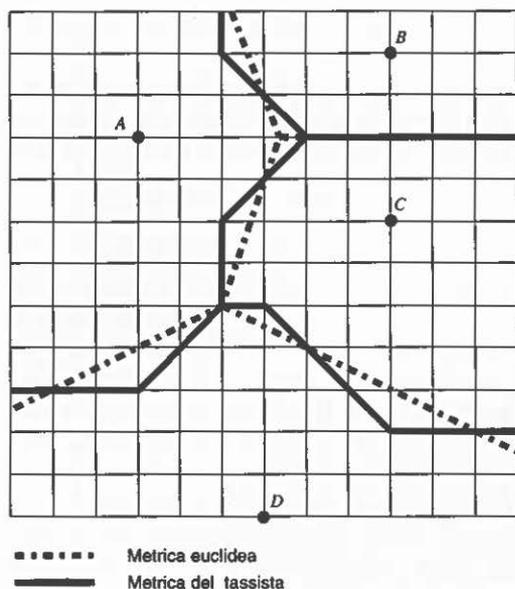


Fig. 5

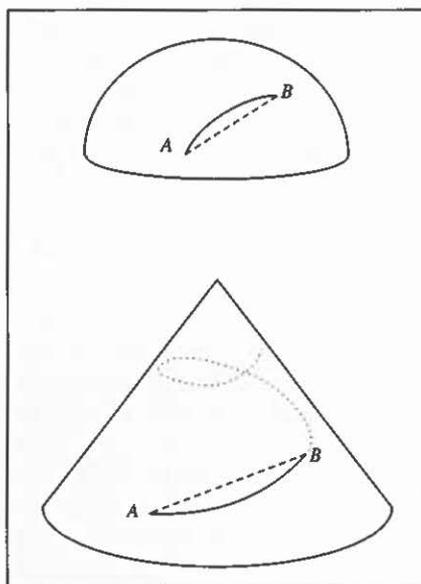


Fig. 6

per determinare le equazioni parametriche di tale linea

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

con  $a \leq t \leq b$ , si deve risolvere, com'è noto, il seguente problema di minimo vincolato

$$\begin{cases} \min \int_a^b \sqrt{x'(t)^2 + y'(t)^2 + z'(t)^2} dt \\ f(x(t), y(t), z(t)) = 0 \end{cases}$$

Nel nostro caso, l'equazione che dà la superficie terrestre della regione che si considera si può ottenere interpolando con una superficie di Bezier i punti dati dal modello digitale del terreno, rispetto alla quale va poi risolto il suddetto problema di minimo.

Sul piano teorico si potrebbe quindi considerare risolto il problema: in effetti, però, non si è presa in alcuna considerazione la natura del terreno. Chiariamo questo punto con un esempio.

Consideriamo per questo scopo due insediamenti nel territorio dominato dai Conti Ardengheschi di Fornoli: si tratta degli insediamenti di Litiano e di Terzinate, che si trovano nella valle del torrente Gretano, tra Roccastrada e Civitella Marittima (Fig. 7).



Fig. 7

Le uniche notizie storiche (cfr. CAMMAROSANO, PASSERI 1976; 1984, n. 48.7) relative a Litiano (toponimo derivante da nomi personali latini, *Aletianu*, si veda PIERI 1969, 91) sono che nel 1140 era un villaggio non fortificato, connesso con la corte di Sant'Anastasio (attuale podere San Disdagio?), e dominato in parte dal Monastero di Giugnano; nel 1202 si trova nel novero dei castelli e dei villaggi Ardengheschi che si sottomisero al Comune di Siena. Nel '300 fu dominato dalla famiglia degli Incontri, nel 1438 fu unito al contado senese; infine, nel 1470 fu venduto a Bartolomeo di Giacomo Petrucci. Nonostante che le fonti definiscano Litiano una villa, in realtà, sia la posizione di versante ai piedi di Roccastrada, che l'ampiezza e le caratteristiche dei resti rinvenuti, sembrerebbero piuttosto indicare una postazione di carattere difensivo e di controllo della valle del Gretano.

Le notizie (si veda CAMMAROSANO, PASSERI 1984, n. 19.14) riguardanti Terzinate (toponimo derivante da nomi personali etruschi, per lo più in -na, *Telsina*, *Telsinana*, si veda PIERI 1969, 42) sono ancora più esigue, ovvero che la corte di Terzinate era unita a quella di Litiano e di Sant'Anastasio, nel

1202, in occasione dell'atto di sottomissione degli Ardengheschi al Comune di Siena. In questo caso, sia la posizione (su un altopiano relativamente ricco di acqua e dunque coltivabile), sia l'esiguità dei resti, permettono di avanzare come unica ipotesi verosimile che si trattasse di un insediamento rurale.

Fonti orali, raccolte *in situ*, sostengono che in passato da Litiano si dipartivano due strade, una per Terzinate e l'altra per Paganico, di cui non rimane traccia: è il motivo per il quale abbiamo scelto i due siti per questo esempio.

Per non dover risolvere il complicato problema matematico prima esposto, consideriamo una linea (forse subottimale ma di calcolo assai più semplice) ottenuta percorrendo il terreno mediante tratti rettilinei che vanno tutti in direzione dell'obiettivo da raggiungere: si tratta, in altre parole, della proiezione sul terreno del percorso "a volo d'uccello" fra i due punti considerati.

Tracciando la sezione del terreno e supponendo che la sua pendenza si mantenga costante fra due punti dei quali sono note le quote, si ottiene il seguente profilo altimetrico del percorso (Fig. 8).

Trattandosi di un tracciato breve e senza dislivelli eccessivi, la differenza fra la distanza in linea d'aria e quella che abbiamo descritto non è rilevante (m 3550 in linea d'aria, contro circa m 4500 sul terreno): il profilo altimetrico però evidenzia come questo percorso sia difficilmente praticabile, a terre-

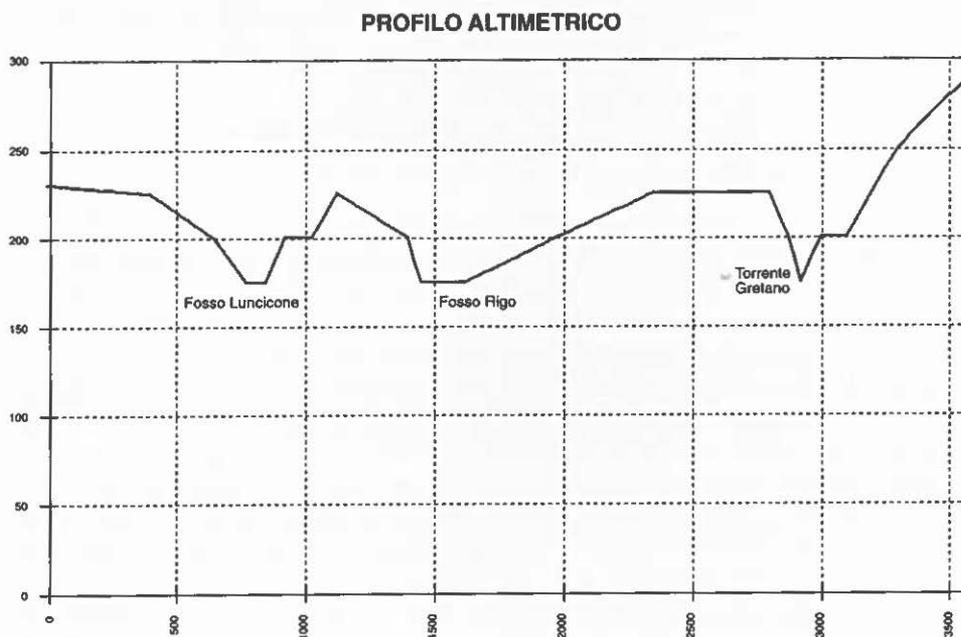


Fig. 8

no sgombro, anche con un moderno fuoristrada, dovendo superare pendenze che più volte superano il 30% e in certi tratti arrivano al 50%, oltre a guardare due fossi e un torrente.

Dunque non si deve prendere in considerazione soltanto la lunghezza del percorso, ma anche la sua praticabilità: a titolo di esempio si è ricostruito un possibile itinerario seguendo i sentieri oggi esistenti, sulla base della ragionevole ipotesi che essi siano percorribili oggi come mille anni fa e che il loro tracciato eviti le asperità del terreno e degli ostacoli naturali, ottimizzando spontaneamente la percorrenza complessiva. L'itinerario in questione è tracciato nella Fig. 7.

In questo modo si trova una distanza di circa 7 Km, quasi il doppio di quella in linea d'aria. Niente può dimostrare, a tavolino, che i sentieri scelti siano quelli storicamente giusti e un'ulteriore indagine sul campo potrebbe fornire indizi che ne guidino la scelta; comunque l'errore che si compie è sensibilmente minore rispetto all'uso della distanza euclidea, che introduce uno scarto enorme.

Va, in conclusione, introdotta una metrica "del pedone", che per sua natura non può essere definita per ogni coppia di punti dello spazio, ma solo per quelle che corrispondono a punti da collegare, cioè, ai nostri fini, ai siti oggetto di indagine. Con queste distanze potremo costruire una matrice origini-destinazioni, simmetrica

$$d(A, B) = d(B, A)$$

e "coerente"

$$d(A, C) \leq d(A, B) + d(B, C)$$

Il modello matematico adatto a descrivere questo schema è quello di un grafo, che potrà essere semplificato mediante l'aggiunta di "nodi stradali", eventualmente in corrispondenza di quelle emergenze, come i tabernacoli, note per marcare punti di passaggio e di biforcazione di itinerari. Per

la determinazione dei coefficienti di questa tabella si dovrà procedere basandosi prima di tutto sulle evidenze storiche e archeologiche; in seconda istanza, su ricostruzioni affidabili, anche se non provate, di percorsi plausibili. In questo senso l'impiego di tecniche di grafica computerizzata può costituire un valido aiuto, sia nella fase di immissione e di scelta dei percorsi che in quella di calcolo della loro lunghezza. È perciò necessario che la cartografia numerica usata come base di riferimento contenga anche la viabilità minore e si possa escludere il "rumore" costituito dalla presenza di elementi irrilevanti potendo rendere invisibili i *layer* relativi.

Il GIS dovrà poi attingere a questa tabella le informazioni relative alle distanze fra coppie di punti per elaborare le analisi spaziali desiderate anziché calcolarle mediante una formula matematica basata sulle coordinate dei punti stessi.

In conclusione, ogni analisi spaziale dei dati contenuti in un GIS è fortemente influenzata dalla scelta della metrica sottostante alla struttura dello

spazio considerato; non si può accettare in modo acritico la formulazione euclidea della distanza, che tuttavia rimane un'astrazione valida in moltissimi casi, ma è invece necessario verificarne la compatibilità con gli obiettivi di studio che ci si prefiggono e con la situazione che si intende analizzare; è possibile utilizzare altri tipi di distanze, e noi abbiamo qui suggerito uno dei modi per farlo, più adeguate alla natura del problema in esame; la costruzione di questa funzione è un momento di sintesi che parte dai dati storici e archeologici, prende in considerazione la morfologia del terreno ed è resa possibile, in fase operativa, dall'ausilio di tecniche informatiche e quindi dalla disponibilità del GIS.

## 5. RIFERIMENTI CRONOLOGICI E LORO UTILIZZO

Il secondo aspetto che affronteremo riguarda la cronologia, per cui disponiamo sia di notizie puntuali, esattamente riferibili a una data precisa, sia di informazioni che consentono di individuare un ambito cronologico.

Il problema riguarda l'utilizzo delle fonti scritte che, a differenza di quelle materiali, hanno carattere episodico: se da un lato offrono un'apparente precisione con l'individuare un esatto riferimento, dall'altro forniscono solo un termine *ante quem*, che può risultare di limitata utilità per determinare l'ambito cronologico di esistenza, dall'origine all'abbandono, di un insediamento. Nel nostro studio è questo il caso di Terzinate, per il quale, come si è detto, si ha notizia di un giuramento del 1202 degli uomini di tale località, che doveva certamente esistere prima di tale data ed ha continuato a esistere anche successivamente. L'indagine *in situ* non fornisce però alcun elemento che consenta di formulare un ambito cronologico di esistenza dell'insediamento.

Sul piano metodologico, le difficoltà sorgono quando si cerca di utilizzare l'attributo "cronologia" per effettuare selezioni all'interno del database, ad esempio impostando la semplice ricerca "individuare tutti i siti esistenti all'anno *x*". Infatti la qualità delle informazioni non è la stessa in tutti i casi: può darsi che in taluni vi sia l'indicazione di una data certa, in altri sia possibile l'attribuzione probabile di un periodo, in altri ancora che tale attribuzione presenti un maggiore o minor grado di incertezza: nel database non resta però traccia di questo differenziato grado di fiducia che possiamo attribuire agli ambiti cronologici alla fine assegnati.

Può quindi accadere che in alcuni casi l'automatismo della selezione escluda circostanze molto probabili, in altri che esso dia per comprovate situazioni che hanno invece solo un maggiore o minor grado di affidabilità. Ricorriamo nuovamente a un esempio utilizzando i due siti già considerati, Litiano e Terzinate, limitandoci per semplicità a considerare il problema dell'origine, essendo del tutto speculare e quindi analogo quello dell'abbandono.

Per il primo insediamento, come si è detto, si dispone delle seguenti notizie:

1140 villaggio non fortificato, dominato dal Monastero di Giugnano;  
1202 fa atto di sottomissione al Comune di Siena.

Per il secondo, è nota soltanto la seguente notizia:

1202 fa atto di sottomissione al Comune di Siena.

Una ricerca "cieca" che utilizzasse come anno di selezione il 1200, escluderebbe, in modo del tutto illogico, Terzinate.

L'estensione all'indietro dell'origine dell'ambito cronologico di esistenza dei due villaggi, prima della notizia di esistenza certa, elimina tale incongruenza, ma fa perdere l'importante differenza di qualità esistente fra i due dati. Una nuova ricerca, questa volta con anno di riferimento 1150, equivarrebbe la certezza del dato di Litiano all'attribuzione, plausibile ma del tutto arbitraria, dell'esistenza di Terzinate.

Cercheremo quindi di introdurre una metodologia che consenta di conservare nei risultati delle interrogazioni anche la qualità delle informazioni che li hanno determinati.

Il modo di procedere consueto per lo svolgimento di selezioni all'interno di un database equivale ad assegnare il valore "vero", indicato convenzionalmente con 1, a un determinato anno o meglio agli anni compresi in un determinato periodo; ad assegnare il valore "falso", convenzionalmente 0, agli anni al di fuori di tale periodo. Verificare l'esistenza contemporanea di due siti equivale così all'operazione logica "AND", mentre verificare l'esistenza di almeno uno dei due siti equivale all'operazione logica "OR".

In pratica, dunque, assegnando un ambito cronologico si costruisce implicitamente una funzione di esistenza  $\varepsilon_A(t)$  dell'insediamento  $A$  come quella il cui grafico è illustrato nella Fig. 9.

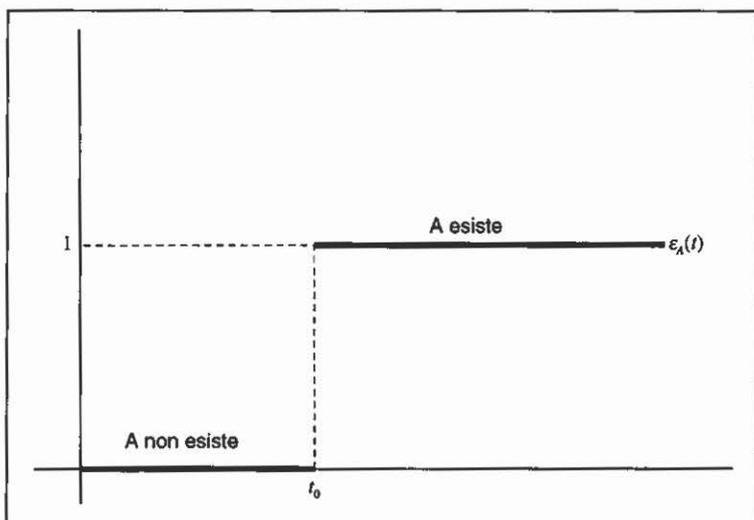


Fig. 9

Ispirandosi alla teoria nota come *fuzzy logic* (introdotta per la prima volta in ZADEH 1965) e utilizzata con alterne fortune in svariati campi di applicazione) proponiamo invece di sostituire  $e_A(t)$  con una funzione del tipo illustrato nella Fig. 10.

Con questa impostazione stabiliremo che per  $t \leq t_0$  l'insediamento non esiste, almeno ai fini del database considerato; per  $t \geq t_1$  l'insediamento è certamente esistente; per  $t_0 < t < t_1$  l'esistenza è probabile, con un grado di affidabilità che cresce con il passare del tempo, fino a raggiungere la certezza per  $t = t_1$ , anno in cui si hanno le prove dell'esistenza.

Dopo aver costruito tale funzione di esistenza per ognuno dei siti, per le nostre interrogazioni sul database dovremo utilizzare una generalizzazione degli operatori AND e OR (ed eventualmente anche NOT) che dia la funzione di esistenza dell'evento "esistenza congiunta dei due insediamenti" e, rispettivamente, "esistenza di almeno uno dei due insediamenti", insieme al grado di affidabilità di tale esistenza.

Sono stati proposti vari modi di generalizzare le due operazioni logiche elementari (un elenco e un confronto fra le diverse proposte sono riportati in YAGER, FILEV 1994) dotate di diverse proprietà: prenderemo in considerazione la più antica e più semplice, che definisce

$$\begin{aligned} \varepsilon_A(t) \text{ AND } \varepsilon_B(t) &= \text{Min} (\varepsilon_A(t), \varepsilon_B(t)) \\ \varepsilon_A(t) \text{ OR } \varepsilon_B(t) &= \text{Max} (\varepsilon_A(t), \varepsilon_B(t)) \end{aligned}$$

Queste definizioni sono illustrate nella Fig. 11.

Come è chiaro dalla definizione, alla contemporanea presenza dei due insediamenti viene attribuito il grado di affidabilità minore dei due; all'esistenza di almeno uno di essi viene attribuito un grado di affidabilità pari al maggiore fra i livelli di affidabilità attribuiti a ciascuno dei due insediamenti.

A scopo puramente esemplificativo supponiamo di poter porre per Litiano

$$t_0 = t_1 - 100$$

(ciò significa retrodatare di 100 anni l'esistenza dell'insediamento) mentre per Terzinate stabiliamo il secolo XI come ambito cronologico dell'origine

$$t_0 = 1000$$

e scegliamo di utilizzare una funzione di esistenza lineare a tratti

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & \text{per } t \leq t_0 \\ \frac{t-t_0}{t_1-t_0} & \text{per } t_0 < t < t_1 \\ 1 & \text{per } t \geq t_1 \end{cases}$$

Otteniamo così per le funzioni di esistenza dei due siti considerati i grafici riportati nella Fig. 12. Per quanto riguarda l'esistenza congiunta dei due insediamenti si ottengono così i grafici riportati nella Fig. 13.

Si è così ottenuto non solo l'intersezione (o, rispettivamente, l'unione)

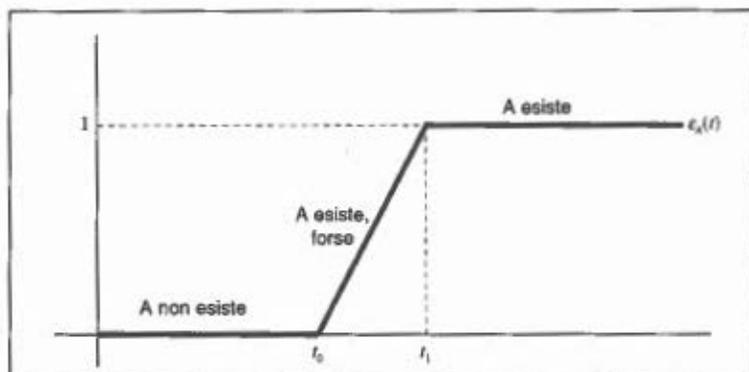


Fig. 10

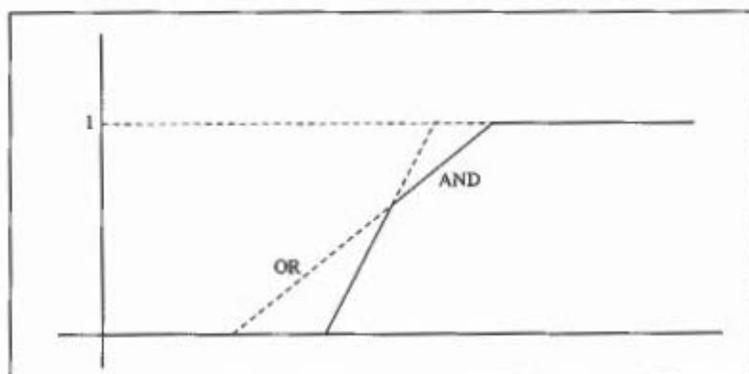


Fig. 11

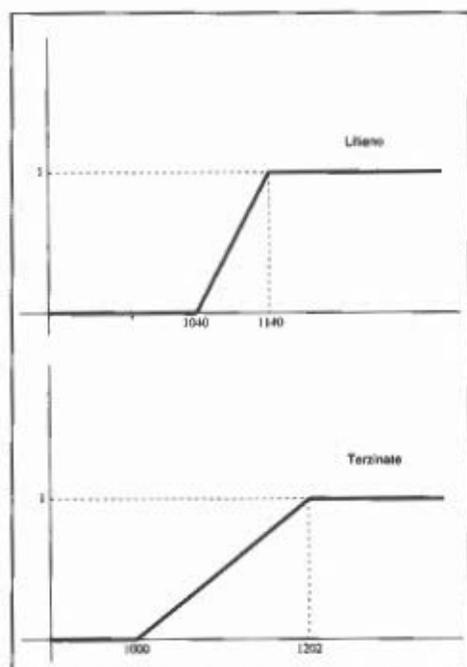


Fig. 12

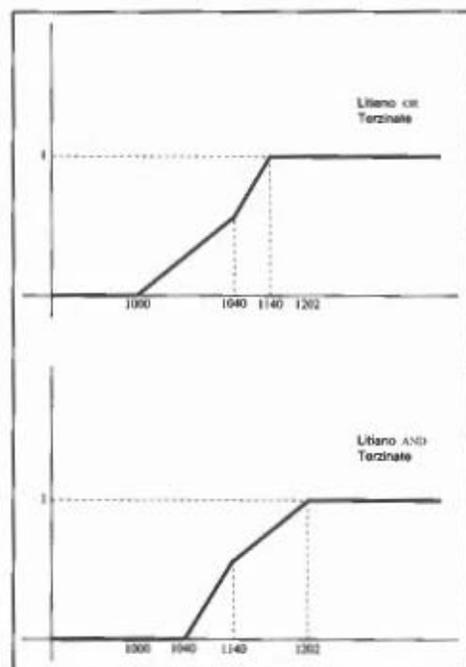


Fig. 13

degli ambiti cronologici di esistenza dei due siti considerati, ma anche il livello di affidabilità derivante a questo risultato da quelli inizialmente attribuiti ai singoli elementi.

L'utilizzo in un database relazionale di una struttura come quella sopra delineata può in linea teorica porre dei problemi delicati, in quanto lo rende privo del requisito di essere in "prima forma normale", ovvero di possedere soltanto attributi atomici (DATE 1986): a questo inconveniente si può porre rimedio non utilizzando l'attributo in questione per operazioni di *join* e verificando comunque che le operazioni compiute sul database sono logicamente ammissibili, come negli esempi che abbiamo illustrato. Si tratta di una avvertenza che nei casi pratici è del tutto superflua, ma che va comunque ricordata non potendosi giustificare le operazioni compiute sulla base della teoria dei database relazionali che, limitatamente a questo solo aspetto, non può essere applicata.

C'è piena consapevolezza che il punto delicato della metodologia sopra proposta sta nell'individuare la forma della funzione di esistenza da utilizzare e, più ancora, nel determinare  $t_0$ : si tratta di applicare a questo problema la metodologia scientifica che viene di solito utilizzata per l'individuazione (che comunque deve essere fatta) dell'ambito cronologico. Da un lato va sottolineato come questa determinazione possa avvenire solo in sede interpretativa e dunque quando, come nel nostro caso, il database è già completamente costituito e operativo; dall'altro, tale determinazione è resa possibile contestualizzando la vicenda di ciascun insediamento in rapporto alle influenze storico-ambientali dell'ambito culturale entro il quale si trova.

L'ipotesi di lavoro è, in conclusione, di utilizzare le "condizioni al contorno" di ciascun insediamento per operare tale determinazione ed arricchire così la conoscenza del sistema considerato nel suo complesso. Come sempre, la logica fornisce strumenti per trarre deduzioni corrette, ma non aiuta a stabilirne le premesse; nello specifico, si tratta di continuare a utilizzare gli strumenti scientifici consueti per rendere oggettiva una serie di valutazioni che, in quanto interpretazione, portano con sé elementi di soggettività; con in più la possibilità di garantire che si mantengano oggettivamente verificabili i risultati di una catena di passaggi, alcuni dei quali svolti in modo automatico da una macchina.

FRANCO NICCOLUCCI  
Università di Firenze  
Facoltà di Architettura

GIULIA PARDI  
Soprintendenza Archeologica  
per la Toscana

TOMMASO ZOPPI  
Firenze

## BIBLIOGRAFIA

- CAMMAROSANO P., PASSERI V. 1976, *I Castelli del Senese. Strutture fortificate dell'area senese-grossetana*, Milano (Siena).
- CAMMAROSANO P., PASSERI V. 1984, *Città borghi e castelli dell'area senese grossetana. Repertorio delle strutture fortificate dal medioevo alla caduta della Repubblica senese*, Siena 1984.
- DATE C.J. 1986, *An Introduction to Database Systems*, Reading, Addison-Wesley.
- GATRELL A.C. 1991, *Concepts of space and geographical data*, in D.J. MAGUIRE, M.F. GOODCHILD, D.W. RHIND (edd.), *Geographical Information Systems*, 1, 119-134, Longman Scientific & Technical, Harlow.
- PARDI G. 1995, *Gli insediamenti medievali nella contea Ardenghesca*, Tesi di Laurea, Università di Firenze, Facoltà di Lettere.
- PIERI S. 1969, *Toponomastica della Toscana meridionale e dell'arcipelago toscano*, G. Garosi (ed.), Siena.
- RICCI A. 1983, *La documentazione scritta nella ricognizione archeologica sul territorio: un nuovo sistema di schedatura*, «Archeologia Medievale», 10.
- YAGER R.R., FILEV D.P. 1994, *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*, New York, Wiley.
- ZADEH L.A. 1965, *Fuzzy sets*, «Information and Control», 8, 338-353.

## ABSTRACT

This contribution deals with the survey of medieval sites in Tuscany, carried out to record territorial, topographical, historical and archaeological data and to integrate sources of different kind. It studies the region corresponding to the ancient county owned by the Ardengheschi family, in the south of Tuscany.

Collected data are organized in a relational database; its most important tables contain administrative, geographical, environmental, historical and archaeological (descriptive and interpretative) data. Each database record is also geographically referenced by means of the coordinates of the central point of the corresponding site.

This organization makes it possible to investigate chronological and spatial relationships among sites. Some examples show the inadequacy of Euclidean distance and how it can be correctly defined to obtain coherent results; other deal with the definition of "contemporary" settlements, and it is shown how paradoxical results may derive from a "blind" use of database queries. To avoid such consequences, the use of "fuzzy logic" is proposed to define the lifetime of a site, especially if historical and archaeological records span over different periods; an application of fuzzy logical operators is considered in a final example.



## IL PROGETTO ARCTOS: VERSO UN GIS MULTIMEDIALE

### 1. INTRODUZIONE

Il progetto ARCTOS (Archeologia computazionale; metodologie di visualizzazione e di informazione archeologica su un campione siciliano) è stato intrapreso al CINECA (Centro Interuniversitario di Supercalcolo) in collaborazione con la Scuola Normale di Pisa e con il supporto dell'IBM SEMEA, allo scopo di ricostruire in tre dimensioni il paesaggio archeologico di Rocca di Entella (Palermo)<sup>1</sup>, tramite applicazioni GIS e multimediali. I risultati delle ricerche effettuate sul sito da parte del Laboratorio di Topografia antica della Scuola Normale hanno restituito numerose informazioni nella forma di dati cartografici, foto aeree e da pallone aerostatico, dati di scavo e di ricognizione di superficie. Non potendo procedere immediatamente a realizzare un data-entry sistematico di tutti i dati disponibili, in questa fase si è concentrata l'attenzione su una versione dimostrativa del progetto, evidenziando in particolar modo gli aspetti della visualizzazione tridimensionale delle informazioni relative al paesaggio archeologico (FORTE 1993). Gli obiettivi che ci si è posti in questo primo approccio metodologico sono stati i seguenti:

1. Costruzione del modello a partire dai dati cartografici;
2. Associazione al modello di dati vettoriali e raster (foto aeree);
3. Elaborazione del modello mediante il GIS GRASS (modulo SG3D) e il software per telerilevamento ER Mapper (utilizzato nella fase evolutiva del progetto);
4. Navigazione interattiva in 3D tramite tecniche di realtà virtuale non immersiva (sistema VR crystal eyes);
5. Visualizzazione e fruizione interattiva del modello in 3D attraverso il linguaggio VRML (Virtual Reality Modelling Language) di Internet.

Il fine ultimo dell'applicazione è stato quello di considerare Rocca di Entella come un parco archeologico virtuale tridimensionale, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche e della visualizzazione delle aree archeologiche note e ancora inesplorate; elaborando infine tutti questi dati in differenti livelli di informazione quali:

- dati geografici 2D e 3D (D.T.M., modelli digitali del terreno e curve di livello);
- dati vettoriali 2D (cartografia tematica, topografia dei siti, ecc.);

<sup>1</sup> Essendo questo contributo di ordine metodologico-informatico, per la bibliografia archeologica su Entella si rinvia al volume: G. NENCI (ed.), *Alla ricerca di Entella*, Pisa 1993, 9-14.

- dati raster (immagini, fotografie aeree; Fig. 1);
- databases.

Nel nostro caso è stato ricostruito un modello di paesaggio tridimensionale utilizzando i dati altimetrici e le immagini digitali dell'area (foto aeree). Questo percorso ha previsto i seguenti passi:

(dati di input)

- foto aeree a colori di Rocca di Entella (riprese risalenti all'estate 1981 e in scala 1:10.000, Fig. 1), foto da pallone aerostatico nell'area del SAS 3;
- foto di scavo;
- documentazione grafica vettoriale;
- documentazione cartografica (in scala 1:2.000)

(dati di output)

- cartografia digitalizzata da tablet;
- visualizzazione vettoriale dei dati;
- generazione del modello tridimensionale sia per il territorio di Rocca di Entella (D.T.M.), che per specifiche aree di scavo;
- texture mapping (Tavv. IX, a e X, b);
- elaborazione digitale e classificazione delle immagini (Fig. 2; Tavv. IX, b e X, a);
- visualizzazione interattiva del modello tridimensionale (Tav. IX, b).

## 2. IMAGE PROCESSING E CLASSIFICAZIONE DIGITALE

Il territorio di Rocca di Entella si presenta come uno spazio geomorfologico omogeneo di 60 ettari di estensione (GENNUSA 1988). È un territorio morfologicamente complesso con evidenti discontinuità che si attesta sui 500 mt circa di altitudine e che ha subito consistenti fenomeni di origine erosiva (Fig. 1). L'origine locale della maggior parte di elementi litici utilizzati in antico come materiali da costruzione ci rivela che l'attività di estrazione sulla rocca deve essere stata particolarmente intensa, soprattutto in relazione alle rocce da taglio. Piuttosto rilevante risulta l'impiego di conci gessosi soprattutto nelle strutture di età classica ed ellenistica (contrafforti, cinta muraria, edifici pubblici e di culto). Riferendoci in particolare all'edificio ellenistico rinvenuto nel SAS 3, ed interpretato come magazzino pubblico (Figg. 3-4), ne risulta paradigmatica la struttura architettonica, essendo l'edificio quasi "scolpito" nella roccia, e costruito limitando al minimo indispensabile l'utilizzo di materiale di alzata (cfr. la ricostruzione assonometrica in Fig. 4).

Date le immagini disponibili relative al territorio, e allo scopo di classificare e interpretare (FORTE 1992; FORTE 1993a) le fotografie aeree di Rocca di Entella, sono stati utilizzati i pacchetti software GRASS (GIS di pubblico dominio, disponibile in rete) ed ER Mapper (programma dedicato al telerilevamento). Infatti, prima ancora della ricostruzione e visualizzazione 3D, era importante acquisire informazioni digitali sull'immagine classificata



Fig. 1 – Fotografia aerea di Rocca di Entella.

in particolar modo per arrivare all'identificazione di aree archeologiche ancora interrate e inesplorate (informazione di tipo predittivo, cfr. CREMASCHI, FERRETTI, FORTE 1994; FORTE 1992)

Nel nostro caso nella fase di campionamento, cioè quando si leggono i valori digitali dell'immagine, è stato possibile isolare i livelli di riflettanza delle tracce agricole e, tramite un'analisi a soglie (cioè un campionamento che esclude determinati valori), escluderli dal contesto della classificazione (FORTE 1992). È doveroso ammettere che in questa fase, necessaria per una corretta classificazione, si siano perse anche altre informazioni utili all'indagine, poiché eliminando i livelli digitali corrispondenti ai lavori agricoli moderni si è dovuto rinunciare ad analizzare successivamente alcune aree dell'immagine. In ogni caso nel complesso si è rilevato che la perdita di informazioni è stata tutto sommato abbastanza contenuta, attestandosi attorno al 20% dell'intera immagine.

– Rettificazione dell'immagine. Un particolare modulo di GRASS consente di rettificare interattivamente l'immagine punto per punto, controllando il livello di deformazione; è possibile, ad esempio, selezionare punti noti o georeferenziati in cartografia e sovrapporli all'immagine verificandone la posizione. Il programma inoltre fornisce anche i dati statistici relativi alla correzione per permettere all'utente di valutare il grado di deformazione e l'eventuale perdita di informazioni nel corso della rettificazione dell'immagine.

– Elaborazione digitale (*image processing*), e cioè:

1. visualizzazione dell'istogramma digitale e delle informazioni statistiche del contenuto digitale;
2. equalizzazione dell'istogramma;
3. riduzione del rumore digitale (*image restoration*), allo scopo di rimuovere le tracce di lavori agricoli dall'immagine e di fornire un migliore livello di lettura generale;
4. esaltazione dei contrasti e marcatura delle discontinuità digitali e morfologiche (filtri di tipo passa-alto);
5. identificazione dei contorni per zone digitalmente omogenee (3x3 kernels) e per discontinuità cromatiche;
6. calcolo dell'indice di vegetazione (studio del comportamento spettrale della vegetazione) per valutare la riflettanza delle aree coperte;
7. analisi delle componenti principali per identificare il contenuto digitale delle classi più diffusamente presenti;
8. density slicing, cioè la suddivisione dei livelli di grigio dell'immagine digitale in un certo numero di intervalli, con il conseguente raggruppamento degli indici in un solo livello a cui viene assegnato un nuovo numero di indice. Questo procedimento è servito per restringere il campo digitale utile alla classificazione della fotografia aerea;
9. elaborazione a pseudo-colore, ottenuta sostituendo ai colori originali della fotografia aerea altri colori in quantità corrispondente alle aree classificabili e presumibilmente interpretabili. Questo processo, alterando il contenuto cromatico originale, può consentire la lettura di aree dell'immagine che in origine apparivano omogenee e non significative all'analisi;
10. classificazione digitale, cioè identificazione digitale di classi interpretabili di contenuto omogeneo. Sulla base dei risultati del trattamento digitale è stata elaborata una nuova immagine con differenti classi cromatiche rispetto all'originale.

Questa classificazione ha fornito un importante contributo cognitivo; infatti, nonostante le notevoli difficoltà di lettura della fotografia aerea determinate principalmente dai lavori agricoli e dalle colture presenti, è stato possibile identificare con ogni probabilità altre aree archeologiche non ancora esplorate e sostanzialmente ignote. Se osserviamo la Tav. IX, a-b e Fig. 2 possiamo notare una serie di lineazioni ortogonali che marcano l'area con evidente discontinuità.

### 3. IL SOFTWARE ER MAPPER

La seconda fase di sviluppo del progetto, relativamente al trattamento digitale e alla classificazione delle immagini, è stata completata con il software ER Mapper, uno dei più potenti programmi di telerilevamento in circo-



Fig. 2 – Classificazione digitale della foto aerea: le aree indicate corrispondono nella risposta digitale a strutture archeologiche presumibili. Al centro, nel riquadro, si evidenzia l'area classificata digitalmente rappresentata da marcate linee, probabilmente riferibili ad edifici a pianta ortogonale.



Fig. 3 – L'edificio ellenistico interpretato come granaio pubblico.

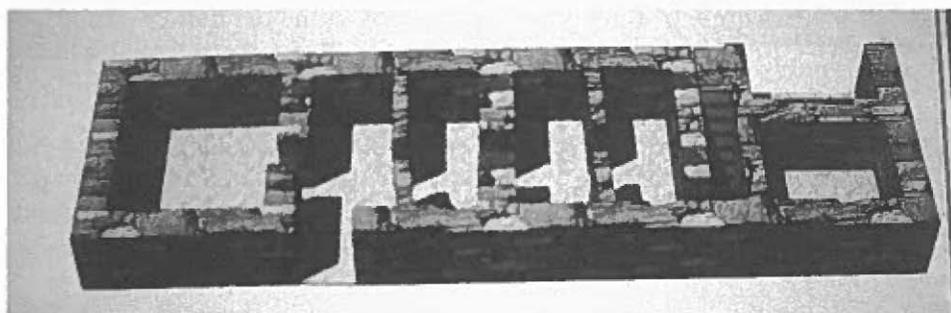


Fig. 4 – Ricostruzione assonometrica tridimensionale del granaio pubblico indagato nel SAS 3.

lazione. Partendo da questa necessità è stato avviato uno specifico programma di *educational license* di ER Mapper, sui progetti di ricerca europei Icarus ed in collaborazione con il CINECA e l'AIACE (Associazione Internazionale di Archeologia Computazionale), allo scopo di intraprendere, a costi quasi azzerati, programmi didattici e di ricerca per il telerilevamento in archeologia.

ER Mapper costituisce uno dei più avanzati sistemi per il trattamento digitale di immagini da satellite, radar, geofisiche e sismiche, fotografie aeree ed immagini pancromatiche. In particolare si possono creare algoritmi complessi per l'elaborazione dedicata delle immagini e modelli tridimensionali complessi che integrino i DTM con i dati satellitari. L'ambiente di sviluppo risulta particolarmente idoneo, e *user friendly*, per incorporare tutti i dati di tipo geografico, inclusi database, che possono essere visti, analizzati, interrogati sulla base anche di criteri di selezione multivariata. Le immagini raster possono inoltre essere integrate con dati vettoriali e applicazioni GIS (GRASS e ARC-Info). Le applicazioni di telerilevamento più importanti che gestisce ER Mapper sono le seguenti:

- Visualizzazione 3D dei dati
- *Crop monitoring*
- Integrazione di dati raster, radar e vettoriali
- Gestione e controllo delle risorse forestali
- Integrazione GIS
- Produzione di mappe
- Monitoraggio del terreno
- Esplorazione minerale e geomorfologica
- Analisi sismiche
- Elaborazioni e analisi radar
- Monitoraggio dell'acqua e degli indici di umidità

#### 4. GIS E VISUALIZZAZIONE

Dopo aver elaborato la fotografia aerea digitalizzata, è stato possibile integrare tutti i dati di tipo raster con il D.T.M. (modello digitale del terreno) e gli altri dati vettoriali (curve di livello e cartografia); alla fine è stato elaborato il texture mapping dell'immagine sul modello 3D. Per ottenere la migliore visualizzazione tridimensionale ed elaborazione dei dati è stato utilizzato il GIS GRASS, acquisibile dalla rete senza alcun costo aggiuntivo. In questo modo in un unico sistema sono stati inseriti e descritti tutti i tipi di dati (raster, vettoriali, geografici).

La scelta di operare con GRASS come GIS, al di là del costo zero per l'installazione del programma, è stata fatta per sperimentare uno dei più potenti e noti pacchetti GIS in circolazione (40 anni uomo per la realizzazione), e per sfruttare al meglio le caratteristiche computazionali della stazione gra-

fica Indigo 2 Extreme (SGI), sulla quale è stato effettuato il lavoro.

Interpolando i dati vettoriali (nella fattispecie le curve di livello digitalizzate), è stato generato un modello tridimensionale nel viewer di GRASS SG3D, che comprendesse il modello a *griglia di ferro* (wire frame), e il modello completo di texture (fotografia aerea) e di rendering (cioè ombreggiato virtualmente per la visualizzazione tridimensionale).

Il modulo SG3D è stato progettato per visualizzare superfici di dati in tre dimensioni, utilizzando GRASS su piattaforme Silicon Graphics; i requisiti hardware sono lo z-buffer e l'emulatore grafico a 24 bit. SG3D richiede un file raster da utilizzare come modello altimetrico (nel nostro caso è stato creato dal programma una volta interpolate le curve di livello), e un altro file raster come colore di superficie (nel nostro caso la foto aerea digitalizzata). Se un vero file di modellazione altimetrica produrrà superfici di maggiore realismo, la creatività degli utenti può essere stimolata dal rappresentare altri tipi di dati nella dimensione verticale. Dal momento che un modello tridimensionale a griglia di ferro può essere generato molto velocemente, la visualizzazione dello stesso può essere completamente interattiva, così che si può percepire in tempo reale ogni variazione di campo, di prospettiva e di navigazione. Il controllo della griglia e la risoluzione dei poligoni del modello consentono all'utente di rifinire ulteriormente la velocità di rigenerazione e i dettagli del modello stesso. La misurazione in scala dei valori altimetrici (da 1.0e-7 a 1.0e+7) permette di poter utilizzare vari tipi di dati per la dimensione verticale.

Nell'ultima versione SG3D prevede un'illuminazione virtuale interattiva, la selezione di sovrapposizioni vettoriali di dati (*see What's here*), una più facile collocazione del viewer, un'opzione per salvare dati e ambientazioni in un database di GRASS (3D. view), potenti capacità di animazione, riproduzione di oggetti in scala, un'opzione per visualizzare i dati longitudinali e latitudinali sovrapposti a una sfera, la capacità di salvare le immagini in formato IRIS rgb; infine la possibilità di visualizzare un'immagine renderizzata, mentre si aggiusta la posizione del viewer.

L'interfaccia di navigazione consiste in un pannello di movimento che controlla la posizione dell'utente nello spazio 3D del modello e il fattore Z di scala della superficie. Inoltre un pannello di controllo seleziona il tipo di texture di superficie sul modello: è possibile modificare la risoluzione della griglia e dei poligoni, visualizzare il colore, le superfici di tipo wire (a griglia) o Gouraud, con un'ombreggiatura di superficie, e tutti i dati altimetrici. Mediante il pannello di controllo si visualizzano i layers e le informazioni vettoriali concernenti la cartografia e i siti archeologici.

Tramite SG3D sono stati riprodotti tridimensionalmente l'intero territorio di Rocca di Entella e dettagliate porzioni di scavo, quali ad esempio il SAS 3, concernente l'indagine su un granaio pubblico di età ellenistica (Tav. X, b).

## 5. LA NAVIGAZIONE MULTIMEDIALE

Le applicazioni di realtà virtuale, di GIS, e gli esperimenti di visualizzazione scientifica in archeologia, possono concernere differenti campi disciplinari (FORTE 1993a; FORTE 1995): in particolar modo le analisi inter-siti ed intra-sito, le ricostruzioni architettoniche (Fig. 4), le navigazioni interattive nel paesaggio archeologico; il livello di modellazione dipende dalla qualità e quantità di dati disponibili (FORTE 1993b; FORTE 1995).

Le fasi di elaborazione e di simulazione risultano particolarmente utili a scoprire ed esaltare le caratteristiche geomorfologiche e archeologiche del paesaggio in connessione con la sua evoluzione e con gli insediamenti antichi. Nel caso di Rocca di Entella il nostro fine principale è stata la visualizzazione, anche interattiva, di tutti i principali dati e informazioni di tipo GIS.

Nel corso del Convegno ho mostrato un filmato realizzato in computer grafica concernente la navigazione virtuale nel paesaggio archeologico di Rocca di Entella. L'elaborazione dinamica riassumeva, in sequenze registrate e in percorsi interpolati dal computer, i differenti aspetti dell'esperimento mostrando nello spazio tridimensionale i molteplici livelli informativi del paesaggio archeologico, e cioè:

- il modello altimetrico tridimensionale (D.T.M.);
- i dati vettoriali (cartografia, siti archeologici esplorati, curve di livello, ecc.);
- il texture mapping della fotografia aerea relativa al territorio di Rocca di Entella;
- il texture mapping della fotografia aerea classificata digitalmente a falsi colori con ER Mapper (informazioni predittive sui siti archeologici ancora inesplorati).

Il principale risultato della navigazione virtuale è quello di poter esplorare uno spazio tridimensionale attraverso infinite prospettive e, nella fattispecie, di verificare le condizioni di giacitura delle aree archeologiche note e non, sulla base della risposta digitale evidenziabile dalle foto aeree, e del rilievo altimetrico reale e virtuale (accentuando il fattore Z di scala è possibile apprezzare caratteristiche morfologiche altrimenti non cognibili) visualizzabile dal modello. Questo approccio metodologico ci consente di ricreare in laboratorio condizioni di esplorazione non praticabili altrimenti, con la possibilità di verificare passo passo ipotesi di lavoro e sperimentazioni.

Nel progetto di creare un parco archeologico virtuale si potrebbe prevedere la ricostruzione puntuale delle strutture archeologiche scoperte sul modello 3D del paesaggio, visualizzando l'evoluzione insediativa dei siti diacronicamente. Ben oltre l'elevato livello significativo dell'esperimento, quale applicazione di didattica scientifica, la costruzione virtuale di un parco archeologico può consentire, con elevata precisione, di trarre dal modello informazioni predittive sulle future pianificazioni di scavo e su svariate ipotesi interpretative.

La prima fase del progetto ARCTOS si è conclusa con un esperimento di navigazione interattiva attraverso un'applicazione di realtà virtuale non immersiva. Mentre nella realizzazione di video in computer grafica la navigazione viene registrata tipicamente frame by frame (25 frames per secondo), nelle applicazioni di realtà virtuale si usano specifici strumenti di visualizzazione interattiva in tempo reale; cioè a qualunque azione dell'utente corrisponde un'immediata risposta nello spazio virtuale tridimensionale.

Nel nostro esperimento abbiamo utilizzato il sistema di visualizzazione stereoscopica VR Crystal Eyes connesso a un monitor con frequenza di 120 hz. Il sistema consta di un paio di occhiali a visione stereoscopica dotati di tracking a ultrasuoni con sei gradi di libertà, che consente di riconoscere i movimenti della testa dell'utente e, di conseguenza, i cambiamenti delle prospettive di visualizzazione e dei punti di vista. Ciò che vede l'utente è un'immagine stereoscopica, del tutto simile ad un ologramma, che risulta virtualmente proiettata al di fuori del monitor.

L'esplorazione tridimensionale interattiva avviene con i movimenti del capo che agiscono appunto sul sistema e stimolano la navigazione virtuale senza l'ausilio di altri strumenti di visualizzazione (HMD, guanti, joystick, ecc.). Questa applicazione di realtà virtuale definita *desktop*, cioè non immersiva, rispetto all'utilizzo ad esempio di strumenti HMD, è risultata particolarmente idonea alle finalità del nostro progetto perché mantiene inalterata l'elevata qualità grafica di visualizzazione, cosa che non sarebbe stata possibile con altri strumenti di indagine; inoltre il sistema si distingue per costi estremamente contenuti, che lo rendono di facile diffusione in campo archeologico.

A questo si aggiunge il fatto che il VR Crystal Eyes System, interfacciato con GRASS, rende possibile una visualizzazione scientifica intelligente, selezionando tutti i dati utili alla ricerca, e mostrando uno spazio virtuale complesso da esplorare in modo interattivo.

Come ulteriore sviluppo delle sperimentazioni di realtà virtuale è stato utilizzato il software EXPLORER (per Silicon Graphics) che implementa due azioni di esplorazione 3D: una di tipo *walking*, e una di tipo *fly*, entrambe selezionabili dal pannello di controllo del programma.

## 6. IL FUTURO DI ARCTOS: LA MULTIMEDIALITÀ IN INTERNET E IL VRML

Il progetto ARCTOS si può definire un esperimento metodologico di visualizzazione tridimensionale interattiva concernente le informazioni del paesaggio archeologico (Fig. 5). La scelta di registrare i dati dal sito Rocca di Entella ci ha permesso di analizzare un set di informazioni piuttosto complesso, in uno spazio geomorfologico chiuso, isolato, con dati archeologici pluristratificati. A questo scopo sono state utilizzate tecniche GIS integrate con applicazioni di realtà virtuale, in modo da completare l'informazione

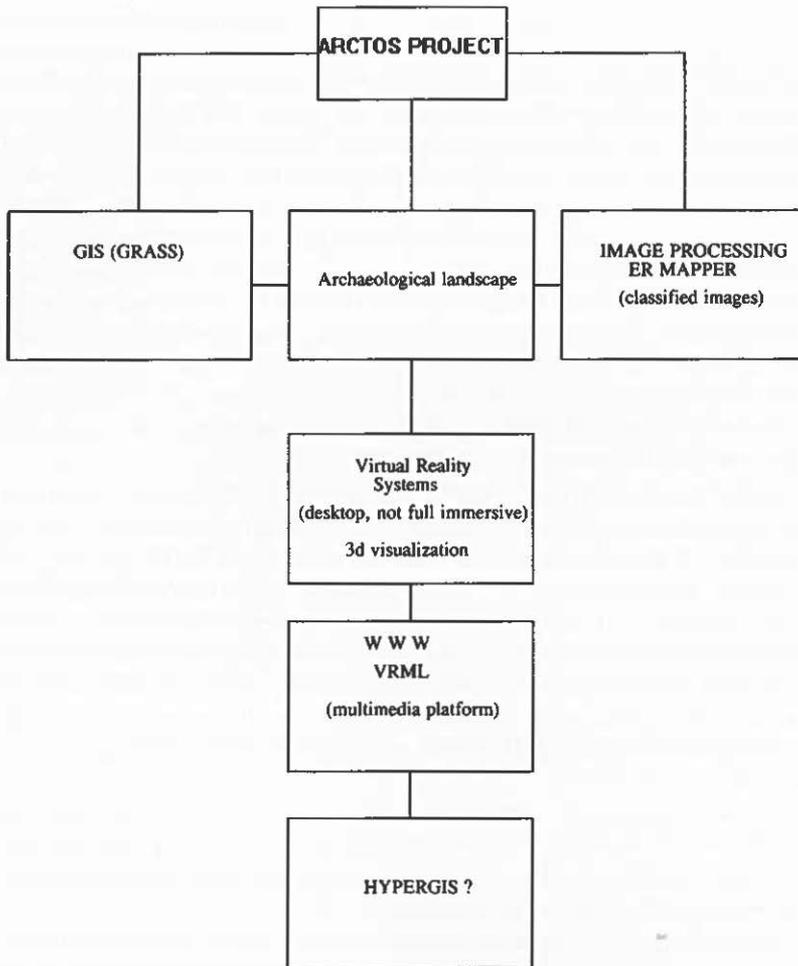


Fig. 5 – Schema metodologico del progetto ARCTOS.

cognitiva dei dati, stimolando la percezione fisica nello spazio virtuale 3D. Infatti la rappresentazione del contenuto dell'informazione scientifica dei dati dipende specialmente dalla loro visualizzazione; se il ricercatore-utente può interagire con modelli di visualizzazione, egli può acquisire una migliore qualità e quantità delle informazioni-cognizioni in tempo reale.

Nel campo dei sistemi di visualizzazione interattiva dei dati abbiamo sperimentato il Crystal Eyes VR System, un sistema di *tracking* a ultrasuoni con sei gradi di libertà capace di presentare una vista stereoscopica e dinamica del modello 3D. Il sistema, collegato ad una stazione grafica Indigo 2 Extreme (SGI), è un sistema di realtà virtuale desktop molto efficace perché

mantiene particolarmente elevato il livello di risoluzione grafica. L'utente percepisce una piena visione stereoscopica e può navigare attraverso spazi e modelli tridimensionali, senza altre strumentazioni aggiuntive, quali mouse 3D o sistemi HMD. La sperimentazione del sistema sul modello del paesaggio archeologico ha contribuito significativamente ad un'elevata percezione cognitiva dell'area in esame, confrontando i dati dell'immagine originale (foto aerea) di Rocca di Entella sia con il DTM (modello digitale del terreno), sia con la medesima immagine una volta classificata digitalmente a falsi colori (con il software ER Mapper).

L'interazione con il sistema stereovisivo VR Crystal Eyes suggerisce all'utente-navigatore immagini proiettive del territorio e delle singole aree in esame, consentendo una significativa verifica "sul terreno" dei percorsi di ricerca. La scelta poi di implementare applicazioni di realtà virtuale non immersiva ci è parsa particolarmente felice poiché è rimasta inalterata l'elevata qualità grafica del modello (a differenza di visualizzazioni su caschi o HMD), e nel contempo si è lasciato l'utente libero di agire sul campo visivo, senza pesanti vincoli di strumentazioni ottiche, quali i caschi o i guanti.

Sulla base di questi risultati si potrebbe arrivare alla realizzazione di un parco archeologico virtuale, una piattaforma multimediale qualificabile in uno spazio 3D all'interno del quale installare nodi ipertestuali associati a informazioni e dati bidimensionali e tridimensionali. A completamento di questa fase inseriremo i nostri modelli virtuali su Internet (WWW, World-Wide-Web) in modo che siano pienamente accessibili e navigabili.

Alla III Conferenza Internazionale sul WWW, *Technology, instruments and applications* (Darmstadt, 10-14 aprile 1995), è stato presentato un nuovo linguaggio grafico, il Virtual Reality Modeling Language (VRML) che, per la computer grafica tridimensionale, rappresenta un linguaggio analogo all'attuale HTML, ambiente in cui tipicamente inseriamo le immagini per la rete. Il VRML è un linguaggio descrittivo di oggetti tridimensionali, scritto in codice ASCII, derivato dall'Open Inventor (SGI) con il tag "LINK", concepito per sviluppare simulazioni interattive multitutente.

I linguaggi HTML e VRML sono complementari: dalla navigazione dei testi è possibile passare negli spazi tridimensionali e vice versa. Webspaces è l'implementazione del VRML da parte di Silicon Graphics (URL è <http://www.sgi.com/Products/WebFORCE/Webspacej3>). Quando seguiamo un nodo, connesso con lo spazio VRML, il browser apre Webspaces all'interno della navigazione 3D, finché non troviamo un nodo-collegamento nello spazio 3D associato a un altro documento multimediale. Webspaces sulle workstation Indigo è molto facile da usare: gli oggetti possono essere ruotati, spostati e osservati in tutte le viste.

Lo standard VRML descrive un ambiente 3D costituito da oggetti "intelligenti", di cui sono note la posizione nello spazio e le relazioni rispetto ad altri oggetti che possono essere situati anche in un ambiente diverso dal loro.

A differenza dei normali ambienti virtuali, che richiedono una potenza di elaborazione notevole per il *rendering* di una scena, il VRML specifica per il momento un livello di dettaglio più elementare. I requisiti minimi perché un browser VRML possa funzionare in maniera accettabile sono un link Internet a 14.4 kBps, un Macintosh dotato almeno di processore 68020, 8 di RAM e monitor a 256 colori, oppure un PC 486DX33 con la stessa quantità di RAM e scheda VGA. I Browser VRML possono venire utilizzati sia come applicazioni autonome, che come *helper* di un browser normale.

Come le versioni preliminari di ogni nuovo linguaggio, l'attuale implementazione del VRML non può certo essere considerata un punto di arrivo. Uno dei limiti più evidenti è che attualmente il linguaggio non consente alcuna forma di interazione con altri ambienti, salvo la possibilità di associare un link. Tra i fattori negativi c'è da considerare anche la carenza di ambienti di sviluppo adeguati; infatti la creazione di un ambiente virtuale al momento attuale richiede hardware costoso. È evidente che la rete virtuale potrà crescere velocemente solo quando i *tool* di sviluppo saranno alla portata di tutti gli utenti. Entro breve comunque, la maggior parte dei programmi di rendering tridimensionale dovrebbe comunque offrire il supporto per lo standard VRML ed ambienti di sviluppo specifici che non richiedono piattaforme Unix.

Un'ulteriore difficoltà deriva dal modo attraverso il quale il linguaggio VRML specifica i siti. Al momento attuale la navigazione virtuale attraverso il Web si svolge con le consuete modalità: bisogna navigare a vista oppure utilizzare un motore di ricerca che può essere più o meno aggiornato. Nelle intenzioni dei suoi creatori il linguaggio VRML dovrebbe dare agli utenti della rete una sensazione di immersione, consentendo di navigare di sito in sito come se ci muovessimo all'interno di spazi architettonici. Una risposta a questo genere di problemi potrebbe venire da Java, il linguaggio proposto da Sun Microsystem (<http://java.sun.com>). In futuro il linguaggio VRML potrebbe venire utilizzato per descrivere l'aspetto degli oggetti mentre Java potrebbe servire a descrivere quello che gli oggetti stessi possono fare.

Al di là comunque delle valutazioni attualmente preliminari che possiamo fare, non vi è dubbio che, per quanto concerne il problema della visualizzazione delle informazioni archeologiche, il VRML costituisca un orizzonte cognitivo estremamente promettente e di notevole potenzialità. La facoltà che ci viene offerta di poter interagire su un modello archeologico nelle tre dimensioni attraverso Internet, ci prospetta nuovi spazi di analisi, di ricerca, di discussione e di divulgazione. Non si tratta di immaginare, infatti, una pura e semplice esplorazione geometrica di un modello, ma, ben di più, di organizzare l'informazione attraverso "scatole" cognitive in 3D, in cui ad ogni elemento tridimensionale possono essere associate, a livello multimediale, altre informazioni tridimensionali o bidimensionali, immagini, testi, databases, e persino filmati e animazioni.

Personalmente ritengo che tutto questo porterà ad una nuova alfabetizzazione della rete e a un'integrazione di alcuni sistemi informativi di largo uso, quali i GIS ad esempio, con il VRML. Riferendomi agli esperimenti di visualizzazione precedentemente citati sull'archeologia del paesaggio, possiamo immaginare che già nel prossimo futuro avranno una ricaduta particolarmente significativa sul linguaggio VRML.

Nel momento in cui poi sarà possibile adattare facilmente i modelli archeologici elaborati in computer grafica con il VRML, potremo davvero disporre collettivamente di una gigantesca piattaforma di informazioni e di mondi archeologici virtuali. In questo scenario, le sperimentazioni sui modelli e la fruizione dei medesimi potranno essere effettuate da numerosi utenti contemporaneamente e da differenti postazioni costituendo in questo modo una sorta di *koiné* archeo-tecnologica.

Questo potente linguaggio grafico apre nuove straordinarie possibilità per elaborare dati GIS e multimediali in spazi tridimensionali: tutti i dati, inclusi i database, potranno essere osservati e visualizzati attraverso nodi iperspaziali o ipermediali: potremo forse parlare in futuro di iperGIS?

MAURIZIO FORTE  
CINECA-AIACE  
Bologna

#### RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutto il personale del Laboratorio di Visualizzazione Scientifica del CINECA di Bologna per il fondamentale apporto prestato sul progetto ARCTOS, in particolare modo il dr. Luigi Calori e l'ing. Antonella Guidazzoli. Per la fase di post-produzione video effettuata sulle sequenze di computer grafica (*Rocca di Entella: archaeological landscape navigation*) si ringrazia la KARMA Video s.r.l. di Zola Predosa (Bologna). Per il programma di Educational License di ER Mapper, si ringrazia il sig. Giovanni Vincenzi della GMSL di Milano.

#### BIBLIOGRAFIA

- CREMASCHI M., FERRETTI A., FORTE M. 1994, *Tecniche digitali e di visualizzazione in geoarcheologia: il caso di studio della terramara S. Rosa di Poviglio (RE)*, «Archeologia e Calcolatori», 5, 305-316.
- FORTE M. 1992, *Archeologia e tecniche di eidologia informatica*, «Archeologia e Calcolatori», 3, 1992, 37-76.
- FORTE M. 1993, *Un esperimento di visualizzazione scientifica per l'archeologia del paesaggio: la navigazione nel paesaggio virtuale*, «Archeologia e Calcolatori», 4, 137-152.
- FORTE M. 1993a, *Image processing applications in archaeology: classification systems of archaeological sites in the landscape*, in T. MADSEN, I. SCOLLAR (eds.) 1993, *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Aarhus, 53-61.
- FORTE M. 1993b, *Il paesaggio archeologico al computer*, «Le Scienze», June, 46-54.
- FORTE M. 1995, *Archaeology and scientific visualization: the case study of a terramara*, in

*Interpreting Space: GIS and Archaeology, International Conference "The impact of Geographic Information System on Archaeology: a European perspective", European University Centre for Cultural Heritage, Ravello, 1-2 october 1993, Taylor & Francis.*

GENNUSA I. 1988, *Lineamenti geomorfologici e geologici della Rocca di Entella e delle aree limitrofe*, «Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa», Pisa.

#### ABSTRACT

The ARCTOS project (Visualization and Virtual Reality methodologies for a cognitive system on a archaeological Sicilian pattern) has been carried out from CINECA (Interuniversity Consortium for Supercomputing Applications) and from Scuola Normale Superiore (Pisa, Laboratory of Ancient Topography) with the support of IBM SEMEA, for the study of the archaeological site of Rocca di Entella (Palermo). This is a very important archaeological multistratified area dating back from Neolithic age to the medieval period; in particular 13 archaeological areas have been investigated in the last years. We can describe Rocca di Entella as a separate geomorphological space 60 ha wide; for any chronological phase the structural areas discovered show different features concerning buildings, materials, functions, uses. Having to analyze so complex information layers, the research trend was to process 2D and 3D data so as to visualize the scientific content; in particular it was important to allow the users to move in real time into virtual spaces, such as archaeological landscapes. We think that the interactive 3D perception is fundamental for our cognitive system because it allows us to understand all the features of the archaeological landscape, the relationships inter-sites and intra-site.

## THE KNOWLEDGE OF TERRITORY IN ANCIENT CIVILIZATIONS TEMPLES AND SACRED SITES AS PREHISTORICAL GEODETIC NETWORKS?<sup>1</sup>

### 1. INTRODUCTION

We are concerned with a period of history to be approximately identified with a phase, during which the transition occurred from autarkic villages towards city-state organization. This required, as a pre-requisite, some adequate knowledge of territory. This was essential for travel, migrations, commerce, power, defense, economic and military expansion. Moreover, whenever society and economy were not yet suitably organized, migrations were sometimes a strict necessity, in order to get rid of natural catastrophes, as a fundamental aspect either of the fight against starvation or for survival.

Sometimes the landscape was suited for an easy orientation (e.g. such as in the Etruscan territory, and whenever some reasonably dense network of natural hills, or reference features, allowed for an easy orientation). Under other conditions, however, they lacked adequate reference points, and the unique reliable help could derive only from astronomical observations. This was important for sailing among islands (rather than for bordering coasts). But, it was also a fundamental difficulty when moving within some large, almost totally flat, land, with a very poor human occupation of territory. In all such cases, the large rivers, whenever available, were the unique constraint, as they divided the territory into natural, although very wide, sub-regions. Orientation for travellers was in any case difficult, and often critical for survival.

The problem is still up-to-date in a few areas of the world. For example, we basically don't know the way by which Polynesians oriented themselves in the XVIII century, when James Cook first explored the Pacific ocean. Even nowadays, we don't know the way by which Bedouins orient themselves in Sahara, or Eskimoes in polar regions, etc. Understanding such items is fundamental for solving archaeological and proto-historical problems.

In early Mesopotamia, or in Egypt, or in Ionia, when no track existed, and the population density was extremely low, and mainly during the migrations for occupying the islands in the Aegean sea, the natural reference points in the landscape were eventually very limited, or sometimes even absent. Therefore, they strictly needed for some early "geodetic network", suitable for orientation, and that had to be as simple as needed for being used by any person having some adequate, although limited, training.

<sup>1</sup> A more extensive account of this study, within the more general frame of archaeoastronomy, is given by GREGORI, GREGORI 1996.

The inferences guessed here below are that: (i) in the Aegean Sea, the natural reference points of such a "geodetic network" were the islands themselves; (ii) in western Anatolia and Greece, they set up a system of temples and sacred sites; (iii) in Egypt, maybe, there was a network of obelisks (and of other landscape elements, such as pyramids); (iv) in other areas, maybe, there was something equivalent, that has to be suitably assessed.

A guess, however, is a mere speculation, until an "experimental" proof, based on observational evidence, is suitably achieved. The purpose of the present contribution is to invite archaeologists and historians to prepare suitable data sets, by which it is possible to carry out one such rigorous check, aimed either at confirming or at denying such a hypothesis.

Differently stated, computer applications in archaeology are usually concerned with data handling dealing with information (i) either collected within a museum, or (ii) found during one particular excavation of a specific site, or (iii) when surveying all findings related to some archaeological area (an ancient town or so). The present concern is rather devoted to investigating the eventual apparent rules that determined in proto-historical times the choice of the sites where some settlements, or religious buildings and their respective dedications, or obelisks, etc. were located. That is, we propose to assess the large-scale pattern or rationale of the organization of an ancient territory. The purpose is to investigate whether they eventually set up some actual "geodetic" network suited for traveller orientation.

Some already available observational evidence, and some relative proposed interpretation that we found in the literature, are first presented, dealing either with the Anatolian-Aegean-Greek world, or with ancient Egypt. Then, a short account and discussion is given concerning the basic methodology of our proposal.

The analysis here proposed can be considered as a concrete example of "cognitive archaeology" (refer to the contributions by DORAN, GARDIN and ORLANDI in this volume). Cognitive archaeology, however, has a much wider perspective and ambition than either the simple problem of orientation alone, or the knowledge of territory. On the other hand, a key-aspect and requirement of the scientific method is the application of Ockham's razor<sup>2</sup>, that, in general, can be practically used only whenever problems are reduced and simplified as much as possible, so that they deal only with a few basic, although self-contained, items. Knowledge proceeds by small subsequent steps

<sup>2</sup> «Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem», or «Frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora» – William of Ockham (or Occam) «venerabilis inceptor», «doctor invincibilis», born close to the end of the XII century, dead in 1349 or 1350, Franciscan. Occamism can be considered as an actual precursor of Galileo – Refer to the competition between the Dominican and the Franciscan theological schools. "Simplicity" in science had relevant implications and debates in the history of science. It finally lead to the present formulation of variational principles, a most important logical tool either in classical, or in relativistic, or in quantum physics. Refer e.g. to Bochner (1966), Enriques and de Santillana (1936), Kline (1972), and Yourgren and Mandelstan (1968).

and improvements. The knowledge of territory is, perhaps, one such simple self-contained fundamental "technical" aspect, a pre-requisite for developing a civilization. If we afford in understanding the rules that governed such a phenomenon in proto-historical societies, we have thus defined a starting frame within which more ambitious improvements and refinements can be attempted, at a second time, on a sound grounding.

## 2. THE NEEDED DATABASE

We want to encourage archaeologists and historians to prepare a list, as complete as possible, of all temples and sacred sites that existed in antiquity within some given area of a limited extension, and, in the case of Egypt, a list of all sites where it is known that either an obelisk or a pyramid was erected.

In general, we refer both to existing archaeological relics, and to the as yet unexcavated sites. There is no formal need for getting a strictly exhaustive list, in the fact that our proposed algorithm can effectively work even whenever some fraction of the original information is eventually lost.

The area of interest ought to be reasonably wide, of the size e.g. either of western Anatolia plus Aegean Sea and Greece, or of Magna Grecia, or of Egypt, or of Mesopotamia, or of some area of comparable size in Central America, etc.

Every datum should specify the latitude and longitude of every listed site. Moreover, also the following data are most important, whenever available: (i) the God to which that site was dedicated; (ii) the astronomical orientation of the building; (iii) the location within the building, and/or eventually also in its surrounding area, of the different decorations, every one with its own mythological implications.

All such information will be important for checking *a posteriori* the reliability of our proposed interpretation. Whenever available, it is therefore extremely important to record all this, even when the information is not completely certain, as its reliability can also be checked *a posteriori*. In fact, in general, the database ought to be as complete as possible, as the more exhaustive it is, the more detailed will be the historical information that can be derived by it. Nevertheless, our proposed algorithm can provide with some objectively reliable results depending on the actual availability and precision of the prime input from observations. An algorithm should never provide with more "physical" information than what is objectively contained within its observational data input: a numerical result always comes out from a computer, but its actual "physical" significance must always be critically and severely considered.

Concerning the astronomical orientation of buildings, it appears that a very frequent method that is commonly applied by archeologists is by means of the compass. This is definitely unacceptable, as it often introduces large errors, particularly in volcanic areas (and in the ancient Greek, Etruscan and Roman worlds volcanic areas are very frequent).

### 3. THE EVIDENCE WITHIN THE GREEK WORLD

The already available observational evidence supporting our proposal relies on a study by RICHER (1989). His concern, however, is limited to religious implications. We reinterpret his inferences in terms of the practical application by ancient travellers to the orientation problem.

Greek temples and sacred sites were located according to some apparently unexplained rationale, independent of the location of villages or towns. Richer (*ibidem*) claims that they conventionally defined, within some given area of interest for their travels, one *omphalos*-site, and an azimuthal frame of reference centred on it, and that was fixed with respect to the Earth surface.

Suppose to divide the full circle of  $360^\circ$  into 12 sectors  $30^\circ$  each: instead of using degrees for expressing angles, one can thus use 12 symbols, almost like hieroglyphs, for expressing either one of such 12 azimuthal sectors. Such hieroglyphs were well known: the zodiacal signs.

The Zodiac was formerly defined for measuring a celestial longitude. However, in principle, the zodiacal signs could be used also for measuring every azimuthal angle other than celestial longitude. Essentially, this is the same as we do nowadays, by which we use a unit (degree of angle) for expressing the size of any given angle, whether it is a celestial longitude or the measure of the slope of a hill, or else. Such ancient people used a  $30^\circ$  unit, and instead of using a figure (e.g. as we do by using 25 for specifying an angle of  $25^\circ$ ), they used a hieroglyph, that had the same purpose of our figure 25.

According to Richer (*ibidem*), this was made by the ancient Greeks. Every town was thus associated with one given azimuth, or hieroglyph, identified with the Zodiac sign associated with its azimuth, reckoned with respect to the given and conventionally pre-chosen *omphalos*: as a matter of fact, the earliest coins had no name of the town that issued them, rather they were recognized only by the zodiacal sign conventionally assigned to that town<sup>3</sup>.

Moreover, the dedication of a town or of a temple was according to the association of its specific zodiacal sign with a given God, according to their

<sup>3</sup> Some information about zodiacal signs is as follows. Their definition in the present form apparently dates back to the VIII century BC (FAGAN 1951, and GLEADOW 1968, quoted by RICHER 1989). The name "Zodiac" derives from "animals", as the largest part of constellations was represented by animals. The origin of their symbols, however, as we know them at present, is unknown. They seem to appear first within some Greek manuscripts of the late middle ages (Encyclopedia Britannica, "Zodiac", ed. 1962). The indication of the sign that has to be associated with any given observed phenomenon in the sky ought not to be intended only as referring to the constellation within the ecliptic plane (RICHER 1989). Rather, every sign was intended as characterizing one entire meridional sector of the sky, from the ecliptic plane through the celestial pole. Moreover, every zodiacal sign was associated with its respective opposite sign, i.e. located at a relative azimuthal distance of  $180^\circ$ . According to GRIAULE (1966), some symbols that seem almost coinciding with some former zodiacal signs can, perhaps, be recognized in the Dogon culture in present Mali, close to the huge bend of the Niger river. They could, therefore, be remnants of some former cultural links, existing prior to the separation between the western and the Copt civilization following the conquest by the Arabs. The problem is open.

mythological standards. Moreover, every temple was suitably oriented in order to point towards some other temple, etc.

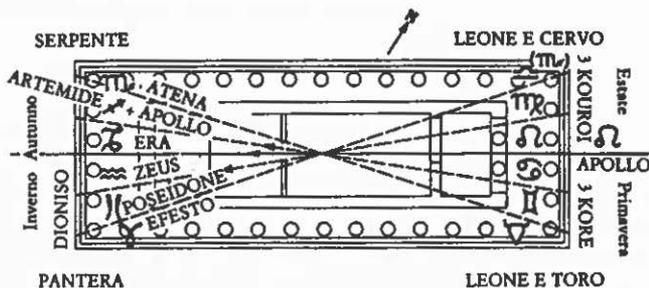
This entire system resulted to be a very clever "technical" tool for orientation problems. In fact, every traveller, located anywhere within that given territory, had thus to search for the closest temple or sacred site: from its dedication he knew immediately his position with respect to the *omphalos*, while from its orientation he knew in what direction he had to move.

In this way, mythology was a very easy and effective practical tool for training people: a few easy-to-remember stories, and the knowledge of only 12 symbols, or hieroglyphs, i.e. the zodiacal signs, were perfectly suited for recognizing either a coin, or a town, even for measuring angles (instead of using the less known degrees, although with a  $\sim 30^\circ$  precision), and mostly for orientation purposes, during commercial trips, seasonal transfers, migrations, military expeditions, etc. either on land or by sea. The 12 zodiacal symbols were, therefore, a first very effective, and easy-to-remember, "alphabet", suited for communicating important information, such as the town that issued a given coin, the essential "geodetic" assistance to travellers, to merchants, to "explorers", to armies, etc., and finally a way of providing a unit for measuring angles. Mythology and zodiacal signs were the actual know-how needed by every learned person of that time. The religion appears to us to be, maybe naive, compared with the great achievements of philosophy. Nevertheless, it was a highly practical and effective tool for organizing everyday life and society.

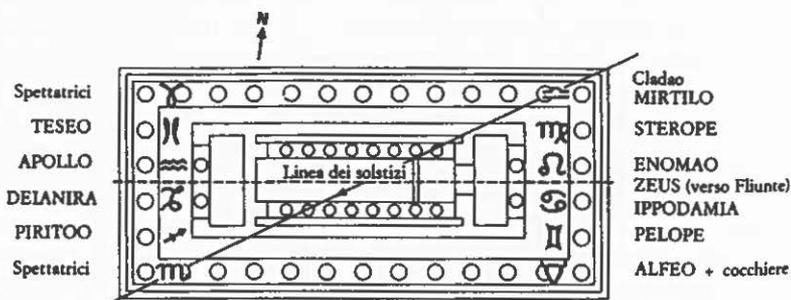
Moreover, even the decoration on the metopes and on the pediments of the Greek temples had a specific "technical" (non-artistic) purpose: for a person located at the centre of the temple, the decoration (on the outside of the building) located in a given azimuthal direction had a specific association with the God and zodiacal sign of that given azimuth (Fig. 1). Hence, the mythology of the stories, represented on the metopes and on the pediments by skilful artists, was a crucial key for getting some fundamental "technical" information for travellers. This was actual applied science, prior to being the creative expression by an artist.

Four different *omphaloi* systems have been recognized by Richer (*ibidem*), that were centred, respectively, at Sardes, Delos, Delphi, and Ammonium (Figg. 2, 3, 4). It is impressive the location of the four *omphaloi* on the vertices of two isosceles triangles. We note that the triangle Sardes-Delos-Delphi could be determined by line-of-sight measurements, by means of fires during clear nights. But, the way by which they afforded in determining the relative exact longitude of Ammonium and of Delos appears a mystery<sup>4</sup>. It is

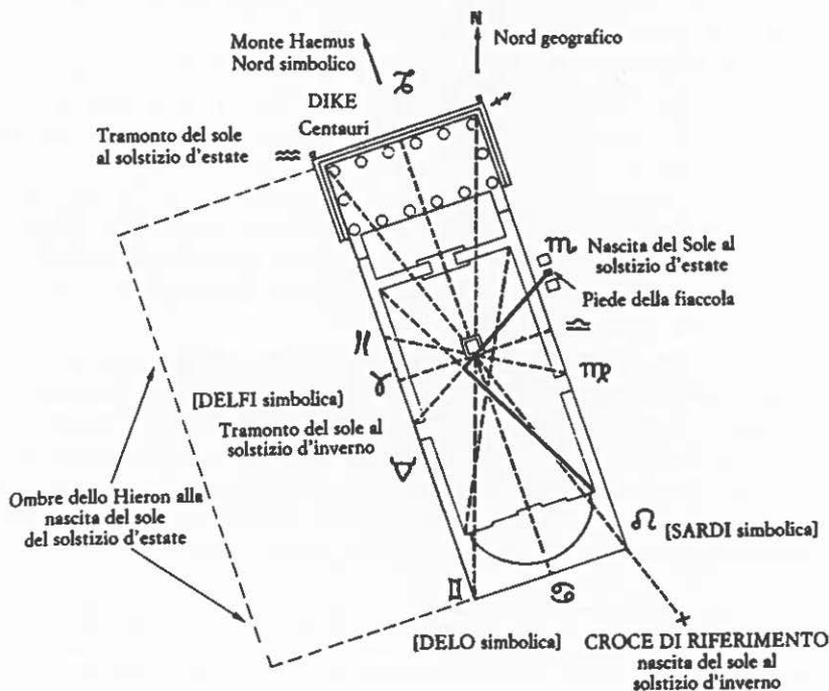
<sup>4</sup> Even as late as during the XVIII century the determination of longitude was a paramount and difficult problem. The hope of solving it by means of the compass pushed governments to invest in expeditions for carrying out geomagnetic measurements. Such records are now very useful to us. Galileo had proposed in 1616 the correct solution of the longitude problem, by



(a)



(b)



(c)

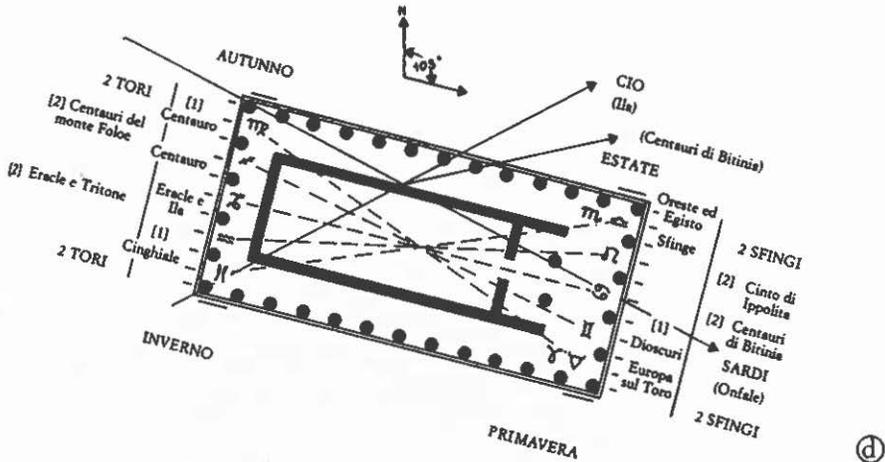


Fig. 1, a-d – Some examples of zodiacal interpretation of the decoration of metopes and pediments in a few Greek temples (figures borrowed from RICHER 1989, see text). Considering every temple as the centre of an azimuthal frame of reference, every azimuth was associated with a zodiacal sign, that was related to some God according to the mythological standards of that time. Top to bottom: Delphi (temple of Apollo); Olympia (temple of Zeus); Samotracia (Hieron); and temple of Assus (Troas).

premature to say whether this was a coincidence or not. In fact, appealing to chance and coincidence, or to superstition or religious beliefs, often is only the bad way by which a researcher avoids the effort and responsibility for attempting at finding some actual explanation of an observed fact. Therefore, one should be very careful prior to stating that something is only a matter of a coincidence.

In any case, this entire scheme clearly envisages that ancient Greeks had a remarkable (and as yet unexpected) knowledge of their territory, and were evidently capable of measuring alignments by means of fires, etc. For example, Richer (*ibidem*) emphasizes that several texts mention fires located on elevated sites. They used them for communication. One such mention is found e.g. at the beginning of *Agamemnon* by Aeschylus. The use of visual direct contacts for communication remained basically up-to-date until the very recent invention of the telegraph – Carl F. Gauss (1777-1855) and Wilhelm E. Weber (1804-1891) developed two kinds of such instruments] and of radio communication by Guglielmo Marconi (1874-1937) at the beginning of our century (SMITH 1976).

means of telescope observations of Jupiter's satellites. But, apparently he was not believed (BROWN 1949; CARACI 1979; SCANDALETTI 1981). In the opposite case, we would now probably miss the largest part of the remarkable historical collection of compass records. The ephemeris of the Jovian satellites were first published in 1668 by Gian Domenico Cassini (1625-1712).

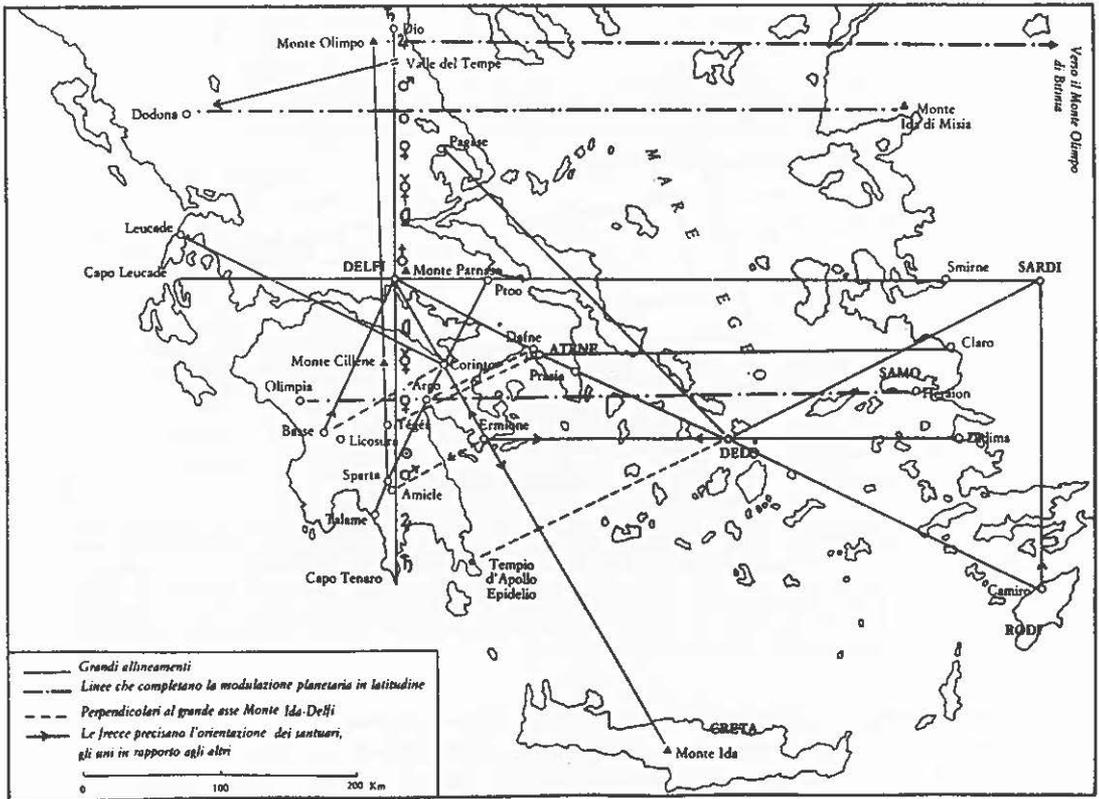


Fig. 2 – “The great alignments” (from RICHER 1989, see text). The two lines across Delos and Sardes, respectively, are two parallels almost exactly at  $\sim 1$  mutual latitudinal difference, with an error of  $\pm \sim 0.05$ , equivalent to a linear distance on Earth’s surface of  $\pm 5 \text{ km}$  (standard deviation). This cannot be a matter of chance. They could actually afford in getting such a precision by means of wooden palls erected on flat platforms (see text).

One additional and definitely very impressive regularity is the alignment (RICHER 1989) of several sites along two parallels almost exactly at  $1^\circ$  relative difference in latitude. The two lines are, respectively, across Didyma, Delos, Hermion, Lycosura, and across Malatya, Sardes, Smyrna vetus, Ptoon (a mountain close to Acraephium), Delphi, Naxos (in Sicily) (Fig. 2). Only Naxos has a larger deviation ( $\sim 0.4^\circ$  in latitude, or  $\sim 45 \text{ km}$  on Earth’s surface) from such an apparent rigorous geometrical law. Maybe, its apparent alignment could be a coincidence. But, the two lines have all the afore-mentioned sites (except Naxos) aligned with an impressive precision, with a standard error-bar of  $\sim \pm 0.05^\circ$  in latitude, equivalent to a linear error-bar on Earth’s surface of  $\sim \pm 5 \text{ km}$ . Refer to GREGORI, GREGORI (1996) for details. By sure, it is practically impossible that such a result is only a matter of coincidence.

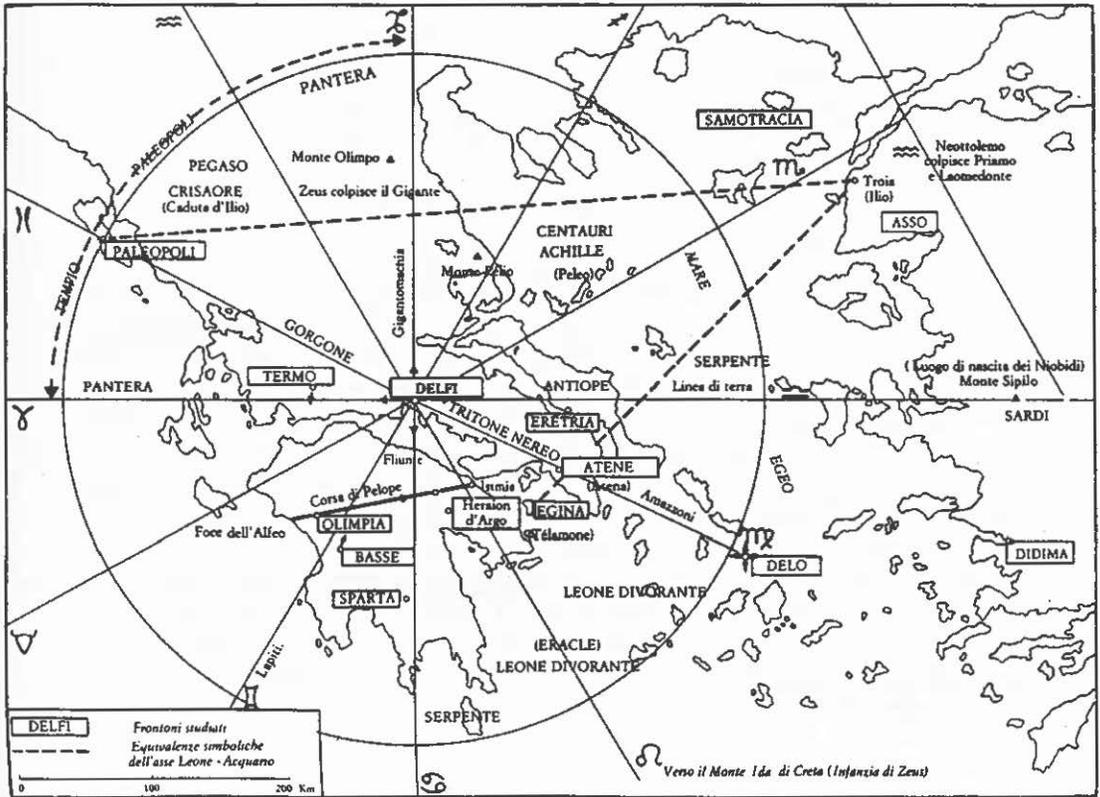


Fig. 3 - "The sculptured pediments and the zodiacal geography", or the omphalos system centred at Delphi (from RICHER 1989, see text).

Upon a specific analysis, the authors have shown that such ancestor astronomers could afford in getting such a high precision by means of wooden palls a few metres tall, vertically erected over some very smooth horizontal platform, provided that they measured both the pall height and its shadow with a precision of a few millimetres. Namely, they had to set up, within a temporary network, a few such very smooth platforms, every one a few metres wide, with a vertical pall erected on it, a few metres tall. Then, they had to monitor the shadow projected by the Sun on every such platform, during a few to several days (the best precision could be attained close to winter solstice). In this way, they could recognize the length of the shadow of the pall, at local noon on different days. Then, they could easily envisage the maximum length of the shadow that was observed on winter solstice (even provided that on that given day the sky was overcast, they could get the needed inference by means of an easy interpolation). Finally, they could know

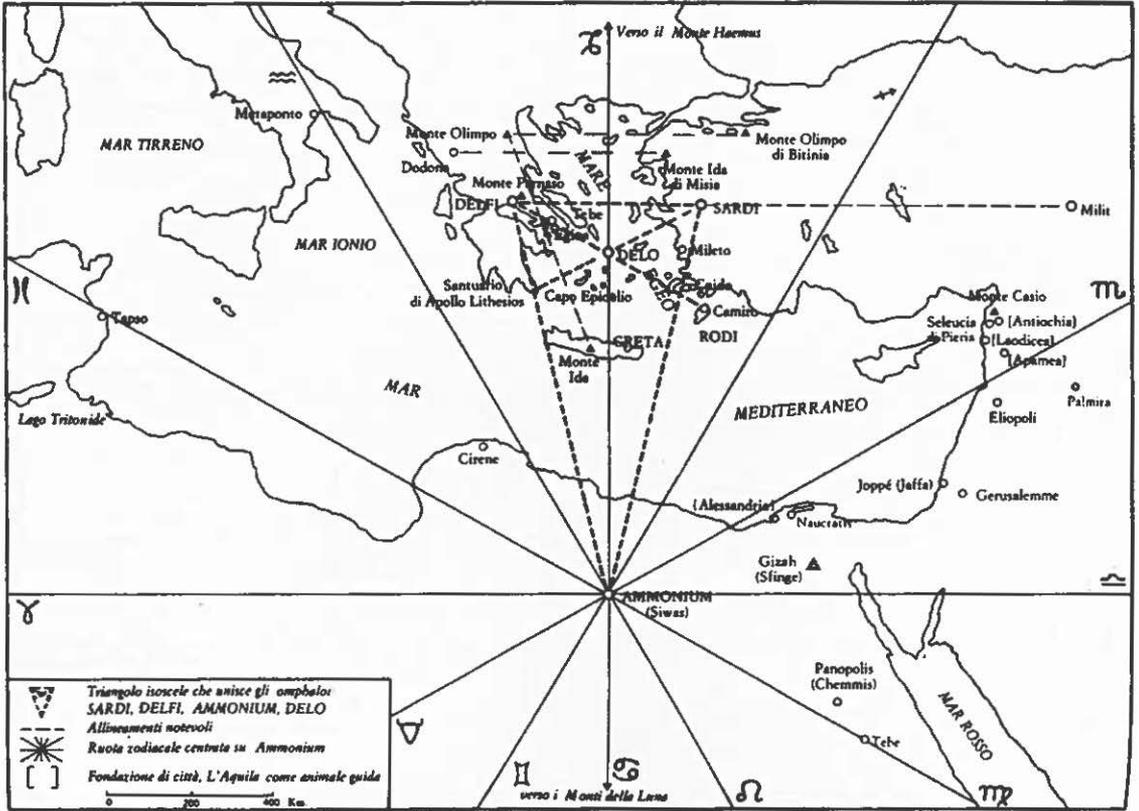


Fig. 4 - "System centred at Ammonium" (from RICHER 1989, see text). Four omphaloi are envisaged by Richer (*ibidem*), centred, respectively, at Sardes, Delos, Delphi, and Ammonium. Sardes, Delos and Delphi are located on the vertices of an isosceles triangle. Similarly, also Sardes, Delphi and Ammonium are the vertices of another isosceles triangle. While it is reasonably easy to conceive how they afforded in getting the needed triangulations for the first such triangle (by means of line-of-sight measurements and fires during clear nights), it appears a mystery how they afforded in measuring the relative longitude of Delos and Ammonium. See text.

the elevation angle of the Sun at noon on winter solstice at every such platform, by considering the ratio between the length of the shadow and the height of the pall. Now, if they wanted to search for a site that had some given solar elevation angle at noon on winter solstice, and if such a solar elevation angle was different from all values that they actually measured within their platform network, they could easily infer, by intuitive interpolation, what site, located somewhere inside their network, fitted with their requirement.

Perhaps, on a speculative basis, a reasonable guess is that menhirs and ziqqurats (such as also Monte d'Accoddi, close to Sassari in Sardinia) could be reminiscent of such a wooden-pall astronomy: they ought to be some kind

of a surviving stone-version of a fairly common wooden astronomical tool, that was used as a standard at those times. A ziqqurat was in fact an elevated platform (for getting a free horizon above all houses or huts), a status symbol for the town, and (maybe) one point of a "geodetic" network. Refer to GREGORI, GREGORI 1996 for more extensive discussion.

#### 4. THE EVIDENCE IN EGYPT

The present available observational base seems more limited compared to the afore-mentioned case dealing with Greece. It is based on a study by GOYON (1977).

The actual very first origin of obelisks is unknown. According to Goyon (*ibidem*), the builders of pyramids could not use the plumb-line, either due to the shape *per se* of a pyramid, or due to the temporary structures that had to cover the outer surface of the pyramid during its building, structures needed for sliding up the construction material. Therefore, the high precision they got (and they had to require it, due to the size of the construction) could be achieved only by means of a reference point on the horizon, e.g. just like an obelisk with a reflecting convex metal disk shining on top of its *pyramidion* (or "benben" stone).

For example, Strabo (XVII, 1, 30) mentions a tower-observatory that existed at Kerkasôre on the western coast, where Eudoxus of Cnidos and Plato carried out a series of astronomical observations. According to Goyon (*ibidem*), several checks agree in identifying such an observatory with the sight-temple by Cheops, that was later re-cycled as an observatory by Egyptian astronomers (and it was destroyed, on some time after the period of the occupation of Egypt by the Romans, as it was used as a quarry for excellent limestone).

Egyptians used detailed ground-surveying, by using either the Nile itself as a natural reference frame, or by means of the "*betamists*" (who walked and counted steps; FISCHER 1975). They surveyed in this way all Egypt down to Aswan, and maybe farther south. But, ground-surveying was shortly getting into large errors, unless their measurements were constrained by some suitable sight-elements on the horizon. Therefore, from such a viewpoint, we propose that obelisks, with their shining *pyramidion* and (perhaps) reflecting disk, were maybe an effective "geodetic network", in addition to being (according to Goyon) reference-points for the builders of pyramids.

Summarizing, we guess that ancient Egyptians afforded in controlling their huge territory, from the Mediterranean coast down to Aswan and farther southward, by using both the Nile as a natural reference frame, and some suitable network of obelisks that, in addition to other eventual reference points already existing in the landscape such as the pyramids, ought to help the "*betamists*" in drawing their accurate cadastral charts. Such a "geodetic" network was fundamental for ruling the territory. The assistance to travellers for orientation was indeed less important, in the fact that when the

territory is well known, and some elementary road system is tracked, travelers have several easier and more direct references directly on the ground, almost like the present tourist-signs.

In this respect, when the Romans entered into the scene, the territory was already fairly well known. Hence, they needed for no such “geodetic network”. They used an excellent road communication system for managing their huge territory by rapid movements of their armies. Their maps were very detailed road-maps, but out-of-scale, as they did not mind about distorting either sea-surface or linear distances. Maps had only to contain precise information, almost like direction signs, for every interested traveller.

### 5. THE ALGORITHM AND THE ANALYSIS

The methodological approach is based on the well known “scientific method”, that for clarity purposes is briefly synthesized in Table 1 and in Fig. 5 (the sequence order is left to right). The first row in Table 1 specifies the acronyms of every logical stage. The second and third rows specify the eventually different terms used, respectively, either in archaeology or in the natural sciences. The fourth row specifies the character, i.e. whether every respective step implies arbitrariness or not. The last row indicates the reference to the legend, where some additional specifications are given.

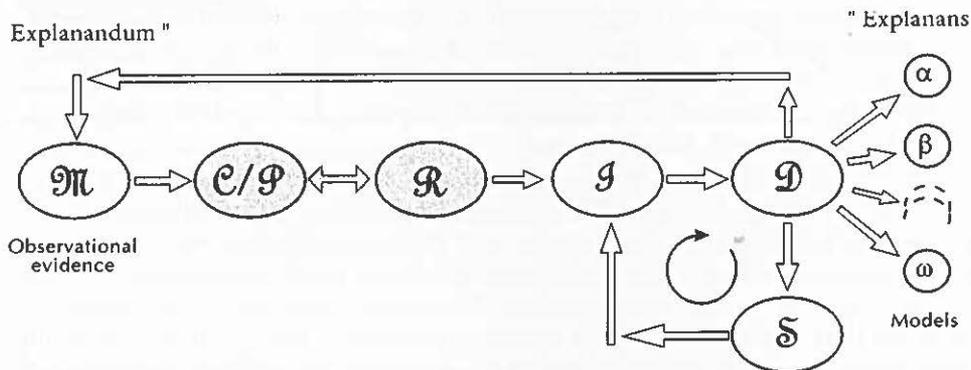


Fig. 5 - The stages of the cognitive process (the “scientific method”). See Table 1. The morphological stage  $M$  applied to the observational database (*Explanandum*), is followed by the “incoding” or parametrization stage  $C/P$  and by the choice of a rationale or of the working hypotheses (stage  $R$ ). The stages  $C/P$  and  $R$  unavoidably imply an intrinsic arbitrariness (hence, the different shading in this sketch). The next step is the inductive stage  $I$  followed by the deductive stage  $D$ . Different checks can now be carried out. On one side, one can “forecast” some features of the “system”, and make reference anew to the original observations, in order to check whether the facts “forecasted” by deduction correspond to what actually occurred. On the other hand, it is possible to carry out a statistical search for a possible coincidence (stage  $S$ ). When all such checks have been carried out, the final result is a set composed of either none, or just one, or several, possible explanation models (*Explanans*), here called  $\alpha$ ,  $\beta$ , etc. See text.

[Read left to right, as in figure 5]	<i>M</i> [descriptive, or morphological, or naturalistic]	<i>C/P</i> [defining the "incoding", or the parametrization]	<i>R</i> [choosing the rationale, or the working hypotheses]	<i>I</i> [induction]	<i>D</i> [deduction]	<i>S</i> [statistical search for random coincidences]
name in archaeology [the object, or the "system", to be investigated is mankind]	descriptive	defining the "incoding"	"	"	"	"
name in natural sciences [the object, or the "system", to be investigated is the ensemble of natural phenomena]	morphological, or naturalistic	defining the parametrization	"	"	"	"
character	objective	arbitrary	arbitrary	strictly logical	subjective when defining axioms, then strictly logical	arbitrary when mixing data, then strictly logical
comments	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

Table 1 – The stages of the cognitive process (the “scientific method”).

*Legend:* (1) - The observational database includes its own error bars; (2) - The system has an almost infinite number of degrees of freedom (*d.o.f.*). Human mind has limited capability of understanding. Hence, we must use a dramatically simplified number of parameters or quantities, that we suppose can be sufficient for providing a description of the observations in terms of “simple” relations between a few observed facts. The degree of arbitrariness depends on the accuracy that is required for the description (or “interpretation”) of observations. There is no way of avoiding such an intrinsic and relevant limitation. Only observations (including their respective intrinsic error bars) are the actual truth (according to what we can really know), while the “incoding” or parametrization is already a strictly limiting step of our cognitive process, a dramatic way of confessing our incapability to face the problem of treating the almost infinite number of *d.o.f.* There is no “absolute” true way of “incoding” or parametrizing the “system”. Simplicity is a heavy drawback that is intrinsic to the limitation of human understanding; (3) - The cognitive process is to be identified with a search for some “simple” interpretative scheme, that should explain some relevant features of the observations, in terms of some relations between a limited set of parameters. Therefore, some working hypothesis, or a rationale, is often implicitly introduced, almost an unconscious choice of a way for reasoning. Sometimes, however, this stage is a minor source of arbitrariness, compared to other stages. The choice of the working hypotheses can be interactive with the inductive stage, in the fact that one re-chooses a different set of working hypotheses after applying a first induction analysis, etc. The ultimate goal of the cognitive process is in envisaging some “simple” and (as far as possible) exhaustive interpretative scheme. Hence, the researcher can attempt at optimizing his arbitrary choices for getting a more satisfactory final result; (4) - The inductive stage is objective *per se*. In several practical applications, however, it is often identified with some standard statistical data handling and analysis. But, such a limitation is a definitely oversimplifying approach, and it is, therefore, a frequent source of unfortunate misunderstanding (see text); (5) - The definitions of axioms must be constrained by Ockham’s razor. Deduction must finally provide with specific information on the “system”, that should allow for carrying out tests by means of the available (and as yet unexploited) observational evidence; (6) - Upon reconsideration (*i*) of the available observational database, (*ii*) of the “incoding” or parametrization, (*iii*) of the working hypotheses (that are the almost unconscious but actual backbones of the entire analysis), the researcher attempts at investigating the robustness of his model derived by means of his analysis, when considering the limited amount of cognitive information that is objectively contained within his available observations (and relative error bars). The doubt is that some inferences of his analysis are only a result of chance or coincidence, rather than an indicator of some actual empirical law relating to each other different aspects or quantities characterizing the description of his “system”. Hence, the researcher attempts at envisaging some suitable way of mixing up, randomly, a suitable subset of the prime parameters, that were defined during the “incoding” or parametrization stage. If the final result of the analysis is almost the same, or in any case very similar, independent of such a random mixing, this implies that his proposed interpretation and model is basically poorly constrained by actual observations, in the fact that even by substantial differences in the database one always gets practically the same result. In such a case, such a result appears, therefore, some consequence of the arbitrariness that is implicit in the definition of the cognitive process and its consequent application, rather than a reliable evidence strictly provided and constrained by observations. In contrast, if the result is not robust with respect to the random mixing of the input data, the researcher can be confident in the fact that his conclusions appear to be constrained by the actual observations, that cannot be mixed, as the specific mutual associations of the different observed parameters and quantities has some intrinsic “physical” motivation, typical of some rationale intrinsic to the nature of the “system”.

Upon a closer inspection of the present specific application, the observational database is the information related to the existence of a temple at some given site, and dedicated to some given God. Latitude, longitude, and the God of dedication, are the "parameters" got by means of our "incoding". The rationale or working hypothesis is the eventual existence of a "geodetic" network, as mentioned in the previous sections, the existence of which has to be tested. By means of such a data set, and of such a rationale that we arbitrarily chose *a priori*, it is possible to carry out an inductive analysis, that should provide with the inference of the possible structure of one *omphalos*, or a few *omphaloi*, within that given area. Two steps can now be carried out.

On one side, deduction can be applied, and inference can be made about the existence and dedication of several possible other temples or sacred sites that were not included within the original database. A check between such "forecasted" sacred sites, and their existence and dedication by means of suitable new excavations, could result in an important support to the reliability of the conclusions inferred by our entire analysis.

Other important checks can be carried out by means of the decoration of temples, where specific mythological scenes ought to be suitably located with respect to an azimuthal reference frame centred at the centre of the temple itself. We note that, at such a stage, the "incoding" or parametrization of our "system" is being re-considered, in the fact that some "parameters" (i.e. the information provided by the decoration that we had neglected in our first computation), are now fed into our analysis in order to get confirmation of our speculated model. That is, the deductive stage allows for reconsidering and somehow weakening the arbitrariness of the constraints imposed by the need for simplicity of human mind, that compelled us to assume an "incoding" that limited the description of our "system" only to a few figures, i.e. the latitude and longitude of every site, plus its dedication, while neglecting the decoration details.

On the other hand, another possibility is that one can mix up, randomly, the dedications of every temple or sacred site, while keeping fixed their actual geographical coordinates. Then, one can re-apply the same algorithm as before, by means of such a randomly mixed database. Such a random mixing and re-analysis can be repeated iteratively several times, hundreds or thousands of times, etc. If the computer finds some *omphaloi* system for every such choice, this means that the information provided by the dedication of temples and sacred sites is mathematically insufficient for providing reliable evidence of one given *omphaloi* system. In fact, in such a case, a large number of possible different choices of *omphaloi* is presumably possible, always being basically in agreement with the prime observational evidence. Hence, the Richer hypothesis ought to be considered as a fascinating and intriguing speculation, although with no actual, objective, reliable support from observations.

In contrast, if such a random search shows that a reasonable *omphaloi* system can be inferred only, or almost only, when the actual dedication of

temples and sacred sites is kept just like it was formerly suggested by observations when preparing the starting database, such a fact *per se* is a "proof" that observational data actually and definitely support Richer's hypothesis.

From a methodological viewpoint, an important warning ought to be emphasized. It is concerned, in general, with all kinds of applications of mathematical statistics to an observational data set. Such a warning applies either to archaeology or to "exact sciences" as well, and it is presently the source of frequent errors and misunderstanding within the geophysical literature. Consider Fig. 6a: it is a redrawing of a well known concept (see e.g. the contribution by GARDIN, present volume). Let us specify it with a little more detail, and redraw it as in Fig. 6b. This means that exact sciences, or humanities, specify their actual requirements through common sense, and thus feed their needs into mathematics, that finally provides them with the optimal formal algorithm to be applied in data handling, for getting a reliable final result.

The drawback, however, is that the link between common sense and mathematics is often almost unconsciously cut down (Fig. 6c). For example, this occurs whenever a mathematician is generally appealed to, for getting some indication about some algorithm to be applied to data analysis. The mathematician often specifies that, provided that the observations satisfy to some suitable hypotheses (e.g. the data information is uniform both in space and time, its error-bars are independent of either space or time, etc.) a suitable algorithm can be envisaged, etc. The crucial point is that an observational database, that was collected in the laboratory while carrying out an experiment in either physics, or chemistry, or biology, normally satisfies to such constraints (in fact, in the case that a database does not satisfy to such conditions, let us eventually repeat the experiment as many times as needed until we get a reliable database, that fits with our requirements).

In contrast, when we investigate some natural or historical phenomenon, within the evolving framework of either mankind or environment, we cannot "repeat the experiment". Therefore, the database is intrinsically incomplete, heterogeneous, with error-bars that are different during historical time, etc. Owing to such several reasons, the researcher of every given specific discipline must provide, through common sense, the suitable inputs to the mathematician, who must try to find out what algorithm is respectful of the intrinsic character and limitations of the available observational database, rather than simply "assuming" on a mere speculative basis that the database itself satisfies to some fanciful homogeneity conditions, so that some specific nice logics and algorithms can be applied.

Differently stated, a physicist must have the "physical feeling" of phenomena (*c.i.f.*, or "*con intuito fenomenale*", said Enrico Fermi), a physician the "clinical feeling", an engineer the "practical feeling", a historian the "historical feeling" (that distinguishes him from a mere chronicler), etc. Instead, a mathematician is normally concerned with a solipsistic search for the inti-

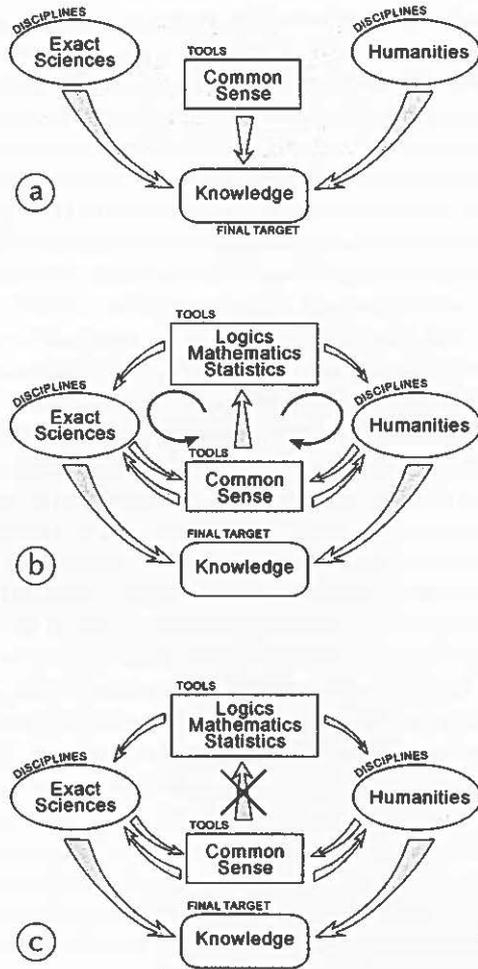


Fig. 6 – a) Our knowledge is the final target of a sum of contributions from the disciplines of exact sciences and of humanities. The tools are here simply indicated in terms of “common sense”. Redrawn according to a sketch shown by GARDIN, this volume.  
 b) Slight modification of Fig. 6a, where it is specified the role of logics, mathematics, and statistics. A mutual interaction between common sense and the disciplines (of either branch) must provide mathematics etc. with some information, that is critically essential for defining the algorithms that ought to be applied for an optimum analysis of observations. This results into some kind of logical “circulation” by which the cognitive process iteratively improves itself. The final step is the output provided to “Knowledge” by either set of disciplines.  
 c) The same as Fig. 6b, where, however, the input from common sense into mathematics etc. is cut down. The afore-mentioned logical “circulation” is stopped. Mathematics provides both kinds of discipline with mathematically rigorous algorithms, that, however, are eventually intrinsically logically unsuited for the specific application of concern in every case. This is a very frequent case in the present geophysical literature, and it should be avoided, as it originates misunderstandings and a great waste of efforts and time. See text.

mate logical rules that relate some arbitrary axioms with some important and implicit inferences and conclusions. But, a mathematician is normally outside the basic problems, the rationale, and the viewpoints of the applied scientist or historian. Archaeologists, historians, and even scientists, often ask the mathematician to feed into the analysis *his own* common sense. But the common sense of the mathematician can never be inspired by the knowledge of the system that the archaeologist, the historian, or the scientist can have. In contrast, it is extremely important that the scholar, who must apply mathematics, actually relies only, and strictly only, on his own common sense, without delegating a mathematician to do so. Otherwise, even the best mathematician shall provide with highly sophisticated and rigorous formulas, that, however, will be eventually even completely meaningless, and sometimes even misleading, when applied to that given problem.

Such an important item was very authoritatively stressed<sup>5</sup> by TUCKEY (1977), who distinguishes between the *exploratory* data analysis, that ought not to be confused with the *confirmatory* data analysis. Tuckey (*ibidem*) states that, in general, there is no ideal perfect rule to be applied to any given observational data set. He recommends to display the data in as many ways as possible, and to infer, intuitively, all possible apparent evidences, then to try to improve the analysis by new, usual or unusual, tests and computations, and new ways of representing the data set, etc. Direct visual inspection on the observed data set (when they are represented in some suitable and convenient form) can result of paramount importance, even much better than by a formal numerical analysis by computer. Visual inspection plus computer analysis should be combined, but, one should never uncritically rely on standard formulas. Realism and common sense appear in any case fundamental for analysing uneven, incomplete, and scanty data series. Tuckey (*ibidem*) states (italics, bold, and capital letters are by himself):

«Consistent with this view, we believe, is a clear demand that pictures based on exploration of data should *force* their message upon us. Pictures that emphasize what we already know – “security blankets” to reassure us – are frequently not worth the space they take. Pictures that have to be gone over with a reading glass to see the main point are wasteful of time and inadequate of effect. **The greatest value of a picture is when it *forces* us to notice what we never expected to see.**

.....

The best way to understand what **CAN** be done is no longer – if it ever was – to ask what things could, in the current state of our skill techniques, be confirmed (positively or negatively). Even more understanding is *lost* if we consider each thing we can do to data *only* in terms of some set of very restrictive assumptions under which that thing is best possible – assumptions *we know we CANNOT check in practice.*

.....

Today, exploratory and confirmatory can – and should – proceed side by side.»

<sup>5</sup> Prof. John W. Tuckey is the “father” of power spectra.

More specifically, the confirmatory analysis appears particularly difficult when applied to a historical data series, as the standard statistical tools are not suited for it. When the database is poor, we must try to get out of it as much information as possible, but without “forcing” it to provide those evidences that it objectively could never give, because of its intrinsic limits. Sophisticated statistical tools can be applied only whenever it is possible to acknowledge the actual viability of their implicit hypotheses in every specific application.

The cooperation of the mathematician can be of paramount importance either as a consultant when attempting at applying the common sense *of the researcher* to the available mathematical algorithms, or when applying the confirmatory analysis, after having accomplished the interpretation of the database in terms of sound and not-merely-mathematical arguments<sup>6</sup>.

## 6. CONCLUSION

The control of territory was often essential, in several different aspects, either for survival, or for the development of civilization.

It appears that Greeks used the Aegean islands, and a suitable network of sacred sites and temples, as an effective “geodetic network”. Mythology (Zodiac, etc.) was the easiest possible tool for training people in using such a highly sophisticated, although impressively simple, reference frame. Greeks afforded in measuring the latitude with a linear error-bar on Earth’s surface as small as  $\sim \pm 5 \text{ km}$  (standard deviation). Hence, it is possible that they afforded in getting the needed skill for setting up such a relevant *omphaloi* system.

Egyptians maybe used obelisks (presumably in addition to natural elements within the landscape, such as the pyramids themselves) as reference points either for keeping the construction of pyramids within the required precision, or for drawing their accurate cadastral maps, or ultimately for ruling a huge territory.

Moreover, provided that all such inferences are correct, what about Magna Grecia? Coastlines were a natural reference. Nevertheless, it appears very likely that, if they developed such a sophisticated *omphaloi* system in Greece, they also set up something analogous in their new, wealthy, and scientifically very developed, colonies. But, what about Mesopotamia (a “geodetic network” composed of ziqqurats?), or about Central America, or elsewhere? The Romans no more needed for such “geodetic networks”, as the territory was already fairly well known at their time. They used roads for managing their huge territory, for commerce, and for military control. Hence, their charts contained very detailed information about roads and travel-times, although they were out-of-scale, as they did not mind about seas or about

<sup>6</sup> For example, some items, from such a viewpoint, concerned with the analysis of either climatic, or volcanic, or seismic, historical data series are discussed by GREGORI (1990) and GREGORI *et al.* (1992 and 1994), and references therein.

keeping the invariance of the linear distances on maps.

Science always proceeds by means of speculation, provided that it is later on suitably and carefully checked, and "proved", by observational data. Whenever a hypothesis can be checked, every scientist is deontologically obliged to do it. "Opinion science", i.e. claiming whether something appears more or less believable or not, etc. is considered, by "exact" scientists, as one of the most unfortunate, although very common, bias of present science, a real dangerous poison for our knowledge.

We don't claim that the afore-mentioned speculations about ancient Greeks and Egyptians are actual truth. We claim that it is practically and effectively possible to attempt at testing such a hypothesis. Hence, this must be done. If such an attempt will result successful, it will be a sound starting point for the future concrete development of cognitive archaeology, in the fact that the location of relevant buildings or sites should thus reveal an intrinsic logical rationale applied by the ancient builders. On the basis of such an assessment and knowledge, it will be possible to search for additional "rules" or "laws" that were an intrinsic feature characterising such ancient societies: such features were the output of thought, not of chance or of the disorder descending from either superstition, or exotic, or fanciful, religious believes.

LUCIA G. GREGORI

Pontificio Istituto di Archeologia Cristiana, Roma

GIOVANNI P. GREGORI

Istituto di Fisica dell'Atmosfera (IFA-CNR), Roma

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The contributions by the two co-authors are closely intermingled, although very distinct from each other. All matters of archaeological concern are by LGG, while all items dealing with the "exact" scientific approach, and its related mathematics, are by GPG. The general discussion, the general historical perspective and concern, resulted from joint inputs and discussion by both co-authors. The authors thank Enrico Lo Cascio for the clever drawing of figures.

#### BIBLIOGRAPHY

- BOCHNER S. 1966, *The Role of Mathematics in the Rise of Science*, Princeton, NJ (USA), Princeton University Press.
- BROWN L.A. 1949, *The Story of Maps*, Little, Brown and Company, Boston, Mass., re-published in 1979, Dover Publications, Inc., New York.
- CARACI G. 1979, *Il "negozio delle longitudini" e Galileo*, Genova.
- ENRIQUES F., DE SANTILLANA G. 1936, *Compendio di storia del pensiero scientifico dall'antichità fino ai tempi moderni*, Bologna, Zanichelli (reprinted 1973).
- FAGAN C. 1951, *Zodiacs Old and New*, London.
- FISCHER I. 1975, *The figure of the Earth. Changes in concepts*, «Surveys Geophys», 2, 3-54.
- GLEADOW R. 1968, *Les origines du zodiaque*, Paris.

- GOYON G. 1977, *Le secret des bâtisseurs des grandes pyramides*, Paris, Editions Pygmalion, Paris, trad. ital., Roma 1990, Newton Compton Editori.
- GREGORI G.P. 1990, *A few mathematical procedures for the analysis of incomplete historical data series*, in W. SCHRÖDER (ed.), *Advances in Geosciences*, Interdivisional Commission on History of IAGA, Bremen-Roennebeck, 80-127.
- GREGORI G.P., BANZON V., LEONARDI R., DE FRANCESCHI G. 1992, *Geomagnetic activity vs. volcanic cycles, and their forecasting. Application to Etna and Vesuvius*, in W. SCHRÖDER, J.P. LEGRAND (edd.), *Solar Terrestrial Variability and Global Change*, Interdivisional Commission on History of IAGA, Bremen-Roennebeck, 188-222.
- GREGORI G.P., BANZON V., COLACINO M., DE FRANCESCHI G., DIODATO L., PAVESE M.P., SANTOLERI R. 1994, *Floods, climatic anomalies, and explosive vulcanism: a four-decade cycle?*, in W. SCHRÖDER, M. COLACINO (edd.), *Geophysics: Past Achievements and Future Challenges*, Interdivisional Commission on History of IAGA, Bremen-Roennebeck, 109-133.
- GREGORI G.P., GREGORI L.G. 1996, *Viewpoints in archaeoastronomy. An invitation to the archaeology of Earth's science*, in W. SCHRÖDER, M. COLACINO (edd.), *Global Change and History of Geophysics*, Interdivisional Commission on History of IAGA, Bremen-Roennebeck, 228-288.
- GRIAULE M. 1966, *Dieu d'eau*, Librairie Arthème Fayard, Paris, trad. ital. Milano 1968, Casa Editrice Valentino Bompiani & C.
- KLINE M. 1972, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*, Oxford, Oxford University Press.
- RICHER J., 1989, *Geografia sacra del mondo greco*, (III expanded edition, in Italian, Rusconi, Milano). The I and II editions were published in 1967 and 1983 in French by Guy Trédaniel Editions de la Maisnie, Paris.
- SCANDALETTI P., 1989, *Galileo privato*, Milano, Camunia.
- SMITH E.K. 1976, *The history of the ITU, with particular attention to the CCITT and the CCIR, and the latter's relations with URS*, «Radio Sci.», 11, (6), 497-507.
- TUCKEY J.W. 1977, *Exploratory Data Analysis*, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publ. Co.
- YOURGRAU W., MANDELSTAM S. 1968, *Variational Principles in Dynamics and Quantum Theory*, New York, Dover Publications.

## ABSTRACT

A hypothesis is proposed dealing with the way by which ancient societies could get knowledge and control of their territory, by means of some kind of a former "geodetic" network, conceived as some basic frame reference for orientation of travellers. Mythology was a practical and effective tool for training people. The zodiacal signs appear to be almost some kind of a "universal" former "alphabet", suitable either for characterizing every given town, or for measuring angles of any kind, or for assisting a traveller in his orientation. In the Aegean Sea the natural reference points were the islands themselves. In western Anatolia and Greece, they set up a system of temples and sacred sites. In Egypt, maybe, there was a network of obelisks and pyramids. In other areas, maybe, there was something equivalent. Some observational evidence is already available, and some proposed interpretation can already be found in the literature, dealing either with the Anatolian-Aegean-Greek world, or with ancient Egypt. In any case, ancient Greeks were apparently capable of estimating the latitude of a site with a high precision ( $\sim \pm 0.05^\circ$  latitude, equivalent to  $\sim \pm 5$  km on Earth's surface; standard deviation). Such items are here briefly reviewed. Then, it is shown how a suitable file containing latitude, longitude, and dedication, of all temples and sacred sites of a given area (or the location of obelisks and pyramids that existed in Egypt) can allow for a formal analysis capable of assessing whether such a hypothesis is only a simple although fascinating speculation, or whether it is supported by objective observational evidence.