

PROCEEDINGS OF THE 2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE  
ARCHAEOLOGY, VOLCANISM and REMOTE SENSING  
Sorrento (Italy) 20-22 June 2001

Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference  
ARCHAEOLOGY, VOLCANISM AND REMOTE SENSING  
Sorrento (Italy) 20-22 June 2001

*Edited by Fausto Vitiello*

2006 ENEA  
Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment  
Lungotevere Thaon di Revel, 76  
00196 Rome

ISBN 88-8286-142-2

Sotto l'Alto Patronato del Presidente della Repubblica

Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference  
**ARCHAEOLOGY, VOLCANISM and REMOTE SENSING**

Sorrento (Italy) 20-22 June 2001



 Presidenza del Consiglio dei Ministri   
Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali



Ministero per i beni e le attività culturali



**Commissione Nazionale  
Italiana per l'Unesco**



Italian National Agency for New Technology,  
Energy and the Environment

## UNDER THE PATRONAGE

Presidenza del Consiglio dei Ministri

Ministero degli Affari Esteri

Ministero dell'Interno

Ministero della Difesa

Ministero delle Comunicazioni

Ministero delle Attività Produttive

Ministero del Lavoro e Politiche Sociali

Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio

Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca Scientifica

COPIT – Comitato Parlamentari per l'Innovazione Tecnologica

ASI – Agenzia Spaziale Italiana

CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche

INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Università di Napoli "Federico II"

Accademia Nazionale dei Lincei

Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei XL

AGI - Associazione Geofisica Italiana

AIT – Associazione Italiana Telerilevamento

ASITA – Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali

Regione Campania

Provincia di Napoli

Provincia di Salerno

Comune di Sorrento

## PREFAZIONE

La Federazione ASITA (Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali) dal 1997 promuove le attività scientifiche riguardanti l'Informazione Geografica, più recentemente definita Geomatica (geos: terra, matica: informatica). Ad oggi ha organizzato sei Conferenze Nazionali e numerose altre attività inclusi corsi, seminari, giornate di studio nazionali e internazionali e varie pubblicazioni.

I recenti sviluppi delle applicazioni del Telerilevamento aero-spaziale hanno determinato una rapida evoluzione nell'uso dei sistemi di rilevamento. Il Telerilevamento, la Fotogrammetria Digitale, il rilevamento geo-topo-cartografico, la cartografia numerica, i Sistemi Informativi Territoriali si sono progressivamente avvicinati e, in alcuni aspetti, integrati fino a diventare complementari tra loro.

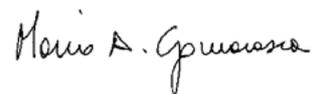
L'Associazione Italiana di Telerilevamento (AIT), insieme con le altre Associazioni, la Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia (SIFET), l'Associazione Italiana di Cartografia (AIC) e la Sezione Italiana di Automated Mapping/ Facilities Management / Geographical Information System (AM/FM/GIS) Italia, ha compreso che, per un omogeneo sviluppo e per una diffusione ad ampio spettro delle tecniche e delle applicazioni del Telerilevamento, è necessario il confronto e la collaborazione con tutti coloro che in Italia operano nel settore dell'Informazione Geografica.

In ambito ASITA è possibile, per i Soci delle quattro Associazioni federate, conoscersi, confrontarsi, promuovere e diffondere un corretto uso dell'informazione geografica. In tale contesto, tuttavia, le tematiche presentate non possono sempre essere sviluppate con il necessario dettaglio e rigore scientifico, come avviene invece in una conferenza tematica in cui gli specialisti di settore presentano le proprie attività ed i risultati ottenuti.

È questo il caso della 2<sup>a</sup> Conferenza Internazionale: "Archaeology, Volcanism and Remote Sensing" svoltasi a Sorrento dal 20 al 22 giugno 2001.

ASITA si augura che il susseguirsi di tali iniziative tematiche possa contribuire a migliorare la sensibilità e a diffondere in modo corretto l'uso delle tecnologie innovative che si riferiscono alla conoscenza, all'analisi e alla programmazione del territorio.

Milano, 23 dicembre 2002



## **SCIENTIFIC COMMITTEE**

Giulia Abbate, ENEA  
Mario Aversa, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali  
Mauro Basili, ENEA  
Giovanni F. Bignami, ASI – Agenzia Spaziale Italiana  
Enzo Boschi, INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Vincenzo Cabianca, Parco delle Isole Eolie  
Michele Caputo, Accademia Nazionale dei Lincei  
Lucia Civetta, Osservatorio Vesuviano  
Michele Colacino, AGI – Associazione Geofisica Italiana  
Stefano De Caro, Soprintendenza Archeologica delle province di Napoli e Caserta  
Maurizio Fea, ESA – European Space Agency  
Mario Gomasasca, ASITA  
Giorgio Gullini, Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino  
Pietro Giovanni Guzzo, Soprintendenza Archeologica di Pompei  
Maurizio Iaccarino, CNR, Napoli  
Claude Albore Livadie, CNRS, France  
Franco Mariani, Accademia Nazionale dei Lincei  
Alberto Marini, AIT – Associazione Italiana Telerilevamento  
Gennaro Marino, Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO  
Francesco Mazzuca, COPIT  
Cosimo Palagiano, Università “La Sapienza” di Roma  
Marcello Pagliari, AGI – Associazione Geofisica Italiana  
Umberto Pappalardo, Istituto Universitario S. Orsola Benincasa  
Giuseppe Proietti, Ministero per i Beni e le Attività Culturali  
Anna Maria Reggiani, Soprintendenza Archeologica per il Lazio  
Giancarlo Saporito, Stato Maggiore della Difesa, Scuola di Aerocooperazione  
Gian Tommaso Scarascia Mugnozza, Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei XL  
Mario Serio, Ministero per i Beni e le Attività Culturali  
Andrea Todisco, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali  
Raffaello Trigila, Università "La Sapienza" di Roma  
Maria Luisa Velocchia Rinaldi, Ministero per i Beni e le Attività Culturali

## **ORGANISING COMMITTEE**

Gianna Calabresi, ESA, Frascati  
Antonio Giordano, ENEA, Roma  
Cecilia Preziuso, Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO, Rome  
Antonio Varone, Soprintendenza Archeologica di Pompei  
Fausto Vitiello, ENEA, Rome

## INDEX

<b>OPENING ADDRESSES</b>	13
Shinji MATSUMOTO, UNESCO - Paris.	
Maurizio FEA, European Space Agency, Frascati.	
Maria AVERSA, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali, Roma.	
Gian Tommaso SCARASCIA MUGNOZZA, Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO, Rome.	
Fausto VITIELLO, ENEA, Rome.	
Pietro Giovanni GUZZO, Soprintendenza Archeologica di Pompei.	
<b>THE EUROPEAN INVESTMENT BANK AND THE CULTURAL HERITAGE SECTOR</b>	21
Gianni CARBONARO, European Investment Bank, Luxembourg.	
<b>HISTORY FROM THE EARTH: SYSTEMIC LAND STUDY BY REMOTE SENSING AND BY GIS OF THE ALREADY KNOWN EVIDENCE</b>	27
Giorgio GULLINI, Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino.	
<b>ARCHAEOLOGY FROM SPACE</b>	37
Toshibumi SAKATA, Tokai University Research & Information Centre.	
<b>AEOLIAN ISLANDS IN THE UNESCO WORLD HERITAGE LIST: VERSO IL PARCO ARCHEO-VULCANOLOGICO DELLE EOLIE</b>	43
Vincenzo CABIANCA, Università di Palermo.	
<b>POMPEII A MAJOR MARITIME HARBOUR?</b>	59
Nicholas WOOD, Hampstead, London.	
<b>THE AREA OF THE ANCIENT FLUVIAL PORT OF POMPEII IN RELATION TO PRESENT-DAY URBAN DEVELOPMENT</b>	73
Antonio GIORDANO, ENEA, Rome.	
<b>TRASFORMAZIONI TERRITORIALI LEGATE ALL'ERUZIONE DEL VESUVIO DEL 79 AD</b>	89
Aldo MARTURANO, Osservatorio Vesuviano, INGV, Napoli; Salvatore Ciro NAPPO, Antonio VARONE, Soprintendenza Archeologica di Pompei.	
<b>VULCANISMO E PRIMA LOCALIZZAZIONE GRECA NELLA MAGNA GRECIA E IN SICILIA: UNA PRIMA IPOTESI DI LAVORO</b>	109
Cosimo PALAGIANO, Sandra LEONARDI, Alessandro D'AGOSTINO, Università degli Studi "La Sapienza", Roma.	
<b>LAHARS: TORRENTS BORN FROM VOLCANO AND ICE</b>	121
Alexander O. BRINKEN, Yuri P. SELIVERSTOV, Russian Geographical Society, Saint-Petersburg.	
<b>GEO-ARCHAEOLOGY IN DOAB PLAIN (MIDDLE GANGES VALLEY, UTTAR PRADESH). DISCOVERY OF DRUPAD KILA / KAMPILYA ARCHAEOLOGICAL SITE THROUGH IRS 1C PAN AND ERS 2 SAR</b>	123
Bruno MARCOLONGO, CNR, Padova.	

<b>ROCK ART PAINTINGS (ROCK INSCRIPTIONS) AT GEBEL ABRAQ, SOUTH-EASTERN DESERT, EGYPT</b>	133
El-Sayed Abbas ZAGHLOUL, Mohamed Adel YEHIA, Hossam Hamdy ELEWA, NARSS, Cairo.	
<b>ADVANCES IN USING SATELLITE REMOTE SENSING DATA FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS</b>	147
Maurizio FEA, ESA/ESRIN, Frascati.	
<b>AVAILABILITY ON THE WORLD WIDE WEB OF EARTH OBSERVATION DATA AND PRODUCTS FOR ITALIAN ARCHAEOLOGICAL AREAS</b>	159
Giulia ABBATE, ENEA, Brindisi.	
<b>HUMAN PRESSURE AFFECTING GROUNDWATER RESOURCES IN THE ROMAN AREA: THE EXAMPLE OF THE GABII ARCHAEOLOGICAL SITE (ALBAN HILLS VOLCANIC DISTRICT)</b>	177
Giovanni ODORICO, Danilo Mauro PALLADINO, Marco PETITTA, Università degli studi "La Sapienza", Roma.	
<b>ASPETTI GRAVIMETRICI DELLA STRUTTURA DI CIAMPINO (ROMA)</b>	189
Michele DI FILIPPO, Tania RUSPANDINI, Beniamino TORO, Università degli studi "La Sapienza", Roma.	
<b>VOLCANIC HAZARD ASSESSMENT DUE TO HYDROMAGMATIC ERUPTIONS ON THE BASIS OF WMI LABORATORY EXPERIMENTS: THE CASE OF LATERA VOLCANO (VULSINI DISTRICT) AND ALBAN HILLS</b>	199
Raffaello TRIGILA, Luigi CASTIGLIONE, Università degli studi "La Sapienza", Roma.	
<b>SPECTRAL PROPERTIES AND REFLECTED CURVES FOR THE REVEALED VOLCANIC ROCKS IN SYRIA USING FIELD RADIOMETRIC MEASUREMENTS</b>	209
Mohamad RUKIEH, Abdul Majeed AL-KAFRI, Abdul Wahad KALAF, GORS, Damascus.	
<b>A NEW EXCAVATED ANTHROPOMORPHIC PHOENICIAN SARCOPHAGI FROM AMRIT - TARTOUS REGION, SOUTHERN COASTAL SYRIA</b>	223
Kamal Moheddin HUSSEIN, Damascus University, Damascus.	
<b>IL TELERILEVAMENTO SATELLITARE: ITER ADDESTRATIVI ED APPLICAZIONI PER IL CONTROLLO DEL TERRITORIO</b>	245
Stefano GUSMANO, Scuola di Aerocooperazione, Ministero della Difesa, Guidonia.	
<b>RECENTI IPOTESI SULLA CONFORMAZIONE DEL "LACUS BAIANUS"</b>	255
Fabio MANISCALCO, Istituto Universitario Orientale di Napoli; Nicola SEVERINO, Soprintendenza Archeologica delle province di Napoli e Caserta.	
<b>APPORT DE LA TELEDETECTION MULTI-SOURCE A L'ETUDE TECTONIQUE DU MASSIF VOLCANIQUE DU SIROUA (MAROC)</b>	269
Anas EMRAN, Université Mohammed V, Rabat-Agdal; Jean	

CHOROWICZ, Université Paris.

**SERVIZI ED APPLICAZIONI IN COSMO-SKYMED:UNA  
COSTELLAZIONE DI SATELLITI PER IL MONITORAGGIO DEL  
TERRITORIO E LA GESTIONE DELL'EMERGENZA** 289

Laura CANDELA, Giovanni MILILLO, ASI, Matera; Giovanni RUM, ASI, Roma.

**IL TERRITORIO DI TORRE DEL GRECO NELL'ANTICHITÀ:  
PALEOMORFOLOGIA DEL 79 AD DEL SETTORE COSTIERO  
COMPRESO TRA VILLA SORA E LA TERMA-GINNASIO** 299

Maria Paola DE CIMMA, Istituto Universitario "Suor Orsola Benincasa", Napoli.

**THE SORRENTO PENINSULA AND CAPRI: THE  
GEOARCHAEOLOGICAL CONTRIBUTION** 325

Umberto PAPPALARDO, University "Suor Orsola Benincasa", Naples; Filippo RUSSO, University of Sannio, Benevento.

**GEOARCHAEOLOGICAL OBSERVATIONS ON THE CAUSES OF THE  
END OF MINOAN CIVILIZATION** 327

Umberto PAPPALARDO, University "Suor Orsola Benincasa", Naples; Filippo RUSSO, University of Sannio, Benevento.

**GEOELECTRICAL SURVEY IN HERCULANEUM** 331

Eugenio CARRARA, Giovanni FLORIO, Valeria PAOLETTI, Umberto PAPPALARDO, Antonio RAPOLLA, Nicola ROBERTI, University "Suor Orsola Benincasa", Naples.

**THE VILLA IMPERIALE IN POMPEII: FROM GEOARCHAEOLOGY TO  
VALORIZATION** 333

Antonio DI MARTINO, POMERIUM, Naples; Umberto PAPPALARDO, University "Suor Orsola Benincasa", Naples.

**CARTA GEO-ARCHEOLOGICA DI TORRE DEL GRECO** 339

Francesco FORMICOLA, Gruppo Archeologico Torre del Greco; Umberto PAPPALARDO, Giuseppe ROLANDI, Istituto Universitario "Suor Orsola Benincasa", Napoli; Filippo RUSSO, Università del Sannio, Benevento.

**A COLOSSAL FEMALE STATUE FROM SORRENTO** 349

Stefano CANCELLIERE, Lorenzo LAZZARINI, Istituto Universitario di Architettura di Venezia; Caterina MURRO, Soprintendenza Archeologica delle province di Napoli e Caserta; Umberto PAPPALARDO, Istituto Universitario "Suor Orsola Benincasa", Napoli.

**GEOARCHAEOLOGICAL EVIDENCES OF BRADYSEISM ALONG THE  
PHLAEGREAN COAST - NAPLES** 357

Umberto PAPPALARDO, University "Suor Orsola Benincasa", Naples; Filippo RUSSO, University of Sannio, Benevento.

**TOMOGRAFIA ELETTRICA DIPOLARE: LA VILLADI PUBLIUS  
FANNIUS SYNISTOR PRESSO BOSCOREALE** 363

Roberto FIORDELISI, Anna Rita MANGIACAPRA, Lavinia PERROTTA, Università "Federico II", Napoli; Mario GRIMALDI, Istituto Universitario "Suor Orsola Benincasa", Napoli.

<b>IL REMOTE SENSING ARCHEO-VULCANOLOGICO DI UN ARTISTA</b> Adriana PIGNATELLI MANGONI, Napoli.	373
<b>LE EOLIE SOTTOMARINE: LINEAMENTI GEOLOGICI</b> Giovanni GABBIANELLI, Università di Bologna, Ravenna.	377
<b>EVOLUZIONE DELLE IDEE SUL VULCANISMO E GESTIONE DELLE RISORSE CULTURALI E AMBIENTALI ALLE ISOLE EOLIE</b> Antonella RUSSO, Palermo; Vincenzo CABIANCA, Università di Palermo.	393
<b>ISOLE EOLIE: LA NUOVA STAGIONE DELLA PIANIFICAZIONE</b> Sergio GELARDI, Regione Sicilia, Palermo.	403
<b>ELABORAZIONE DI UN'IMMAGINE RELATIVA AL SITO ARCHEOLOGICO SOMMERSO DI PORTUS JULIUS (GOLFO DI POZZUOLI)</b> Carlo TRIPODI, Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "E. Cesaro", Torre Annunziata.	407
<b>EFFETTI DEPOSIZIONALI DELLE CORRENTI PIROCLASTICHE ASSOCIATE ALLE ERUZIONI PLINIANE DEL SOMMA-VESUVIO: EVENTI DELLE POMICI DI AVELLINO (3760 ANNI BP) E DI POMPEI (79 AD)</b> Giuseppe MASTROLORENZO, Osservatorio Vesuviano, INGV Napoli; Pier Paolo PETRONE, Università degli Studi "Federico II", Napoli.	409

## **ISTITUZIONI - INSTITUTIONS**

**ASITA:** Federazione Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali

**CNR:** National Research Council of Italy

**CNRS:** Centre National de la Recherche Scientifique, France

**EIB:** European Investment Bank

**ENEA:** Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment

**EU:** European Union

**GORS:** General Organization of Remote Sensing, Syria

**IGMI:** Italian Army Geographical Institute

**INGV:** Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy

**NARSS:** National Authority for Remote Sensing and Space Sciences, Egypt

**NASA:** National Aeronautics and Space Administration, United States

**NIMA:** National Imagery and Mapping Agency, United States

**NOAA:** National Oceanic and Atmospheric Administration, United States

**UE:** Unione Europea

**UK:** United Kingdom

**UNESCO:** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

**US:** United States of America

**USGS:** United States Geological Survey

**USSR:** Union of Soviet Socialist Republics

## ACRONYMS – ABBREVIAZIONI

**AVHRR:** Advanced Very High Resolution Radiometer  
**aC:** avanti Cristo  
**AD:** Anno Domini  
**BC:** Before Christ  
**BP:** Before Present  
**BVR:** Bleu, Vert, Rouge  
**cfr.:** confronta  
**DEM:** Digital Elevation Model  
**DTM:** Digital Terrain Model  
**Ecc.:** eccetera  
**ERTS:** Original name of Landsat Satellites  
**etc.:** et cetera  
**E.U.:** Eruptive Unit  
**Fig.:** Figura / Figure  
**Figg.:** Figure  
**Figs.:** Figures  
**GCP:** Ground Control Points  
**GEOS:** Geodetic Earth Orbiting Satellite  
**GIS:** Geographical Information System  
**GPS:** Global Positioning System  
**GVI:** Global Vegetation Index  
**HP:** Horse-Power  
**i.e.:** id est  
**IR:** Infra-Red  
**MIR:** Medium Infra-Red band  
**MSS:** Multi-Spectral Scanner  
**MW:** MicroWave  
**n.:** numero  
**NIR:** Near Infra-Red band  
**NMT:** Modèle Numérique de Terrain  
**p.:** pagina / page  
**pp.:** pagine / pages  
**ppm:** part per million  
**RADAR:** Radio Detection and Ranging  
**SAR:** Synthetic Aperture Radar  
**SLAR:** Side Looking Airborne Radar  
**slm:** sul livello del mare / sotto il livello del mare  
**SPOT:** Systeme Pour l'Observation de la Terre (PAN: panchromatique; XS: Multibande)  
**Tav.:** Tavola  
**Tavv.:** Tavole  
**TDS:** Total Dissolved Salts  
**TIR:** Thermal Infra-Red band  
**TM:** Thematic Mapper  
**ULM:** Ultra Light Machine  
**VIS:** Visible band  
**WMI:** Water-Magma Interaction  
**WWW:** World Wide Web

## **OPENING ADDRESSES**

Shinji MATSUMOTO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris

Excellences, Ladies and Gentlemen, it is my great honour to be here and to present some words of introduction on behalf of the Director General of UNESCO.

Since the launching of the first Sputnik satellite in 1957, over more than half a century ago, the observation and investigation of archaeological sites by aerial photography has entered a new era with the development of remote sensing from space.

One of the first major products of this technology was the Naska ground picture taken over Peru by observation from LANDSAT. It demonstrated the importance of remote sensing for archaeologists in establishing accurate information on sites under investigation. Since then a series of remote sensing oriented archaeological research projects were successfully recorded in: Palmyra in Syria, Pyramids of Egypt; Angkor Wat in Cambodia, Taklamakan desert in China, Horesm in Uzbekistan, Merv in Turkmenistan, etc.

As you may probably be aware, UNESCO launched its Space Archaeology Programme in 1993, by organizing the first international expert meeting on Space Archaeology at UNESCO Headquarters in Paris. This meeting was organized within the framework of the Integral Study of the Silk Road Programme.

The second meeting took place in 1994 at the ancient city of Nara in Japan, which is the extreme East end of Silk Road civilization.

The main purpose of the UNESCO Space Archaeology Programme was to set up an international framework of collaboration in order to bring together archaeologists, historians, environmental researchers and remote sensing specialists from industrialized as well as developing countries.

UNESCO intended to play a federative role in this programme, primarily by developing cooperation with the main space agencies for the provision of satellite images to participating research institutions so as to help them in their work and to give them new research tools. One of the good examples of such cooperation would be the archaeological research on Merv in Turkmenistan, between the University of London (the United Kingdom) and the University of Tokai (Japan).

I am very delighted to know that the spirit of UNESCO Space Archaeology Programme is fully succeeded by this conference and being developed at a larger scale.

UNESCO is ready to join the efforts so far made by Italian colleagues and hopes every success of this second International Conference on Archaeology, Volcanism and Remote Sensing.

Maurizio FEA, European Space Agency – ESRIN, Frascati

Good morning, Ladies and Gentlemen!

On behalf of the Director General of the European Space Agency, Eng. Antonio Rodotà, a warm welcome to all of you here in Sorrento for the 2<sup>nd</sup> International Conference on Archaeology, Volcanism and Remote Sensing. Why ESA is involved in archaeology and volcanology? Dr. Matsumoto has just addressed this issue in confirming the important contribution that observing the Earth from space can provide to those disciplines.

An asset of space remote sensing is the detailed simultaneous observation of a large field of view. In this way, monuments and archaeological sites can be monitored within their own environment and it is possible to detect possible environmental changes that could affect their conditions and safety, hence improving the decision-making and planning process for maintenance and preservation. Similarly, modern space technologies have put at disposal of investigators powerful tools to help identifying something that is under the surface, particularly in dry or sandy soils. In fact, since 1991 ESA satellites carry on board radar instruments, which use microwave pulses to *illuminate* the Earth. Radar energy can penetrate the soil proportionally to the dryness of the latter, as a dry soil like desert sand is quite transparent to microwaves and the backscattered signal can reveal targets hidden below the ground from few centimetres to several meters. In this way, monuments, buildings and remains under the ground, often covered by sand and by vegetation, can be localised. Very old human settlements and cities were identified in that way: they were not visible to human eyes or to optical satellite, but they became visible through the radar pulses penetrating the dunes and the sand. Similarly, unknown cities in Thailand were identified below the vegetation through a careful analysis of space remote sensing data.

Volcanism and volcanic events are even more important targets for space observation. In fact, satellites allow not only a regular monitoring of volcanoes, but also the detection of eruptions and often particularly of situations where the soil actually moves vertically up or down, for instance because of an earthquake or magma movements under the surface. Vertical displacements of even few centimetres can be detected from space through modern methodologies, namely radar interferometry and permanent radar scatterers.

Therefore, the main reason for ESA to participate and to sponsor this Conference relates to the consideration that space technology is in fact a tool like a pen, even if much more complicated than a pen, of course, and people have to learn how to use this tool and become familiar with it, and ESA would like to provide an important contribution to that, as I will try to demonstrate later on. In addition, ESA wishes to understand user needs, in order to be able to propose satellite missions and more advanced technologies to better serve scientific communities and help industry and companies to provide improved products and services, for instance for monitoring volcanoes activity.

Thank you very much for your presence and kind attention, many thanks to the speakers and to the other sponsors and my best wishes for the success of this Conference.

Mario AVERSA, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali, Roma

Porto il saluto del Capo Dipartimento Dr. Andrea Todisco, e mio personale, alla 2<sup>a</sup> Conferenza Internazionale su Archeologia, Vulcanismo e Telerilevamento.

Attualmente il Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali è una struttura operativa operante alle dipendenze della Presidenza del Consiglio dei Ministri, però vi è un progetto in corso d'attuazione che prevede la costituzione di una nuova Agenzia di protezione ambientale<sup>1</sup> in cui confluiranno il Servizio Geologico, il Servizio Idrografico e Mareografico e l'ANPA. Sarà un'unica struttura operativa, che affronterà le problematiche della prevenzione e della previsione del rischio ambientale a livello nazionale.

La partecipazione del DSTN ai lavori di questa conferenza è di grande importanza in quanto in Italia vi sono molti vulcani e l'attività di studio archeologico spesso coincide con la storia delle catastrofi vulcanologiche avvenute nel Paese. L'interesse del DSTN a queste tematiche si concretizza in modo interdisciplinare negli aspetti legati alla tettonica e alle dinamiche di deposizione dei prodotti piroclastici delle eruzioni vulcaniche.

Nel passato l'attività del Dipartimento si è concentrata nell'area laziale per vari motivi, la ricchezza di siti archeologici, la remota attività vulcanica con terremoti presenti ancora oggi e la posizione strategica dei Colli Albani.

Attualmente il Dipartimento sta proseguendo le attività su tale linea strategica in collaborazione con la Soprintendenza Archeologica per il Lazio; tali attività sono anche indirizzate al sostegno ad altre strutture del Ministero per i Beni e le Attività Culturali nel campo dell'archeologia.

Alla Conferenza sarà presentata una relazione riguardante un comprensorio, quello di Ardea, ancora poco studiato. Tale attività è un esempio del supporto tecnico-scientifico che il Dipartimento sta fornendo al Ministero per i Beni e le Attività Culturali. L'auspicio è quello che le evidenze che stanno rivelandosi ad Ardea siano utili anche per altre realtà nazionali.

---

<sup>1</sup> L'APAT, resa operativa dal 1 novembre 2002.

Gian Tommaso SCARASCIA MUGNOZZA, Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO, Roma

Vorrei porgere il saluto della Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO, e mio personale, agli studiosi intervenuti alla 2<sup>a</sup> Conferenza Internazionale su Archeologia, Vulcanismo e Telerilevamento.

La Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO ha fattivamente contribuito alla realizzazione della Conferenza perché ha sin dall'inizio creduto fortemente nell'iniziativa. Iniziativa contrassegnata da un duplice scopo: far parlare un linguaggio comune a studiosi di diversi campi e far parlare tra loro studiosi di diversi Paesi e diverse culture. È questo, io credo, il presupposto della Convenzione dell'UNESCO riguardante la protezione sul piano mondiale del patrimonio culturale e naturale, adottata dalla Conferenza Generale di Parigi del 1972. In particolare, nell'art. 27 è ribadito un principio fondamentale: consolidare il rispetto e l'attaccamento dei popoli al patrimonio culturale e naturale. L'elemento di forza della Convenzione sta appunto nell'unificare sotto la stessa egida del patrimonio mondiale dell'umanità sia i tesori della Natura, sia i beni artistici e archeologici realizzati dall'Uomo.

In sostanza, la crescita culturale è alla base dei progressi attesi nel terzo millennio. E la salvaguardia del patrimonio culturale e naturale del pianeta potrà avvenire soltanto in un clima di pace e di comprensione tra i popoli. In queste condizioni sarà possibile anche lo sviluppo e l'adozione di nuove tecnologie, quale il telerilevamento, per il conseguimento di obiettivi di salvaguardia anche, nel nostro caso, nei campi dell'archeologia e della vulcanologia.

Di conseguenza, la Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO si è adoperata affinché la Conferenza fosse un momento di incontro tra i Paesi a tecnologie spaziali consolidate e quelli nei quali i beni archeologici sono molteplici. A tale riguardo un sentito ringraziamento va al Ministero degli Affari Esteri italiano, ed in particolare alla Direzione Generale per la Cooperazione e lo Sviluppo, che ha contribuito notevolmente al coinvolgimento di Paesi in via di sviluppo dotati di rilevanti beni archeologici. Infatti, diversi studiosi di tali Paesi sono presenti qui a Sorrento, ed a loro va il cordiale benvenuto della Commissione italiana.

Il salto di qualità della seconda Conferenza, rispetto alla precedente svoltasi a Roma nel 1999, consiste soprattutto nell'aver dato una dimensione internazionale alle problematiche oggetto dei lavori. I beni culturali e naturali, infatti, non sono da considerare esclusiva proprietà di alcuno, individuo o comunità, ma patrimonio di tutta l'Umanità e pertanto da trasmettere di generazione in generazione. Con questo spirito la Conferenza è stata impostata, e lode ne vada agli organizzatori. Di conseguenza, la Commissione si sente fortemente impegnata, in collaborazione con le altre Istituzioni promotrici, per realizzarla e portarla a compimento conformemente agli attuali obiettivi e ai traguardi futuri.

Fausto VITIELLO, Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment (ENEA), Rome

I should like to give the welcome to all participants at the 2<sup>nd</sup> International Conference Archaeology, Volcanism and Remote Sensing, also by Carlo Rubbia, ENEA President. Since the 1<sup>st</sup> Conference of May 1999 the aim of the meetings was well known: the close cooperation between Archaeology, Volcanism and Remote Sensing.

Archaeology, analysing the man presence on the Earth in the past, has referred to fire, an important factor of the human life, and so to volcanism. As some papers in the conference will show it, volcanism plays an important role in the settlement of the ancient communities, as the presence of divinities, as the fertility of the soils and the presence of favourable climate.

Remote Sensing techniques are widely applied to volcanism and so it is possible that they are applied to archaeology more than it happens today. In fact there are some programs regarding this application: the UNESCO Space Archaeology program, the activity of Tokay University and the airborne one of Centro Scavi di Torino. Then the conference aim is the development of the application of Remote Sensing techniques in the field of Archaeology referred to Volcanism.

Mi è gradito porgere i saluti a tutti i partecipanti alla 2<sup>a</sup> Conferenza Internazionale su Archeologia, Vulcanismo e Telerilevamento, anche a nome del Presidente dell'ENEA, Carlo Rubbia.

Già con la prima conferenza del maggio 1999 è stato indicato l'obiettivo del ciclo di conferenze, che sostanzialmente vuole impostare un fattivo dialogo tra le tre tematiche: a prima vista, infatti, esse appaiono disconnesse, anche se un esame più approfondito fa rilevare l'esistenza di molte correlazioni. Infatti, l'archeologia, cioè la scienza che studia la presenza umana sulla terra, è intimamente connessa al fuoco, elemento di grande importanza per la vita dell'uomo e quindi, come sarà illustrato meglio nelle relazioni scientifiche presentate alla Conferenza, al vulcanismo.

Il vulcanismo quindi gioca un ruolo essenziale nello sviluppo delle colonizzazioni umane agli albori delle civiltà, sia in senso figurato (la rappresentazione di divinità) sia dal lato pratico: la fertilità dei terreni e la creazione di microclimi favorevoli. Ma il vulcanismo è una scienza che trae molte ricadute positive dall'applicazione delle tecniche di telerilevamento che quindi vengono intensamente utilizzate per studi di questo tipo. Si pensi per esempio ad una nube ardente: soltanto tecniche di telerilevamento consentono di poter effettuare analisi e rilievi senza pericoli. Invece l'archeologia non ha ancora utilizzato in modo diffuso tali tecniche. Le risorse archeologiche dell'Italia, ma anche di molti altri Paesi, richiedono interventi impegnativi di ricerca, studio e tutela anche al fine di salvaguardare il patrimonio archeologico esistente e quindi le tecniche di telerilevamento possono dare un contributo notevole per ottimizzare l'impiego delle risorse disponibili.

Pietro Giovanni GUZZO, Soprintendenza Archeologica di Pompei

Nel porgere il mio saluto agli studiosi che da varie parti d'Italia, da vari paesi d'Europa e del bacino del Mediterraneo, dall'Asia e dal lontano Giappone sono convenuti a Sorrento per prendere parte ai lavori di questo secondo Convegno Internazionale su Archeologia, Vulcanismo e Telerilevamento, non posso non sottolineare come la scelta della Campania per tale incontro sia stata da parte dell'organizzazione quanto mai opportuna e, in un certo senso, emblematica.

È infatti proprio in questa terra che si incontrano, e ovviamente in stretta e diretta interazione, due luoghi simbolo delle due discipline, quella vulcanologica e quella archeologica. Da un lato il cono del Vesuvio, che domina il paesaggio dolcissimo del golfo di Napoli e fa da scenografico sfondo ai lavori di questo congresso. Vulcano continentale maggiore d'Europa e certamente tra i più noti al mondo, esso evoca nell'immaginario collettivo la potenza distruttrice stessa delle forze della Natura. D'altro lato le città vesuviane, Stabia, Pompei, Ercolano, che, distrutte dalla sua furia devastatrice or sono duemila anni, hanno costituito per l'archeologia uno dei banchi di prova più rappresentativi, con un impegno metodico che continua incessante da oltre duecentocinquanta anni. L'impatto diretto che nell'ultima giornata di questo incontro di studio ci sarà con la realtà archeologica di Pompei sarà sufficiente ad illustrare, a chi eventualmente non avesse avuto ancora modo di conoscerla, da un lato la spaventosa potenza devastatrice che i fenomeni vulcanici sono in grado di apportare ad estesi contesti urbanizzati, dall'altro proprio le possibilità di conoscenza degli stessi che è possibile acquisire, grazie alla scienza archeologica.

Le esemplificazioni, tuttavia, che dalla interazione di questi due sistemi balzano immediatamente alla percezione devono essere valutate e monitorate nella prospettiva di una sempre più aumentata capacità di studio e di interpretazione dei fenomeni. Se evidenti appaiono le conoscenze che da questi luoghi è possibile trarre su fatti e circostanze della storia, evidenti appaiono altresì le enormi lacune che ancora si frappongono all'integrale comprensione degli stessi; lacune che in molti casi potrebbero essere colmate con sviluppi delle tecnologie oggi disponibili.

La Soprintendenza Archeologica di Pompei ha come preciso e più importante compito quello di tutelare l'enorme patrimonio archeologico vesuviano, quello già noto e quello non ancora ritornato alla luce. Primo e necessario strumento di tutela è appunto quello della conoscenza, momento imprescindibile per la corretta gestione di qualsiasi intervento sul bene stesso e sul contesto nel quale esso è inserito.

Nel corso di queste giornate di studio saranno evidenziate delle problematiche inerenti l'area vesuviana che potrebbero grandemente giovare per la loro soluzione delle tecniche non distruttive, che permettono indagini su ampia scala senza modifica alcuna dell'assetto del territorio. Come se già solo questo non bastasse, esse permettono, a quanto sembra, di acquisire determinate conoscenze in modo certamente più economico che non già utilizzando sistemi tradizionali, ove pure fosse possibile utilizzarli, cosa molto spesso impensabile.

Si spera, tuttavia, grazie alla presenza estesa e autorevole di studiosi operanti su realtà tra loro diverse e particolari, di poter avere utilissimi strumenti di confronto e di assimilazione delle esperienze effettuate, dei risultati raggiunti, delle problematiche connesse alle diverse metodologie d'indagine strumentale adoperate.

Convinto infatti che solo l'interazione e l'integrazione delle conoscenze possano portare frutti significativi e solidi alla scienza e che tali scambi di informazioni siano tanto più essenziali quanto più recenti e innovative siano le metodologie impiegate, auguro che i lavori di questo convegno possano raccogliere dai singoli contributi da ogni parte provenienti una sintesi illuminante sulle prospettive che le nuove tecnologie, che stanno modificando in ogni campo la storia dell'uomo con una rapidità mai prima conosciuta, sono in grado in questo settore di offrire alla scienza.

Al tempo stesso ringrazio tutti i partecipanti e, in modo particolare, quanti si sono adoperati per l'organizzazione di questo convegno, per l'opportunità che viene a noi tutti offerta di seguire anche in questo ambito così particolare e innovativo il progressivo evolversi del progresso e del pensiero scientifico.



## **THE EUROPEAN INVESTMENT BANK AND THE CULTURAL HERITAGE SECTOR**

Gianni CARBONARO, European Investment Bank (EIB), Luxembourg.

When I was invited to this conference, I was thrilled to be a speaker, in this beautiful setting and with such a range of interesting and diverse topics being presented. But then I wondered how I could make my speech relevant to an audience of specialists in a broad range of sectors, from archaeology to satellite technologies.

The EIB, with very few exceptions, which I will mention later, has a limited experience in archaeology and none in remote sensing applications to archaeological problems. Nevertheless, I will try to explain today what the EIB can do in areas that are directly and indirectly related with the themes developed in this conference.

I hope that as a result of the discussion you will be able to gain a better understanding of what is the role of an international financial institution like the EIB in supporting your work.

### **The European Investment Bank**

The EIB is the financial institution of the EU: the *house bank* of the Union as it is sometimes called.

Its headquarters are in Luxembourg and its staff (about 1000 people) mostly based there, although there are several representative offices in Europe (and an operational Department in Rome).

Its lending activity has grown considerably over the years and has reached about 36 billions € in 2000 (a 13% increase on the previous year) of which about 80% has been within the European Union.

The institutional remit is to contribute to the realisation of EU objectives by providing cost-effectively long-term finance for technically and economically viable projects.

The EIB is now structured as a group consisting of the EIB itself and the European Investment Fund (EIF). The EIB, which is a non-profit entity owned by the member States of the Union, provides primarily long-term loans to eligible investment schemes. The EIF is majority owned by the EIB and is responsible for venture capital operations.

The objectives of EIB lending have evolved over the years in line with the priorities of the EU; support to regional development remains the main priority as it has always been and over 70% of loans in 2000 have gone to regionally assisted areas. Other priority areas for EIB lending are the environment and energy efficiency, competitiveness of the European industry, support to small and medium enterprise sector and stimulating innovation and human capital formation. A specific priority is the support to the

accession process for countries of Central and Eastern Europe, as well as fostering the development of other countries linked to the EU by partnership agreements.

In practice, this means that the EIB funds projects and programmes in a variety of infrastructure and industrial sectors, including material and immaterial investment, in many countries, although the bulk of lending is within the EU and, outside the EU, the accession countries and the Mediterranean Basin.

## **EIB experience**

*Protecting the environment (natural catastrophes, prevention and reconstruction) and European heritage (natural, historical, architectural and artistic)*

Environmental protection is one of the main priorities for the EIB. The environment heading is interpreted broadly and includes the built environment. Heritage of European interest has been eligible for EIB funding since 1987 and is meant to include natural, historical, architectural and artistic components. The Bank has financed a significant number of heritage projects, although this is a relatively minor component of its overall lending.

However, many projects not classified under the heritage heading, particularly in urban areas, contain substantial heritage components. Often these projects are funded for their ability to contribute to multiple objectives, and in particular for their favourable impact on the tourist trade and related sectors.

In addition, the Bank has supported extensively telecommunications projects, many of which are of course based on satellite technology.

### *The Lisbon Council*

The Lisbon Council has launched a very ambitious strategy to make the European economy more innovation driven and knowledge based. The EIB has responded by launching the Innovation 2000 Initiative (i2i). i2i establishes, among other things, that innovative applications of information technology in all sectors are considered a priority for the Bank. Specific support to the audiovisual and content industries is a relevant component of i2i. This complements investment in hardware and general software by focusing on content development, including that related to heritage, museums and archaeological sites and artefacts.

## Lending for the environment 1992-2000

Fig. 1 shows the breakdown of lending for the environment in the years 1992-2000 (over 44 billions €). A significant proportion of this lending, particularly under the urban development heading, is for heritage, in some cases with archaeological components. In addition, EIB appraisal work includes a systematic review of environmental impact assessment procedures for all individually financed projects and the appropriate management of archaeological resources in project design and during construction and operation is a specific concern of the Bank services.

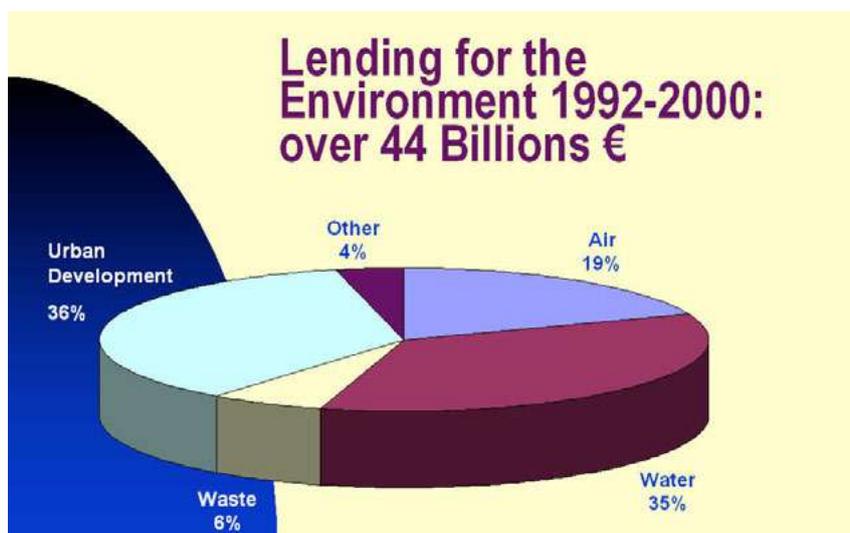


Fig. 1 - Lending for the Environment 1992-2000: over 44 Billions €

## EIB support to archaeological works

### *Rehabilitation works at the Pompeii, Haerculanum and Stabiae sites*

Regarding archaeology the EIB record is, so far, limited. One of the Bank's flagship projects, however, is not only of direct relevance to this conference, but also to where it is located: the restoration of the Pompeii archaeological site, with over 30 millions € worth of loans between 1984 and 1995.

It is possible to see how well the project has been carried out the day after tomorrow when visiting the Pompeii site. The loans were provided to support a long term rehabilitation and upgrading programme of the Italian State worth (at the time) some 300 millions € and far more in today's money. Works were mixed and included a comprehensive upgrading of the site covering further excavation works, repairs of the damage from the 1980 earthquake, measures to improve fire safety and various restoration and consolidation works. The rationale of the project was, apart from the need to protect and to preserve a major world heritage site, also to support economic

development in this area, by enhancing the attractiveness of the main visitor destination within the region.

### *Renewal of Greek monasteries – Mount Athos*

The second illustration regards built heritage.

In this particular case, the EIB has not financed the project, but appraised it on behalf of the European Free Trade Association<sup>1</sup>, which has been an important source of grant funding for environmental projects in the poorer countries of the EU.

In this case, grants went to the renewal of several monasteries in Mount Athos.

The rationale of the project was not only to restore and to consolidate a world heritage site but also to modernize it and reinforce its long-term operational viability. The modernisation of facilities was one of the key steps to enable the monasteries to accommodate more visitors, mostly pilgrims, while reducing some operating costs, for instance by improving energy efficiency. The establishment of a restoration study centre was also part of the project.

### *Sustainable use of archaeological heritage*

What lessons can be drawn from the EIB's experience in this sector?

Fig. 2 shows the key dimensions allowing a sustainable use of heritage goods, including archaeological heritage.

Capital expenditure is necessary, both to develop the sites and to maintain them and investment in remote sensing technology naturally falls within this category, given for instance its potential contribution to the identification of untapped archaeological resources and the management of sites.

But capital expenditure must take place in coordination with the so called content development: namely the production of documents, images, materials as well as the organisation and management of exhibitions and other events, which make a site a living cultural resource, while helping with funding its upkeep.

The third essential pillar is human resource development, as only properly trained and committed personnel can sustain high quality resource development, maintenance and conservation as well as content development.

A good strategy for the development of heritage and archaeological resources must therefore encompass all these three dimensions.

---

<sup>1</sup> EFTA is an association of States outside the European Union (Norway, Iceland, Liechtenstein and Switzerland) that, following an agreement with the EU, contributes to fund projects in poorer countries of the EU. The EIB, on the basis of this agreement, gives a technical-economic evaluation of these projects, as in the case of the Greek monasteries.



**Fig. 2 - Sustainable Use of Archaeological Heritage**

*Need for dialogue*

Fig. 3 shows another important theme, that of the need for effective communication between technology specialists, policy makers in the heritage sector and potential providers of funds.

The problem is that too often work in these different areas is disjointed, so that policy makers and operators do not exploit fully, in terms of their ability to develop and manage archaeological resources, the opportunities offered by technological advances and new financing options.



**Fig. 3 - Need for Dialogue**

## **Archaeological heritage: a resource with economic and financial potential**

Although financial viability and the economic motive are not necessarily the dominant consideration for decisions concerning archaeological heritage, a careful analysis of the financial dimension is essential for the appropriate management of archaeological resources.

An improved financial viability, not only by identifying the cheapest sources of funds, but also enhancing where possible revenue generation opportunities, is therefore an important element in the design of policies and programmes to protect and to maintain the artistic and archaeological heritage. The logic of clustering and industrial districts applied to the cultural sector can give useful indications on the way to use archaeological assets as a driving force for local economic development. In this respect the EIB group (the EIB through lending and the EIF by providing guarantees and taking equity stakes in investment companies) can help and support the development of cultural districts, funding in parallel complementary infrastructure (for instance transport infrastructure to improve accessibility) and the small and medium enterprise sector (for instance those companies active in the cultural tourism and in the content development segments). The area of Pompeii is obviously one of the leading examples of a cultural heritage district focused on archaeological assets, which could benefit from such an integrated strategy.

## **HISTORY FROM THE EARTH: SYSTEMIC LAND STUDY BY REMOTE SENSING AND BY GIS OF THE ALREADY KNOWN EVIDENCE**

Giorgio GULLINI, Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino.

The awareness of the cultural identity is the most urgent demand of any human society, in any time, once solved the survival material problems. It means that the level of life today and the present achievements depend on the successive improvements of all ancestors, throughout the ages and generations. The most correct and accurate historical reconstruction of the culture and life quality of the past societies is the social duty of all scholars involved in the knowledge and recovery of the past human presence on the earth, from the earliest one to the nearest one to the present.

Which is the basic data for the reconstruction and for the answer to the above demand? The Archaeology, from its birth in the Italian Renaissance, has used the written documents as main sources. Any built or mobile artefact has been investigated as an evidence of the literature information.

The land was only the field to be investigated through the guide of the written sources; consequently, only the casual discovery has been the base of the historical reconstruction development. That was the limit of the archaeological research until the last decades: the written sources are very few, because of the limited preservation, mainly as hand-written tradition or from the field discoveries like the inscriptions. The last ones are directly connected to a settlement or a monument, therefore useful for a limited purpose, but with a better relationship with the artefact interpretation and evaluation as a historical document.

The Greek and Latin literature texts are preserved thanks to the hand-written tradition and as a result of a selection of all the original corpuses of published literary works, carried out for different purposes besides those of a historical criticism. Too often the written tradition from the Greek and Roman worlds consider as a whole, not chronologically subdivided, and without any connection with the transformation and evolution of the cultural evidence throughout the ages, more than fourteen centuries from the beginning of the Greek geometric period to the fall of the Western Roman Empire.

But also in the cases of the great Eastern civilisations, as the Mesopotamian ones, or the Egyptian one, the written documents discovered by the archaeological field research at first have very often been considered as philological sources, to understand and translate the relevant old languages, or as independent historical sources without direct reference to the discovery of relevant cultural context.

But, if archaeology aims at reaching an objective and holistic knowledge of the past human societies integral framework, it has to investigate all the still available remnants of these societies which are in the soil, as the discards of the past human presence on the site, accumulated throughout the time, in successive layers linked to the following

settlement periods. Most of the surface layers of the Earth crust, in the inhabited regions, from the first Man presence on the Planet up to the most recent ages, are the great reservoir of any preserved information on the past human presence on the Earth. The systemic investigation of these layers is the only way to get a systematic inquiry on the available documents for the most complete reconstruction of the past man societies culture and way of life. The stratigraphic sequence from the earliest (the deepest) up to the most recent (those nearest to the surface) allows archaeologists to establish a relative chronology within the findings, to be transformed in a definite dating, if exists a dated item or datable sample.

Such a systemic investigation cannot be exhaustively performed only through the surface reconnaissance, the most accurate and methodologically advanced one, useful to identify the surface evidence, but not reliable for the still buried ones: only the remote sensing procedures may allow to carry out the thorough investigation of all available information on the surface and still in the soil. The multispectral image records the reflected and the emitted energy: the first one allows to record the surface evidence; the second one is proportional to the nature of the soil and its content. It means that, when it draws regular patterns, it reveals the still buried artefacts by their regular shapes, attributable only to the man activity.

At the same time, the combination of reflected and emitted energy also reveals the environmental resources in the investigated land that are the settling potentialities as parameters of the possible man settlements throughout the ages. It is the true systemic land investigation as reservoir of all information about the man presence on it from the most remote to the nearest age.

The remote sensing procedures include shots by any platform not directly in contact with the scene, from the orbital platforms to the low and very low altitude ones. There are two properties of the multispectral images according to the shooting platforms: synthesis and resolution. The satellite images offer the best synthesis of the inquired area covering a very large surface on the ground, from 180 x 180 km of the Landsat images to the 60 x 60 km of the SPOT, to the 25 x 25 km of the Soyuz, or 10 x 10 km of the OrbView ones.

The synthesis is the most important property for identifying the settling systems in the investigated region; these are the documents of the successive human establishments intended to occupy a portion of land to dwell and to get from it the resources necessary for their life. But the synthesis implies, as a consequence of it, a relatively poor image resolution: that is the smallest dimension of an identifiable item on the ground. Presently, resolution is 30 m in the Landsat images, 10 m in the Spot 1 to 4 panchromatic images, 5 m in the Spot 5 images, 2 m till 1 m in the OrbView images.

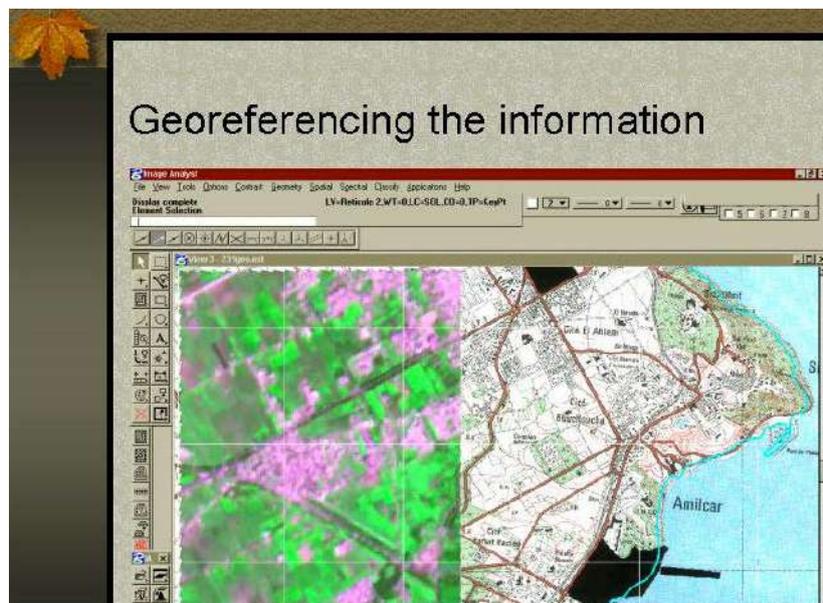
The most up-to-date satellite images guarantee a resolution like the airborne images, but the last ones are still very useful for the multitemporal analyses, mainly in the areas subject to some recent heavy transformations, produced by the new settlements, by the new infrastructures, or by the recent agricultural exploitation procedures.

Expressly studied programs and software allow to merge the aerial or low altitude images in the satellite ones, in order to get the geometric resolution of the aerial or low altitude images for the relevant shot areas, keeping the radiometric properties of the satellite ones. It means that it is possible to obtain, by the synthetic view, a kind of zooming in the areas where to read patterns in more detailed scale.

It is possible to pass from the settling systems (scales from 1:25 000 to 1:10 000) to the built-up sites or the single buildings, with very sharp resolutions up to a few cm (scales from 1:5000 up to 1:50). For such a purpose, the Centro Scavi of Torino designed and settled an ULM plane, equipped with thermal scanner and interfaced photogrammetric camera, to shoot views from an altitude of no more than 400 m, with a resolution between 10 and 5 cm. It means that it is possible to read still buried structures as, for instance, walls of very small dimensions.

A GPS data collection offers all the information for a proper image georeferencing, from the orbital ones to the small altitude ones. These real time data recording is especially useful for the low altitude images.

The information collected by remote sensing procedures allow to thoroughly inquire the land data reservoir, but they are all on the same plan, without any chronological stratigraphy connected to their relative depth in the soil, that is their historical location. The historical stratigraphy can be achieved only by interfacing the images collected information with the GIS built on the data bank of the already known evidence (Fig. 1). This evidence must include the cultural artefacts and the traces of the man impact on the environmental resources through the ages, every time on light, or discovered and recorded through a specific research.



**Fig. 1 - Georeferencing the Information**

The system shall interact through the two coordinates: time and space. The two locations have to be proved in the most accurate way. The system's best operative efficiency depends on this, mainly to explain and to evaluate the remotely sensed and accurately georeferenced information. The spatial location of the already known evidence is a very important duty of the involved operators. It has to be performed through accurate controls of the available information or, if not possible, through ad-hoc field operations. The system is correctly operating, and consequently usefully exploitable, only if the chronological and spatial locations are effectively reliable.

The digital cartography of the area and its three-dimensional view are very useful for the two basic ground controls:

- the first one for checking the information collected by the carefully georeferenced images;
- the second one for the evaluation of the computerised cartography produced by the interface of the images information with the GIS of the already known evidence.

The final product is the base for two further operations, which are very important to meet the social demands:

- the first one is the possibility of a real time monitoring by superimposing on the computerised cartography an updated satellite, aerial or low altitude image, according to the desired scale of the control;
- the second one is the every time possible impact evaluation of any new planned intervention or by any type of new infrastructures, settlements or soil exploitation.

The above mentioned operations, correctly carried out, constitute the best guarantee of the cultural and environmental resources protection and renewability: it is one of the most important operations to assure the cultural identity of any present society and its life quality.

In the follow, some case histories show how it is possible to answer to the cultural and environmental resources knowledge, preservation and exploitation through the above-illustrated methodologies.

The first one is in Sicily (Italy): the area surrounding the Greek colony of Selinunte (Fig. 2). Through the images it is possible to identify the limits of the territory known from the ancient times as the land of the *σελινωντιοι*, extended on a surface of more or less 400 km<sup>2</sup>. It has been occupied from the Neolithic period by the settlements of the first farmers. It is possible to identify the floors of the village huts, partially dug in the bedrock on the terraces descending from about 1000 m of the area surrounding the present Partanna to the sea. Then the settlement and the first city developed within well cultivated fields on the area before the Greek colony foundation in the *oriental* plateau. Later, in the beginning of the VI Century BC, the first Greek settlement expanded on the Acropolis to control the two harbours, accessible respectively according to the

dominating wind in those days and the earliest Greek regular town-planning including the Acropolis, the precolonial sanctuary on the Eastern hill and the two harbours. Eventually, with the full extension of the Acropolis quarters to the Manuzza plateau, the regular organisation of the whole *σελινουντιοι* land and all the productive area surrounding the city, were fulfilled around the beginning of the second half of the VI Century BC.

The new land organisation determined the opposition of the old landowners precolonial aristocracy and the violent consequent repression, documented by the destruction of the ancient local Hera sanctuary and of the surrounding living quarters and by the building of two new temples (the temple F and the temple G) in their place. Around the last decade of the first half of the V Century BC, the great temple of Hera (the temple E) was rebuilt and the whole sanctuary rehabilitated, even if outside the city wall precinct. After the destruction of Selinunte in the 409 BC, as conclusion of the siege by the Carthaginian army, the Eastern hill was reoccupied until the final abandonment of the town around the 250 BC.

Nevertheless, the Hera sanctuary continued its life certainly until the Roman times, when only Roman villas with their fields occupied the original Selinunte area. An Arab village occupied a small territory in the North of the temple G. Its destruction, around the end of the VIII Century AD, corresponds to the final abandonment of the area until the new cultivation plant (mainly olive trees) settled, more or less, in the XVI Century. All these events are proved by the land study and the consequent historical reconstruction based on the archaeological research.



**Fig. 2 - Selinunte. Spot panchromatic**

Another case is the research carried out in the land surrounding the Roman city of Palmyra in Syria, connected with the land use history from the prehistoric ages until the early Islamic period, in VII and VIII Centuries AD (Fig. 3). The main climatic changes have been identified by the different way of settling, from the first preceramic farmer's villages between the VIII and VII millennium BC to the Ummayyad fortresses (Fig. 4).

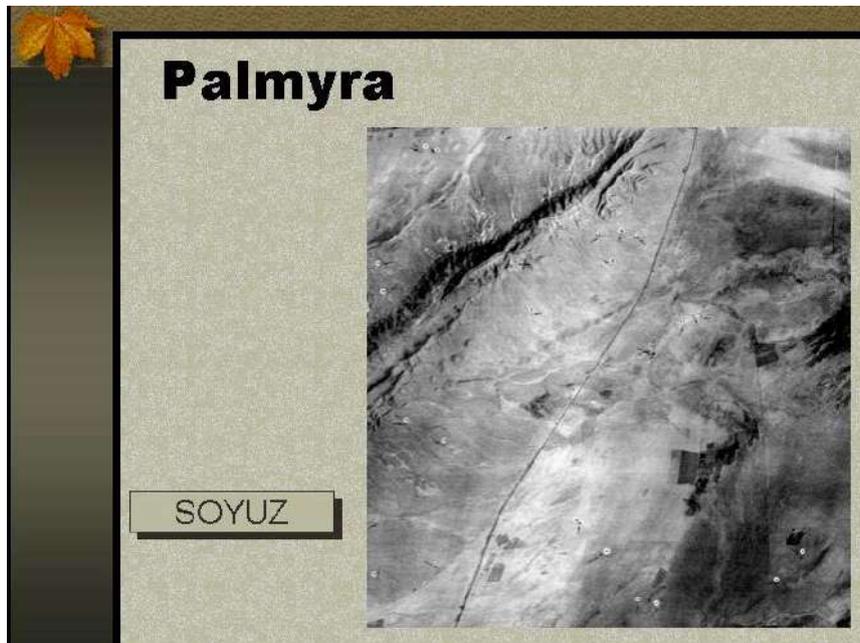


Fig. 3 - Palmyra. Soyuz

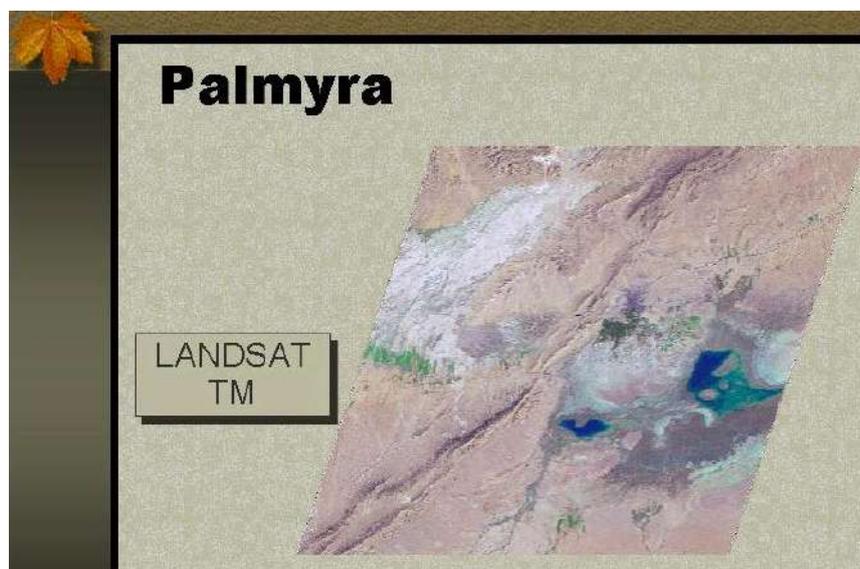


Fig. 4 - Palmyra. Landsat TM

A “green band” of cultivated fields linked the Euphrates to the Mediterranean Sea, proving how the Mesopotamian cultures reached the Mediterranean Sea, certainly from the Protosumerian period until the last new Babylonian one (VI Century BC) and influenced the local cities and civilisations at least from the III millennium BC onwards. The true desertification started only in the III and VI Centuries AD and it became, more or less as it is now, only in the early Islamic period (Fig. 5). The great communication routes from the East to the West have been identified (Fig. 6).

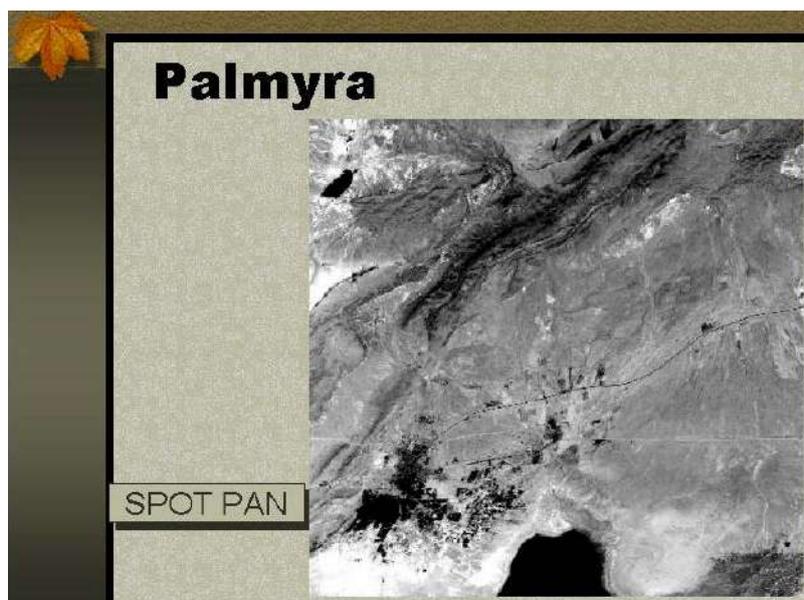


Fig. 5 - Palmyra. Spot panchromatic

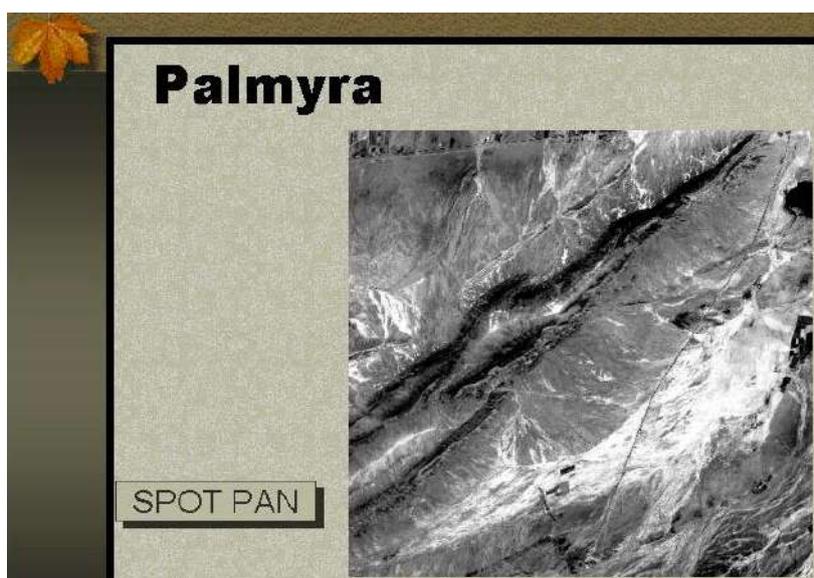
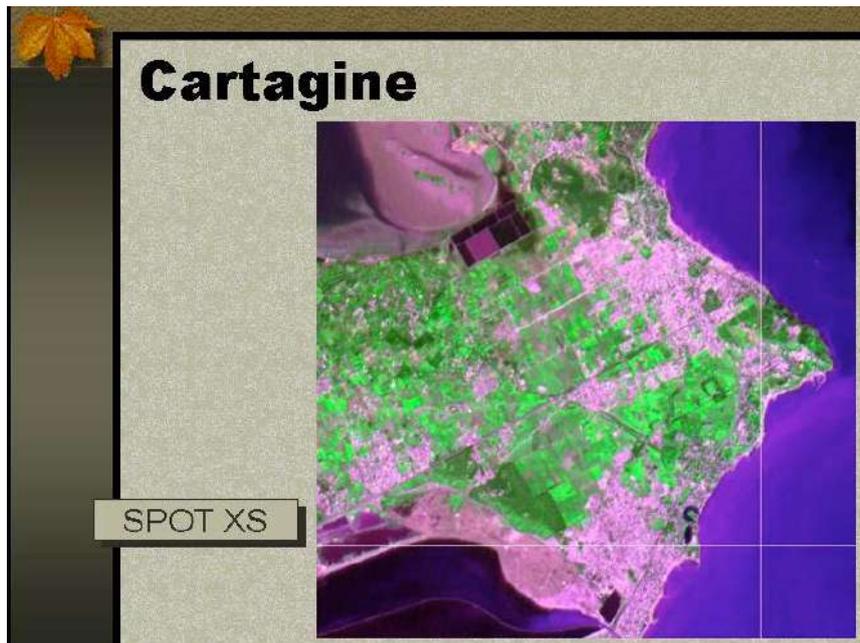


Fig. 6 - Palmyra. Spot panchromatic

A third case is offered by the land surrounding Cartage, where using the images it is possible to identify the great territory organisation in an area from Cap Bon to a line South of Bizert (Fig. 7). It is a regular division in squares up to very small plots of about 60 m of side, too small to be property divisions. The organisation has to be dated around the end of III Century BC after the Roman victory over Cartage, when the great trade revenues of the city were drastically reduced in the whole Mediterranean Sea. The new land organisation has to be explained as a document of the large-scale application of the principles of the Alexandrine planning school introducing the rotation of cultures to keep the land productivity. It is a habit only known until now from literary sources; today there are samples directly from the land.



**Fig. 7 - Cartagine. Spot XS**

A fourth case is offered by the recent systemic study of the Bekaa valley part, immediately surrounding the great Roman town of Baalbek in Lebanon (Fig. 8). It is possible to identify the occupation and the use of a very productive territory from the Neolithic to the Ummayyad period (VII-VIII Centuries AD) where it is possible to date back the last land organisation which restored the heavy damages of the terrible earthquake of 551 AD, moment of the huge Baalbek temples' destruction. The Roman land organisation, oriented with the Roman city of Baalbek plan, is the most extended and rich of the local settlements, maybe with villas-farms, also of relatively large dimensions, including beside the living quarters the productive structures for the best farming exploitation.

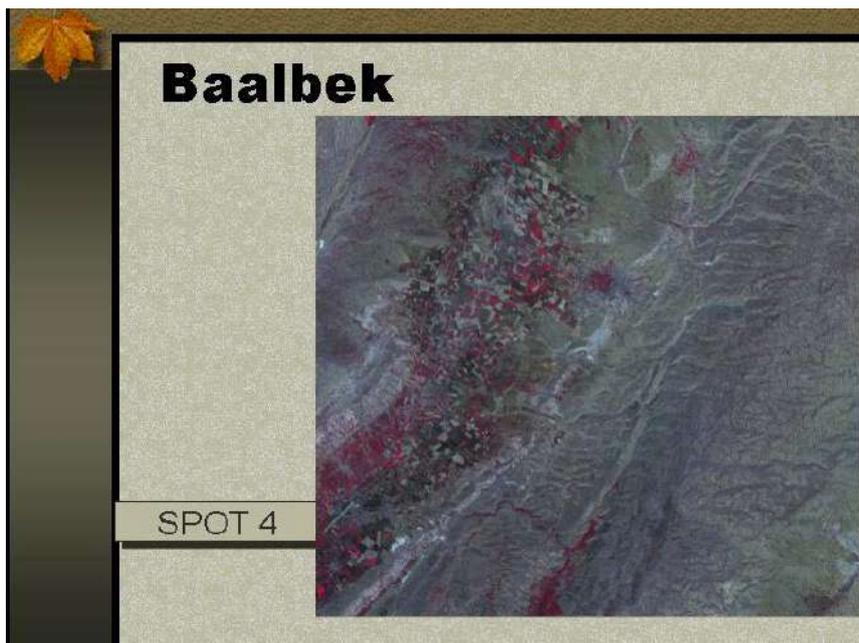


Fig. 8 - Baalbek. Spot 4



## ARCHAEOLOGY FROM SPACE

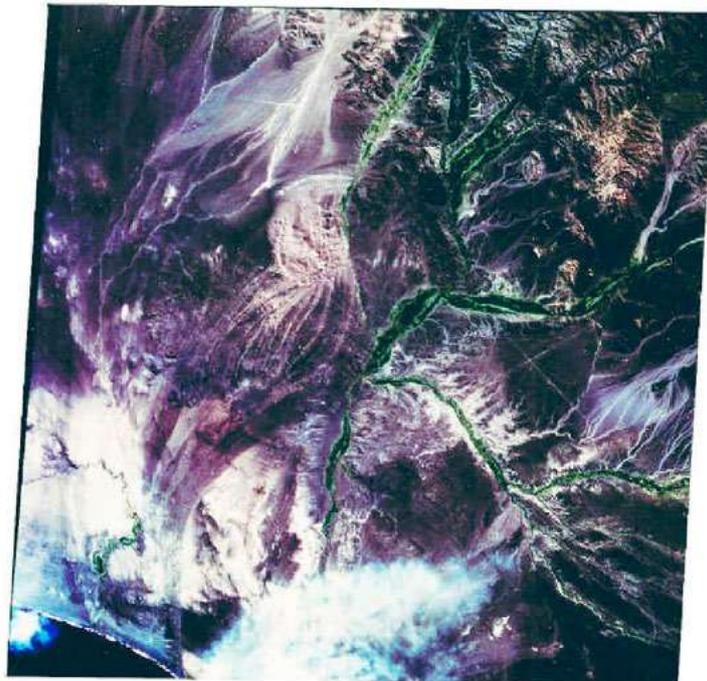
Toshibumi SAKATA, Tokai University Research and Information Centre.

### Probing for Ruins from Space

Nearly half a century has passed since manmade satellites began circling the earth. During this time, more than 5,500 satellites have been launched and a vast number of images of the earth's surface have been detected. These images are being used to research, record and analyse the earth's various conditions from every angle. Researchers working with these satellite-based observations have accumulated data spanning the entire global environment, including topography, geology, vegetation, temperature distributions and climate, in both image and non-image formats.

Because image data in particular preserve natural forms in a certain "frozen" state, by comparing this kind of data it is possible to understand the various conditions of rapidly changing phenomenon such as the earth's environment. In addition, by using such data it is also possible to make conjectures about the environment in the past and to uncover hidden ruins.

The global observation satellite LANDSAT was launched in 1972. The first ruins seen from its images were land surface drawings at Nazca in Peru, South America. These drawings of wonderful shapes, said to have been sketched for space, are composed from groupings of straight and curved lines that run from several tens to several thousands of meters in length.



PERU NAZCA © CNES • TRIC

These ruins served as an inspiration for the idea that surveys of various other ruins were possible. Given the analytical capabilities carried on satellites at the time, however, little progress was seen.

As digital image processing technology utilizing computers improved and the sensitivity of sensors carried by satellites increased, researchers have been able to achieve a more precise understanding of the conditions of the earth's surface. In addition, once it became possible to utilize image data created using infrared or SAR, it also became possible to search for ruins or other items buried beneath deserts or forests. Through the use of radar carried aboard the space shuttle, scientists have discovered the remains of ancient canals running through dense jungles and the beds of rivers that flowed tens of thousands of years ago have emerged from beneath the Sahara desert.

These advances, which have enabled researchers to infer ancient environments and research lost ruins, have added a powerful tool to the traditional research method of walking the earth's surface.

## **Distribution of Ruins**

Both the northern and southern halves of the earth's central latitudes contain arid zones. The arid zone in the northern half in particular is extensive, starting with the Sahara Desert and including the Taklamakan Desert in China and the Nevada Desert in the US. It's believed that after human beings appeared in the Great Rift Valley of Africa, they slowly dispersed into Europe and Asia over many thousands of years. It's been said that human history followed the history of the glaciers and the period of time when *Homo sapiens* first appeared is assumed to probably have been one of the most severe. But human beings, who required natural gathered foods, migrated to various regions. By about 10 000 years BP, the earth's average temperature began to rise and human beings began engaging in primitive agriculture.

This activity was soon followed by extensive animal husbandry efforts to breed livestock. Humans began to create their own foods by hand, an activity that set them apart from other species, and a transformation whereby humans rose above other animals occurred. In due course, groups of people gathered together to create villages and began to form cooperative societies. Over time these villages, situated close to the rivers flowing across level plains for agriculture or raising livestock, developed into the centres of ancient civilizations.

As cities emerged in the vicinities of rivers, branches flowing off the Tigris and Euphrates Rivers, the Nile, the Indus and the Yellow River served as the so-called cradles of human civilization. Although traces of many ancient civilizations can be found in the zone stretching from 30° to 40° North latitude, various and diverse civilizations blossomed in these regions during a period from approximately 5000 to 6000 years BP. It's surmised that, rising temperatures and a moist climate continued over many years, the environment of the time provided conditions that made life easier.

Such ancient environmental conditions have been identified from data obtained from borings, which contain flower pollen that accumulated on the bottom of lakes.

The ancient environment varied greatly depending upon changes in atmospheric temperature. Tribes migrated during periods of prolonged cold and cities were attacked and destroyed by outsiders. Numerous dynasties flourished, only to disappear. In some cases, an ancient city's location may remain today, even if the city itself was obliterated. The ruins of the world lie not only in these regions but exist in diverse locations, on plateaus or buried underground, changing with the years. In ancient times regions that are arid forbidding deserts today were often places with the most optimal climate.

### **Search Technology using Satellites**

Earth observation satellites circle the globe at altitudes up to 1000 km and have a survey width ranging from 50 to 185 km. Although the area covered by large-scale ruins several kilometers in size is adequate for space archaeology, a range of several dozen kilometers is required in order to understand the complete general circumstances. Currently the resolution power of satellites at the earth's surface is about one to ten meters, which is sufficient for surveying general conditions. A precise investigation, however, must await processing of the images. Spectrum analysis is extremely important, with information in the infrared range being useful for locating objects buried underground or foundation ruins.

Cemeteries, farmland, canals, water sources and other areas are scattered around the sites of ancient cities. Among these various patterns are detectable with the change in seasons. If the natural environment contains any artificial structures, they are easy to extract and simple to decipher. Optical information, even when obtained as highly accurate data, is limited mainly to land surface information. With the advent of applications of high frequency SAR to archaeology, it has now become easy to search for objects buried in the ground as well. Using radar carried onboard the space shuttle scientists discovered the location of an ancient city between Oman and Yemen at the Southern end of the Arabian Peninsula. This city, called Ubar and mentioned in Islam's holy book *The Koran* had been assumed to be a city of mirages or apparitions. But as a result of ground surface surveys, its existence was recently confirmed and reported.

At the same time, ground-penetrating radar is also being used at surface level to search for underground objects. Radar is mounted on a car or helicopter, and used in conjunction with electrical prospecting or electromagnetic surveillance to conduct a survey. For investigations of ruins using satellites surveys are conducted in collaboration with a surface-based investigation. A general survey map is first prepared before the on-site survey, using satellite data. A map covering environmental conditions, including geology, vegetation or topography, is then provided to archaeologists. This is identical to the procedure used for environmental surveys. The surveys by archaeologists are aboveground surveys (ground truth) that have particular objectives. From the results of these surveys archaeologists can also make conjectures about the ancient environment. Indeed,

researchers speculate that some civilizations were destroyed by climatic changes that are part of the historical transformations.

The artificial satellites utilized by space archaeology include weather satellites, earth observation satellites and land survey satellites. In order to view ruins that are distributed over a wide region, archaeologists use geostationary meteorological satellites and the polar orbit satellite NOAA-AVHRR. These satellites are used comparatively frequently because they allow researchers to obtain data on vegetation or temperature distributions over a broad area. Researchers can obtain various information from seasonal changes in particular by using the GVI.

For global observations, the satellites principally used are SPOT and LANDSAT with their high resolution. In some situations KOSMOS is also used, which has resolving power of three meters. Frequently, regions for which adequate maps do not exist are the target areas, with maps prepared by using the satellite data. For this purpose, scientists can use the GEOS to improve site precision for the ground truth.

Image processing is one field that is vitally important for satellite archaeology. This means that researchers must have not only a certain level of archaeological expertise, they also must have geographic and historical knowledge. Most operations are conducted in collaboration with archaeologists, but field site operations are also required. Because nearly all of this work involves accumulating surveys over long periods of time, the data processing demands close attention to details. Preferably, the interpretation and analysis stages will be conducted in collaboration with experts in a variety of specialized areas.

## **Searching for the World's Ruins**

The first international conference for space archaeology was held at UNESCO headquarters in Paris, France in 1993. The meeting was attended by many individuals including specialists from Japan, France, the UK, China, the US and other nations and ambassadors and representatives to UNESCO from various countries. The discussions covered UNESCO's proposal to use remote sensing technology in its planned investigation of the Silk Road. Much still remains unknown about the Silk Road and the facts uncovered through the use of this technology are eagerly awaited.

There is the hope that combining archaeology and remote sensing technology will lead to the development of a new field. This is the beginning of a new interdisciplinary field called space archaeology. Already, activities in the field of space archaeology are being pursued by the Tokai University Research and Information Centre, to which this author belongs, and are being developed by specialists such as *Gentelle* of the CNRS in France. The name *space archaeology* was first used to describe these endeavors in the summer of 1990, at a seminar held in Nara, Japan by the Nara International Foundation commemorating the Silk Road Exposition. The result of the aforementioned meeting was discussion regarding international collaborative research between countries with

advanced satellites, such as Japan, France and the US and the countries bordering the Silk Road.

Investments of both time and money will be required in order to investigate the world's ancient cities or ruins on a global basis from space. These surveys are not systematically conducted but frequently carried out as opportunities arise to prepare local surveys as part of the global observation work. In addition, the Centre is supporting projects that are already conducting ruin surveys and providing them with data. In particular, satellite data is being used for pre-investigations before researchers journey to field sites, or to prepare maps.

The unique characteristic of the maps created from satellite data is the fact that unlike traditional maps, features such as geology, vegetation, wetlands or deserts can be seen as they really are, without the need for legends. Seasonal changes can also be understood. Even at sites that have already been investigated or excavated, new facts can be detected when viewed again from the vantage point of space. The traces of human civilizations and cultures, what should be called the heritage of all humankind, exist in every part of the world. Using traditional investigative methods, great amounts of time are required and such assets are lost or destroyed as the environment changes. For this reason, it is desirable to conduct investigations and implement early efforts to preserve and protect these assets by utilizing various methods and technologies. This is why surveys from space have attracted the attention of researchers.

## The Silk Road Satellite Map





## **AEOLIAN ISLANDS IN THE UNESCO WORLD HERITAGE LIST: VERSO IL PARCO ARCHEO-VULCANOLOGICO DELLE EOLIE**

Vincenzo CABIANCA, Università di Palermo.

Nel corso degli ultimi mesi si sono verificati almeno cinque importanti eventi d'interesse per la Conferenza, riguardanti le isole Eolie:

- la deliberazione, dopo sei anni d'istruttoria, da parte del "Comitato del Patrimonio dell'Umanità" dell'UNESCO (2 dicembre 2000) a Cairns, in Australia, di riconoscimento del "valore universale eccezionale" e di sussistenza delle condizioni e garanzie<sup>1</sup> di integrità e quindi di inclusione delle isole Eolie nella World Heritage List, la lista dei Siti riconosciuti e dichiarati come Patrimonio Culturale dell'Umanità;
- l'approvazione definitiva del Piano di Tutela e Fruizione Compatibile dei Beni Culturali delle Eolie sotto forma di "Piano Territoriale Paesistico Eoliano"<sup>2</sup> con particolare rilevanza per i Beni Archeologici e Vulcanologici, conseguita nel febbraio 2001, con Decreto Regionale n° 5180 del 23 febbraio 2001, dopo otto anni (1993-2001) di elaborazione e messa a punto.
- Il Piano, per incarico della Soprintendenza ai Beni Culturali ed Ambientali di Messina, è stato progettato (con il coordinamento scientifico dell'autore) con i contributi di tutte le fonti prodotte dalle principali autorità culturali e istituzionali ed in particolare dal Museo Eoliano, dal Consiglio Nazionale delle Ricerche e dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia<sup>3</sup>;
- l'approvazione della nuova legge Regionale 3 novembre del 2000 per la costituzione di un "Sistema dei Parchi Archeologici" in Sicilia, tra i quali quello archeologico delle Eolie<sup>4</sup>;

---

<sup>1</sup> La giustificazione del "valore universale eccezionale" (paragrafo 8) e le "condizioni di integrità" (paragrafi 26 e 36) fanno parte dei requisiti richiesti dall'UNESCO agli Stati Membri per la proposta preliminare d'iscrizione alla "Tentative-List" ai fini della candidatura di appartenenza alla World Heritage List.

<sup>2</sup> Il Piano Territoriale Paesistico Eoliano è stato prodotto nel corso della grande stagione della Pianificazione Paesistica promossa dall'Assessorato Beni Culturali sotto la direzione del dr. Scimemi con l'aiuto della squadra di architetti e informatici che ha creato le basi per la pianificazione dei Beni Culturali in Sicilia attraverso l'informatizzazione di tutto il procedimento dalle cartografie di base, alle cartografie tematiche, alla carta del Patrimonio, alle Linee Guida per il Piano Paesistico Regionale. La conclusione del difficilissimo iter è dovuta in grande parte al grande illuminato impegno del gruppo V Tutela Ambientale dell'Assessorato Regionale Beni Culturali e Ambientali coordinato da S. Gelardi.

<sup>3</sup> L'incarico della progettazione e della responsabilità scientifica del Piano Paesistico Territoriale delle Isole Eolie è stato conferito il 31 dicembre 1993 all'autore dalla Soprintendenza ai Beni Culturali e Ambientali di Messina (Direttore Sezione Paesistica, Architettura e Urbanistica: arch. G. Campo, Direttore Sezione Archeologica, poi Soprintendente: dr. G. Bacci) con la fondamentale collaborazione dell'arch. G. Maxhuni e dell'ing. G. Mundo; successivamente il Coordinatore ha cooptato nel gruppo progettuale il prof. M. Carta che ha anche coordinato la molto impegnativa organizzazione informatica del Piano.

<sup>4</sup> Cfr. Linee Guida dei Parchi Archeologici Siciliani: Il sistema dei Parchi Archeologici a cura del gruppo V Beni Culturali – Tutela Ambientale dell'Assessorato dei Beni Culturali e Ambientali della Regione Siciliana, coordinatore S. Gelardi.

- l'avvio al completamento nel Castello sull'Acropoli di Lipari, in edizione aggiornata ed informatizzata<sup>5</sup>, della Sezione Vulcanologica del "Museo Archeologico Eoliano L. Bernabò Brea" nell'ambito delle molte iniziative museali della Direzione del Museo<sup>6</sup> nel quadro dei programmi e dei finanziamenti della Regione Siciliana e della Comunità Europea;
- la realizzazione di una piccola prima sezione di biogeografia evolutiva generale ed eoliana a premessa della sezione di Paleontologia del Quaternario, sempre nell'ambito del Museo Eoliano<sup>7</sup>, ad integrazione dei supporti culturali didattici relativi a valenze scientifiche di affiancamento di quelle archeologiche e vulcanologiche.

Vi sono, inoltre, almeno sei elementi di grande pertinenza tra le Eolie ed il tema della Conferenza relativamente agli aspetti tematici e tecnico-scientifici:

- l'unità Vulcanismo – Archeologia Eoliana (con un apposita sezione di Archeologia e Vulcanismo all'interno del Museo Vulcanologico) derivante dalla matrice vulcanica delle risorse (ossidiana, zolfo, allume, caolino, pietra vulcanica, ecc.) e della insularità talassogenica che sono alle radici dell'insediamento umano nell'arcipelago<sup>8</sup>;
- la strettissima connessione, all'interno del Museo Vulcanologico Eoliano, tra Vulcanismo e Remote Sensing da aereo e fotointerpretazione tematica utilizzata nella Sezione di Vulcanologia Eoliana è divenuta fonte di rilevanti scoperte

---

<sup>5</sup> Il Museo Vulcanologico, dovuto all'iniziativa di Bernabò Brea e progettato dall'autore che ne è anche il coordinatore scientifico, risale agli anni 1960. L'ordinamento è stato impostato dal grande vulcanologo A. Rittmann. Dopo la sua morte, l'apparato didattico, in assenza di finanziamenti, è stato realizzato direttamente a mano dall'autore, nel corso di un ventennio. Alla fine degli anni 1980 la nuova Direzione del Museo Eoliano (U. Spigo) ha dato un vivo impulso alla ripresa degli interventi nel Museo; il contributo europeo ha consentito di finanziare prima il completamento del progetto (sempre a cura dell'autore, in collaborazione con S. Sabatelli) l'informatizzazione generale (M. Carta) poi l'aggiornamento informatizzato con le relative integrazioni degli apparati didattici. Per la Vulcanologia Generale ed Eoliana hanno collaborato illustri docenti di Vulcanologia (G. Frazzetta, G. Gabbianelli, G. Nappi, P. L. Rossi) con l'aiuto dei loro collaboratori (Del Grande, Ponti, M. Mattioli, G. Raffaelli, N. Calanchi, F. Sanmarchi, G. Tranne); per la parte Introduttiva (A. Russo, V. Cabianca) per la Difesa dei Beni Culturali Vulcanici (V. Cabianca, M. Carta) per la parte sottomarina (G. Gabbianelli).

<sup>6</sup> Le importanti e qualificate recenti iniziative della Direzione del Museo (dr. U. Spigo) sono illustrate nella collana dei Quaderni del Museo Eoliano ed in particolare nel volume: "Dieci anni al Museo Eoliano (1987-1996)" Ricerche e studi a cura di Umberto Spigo e Maria Clara Martinelli; delle iniziative successive si prevede la pubblicazione su di un prossimo Bollettino Regionale dei Beni Culturali.

<sup>7</sup> La Sezione di Paleontologia del Quaternario è stata curata dalla prof.ssa Bonfiglio, la Biogeografia Evolutiva Generale ed Eoliana dal dr. S. Pasta e dal dr. P. Locascio, il settore Evoluzionismo Generale è stato curato direttamente dall'autore.

<sup>8</sup> L'interrelazione strettissima tra Vulcanismo e Archeologia è stata sin dall'inizio evidenziata come elemento fondamentale dal prof. Bernabò Brea che ha voluto, a lato della sezione Archeologica, una sezione apposita sul Vulcanismo Eoliano e che ha curato direttamente, insieme alla dr.ssa M. Cavalier, le sale dedicate alla cultura materiale ed alla archeologia industriale ai miti e leggende della sezione dedicata ad Archeologia e Vulcanismo.

relative a tracce morfologiche di crateri e caldere non precedentemente identificate nel settore Nord-occidentale di Lipari<sup>9</sup>;

- il determinante contributo all'interno della Sezione di Vulcanologia Cosmica alle conoscenze del vulcanismo planetario del sistema solare grazie al Remote Sensing ed alle immagini multispettrali e radar da satellite, utilizzate nell'esplorazione spaziale<sup>10</sup>;
- la strettissima connessione all'interno della Sezione di Vulcanologia Sottomarina tra vulcanismo sottomarino e Remote Sensing da ecografia con Sonar Side-Scan, per la conoscenza dell'arco vulcanico sottomarino eoliano<sup>11</sup>;
- il contributo dato dal Remote Sensing nella sezione di "Controllo dei Vulcani attivi" alla telesorveglianza del rischio vulcanico (con controllo continuo, divulgato anche in Internet per Stromboli e Vulcano)<sup>12</sup>;
- il grande contributo dato nella sezione "Rischio vulcanico e sismico" al controllo (con GPS satellitare) alla conoscenza, prevenzione e mitigazione del rischio sismico attraverso la telesorveglianza sistemica delle deformazioni del suolo<sup>13</sup> combinata con altre tecniche di monitoraggio.

Molte sono le realizzazioni che rendono impegnativa una semplice relazione, tra cui:

- il Museo Eoliano, il Museo Archeologico che impegna quasi tutta l'Acropoli di Lipari e che, con la principale sezione scientifica di preistoria, con il suo magistrale apparato didattico, ricco di incroci tra fonti storico-letterarie, archeologiche e vulcanologiche, fornisce crono-stratigrafie di riferimento a tutta la preistoria del Mediterraneo;
- la monumentale opera scientifica *Meligunìs Lipàra* (arrivata al XII volume) di Bernabò Brea e di M. Cavalier relativa alla oltre cinquantennale attività di ricerca;

---

<sup>9</sup> Nel corso della fotointerpretazione per il Piano Paesistico sono emerse evidenze vulcaniche di forme calderiche tra M. Sant'Angelo e Chiesa Vecchia che sono state introdotte nelle Carte Geologiche e nel Piano Paesistico, tutelate come Riserve Integrali ed in parte Riserve Orientate.

<sup>10</sup> La Sezione di Vulcanologia Cosmica, già auspicata dal prof. Rittmann, dopo la sua morte è stata realizzata dall'autore in una visione delle Scienze della Terra come Scienze di un Pianeta in via di degasazione e raffreddamento. Importante materiale illustrativo è stato fornito in parte dalla NASA ed in parte dall'Istituto di Planetologia del CNR.

<sup>11</sup> Nell'ambito del Museo Vulcanologico è stata realizzata dagli stessi autori della Sezione di Geodinamica dell'Arco Vulcanico un'apposita sezione di Vulcanologia Sottomarina a cura di due tra i principali vulcanologi impegnati nella ricerca sottomarina G. Gabbianelli e P. L. Rossi (collaboratori Del Grande, Ponti) le cui documentazioni sono state effettuate con strumentazioni di Remote Sensing sottomarino.

<sup>12</sup> La tele sorveglianza di Vulcano e Stromboli è effettuata dal Centro CNR Marcello Carapezza situato a Vulcano presso il Porto di Ponente con funzione sia di osservazione scientifica, sia di offerta informativa come Visitor Centre Vulcanologico.

<sup>13</sup> L'apparato didattico della Vulcanologia Generale dopo la prima edizione Rittmann – Cabianca degli anni 1970 è stato recentemente aggiornato e molto arricchito soprattutto dall'opera del Vulcanologo prof. G. Nappi. La sezione Sorveglianza dei Vulcani Attivi e Prevenzione del Rischio Vulcanico e Sismico è particolarmente approfondita e sviluppata per una responsabile consapevolezza della popolazione.

- le numerosissime interpretazioni, pubblicazioni archeologiche sistematiche relative alle Eolie;
- la centralità dell'arco vulcanico eoliano nelle ricerche e nelle pubblicazioni del CNR e dell'INGV, di *Acta Vulcanologica*, che hanno fatto delle Eolie una delle Regioni Vulcaniche più studiate a livello mondiale, ed anche dello stesso Museo Vulcanologico con il suo grande ed impegnativo apparato didattico<sup>14</sup>.

Per quanto riguarda invece la tutela del Patrimonio ed il problema della sua inserzione come risorsa (intangibile ma attiva) nello sviluppo sostenibile si espongono alcune considerazioni di carattere generale.

La Costituzione Italiana proclama il diritto dei cittadini all'accesso ai beni primari della libertà, della giustizia, dell'assistenza, promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica, delle opportunità di lavoro, persegue il soddisfacimento sociale dei fabbisogni culturali e materiali, tutela il paesaggio ed il Patrimonio Storico e Artistico della Nazione.

Nel promuovere tale soddisfacimento introduce la discriminazione della compatibilità ubicazionale del sito, richiedendo a priori la compatibilità con la tutela del Patrimonio Culturale umanistico e naturale considerato come invariante, in quanto risorsa d'identità locale e nazionale, oltre che risorsa economica, nella prospettiva di un eco-sviluppo qualificato dalla rilevanza della componente culturale, integrato, compatibile, sostenibile.

L'Italia comprende, nella parte meridionale del Tirreno, un arco vulcanico sottomarino attivo: l'arco vulcanico eoliano, le manifestazioni della cui attività eruttiva, nel tempo, hanno raggiunto per accumulazione il livello del mare ed hanno costituito progressivamente l'arcipelago eoliano, le cui strutture morfo-vulcanologiche costituiscono i Beni configuranti.

Questo arcipelago ha fatto da supporto a vicende umane che a loro volta hanno costituito sul territorio, in dialogo con la natura e con le risorse vulcaniche delle isole, un ulteriore eccezionale Patrimonio Culturale di Beni connotanti nel quale i Beni Archeologici hanno una rilevanza eccezionale.

Tutto ciò è supportato dal Museo Archeologico Eoliano e da grandi sistemazioni museali all'aperto<sup>15</sup> che configurano un vero e proprio Parco Archeologico di fatto.

---

<sup>14</sup> Nato come sezione ancillare del Museo Archeologico per illuminata volontà di Bernabò Brea negli anni 1960 è progressivamente divenuto un importante apparato didattico che si estende dalla Vulcanologia Generale a quella Sottomarina, a quella Eoliana e a quella dei Pianeti del Sistema Solare.

<sup>15</sup> Tra le grandi musealizzazioni all'aperto, sempre didascalizzate e corredate da cronostatigrafie omogenee che le correlano tra loro e con le esposizioni del Museo Archeologico Eoliano, sono da ricordare gli scavi archeologici del Castello che mostrano in stratigrafia la topografia antica dell'Acropoli, il Parco ai piedi del Castello con le mura urbiche, la Necropoli di Diana, l'agere di Sesto Pompeo a Lipari, il Villaggio Preistorico di Capo Milazzese a Panarea, il Villaggio Preistorico di Capo Graziano a Filicudi, ai quali si sono aggiunti di recente il Villaggio della Portella, gli scavi di Barone, la Salina Greco-Romana ed il Museo, tutti e tre nell'isola di Salina, realizzate con la collaborazione del dr. R. Gullo, Sindaco del Comune di Santa Marina Salina.

Le condizioni geodinamiche molto particolari della formazione dell'arco eoliano hanno dato luogo a specificità vulcaniche come associazioni di tipologie eruttive<sup>16</sup>, tipologie di prodotti e di morfologie vulcaniche che fanno delle Eolie uno dei siti più importanti per le Scienze della Terra a livello mondiale ed uno dei principali siti del paesaggio italiano, vulcanico, insulare, d'arcipelago, subaereo e sottomarino.

La consapevolezza di tutto questo ha attivato, anche sotto questo profilo, la responsabilità istituzionale dell'Assessorato Regionale ai Beni Culturali e Ambientali della Sicilia e della Soprintendenza ai Beni Culturali e Ambientali di Messina.

Il Vincolo di Tutela Paesistica generale esteso a tutte le Eolie aveva a suo tempo già istituito un regime di tutela nei confronti di un valore di interesse costituzionale nazionale, in aggiunta a quelli puntuali stabiliti dai vincoli monumentali.

L'Assessorato Regionale, intensamente e creativamente impegnato (sotto la guida del direttore dr. N. Scimemi) nella costruzione di un'armatura di difesa culturale regionale del Patrimonio Siciliano, ha successivamente disposto piani paesistico-territoriali specifici per il patrimonio delle isole minori, quasi tutte vulcaniche talassogeniche tra le quali le Eolie<sup>17</sup>.

L'informatizzazione digitalizzata di tutte le basi di rappresentazione territoriale e di tutto il patrimonio culturale schedato e localizzato ha aperto la strada alla possibilità di una gestione razionale a partire da una base sicura per interventi consapevoli e storicizzati del processo di pianificazione e governo del Territorio, proprio a partire dalle grandi invarianti tecniche della cartografia e invarianti culturali dei Beni Culturali del Patrimonio territorializzato.

L'istituzione nella Regione Siciliana di Parchi e Riserve naturali, promosse nel periodo 1981-1988 dall'Assessorato Territorio Ambiente per iniziativa del direttore di allora dr. Grado, ha inizialmente costituito le Riserve naturali riguardanti quasi l'ottanta per cento delle Isole Eolie con un'operazione culturale straordinaria, oggi in gran parte vanificata dall'accoglimento da parte del Tribunale Amministrativo Regionale dei ricorsi di privati, i quali, in assenza di regime di Parco, non hanno ricevuto finanziamenti per usi

---

<sup>16</sup> Oltre alle note attività eruttive (stromboliana e vulcaniana) che dall'antichità hanno dato il nome alle relative tipologie vi sono molti altri elementi di straordinarietà. Mentre nei grandi archi insulari del Pacifico, analoghi all'arco Eoliano per il vulcanismo esplosivo, sono in gioco altissime energie che ne limitano l'osservazione in fase eruttiva, i vulcani delle Eolie si manifestano con eruzioni a bassa energia che ne consentono uno studio continuo in tutte le fasi. Inoltre la forte inclinazione del piano di subduzione dà luogo a magmi che provengono da profondità molto diverse, con chimismi diversi che danno luogo a tipi di rocce e morfologie vulcaniche a loro volta diverse negli ambiti territorialmente ristretti dei sette Apparati Vulcanici.

<sup>17</sup> Ci si riferisce alle importantissime iniziative promosse nell'arco degli anni 1990 dal Direttore Regionale dell'Assessorato ai Beni Culturali e Ambientali dr. Nino Scimemi, tra le quali:

- l'informatizzazione digitale vettoriale di tutti i supporti topografici e di tutti i Beni Culturali Siciliani localizzati, schedati ed informatizzati sotto forma di Atlanti generali e provinciali;
- l'acquisizione della copertura stereoscopica digitalizzata di tutta la Sicilia di tutti i supporti cartografici dell'IGMI;
- la costituzione di un Ufficio Speciale per la promozione della Pianificazione Paesistica in Sicilia, la formazione ed adozione di Linee Guida per la progettazione del Piano Paesistico Regionale e per la formazione prioritaria dei Piani Paesistici delle Isole Minori tra le quali quelle vulcaniche: Eolie, Ustica, Pantelleria e Linosa.

compatibili dei loro terreni, resi ovviamente inedificabili dal regime di Riserva Naturale.

La redazione del Piano Paesistico Territoriale delle Eolie da parte della Soprintendenza ai Beni Culturali e Ambientali di Messina<sup>18</sup> ha consentito la visione sinottica simultanea territorializzata di tutti i Beni Culturali Territoriali, intesi come risorse, e ha evidenziato il valore aggiunto dalla loro messa in sistema nell'economia delle 98 tavole del disegno complessivo, relativo al progetto del Piano della conservazione e della trasformazione compatibile nella fruizione di tutti i Beni Culturali Territoriali Eoliani.

Sulla base di questi presupposti e con queste azioni è stata così prodotta la garanzia formale richiesta dalla Costituzione attraverso un atto dotato di normativa di piano garantistica per uno sviluppo compatibile con l'intangibilità dei Beni Culturali e naturali riconosciuti e considerati nel ruolo di risorse d'identità per un eco-sviluppo a matrice culturale.

L'adozione, le procedure democratiche di osservazioni, ricorsi, controdeduzioni e approvazione finale hanno fornito legittimità al Piano Paesistico a livello regionale e nazionale<sup>19</sup>.

Sono così maturate le condizioni di efficacia e di garanzia per un passaggio da una tutela a livello di Patrimonio regionale e nazionale ad una tutela a livello di Patrimonio dell'Umanità.

Prima l'Amministrazione Comunale di Lipari dal 1974, poi la Soprintendenza ai Beni Culturali ed Ambientali di Messina unitamente al Ministero degli Affari Esteri<sup>20</sup> hanno portato a termine le operazioni di assistenza con le ultime documentazioni del Piano Paesistico a sostegno della candidatura World Heritage Tentative List per il riconoscimento di valore "eccezionale ed universale" per la dichiarazione di appartenenza al Patrimonio dell'Umanità.

Successivamente una Commissione Scientifica Internazionale nominata dall'UNESCO<sup>21</sup>, dopo l'esame del Piano Paesistico ed un sopralluogo d'ispezione in elicottero su tutte le isole, ha relazionato favorevolmente per l'approvazione della candidatura.

---

<sup>18</sup> Soprintendente ai Beni Culturali e Ambientali di Messina: dr. G. Bacci, Direttore Sezione P.A.U.: arch. G. Campo, Direttore Sezione Beni Etnoantropologici: dr. Todesco.

<sup>19</sup> Il processo di redazione e approvazione è stato caratterizzato da conferenze dei servizi, incontri, manifestazioni, revisioni, esame e modifiche da parte del Comitato-Scientifico, adozione, presentazione, esposizione pubblica, osservazioni, esame delle osservazioni e controdeduzioni, nuovo esame da parte di un secondo Comitato Tecnico Scientifico, approvazione, ricorsi presso il Tribunale Amministrativo Regionale competente, difesa con intervento dell'Avvocatura dello Stato.

<sup>20</sup> In questa fase il documento finale è stato redatto con passione ed alta professionalità dall'arch. G. Maxhuni per conto della Soprintendenza ai Beni Culturali e Ambientali di Messina con la collaborazione dell'autore e l'assistenza alla complessa procedura dell'arch. Guido del Ministero degli Affari Esteri. L'Ambasciatore Italiano alle Nazioni Unite P. P. Fulci e l'On. La Volpe hanno dato grande sostegno alla fase finale del processo.

<sup>21</sup> Della quale hanno fatto parte il Direttore del Parco Nazionale degli Abruzzi (dr. Tassi) unitamente agli esperti internazionali per la parte naturalistica e monumentale (dr. Ray-Bondin, ICOMOS).

Infine l'UNESCO, verificata la sussistenza della situazione di motivata tutela effettuata dal Piano Paesistico e riconosciuto il carattere "eccezionale ed universale" dell'Arcipelago Eoliano lo ha promosso a Patrimonio dell'Umanità.

### **Conclusioni: Trasformare i Vincoli in Risorse**

Tutto questo però non basta. È opportuno che questa identità venga, se possibile, integrata anche formalmente nel riconoscimento della consustanzialità dei valori umanistici, archeologici, etnografici, storici e artistici con quelli naturalistici affinché tutte le componenti culturali concorrano a rendere sostenibile lo sviluppo a base culturale.

Mentre a Salina la riserva naturale è stata attuata, sostenuta, gestita e con la sua magnificenza allarga il cuore a chi la visita e costituisce un fiore all'occhiello delle isole Eolie, tutte le altre Riserve Naturali che riguardano i grandi corpi vulcanici delle altre isole sono state quasi tutte dichiarate decadute dai Tribunali Amministrativi, sino all'eventuale accoglimento di una nuova riproposizione delle motivazioni istitutive. Queste motivazioni, esistenti e prodotte in forma molto impegnativa dal Piano Paesistico, non sono state assunte per la riproposizione da parte degli Organi Competenti.

Lo stesso Piano Paesistico, sulla cui efficacia è stato basato il riconoscimento della qualifica di Patrimonio dell'Umanità, non solo in termini di conoscenza motivante e tutela giuridica teorica ma anche di tutela reale delle condizioni di conservazione del Bene, può essere ora vanificato dall'enorme pressione degli interessi economici a breve termine col conseguente rischio di possibile esclusione delle Eolie dalla lista del Patrimonio Mondiale per mancata adozione di misure adeguate da parte dello Stato Membro.

Per questo motivo bisogna che l'azione di tutela passi da una condizione di sovrastruttura culturale lontana a quella di struttura locale percepita come risorsa per la collettività attraverso una sempre maggiore conoscenza locale dei valori riconosciuti.

Quello che per la Costituzione Italiana era Patrimonio insuscettibile di destinazione diversa da quella derivante dalla sua identità culturale, quello che per l'UNESCO è ora Patrimonio dell'Umanità, per altri era e resta speranza di patrimonio economico personale privato, sia in forma diretta, sia in forma indiretta di strumento di consenso elettorale. Tale speranza non è affatto spenta<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> Il Tribunale Amministrativo Regionale della Sicilia è chiamato a pronunciarsi circa ricorsi che cercano di fare decadere non situazioni specifiche, bensì l'intero Piano Paesistico per pretestuosi problemi di procedure. Mentre Amministrazioni Comunali di Santa Marina Salina e Malfa, che hanno a suo tempo collaborato alla istituzione, realizzazione e gestione della grande Riserva Naturale di Fossa delle Felci, hanno sostenuto il Piano Paesistico, proprio il Comune di Lipari ha presentato ricorso.

Per questo motivo è bene che si tenga proprio alle Eolie una Conferenza Internazionale che faccia conoscere che cosa avviene nel mondo in fatto di Parchi con presenza di fenomeni vulcanici, di isole vulcaniche talassogeniche divenute riserve, parchi in parte riconosciuti dall'UNESCO Patrimonio dell'Umanità<sup>23</sup>, o sottoposte a diverse forme di monitoraggio, tutela, offerta di conoscenza, organizzazione ecologica di sviluppo sostenibile.

Altri luoghi straordinari come l'Etna o il Vesuvio sono diventati in Italia Parchi Naturali creando (anche se tardivamente e quindi in misura troppo ristretta) confini alla autodistruzione per abusivismo, attraverso l'organizzazione di una risorsa economica gestita ecologicamente, che nella conservazione attiva della sua diversità e biodiversità crea ricchezza locale con adesione crescente nel tempo assieme allo sviluppo del Turismo Culturale delle popolazioni insediate.

Un protagonismo determinante è ora affidato al Piano della Comunità Locale, al Piano Regolatore Generale al quale spetta di armonizzare le molteplici ed in gran parte positive proposte dei nuovi strumenti di pianificazione, liberandoli dalle contraddizioni tipiche dei Piani settoriali redatti in sostituzione anziché in attuazione dei Piani Generali.

Le isole Eolie sono un teatro naturale ed umanistico di valori in cui convergono le responsabilità nazionali, regionali e locali derivanti dall'affidamento in gestione di un sito appartenente per straordinarietà ed eccezionalità al Patrimonio dell'Umanità.

L'arcipelago è una sede ideale per Incontri Internazionali, è il luogo del desiderio di tutti i vulcanologi, è un focal point della cultura umanistica, con la possibilità di visite allo straordinario e ormai famoso Museo Archeologico, alla sezione vulcanologica, ai Vulcani ed ai Siti Archeologici dell'arcipelago e al Castello di Lipari; qui l'ex-Chiesa di S. Caterina e prossimamente anche l'ex-chiesa dell'Immacolata recuperate e trasformate in auditori, unitamente al teatro all'aperto in pietra lavica, potrebbero offrire una splendida sede attrezzata sull'Acropoli per una conferenza UNESCO.

Credo che tale iniziativa potrà trovare il sostegno della Regione Siciliana, che ha approvato il Piano Paesistico Eoliano dopo un lungo, complesso e combattuto processo, approvazione che ha fornito il soddisfacimento di quella severa clausola di garanzia, richiesta dall'UNESCO<sup>24</sup> e relativa alla adeguatezza della "protezione legislativa regionale o istituzionale a lungo termine" per sostenere la riconoscibilità internazionale del Sito candidato.

Oltre a contributi scientifici e tecnici di conoscenza dei Parchi a livello mondiale, l'iniziativa di una Conferenza Internazionale dedicata alle Eolie fornirebbe un ulteriore elemento di sostegno verso la realizzazione del grande Parco Archeologico e Vulcanologico Eoliano, naturale proiezione operativa dell'evoluzione delle Risorse

---

<sup>23</sup> Tra i Parchi Insulari Vulcanici riconosciuti dall'UNESCO si citano: le Hawaii, le Cocos, le Galapagos, le Solomon, Papua, Kamchatka, nel Pacifico; Island-Surtsey e le Canarie, nell'Atlantico; le Eolie nel Mediterraneo. A queste vanno sommate tutte le altre isole vulcaniche talassogeniche degli Archi Insulari e delle Dorsali Oceaniche non iscritte nel Patrimonio.

<sup>24</sup> UNESCO – "Indicazioni agli Stati Membri concernenti le proposte di iscrizione alla Lista" Capitolo D (vi).

Naturali in ogni isola degli Ambiti di Tutela Paesistica, del riconoscimento delle Eolie come sito di interesse “Universale ed Eccezionale” a livello mondiale, a questo titolo promosso dall’UNESCO a Patrimonio dell’Umanità.

Tutto questo al fine di trasformare i vincoli in risorse e queste risorse da risorse potenziali in risorse reali comprese e difese dalla popolazione locale e fruito in modi compatibili da questa stessa e dal mondo.

Fig. 1 - Esempio di Tabellone didattico della sezione di Vulcanologia Generale (G. Nappi, Depositi da flusso piroclastico turbolento, Piroclastic Surge). La sezione fornisce un quadro del vulcanismo come parte delle Scienze della Terra mediante l'illustrazione delle attività e dei prodotti dei vulcani, della morfotipologia, della magmatologia, dei danni e benefici, del rischio vulcanico e sismico, della sorveglianza dei vulcani attivi

## Depositi da Flusso Piroclastico Turbolento (*Pyroclastic Surge*)

I depositi da flusso piroclastico turbolento (*pyroclastic surge*) sono il risultato di un flusso diluito costituito da una sospensione gas-solido e caratterizzato da energia e velocità elevate. L'energia del flusso nei settori prossimali è talmente elevata che non avviene deposizione di materiale, ma viene lasciata solo un'impronta del passaggio; in tal modo si formano dei canali di erosione e, quando il flusso incontra dei tronchi d'albero, li taglia alla base. In genere questi depositi sono stratificati, a granulometria fine e gradazione inversa; spesso formano dune ed antidune. Intercalati a questi depositi si possono trovare livelli cineritici finissimi, prodotti da piogge di fango. Quando le ceneri si agglutinano danno luogo a lapilli accrezionali.



Lipari, loc. Vallemuria. Depositi di *wet surge* con strutture di impatto.



Lipari, loc. Vallemuria. Alternanza di livelli cineritici e sabbiosi a gradazione inversa (*surges*). Si noti alla base una struttura di impatto di un litico nelle ceneri plastiche.



Vulcano, loc. Forgia Vecchia. Depositi cineritici varicolori laminati e a gradazione inversa riferibili all'attività idromagmatica dalla Fossa.



Isola di Faial, Capelinos. Depositi da flussi turbolenti costituiti da alternanza di livelli di ceneri fini e sabbie nettamente laminati, prodotti da una delle poche eruzioni idromagmatiche avvenute in epoca storica.



Lipari, Loc. Capistello. Alternanza di sottili livelli di *dry surge*, *wet surge* e breccie a gradazione inversa. Notare la laminazione degli strati e la stratificazione incrociata.



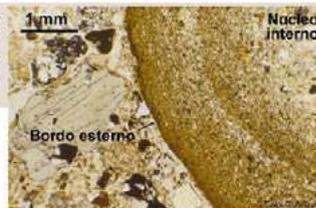
Lipari, loc. Diana. Depositi di ceneri bagnate.



Stromboli, Complesso di Scari. Deposito da *base-surge* con strati ondulati e laminazione interna.



Lapillo accrezionale in sezione sottile. Si osservi l'agglutinamento concentrico progressivo dal nucleo interno verso il bordo esterno del lapillo.



Museo Archeologico Reg. Eoliano - Sezione Vulcanologia. Fondatore L. Einaudi Bisi - progettista coordinamento sciarificio V. Cabianca - direttore museo V. Spigo (dal 1967). Consulenti vulcanologici: A. Pittirani 1960-1980; G. Nappi 1994-2000; G. Giodanelli 1994-2000; PL. Rossi 1994-2000; G. Frassetto 1999-2000. Tabellone didattico a cura di G. Nappi - collaborazione grafica a cura di M. Mattioli e G. Raffaelli.

Fig. 2 - Esempio di Tabellone didattico della sezione di Geodinamica dell'Arco Vulcanico Eoliano (P. L. Rossi, G. Gabbianelli, Lineamenti Evolutivi del Mediterraneo II). L'apparato didattico di questa sezione consente una visione storicizzata dei Vulcani Eoliani come sommità emergenti degli apparati eruttivi dell'Arco Vulcanico Attivo Eoliano che va con continuità dai sea-mounts di Palinuro e Lametini sino ai vulcani sommersi della parte occidentale dell'arcipelago, Eolo, Sisifo ed Enarete. I tabelloni didattici ne illustrano l'evoluzione dell'area dell'attuale Mediterraneo a partire dalla chiusura dell'oceano primordiale della Tetide sino all'attualità

## LINEAMENTI EVOLUTIVI DEL MEDITERRANEO (II)

Il Mar Mediterraneo occupa un'ampia depressione a sviluppo Est-Ovest incuneata tra le zolle africana ed euroasiatica. Il Canale di Sicilia divide il Mediterraneo in due distinti bacini: l'occidentale e l'orientale. La sua configurazione è il prodotto di una complessa evoluzione geodinamica iniziata con l' "Oceano della Tetide" e, dopo la chiusura di questo, con la formazione di una successiva serie di "bacini oceanici" generati a seguito della collisione tra placca africana ed euroasiatica.



L'apertura dell'oceano tetideo si arresta all'incirca nel Cretaceo inferiore (circa 130-120 Ma) allorché le Placche (o Zolle) Africana ed Europea iniziano ad avvicinarsi tra loro. Tale collisione portò, tra i 70 ed i 30 milioni di anni fa, alla formazione della Catena Alpina.

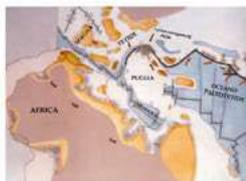


Fig. 2 - Circa 110 milioni di anni fa la Puglia si stacca dall'Africa.



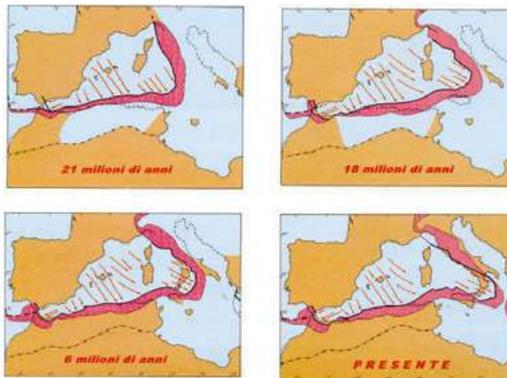
Fig. 3 - Circa 65-70 milioni di anni fa inizia la formazione delle Alpi.

Negli ultimi 30 milioni di anni circa alla convergenza o collisione tra placche si è sovrapposta, inducendo notevoli difficoltà nelle ricostruzioni geologiche, la formazione di nuovi "bacini oceanici". Alcuni di questi bacini, come, ad esempio, il Mediterraneo Occidentale, hanno concluso la propria evoluzione; altri, come il Tirreno (cfr. *Tabb. successivi*), o parte dell'Egeo, sono ancora in via di sviluppo.

SCALA DEL TEMPO GEOLOGICO		EVENTI PRINCIPALI	
ERATICA	DEI E PIANO	MELENI DI ANNI FA	
CENozoico	Olocene	-0,01	Scioglimenti Imp. Crinale, arco Eolico Apertura bacini Tirreno e parte di bacini Egeo-Adriatico catena alpina inizio collisione A-E
	Pliotocene	1,7	
	Pliocene	5,3	
	Miocene	23	
	Oligocene	36	
TERZIARIO	Eocene	55	
	Paludino	65	
	inf.	95	
MESOZOICO	inf.	140	Inversione del movimento tra Africa e Europa separazione medio-oceania oceanizzazione separazione continentale
	Malm	152	
	Dogger	160	
	Lias	205	
	inf.	240	
PALEOZOICO	SWP.	290	Inizia fratturazione della Tetide Pangaea e Tetide
	Carbone	300	
	Devoniano	354	
	Permiano	410	
	Ordoviciano	456	

Per quanto riguarda, in particolare, la genesi del Mediterraneo Occidentale, la cui oceanizzazione è avvenuta all'incirca tra i 21 ed i 18 milioni di anni fa, essa è sostanzialmente connessa alla formazione e rotazione del blocco Sardo-Corso ed all'orogenesi delle catene montuose maghrebide e betiche (da MASCLE & REHAULT, 1986; modif).

Tale fase si conclude definitivamente all'incirca 13 milioni di anni fa. Successivamente, a partire dal Miocene medio (circa 10 Ma fa) si registrano nuovi fenomeni distensivi e di oceanizzazione nell'area attualmente occupata dal Mar Tirreno (cfr. *Tabb. successivi*)



I processi geodinamici di avvicinamento tra placca africana ed euroasiatica sono tuttora attivi ed il futuro ci riserverà uno scenario molto prossimo a quello schematizzato nella figura adiacente (da MASCLE & REHAULT, 1986)



MUSEO ARCHEOLOGICO DI LIPARI - Sezione di Vulcanologia Eoliana  
 Promotore: L. Bernabò Brea (1966); Progettista e Coordinatore scientifico: F. Cabianca (1968-'95), Consulente generale: A. Rimassa (1968-'75), Direttore del museo: U. Spigo (87-95).  
 Tabellone didattico a cura di: G. Gabbianelli e R. Sartori, Università di Bologna.  
 Progetto grafico: L. Giacomelli (Fondazione Flamini).  
 Fonti: DIETZ R.S. & HOLDEN J.C., 1971 - La scissione del Pangaea. *Le Scienze*, 29; MASCLE J. & REHAULT J.P., 1986 - *Il stato uno fois la Méditerranée...* Serie dispositive C.N.R.S.; REHAULT J.P., MASCLE J. & BOILLLOT G., 1984 - *Evolution géodynamique de la Méditerranée depuis l'Oligocène*. *Memorie Società Geologica Italiana*, 27, 85-96.

**Fig. 3 (pagina a lato) - Esempio di Tabellone didattico della sezione di Vulcanologia Eoliana (G. Frazzetta, Evoluzione spazio-temporale dell'isola di Vulcano). Nel Museo, ad ogni isola è stata dedicata una sala; gli apparati vulcanici vengono analizzati attraverso l'evoluzione cronologica, geomorfologica, geochimica, l'interpretazione vulcanologica per apparati, successioni e tipologie eruttive, la campionatura e classificazione mineralogica e geochimica di tutti i prodotti. Un plastico aiuta alla comprensione sintetica della formazione evolutiva dei vulcani per fasi e per apparati. Infine i Tabelloni del Piano Territoriale Paesistico delle Eolie illustrano i valori scientifici del Patrimonio e le forme di fruizione compatibile e, attraverso la responsabilizzazione derivante dalla conoscenza, concorrono alla conservazione della risorsa culturale costituita dai vulcani dell'Arco Eoliano**

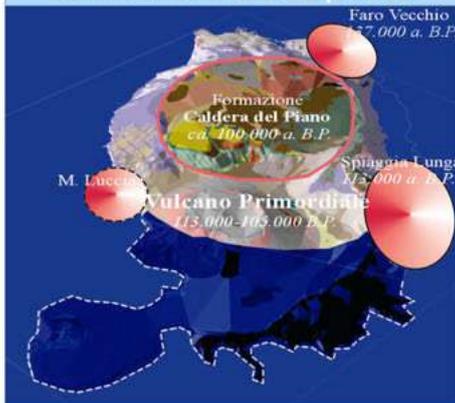
# ISOLA DI VULCANO

## Evoluzione Spazio-temporale delle Principali Unità Morfovolcanologiche

L'isola di Vulcano è la più meridionale e la più giovane delle tre isole (Salina, Lipari e la stessa Vulcano), che si localizzano lungo l'importante allineamento tettonico Eolie-Tindari-Giardini, a direzione NNV-SSE. L'evoluzione geologica, sviluppatasi a partire da 137.000 anni dal presente, si articola in cinque Stadi evolutivi, ciascuno dei quali comprende diversi cicli di attività. I prodotti emessi presentano composizioni che vanno da basalti a rioliti, tutti molto ricchi in potassio (shoshoniti).

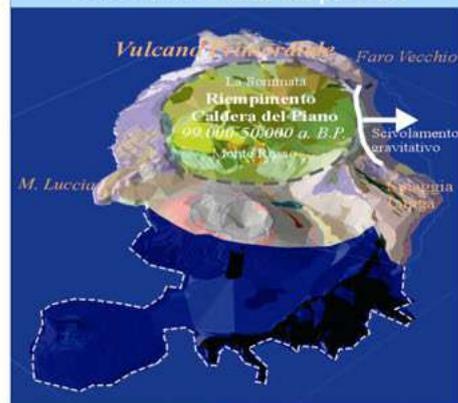


### I e II STADIO EVOLUTIVO 137.000-100.000 anni dal presente



Durante il **I Stadio** (137.000-113.000 anni dal presente), si formano i centri eruttivi di **Faro Vecchio** di **Spiegia Lunga** e di **Monte Luccia**, oggi molto mal conservati. Durante il **II Stadio** si forma il grande strato-cono del **Vulcano Primordiale** (113.000-105.000 anni dal presente), alto circa 1.000 metri. Un successivo imponente collasso, che ha interessato gli ultimi 500 m dell'originario cono, ha dato origine alla formazione della **Caldera del Piano**.

### III STADIO EVOLUTIVO 99.000-50.000 anni dal presente



Durante il **III Stadio** si ha il **Riempimento della Caldera del Piano**, che avviene in due fasi. La prima fase (99.000-78.000 anni dal presente) è caratterizzata da attività magmatica, con formazione di colate laviche, che riempiono l'originaria caldera. La seconda fase (78.000-50.000 anni dal presente) è caratterizzata da attività idromagmatica con formazione di depositi di "surge" sia "dry" che "wet". Si formano i coni intracalderici di **Monte Rosso** e **La Sommatà**.

### IV STADIO EVOLUTIVO 25.000-14.000 anni dal presente



Durante il **IV Stadio**, si verifica un collasso vulcano-tettonico che interessa il fianco settentrionale dello strato-cono. Dopo una lunghissima stasi eruttiva, si forma, a nord-ovest dello strato-cono, il **Complexo della Lentia** (25.000-15.000 anni dal presente), a composizione riolitica, coevo con i duomi di Monte Guardia e Monte Giardina a Lipari, e i **Tufi di Grotte dei Rossi** di provenienza esterna all'isola.

### V STADIO EVOLUTIVO 14.000 anni dal presente -1890 d.C.

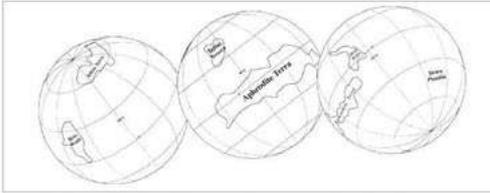


Durante il **V Stadio**, a partire da circa 8.000 anni dal presente, inizia la costruzione del **Cono della Fossa**, attraverso almeno 6 cicli eruttivi, tutti con il medesimo meccanismo eruttivo: attività idromagmatiche iniziali ed emissione di colate laviche finali. Nel **183 A.C.**, emerge l'isolotto di **Vulcanello** che si congiunge all'isola maggiore a seguito dell'attività del **1550 d.C.**. L'ultima attività alla Fossa è quella del 1888-90.

Museo Archeologico Regionale Eoliano - Sezione Vulcanologica - Promotore: L. Bernabò Brea - Direttore Museo: U. Spigo - Progettista e coordinatore scientifico: V. Cabianca - Consulenti vulcanologici: A. Rittmann, 1965-80; G. Gabbianelli, G. Nappi, P.L. Rossi, 1994-2000; G. Frazzetta, 1999-2000 - Tabellone didattico a cura di: G. Frazzetta - Elaborazione grafica a cura di: G. Frazzetta, K. Corsino, F. Frazzetta.

**Fig. 4 (pagina a lato) - Esempio di Tabellone didattico della sezione di Vulcanologia Cosmica – (V. Cabianca, Vulcanismo del pianeta Venere). L'illustrazione dell'attività vulcanica fossile o attuale nei pianeti e nei satelliti del sistema solare sposta l'attenzione del visitatore da una visione geocentrica riguardante soltanto la Terra, ad una visione più vasta che riguarda l'intero Sistema Solare ed al suo interno la Terra viene vista come uno dei suoi pianeti, nel quale particolarissime condizioni ambientali hanno consentito la nascita della vita e il suo sviluppo sino al livello umano con un forte contributo dovuto all'attività vulcanica (atmosfera primitiva, grandi estinzioni, selezione dei mammiferi)**

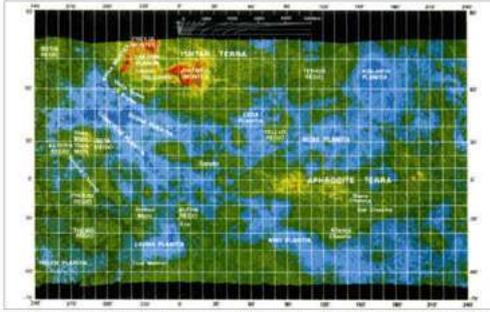
# 4 IL VULCANISMO DI VENERE



Mappatura in proiezione sferica delle principali formazioni ("Terra", "Regio") di Venere all'interno delle quali si trovano i vulcani, con attività eruttiva attuale o recente individuate dalla sonda Magellano



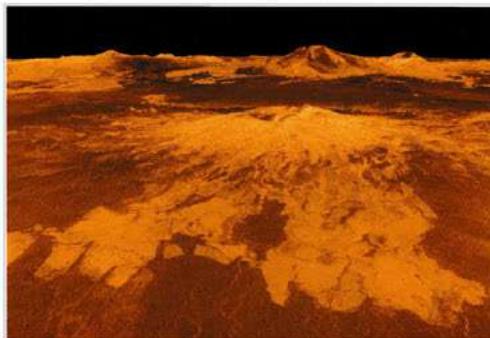
Rappresentazioni emisferiche di Venere in tre proiezioni ottenute con rotazioni di 120°. I colori sono basati sulle risultanze delle sonde sovietiche Venera 15 e Venera 16 (1988)



Proiezione cilindrica della superficie di Venere in rapporto con la ricostruzione radar+computer della sua immagine sferica, con i grandi vulcani: Sapas Mons e Maat Mons, di cui alle immagini sottostanti. Naturalmente tutta la crosta è originariamente lavica con sovrapposte colate da vulcanismo diretto o innescato dall'impatto di meteoriti. L'alterazione crostale deriva da impatti, da grandi "superpennacchi" magmatici caldi giunti alla base della litosfera e da chimismo evolutivo in atmosfera di acido solforico etc. con temperatura diurna al suolo di circa 480 °C e pressione di circa 90 volte superiore a quella terrestre.



Mosaico di immagini radar del primo ciclo di rilievi della sonda Magellano (1990-91). La banda più luminosa all'equatore è detta Aphrodite Terra. In basso a sinistra la Artemis Corona, costituita da strutture circolari con anelli concentrici probabilmente dovute a zone calde prodotte da risalite del mantello. Nella zona centrale della foto i due grandi vulcani a scudo Sapas Mons e Maat Mons. Visibilissimi i segni del tormento tettonico e le immense colate laviche che, per via delle alte temperature ambientali, risultano molto più fluide dovendo cedere all'atmosfera molto meno calore rispetto a quelle sulle Terra



Il vulcano Sapas Mons, largo 400 km sinuato sul bordo occidentale di Atlas Regio. Il vulcano è alto 1500 mt, con un picco che si staglia a circa 4500 mt dall'altitudine media del pianeta. Sullo sfondo è visibile il Maat Mons, alto 8000 mt. Si notino le colate laviche che si estendono a partire dalla base del Sapas per migliaia di km.

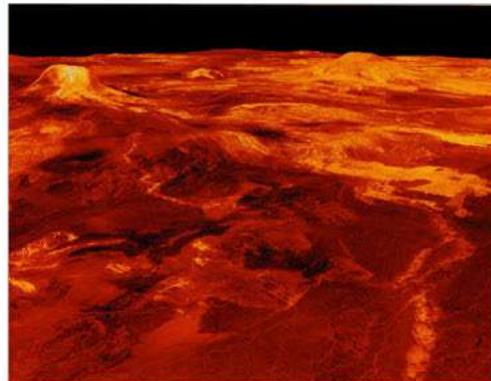


Immagine radar dalla sonda Magellano localizzata a nord-est della Eistla Regio. Sulla sinistra è visibile il vulcano Gula Mons, alto 3000 mt. Le colate laviche si estendono per centinaia di km dalla base del vulcano. Sulla destra si può notare il vulcano Sif Mons che ha un diametro di 300 km ed un'altezza di 2000 mt. La distanza tra i due vulcani è approssimativamente di 730 km. I due vulcani Sif e Gula possono essersi formati a partire da un "superpennacchio" di magma caldo proveniente dall'interno del pianeta, che ha dato luogo a fuoriuscite eruttive nella litosfera.



Il vulcano Maat Mons, che risalta lungo l'orizzonte della foto, è un vulcano a scudo, costituito da colate laviche sovrapposte. Con un'altezza di 8000 mt è il più grande vulcano di Venere, paragonabile al vulcano a scudo Mauna Loa nelle isole Haway formatosi in sommità di un punto caldo al centro dell'oceano Pacifico.

Tutte le immagini sono ottenute per sintesi al computer dei dati radar acquisiti dalla sonda Magellano, lanciata il 4.5.1989 dallo Space Shuttle Atlantis ed entrata in orbita intorno a Venere il 10.8.1990. Grazie al SAR (Synthetic Aperture Radar) la Magellano è in grado di "penetrare" la coltre di nubi solforiche che rende invisibile la superficie di Venere, riprendendo una "striscia" di superficie ogni orbita. Il primo ciclo per il mappaggio completo della superficie ha richiesto 1680 orbite ed è terminato il 15.5.1991. Un quarto ciclo iniziato il 15.9.1992 è dedicato allo studio della dinamica del pianeta.

INQUIRO ARCHIVIO DOTTORI EBBE; SEZIONE DI VULCANISMO DELLA TORIANA PROMISSIBILE; L'ESPRESSO; RIELI VIGNO; PROGETTISTI E COORDINATORI SCIENTIFICI: VIGILIANO CARRARA; CONSULENTI E BASE: A. RUFFINO; (1986-7); TABELLONE DIDATTICO COORDINATELE: LAURA DI SCARABIA (1996); FONTE: DOCUMENTAZIONE SONDA MAGELLANO; IMMAGINI NASA CORTESIAMENTE FORNITE DALLA TUTTITA DI PLANETOLOGIA DEL SISTEMA SOLARE (U.S.N.A.); PRIMO: "IL GLENNESS DELLA ASTRONAVIA"; M.S. ROSSIGNOL; I. MONTI PERI; "METEORITI BASALTICHE"; SCIENTIFIC AMERICAN V.310; A. BRACCHI; G. APRARA; M. BAZZ; "ALLA SCOPERTA DEL SISTEMA SOLARE"; DIONADORE, PIERO BIANCHI "IL NUOVO SISTEMA SOLARE"; GRUPPO EDITORIALE FABBRI; "ATLANTE CAMBRIDGE DEI PIANETI"; DANIELLE ALLEGRIANI; LE POLEAR; PROGETTO GRAFICO: R. BETTA; LE ILLUSTRAZIONI COMPUTERIZZATE: A. GARDINO; S. MARTELLO; S. DI BONA.



## POMPEII A MAJOR MARITIME HARBOUR?

Nicholas WOOD, Hampstead, London.

### Summary

Reconstruction of the topography buried under the AD 79 volcanic deposit shows that prior to that eruption the shoreline lay much closer to Pompeii than today. However this does not account for the present elevation of the mooring rings by the Porta Marina, which show that the sea originally came up to the city walls, and it is therefore proposed that Pompeii has undergone 8 m of tectonic uplift, probably in a series of earthquakes, since 62 AD, by no means implausible in an area where (as at Ischia) up to 25 m of post Roman uplift has been documented. The pattern of post 79 AD centuriation and the disposition of archaeological discoveries, especially *horrea* South of Pompeii, support the proposition that the commercial harbour lays immediately to the South of the Temple of Venus. Statistics of possible agricultural and non-agricultural production of the hinterland of approximately 540 km<sup>2</sup> indicate that the harbour could accommodate between 50 and 100 merchant ships, i.e. a quay length of 400 to 800 m. Space for fishing boats and pleasure craft would require an even longer quay. The wrecks of contemporaneous Roman ships indicate that the harbour need have been no more than 3 to 4 m deep tapering to 1 m at the margins. These suggestions could be tested by ground penetration radar, followed by localised excavation.

### Introduction

C. François Mazois in 1812 intuitively felt that the harbour of Pompeii lays up against the Western city wall, though at the time this area was covered in even more ash than at present, as it was a dumping ground for spoil from the XVIII Century excavations, with a ground level some 17 m above modern sea level.

In 1965 excavations were carried out in this area near the Porta Marina and a row of 16 stone blocks with horizontal holes in them (3.8 m apart) were found within a retaining wall 98 m long (Fig. 1). These blocks are typologically similar to blocks found at Ripa Marmorata, Giannutri, Terracina, and Portus Trajanus. As can be seen from a funeral relief at Portus Trajanus they are mooring rings for ships and large river vessels. Ships would be tied up in the manner of Mediterranean mooring that is bow first, with warps threaded through the rings on the quay, and with two anchors dropped into the harbour from the stern. The Portus relief shows a stevedore carrying an amphora on his back down a gangplank on the quay.

The question then arises how can there be a row of mooring rings for ships at Pompeii, that are the same distance apart as at Leptis Magna and in the same disposition, but some 11 m above modern sea level, when their functional level should be between one and two and a half metres above sea level? Something very dramatic must have

happened to Pompeii either in the 62 AD earthquake and / or at 79 AD or subsequent to 79 AD as a series of events or a single event.

What could have caused the dramatic change of level? What could have caused the present 2 km distance between Pompeii and the sea?

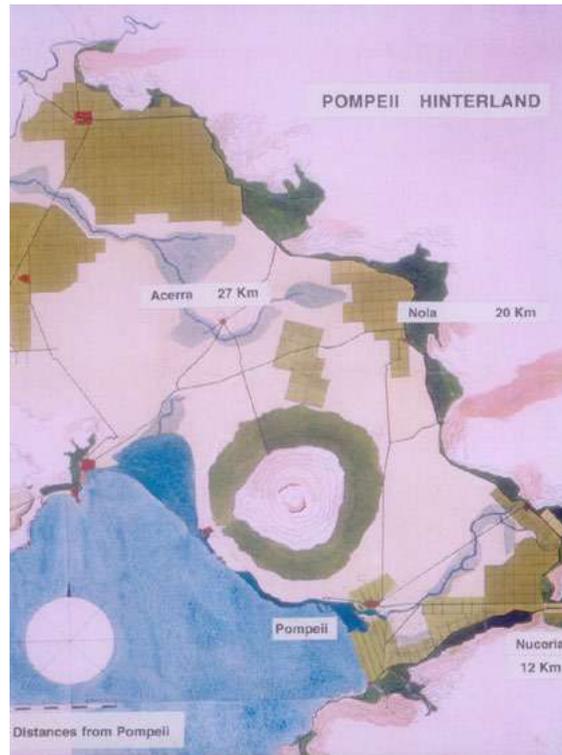
## Pyroclastic deposits and the shoreline

Taking the second question first, if the thickness of the ash fall and the pyroclastic flow of 79 AD are combined<sup>1</sup> they form a very shallow cone over the Pompeii region from Vesuvius to Stabiae (Fig. 3). If the thickness of this cone is deducted mathematically from the modern ground surface contours mathematically the reconstructed shoreline approached Pompeii by 1 km from the present line (Fig. 4). The deepest water lies just opposite the Sarno River. Further South it was far too shallow at only 1 m. Interestingly the land revealed corresponds to traces of the Pompeii *territoria* centuriation still existent. There is however a problem with this reconstructed shore line in that the sea is still a long way from the 16 mooring blocks, especially as Luna Leopold would expect the gradient of an estuary, taken from American examples he has studied to be in the order of 10-15 cm per km. It is contended that something happened post 79 AD in addition to simple deposition of pyroclastic products. The hypothesis is that Pompeii has also been subject to *bradisismo*.



Fig. 1 - Mooring rings at Pompeii

<sup>1</sup> *Carta Geologica*, CNR, 1986.



**Fig. 2 - The Pompeii hinterland**



**Fig. 3 - Pyroclastic deposits over Pompeii: contours at 1 m intervals**

## Tectonic movements in the Bay of Naples

In his letter to Tacitus, Pliny the Younger described the effect of the eruption at Misenum:

The sea appeared to have shrunk, as if withdrawn by the tremors of the earth. In any event, the shore had widened, and many sea creatures were beached on the sand.

The bay of Naples is subject to tectonic elevation and depression of the land in relation to the sea level. These dramatic movements are in contrast to the West coast of Italy which has remained fairly static at plus or minus one metre in relation to sea level since the Roman period, as can be seen by a study of the archaeological remains of marine structures. At the time of the 79 AD eruption Herculaneum sank 3.65 m. Subsequently to 79 AD, Misenum has tilted and sunk 6 m, part of Ischia has risen<sup>2</sup> by 25 m, Nisida mooring rings have been found 5 m below sea level, and Pozzuoli has been going up and down like a yo-yo. Recently fishermen came down to the harbour in the morning to find that Pozzuoli had risen 2 m out of the sea overnight and their boats were high and dry. A graph of the bay of Naples shows how dramatic these movements have been (Fig. 5). Pompeii is only 13 km from Herculaneum and probably on a fault line represented by the Southern cliff of Pompeii<sup>3</sup>. It is contended that since 62 AD there has been a total uplift of 8 m in the South West corner of Pompeii. In 62 AD in Pompeii in the garden of the *Casa del Successo* there was a tilting of 18 cm in 7 m, which if projected would give a title of 180 cm in 70 m.

## A lido

Are there any other clues to the location of the harbour? There is a widely held view that the Sarno river flowed in 79 AD in the same position it did in the XVIII Century, and that the harbour lay in this Southerly position. It is here contended that this is an impossibility, firstly because the entrance from the sea would have been too shallow, secondly the pyroclastic deposits 4 to 5 m thick dumped on the area would have pushed the river from a Northerly position to a Southerly one and thirdly there are no structures found in the area that are specific to harbours. The buildings in this area at Bottaro associated with the original shoreline are *villas*, *tabernae* and fishermen's stores<sup>4</sup> containing nets and small anchors for fishing boats. In 1930 Lorenzo Cozza excavated a short section of concrete mole, masonry quay and road, 700 m West of the Porta Marina and just North of Bottaro. These structures may be part of the entrance to the arbour of Pompei and the estuary of the Sarno River. Their location corresponds to the deepest part of the sea off shore.

---

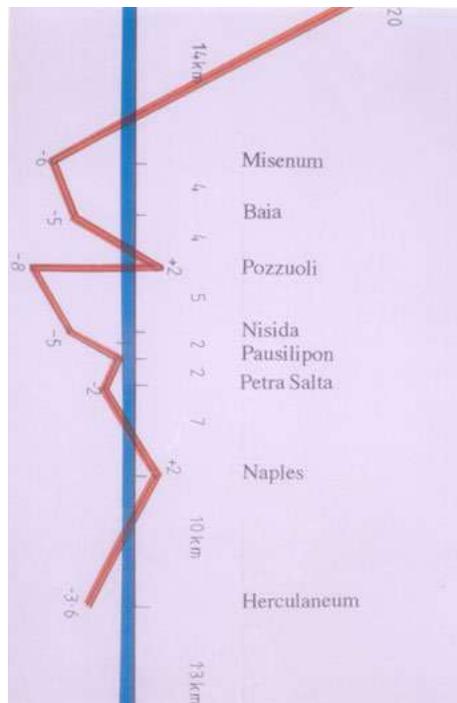
<sup>2</sup> G. Buchner et alii, 1998.

<sup>3</sup> *Quaderni Ricerca Scientifica*, 1987, pp. 180-191.

<sup>4</sup> *Notizie dagli Scavi*, 1901, p. 425 et sequentes.



**Fig. 4 - Reconstructed shore line after deduction of pyroclastic deposit thickness**



**Fig. 5 - Tectonic movements in the Bay of Naples post 79 AD**

## Warehouses

Warehouses indicate the presence of docks. It would be essential for wine especially to be stored in cool warehouses, unless it is transferred immediately into ships, as its temperature ideally should be 7-8 °C to prevent bacterial growth. Likewise grain has to be kept dry and cool<sup>5</sup>. Where horrea are associated with ports, they are almost always (save the Horrea Galbana) only some 6 to 8 m from the water's edge, for the simple reason one does not want one's slaves to walk very far when off-loading or loading a ship. Warehouses at Formia are only 8 m from the sea, Ventotene 6 m, Portus Trajanus 8 m and Terracina, first phase, 3 m. So where are these warehouses in Pompeii?

In fact the warehouses, built into the Southern wall of Pompeii, are found under the Temple of Venus, the goddess born from the sea. The main three storey horrea building, badly damaged in the upper floors by pyroclastic surge, measured some 80 m long, by 15 m deep, by circa 15,6 m high. Deducting the thickness of floors, walls and vaults this would have had a capacity of circa 12 969 m<sup>3</sup> allowing some 58 000 amphorae to be stacked there, or a larger bulk of sacks of grain piled to the ceilings.

Comparatively this is more than half the capacity of the very large Severan Horrea at Portus Trajanus. The lowest floor level of this horrea is at present 17,59 m above sea level. It is the contention of this paper that, at a lower platform, a great many more horrea will be found, and within 8 m of these there will be the harbour. By extrapolation from the levels of the 16 mooring rings it is possible to work out a possible harbour configuration (Fig. 6). Only by Ground Penetrating Radar and excavations can it be determined if this hypothesis is correct.

There is an absence of warehouses adjacent to the 16 mooring rings previously discussed. It is Luciana Jacobelli's view that this was a marina for private yachts as at the Tiberius Villa at Sperlonga. She indicates that this harbour probably served the very rich villas along the Western edge of Pompeii.

## Proposed location of harbour

This hypothesis assumes a more Northerly course of the Sarno River than the XVIII Century course, and that the harbour basin was in the form of an estuary, or lagoon, immediately to the South of the city walls. Archaeological finds support this contention (Fig. 7). An anchor<sup>6</sup> was found at the Roman Albergi (?) at Muregine, fishing equipment<sup>7</sup> in farm 41 and votive offerings<sup>8</sup> in ancient sand dunes pointing to the location of the Temple of Neptune. The disposition of over 170 skeletons in the area indicates that the people could flee no further due to the presence of tempestuous water. It is also expected to find a great number of skeletons in the lower warehouses of Pompeii as at Herculaneum.

---

<sup>5</sup> G. E. Rickman, 1971, p. 21.

<sup>6</sup> S. De Caro et alii, 1981, p. 258.

<sup>7</sup> *Notizie dagli Scavi*, 1929, p.190.

<sup>8</sup> A. D'Ambrosio, 1984, p. 257.



Fig. 6 - Speculative harbour plan

### Size of harbour related to exports

How large then, was this harbour of Pompeii? Strabo<sup>9</sup> says that Pompeii was the harbour of Acerra, 27 km away, Nola 19 km away, and Nuceria 14 km away. These indicate a very large area of hinterland. The pattern of Sulla's 92 BC centuriation still visible shows that by 79 AD probably some 540 km<sup>2</sup> of land was under intensive agriculture, up to the Apennines. Each *centuria* was an identical 49 hectares and measured<sup>10</sup> 710 m x 710 m, separated one from another by track ways for mule carts and ox wagons, ditches and boundary stones. Many of these boundaries can still be seen in the modern field patterns (Fig. 8). The *Pompeii territoria* axis of centuriation was at approximately 344 degrees North-North-West. This is different from Sulla's North-South, East-West centuriation and probably follows the old Greek Colonial axis, as at Metaponto, that ran parallel to the Bottaro shoreline. Nor are the *decumani maximi* 710 m apart as the Nuceria-Capua grid. This again is similar to the Greek colonial settlement at Metaponto<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> Strabo, 5.5, 7.8.

<sup>10</sup> Bradford, 1955.

<sup>11</sup> J. J. Carter, p. 410.

The excavated pre 79 AD farms<sup>12</sup> 33 and 34 are on slightly differing axes, which corresponds to the modern road, field ditches and tracks, which suggests that the Titus Commission reset out the grid on the old pre eruption boundaries. It is probable that many roads were also set out above pre eruption routes as was the case with the Pompeii -Nuceria road<sup>13</sup> and that the port at Torre Annunziata was a substitute for Pompeii's harbour. It is notable that there are no signs of this grid in the area of the possible harbour, which again supports the hypothesis that this area was under water pre 79 AD.

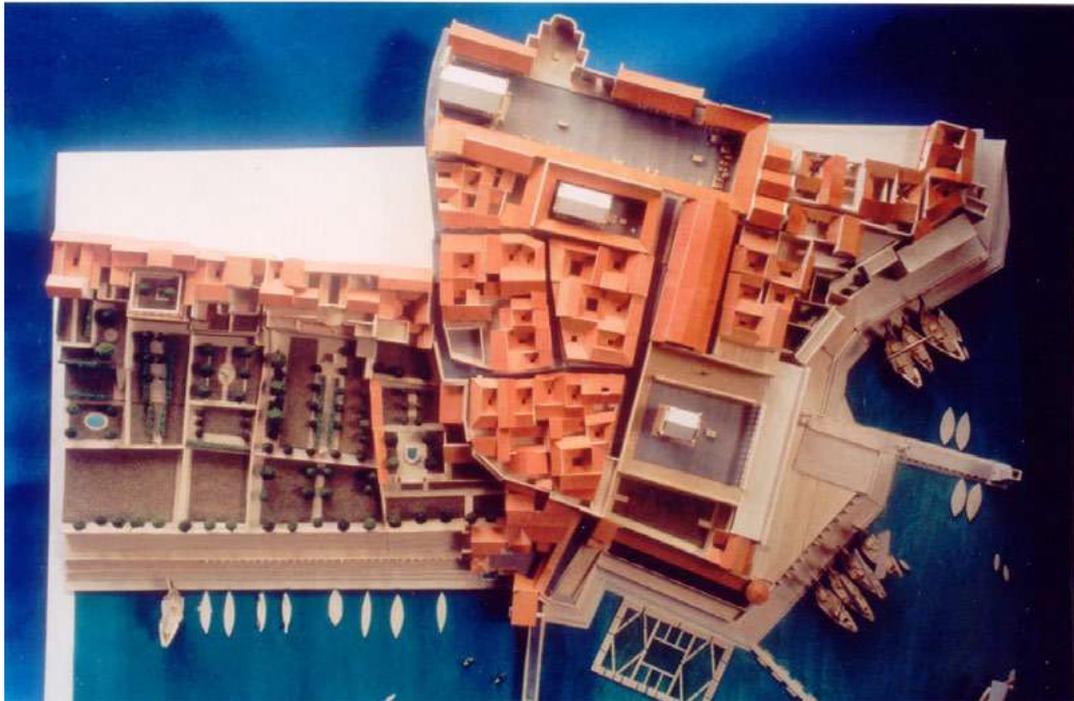


Fig. 7 - Hypothetical model of harbour

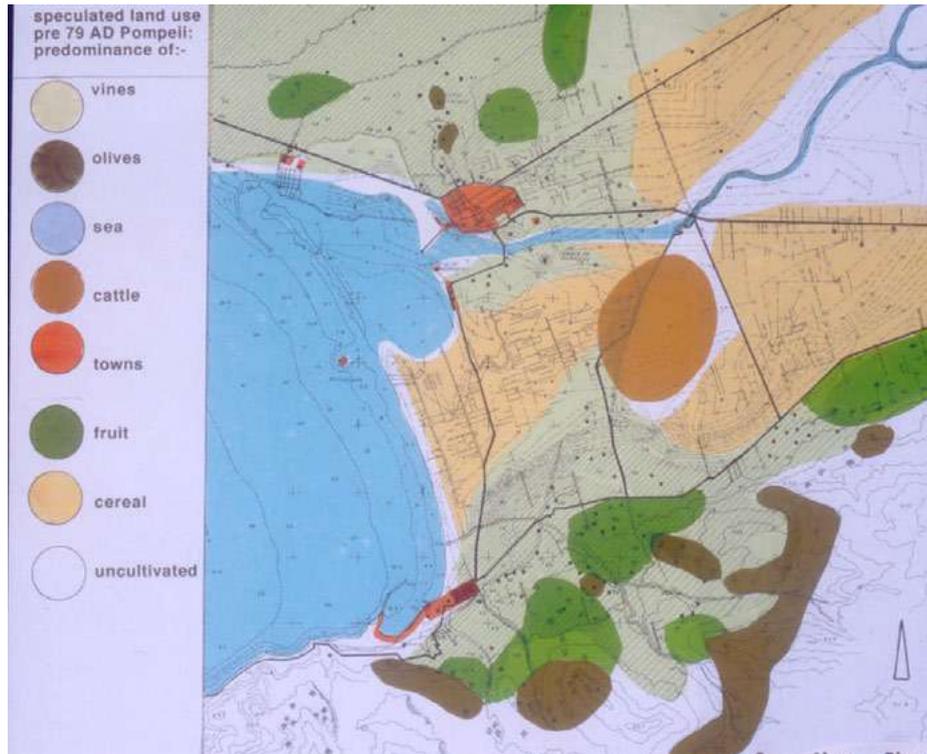
### Intensive agriculture and percentages of products

Unlike the surroundings of Rome<sup>14</sup> the Pompeii hinterland was extremely fertile. The agricultural production of this hinterland can be determined by consulting contemporary guides to farming. Cato, Varro (II 5-8) and Columella's production figures apply to the Vesuvian region. These yields are described in terms of volumes of *amphorae* and *modii* but can be converted to modern measurements. Varro talks of 30 000 litres of wine per hectare, which is commensurate with the very highest modern yields, according to Stefano Inama, a modern wine producer in the Veneto. Similar very high yields are recorded for grain and olive oil. The latter, genetically speaking, cannot be very different from the prime quality olive oil produced to-day in the Sorrento Peninsular owing to the length of time it takes for olive trees to grow.

<sup>12</sup> *Notizie dagli Scavi*, 1923, p. 273 – 275.

<sup>13</sup> Conticello, 1994, p. 50 et sequentes.

<sup>14</sup> Loane, 1938, p. 11.



**Fig. 8 - Speculated land use pre 79 AD**

By studying the archaeological reports of farms excavated in the hinterland mainly in the 1890s, it is possible to build up a picture of the different percentage productions of farms. The Boscoreale farm excavated in 1895 was a mixed farm with capacity for 93 800 litres of wine equivalent to 3584 amphorae and approximately 12 000 litres of olive oil as well as having a large barn and threshing floor for grain<sup>15</sup>. Other farms had predominance of wine production and in the plain near the river a predominance of cattle. In the Stabiae area there was a predominance of olive oil. It is possible to find these predominances of production lie in the same areas of modern land use. Therefore it is possible to produce a speculative land use map of pre 79 AD agriculture and to come to some idea of the total yields of crops (Fig. 9).

Based upon Varro's figures and assuming 30% of 540 km<sup>2</sup> hinterland was under vine, it is possible to reach an astonishing 16 million amphorae of wine as an annual production. Like wise at 7% of 540 km<sup>2</sup> half a million amphorae of olive oil and at 15% of 540 km<sup>2</sup> 7 million *modii* of grain allowing for multicropping described by Strabo<sup>16</sup>.

Even taking into account feeding a local population of 250 000, assessed on Cato's figures<sup>17</sup> for labour requirements for centuria and assuming 27% of the population are children, there was very large surplus productions for export.

<sup>15</sup> *Notizie dagli Scavi*, 1899, p. 14.

<sup>16</sup> Strabo, 5.4, 3.4.

<sup>17</sup> Cato, VIII and LIV.

There were also all sorts of other things, like garum fish sauce, nuts, vegetables, cheese, dormice, frogs, snails and a vast number of highly profitable small birds produced to feed the groaning tables of Rome and the Provinces, as the cargoes of ships, recently found in Pisa containing Vesuvian area goods, show. Much of the wine went to Rome. 28% of the broken amphorae found in Rome are of Vesuvian type<sup>18</sup>, many with stamps of Pompeian merchants. The population of Rome in 79 AD was about a million<sup>19</sup> with an average consumption of 8 amphorae each, so in very rough terms two millions amphorae would be shipped annually from Pompeii to Rome.

Pompeii was famous in its time for high quality grain, cabbages and garum sauce. It is possible to assume that this fame was not restricted to the Pompeian region. Pompeian garum sauce was transported in small amphorae, which have been found throughout the Provinces. The Muregine tablets record sacks of legumes being stored in the horrea at Puteoli<sup>20</sup>. Presumably cabbages were transported in sacks by ship, on the comparatively short run of 3 to 4 days to Ostia, where they would be fresh on arrival.

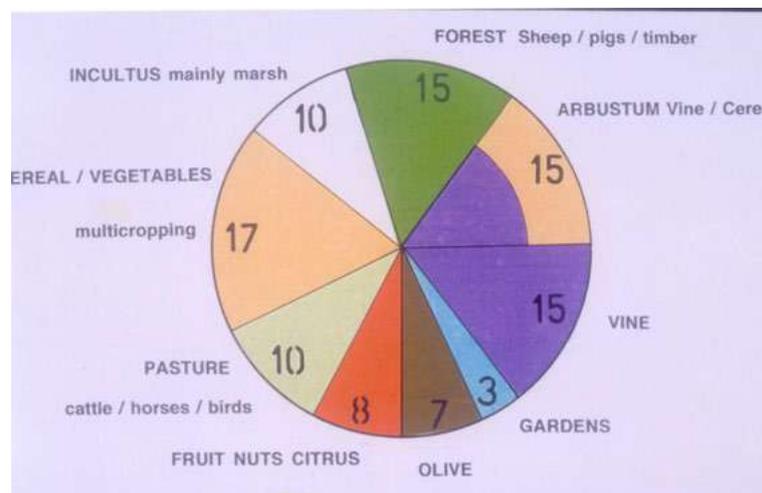


Fig. 9 - Speculative percentage agricultural production in Pompeii hinterland pre 79 AD

### Other exports

Added to these are manufactures such as millstones<sup>21</sup> and oil press beams for which Pompeii was famous. Woollen manufactures were extremely important. Cato states that one smock was provided to labourers a year and a new blanket every two years. Nuceria was a centre for sheep production. Pompeii had a large number of *fullonica* and the Eumachia was probably a very large cloth market<sup>22</sup>.

<sup>18</sup> Misura La Terra, 1985, p. 187.

<sup>19</sup> Carcopino, 1956, p. 28.

<sup>20</sup> Caius Novius Eunus, tablet II, 37 AD.

<sup>21</sup> Cato, CXXXV, 1-5.

<sup>22</sup> Loane, 1938, p. 71.

Much of Pompeii's wealth may have been due to its woollen industry<sup>23</sup>. There was also timber from the Apennines for building construction, shipbuilding and firewood. There are a variety of statistical approaches one can make about production. Each leads to very large volumes of exports.

## Imports

As well as exports from Pompeii there would have been imports. No merchant likes to have his ships empty. Inward cargoes would include marble, lead and roof tiles required for the lavish houses; new amphorae from the potteries of Ischia; a constant supply of slaves, as well as many luxury items, such as perfumes, spices, gold and pigments. All these products required shipping. These would have been small coastal vessels from 20 to 40 m long, 6 to 9 m in beam.

## Shipping

A typical wreck of the period is that found at Madragues de Giens<sup>24</sup>. It is possible to reconstruct this vessel from the lines of ships bottom timbers found (Fig. 10). This ship would have been circa 40 m long by 9 m beam.

An interesting feature of this ship is that the uplifted prow makes it possible to beach the vessel, as Caesar described in his invasions of Britain<sup>25</sup>. It also means that the harbour of Pompeii could have been very shallow, between 3 and 4 m with a shallow edge at the quayside of only 1 m. This is supported by depths at Leptis Magna and Apollonia<sup>26</sup> and Misenum. This is important in anticipating the harbour of Pompeii.

It is possible to calculate the capacity of a ship like the Madragues de Giens and, by calculating the turn around times during the six months sailing season, to arrive at figures which show that between 50 and 100 such vessels were in the harbour of Pompeii at any one time. This would require a harbour quay of between 500 and 1000 m (Fig. 11).

## Conclusion

Exports from the Pompeian hinterland of upwards of 540 km<sup>2</sup> justify the assumption that the Pompeii harbour would be as large probably as Terracina. The exact location of the harbour can only be determined by ground penetrating radar and excavation. However typologically the mooring rings and horrea would support Mazois assumption that the harbour laid close to the walls of Pompeii. This would be substantiated if tectonic uplift of Pompeii can be proved.

---

<sup>23</sup> Fredericksen, 1984, p. 328.

<sup>24</sup> MRival, Paris, 1991.

<sup>25</sup> Caesar, Gallic War, VI.

<sup>26</sup> Flemming et alii, 1960.



**Fig. 10 - Madragues de Giens wreck reconstructed**



**Fig. 11 - View of harbour with ships**

## **Bibliography**

Bradford, Ancient Landscapes in Europe and Asia, *Studies in Archaeology and Photography*, OUP, 1955.

Buchner G., Italiano A., Vita Finzi C., Recent Uplift of Ischia, *Volcano Instability on Earth and other Planets* Geol. Soc. Spec. Pub 110, W. J. Mc Guire et alii Editors, 1998.

Caesar, *Gallic War*, H. J. Edwards Translation, Loeb Classical Library, Harvard University Press, London, 1917.

Caius Novius Eunus, tablet II, 37 AD.

Carcopino J., *Daily Life in Ancient Rome*, Penguin, London, 1956.

*Carta Geologica del Complesso Vulcano Somma Vesuvio*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 1986.

Carter J. J., *Greek Colonists and Native Populations*, Editor J. P. Desoedres, Clarendon Press. Oxford, 1990, p. 410.

Cato M. P. (De Agricultura) - Varro M. T. (Res Rustica), *On Agriculture*, W. D. Hooper, H. B. Ash Translation, Loeb Classical Library, Harvard University Press, London, 1934.

Conticello M. De' Spagolis, Il Pons Sarni di Scafati, *L'Erma di Bretschneider*, Rome, 1994.

D'Ambrosio A., *La Stipe Votiva in Località Bottaro*, Università degli Studi di Napoli, 1984.

De Caro S., Greco A., Campania, *Guida Archeologica Laterza*, Bari, Roma, 1981.

Flemming N., Wood N. et alii, Apollonia, *Geographical Magazine*, RGS, London, 1960.

Frederiksen M., Campania, British School at Rome, 1984.

Loane H. Jefferson, *Industry and Commerce of the City of Rome*, John Hopkins Press, Baltimore, 1938.

*Misura La Terra*, Catalogo Mostra Soprintendenza Archeologica di Roma, Edizioni Panini Spa, Modena, 1985.

*Notizie degli Scavi*, 1899.

*Notizie degli Scavi*, 1901, p. 425 et sequentes.

*Notizie degli Scavi*, 1923.

*Notizie degli Scavi*, 1929.

*Quaderni Ricerca Scientifica*, Roma, 1987.

Rickman G. E., *Roman Granaries and Store Buildings*, CUP, 1971, p. 21.

Rival M., *La Charpenterie Navale Romaine*, Edition Du CNRS, Paris, 1991.

Strabo, *Geography*, H. L. Jones Translation, Loeb Classical Library, Harvard University Press, London, 1917.

## **THE AREA OF THE ANCIENT FLUVIAL PORT OF POMPEII IN RELATION TO PRESENT-DAY URBAN DEVELOPMENT**

Antonio GIORDANO, Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment (ENEA), Rome.

### **Abstract**

In a previous study<sup>1</sup> the author presented a series of historical and archaeological elements, the outcome of accurate research aimed at discovering the exact location of the Ancient Fluvial Port of Pompeii, a subject that has fascinated scholars and researchers over the years. The port, as is well known, lies buried under a thick layer of volcanic ashes and fall-out after the famous Vesuvian eruption of 79 AD and in that previous paper its possible future excavation was suggested. The study concluded by proposing a systematic exploration, using the modern technique of remote sensing, of the subsoil of an area to the South of Pompeii, where presumably the ancient port was situated. An appeal was made to the civil sense of the municipal councils of Pompeii, Castellammare di Stabia and Torre Annunziata, under whose jurisdiction the area falls, urging them to use their initiative and interest to issue decrees to safeguard the zone, particularly as the area has been declared Heritage for Mankind by UNESCO.

In this study, the author returns to the subject, proposing to draft a map of the subsoil in the Ponte Nuovo - Moréggine area, with the help of the IKONOS 2000 images belonging to ENEA, which will be discussed in this paper, comparing the data with that resulting from future investigations using aerial RADAR and GEORADAR. However there remain two great hurdles to overcome: a hydrogeological problem inasmuch as the ruins are plunged in a rich ground water table and, even more problematic, the extremely chaotic urban situation of the zone. This is the subject that the author will consider, analysing all the historical, social and cultural factors that have caused the serious modern environmental decline.

### **Introduction**

The ancient city of Pompeii, together with Pompeii Valley and other minor hamlets, comes under the jurisdiction of Pompeii municipal district (declared independent district in 1928), province of Naples (Fig. 1). The ancient and modern cities are adjacent and fortunately do not overlap, something that has caused all the problems with Herculaneum. The reason for this, other than a far-seeing administration, is due to a lucky circumstance. The new city grew up after the first ruins of the ancient city had already been brought to light. The area of the Ancient Fluvial Port of Pompeii, subject

---

<sup>1</sup> Giordano A., 1999.

of this paper, is in the Pompeii municipal district but it crosses over into the adjoining districts of Torre Annunziata and Castellammare di Stabia.

This study is referred exclusively to ancient Pompeii that was built on the right side of the hydrographical basin of Sarno river, a modest river as regards the flow of water, but one with a rich historical background.



Fig. 1

## **General remarks**

Sarno river (as is well-known), from a geolithological point of view, is made up of sedimentary formations mixed with soils of volcanic origin. The basic structure is an ancient sea inlet where deposits of Pleistocene clay have accumulated over calcareous formations from the Jurassic and Cretaceous periods. Superimposed on these soils there are tuff and ashes from the various volcanic activities, which occurred some thousands of years ago, mixed alternately with loose flood material from nearby findings. The extraordinary richness of the land is due to favourable physical-chemical factors linked to the different character of the surface material. Moreover it is possible to add a rich surface aquifer circulation which, particularly on the plain, makes use of the supply of hidden water, pushed to the surface by the presence deep down of layers of impermeable conglomerates that ensure that the deep trickles of water forming the underground hydrographical basin, more extensive and rich in water supplies compared with the surface, are not dispersed.

In the past, the original direction of the Sarno along the coast was quite different from the modern one. This is due, on this plain, to important geolithological modifications caused by the volcanic activity of Somma-Vesuvius, which changed the river bed, diverting its mouth more to the North and destroying the surface flow of its right-hand tributaries. Because of this, the present water supplies for the river all come from the left of the basin, while on the right side, the only course of water present is the Sarno Regio Canal, built for irrigation purposes and supplied by the water from the La Foce spring, which rises near the town of Sarno. Nowadays, this canal has been abandoned.

## **History of the Sarno Valley**

In 79 AD, the great Vesuvian eruption, that buried Pompeii and its environs under a layer of volcanic ashes and fall-out, destroyed the economic life of the Sarno plain leaving it for a long time fallow. The port disappeared and the course of the river, no longer navigable with its right side completely buried, was diverted from its natural bed and deprived of its banks in this way causing considerable and continuous flooding and swamping. Even the Domitian Road, that linked Capua with Nocera passing through Pozzuoli, Naples, Herculaneum and Pompeii, was destroyed (Fig. 2). The ruins of the settlements drove the displaced persons, mostly people from Pompeii, to emigrate to new lands (Fig. 3) pushing them towards the Lattari slopes and the Eastern side of the plain where, after considerable efforts, they managed to introduce new agricultural activities since the hilly environment had the necessary pedological and hydrographical factors.

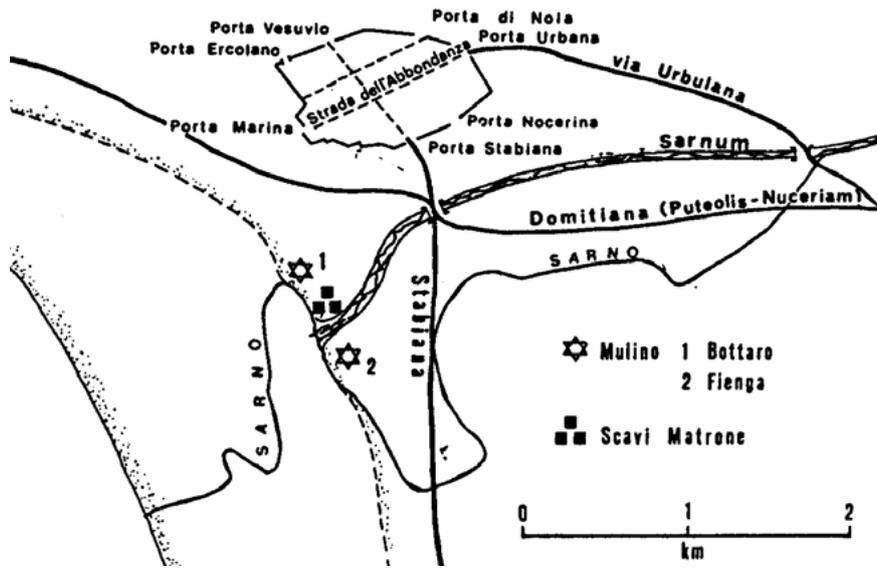


Fig. 2

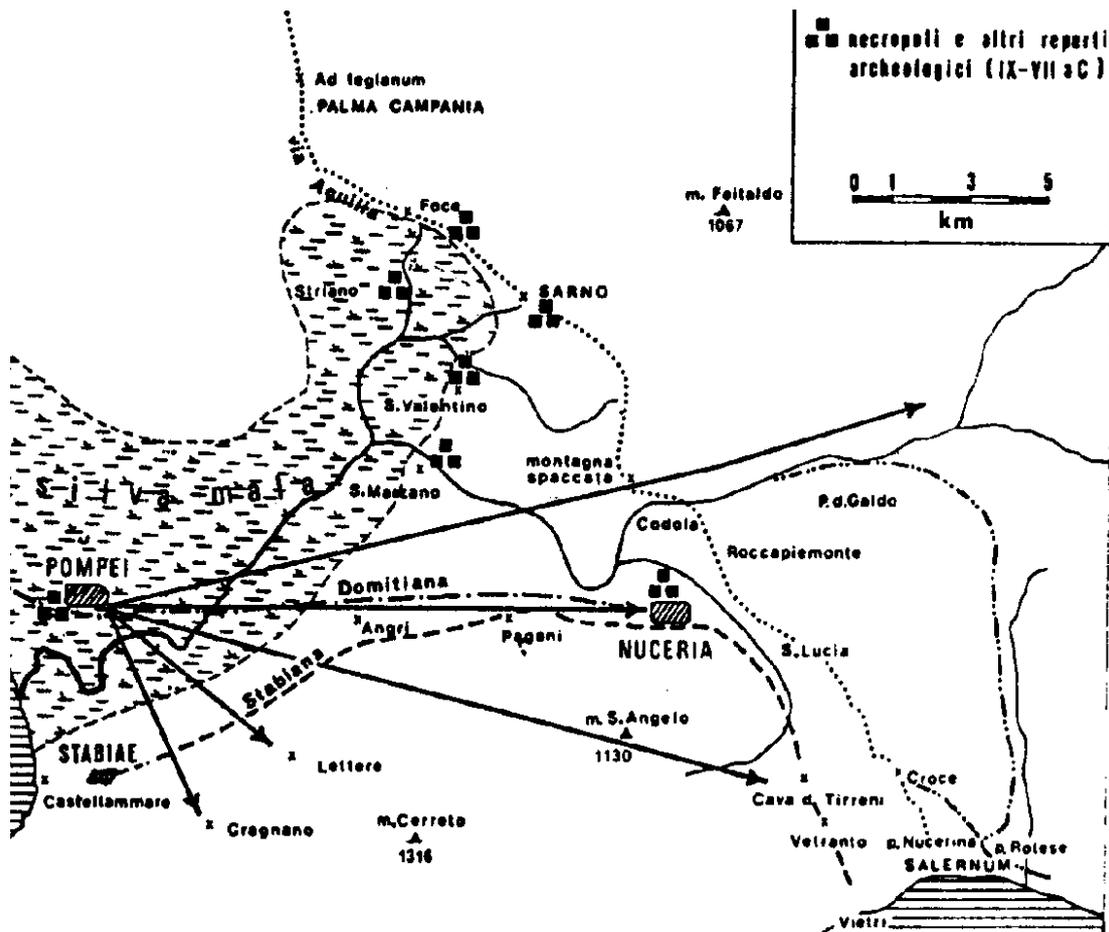


Fig. 3

The Sarno plain underwent a serious period of degradation following the abandon of over 500 000 acres of land, which had at one time been well cultivated. The area between Pompeii, Boscoreale, Scafati and Striano became a thick wood, often with abundant marshes; the *Silva Mala* near the coast became an impenetrable copse with many marshes while the high mortality rate due to the spread of malaria and plague decimated the population. In this way, only a small part of the area could be cultivated; in fact, Pellegrino in 1561 AD, referring to the Sarno, said: “the part from Scafati and the nearby lido is an immense marsh”.

Comparing the sea with the coastline in 79 AD, it is possible to say that it has retreated about 2 km from Porta Marina (Fig. 4). In the same way, the Sarno has become longer and so the ground water table has submerged the ruins of Pompeii suburbs and the surrounding area, and this is the present-day hydrogeological situation. The hilly side of the basin, thanks to the efforts of the displaced persons from the plain, had a considerable economic boost due to the introduction of intensive agricultural activities and the expansion of traffic, which by now passed by the Aquilia Road, that linked Capua and Nocera by way of Nola and provided a welcome alternative to the ruined Domitian Road.

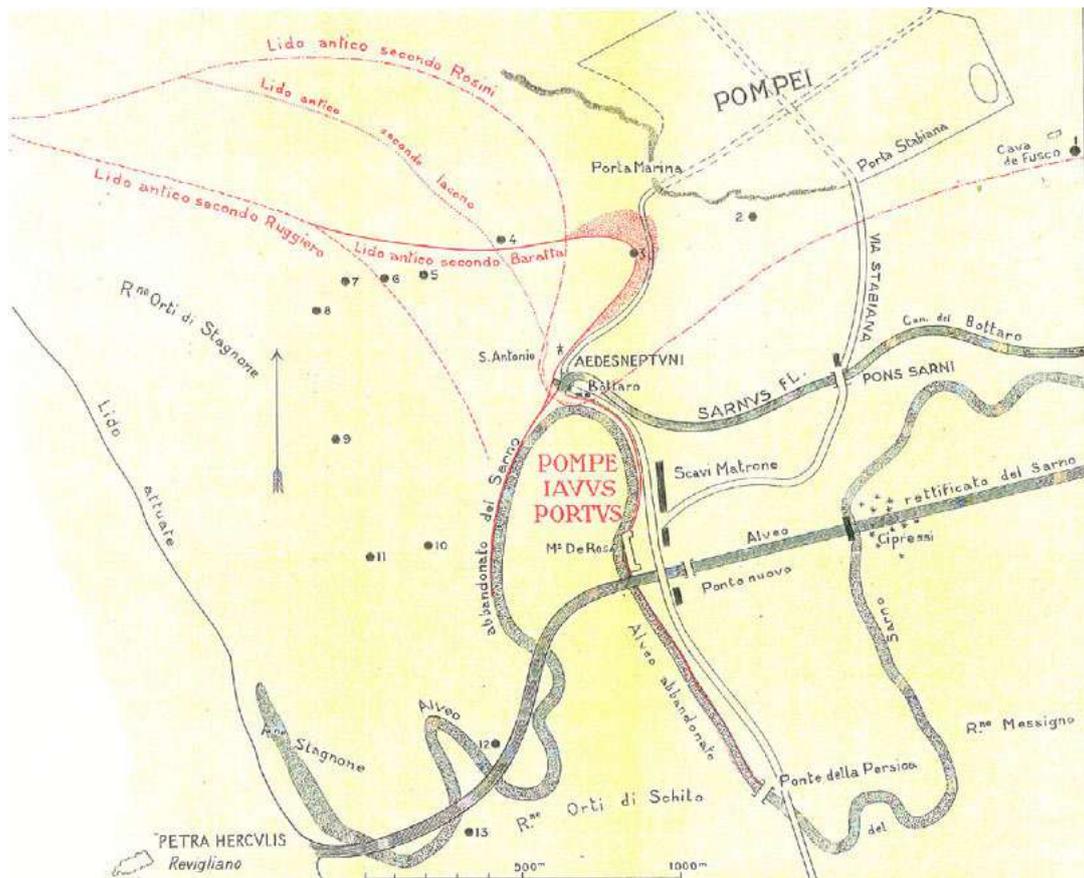


Fig. 4

A profound modification of the installation structures and of the territorial economy took place in the plain. The ancient relationship between the hilly area and the coastal one, that in the period of greatest prosperity had been dominated by Pompeii and the coastal areas, was transformed.

## **The Population of the Plain**

The events of the population of the Sarno plain are fundamentally important for the development of the installation structures because of the particular importance of certain important events, which took place in the preceding historical periods. The foundation of Pompeii at the mouth of Sarno river in the VIII-VI Centuries BC, although an important moment for the future of the area, coincided with a general migratory phenomenon that drove the Etruscans towards the South, bringing with it the expansion of Nocera and the expulsion of the Pelasgians. In the period, the first permanent road connection was established between the coast, Pompeii and the Nocera hinterland. This trace was later followed, towards the end of the IV Century BC by L. Fabio's legionaries who completed the annexation of the Southern province to Rome.

At the same time, the Sarno plain became a particularly important strategic point since it was a natural corridor for traffic from Rome to Calabria. From this point of view, ignoring the ancient period (not so important), the most important modification to the structure of the plain can be seen from the effects of its integration in the Roman world. The later transformations occurred after the destruction of the settlements during the Vesuvian eruption of 79 AD; the relationship between the feudal system and the reforms carried out by the congregation of the Abbey of Cava; the change in the economic structure due to the marketing economy; the period of the reclamation scheme and the present structures, passing by way of the economic boom following the second World War; the development of modern facilities right up to the modern chaotic phenomenon of industrial, commercial and urban development.

In the plain, two consular arterial roads were built: the Domitian and the Aquilia Roads. Both started from Capua. The Domitian Road reached Nocera by way of Pozzuoli, Naples, Herculaneum and Pompeii; the Aquilia Road went along the other side of Vesuvius for Nola reaching Nocera. Pompeii's intense commercial activity, with the port and navigation along Sarno river that flowed through the city, its thermal prosperity at Stabia and the economic development of Nocera underline the intense social life in the Roman period; as a result of the increasing traffic development along the great communication arteries, post-stages grew up and around these several marginal activities flourished thus creating new settlements, thanks to commerce and craftsmanship, often essential factors in populating areas.

Even during periods of political turbulence, with alternating creeds and influence that often drove the people into temporary exile, a prosperous commercial activity and a rich agriculture were factors that favoured an exceptional demographic growth, with

continuous immigration and therefore the setting up of new inhabited areas, mainly near the upper Sarno river. At the same time, even though major economic prosperity was found along the coast at Pompeii and the Nocera hinterland, agricultural centres such as Gragnano and Lettere, on the slopes of the Lattari Hills, carried out trade with the same large towns on the Sarno plain and therefore with Rome, giving their contribution to a complex network of economic links in a geographical space which, due to its particular agricultural, commercial and urban structure, represents an interesting study field to understanding this complex form of territorial organization. This organization was based on the all-important role of agriculture in economic and social life as can be seen from Pompeii's urban structure, with its town, suburban and country houses.

The Sarno plain had an intensive cultivation in the form of gardens and vegetable plots and orchards. The Vesuvian slopes were covered in vineyards, with advantageous results for their owners. Excellent oil was produced, utilizing the famous olive groves that grew at the foot of the Lattari Hills. To these favourable environmental conditions, it is to add the excellent geographical position of Pompeii, near the sea and with a fluvial port, which allowed for the development of traffic along the Domitian Road, which started from Capua and reached Calabria, passing through the Sarno plain. All this explains the economic vitality of Pompeii, seat of a prosperous class of landowners and merchants.

### **The Fluvial Port of Pompeii**

Ancient writers (Strabo, Titus Livius, Pliny the Younger) testified the importance of Pompeii as a great trading emporium. But this intensive activity was carried on not only by land. The city, situated at a short distance from the sea, was a considerable hub of business, being the trading emporium of a wide-ranging area extending from Vesuvius right up to Nola. Strabo, in fact, who at the beginning of the period followed new roads and studied Campania, remembers that the port for Nola, Nuceria and Acerra was Pompeii, on Sarno river, which was used to dispatch and receive goods.

But where exactly was the port of Pompeii? This problem has been widely discussed by archaeologists right from the beginning of the excavations. The town at present lies 2 km from the sea and a little over 1 km from the Sarno. But where precisely was the port of Pompeii, buried together with the town during the famous 79 AD Vesuvian eruption?

The first person to be interested in this fascinating subject was Carlo Rosini; later Michele Ruggiero, Director of the Pompeii Excavations (1879); then Luigi Jacono and finally Antonio Sogliano. All these scholars have conducted intensive research to try and reconstruct the coastline in 79 AD where the mouth of Sarno river and therefore the port of Pompeii was situated. The results of these researches can be seen in Fig. 4 where the adjustments to the course of the Sarno, carried out during the hydraulic reform, are presented.

## **The Hydraulic Reform**

Many historical events, even tragic ones, persuaded the Bourbons to undertake a large-scale hydraulic reform of Sarno river. The most important reason behind such an operation was a military one. Suffice it to know that the course of water underwent important hydraulic changes to the sources at the outlet to the Tyrrhenian Sea. The most important of these changes are to do with the lower part of the river, down in the valley in the dam of Scafati. A new riverbed was dug, thus reducing the trace from Scafati to the mouth to about half. Before the Sarno wound from one part of the plain to the other, causing several problems; now, with the successful reform, the river, given a permanent riverbed, had been dominated. Work began at the end of the first half of the XIX Century and proceeded until the end of the Century. The river became navigable from Scafati, where the Bourbons possessed an arms factory, right up to the outlet. In this way, a direct link, for military purposes, was created from Scafati to the Tyrrhenian Sea.

## **The Evolution of Town Planning**

In 1532 AD, a census carried out in the country districts of the Pompeii Valley showed that there were 370 inhabitants; by 1662 AD, more than one hundred and thirty years later, no one had survived. This was due to widespread malaria in the area, a result of the marshy land created by the unhindered flooding of the Sarno River.

Chiarolanza stated that in 1662 AD, there had been no inhabitants in Casale di Valle (Pompeii Valley) for the past two years.

Following better economic and agricultural conditions in the area, slowly and sporadically the population settled there again, thanks to the Bourbon regime that set up an inn and a church about 1 km. to the South-East of the modern urban centre of Pompeii, where the Aragonese road for Salerno passed, more or less, the route of the modern Naples-Salerno railway line. Following this intervention, a few farmhouses were built in the area.

No particular population increase was registered later, despite the building of the above-mentioned Naples-Salerno state railway line and the growing interest in the progress of the archaeological excavations of Roman Pompeii excavations carried out in different phases from 1748 AD, the year when the site of ancient Pompeii was discovered.

In 1871 AD, only 391 people were living in the area, even though one hundred and twenty three years had passed since the excavations, that were to reveal a magnificent archaeological heritage to the world, had begun.

The first residential complex of the new Pompeii (Pompeii Valley) was the result of a sudden, important movement of pilgrims when the famous Sanctuary of the Virgin (and its adjacent structures) was founded in 1876 AD.

In 1881 AD, there were 1270 inhabitants in the residential district, rising to 2256 by 1901. The year 1921 registered 3860 inhabitants and in 1928, it was declared the county town of the province of Pompeii.

In 1951 Pompeii merged the two centres of Pompeii Excavations and the Pompeii Valley and by 1957, Pompeii Valley could boast of 7000 inhabitants. But it was from this year on that the disorderly building development, mentioned earlier, occurred. This speculation has also invaded the area of the ancient river port of Pompeii, unfortunately compromising the integrity of the underground ruins.

The phenomenon of the evolution of town planning in the area has become frenetic in the last 50-60 years, as *Silva Mala* that covered the area after the 79 AD vesuvian eruption. Moreover in 1561 AD there was a large marsh from Scafati and its lido, therefore in these fifteen Centuries, the area was sparsely populated and the only road, and that not always, was the Domitian Road. At the beginning of the XIX Century, before the hydraulic reform, there were no consistent inhabited areas and the only roads were the Domitian Road and the Torre Annunziata-Castellammare road (Fig. 5).



Fig. 5

The hydraulic reform, carried out from 1850 AD until the end of the Century, gave considerable boost to economic activity in the whole Sarno Valley thus giving rise a notable demographic increase. The area to the South of Pompeii benefited as well from the permanence of the Sarno riverbed, the part at least that flowed through the territory.

Looking at the 1950s (Fig. 6) it is possible to see not only the highway 18 (the old Domitian Road) but also the Naples-Salerno railway.



Fig. 6

The map of Fig. 7 reveals that besides the adjustment to the course of the Sarno River carried out during the reform, the area is also crossed by the Naples-Pompeii-Ponte Nuovo road, with junction at Pompeii, and by the secondary Circumvesuvian Naples-Pompeii-Sorrento railway.

Fig. 8 shows that the Pompeii-Salerno road, with an impressive junction at Ponte Nuovo and the Ponte Nuovo-Castellammare di Stabia highway have been added to the preceding road connections. Many other buildings can also be seen.

Looking at the satellite images, Fig. 9 shows the IKONOS IMAGE in July 2000. It is possible to note immediately the building chaos in the area under study. Indeed, the whole Sarno Valley is a victim of the same degradation. Coming back to the area under

discussion, it is possible to add that compared with the situation in July 2000, the third lane of the Pompei-Salerno motorway is under construction with new junctions at Ponte Nuovo that will encroach on new territory.



Fig. 7



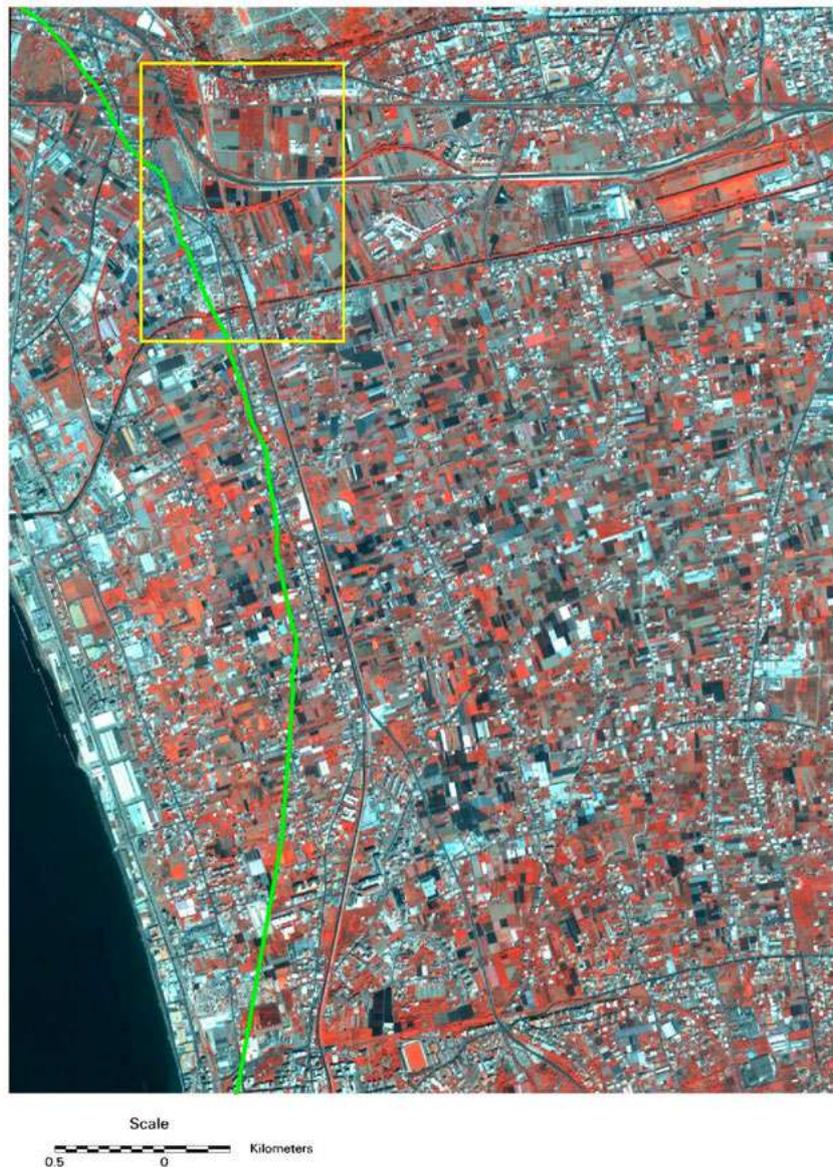
Fig. 8

### Present Situation. A Look at the Triangular Forum

In 1561 AD, according to Pellegrino, a large marsh stretched from Scafati and its lido. In this particular area of the valley the population was sparse. Now the situation is rather different, particularly from the town planning point of view (Fig. 10) with the sea 2 km away from the city and the Sarno, 1 km. At the time of the great eruption, the people of Pompeii could enjoy the view of the sea from under the walls of the Marine Gate. Today, the sea is far away and the Triangular Forum, the highest point of the city, is located in a very narrow space. In its place there are various structures and a succession of buildings, without any form of continuity. It is easy to make out the highway 18, Lower Tyrrhenian, the old Domitian Road, which winds along the land level, the

Naples-Salerno railway, the secondary Circumvesuvian line, which overtakes highway 18, and the railway with a viaduct. Finally, there is the Naples-Salerno motorway with two junctions, one at Pompeii and another more imposing one at Ponte Nuovo with a viaduct built right over the area of the port of Pompeii. But this is not all. There are huge business edifices, such as a supermarket etc. As shown, work is going ahead on the construction of a second track for the Circumsvuvian-Ponte Nuovo railway, where should be the ruins of the Ancient Fluvial Port of Pompeii. In all these above-mentioned cases, ancient ruins of the port and the city have been uncovered only to be sacrificed to progress.

And this is an area declared by UNESCO World Heritage site?



**Fig. 9 - Port of Pompeii Area**

## Conclusions and Proposals

What is it possible to do about this situation? What can still be saved and preserved? With hindsight, the Administration of Pompeii Municipal Council committed a serious mistake preserving only the perimeter of the ancient city. Now to salvage that is possible, it is to be hoped that the Pompeii, Torre Annunziata and Castellammare di Stabia Administrations take urgent action to preserve what remains of the underground ruins. Science could help, offering satellite techniques and other investigative systems, capable of probing beneath the subsoil without damaging whatever is there.

The illustrations published in this paper are IKONOS 2000. It should be necessary to carry out a pilot investigation with Radar and a second one with Georadar. By comparing the data obtained, it will be possible to explore the area where would be the remains of the structures of the Ancient Fluvial Port of Pompeii are to be found.



**Fig. 10 - Port of Pompeii Area**

## Bibliography

- Baratta M., *Il porto di Pompei*, Pavia, 1933.
- Beguinet C., *La pianificazione della valle del Sarno*, Napoli, 1957.
- Beguinet C., *La valle del Sarno*, Napoli, 1963.
- D'Ambrosio A., Rinvenimenti nel suburbio pompeiano, *Cronache Pompeiane*, III, 1977.
- D'Aponte T., *La piana del Sarno*, Napoli, 1975.
- Filangieri A., *Territorio e popolazione nell'Italia meridionale. Evoluzione storica*, Milano, 1980.
- Giordano A., L'Antico Porto Fluviale di Pompei, *Atti 1<sup>a</sup> Conferenza Archeologia, Vulcanismo and Telerilevamento: Aree Vesuviana e Colli Albani*, Roma, 26-28 Maggio 1999.
- Langella V., Aspetti geografici del turismo nella fascia partenopea: Pompei centro religioso, *Atti del XVII Congresso geografico italiano*, Bari, 1957.
- Langella V., *L'urbanizzazione nell'area napoletana*, Salerno, 1975.
- Langella V., Lineamenti geografici della pianura del Sarno (Campania), *Rivista Geografica Italiana*, 1959.
- Manzi E., *L'atlante marittimo del Regno di Napoli*, Napoli, 1974.
- Pellegrino C., *Apparato alle antichità di Capua*, Napoli, 1561.
- Pepe L., *Memorie storiche della Valle del Sarno*, 1948.



## TRASFORMAZIONI TERRITORIALI LEGATE ALL'ERUZIONE DEL VESUVIO DEL 79 AD

Aldo MARTURANO, Osservatorio Vesuviano, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Napoli; Salvatore Ciro NAPPO, Antonio VARONE, Soprintendenza Archeologica di Pompei.

### L'eruzione e l'attività sismica

Il 24 agosto del 79 AD comincia l'eruzione del Vesuvio che seppellirà in poche ore sotto uno spesso strato di pomice un'ampia area ellissoidale a Sud-Est del vulcano. Pompei si trova sulla direttrice di massima deposizione e in poche ore l'altezza delle pomice raggiunge i 2,5 m. Dopo un periodo di relativa calma, il mattino del giorno successivo rovinosi flussi piroclastici si abbattono sulla città ad una velocità di 80 km/h, innalzando ad oltre 4 m lo spessore dei depositi che ricoprono completamente gli edifici più bassi.

Il materiale juvenile eruttato nella disastrosa manifestazione vulcanica ammonta a circa 4 km<sup>3</sup>. Tra questa del 79 AD e la precedente eruzione di comparabile intensità, la cosiddetta eruzione delle "Pomice di Avellino" datata al XVII secolo aC<sup>1</sup> è stata individuata stratigraficamente un'attività interpliniana consistente<sup>2</sup>.

In realtà, cosa sapevano del Vesuvio i Romani? Pur conoscendone la natura vulcanica, come esplicitamente messo in risalto in età augustea dal geografo Strabone<sup>3</sup>, tuttavia a memoria d'uomo essi non avevano notizie di manifestazioni eruttive, né potevano per altra via aver preciso sentore della sua pericolosità<sup>4</sup>. Di fatto dei terremoti avvenivano in zona di tanto in tanto, ma è molto dubbio che fossero messi in rapporto col vulcano e, comunque, nessuna notizia in merito è stata tramandata.

Svetonio<sup>5</sup> racconta di un terremoto avvenuto nel 37 AD, in concomitanza con la morte di Tiberio, che a Capri, sede preferita dall'Imperatore, danneggia il faro. Il 5 febbraio del 62 AD un forte terremoto colpisce Pompei ed Ercolano e, meno intensamente, Napoli e Nocera. Seneca, che pur nelle *Naturales Quaestiones* se ne occupa ampiamente mostra di ignorare del tutto il potenziale nesso fra il terremoto e il vulcano, manifestando completa inconsapevolezza circa la pericolosità del Vesuvio, il che, evidentemente, doveva rispecchiare il senso comune dell'epoca<sup>6</sup>. A riprova di ciò, anche Plinio il Vecchio, il cui destino sarà indissolubilmente legato alla storia del Vesuvio e della vulcanologia, nella sua *Naturalis historia* della montagna cura solo la collocazione geografica e le caratteristiche agricole<sup>7</sup>.

---

<sup>1</sup> Vogel et alii, 1990.

<sup>2</sup> Arnò et alii, 1987; Rolandi et alii, 1998.

<sup>3</sup> Strabone, *Geografia*, V, 4, 8.

<sup>4</sup> Polara, 1997.

<sup>5</sup> Svetonio, *Tiberius*, 74, 2.

<sup>6</sup> Seneca, *Naturales Quaestiones*, VI, 1, 1-2.

<sup>7</sup> Plinio il Vecchio, *Naturalis historia*, III, 60-62.

Il terremoto del 62 AD è certamente l'evento sismico più energetico registrato negli ultimi 2.000 anni nell'area vesuviana<sup>8</sup>. Se questo terremoto sia stato in connessione diretta o meno con l'eruzione di 17 anni dopo è ancora oggetto di speculazione scientifica. Sigurdsson<sup>9</sup>, per esempio, lo considera correlato alla tettonica regionale dell'area e troppo lontano nel tempo ai successivi eventi vulcanici per ritenerlo un reale precursore.

Recentemente però Cubellis e Marturano<sup>10</sup> hanno dimostrato che gli effetti prodotti dal terremoto del 62 AD sono perfettamente compatibili con un terremoto vesuviano di energia medio-bassa, confermando le numerose evidenze che hanno convinto molti ricercatori a ritenere questo terremoto uno degli eventi anticipatori dell'eruzione e con essa strettamente correlati<sup>11</sup>. Tra questi vanno annoverati anche quello del 64 AD, storicamente abbinato ad un'esibizione di Nerone nel teatro di Napoli<sup>12</sup>, e una serie di eventi supportati da stringenti considerazioni su basi epigrafiche, archeologiche e storiche che individuano almeno altri due periodi di significativa attività sismica nei primi anni 70 AD e poco prima dell'eruzione<sup>13</sup>. La collocazione temporale va naturalmente intesa come indicativa per mancanza di diretti riscontri scritti, ma una sismicità concentrata in alcuni periodi, con punte energetiche in grado di produrre anche danneggiamenti, è perfettamente compatibile con la sismicità tipica delle aree vulcaniche.

Pompei al momento dell'eruzione era in piena ricostruzione e ferveva in essa anche un'intensa attività imprenditoriale. Numerosi rifacimenti e trasformazioni funzionali con aperture di botteghe o elevazioni erano in corso o erano state già effettuate su edifici seriamente danneggiati dal terremoto del 62 AD<sup>14</sup>; alcuni edifici, come le Terme Centrali, venivano costruiti o, come il Tempio d'Iside, ricostruiti ex novo; è stato però possibile riscontrare anche lavori di ulteriore rifacimento su parti di edifici già oggetto di restauri sicuramente connessi a fenomeni sismici, come nell'insula dei Casti Amanti<sup>15</sup>, o lavori di restauro di danni, causati da eventi sismici appena iniziati nel 79 AD<sup>16</sup>, con ogni verosimiglianza da non mettere in relazione con il terremoto del 62 AD, o danni di eguale natura di cui il restauro nel 79 AD non era nemmeno ancora iniziato<sup>17</sup>. Generalmente, tuttavia, la vita quotidiana continuava più o meno regolarmente all'interno delle mura domestiche. Anche infrastrutture esterne alle case, come strade, fosse settiche e l'intero acquedotto sono oggetto di rifacimenti che in alcuni casi bisogna immaginare anche prolungati nel tempo<sup>18</sup>.

---

<sup>8</sup> Marturano, Rinaldis, 1995.

<sup>9</sup> Sigurdsson et alii, 1985.

<sup>10</sup> Cubellis, Marturan, 2002.

<sup>11</sup> Luongo et alii, 1993; Marturano, Rinaldis, 1998.

<sup>12</sup> Tacito, *Annales*, XV, 34, 1.

<sup>13</sup> *Archaeologie und Sismologie*, 1995.

<sup>14</sup> Maiuri, 1942.

<sup>15</sup> Varone, 1995.

<sup>16</sup> Adam, p. 73; Andreau, 1973, p. 385.

<sup>17</sup> Andreau, 1973, pp. 385 et sequentes.

<sup>18</sup> Varone, 1995; Nappo, 1995; Nappo, 1996.

## L'ipotesi di lavoro

Una ripetuta attività sismica, dispiegatasi su un arco temporale di almeno un ventennio, con punte più energetiche tali da procurare anche danni alle strutture, è compatibile con la liberazione di energia elastica accumulata negli strati più superficiali della crosta terrestre in risposta a deformazioni causate da variazioni di pressione di sorgenti magmatiche profonde. In superficie l'entità del rigonfiamento è funzione della dimensione, forma e profondità della sorgente e dipende dalle proprietà meccaniche delle rocce. Una delle prime testimonianze di rigonfiamento pre-eruttivo è legata all'eruzione del Monte Nuovo, nei Campi Flegrei, del 1538. Infatti nel 1503 e nel 1511 due editti vicereali concedevano alla città di Pozzuoli le terre che si rendevano disponibili per l'arretramento del mare. Da allora in molte aree vulcaniche del mondo sono stati segnalati episodi di rigonfiamento (inflazione) prima di un'eruzione e di sgonfiamento (deflazione) dopo di essa<sup>19</sup>.

Nessun riscontro, invece, è stato ricercato fino ad oggi sui possibili fenomeni di deformazione superficiale che precedettero l'eruzione del 79 AD. Finalmente oggi è possibile affermare che tali fenomeni si verificarono e furono tali da influenzare tutta l'area vesuviana. Di particolare significato è anche la metodologia utilizzata. Al contrario di quanto avviene normalmente: "spiegazione scientifica che segue le evidenze di scavo", in questo caso l'ipotesi geofisica ha preceduto la verifica archeologica. Infatti, all'ipotesi che un'inflazione avesse potuto interessare l'area vesuviana, con andamento decrescente dall'apparato vulcanico verso l'esterno, è seguita la valutazione dei percorsi più favorevoli per verificare tale supposizione. Il più promettente è stato giudicato quello di ricercare indizi e prove che segnalassero difficoltà di approvvigionamento idrico a Pompei (una diminuzione della portata dell'acquedotto, o finanche una cessazione completa del rifornimento, oppure rifacimenti lungo l'acquedotto e/o delle condutture cittadine). Ciò in considerazione del fatto che Pompei era servita da un acquedotto che attraversava la Piana Campana al di là del Vesuvio e che si può ragionevolmente ritenere che un'alterazione delle pendenze intorno a tale montagna abbia dovuto senz'altro influenzare in modo più o meno marcato proprio lo scorrimento delle acque che nel loro percorso artificiale si avvicinarsero al vulcano.

La conferma della carenza d'approvvigionamento idrico che afflisse Pompei negli ultimi anni della sua storia, come ora sarà evidenziato, può allora essere letta al meglio, pur tra le tante ipotesi possibili, come conseguenza diretta ed evidente di uno stato di trasformazione del suolo (inflazione) connesso a quelle manifestazioni che sarebbero poi state responsabili del fenomeno eruttivo.

---

<sup>19</sup> Le deformazioni del suolo vengono oggi sistematicamente controllate su molti vulcani attivi del mondo perché ormai considerate una misura essenziale per le attività di sorveglianza e monitoraggio. Famose le deformazioni rilevate ad inizio secolo da Omori (1914) all'Usu e al Sakurazjima e da Wilson (1935) al Kilauea. Tra le aree recentemente attive i Campi Flegrei (Berrino et alii, 1984) e Long Valley (Hill, 1983) il St. Helens (Lipman, Mullineaux, 1981) che erutta nel 1980 e la caldera di Rabaul (McKee et alii, 1985) in cui si è verificata un'eruzione nel 1994.

## L'approvvigionamento idrico a Pompei. Documentazione e nuovi dati

Come è noto l'impianto idrico di Pompei, alimentato dall'acquedotto del Serino<sup>20</sup>, si avvaleva di un impianto di filtraggio, quale prescritto da Vitruvio<sup>21</sup>, nel tripartitore idrico posto a porta Vesuvio nel punto più alto della città, il *castellum aquae*<sup>22</sup> (Fig. 1) dal quale l'acqua veniva diramata ai vari *castella plumbea* (Fig. 2) sorta di alte torrette munite di serbatoi di piombo, che servivano a farne diminuire la pressione e a spezzarne la velocità di flusso, man mano che essa procedeva verso valle. Una complessa rete di *fistulae* (Fig. 3) ossia di tubi pure di piombo, la adduceva agli impianti pubblici, principalmente terme e fontane, e anche alle utenze private, ossia case, opifici, attività commerciali varie.



**Fig. 1 - Castellum aquae nei pressi di Porta Vesuvio**

Le ben 43 fontane pubbliche, in particolare, servite da condotta idrica in *fistulae* denarie di piombo che correvano lungo i marciapiedi, erano singolarmente collegate con i *castella plumbea* che appunto le alimentavano, non essendosi riscontrato nessun caso in cui una *fistula* alimentasse due fontane. Esse sono generalmente inserite per parte sul marciapiede, per parte nella strada, cosa che ne consentiva un uso agevolato per le varie utenze. Solo una è posta completamente sopra il marciapiede mentre altre due, in corrispondenza della confluenza di due strade, sono disposte per intero sul selciato.

---

<sup>20</sup> Sgobbo, 1938, pp. 75 et sequentes; Elia, 1938, pp. 99 et sequentes; Riera, 1994, pp. 243 et sequentes, figg. pp. 242, 252, 274.

<sup>21</sup> Vitruvio, *De Architectura* VIII, 6, 1-2.

<sup>22</sup> Paribeni, 1903, pp. 25 - 31; Bernardelli, 1971, pp. 1152 et sequentes; Riera, 1994, pp.270-274.



**Fig. 2 - Castellum plumbeum nell'angolo Nord-orientale dell'Insula IV-13**



**Fig. 3 - Fistulae in fase di smontaggio lungo Via di Nola**



**Fig. 4 - Fontana nella parte occidentale di Via dell'Abbondanza**

In generale le fontane di Pompei hanno un'ampia vasca sormontata da un pilastro, decorato con soggetti a rilievo, nel quale è posizionato il foro per la fuoriuscita della cannula, legata alla fistula che sale dal marciapiede in un alloggiamento protetto (Fig. 4).

Il fondo delle fontane presenta sempre una leggera pendenza verso il foro di deflusso dell'acqua, a sua volta posto sul lato della vasca coincidente con la pendenza della strada. Tale foro era normalmente tappato per consentire il riempimento completo del bacino e veniva aperto in occasione della manutenzione e della pulizia delle vasche.

Un secondo canale di deflusso delle acque, posto al centro sul bordo del lastrone opposto alla cannula, fungeva da troppo-pieno. Questo sistema lascia trasparire che le fontane erano continuamente alimentate e l'acqua del bacino era sempre pulita grazie proprio al sistema di tracimazione. Che le strade venissero così sempre tenute pulite dalle scorie varie eliminate dalle abitazioni grazie all'acqua fluente, che dalle fontane si riversava continuamente su di esse, è anche pienamente mostrato dal diffuso e noto sistema di passaggi pedonali su grossi basolati, reso appunto necessario dall'ovvio bisogno di transitare da un marciapiede all'altro senza bagnarsi i piedi.

È chiaro altresì, tuttavia, che la costruzione di una tale complessa struttura di distribuzione di acque anche per usi mirati di pubblica igiene, supportata peraltro nelle dorsali strategiche anche da una rete fognaria, abbia presupposto a monte la disponibilità di una quantità d'acqua considerevole, tale appunto da giustificare la realizzazione sistematica dei passaggi pedonali (Fig. 5).



**Fig. 5 - Incrocio tra Via di Stabia e Via dell'Abbondanza con fontana, castellum plumbeum e passaggi pedonali in pietra lavica**

A partire da Maiuri è stato tuttavia da più autori a varie riprese sostenuto che il sistema idrico urbano nel 79 AD non era più in funzione a causa dei danni del terremoto del 62 AD e che si stava lavorando per il suo ripristino<sup>23</sup>. Maiuri, che nel 1931 AD eseguì i lavori di posa di una nuova condotta idrica, dal nuovo serbatoio (posto nel terrapieno intramurale di Porta Vesuvio) fino ai Teatri, e scavò lungo tutti i marciapiedi occidentali prospicienti le *insulae* di Via Stabia, riferisce che era stata rinvenuta “...in alcuni tratti...” una trincea piena di lapillo non sconvolto entro la quale erano allocati due pezzi di grandi fistulae in positura originaria in corrispondenza dell'Isola degli Amorini Dorati (VI-16). Egli interpretava tale dato come prova dell'asportazione delle condotte plumbee dell'impianto idrico di età augustea perché gravemente danneggiato dal terremoto del 62 AD, riportando inoltre allo stesso fenomeno il rinvenimento nel 1903 AD di altri due frammenti di fistulae in prossimità dell'angolo Sud-Est della stessa insula ed il pezzo rinvenuto nel corpo orientale delle Terme Stabiane aggiunto su Via di Stabia<sup>24</sup>, egli

<sup>23</sup> Maiuri, 1931, pp. 546 - 576, tav. XVII; Etienne, 1966, pp. 20-22; Andreau, 1973, pp. 369 et sequentes; Andrea, 1980, p. 42.

<sup>24</sup> Maiuri, 1931, pp. 546 et sequentes; Maiuri, 1942, pp. 91 et sequentes.

ipotizzava che, in previsione dell'allestimento di un nuovo impianto idrico, gli *officinatores* stessero asportando le fistulae per rifonderle e quindi posare nuovo materiale. Frattanto, sempre secondo lo studioso, era funzionante una rete di distribuzione provvisoria che garantiva l'acqua in case importanti come quella dei Vettii, del Menandro, dell'Efebo, di Trebio Valente e di Loreio Tiburtino. Lo stesso Maiuri aveva ribadito queste convinzioni liberando dal lapillo il diverticolo che, tra le insulae 1 e 2 della Regio II, collegava Via dell'Abbondanza con l'area della Grande Palestra e rinvenendo una trincea profonda quasi 1,5 m completamente piena di lapillo, ossia aperta al momento dell'eruzione. Tale trincea fu da lui messa in relazione con la valvola idraulica trovata nell'angolo Nord-occidentale del vicolo ed i resti della condotta che alimentava la Grande Palestra e che egli stesso rinvenne<sup>25</sup>.

H. Heschbach, al contrario, ebbe modo di affermare con diverse osservazioni che necessariamente un nuovo impianto idrico doveva essere in funzione negli anni successivi al terremoto del 62 AD; lo studioso registrava che un gran numero di edifici, sia pubblici che privati, nel 79 AD comunque erano serviti da una condotta idrica plumbea e che gli ingenti e diffusi lavori di restauro non potevano fare a meno di un'ideale e soddisfacente distribuzione dell'acqua pubblica. Infine Heschbach ritenne l'incompletezza o l'apparente dismissione delle fistulae come pure dei serbatoi plumbei solo eccezionalmente rinvenuti alla sommità dei castella imputabile alle asportazioni degli elementi di piombo durante gli scavi moderni senza opportune segnalazioni e ai recuperi fatti subito dopo l'eruzione dei materiali costosi e riutilizzabili, quale appunto il piombo<sup>26</sup>.

Adam, dal canto suo, ha ritenuto che le tubature poste lungo i marciapiedi quasi in superficie non possano conciliarsi con le capacità tecniche e ingegneristiche dei Romani e debbano invece spiegarsi come sistemazioni provvisorie atte ad assicurare un rifornimento idrico di emergenza alla città dopo il terremoto del 62 AD. A suo avviso esisterebbero almeno tre edifici termali e due opifici sicuramente in possesso di acqua corrente al momento dell'eruzione<sup>27</sup>.

Le evidenze citate da Adam, tuttavia, sono facilmente oppugnabili. È possibile dimostrare, infatti, che in nessuna di esse c'è la prova di una condotta d'acqua funzionante e che al contrario per alcune si può senz'altro invocare il ricorso all'uso di cisterne. Non è però il caso di entrare nello specifico delle argomentazioni, dal momento che elementi nuovi hanno definitivamente chiarito l'impossibilità materiale che a Pompei arrivasse l'acqua dalle condutture poco prima della catastrofe.

Christoph Ohlig in una sua recentissima monografia, già tesi di dottorato, ha fornito le prove archeologiche del fatto che il castellum aquae al momento dell'eruzione era certamente non funzionante<sup>28</sup>, mentre una serie nutrita di saggi effettuati nell'intera area cittadina di Pompei hanno del pari chiarito, senza più ombra di dubbio, che la rete idrica era allo stesso momento assolutamente scompagnata e che si stava dappertutto

---

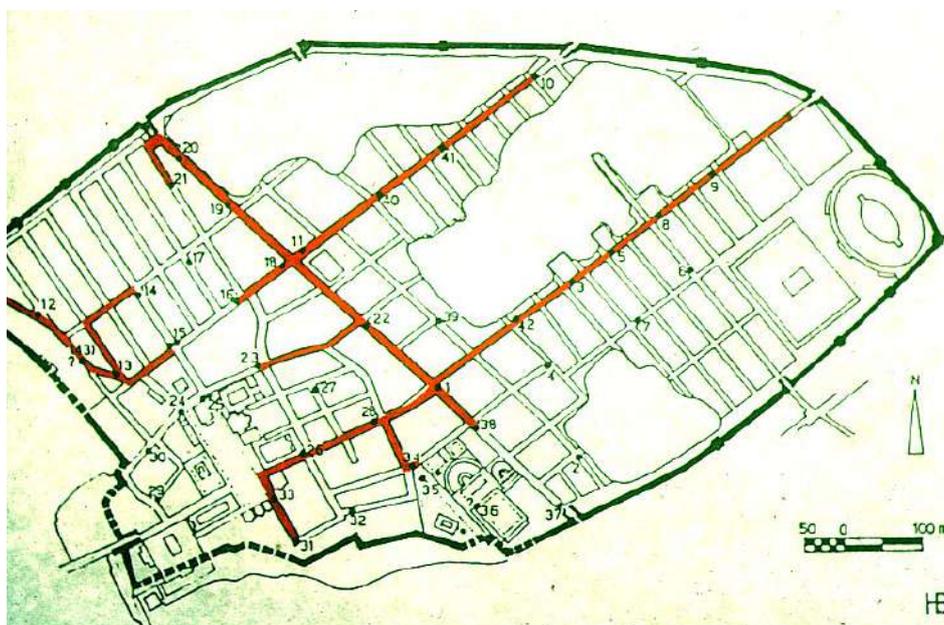
<sup>25</sup> Maiuri, 1939, pp. 200-202, fig.21; Maiuri, 1942, pp. 91-94.

<sup>26</sup> Heschbach, 1979, pp. 54 et sequentes.

<sup>27</sup> Adam, 1986, p. 80. Si tratterebbe della sezione femminile delle Terme Stabiane, della sezione maschile delle Terme del Foro, dei bagni nel complesso di Giulia Felice, della conceria I 5, 2 e della fullonica di Stephanus (I 6, 7).

<sup>28</sup> Ohlig, 2002.

allestendo una nuova allocazione a maggiore profondità per nuove condutture. Infatti la necessità di dotare il parco archeologico di Pompei di una dorsale tecnologica, costituita da cavi elettrici e fibre ottiche e di un impianto idrico moderno, ha reso necessaria una serie di indagini lungo i marciapiedi delle strade della città antica effettuata tra il 1992 e il 1994. Prima sono stati così effettuati 85 saggi per delineare il percorso ottimale del cavidotto, poi sono state scavate le vere e proprie trincee di collegamento tra essi per l'alloggiamento dei cavi su uno sviluppo complessivo in lunghezza di oltre 2000 m entro le mura urbane. I saggi, rigorosamente stratigrafici, hanno sempre raggiunto gli strati sterili ed hanno occupato tutto l'ambito dei marciapiedi per moduli di due metri; le trincee di collegamento hanno avuto una larghezza di circa 80 cm ed una profondità che variava dai 120 ai 180 cm e quasi sempre hanno raggiunto gli strati non antropizzati<sup>29</sup> (Fig. 6).



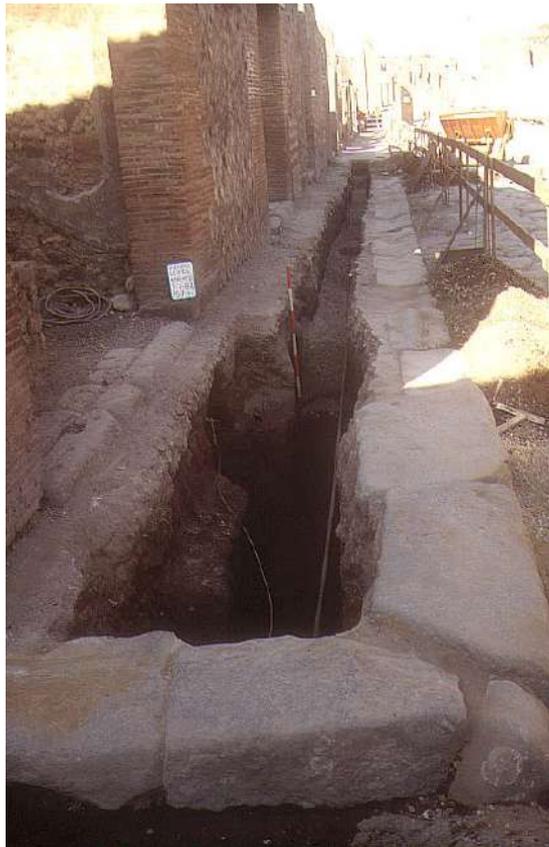
**Fig. 6 - Mappatura delle aree esplorate lungo i marciapiedi di Pompei**

Il primo dato rilevante è che lungo gran parte delle strade cittadine era presente un cavo antico vuoto e a cielo aperto riempitosi di lapillo al momento dell'eruzione del 79 AD. Il cavo, posizionato quasi sempre a ridosso dei basoli che delimitano il marciapiede (Fig. 7) ha una larghezza che varia tra i 60 ed i 90 cm ed una profondità che in qualche caso raggiunge i 160 cm dal piano del marciapiede; generalmente è più profondo in corrispondenza degli attraversamenti viari basolati (Fig. 8).

<sup>29</sup> Una prima comunicazione scritta dei risultati è stata data in: *L'impianto idrico di Pompei. Nuovi dati in Cura Aquarum in Campania* Atti del convegno, Katholike Univeriteit Nijmegen, 1996, pp. 37 - 45. Una seconda comunicazione, più ampia, dove sono stati esposti i risultati dell'indagine archeologica insieme alla metodica degli interventi e agli strumenti utilizzati si può confrontare in Nappo, 2002.



**Fig. 7 - Trincea riempita dal lapillo dell'eruzione del 79 AD posta nel tratto orientale di Via dell'Abbondanza**



**Fig. 8 - Trincea riempita dal lapillo dell'eruzione del 79 AD posta lungo la fronte settentrionale dell'Insula del Citarista (I-4)**

Altro dato significativo è che sovente tale trincea antica si interrompe in corrispondenza degli ingressi delle case, evidentemente per permettere un comodo transito in esse in attesa che tutto fosse pronto per l'allocazione dei tubi. Un'analoga situazione, sembrerebbe appunto dettata dalle stesse ragioni, si è evidenziata proprio lo scorso mese in un saggio archeologico effettuato da Antonio Varone nel vicolo di separazione tra le insulae 12 e 13 della regione IX in corrispondenza dell'ingresso del civico IX 12, 9.

Si è potuto constatare, inoltre, che l'unica rete idrica esistente nell'intera città era appunto quella, ormai smembrata e ridotta a tronconi, che correva in superficie o solo pochi centimetri al di sotto dei marciapiedi e che presenta cospicui segni di ripetuti restauri e rimaneggiamenti. Le fistulae con la caratteristica forma a pera e con il listello di chiusura posto in alto<sup>30</sup>, sicuramente non potevano sopportare pressioni molto alte e necessitavano di manutenzione con una certa frequenza visto le numerose riparazioni.

Nella trincea che si stava approntando a quota inferiore, infine, erano stati in alcuni tratti già allocati i tubi e talora essi erano stati già ricoperti.

Tali dati vanno riguardati anche alla luce delle ricerche effettuate da Ohlig, che ha trovato e analizzato due sedimenti calcarei nel canale d'afflusso al castellum aquae differenti per spessore e composizione mineralogica e chimica. Egli ha così mostrato che Pompei, attraverso quest'unico acquedotto ha ricevuto successivamente l'acqua da due zone diverse di sorgente e nella seconda fase l'afflusso dell'acqua era notevolmente minore. Analizzando poi ulteriori campioni di sedimentazione da settori dell'acquedotto del Serino nel tratto a monte e a valle della diramazione da esso a Pompei, che la logica vorrebbe posto in prossimità della località oggi detta (e forse non a caso, proprio per riferimento agli acquedotti) Torricelle, a metà strada tra gli abitati di Sarno e Palma Campania, ha potuto accertare che in una prima fase Pompei riceveva l'acqua da un proprio acquedotto dalla regione montagnosa a Nord-Est di Avella. A suo avviso tale acquedotto approvvigionava Pompei già molto tempo prima dell'età augustea, quando appunto venne creato l'acquedotto del Serino, al quale Pompei si sarebbe allora allacciata, ricevendo peraltro un minor gettito d'acqua. In tale prima fase un bacino a cielo aperto si sarebbe trovato al posto del castellum aquae costruito solo in un secondo momento.

Si è allora propensi ad avanzare l'ipotesi di interpretare il complesso di tale elementi come conseguenza di un fenomeno di trasformazione orografica del territorio.

Pompei riceve da Avella le sue acque, in grande abbondanza, sì che oltre agli usi pubblici moltissime case private se ne avvantaggiano per costruire giochi d'acqua nei giardini o impianti termali privati. Ad un certo punto, tuttavia, l'acqua non arriva più con la stessa intensa portata, o manca addirittura, sì che Pompei è costretta ad allacciarsi all'acquedotto nel frattempo costruito per portare l'acqua alla flotta di Miseno, evidentemente posto a quota maggiore. È interessante notare, a tal riguardo, che molti impianti termali privati vengono stranamente dismessi anteriormente al terremoto del 62 AD.<sup>31</sup> Se la causa di ciò può effettivamente essere imputata alla carenza d'acqua ormai conclamata, un tale fenomeno sarebbe stato avvertito già precedentemente al terremoto del 62 AD. Il terremoto, da parte sua, al pari delle altre scosse sismiche che si

---

<sup>30</sup> Jacono, 1934, p. 3.

<sup>31</sup> Adam, 1986, p. 81.

succedettero sino a poco tempo prima dell'eruzione<sup>32</sup> e alle deformazioni del terreno, doveva sicuramente aver creato una serie di danni notevoli alle tubature, di continuo rabberciate. È possibile, tuttavia, che la decisione definitiva di rifare completamente il circuito idrico cittadino, operazione di fatto in corso nel 79 AD, stavolta ad una quota più profonda e quindi meno soggetta a sollecitazioni diverse, possa essere stata anche determinata da una nuova emergenza idrica nel frattempo intervenuta che di fatto aveva privato la città dell'acqua.

Contemporaneamente, quindi, alla soluzione del problema a monte, com'è verosimile ipotizzare, si profittava del digiuno forzato di acqua per rifare radicalmente l'impianto idrico all'interno della città. Niente naturalmente costringe a respingere l'idea che il rifacimento delle condutture possa aver avuto luogo indipendentemente da una nuova crisi idrica. Sta di fatto che nella città acqua comunque non ne arrivava da nessuna conduttura e in essa venivano nuovamente recuperate le cisterne e rimessi in funzione i pozzi. Non ci si meraviglierebbe, anzi, nel constatare, se pur ciò fosse possibile, che le tante anfore trovate ammassate in moltissime case pompeiane non già più contenessero vino, bensì acqua potabile e per usi alimentari fatta giungere mediante operazioni di trasporto.

Un quadro siffatto può avere dei riscontri significativi dal punto di vista geofisico. La causa più comunemente associata alle deformazioni di un apparato vulcanico, anche se non l'unica, è la presenza di magma in profondità in grado di generare sovrappressioni. L'entità della deformazione dipende dai parametri che caratterizzano la sorgente e dalle caratteristiche del mezzo. Per simulare le deformazioni verticali e orizzontali provocate da sorgenti di pressione in aree vulcaniche, sono stati sviluppati numerosi modelli matematici e metodi numerici. Al pionieristico lavoro di Mogi hanno fatto seguito quelli proposti da Walsh e Decker nel 1971, Bonafede e altri nel 1986, Bianchi e altri nel 1987, Okada nel 1992 ed infine De Natale e Pingue nel 1993, che prendono in considerazione tra l'altro, la forma della camera magmatica, le irregolarità topografiche, l'eterogeneità e le caratteristiche viscoelastiche del mezzo, la presenza di fratture<sup>33</sup>. Modelli semplici che considerano un mezzo elastico e una sorgente a simmetria radiale sono in genere preferiti a modelli più sofisticati quando la quantità e qualità dei dati a disposizione non permette alcuna effettiva discriminazione. Il caso qui considerato sicuramente rientra in quest'ambito.

Il semplice modello di Mogi, in cui è assunto che la crosta terrestre sia un corpo ideale semi-infinito e la deformazione sia causata da una sorgente sferica a pressione idrostatica situata in profondità, permette di calcolare la variazione di quota ( $\Delta h$ ) e di distanza orizzontale ( $\Delta d$ ) in funzione di un aumento della pressione ( $\Delta P$ ) in una sorgente sferica di raggio  $a$ , posta ad una profondità  $f$ .

$$\Delta h = k f / (f^2 + d^2)^{3/2}$$

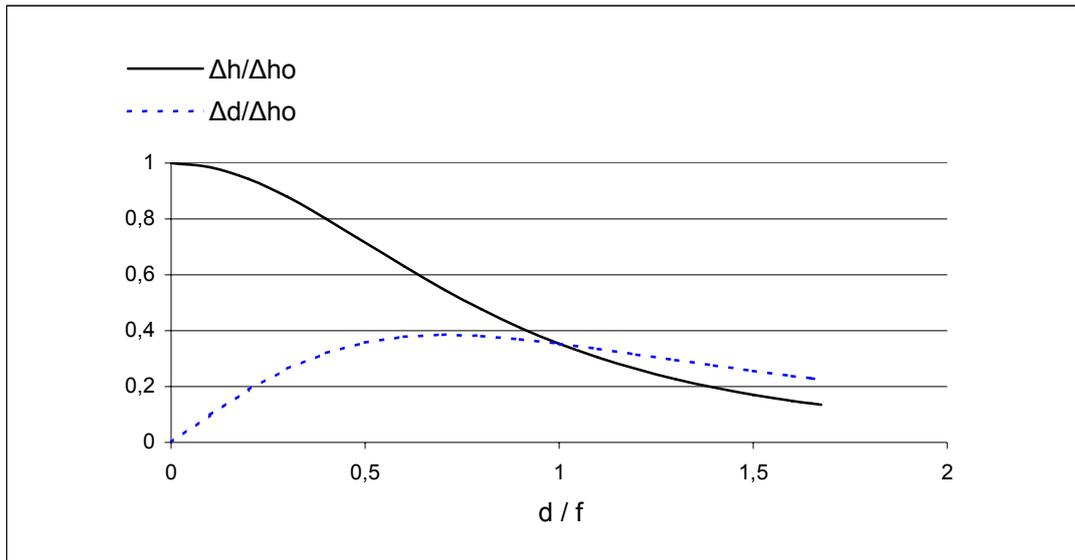
$$\Delta d = k d / (f^2 + d^2)^{3/2}$$

---

<sup>32</sup> *Archaeologie und Sismologie*, 1995.

<sup>33</sup> Mogi, 1958; Walsh, Decker, 1971; Okada, 1992; Bonafede et alii, 1986; Bianchi et alii, 1987; De Natale, Pingue, 1993.

in cui  $d$  è la distanza orizzontale del punto d'osservazione al punto di massimo sollevamento e  $k = (3a^3\Delta P)/(4\mu)$  dove  $\mu$  è la rigidità. In figura 9 sono riportate le variazioni relative delle componenti verticale e orizzontale delle deformazioni in funzione della distanza (misurata in rapporto alla profondità  $f$  dal centro di deformazione).



**Fig. 9 - Modello di Mogi (1958): variazioni relative alle componenti verticale ed orizzontale delle deformazioni in funzione della distanza dal centro della deformazione espressa in rapporto alla profondità  $f$  dal centro di deformazione**

L'applicazione all'area vesuviana per la stima delle deformazioni verticali tiene conto delle seguenti condizioni e considerazioni:

- la sorgente d'inflazione è posta sulla verticale dell'attuale cono vesuviano;
- tra le località Torricelle e Castellum aquae a Pompei l'acquedotto si avvicina al centro di massima deformazione verticale;
- la località Torricelle è attualmente ad una quota  $H_T \approx 53$  m slm e il Castellum aquae ad una quota  $H_P \approx 45$  m slm ( $H_T - H_P \approx 8$  m). La pendenza dell'intero tratto sarebbe pertanto oggi sufficiente per un'erogazione regolare se comparata a quella media dell'acquedotto Claudio (40 cm/km) rilevata nella parte che interessa la Piana Campana<sup>34</sup>;
- all'interno dei cunicoli dell'acquedotto di Pompei sono stati rilevati due tipi d'incrostazioni evidentemente provenienti da due captazioni differenti relative a due portate differenti, valutate la prima circa il doppio della seconda. Le altezze dei flussi idrici sono state stimate in  $h_1 \approx 0,5$  m la più antica, e  $h_2 \approx 0,25$  m la più recente. Queste due altezze possono essere considerate come i dislivelli minimi

<sup>34</sup> Abate, 1850.

( $\Delta H$ ) responsabili della mancata adduzione dell'acqua a Pompei in due distinte fasi, causate dal forzato cambiamento di pendenza dell'acquedotto prodotto da una deformazione provocata dal rigonfiamento del vulcano.

In tabella sono riportati, a titolo d'esempio, i valori del dislivello considerato ( $\Delta H$ ), della profondità della sorgente ( $f$ ), della variazione in altezza stimata per il Castellum aquae a Pompei ( $\Delta H_P$ ) e in località Torricelle ( $\Delta H_T$ ) e della variazione d'altezza del punto di massimo sollevamento ( $\Delta H_o$ ) coincidente con il cratere vesuviano. Nei modelli c e d la variazione di quota  $\Delta H_T$  è stata considerata nulla.

modello	$\Delta H$ (m)	$f$ (km)	$\Delta H_P$ (m)	$\Delta H_T$ (m)	$\Delta H_o$ (m)
a	0,50	10	1,0	0,5	2,0
b	0,25	5	0,4	0,1	2,4
c	0,50	10	0,5	0	1,0
d	0,25	5	0,25	0	1,7

Nella figura 10 sono riportate le variazioni delle componenti verticali della deformazione relative alla prima fase (modello a) e alla seconda (modello b). Tentativamente questi due episodi in cui, come è stato supposto, si è sviluppata la massima deformazione, possono essere messi in relazione con i due periodi sismicamente significativi degli anni 1960 e 1970, ma non è escluso che la sismicità rilevata sia solo la più energetica di un segmento temporale più lungo in cui si è sviluppata la deformazione.

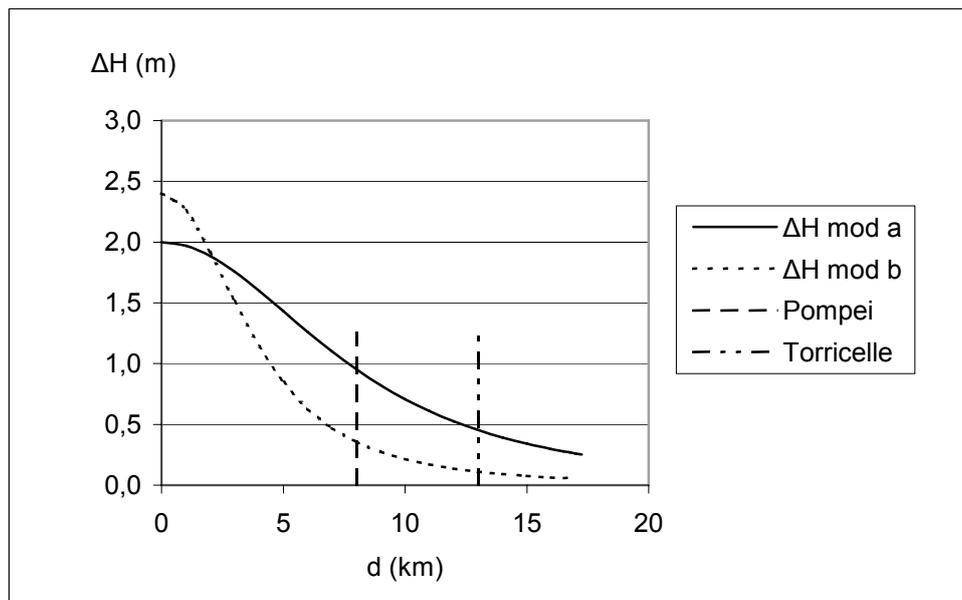
L'interazione tra più sorgenti magmatiche non è stata qui considerata, né è stato verificato alcun modello idraulico. Non sono altresì valutati altri eventi, inflattivi e/o deflattivi, pur possibili, frammisti ai soli deducibili ad oggi dalle evidenze archeologiche.

Si noti comunque che, in accordo con le soluzioni proposte, il litorale marino prospiciente Herculaneum e Oplontis, può essere stato interessato, sull'intero periodo, da innalzamenti significativi. D'altra parte va anche rilevato che in uno scavo ancora inedito condotto da Marisa de Spagnolis in località Bagni di Scafati si è potuto constatare, nella cosiddetta villa Vesuvio pure distrutta dall'eruzione del 79 AD, un pavimento sovrapposto e di molto rialzato su quello antecedente per un evidente affioramento superficiale della falda acquifera. Un innalzamento della falda negli ultimi 2000 anni è peraltro attestato da numerose evidenze archeologiche nella piana.

Il parallelo con l'attuale situazione, comunque, non è immediato. Il livello medio marino oggi è più alto di circa 1 m rispetto a quello di 2000 anni fa<sup>35</sup> e la morfologia costiera è stata più volte modificata, sia dai prodotti emessi proprio dall'eruzione del 79 AD, sia dalle eruzioni successive che, al di qua del Somma, hanno più volte riproposto rovinosi flussi piroclastici e colate laviche.

---

<sup>35</sup> Pirazzoli, 1991



**Fig. 10 - Stima della componente verticale della deformazione nell'area vesuviana prima dell'eruzione del 79 AD in funzione della distanza secondo il modello di Mogi. Le due curve rappresentano due eventi inflattivi distinti responsabili di due successive fasi di interruzione di approvvigionamento idrico a Pompei, come suggerito dai dati archeologici**

## Conclusioni e prospettive

Le variazioni morfologiche dell'area vesuviana in relazione all'evento del 79 AD sono state considerevoli. Quelle connesse ai circa  $4 \text{ km}^3$  di materiale estruso durante l'eruzione sono state evidenziate dalle numerose indagini stratigrafiche che hanno proposto tempi e modalità di emissione, meccanismi di trasporto e di deposizione<sup>36</sup>.

Nulla era stato fino ad ora ipotizzato in relazione alle modifiche territoriali causate da fenomeni inflattivi connessi con movimenti di masse magmatiche precedenti l'eruzione. È stato dimostrato che cambiamenti morfologici avvenuti in alcuni decenni possono aver modificato l'intera area vesuviana con implicazioni notevoli, sia per l'interpretazione geofisica che archeologica.

Lo strumento utilizzato per la raccolta di tali dati è stato, per i motivi prima ricordati, quello classico dello scavo archeologico, ma si è fermamente convinti che il completamento dell'indagine lungo tutti i marciapiedi di Pompei e quindi anche dentro gli edifici, finalizzata a delineare puntualmente la distribuzione ed i percorsi dell'acqua pubblica, sia soprattutto quella relativa al tracciato dell'acquedotto, prima dalle sorgenti di Avella, poi dalla diramazione dell'acquedotto del Serino sino a Pompei, e ciò sia possibile e anzi solo fattibile con sistemi non invasivi, ricavando così tutti i dati che servono all'indagine in questione, non altrimenti recuperabili con lo scavo se non

<sup>36</sup> Sigurdsson et alii, 1985; Santacroce, 1987.

attraverso impensabili operazioni distruttive e comunque alteranti un palinsesto stratigrafico importantissimo, che un domani potrà essere invece utilmente messo inalterato a disposizione di indagini con diverse finalità e nuove tecnologie.

Gli strumenti sono quelli già ampiamente utilizzati nel settore della ricerca archeologica preventiva quali il Gradiometro Magnetico e il Radar stratigrafico GPR (Ground Probing Radar) oltre alla sempre utilissima ripresa aerea. Si confida di poter presto dare ulteriori risultati dopo l'apporto offerto alla ricerca da tali sistemi non invasivi.

## **Bibliografia**

Adam J. P., Observations techniques sur les suites du séisme de 62 à Pompéi, *Tremblements de terre, éruptions volcaniques et vie des Hommes dans la Campanie antique*, Autori Vari, Naples, 1986, pp. 67 - 89.

Andreau J., Histoire des séismes et histoire économique. Le tremblement de terre de Pompéi (62 ap.J.C.), *Annales Economies Sociétés Civilizations* 28, 1973, pp. 369 - 395.

Andreau J., Il terremoto del 62, *Pompei 79*, Napoli, 1980, pp. 40 - 55.

Autori Vari, *Archäologie und Seismologie: La Regione Vesuviana dal 62 al 79 AD, problemi archeologici e sismologici. Colloquium*, Boscoreale 26-27 Novembre 1993, München, 1995.

Arnò V., Principe C., Rosi M., Santacroce R., Sbrana A., Sheridan M. F., Eruptive history, *Somma-Vesuvius*, CNR, PFG, Quaderni *La Ricerca Scientifica* 114 - 8, pp. 53-103.

Bernardelli R., Il tripartitore d'acqua di Porta Vesuvio a Pompei, *Studi Urbinati*, 3, 1971, pp. 1151 - 1156.

Berrino G., Corrado G., Luongo G., Toro B., Ground deformation and gravity changes accompanying the 1982 Pozzuoli uplift, *Bullettin of Volcanology*, 47-2, 1984, pp. 187 - 200.

Bianchi R., Coradini A., Federico C., Giberti G., Luciano P., Pozzi J. P., Sartoris G., Scandone R., Modeling of surface ground deformation in volcanic areas: the 1970-1972 and 1982-1984 crises of Campi Flegrei, Italy, *Journal of Geophysical Research*, 92, 1987, 14,139 - 14,150.

Bonafede M., Dragoni M., Quarenì F., Displacement and stress fields produced by a centre of dilatation and by a pressure source in a viscoelastic half-space: application to the

study of ground deformation and seismic activity at Campi Flegrei, *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 87, 1986, pp. 455 - 485.

Cubellis E., Marturano A., The vesuvian earthquake of October, 9 1999: macroseismic study, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2002 (in press).

Della Corte M., Il pomerium di Pompei, *Rendiconti Lincei*, XXII, 1913, pp. 261 et sequentes.

De Natale G., Pingue F., Ground deformations in collapsed caldera structure, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 57, 1993, pp. 19 - 38.

Elia O., Un tratto dell'acquedotto detto "Claudio" in territorio di Sarno, *Campania Romana*, I, 1938, pp. 99 et sequentes.

Heschebach H., Probleme der Wasserversorgung Pompejis, *Cronache Pompeiane*, V, 1979, pp. 24 - 60.

Heschebach H., Schäfer T., Die öffentlichen Laufbrunnen Pompejis. Katalog und Beschreibung, *Pompeii Herculaneum Stabia*, I, 1983, pp. 11 - 40.

Etienne R., *La vita quotidiana a Pompei*, Milano, 1966.

Hill D. P., Monitoring unrest in a large silicic caldera, the Long Valley-Inyo Craters Volcanic complex in est-central California, *Bulletin of Volcanology*, 47-2, 1983, pp. 371 - 396.

Jacono L., La misura delle antiche fistule plumbee, *Rivista di Studi Pompeiani*, fascicolo 2, 1934-1935, pp.102 - 115.

Lipman P. W., Mullineaux D. R., The 1980 eruptions of Mt. St. Henens, *United States Geological Survey Professional paper*, 1250, 1981, pp. 844 et sequentes.

Luongo G., Jacobelli L., Marturano A., Rinaldis V., Evidenze archeologiche ed ipotesi sulla sismicità a Pompei tra il 62 ed il 79, *L'evoluzione dell'ambiente fisico nel periodo storico nell'area circum-mediterranea*, a cura di C. Albore Livadie, F. Ortolani, Centro Universitario Beni Culturali, Ravello, Giugno 1993, (in press).

Maiuri A., Pozzi e condutture nell'antica città. Scoperta di un antico pozzo presso Porta Vesuvio, *Notizie dagli Scavi*, tav. XVII, 1931, pp. 546 - 576.

Maiuri A., *Notizie dagli Scavi*, 1939, pp. 200 et sequentes.

Maiuri A., *L'ultima fase edilizia di Pompei*, Spoleto, 1942, pp. 90 et sequentes.

Marturano A., Rinaldis V., Il terremoto del 62 AD: un evento carico di responsabilità, *Archäologie und Seismologie: La Regione Vesuviana dal 62 al 79 AD, problemi*

*archeologici e sismologici. Colloquium*, Boscoreale 26-27 Novembre 1993, München, 1995, pp. 131 - 135.

Marturano A., Rinaldis V., Seismicity before the 79 AD. Vesuvius eruption, *Il sistema uomo ambiente tra passato e presente*, a cura di C. Albore Livadie, F. Ortolani, Bari, 1998.

McKee C. O., Johnson R. W., Lowenstein P. L., Riley S. J., Blong R. J., De Saint Ours P., Talai B., Rabaul caldera, Papua New Guinea: Volcanic hazards, surveillance and eruption contingency planning, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23, 1985, pp. 195 - 237.

Mogi H., Relation between the eruption of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them, *Bulletin of Earthquake Research Institute*, 36, 1958, pp. 99 - 134.

Nappo S. C., Evidenze di danni strutturali, restauri e rifacimenti nelle "insulae" gravitanti su Via Nocera a Pompei, *Archaeologie und Sismologie*, München, 1995, pp. 45 - 54.

Nappo S. C., L'impianto idrico di Pompei. Nuovi dati, *Cura Aquarum in Campania. Atti del convegno*, Katholike Univeriteit Nijmegen, 1996, pp. 37 - 45.

Nappo S. C., L'impianto idrico a Pompei. Documentazione e nuovi dati, *In binos actus lumina: Metodologie per lo studio della scienza idraulica antica*, Ravenna, 2002.

Ohlig C., *De aquis Pompeiorum. Das Castellum Aquae in Pompeji: Herkunft, Zuleitung, Verteilung des Wassers*, Nijmegen, 2002.

Okada Y., Internal deformation due to shear and tensile fault in a half-space, *Bulletin of Seismological Society of America*, 82 - 2, 1992, pp. 1018 - 1040.

Omori F., The Sakurajima eruption and earthquakes, *Bulletin of Imperial Earthquake Investigation Commission*, 8, 1914.

Paribeni R., Relazione degli scavi eseguiti durante il mese di novembre, *Notizie dagli Scavi*, 1903, pp. 25 - 31.

Pirazzoli P. A., *World atlas of Holocene sea-level changes*, Elsevier, New York, 1991

Polara G., Il Vesuvio nella poesia latina, *Mons Vesuvius*, a cura di G. Luongo, Napoli, 1997.

Rolandi G., Petrosino P., Mc Geehin H., The interplinian activity at Somma-Vesuvius in the last 3 500 years, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 82, 1998, pp. 19 - 52.

Santacroce R., *Somma Vesuvius*, CNR, PFG, Quaderni *La Ricerca Scientifica* 114, 8, 1987.

Sgobbo I., Serino, L'acquedotto romano della Campania Fontis Augustei Aquaeductus, *Notizie dagli Scavi*, 1938, pp. 75 et sequentes, 81, 96.

Sigurdsson H., Carey S., Cornell W., Pescatore T., The eruption of Vesuvius in 79 AD, *National Geographic Research* 1, 1985, pp. 332 - 387.

Riera I., *Utilitas Necessaria. Sistemi idraulici nell'Italia romana*, Milano, 1994.

Nishida T., Measuring structures of Pompeii, *Opuscola Pompeiana* I, 1992, pp. 91 et sequentes.

Varone A., Più terremoti a Pompei? I nuovi dati degli scavi di via dell'Abbondanza, *Archäologie und Sismologie*, 1995, pp. 29 – 35, München.

Vogel J. S., Cornell W., Nelson D. E., Southon J. R., Vesuvius/Avellino, one possibile source of seventeenth Century BC climate disturbance, *Nature*, 344, 1991, pp. 534 - 537.

Walsh J. B., Decker R. W., Surface deformation associated with volcanism, *Journal of Geophysical Research*, 76, 1971, pp. 3291 et sequentes.

Wilson R. M., Ground surface movements at Kilauea Volcano, Hawaii, *University Hawaii Research Publication*, 10, 1935, 1971.



## **VULCANISMO E PRIMA LOCALIZZAZIONE GRECA NELLA MAGNA GRECIA E IN SICILIA: UNA PRIMA IPOTESI DI LAVORO<sup>1</sup>**

Cosimo PALAGIANO, Sandra LEONARDI, Alessandro D'AGOSTINO, Università degli studi "La Sapienza", Roma.

### **Introduzione**

La ricerca dei fattori di localizzazione degli insediamenti greci (colonie) nella Magna Grecia non è stata finora oggetto di indagini specifiche. Le generiche considerazioni relative alle esigenze di trovare nuove terre da abitare e sfruttare economicamente non sono sembrate del tutto persuasive, considerando principalmente il mondo culturale in cui la civiltà greca era immersa.

Certamente il fuoco era uno degli elementi basilari della vita, come tanti miti greci ricordano. Il fuoco era anche presente sotto forma di attività vulcanica nella primitiva storia della cultura greca, in quanto nel II millennio aC molti vulcani della Grecia non erano più in attività.

La colonizzazione greca dell'Italia meridionale e della Sicilia avvenne proprio quando quell'attività vulcanica era cessata o pressoché esaurita.

Un primo fattore di diffusione dell'emigrazione può essere stato appunto la ricerca di aree vulcaniche attive. Infatti le destinazioni dei greci erano fondamentalmente le terre che si affacciano sul Tirreno meridionale, in cui il vulcanismo era ed è tuttora attivo. Si è pertanto tentato un collegamento tra colonizzazione greca, vulcanismo e Italia meridionale, cercando nella toponomastica le tracce di tali relazioni.

Secondo una recente interpretazione dell'etimologia della parola Ausonia, pare che tali ipotesi possano trovare un qualche fondamento.

Infatti l'origine con cui viene identificato il popolo degli Ausoni è ancora oggi controversa e per questo la ricerca in argomento è iniziata proprio dalla derivazione del loro nome e dal legame ipotizzabile con la loro localizzazione. Dalla radice etimologica della parola *Ausones* appellativo dato dai greci a questa popolazione, si è cercato di trovare una connessione legata alle caratteristiche fisiche del territorio. Tra le tante interpretazioni sembrerebbe che i greci collegassero le popolazioni stanziate in alcuni territori colonizzati ai fenomeni geologici, o meglio vulcanici, identificando il loro nome con quello di "abitanti le terre che bruciano".

A questo punto si è posto un interrogativo, sicuramente azzardato, in questa prima analisi, con pochi fondamenti storico-culturali, connesso con gli aspetti prettamente mitologici della cultura greca e avvalorato solo da ipotizzabili percezioni visive legate

---

<sup>1</sup> Il lavoro è frutto della collaborazione tra i tre autori, in particolare l'Introduzione è stata curata dal Prof. C. Palagiano, L'Analisi storico-geografica dalla Dr.ssa S. Leonardi, La percezione "mitologica" come modello per l'espansione delle colonie greche in Italia. L'ipotesi di raccordo tra tempi geologici, attività vulcanica e mitologia è veramente improponibile? dal Dr. A. D'Agostino.

all'orizzonte sensibile. È plausibile supporre che la distribuzione geografica spazio-temporale delle colonie greche sia stata influenzata dalla vicinanza o dalla percezione visiva di sorgenti di fenomeni in cui si manifestava il fuoco? Perché gran parte delle colonie è sorta in località ove, sempre ipoteticamente, fossero visibili o addirittura presenti fenomeni vulcanici?

## **Analisi storico-geografica**

Il popolo che viene identificato con il nome Ausoni richiama ancor oggi l'attenzione su di sé. La sua origine sembra ancora poco chiara, infatti troppo spesso questo nome è associato ai più disparati popoli e a diverse tribù. Frequentemente, ad esempio, lo si trova collegato agli Opici che assumono così la denominazione Ausoni-Opici.

Nel tentativo di dare loro un'identità più precisa, la ricerca è iniziata dallo studio dell'origine del nome, proseguendo con l'identificazione della loro localizzazione e infine chiedendosi se il loro nome potesse avere delle spiegazioni connesse al loro stanziamento.

Prendendo in esame la tradizione classica e vagliando le testimonianze di alcuni logografi si può vedere che in uno scrittore greco ricorre il termine in questione: Ecateo di Mileto, del VI secolo aC, parla di Nola come città degli Ausones nelle sue *Istorie* opera sulla genealogia mitica in quattro libri, in cui l'autore tenta un'interpretazione razionale dei miti, delle tradizioni e delle credenze greche.

Un'altra testimonianza si trova in Ellanico, logografo greco vissuto nel V secolo aC che non ha mai dimostrato particolare interesse per la storia della penisola italiana, ma per gli Ausoni fa un'eccezione indicando la Sicilia come loro colonia<sup>2</sup>.

Da dove presero questo nome gli antichi scrittori greci?

Ci sono diverse scuole di pensiero, tra cui quella che vuole il nome preesistente nelle regioni italiane. Doveva già essere in uso presso i coloni greci dell'Egeo, dello Ionio e della Sicilia con quel significato più strettamente letterario e poco geografico datogli dagli scrittori greci, infatti essi non attribuirono un significato etnogeografico determinato, ma solo un valore letterario con una lontana determinazione geografica.

Una storia dell'identificazione e della delimitazione geografica del termine oggi appare più chiara. L'Ausonia geograficamente corrisponderebbe, in un primo momento storico, alla regione litoranea che si estende dalla valle del Sele (Silarus) sino a Mondragone (Sinuessa) quindi all'Ager Falernus.

Successivamente, con la suddivisione della famiglia degli Ausones in tre gruppi, Ausoni, Aurunci e Sidicini, per Ausonia si intendeva la regione marittima che si estende da Fondi a Cales, forse comprendendo anche Benevento e le città di Ausonia, Minturno e Vescia. Tralasciando le indicazioni poetiche che vogliono il Tirreno e lo Ionio identificabili con il nome Ausoni, in una fase storica successiva tutta l'Italia meridionale

---

<sup>2</sup> Strabone, VI, 255

e la Sicilia presero questo nome e quindi il termine Ausones indicò tutte le popolazioni stanziate nella Magna Grecia e in Sicilia.

Secondo il dizionario Toponomastico dell'UTET il nome Ausones significherebbe “gente dei fiumi” dalla base idronimica *aus* (corso d'acqua).

Per altri studiosi c'è un assonanza fonetica tra *ausosa* e *aurora* entrambe contenenti la radice *au* che identificherebbe l'Italia con Ausonia, intesa come terra dell'aurora. Questa tesi però viene subito respinta poiché non vi è alcun fondamento geografico che identifichi la penisola con il punto ove sorge il sole.

Collegando la pertinenza geografica del termine con la sua etimologia è stata formulata una nuova teoria che riconduce alla base della parola Ausones la radice *au* assimilabile al verbo greco *ἀείν* che vuol dire ardere, bruciare. Dunque, per capire il ragionamento fatto dai colonizzatori nell'assegnare questo appellativo, è necessario dare uno sguardo alle caratteristiche fisiche del territorio. Con ogni probabilità essi hanno fatto riferimento ad un fenomeno fisico di produzione di calore che poi può essere stato propriamente termico o solo visivo. Così i greci hanno collegato alle popolazioni lì stanziate quelle terre e quei fenomeni pirici, in tal modo si connoterebbe il nome di “abitanti le terre che bruciano” cioè le terre del fuoco.

Se si analizza la prima zona identificata con tale toponimo, si ha una prima conferma della presenza di detti fenomeni, in quanto ci si trova in prossimità dell'area vesuviana e dei Campi Flegrei. Ad avvalorare questa tesi si possono prendere nuovamente in considerazione le testimonianze dei testi antichi, come quello già citato di Ecateo di Mileto che indica come centro di questa popolazione Nola, definendola alla fine del VI secolo aC “città degli Ausoni”. Da Nola era ben visibile il fenomeno vulcanico, quindi la spiegazione epistemologica potrebbe avere un fondamento geografico.

Strabone, a tal proposito, parlando della pianura Pomentina la indica vicina al territorio dapprima abitato dagli Ausones che possedevano anche la Campania<sup>3</sup>.

Per avere maggiori certezze in tal senso si possono analizzare le caratteristiche geologiche dei siti di altre colonie greche esistenti in quest'area, come ad esempio Cuma, che fu uno dei centri più importanti e antichi della Magna Grecia e che sorge proprio su un terreno vulcanico.

Il quesito che si pone a questo punto è quello relativo alla vicinanza o alla percezione visiva di questo fuoco: perché gran parte delle colonie sono sorte in località ove fossero visibili o addirittura presenti fenomeni vulcanici? Potrebbe esserci un collegamento con il fuoco legato alla sua valenza simbolica e mitologica?

Ad esempio è nota l'importanza dell'ossidiana, speciale vetro vulcanico dal veloce raffreddamento, attorno alla quale fu crescente l'attenzione nel momento in cui si passò alla lavorazione di nuovi manufatti ed a una produzione intensiva soprattutto nelle Isole Eolie.

---

<sup>3</sup> ...Ψπερκειται δ'εν τη μεσογαία το Ππωμεντινον πεδιον: την δε σψξεντη προτερον Αψσονεθ ποκων, οιπερ και την Καμπανιαν ειξον...V,3,6.

Riprendendo il discorso dei greci e della loro relazione con i fenomeni vulcanici e cercando nella loro storia mitologica, si hanno notizie di una battaglia tra Zeus e i Giganti che verranno sconfitti solo con l'aiuto di Ercole, il quale li seppellirà sotto un cratere vulcanico nel Mar Egeo. Anche Strabone narra di una vicenda simile, solo che questa volta è ambientata in Campania e i Giganti sono seppelliti nei Campi Flegrei e sotto l'Etna.

Una tesi che, più della precedente, può avvicinarsi anche con i tempi storici è quella riguardante la scoperta di una lega del rame ottima per la costruzione di armi: il bronzo. Il nuovo metallo veniva lavorato in primordiali officine, misteriosi luoghi in cui si vedevano mantici che alimentano fuochi e provocavano scintille. Una setta di sacerdoti operai, devoti al culto del sole e denominati Ciclopi, si dedicava a questi lavori.

Tutto questo nell'immaginario collettivo fece nascere miti e leggende legate al culto del fuoco e creò nuovi concetti riguardo all'attività vulcanica. Si immaginava che in queste enormi caverne nel ventre dei vulcani si costruissero armi prodigiose, che i ciclopi fossero i fabbri degli dei per i quali realizzavano armi celesti, come le saette e il tuono per Zeus, armi, identificate con le eruzioni vulcaniche.

Lo stesso Omero nell'Iliade narra di Efesto, dio del fuoco, che forgiò le armi di Achille, come abitatore di un vulcano, l'Etna.

Dunque può essere ipotizzata una concomitanza di concause che ha portato i colonizzatori ad impiantare le loro sedi in prossimità di fenomeni vulcanici. Essi cercarono probabilmente dei luoghi che avessero delle caratteristiche comuni e adattabili alle loro esigenze, aree fertili<sup>4</sup>, non prive di delimitazioni geografiche, con approdi facili e con una discreta presenza di fiumi per risalire verso l'interno e che avessero un legame con i loro culti.

Sulla base di queste riflessioni ipotetiche si pongono dei nuovi presupposti di ricerca che prendono in considerazione scenari quali la geologia, la sismica, i movimenti tettonici e il vulcanismo.

### **La percezione "mitologica" come modello per l'espansione delle colonie greche in Italia. L'ipotesi di raccordo tra tempi geologici, attività vulcanica e mitologia è veramente improponibile?**

Non trascurando l'etimologia della parola Ausonia, di cui sono molteplici le interpretazioni, si possono a questo punto porre degli interrogativi sull'analisi della distribuzione geografica spazio-temporale delle colonie greche.

In questo primo e certamente insufficiente approccio di studio si può porre l'attenzione sulle motivazioni della costruzione degli insediamenti greci, tralasciando le note giustificazioni di carattere morfo-territoriale (vicinanza ai corsi d'acqua, approdi sicuri,

---

<sup>4</sup> Rapporti con l'occidente erano forse preesistenti alla colonizzazione, in quando si sa di scambi di prodotti agricoli che partivano dalla Sicilia e arrivavano in Grecia, quali ad esempio il grano. Dunque una considerazione che va tenuta presente è che gli agricoltori greci avessero fatto un ragionamento finalizzato all'acquisizione di nuove terre fertili come si presentavano quelle occidentali.

fertilità delle terre, ecc.) e concentrando l'attenzione sugli aspetti legati alla mitologia di questo popolo di grandi ed instancabili navigatori.

È noto e facilmente dimostrabile come la feracità delle terre dell'Italia meridionale, soprattutto lì dove i fenomeni vulcanici erano più evidenti, aveva attratto la colonizzazione dei greci che in quei luoghi immaginavano l'impenetrabile accesso all'oltretomba.

Ma è possibile spiegare o quantomeno giustificare tutti questi insediamenti anche con la possibilità da parte di questi antichi di avere all'orizzonte sensibile la visione di eventi vulcanici in atto?

Nello studio preliminare effettuato non sono stati approfonditi molti aspetti storico-culturali, ma è certo che alcuni di essi appartengono alla sola capacità percettiva dell'uomo di cui non esisterebbe alcuna fonte informativa.

Ebbene per prima cosa è stato considerato lo scenario dei luoghi al tempo di tale colonizzazione da un punto di vista prettamente geologico, facendo perno sulle conoscenze attuali ed immaginando, secondo logica, l'ambiente di allora.

Il Tirreno meridionale è caratterizzato da una morfologia complicata (una piana abissale circondata da vari sistemi orogenetici). Da un punto di vista geodinamico, vi sono due zone che coesistono tettonicamente in questa area<sup>5</sup>: settori estensivi (i bacini di Vavilov e Marsili formati da crosta oceanica) e compressivi (Arco Calabro-Peloritano). Numerosi studi hanno dimostrato come esista una migrazione verso Est di un campo di stress distensivo che a partire dal margine sardo nell'Oligo-Miocene arriva nel Pleistocene sino al bacino di Marsili. Nel contempo anche l'attività vulcanica e di relativa subduzione ha subito la stessa migrazione verso Est, andando dall'Arco sardo Oligo-Miocenico all'Arco di Ponza-Anchise nel Pliocene, arrivando sino all'arco Eoliano nel Pleistocene<sup>6</sup>.

Dal Pliocene inferiore nel Tirreno inizia la produzione di crosta oceanica nell'area del bacino di Vavilov, il sistema associato con la subduzione sviluppa maggiormente il fronte appenninico che migra verso Est con un tasso di 50 mm/a e la Calabria viene interessata da tettonica distensiva<sup>7</sup>.

In questo contesto si suppone un'attività vulcanica ancora più intensa rispetto a quella attuale; la presenza di numerose strutture sottomarine prospicienti l'arcipelago eoliano emerso caratterizza scenari di attività vulcaniche distribuite spazialmente. Da ciò è possibile desumere quindi una nuova mappatura dell'arco di isole vulcaniche, anzi quasi un anello di edifici vulcanici che parte da Ovest con Eolo, Enarete, Sisifo e Lametini a Nord-Est ed è delimitato più a Nord dal vulcano sottomarino Marsili (che si erge a 3000 m dal fondo marino) e dal Palinuro. Sebbene possano considerarsi attualmente attivi Vulcano, Stromboli e Lipari, si pensa ad un inizio dell'attività vulcanica orogenica della zona abbastanza recente (1.3 Ma) con la più antica attività localizzata a partire dal monte Sisifo per poi spostarsi lungo l'arco o anello in senso antiorario.

---

<sup>5</sup> Sartori, 1989.

<sup>6</sup> Savelli, 1988.

<sup>7</sup> Gueguen, Doglioni, Fernandez, 1998.

Com'è noto il vulcanismo orogenico dell'arco eoliano, iniziato nel Pleistocene, ha mostrato importanti affinità geochimiche con il vulcanismo alcalino potassico peritirrenico campano-laziale (Colli Albani, Vesuvio e Campi Flegrei) in quel periodo attivo, in cui il controllo strutturale dell'attività vulcanica viene dominato dagli ormai famosi fattori distensivi del margine tirrenico.

Rispetto a questo assetto strutturale l'attività dell'Etna, generalmente di basalti alcalini di ambienti distensivi, ha concentrazioni di alcuni elementi il cui arricchimento potrebbe derivare altresì da eventi compressivi.

Dalle considerazioni prettamente geologiche, i cui tempi sono difficilmente paragonabili con la storia dell'uomo, non è però impossibile immaginare alcuni paleopaesaggi che potevano affacciarsi all'alba di circa 3000 anni BP.

La semplice localizzazione geografica delle colonie greche, che vengono costituite a partire dal VIII secolo aC, stimola la fantasia ed esorta ad analizzarne il legame geologico che potevano avere con il territorio (Fig. 1).

Questa prima analisi lascia un po' delusi in quanto solo un numero limitato di colonie, come Cuma, Naxos o Lipara, poggiano le loro fondamenta su terreni di origine vulcanica.

Ma se da una parte gli antichi greci non volevano avere i loro piedi sui vulcani, quasi sicuramente volevano vederli, osservarli, averli come orizzonti visivi, con le loro effusioni, esplosioni, bagliori che li portassero e li immergessero nella loro dimensione mitologica del mondo di allora.

Attraverso una semplice analisi con un GIS di visibilità eseguita su un modello digitale del terreno è possibile verificare parte di quanto previsto.

Tutte le colonie che si affacciano sul Tirreno meridionale da Cuma a Motzia avevano la possibilità, secondo i loro rispettivi orizzonti sensibili, di vedere i fenomeni vulcanici che si verificavano, alcuni magari oggi scomparsi ed allora in via di esaurimento dell'attività (Fig. 2).

Si pensi allora come da Segesta era "forse" possibile vedere gli ultimi episodi degli apparati di Sisifo, di Enarete o di Eolo, oppure come da Poseidonia o da Elea era possibile scorgere lembi emersi o l'attività di Palinuro o di quella finale del vulcano Marsili.

Tutto ciò naturalmente non è provato, ma forse non è nemmeno improponibile ed a questo punto nelle ipotesi suddette perché non porsi alcuni ulteriori dubbi?

Se da tutte le colonie prospicienti il Tirreno era possibile osservare l'attività vulcanica del Vesuvio, dell'arco eoliano o dell'Etna (quest'ultimo probabilmente visibile anche dagli insediamenti della Sicilia meridionale) perché colonizzare le coste ioniche della Calabria e della Puglia?

Sicuramente si possono istantaneamente addurre delle giustificazioni di tipo logico: dalla lontana Grecia erano i primi approdi sicuri e quindi è lì che si potevano più facilmente instaurare delle basi di appoggio per ulteriori campagne di navigazione che portarono alla colonizzazione e alla costruzione di insediamenti veri e propri.



Fig. 1 - Localizzazione dei principali centri vulcanici e delle colonie greche dal VI al VIII sec. a.C.

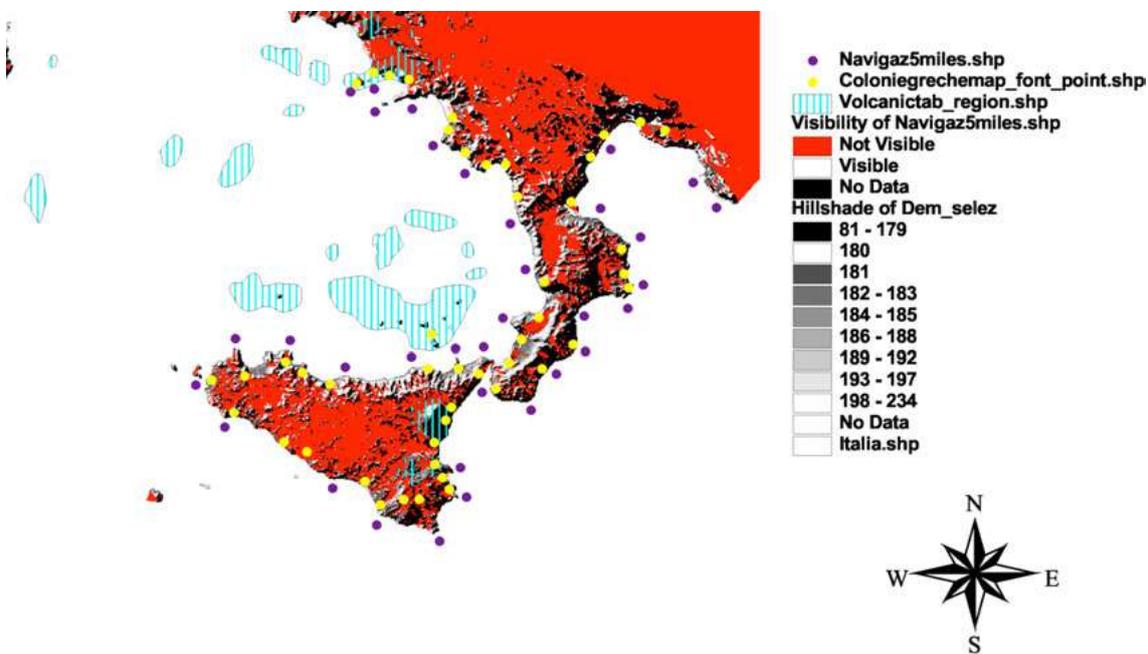


Fig. 2 - Analisi di visibilità su DEM. Punti di osservazione posti in corrispondenza delle colonie greche e a circa 5 miglia dalla costa

Ulteriori analisi di visibilità hanno evidenziato come Lakinion, Taras e Krimisa (sedi di Templi) erano tra loro intervisibili, quindi reciprocamente controllabili.

Ma qui i vulcani dove sono? Dove sono le fumarole, i bagliori delle esplosioni, la luce emessa nelle notti di luna dalle lave incandescenti?

Ebbene, pensando ad alcune estreme forzature legate all'assetto geologico-strutturale della regione nello spazio-tempo, si potrebbero anche qui avere le stesse giustificazioni percettive che sembrano accompagnare la localizzazione spaziale delle colonie greche in Italia.

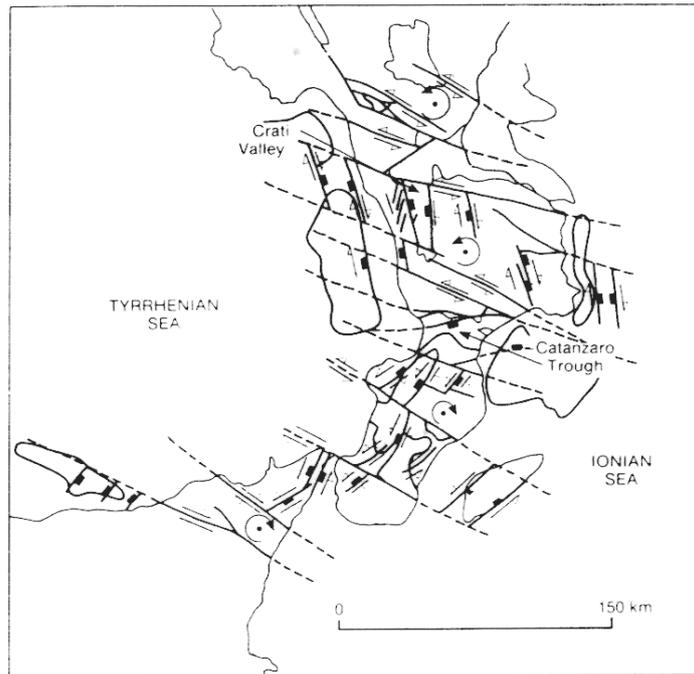
L'evoluzione geodinamica della regione di interesse è stata negli ultimi milioni di anni molto intensa. L'attività sismica registrata a memoria d'uomo, a partire dal V secolo aC, viene attivata da intense modificazioni strutturali legate ai processi di subduzione. In particolare la Calabria in questi ultimi 5 Ma sembra essere stata interessata sia da fortissime dinamiche traslative e rotazionali, sia da evidenti fenomeni di *uplift* differenziali.

In questo contesto si vogliono quindi evidenziare almeno due colonie che in un paleopaesaggio morfo-tettonico molto diverso potevano "forse" avvalersi anch'esse di orizzonti nei quali era possibile scorgere i lontani bagliori dell'attività vulcanica del Tirreno (Fig. 3).

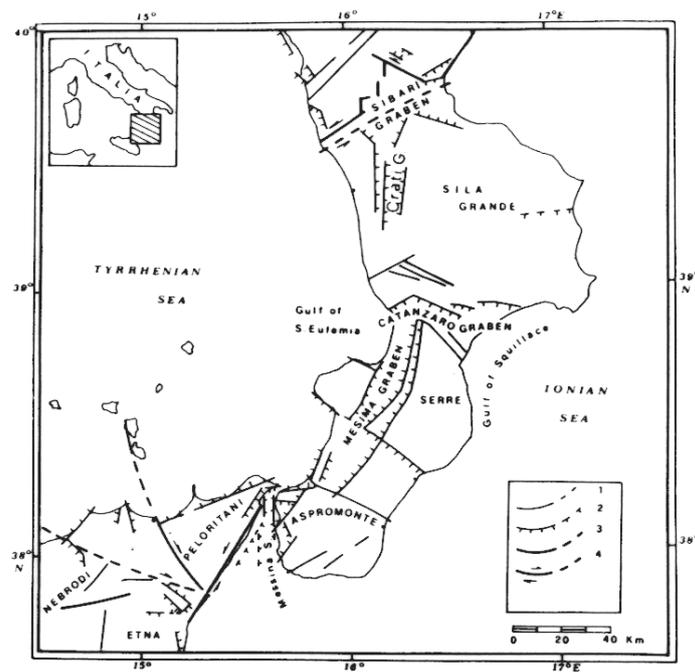
Il graben di Catanzaro poteva essere per il tempio di Lakinion una finestra (Fig. 4) di osservazione "mitologica" o un passaggio verso il Tirreno?

Attraverso l'omonimo graben da Sibari era possibile scorgere dallo Ionio l'attività del Marsili?

La risposta affermativa a questi interrogativi potrà essere fornita dalla prosecuzione della ricerca in corso, con ulteriori informazioni acquisibili solo nel progresso delle ricerche geografiche, una volta che siano state ben documentate.



(secondo Knott D. & Turco E., 1991)



(da Bottari et alii, 1984; modificato)

**Fig. 3 - Dinamiche rotazionali e strutture tettoniche della Calabria**



Fig. 4 - Attuali punti di osservazione e relativa visibilità

## Bibliografia

Colonna G., *Le Civiltà Anelleniche, Storia e Civiltà della Campania* a cura di G. Pugliese Caratelli, Napoli Electa, 1991.

Cortini M., Scandone R., *Un'introduzione alla Vulcanologia. Magmi Eruzioni Vulcani*. Liguori edizioni, Napoli, 1987.

Gueguen E., Doglioni C., Fernandez M., *On the Post-25 Ma Geodynamic Evolution of Western Mediterranean*, *Tectonophysics*, 298, 1998, pp. 259-269.

*Monografia Storica dei Porti dell'Antichità nella Penisola Italica*, Ministero della Marina, Roma, 1905.

Musti D., *Ausonia Terra*, *Rivista di Cultura Classica e Medievale*, n. 2, 1999, pp.167-171.

Nissen H., *Italische Landeskunde*, *Weidmannsche Buchhandlung*, Berlino, 1883.

Paglia A., *Ausonia Terra*, *Rivista di Cultura Classica e Medievale*, n. 2, 1999, pp. 178-198.

*Storia e Civiltà della Campania*, a cura di G. Pugliese Caratelli, Napoli Electa, 1991.

Sartori R., Evoluzione Neogenico-recente del Bacino Tirrenico e Suoi Rapporti con la Geologia delle Aree Circostanti, *Giornale di Geologia*, 51(2), 1989, pp. 1-39.

Savelli C., Late Oligocene to Recent Episodes of Magmatism in and around the Tyrrhenian Sea: Implications for the Processes of Opening in a Young Inter-arc Basin of Intra-orogenic (Mediterranean) Type, *Tectonophysics*, 146, 1988, pp. 163-181.

Scandone R, Miti ed Eruzioni, *Le Scienze Quaderni*, n. 39, Dicembre 1987.

Tommasino G., *La Dominazione degli Ausoni in Campania. Sessa Aurunca ed i Suoi Avanzi Archeologici*, editore A. Di Stefano, S. Maria Capua Vetere, 1925.



## **LAHARS: TORRENTS BORN FROM VOLCANO AND ICE**

Alexander O. BRINKEN, Yuri P. SELIVERSTOV, Russian Geographical Society, Saint-Petersburg.

Mountains have always fascinated man and he has always done his best trying to master and assimilate them to gain natural wealth and inner comfort from his achievements. However, mountains belong to a dangerous natural phenomenon. Their beauty and everlasting quietness often appear delusive because of the continually undergoing natural processes which at times turn into real catastrophes. They are connected with the main peculiarity of mountains, i.e. with their steep and abruptly alternating in height slopes. Among the elemental mountainous phenomena very essential are temporary water torrents originating as a result of different reasons but nevertheless always unexpected and destructive. In different countries they are known under different names.

In Russian the known word for them is a *sel* (a mudflow) which is a borrowing from Arabic and Turkic languages where it has the meaning of an unexpected torrent. Such sels appear with the shifts of water masses picking up the mellow soil of the mountain slopes and relatively quickly bringing it down to the foothills which may not necessarily be along the familiar ruts or lowerings on the slopes but where a water mass has appeared. It can be connected with heavy showers, with the destruction of dams, with the lakes growing shallow and with rapid melting of snow and ice. Among various possible reasons for originating temporary torrents it should point out the torrents of the melted snow and ice and those resultant from the lowering of lakes level connected with volcanic processes. It most often happens both during volcano eruptions and also quite probable during the non-apparent volcanic processes when the inner warmth of the Earth unexpectedly melts masses of snow and ice. It is also possible due to the movement of magma which shakes the Earth and destroys the lake dams letting the water down the slopes. There is a special word, *lahar*, borrowed from Indonesian, to denote temporary torrents in the areas of contemporary and former volcano activity.

Temporary torrents on the slopes of volcanic cones can be formed when:

- crater lakes outpour and, in particular, at eruption through lakes (hot lahars);
- snow and ice rapidly melt during the eruption both because of the magma heat and as a result of hot ashes and burning-hot gases throw;
- it is raining heavily during or directly after the eruption (cold lahars);
- eruptions are accompanied by isolation of ashes or *tefra* during the shower;
- huge masses of juvenile waters appear at the same time with the eruption.

Lahars can be huge in their size and strength i.e. dozens and even hundreds of millions of cubic metres of muddy and stony water masses. It is very often the lahars and not the eruptions themselves that turn out to be far more dangerous in volcanic areas. It is in lahars that people get killed; many examples of that from the past are known. First of all it is necessary to remember the last day of Pompeii in 79 AD: the city was absolutely covered with ashes from Vesuvius. At the same time the neighbouring town

Herculanium was covered by a 20 m deep mud and stony mass brought by the lahar which had originated as a result of huge precipitation which reached the Earth on the slopes of the erupting Vesuvius. This is very vividly shown now by archaeologists. Lahars accompanied the eruption of Vesuvius in 1631 AD and in spring 1906 AD during the heavy rains the mudflow reached the town of Rosin located on the coast of the Bay of Naples.

In Russia lahars are most common on Kamchatka peninsula. For instance, the eruption of Shivelouch volcano not once led to lahar formation. In 1964 AD a lahar in form of 400 m wide straps burst into forests and destroyed them in the area of several kilometres. A major lahar of Avachinskiy volcano in the year 1938 galloped along the valley of the river Khalaktyrka and ruined everything on its way along 18 km. A unique lahar sprang among volcanoes of Klouchevskiy group in March 1956. Pyroclastic torrents joined by waters from melted snow formed a mudflow which spread on the slopes and in dry valleys on the territory of 90 km. The total volume of the shifted mass of the lahar exceeds 0,5 billion of cubic metres. The total territory of the lahar amounted to 35 km<sup>2</sup>. Thanks to the scarcity of population on this territory the lahar did not lead to considerable human losses. It was absolutely otherwise on the Japanese island Khokkaido where the awakening of the long-forgotten volcano Tokati in May 1926 led to formation of a huge mudflow with the volume of no less than 6-7 billion cubic metres which moved at a speed of around 13 m/s. It swept a village and a railway station killing 144 people. The lahar left behind its layer on 29 km<sup>2</sup>. There are quite a number of examples of how a lahar acts. They formed mudflows spreading for up to a hundred of kilometres with the torrent of up to 15 m.

The volume of the moved material made up to several dozens of millions of cubic metres which covered the Earth's surface on the territory of hundreds of square kilometres. Some lahars covered the distance of 300 km at an average velocity of 7,5 km/h and caused a considerable damage to settlements located as far as 240 km away from the volcano (i.e. the eruption of Kotopahi volcano in Ecuador in 1877). The estimated human losses totalled thousands of people. This threatening natural phenomenon is still rather poorly studied due to the complexity of its research and the relative unpredictability of the volcanic activities.

While talking more precisely about the word lahar it feel more justifiable to apply it only to temporary torrents which appear and accompany an immediate volcanic process when it brings disintegrated rock formations and water due to the eruption and melting of snow and ice as a result of temperature effects of the volcanic activities. Temporary mudflows resultant from the drift of volcanogenic material by heavy precipitation not in the time of volcanic activity can be more justifiably called simply sels. Their mechanism is similar to that which can be applied to their formation at the account of other mellow soils on the slopes washed by unexpected water masses. It is also necessary to emphasise the particular danger is coming from the so-called hot lahars, where besides mechanical influences there are also heating problems. The research of the spread of contemporary and, in particular, ancient lahars taking into consideration the available material on the then and currently existing population can help in search of new hidden archaeological memorials and other traces of human life.

## **GEO-ARCHAEOLOGY IN DOAB PLAIN (MIDDLE GANGES VALLEY, UTTAR PRADESH). DISCOVERY OF DRUPAD KILA / KAMPILYA ARCHAEOLOGICAL SITE THROUGH IRS 1C PAN AND ERS 2 SAR**

Bruno MARCOLONGO, National Research Council of Italy (CNR), Padova.

### **Introduction**

Geo-archaeological project *Kampilya* has seen the light in its articulated form on 1996, generated by the fortunate meeting of the cultural interests of Institute for Hydrogeological Hazard Prevention of the National Research Council of Italy – Padova and Department of South Asia Studies of the “Ca’ Foscari” University - Venice. Subsequently, various prestigious European and Indian Institutions (Venetian Academy of Indian Studies - Venice; Geosat Technology - Antibes; Maison “René Ginouvès” Archéologie et Ethnologie of the Centre National de la Recherche Scientifique - Paris, Management Engineering & European Consulting - Ferrara, Department of Geology of the University of Delhi, Deccan College - Pune, Indian Archaeological Society - New Delhi, Panchala Research Institute - Kanpur and D. K. Printworld Editing Company Ltd. -New Delhi) joined the initiative bringing their own competencies and institutional aims, which deal with ample sectors of training and knowledge. Further developments anticipate other significant collaborations, like that with the prestigious Italian Army Geographical Institute - Florence to cover survey and cartographic aspects and the Department of Earth Sciences of Pisa University.

Initial stimulus was given by the discovery, at the beginning of 1996, of the large archaeological complex of Drupad Kila / Kampilya in the alluvial middle valley of Ganges (Farrukhabad district, Uttar Pradesh) done on the base of preliminary studies with advanced remote sensing techniques which provided a theoretical model of prediction of the presence of possible ancient remains.

The recovery of this important site, occupying a central position in the old South Panchala Kingdom as witnessed by Mahabharata epics, and for that sought since the beginning of archaeological recognition in India<sup>1</sup> provoked the keen interest of Archaeological Survey of India. Further to that, in the occasion of the visit of an Official Delegation of the Italian Government, guided by Prime Minister Honourable Prof. Romano Prodi, on January 1998, Kampilya project was presented at Rashtrapati Bhawan to Honaourable Prof. Prodi himself and to numerous Italian and Indian Personalities and Authorities.

On May 1998 a monograph entitled *Kampilya – Quest for a Mahabharata City* was edited by University “Ca’ Foscari” Venetian Academy of Indian Studies and National Research Council of Italy, published by D.K. Printworld, collecting the outlines of the geo-archaeological and ethnological observations gathered during four missions on the spot followed upon one other since 1996.

---

<sup>1</sup> Cunningham, 1878.

In this scientific contribution particular stress is devoted to the late Quaternary environment evolution, characterized by an intense river dynamics, expressed by a general South-Eastwards shifting of the Yamuna-Ganges system, mainly due to neotectonic movements. Distribution and typology of the ancient settlement pattern is also focussed in connection with landforms and natural resources availability. Last but not least, reminiscences of Mahabharata epics still preserved by the popular culture of villages surrounding Drupad Kila / Kampilya were emphasized through ethnological investigations.

Afterwards, at the end of 1999, Archaeological Survey of India granted the necessary clearances for excavation campaign and geo-archaeological survey in a wider area around Drupad Kila. Thus a new Italian-Indian joint mission has been conducted on January-February of 2000, guided by a further detailed interpretation of IRS 1C PAN high resolution and ERS -2 SAR images. Noticeable results have been achieved either on the site itself, whose antiquity and identification with Mahabharata Kampilya are growing stronger after that, or in the adjoining gangetic plain. There, other ancient mounds were before identified on space images IRS 1D and then recognized in the field, bearing many shards of “Grey Ware” and “Painted Grey Ware”.

### **Geo-archaeological survey in Drupad Kila / Kampilya region (Italian-Indian joint mission, January-February 2000)**

Landforms and their evolution in space and time, as well as availability of natural resources in terms of water, soil and raw materials, have always strongly influenced organization and development of the human settlement models. That is very clear since middle Holocene (about 6000 years BP, after a pluvial phase and the beginning of a period of progressive climatic drying up) in the broad fluvial plains, which became cradle of the most ancient urban civilizations, such as that of Nile, Tigris-Euphrates and Indus-Ganges.

The vast territory of proluvial plain lying in the Indian sub-continent at the foot of Himalaya range has been and still is to-day affected by neotectonics, with differential tilting of the land surface and consequent significant changes during late Pleistocene-Holocene of channel characteristics and rivers flow directions. Moreover, also climatic variations with glacial and inter-glacial phases and derived sea level fluctuations contributed to emphasize this instability of the general hydrographic network.

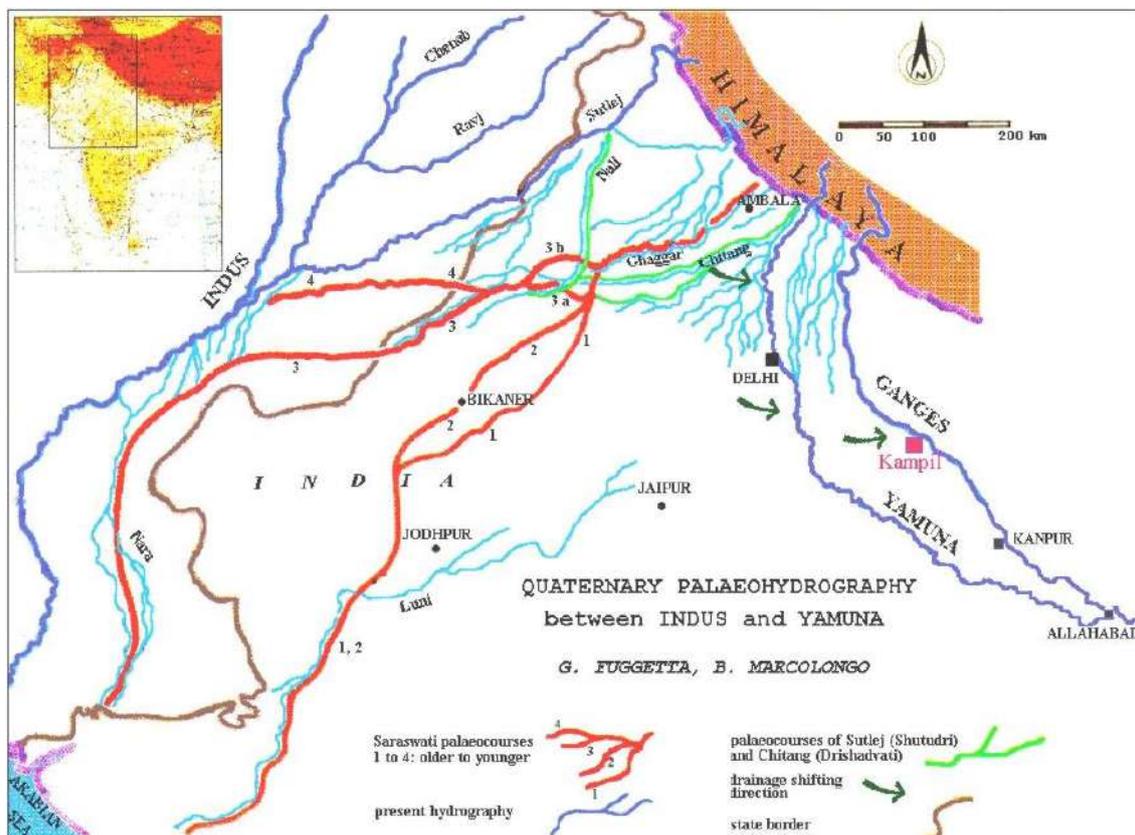
In the last decades numerous Indian and foreign scholars of various disciplines worked on this active foreland basin, constituted by the Indo-Gangetic plain where sedimentation is taking place by fluvial processes. Among other things, it has been stressed neotectonics control on the middle stretch of Ganges near Kanpur (Uttar Pradesh) where the river is shifting towards SE attracted by a normal fault, the so-called “Moradabad fault” with strike NW-SE parallel to orogen<sup>2</sup>. Furthermore imposing changes in river courses, due both to neotectonics and climate, have been recognized in

---

<sup>2</sup> Bajpai, 1989; Singh, Bajpai, 1989; Singh et alii, 1990; Parkash, Kumar, 1991.

Haryana, Panjab and Rajasthan with abandonment of a global Western flow direction (Ghaggar-Sarasvati receiving the contributes of palaeo-Yamuna-Drishadvati) and creation of a generalized new Southward flow direction mainly represented by the present Yamuna<sup>3</sup>.

On the other hand this area has been seat of the arising and development of the harappan culture and necessarily the ancient sites distribution over the whole region must be inserted from a diachronic perspective in a palaeoenvironment quite different from the present one. Also the migrations, which during the II millennium BC brought a considerable number of people to settle down in the Ganges alluvial plain, could have probable pre-existing cause in the grand hydrographic upsetting coinciding with the diversion of Yamuna course from West to South. This river, therefore, seems to play in this evolutive context the role of tongue for the partition of noticeable discharges between Indus and Ganges watershed (see Fig. 1).



**Fig. 1 - Quaternary palaeohydrography between Indus and Yamuna**

<sup>3</sup> Y. Pal, B. Shahai, R.K. Sood, D.P Agrawal, 1984; H.P. Francfort, 1984; P. Gentelle, 1984; V.N. Misra, 1993; G. Fuggetta, B. Marcolongo, 1994; S.P. Gupta, 1994-1995; D.P. Agrawal et alii, 1994-1995; Marcolongo, Tosi, 1995.

To insert in this ample picture the palaeoenvironmental evolution of Drupad Kila / Kampilya area, during the last mission a geo-morphological survey has been performed extending the observations to a band of alluvial plain on the right riverside of Burhiganga Nadi upstream to Patiali and farther.

The main reason of this choice is due to the fact that all physiographic directions (topographic slope, surface and ground water flow, etc.) are trending South-Eastwards. Some conspicuous geomorphological features are marking the almost flat landscape as a continuous fluvial terrace (whose escarpment reaches locally 8-9 m of height) flanking the course of the old Ganga itself, or many low-lying palaeo-river beds crossing each others in accordance with the above general evolutionary model.

This clear anisotropy of terrain forms and structures suggests also the existence of a possible anisotropy in the ancient settlement pattern, as far as distribution and typology of sites are concerned. From a theoretic viewpoint, ancient sites could be found more concentrate on the edge of the recognized fluvial terrace, or nearby palaeocourses, both of them representing attractive aspects for human settlement.

Basic data for planning geo-archaeological survey have been represented by complete set of 1:50 000 scale topographic maps<sup>4</sup>, acquired from Survey of India, and high resolution IRS 1D Panchromatic scene (path 98 - row 52, on 11 February 1999) kindly supplied by Informatica per il Territorio (IPT) of Rome, one of the Project active collaborators and official distributor of satellite images for Europe. Additionally IPT has also provided a "terrain geocoded" high precision (pixel of 12.5 m) ERS - 2/SAR radar image (orbit 21144 / frame 3051, frequency / polarisation 5.3 GHz / VV, on 7 May 1999) for enlarging observations, among others things, to alluvial deposits characteristics (porosity, permeability, soil moisture content, etc.).

Satellite images, after application of geometric/radiometric corrections, have been georeferenced to UTM grid and interpreted with the help of digital techniques (GIS software IDRISI) for generating a number of thematic maps at variable scales in function of the needed detail (1:5000; 1:10 000; 1:25 000 and 1:50 000). The terrain campaign was in fact guided by this propaedeutical study (see Fig. 2) which made it possible to save time and concentrate attention on the most potential spots of the plain under consideration. Moreover, to find easily those sites, whose absolute co-ordinates in latitude and longitude are deducible from the georeferenced images themselves, a portable GPS has been used in the field.

---

<sup>4</sup> Sheets numbered as follows: 53 L/1.2; 54 I; 54 I/9; 54 I/13; 54 I/14; 54 M; 54 M/1; 54 M/2; 54 M/3; 54 M/6; 54 M/7; 54 M/10; 54 M/1. These maps cover the Districts of: Agra, Aligarh, Budaun, Etah, Etawah, Farrukhabad, Hardoi, Mainpuri, Mathura, Shahjahanpur.

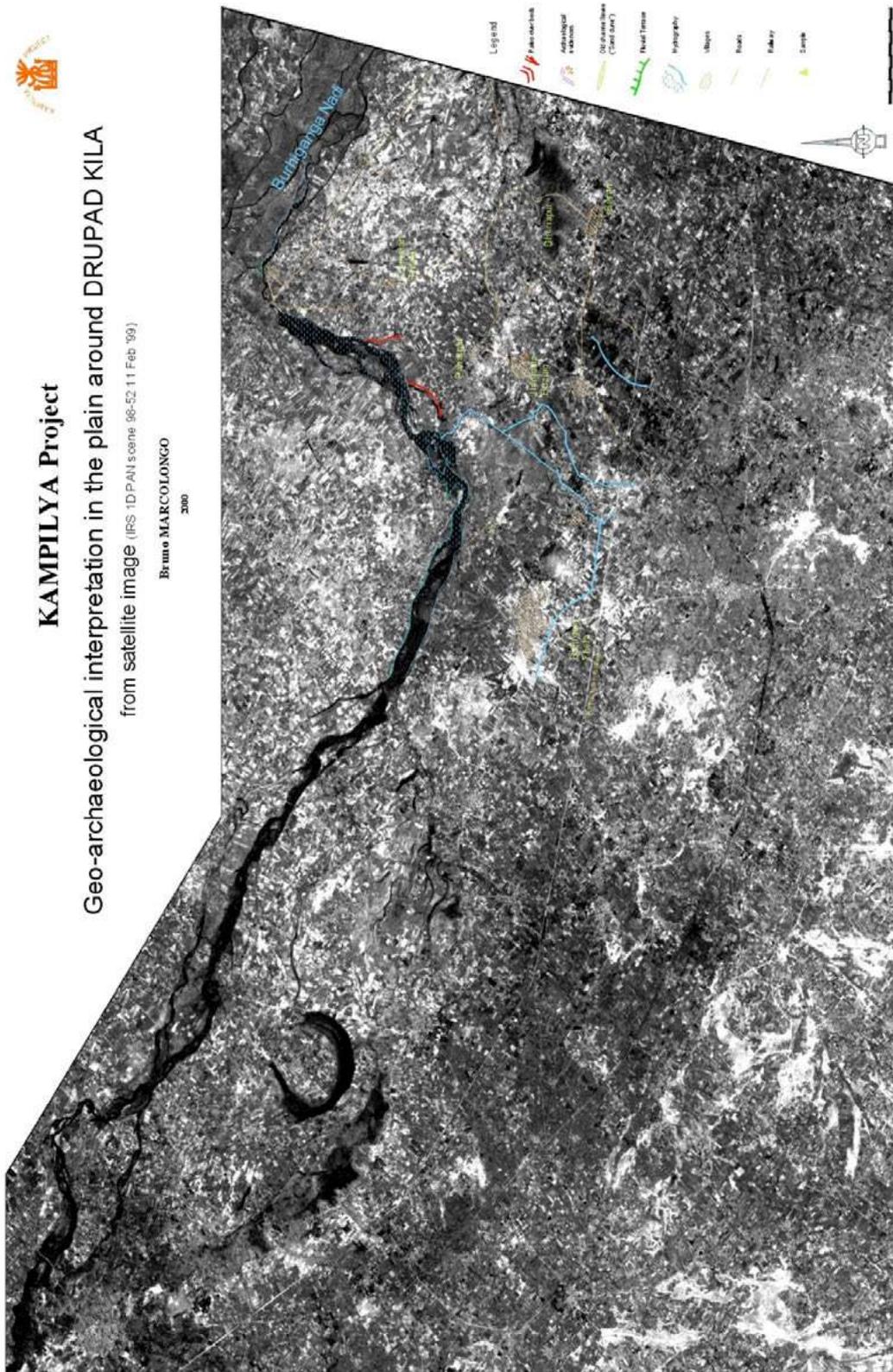
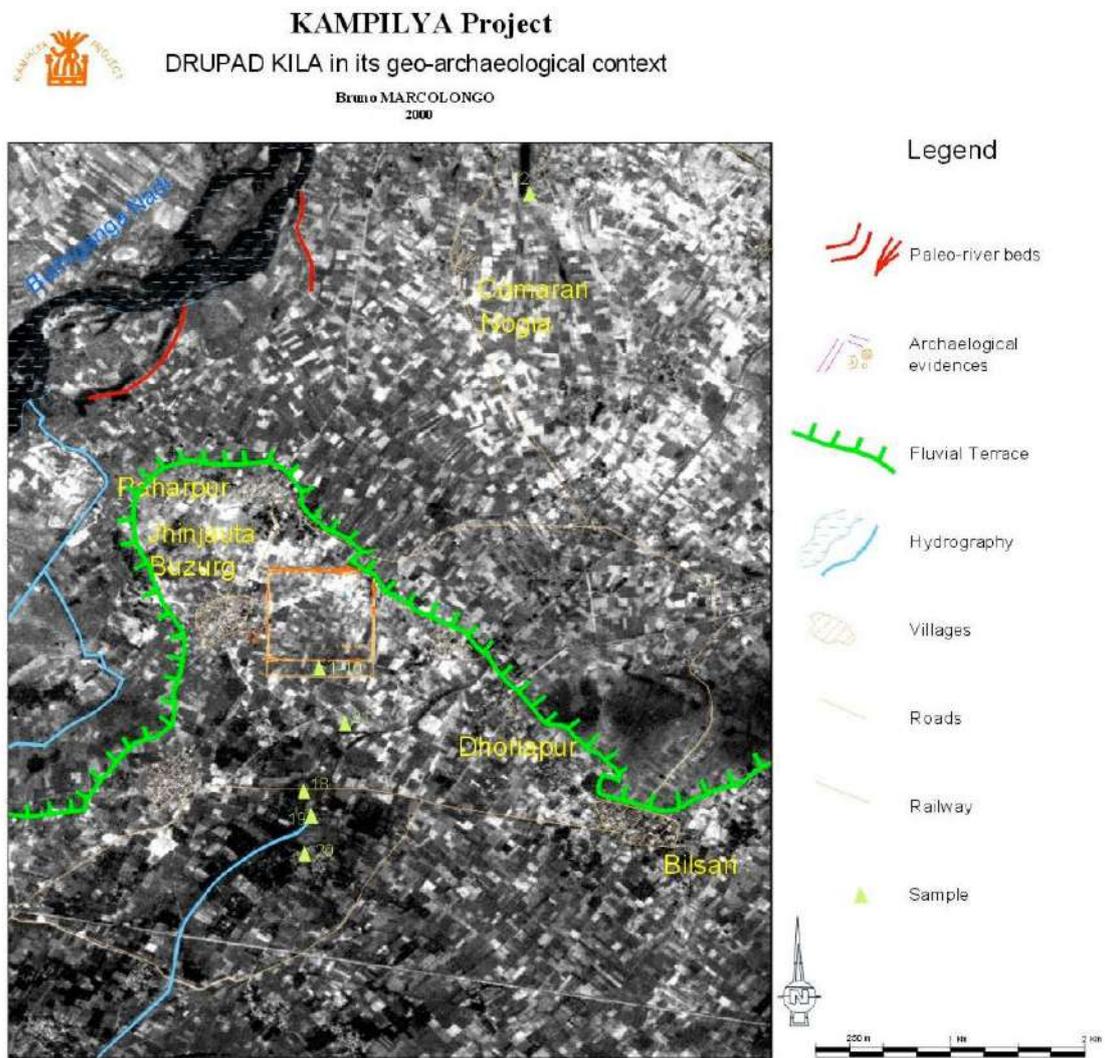


Fig. 2 - Kampilya Project. Geoarchaeological interpretation in the plain around Drupad Kila

Geo-archaeological survey was intended to check either landscape forms or presence of ancient sites. So, in the area to the North of Drupad Kila numerous traces of palaeo-courses have been identified from anomalies and discontinuities in the mosaic of agrarian parcels, covering in almost continue way a plain heavily populated, and reported in thematic cartography. They are lying in the flood plain of old Burhiganga Nadi, in the “younger alluvium” formation bordered by the terrace on which Drupad Kila rises. Several episodes of fluvial shifting and flooding are recognisable, which stand for a general evolution of the river towards more mature meandering phase. It seems that palaeo-Ganga, much probably, was licking the Northern walls of Drupad Kila at the time of its occupation and then it moved North-Eastwards to the present *talweg* (see Figs. 3 and 4).



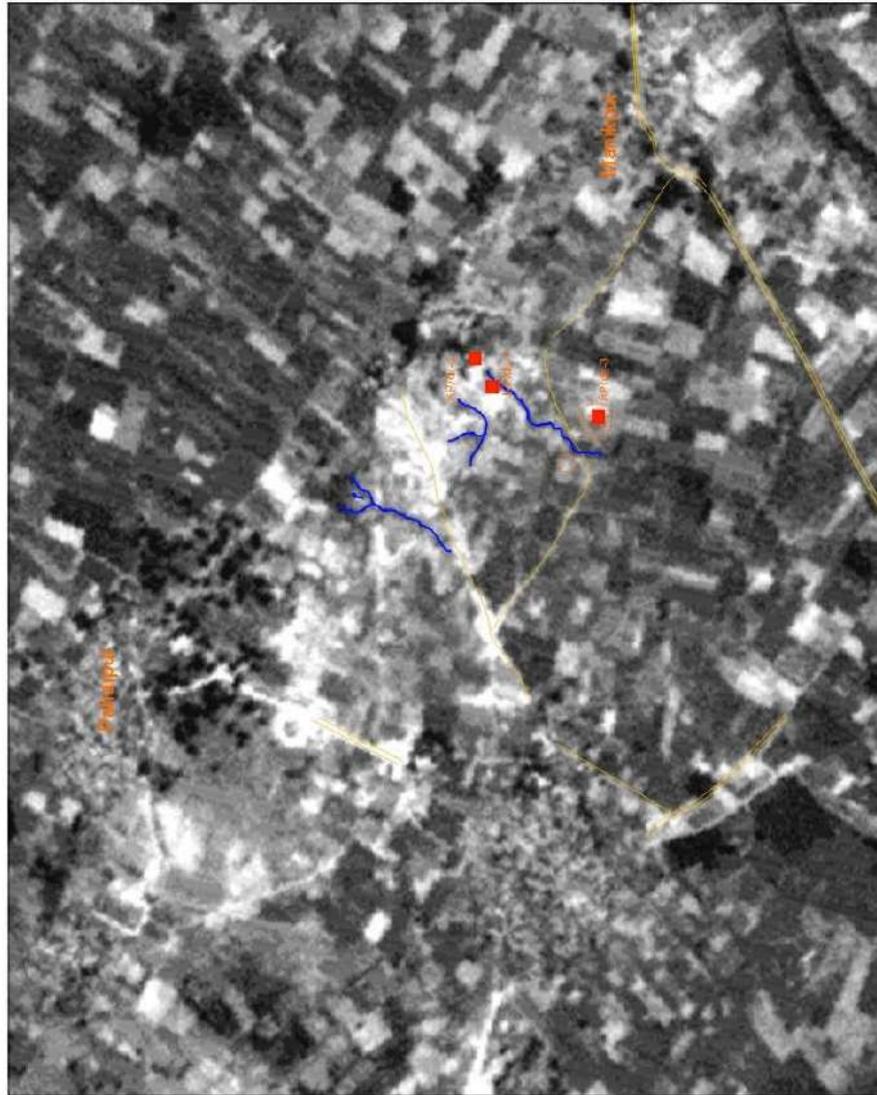
**Fig. 3 - Kampila Project. Drupad Kila in its geoarchaeological context**



# Map of DRUPAD KILA

on IRS 1D PANI scene

B. MARCOLONGO  
National Research Council of ITALY  
C.N.R. / I.R.P.I. - PADOVA



## LEGEND

### Ancient walls remains

- brick structure
- weathered bricks
- vegetation & soil bonds
- inferred walls (buried structure)

### Morphology

- fluvial terrace (Palaeo-Ganga)
- "gullies" due to local surface runoff
- depression with water (pond)

### Topography

- elevation point
- contour lines (only qualitative)

### excavation essays

- path
- road
- well



Fig. 4 - Map of Drupad Kila.

Samples of soil and alluvial sediments, up to a depth of 7-8 m below ground surface (see Figs. 2 and 3), has been collected in selected places (near the Drupad Kila Southern walls; inside and outside of palaeo-rivers; on top and at the foot of the fluvial terrace) by the colleague and dear friend V. Gogte, from Deccan College of Pune, who later will describe in detail his contribution. Here it is possible to anticipate that sedimentological and mineralogical analyses have the aim of discriminating the different phases of construction of the plain and, if possible, establishing a diachronic chronology in the succession of natural layers (witnesses of events like flooding, sedimentation, etc.) and archaeological remains.

As far as other archaeological sites are concerned, the survey conducted to the discovery of significant mounds (Manauna thera, Kakrala thera, Markandeia thera) generally of elliptic shape (major axis from hundred to some hundred of meters) emerging, with a profile more or less eroded, up to a ten of meters from the flat ground. A few other thera, already known and cited in bibliography (like Patiali thera and Bargain thera) were also exactly located on the satellite high resolution image and then visited. Moreover, many other mounds have been identified on the IRS 1D Pan scene and topographic maps further upstream of Patiali following the main road to Ganj Dundwara-Sahâwar-Soron in North-Western direction, near the villages of Râmchhitauni, Gonâr, Sewanpur, Kotra-Baragaon, Nawâbganj, Yaqutganj, Jajirnagar. All these have been, for the moment, inserted in the digital data bank which constitute the base of a GIS established for the whole Kampilya Project and they should be inspected in the prosecution of the study.

All the thera checked so far show on the surface and in some exposed sections numerous fragments of "Gray Ware" and scattered shards of "Painted Gray Ware" can also be recoverable, so suggesting the presence of a coherent settlement model at the beginning of III millennium BP. On the thematic map, compiled after satellite data interpretation and terrain survey, it appears evident their concentration in a relatively narrow band of plain on "older alluvium" deposits, limited to the North-East by the mentioned escarpment, with an average spacing between sites of 5-6 km.

Such a spatial distribution of contemporary sites placed to form an ideal defence line brings, no doubt, to mind the concept of geographical-historical-cultural border-line, sharply coinciding, from a geomorphological viewpoint, with the limit of the old alluvial plain of the palaeo-course of Burhiganga Nadi, to the North-East of which different environmental events and conditions occurred in the past. Most likely, this settlement pattern model is exportable, in its simple geometry, all along the right riverside of Ganges flood plain for tens of kilometers either upstream or downstream of Drupad Kila, which stands as the most conspicuous element of the cultural landscape, in a central position of that portion of Ganges middle valley (see Fig. 2).

This opens interesting perspectives of speculation about environmental constraints and influences on social domain, in particular on the border between South and North Panchala cultural area; this argument is proposed to the Colleagues of Human Sciences involved in the Kampilya project.

A second very meaningful feature emerged from geo-archaeological survey has to be pointed up; that is the recognition of ancient artificial irrigation canals in various places of the older alluvium plain, not interested by palaeo-river dynamics.

This is referred in particular to that morphological feature situated at about 500 m to the North of the village of Rampur, on the road to Bhargain indicated erroneously as “sand dune” on the sheet 54 M/2 of Survey of India (see Fig. 2). In fact it is an artificial canal deposit, or levée, deeply eroded, levelled and partially dispersed by agricultural labours, but still extended for some 700 m in North-East direction with an average width of 40 m. Sedimentological analyses, performed by Gogte on a sample, expressly gathered in its central band, clarified that grain size distribution is typical of fluvial deposit containing clay, silt and sand.

This feature is not alone, but can be inserted in a more complex framework of similar artificial remains, as it is reported on the thematic map, elongated according to two principal trends, roughly perpendicular each other. The two directions are respectively parallel (NW-SE) to the general slope of the plain and transversal (NE-SW) to it, thus suggesting a possible irrigation scheme with main intake canals (NW-SE) and minor distributaries (NE-SW).

Naturally nothing more can be said about the antiquity of this probable irrigation scheme, except that it looks very much obliterated and not in connection with the present agricultural pattern.

Therefore, this discovery stimulates further investigations to be performed with a new detailed geo-archaeological survey on the specific sandy spots and reinterpretation of a new satellite images, at even higher resolution (1 m of Ikonos panchromatic images). These data should be compared, through philological researches, with literature sources and ancient texts, to try to extent the reconstruction of the past also to the economic aspects sustaining the settlements of the region.

These perspectives are of auspice for the prosecution of the joint research and there is the hope that future missions will enlighten the problems linked to the spatial-temporal coherence and extension of the settlement model here foreseen.

## **Bibliography**

Bajpai V. N., Surface and subsurface evidences of neotectonics and the aquifer disposition in central gangetic alluvial terrain of Kanpur-Unnao region in Uttar Pradesh, India, *Photonirvachak Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Volume 17, n. 2, New Delhi, 1989.

Bajpai V. N., Gokhale K.V.G.K., Hydrogeomorphic classification of the Marginal Gangetic Alluvial Plain in Uttar Pradesh, India, using satellite imageries, *Journal of the Geological Society of India* Volume 28, n. 1, Bangalore, 1986.

Bajpai V. N., Prabhakar C. P., Over exploitation of aquifers in the vicinity of the river Yamuna: a case study from a part of Delhi region, *Proceedings of the National Seminar on Hydrological Hazards-Prevention and Mitigation*, Roorkee, 1993.

Dallaporta A., Filippi G. G., Marcolongo B., Cercando Kampilya, *Asiatica Venetiana* 1, Dipartimento Studi Indologici ed Estremo-orientali, Università "Cà Foscari", Venezia, 1996.

Dallaporta A., Filippi G. G., Marcolongo B., Kampilya Rediscovered, *I for Italy* Year III, n. 5, Italian Embassy, New Delhi, 1996.

Marcolongo B., *First International Symposium on Kampilya Project*, CNR, Padova, 2000.

Marcolongo B., Barisano E., Télédétection et Archéologie. Concepts fondamentaux, état de l'art et exemples, *The Archaeology of Mediterranean Landscapes: 4, Non-Destructive Techniques Applied to Landscape Archaeology* edited by M. Pasquinucci and F. Trément, Oxbow Books, Oxford, 2000.

Marcolongo B., Tosi M., Il Fiume scomparso. La Sarasvati nell'età del Bronzo: da disastro ecologico a fonte di salvazione, *Saecularia Nona* Annual 12, Università degli Studi di Bologna, Bologna, 1995.

Parkash B., Kumar S., The Indogangetic Basin, in S. K. Tandon et alii, *Sedimentary basins of India: tectonic context*, Gyanodaya Prakashan Publications, Nainital, 1991.

Singh I. B., Bajpai V. N., Significance of Syndepositional Tectonics in Facies Development, Gangetic Alluvium near Kanpur in Uttar Pradesh, *Journal of the Geological Society of India* Volume 34, Bangalore, 1989.

Singh I. B., Bajpai V. N., Kumar A., Singh M., Changes in the Channel Characteristics of Ganga River during Late Pleistocene-Holocene, *Journal of the Geological Society of India* Volume 36, Bangalore, 1990.

## **ROCK ART PAINTINGS (ROCK INSCRIPTIONS) AT GEBEL ABRAQ, SOUTH-EASTERN DESERT, EGYPT**

El-Sayed Abbas ZAGHLOUL, Mohamed Adel YEHIA, Hossam Hamdy ELEWA, National Authority for Remote Sensing and Space Science (NARSS), Cairo.

### **Abstract**

The present article deals the first reporting of rock-art painting at Gebel Abraq. The study area is located at the scarp face of Wadi Abraq looking at the West (Latitude 23°28' N and Longitude 34°45' E). The site is a sandstone protruding ledge rising about 30 m above the ground level.

The Gebel Abraq paintings depict a tropical fauna including elephants, giraffes, cows and ostriches denoting that the area was previously subjected to intensive rainfall. The last pluvial period leads to the formation of wetland and savannah areas.

Due to the climatic changes, these habitats become dry and the prehistoric communities were forced to move to other areas bearing natural springs still as Ain Abraq and Bir Abu-Saafa.

The present discover of the prehistoric paintings (Graffiti) has revealed a mass of evidence that many of the concepts regarding Sahara rock art should be modified.

### **Introduction**

Gebel Abraq is located about 80 km to the West of Shalatin and crossed by coordinates: Latitude 23°28' N and Longitude 34°45' E (Fig. 1). The area is a high steep cliff (wall) in the Southern and Western parts due to the effects of the faulting. The basal part is composed of basement rocks whereas the cliff and the plateau are covered by a thick sandstone sequence (Fig. 2).

Bir Abraq is a natural spring, which is located in a small wadi along the fault plane. The water quality is rather fresh and the salinity (TDS) ranges from 528 to 1524 ppm.

## Geological setting

The sedimentary section is differentiated into Carboniferous and Cretaceous sequence. Selim and Said, in 1993, described this stratigraphic section as follows (from base to top):

- Abu-Hashim Formation (Carboniferous). The formation represents the oldest sedimentary rock units, which unconformably overlie the basement rocks. The formation consists of about 40 m of coarse grained, ferruginous sandstone, brown to yellowish brown, cross-bedded, rich in calamities and knorria species.
- Abraq Formation (Cretaceous). The formation consists of about 250 m of greenish grey, grey to olive grey sandstone, sandy clay and clayey sandstone beds. The lower part contains bone fragments of Dinosaur.

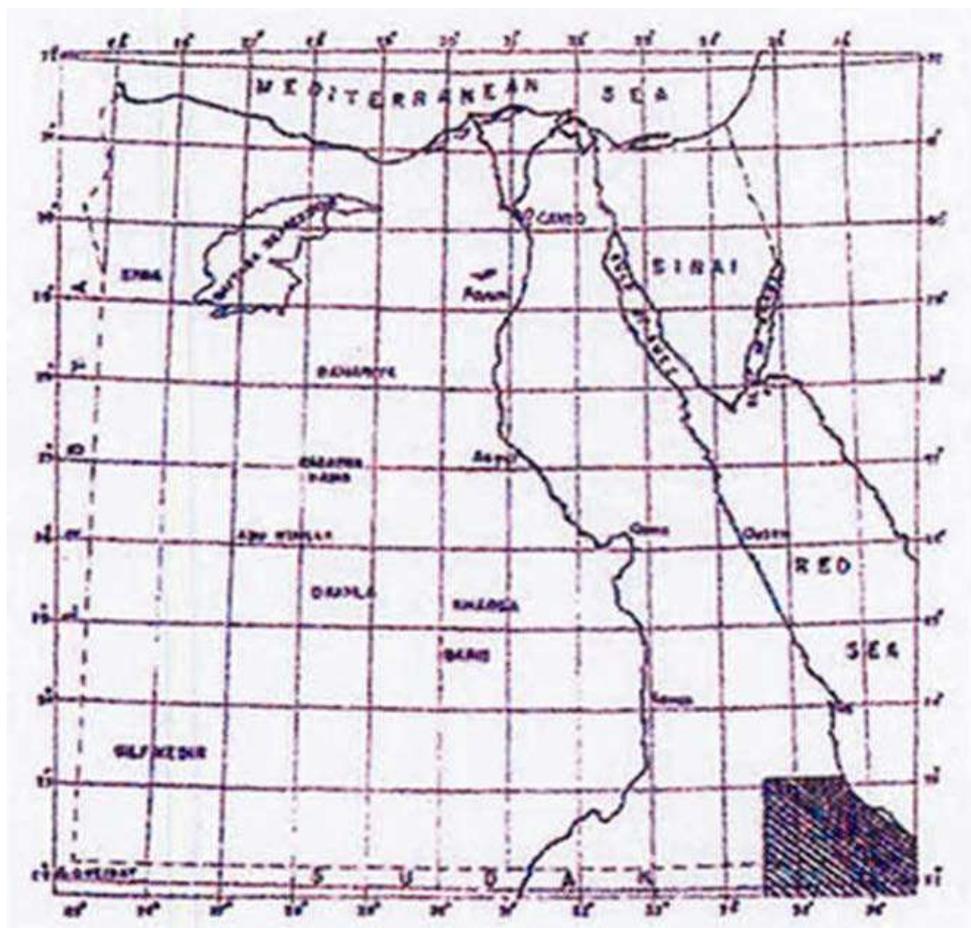
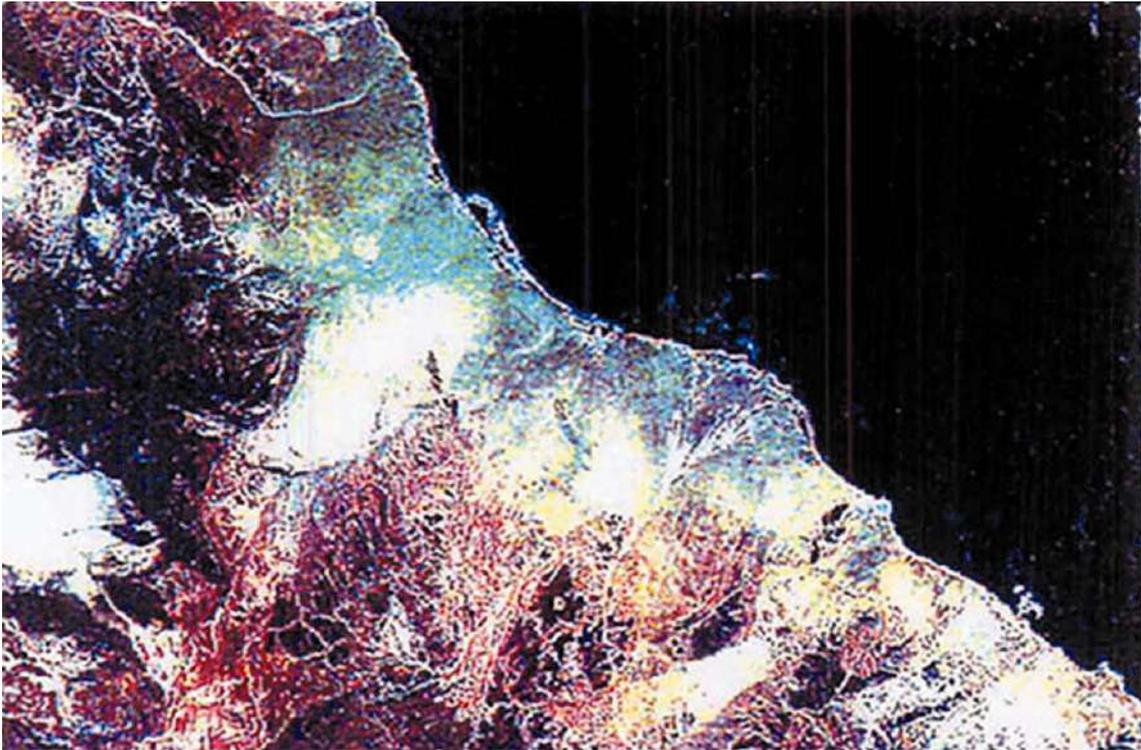


Fig. 1 - Location map for the study area



**Fig. 2 - Photograph showing the Nubia sandstone outcrops al Wadi Abu Saafa Area**

### **Water supplies**

The springs of Abraaq and Abu-Saafa occur in sandstone, which is porous and permits the passage of water through the body of the fractured and porous media. The springs are fed by the direct rainfall on the great watershed of Wadi Hodein basin (Figs. 3 to 6).

The springs are situated up a lateral small valley, some little distance from the main track of Wadi Hodein. On the other hand the springs are located along a fault line. The quality of water (TDS) varies enormously from 528 to 1524 ppm<sup>1</sup>.

The water supply is constant, good and plentiful and also it is easy of access to camels.

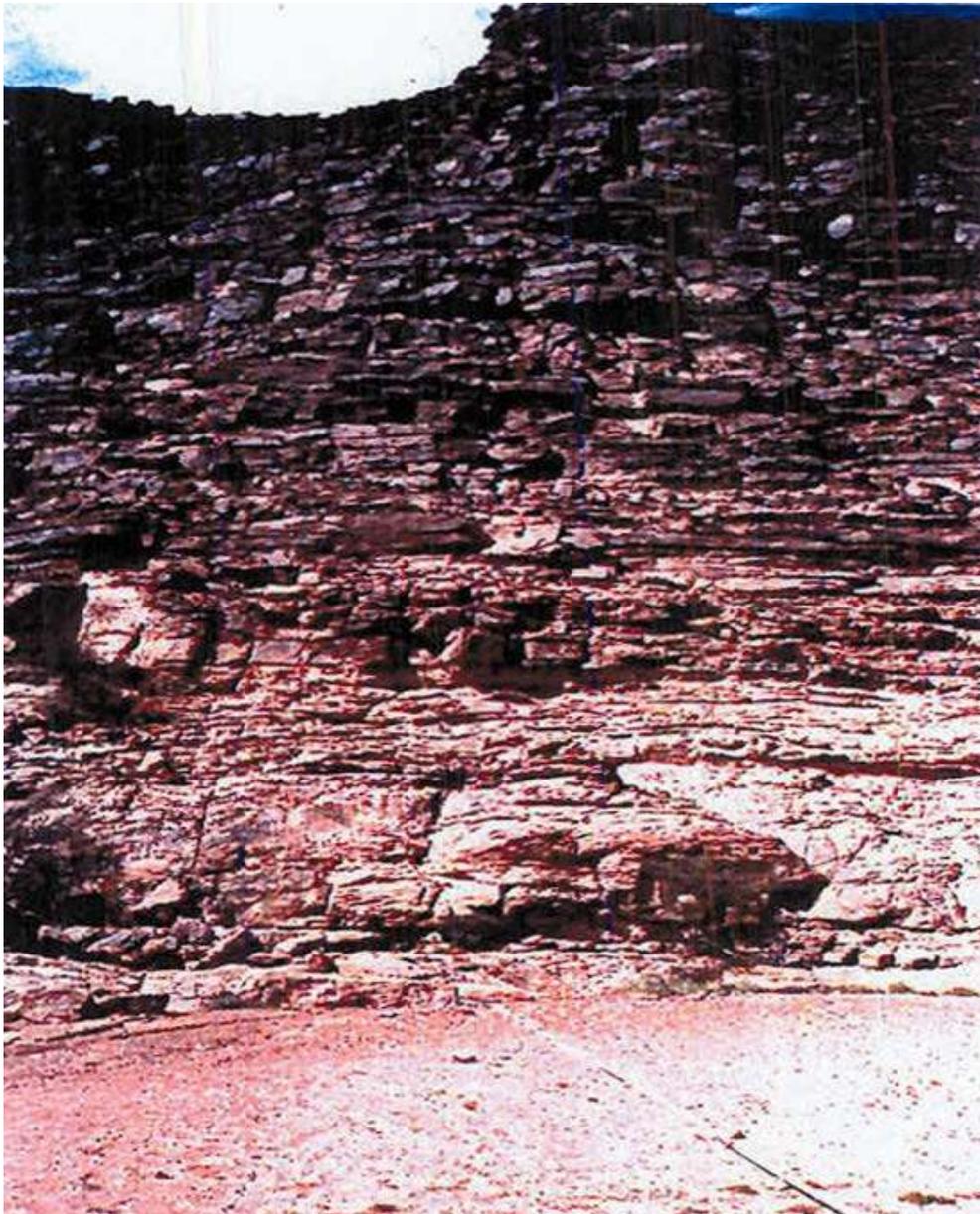
### **Rock-art-painting**

The discovered site of rock art painting in Gebel Abraaq area is located 80 km West of Shalatin City. The peculiar characteristics of this discovery (cultural primitiveness) recently have enabled to catch a glimpse of complex and varied cultures.

---

<sup>1</sup> Zaghloul et alii.

A great part of human life depends on these animals that become represented more and more often on the Eastern side of the massive sandstone (Figs. 7 and 8) of the Abraq Formation<sup>2</sup>.



**Fig. 3 - Landsat TM image for the study area**

---

<sup>2</sup> Zaghloul, 1997.

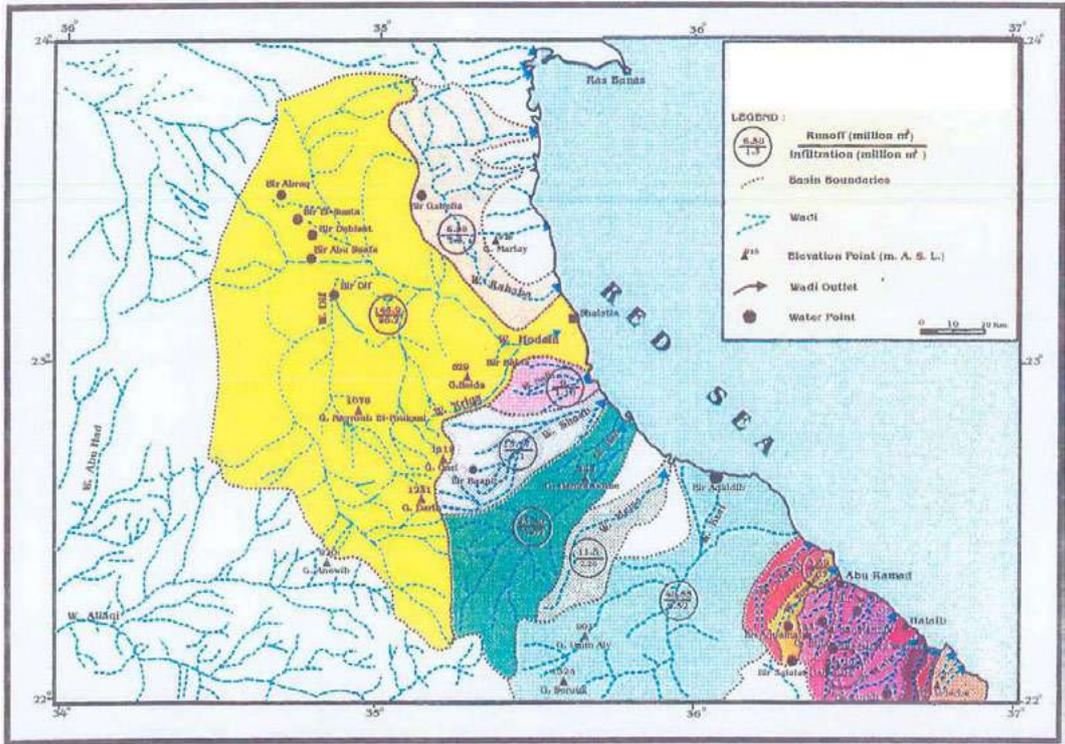


Fig. 4 - Drainage basins in Halalb-Shalatin area showing the runoff / infiltration relationship

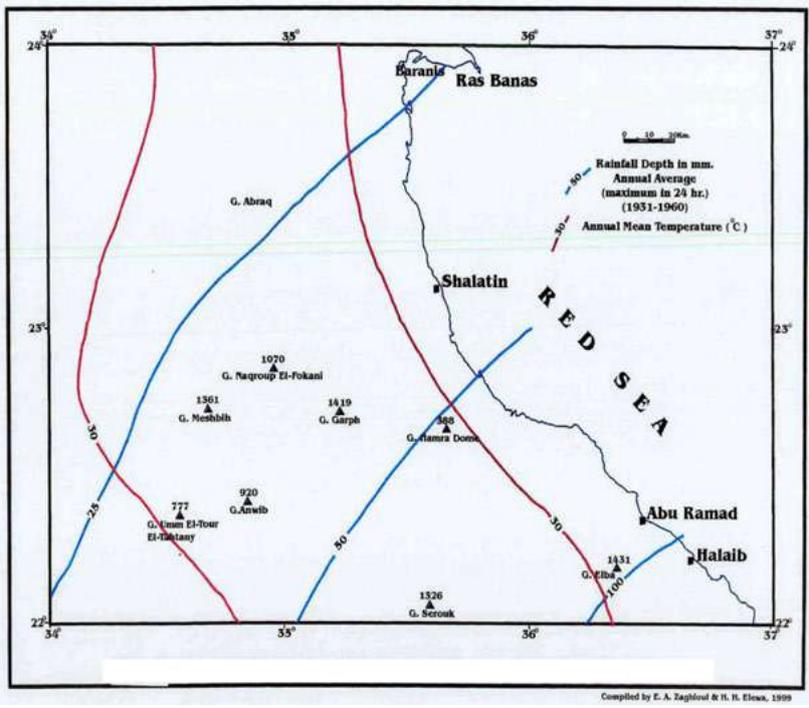
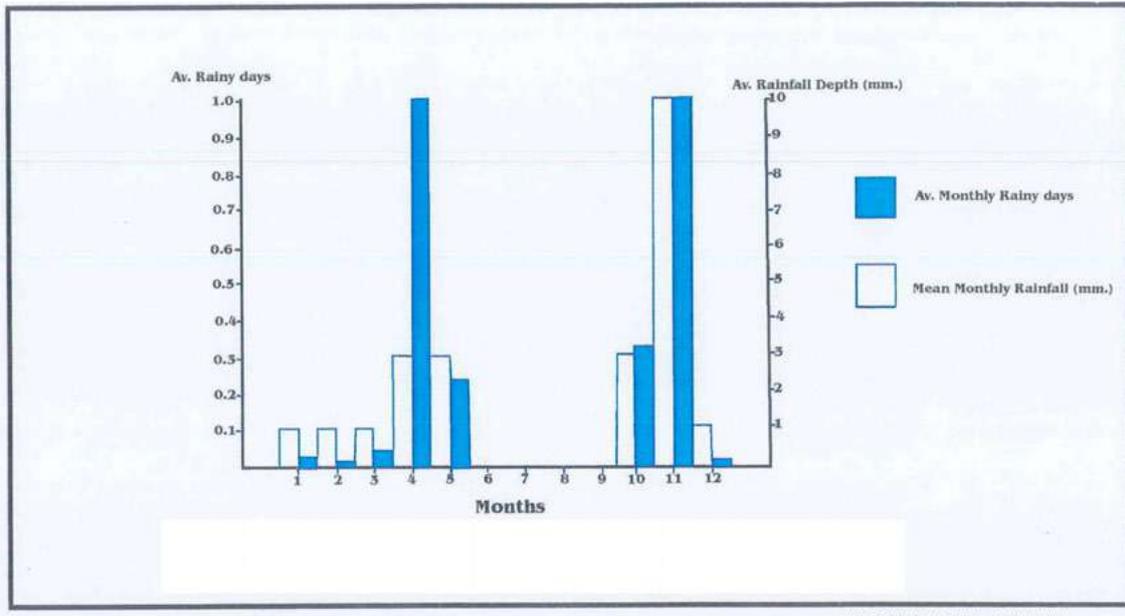


Fig. 5 - Sketch map showing some climatological parameters



E. A. Zaghloul & H. H. Elewa, NARSS, 1999

**Fig. 6 - Average monthly rainfall depth and rainy days at Ras Banas station (period 1964 – 1984)**



**Fig. 7 - Sandstone protruding ledge (upstream of Wadi Abraç)**



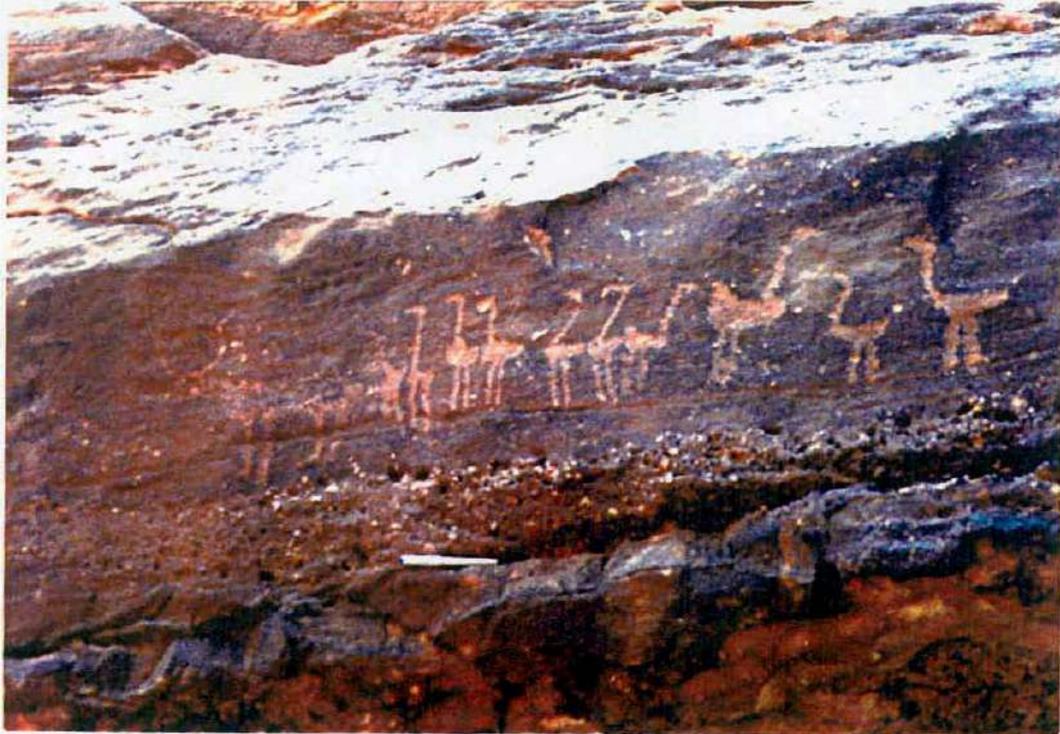
**Fig 8 - Bir Abraq**

The initial phase of Sahara rock art in this part of South-Eastern corner of Egypt is represented by almost graffiti of mammals of the larger wild fauna, among the first to disappear from the Sahara regions. Almost always isolated, only rarely depicting human figures, it is possible to understand that rhinoceros, elephants, giraffes, ostriches and cows (Figs. 9 to 13) represent the object of an exhausting and often fruitless hunt, for which prehistoric man could not consider his own force or the use of stone weapons adequately.

In ancient times, the pharaohs sent their people into unknown parts of the desert to search for precious stones, gold and minerals mostly in the Eastern Desert and Sinai.

The Cultural Cycle (Fig. 14) of the Cattle-raisers began to disappear leaving on one side the problem of possible contact between the Eastern desert and the South-Western desert of Egypt and Nile Valley via (Fig. 15) Wadi Garara and Wadi Allaqi.

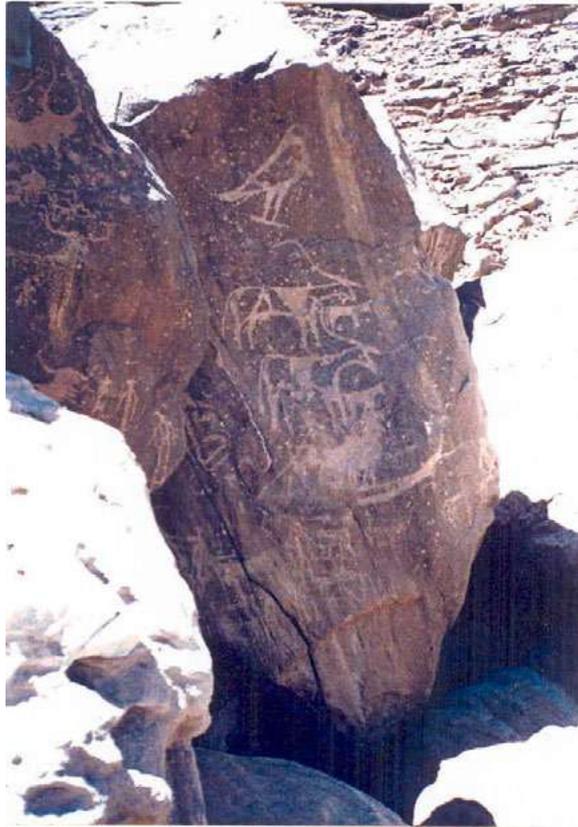
Graziosi, in 1969, reported that the rock-art manifestation of the Sahara have already been grouped for sometimes in several successive phases. The oldest phase is called *Bubabues* epoch, or Hunters epoch, and is characterized by excellent figures of tropical fauna such as elephants and giraffes. The following epoch is called pastoral, or Cattle Breeders epoch, and is characterized by many figures of domesticated animals, especially great herds of Cattle epoch. Next epoch is the Horse epoch.



**Fig. 9 - A group of ostriches and El-Garnouk gazelles**



**Fig. 10 - El-Garnouk gazelles and camels; note a hunter**



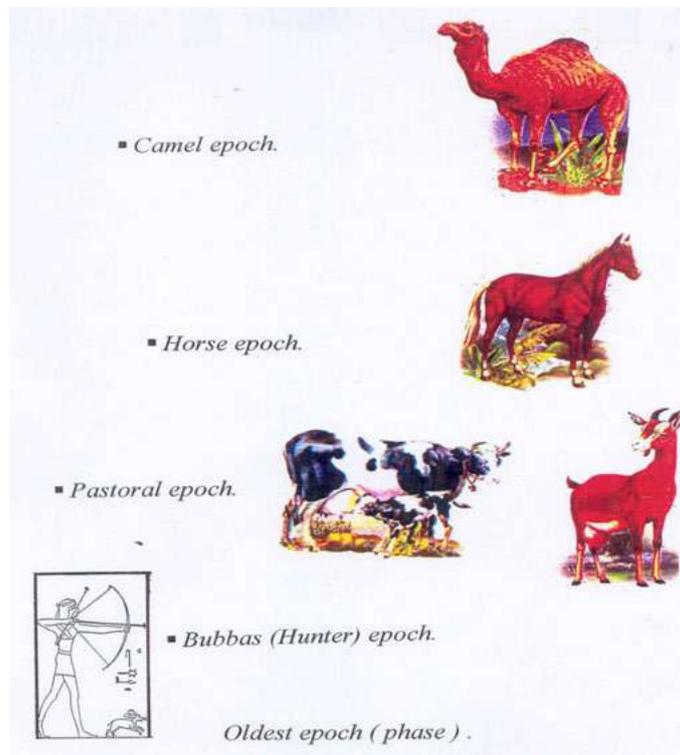
**Fig. 11 - Pharaonic boat, birds, cattle and El-Garnouk gazelle with some hunters**



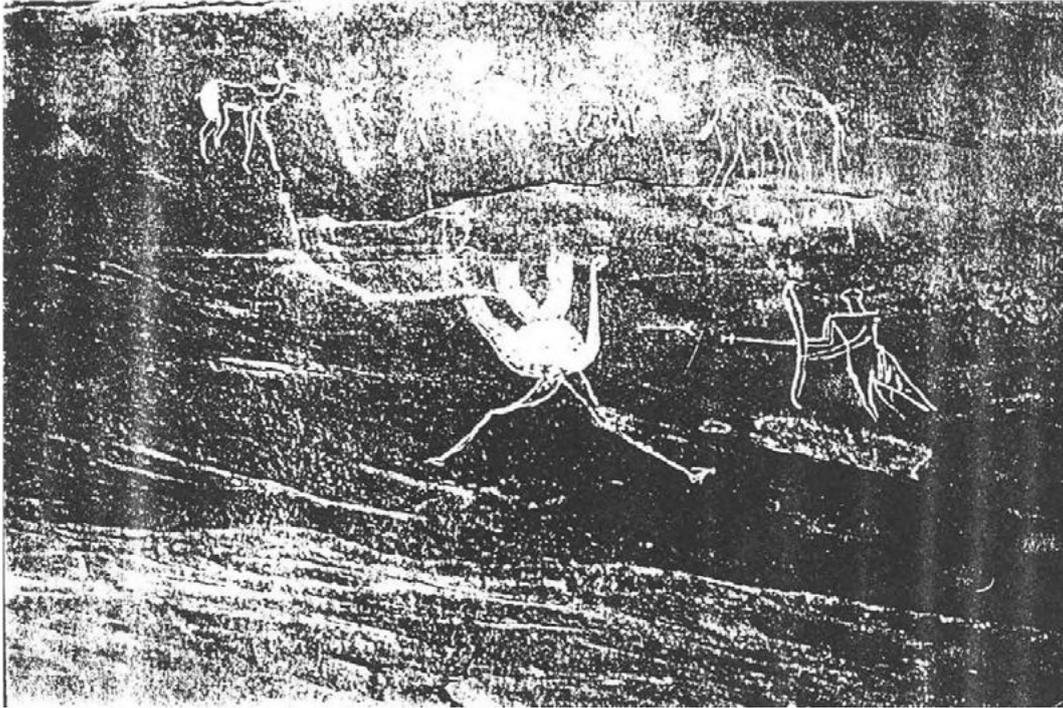
**Fig. 12 - A Gazelle, Cattle, Ostrich and Birds. Note the draft of Pharaonic boat**



**Fig. 13 - Rock art painting for elephant; a single elephant**



**Fig. 14 - The cultural cycle**



**Fig. 15 - Rock-art painting in Nuba area (pre-dynastic)**

On the other hand, Said, in 1989, reported that at Kanaies Temple (Fig. 16) which is situated 45 km from Idfu along Bir Abad, the walls of the temple which was built by Seti I (XIX Dynasty) have abundant Hieroglyphics, Greek and Arabic inscriptions made by travellers, soldiers, miners, traders and officials who have visited the temple since its establishment. The most interesting are those written by the traders who were carrying the riches of the East via the port of Berenice (and probably via the port of Halaib) and those who were hunting and importing elephants to be used in the wars of Ptolemy III and his successor Ptolemy IV who is said to have used at least 73 african elephants in battle at Rafah on the Palestine frontier against 102 indian elephants belonging to Antiochus the Great.

Finally there is the Camel epoch, which began around the first years of the Christian era. It represents the invasion of the Sahara by this transport animal that is the only one capable of crossing the desert environment.



**Fig. 16 - Greek inscription relating to an elephant hunt on a rock to the East of El-Kanayes Temple (Eastern Desert)**

### **Paleo-environment**

Issawi, in 1983, reported that the fluvial sands of Qena Formation at Kom Ombo area are located along an East-West channel. It means that the rivers depositing these sands flowed in the same direction and acquired its water and sediments from the high hills of the Red Sea mountain chains to Kom Ombo plain via Wadi Garara. These hills such as Gebel Abraq, partly covered by Paleozoic and younger sandstone, were the parent of the rocks for the basal fluvial sand at Kom Ombo area.

Due to the Pleistocene glaciation in Europe, a pluvial condition prevailed in the Sahara<sup>3</sup>, which enabled the oldest Paleolithic industries (Table 1). Thus the pluvial repercussions of the Pleistocene extended into the Holocene in the Sahara regions. The discovery of rock-art painting in Gebel Abraq area indicated that the environmental conditions were perhaps not as harsh in the past as they are today.

---

<sup>3</sup> Zaghoul, 1999.

**Table 1 - Paleoclimatic chart showing the archaeological succession and chronology for the Western Desert (Haynes 1982)**

DEPOSIT	CONDITION	ARCHAEOLOGY	<sup>14</sup> C AGE (YEARS BP)
WETTED DUNES	PERCHED WATER TABLE	NEOLITHIC III	5,000-5,600
INTERBEDDED CLAY AND SAND	PLAYA	NEOLITHIC II	5,800-7,500
DUNE SAND	DEFLATION	NONE	
INTERBEDDED SLOPE WASH SAND AND CLAY	HAND DUG WELLS PLAYA	NEOLITHIC I	7,900-8,400
INTERBEDDED DUNE SAND AND CLAY	DUNE STABILISATION AND RISING PLAYA	TERMINAL PALEOLITHIC	8,700-9,700
DUNE SAND	DEFLATION	NONE	
MARL AND SILT	POND OR MARSH	MIDDLE PALEOLITHIC ATERIAN	> 44,700
DUNE SAND	DEFLATION	MIDDLE PALEOLITHIC	
MARL	LAKE	MIDDLE PALEOLITHIC MOUSTERIAN	> 41,500
SOIL OXIDISED PEAT	STABILITY MARSH	MIDDLE PALEOLITHIC	
DUNE SAND	DEFLATION	NONE	
FEEDER SAND LIMESTONE CALCRETE	SOME INTEGRATED DRAINAGES	LATE AND FINAL ACHEULEAN	> 200,000 (ESTIMATE)
DUNE SAND	DEFLATION	NONE	
INVERTED WADI GRAVELS	SPRING DISCHARGE LAKE STABILITY	?	>500,000 (ESTIMATE)
?	DEFLATION		
CHALCEDONIC MUDSTONE	ALKALINE LAKE		> 1,000,000 (ESTIMATE)
?	DEFLATION		
TERRA ROSSA	STABILITY		> 1,000,000 (ESTIMATE)

## Bibliography

Said R., *Along the Roman Roads of the Eastern Desert of Egypt. Egypt then and to-day*, 3.1-12, Washington D.C., 1989.

Sclineider J., Utilisation Dune Fleche a Embout plat pour la chasse En Egypte au Debut de la Onzieme Dynastie, *Bulletin of National Geographical Society*, Tome LXXII, 1999, pp. 157-159.

Zaghloul E. A., Elwea H. H., El-Ghandour W., *Water Resources in Halaib Shalatin area*, National Authority for Remote Sensing and Space Sciences (NARSS) and Academy of Science and Technology, Cairo, 1996-1998.

Zaghloul E. A., Geoarchaeology and Hydrogeology of Dakhla Oasis, *Bulletin of National Geographical Society*, Tome LXXII, Vol. 72, 1999.

Zaghloul E. A., Elewa H. H., Hermas S., *Explanatory notes to accompany the Hydrogeological map of Halaib-Shalatin area*, Internal report, NARSS, Cairo, 2000.

## **ADVANCES IN USING SATELLITE REMOTE SENSING DATA FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS**

Maurizio FEA, European Space Agency (ESA) – ESRIN, Frascati.

### **Satellite Remote Sensing**

The principles of remote sensing and the use of different spectral bands for observing the Earth from satellites and airplanes have been described and illustrated in the Proceedings of the 1<sup>st</sup> Conference, held in Rome in 1999. Therefore, only the key features of remote sensing from space are recalled in this article. In fact, advances in using satellite remote sensing have demonstrated the increasing interest that this methodology has stimulated for its great information potential in thematic applications related to the management and conservation of the environment and specifically to the issues associated with risk management and natural disasters, particularly in the domain of prevention and relief.

It has to be noted that some figures already printed in the above-mentioned proceedings are included also here.

Among spectral bands most useful to Earth observation from space, optical ones in the Visible (VIS) and Infra-Red (IR) are historically most familiar, also due to technology reasons. In fact, space remote sensing for geophysical and environmental applications started on 1 April 1960, when the first meteorological satellite TIROS-1 was launched by US, three years only after USSR launched Sputnik-1, the first artificial satellite ever. However, although excellent for monitoring clouds and weather systems, those meteorological satellites did not have ground resolution high enough to be used for territorial applications at local level, because their pixel (minimum instantaneous field of view) had the size of more than one km. In 1972 Landsat-1 (originally named ERTS) was launched: it was the first multi-spectral, good resolution (80 m) satellite dedicated to environmental and territorial monitoring. It was the start of a long series of more and more technologically advanced satellites, which made the history of environmental remote sensing, with some thirty years of data records and whose successors are still flying today. Optical data provide information related to target surface reflectivity in VIS, Near and Medium (NIR and MIR) and in Thermal IR (TIR).

In 1978, after few years of airborne radar data, Seasat opened the era of active microwave (MW) remote sensing information from space, providing three months of data from a Synthetic Aperture Radar (SAR) and other radar instruments. They allow environmental data to be acquired from the Earth surface in all-weather conditions, day and night, through clouds and rain. Active microwave sensing has drastically improved the monitoring capabilities of satellite systems and enriched their potential information with data related to surface roughness, humidity and type of illuminated targets.

Nowadays, daily around the world several satellite systems from various Countries provide a wealth of remote sensing data acquired in different spectral bands and with

different ground resolutions, down to the sub-metric (cm) range. Therefore, complementarity with airborne payload data and continuity from ground to aircraft and to satellite observations and measurements is ensured for the benefit of a wide range of applications. At the same time, Geographic Information Systems (GIS) have also rapidly evolved, in terms of hardware, software and algorithms, thereby permitting a proper handling of any type of data and a skilled generation of products personalised to user needs.

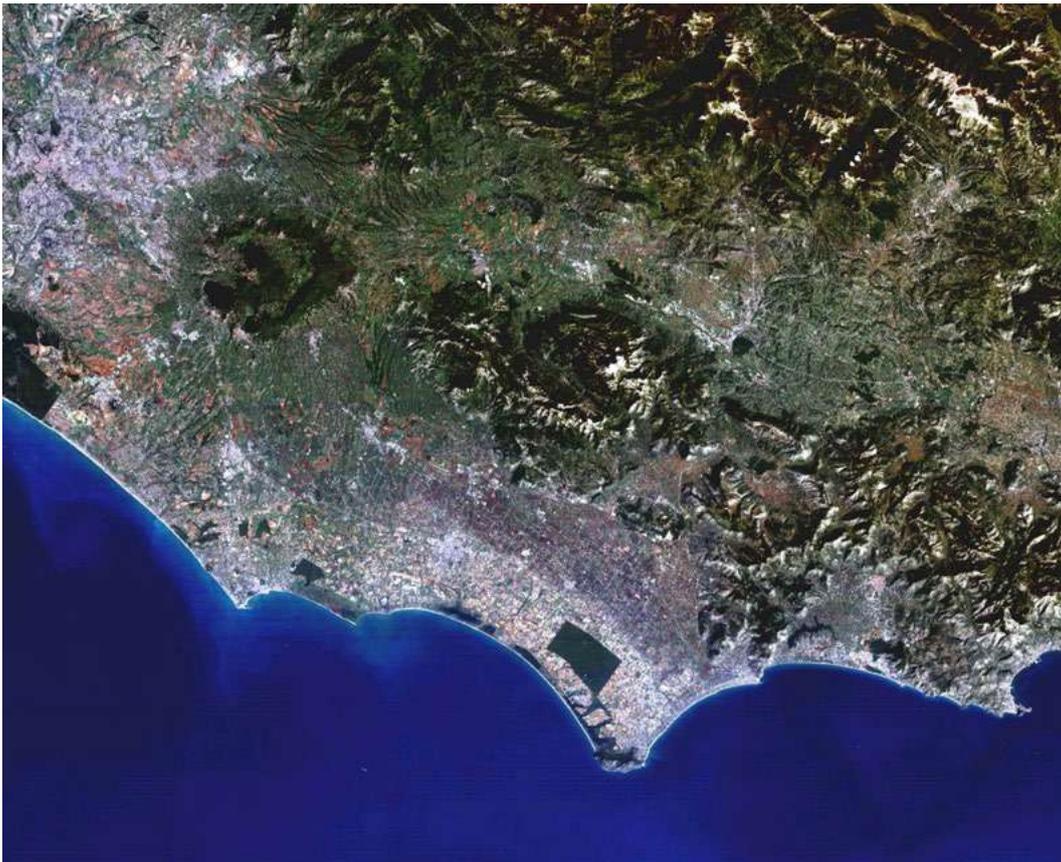


**Fig. 1 - Europe ATSR**

## Consolidated applications

Observing the Earth from space in the optical spectral bands has a long tradition of successful applications in many domains. Related algorithms and software packages have achieved a high value of robustness, quality and standardisation, giving rise to a wide variety of specialised services provided by value adding companies to different users categories. Moreover, the launch of ERS-1 in 1991 by the European Space Agency (ESA) opened the era of operational use of radar data, providing experts with the opportunity of actually demonstrating the implementation of advanced remote sensing theories and complementing optical data with active microwave measurements from space. Finally, in 1999 the first commercial very high ground resolution satellite IKONOS-1 started to provide regularly Earth images for civil use at an unprecedented level of detail (81 cm in the panchromatic band and 4 m in multi-spectral bands), as it was just shown at the first Conference.

Therefore, on-going applications of satellite remote sensing data received a boost from the new wealth of information from space, whilst new applications to geophysical disciplines and to territorial and environmental activities were born.



**Fig. 2 - Middle and South Lazio**

Improved multi-sensor data handling techniques, the increased performance of satellite payloads and a larger number of space missions, sometimes focused to specific applications, have favoured the availability of more user oriented products and services by value adding companies. At the same time, the availability of longer and longer time series has rapidly improved the potential of satellite remote sensing to be used as a very effective change detection tool.

In particular, satellite SAR data has proved to be a useful, often essential, complement to optical information in many applications. Sometimes, due to its capacity of penetrating clouds and rain it is the only remote sensing data available over an area of interest. In agriculture it has increased the capability of early yield forecasting. That has been made possible because information about health and growth of some crops can be gathered in fact by radar imagery just at the time of crop development, when normally weather conditions are cloudy and rainy, whereby making crop imagery from optical satellites impossible to obtain (in fact, they can only *see* the cloud tops, not the Earth surface underneath).



**Fig. 3 - *Castelli Romani* (in south Rome) SAR**



**Fig. 4 - ESRIN spot-3 1995**



**Fig. 5 - ESRIN IKONOS**



**Fig. 6 - ESRIN IKONOS zoom**

Similarly, river flooding during rain and overcast weather conditions can be detected from space only by using SAR data. By comparing a SAR image previously acquired in cloud-free conditions with a SAR image taken during the flooding it is possible to measure the actual extension of the event, with obvious advantages for relief operations and insurance economic evaluations. Monitoring oil spills on sea surface can also be achieved from space by using data from radar satellites. This methodology works at certain wind speed conditions at the sea surface, namely between 2 and 12 m/s, and has become a reality in several countries. It is worth mentioning that studies on the use of radar imagery for bathymetry and coastal areas applications have also attracted a lot of interest.

At the same time, satellite multi-spectral capabilities in optical bands have become regular practice in remote sensing applications. Nowadays, related algorithms to derive precise geophysical measurements and environmental parameters are fully proved and consolidated, with many of them even standardised world-wide and operationally used. Advances in optical remote sensing have contributed to important progresses in ocean colour applications, target classification and monitoring of water quality, marine productivity, air pollution, stratospheric ozone, volcanic gas emission, atmospheric trace gases contributing to the Earth greenhouse effect and global warming, and so on.

In addition, technological progress has improved the capability of GIS in processing and handling data from different satellite systems and merging them with ground field measurements and administrative information, particularly in the domain of territorial management. Administrative authorities have become more and more familiar with Territorial Information Systems, because they have understood the precious help those systems can provide in improving their performance in accomplishing to their institutional responsibilities. In fact, the number of local or regional offices investing in purchasing them and training their staff in using them is steadily increasing.



**Fig. 7 – The gulf of Napoli bw**

### **Specific applications**

The above-mentioned application opportunities and results are certainly going to be further increased through the use of data from the instruments embarked on the ESA Envisat satellite, due to launch in 2002.

It is important to stress once more the fact that complementarity between optical and active microwave remote sensing is an asset for environmental applications. One useful way of looking at it is to consider the benefit that spectral bands can bring:

- panchromatic data in the VIS provides high geometric (ground) resolution;
- multi-spectral data in the VIS, NIR and MIR provide reflectance information for an accurate optical target signature;
- radar data in the Microwave band provides backscattering coefficient values carrying information about material type, surface roughness and humidity characteristics of the target;
- TIR data provides surface temperature values of the target.

Among the applications related to the themes of the Conference that have drawn a major benefit from advances in satellite remote sensing, two are highlighted here and illustrated by related pictures:

- monitoring the territory through a synoptic but at the same time detailed watch through an adequate Geographical Information System (GIS);

- the generation of Digital Elevation Models (DEM) or Digital Terrain Models (DTM) and the detection of vertical movements related in particular to terrain surfaces and building tops.

In fact, a systematic monitoring of a territory in its regional context and in its local details requires frequent small-scale observations over a wide area. The use of image data from satellite systems with different geometric and time resolutions allows that operation to be regularly carried out and the related information to be frequently updated. A useful basic strategy to be implemented could be the following:

- an aero-photogrammetric survey over the entire area of interest should be carried out at a specific starting date, together with the parallel acquisition of satellite data at various geometric resolutions. That data would be ingested in an adequate GIS and constitute the initial reference archive. For large areas at regional scale, a mosaic of satellite data at highest resolution (1 m or better) could sufficiently replace the aerial survey;
- then, space image data would be regularly acquired from one or two satellite systems that satisfy the basic observation requirements, with a sufficient geometric resolution to observe most of the targets concerned, in order to properly localise and classify them. Optical data together with radar information would ensure all-weather operations over the complete area of interest;
- whenever more detailed observations are required, for instance in case of a natural emergency or because a change has been detected in a target or around it, then data at a higher level of details would need to be gathered over that specific area from a satellite system with a higher geometric resolution or from a properly equipped aircraft. This data would be compared with the corresponding information of the same area from the reference archive, in order to derive an accurate evaluation of the change;
- after a certain time, for instance fifteen years, another complete survey would allow the reference archive to be properly updated.

Two fundamental issues need to be specifically considered when making use of satellite image data, namely its geo-referencing and its information content. The former operation is achieved through the use of several Ground Control Points (GCP) properly selected in different parts of the satellite scene and ensures the correct correspondence between the image coordinates of each picture element (pixel) and its geographic location. A correctly geo-referenced image is a prerequisite for any good archive or any further processing, for instance like image merge, mosaic generation or comparison with topographic maps. The second key issue stems from considering that the actual added value of remote sensing data is mostly its information content, not so much the digital data itself or its visualisation. Therefore, a careful analysis and a correct interpretation of satellite data is an essential part of the remote sensing methodology and people need to be properly trained before they can use in a correct and skilled way this type of data.

SAR Interferometry is one of the remote sensing techniques that have taken most advantage from application of satellite data. Whilst the visualisation of SAR images makes use of the amplitude of the on-board measured signals, as it is the case for optical satellite data, SAR interferometry is based on the use of the phase information of SAR signals and is implemented through complex algorithms, some of which have reached a sufficient level of maturity and operational solidity, even though development in this research domain is still very active.

The difference in phase of the radar signals backscattered from the same target to the satellite at two successive passes is accurately measured. Its value is related to the distance of the target from the satellite and is used to generate an interferogram, whose patterns, called fringes, feature in fact the difference in phase of the various targets in a SAR scene. Closer the fringes steeper is the slope of the terrain topography, whilst a flat area is visualised by very few large fringes. Fringes of a SAR interferogram are similar to contour levels in a topographic map, as in reality both represent terrain slopes. Further processing of a SAR interferogram can lead to the generation of the DEM or of the DTM of the SAR scene, which are extremely important and useful products. A DEM generated from satellite data has accuracy similar or frequently better than one built through classic topographic methods, but has the advantage to be easily updated at low cost and at the required frequency. Moreover, SAR Interferometric Coherence maps provide additional environmental and territorial information, useful to know current status and changes in the surrounding conditions.

In addition, the difference between two SAR interferograms generated at different times, for example the second using radar images taken at times 3 and 2 and the first from images taken at times 2 and 1, indicates a possible vertical movement of the terrain: a *zero* difference would mean no vertical terrain move during the period between time 1 and time 3, whilst positive or negative differences would indicate vertical movements of the terrain, proportional to the value of the differences. Closer the fringes of a differential interferogram bigger the movement of the terrain concerned. Differential interferometry is a very useful tool for monitoring volcanoes, for instance to detect magma movements or changes in their structure. Scientists are studying to understand if it could provide an early sign of the preparation of a volcanic eruption. Certainly, it has clearly confirmed the up-and-down phenomenon typical of the Campi Flegrei region near Naples (known as *bradisismo* of the Semiramis Temple).

Finally, scientists of the Politecnico of Milan have developed a new interferometric technique, called of “Permanent Scatterers”, that allows the detection of vertical movements at millimetre level, by making use of a large number of SAR image data acquired over the same target. This technique is particularly effective in detecting very small movements of building tops or urban areas and has a great potential as a monitoring tool to detect sinking of urban areas, for instance due to groundwater pumping or soil works, or structural conditions that could lead to building collapse.

Therefore, the above-mentioned applications of satellite Earth observation data demonstrate the important contribution that this methodology can offer to the activities of both archaeology and volcanology disciplines.

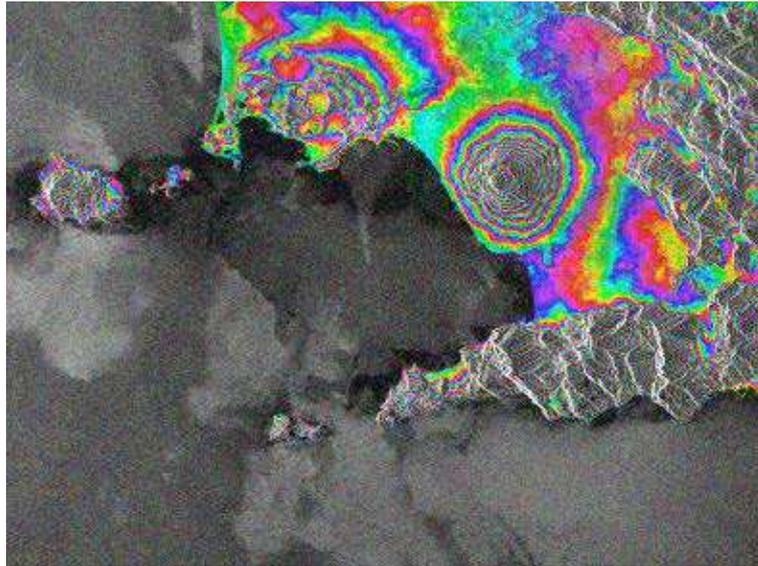


Fig. 8 - Gulf of Napoli interferogram

02/03/2000-20/07/2000

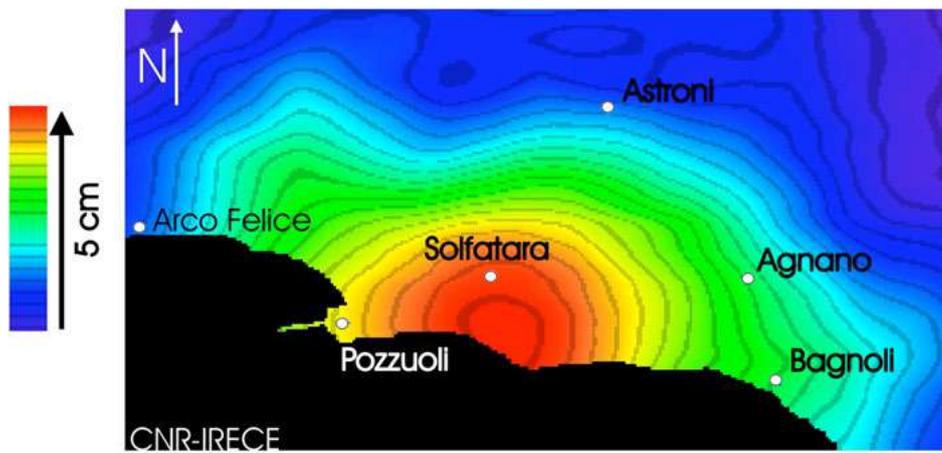


Fig. 9 - Pozzuoli interferogram uplift

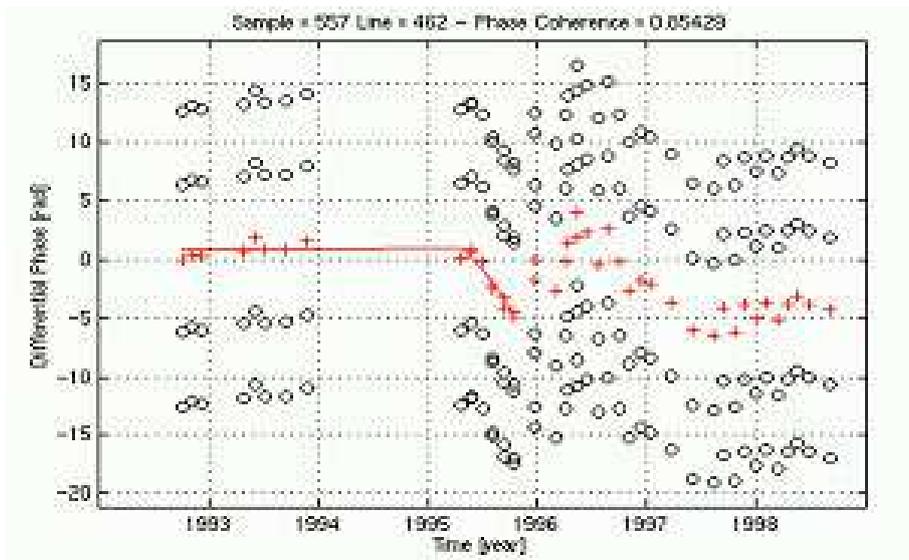


Fig. 10 - Camaiore collapse



## **AVAILABILITY ON THE WORLD WIDE WEB OF EARTH OBSERVATION DATA AND PRODUCTS FOR ITALIAN ARCHAEOLOGICAL AREAS**

Giulia ABBATE, Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment (ENEA), Brindisi.

### **Abstract**

Following proposal at 1st Conference on Archaeology, Volcanism and Remote Sensing, Vesuvian and Alban Hills areas, a state-of-the-art review is presented about www material available for Italian Archaeological Areas.

Aims are to get a feeling on how progresses in Earth Observation and related technologies are contributing to innovation and development in various fields of archaeological heritage and to gain new application perspectives.

While for some areas already in UNESCO World Heritage list new technologies in general are becoming very important, there are in Italy many more areas which could benefit from innovative studies and documentation techniques, together with better accessibility and fruition tools.

In many www sites aerial views are offered, together with cartography of present and past locations of buildings, roads, etc. very good textual descriptions, pictures and drawings, and even 360° panoramic views, movies and virtual reality reconstructions. Links from regional sites are available in some cases, mostly for touristic purposes.

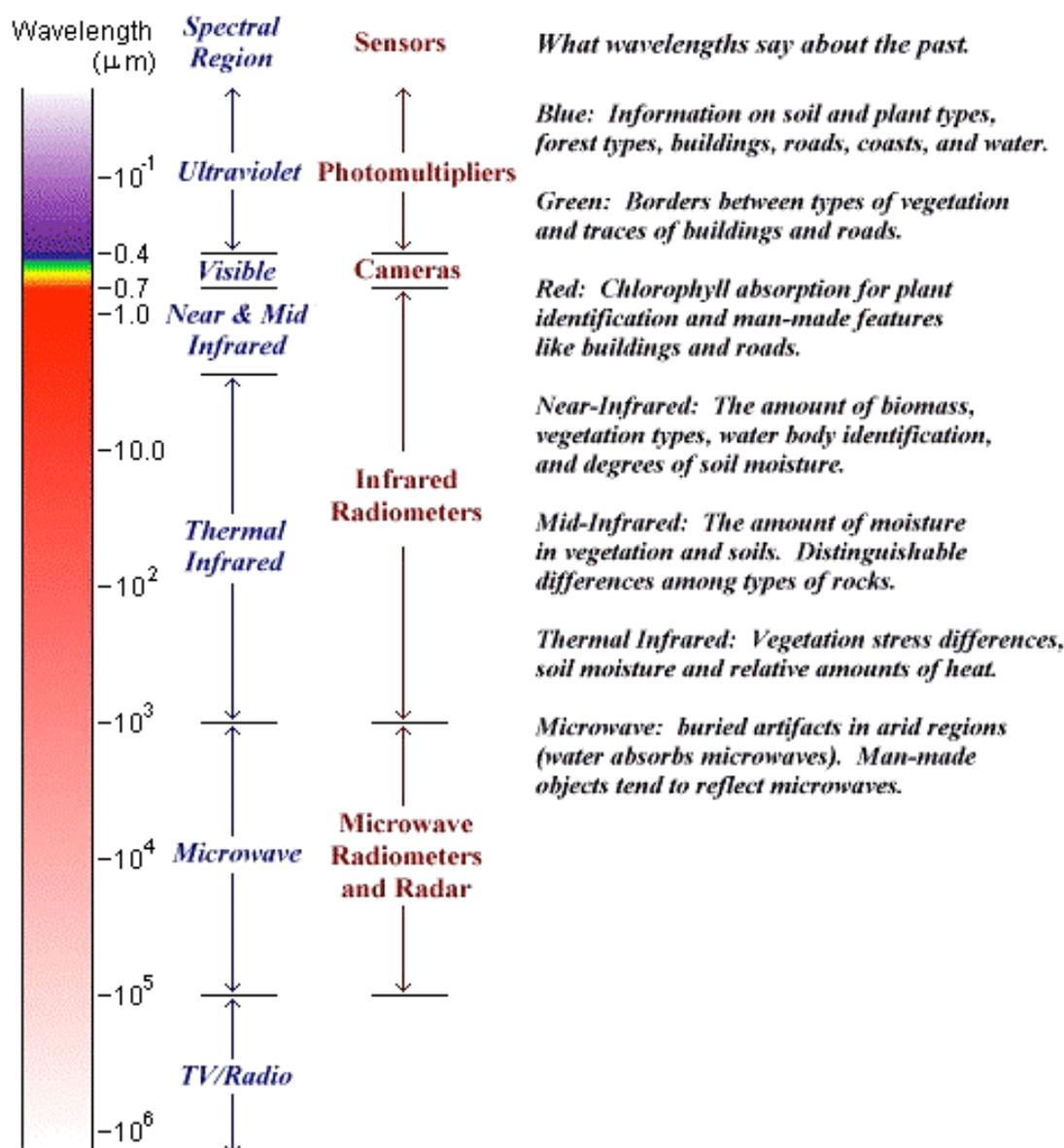
Nevertheless, it seems that interest in spectral information from aircraft and satellite images is still confined inside specialised research laboratories and not generally available. The same holds for most www sites of non-Italian archaeological areas (Egypt, Greece, Central America, etc.) that have been considered for comparison.

A specific, dedicated site for remote sensing archaeology could thus be very welcome. This could offer for instance easy-to-acquire-and-use raw and processed data, basic processing tools, educational material, discussion forum, technical documentation, etc. Complementary information could be text, pictures, multimedial material but also environmental information, i.e. values of microclimatic parameters, soil conditions, etc. which are very useful for conservation purposes and development of infrastructures for the public.

Such a www site could well become the core and motor of a research and development network for application of remote sensing in archaeology.

### **Archaeology and remote sensing**

The spectrum of sunlight reflected by the Earth surface contains information about the surface itself, including traces of past human activities, i.e. settlements, agriculture, infrastructures, etc. (see Fig. 1).



**Fig. 1 - The electromagnetic spectrum as useful source of information to investigate the past (from <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/archeology/archeology.html>)**

By its nature, archaeological research is interdisciplinary: understanding why people settled in certain areas and how they could adapt to certain natural conditions involves an interdisciplinary approach, including disciplines like for instance geology, soil science, hydrology, botany, forestry, ecology as well as art history, anthropology, ethnography and the like. The latest approach to archaeology is rather a sort of historical ecology, aimed at unshading complex relationships between man and environment and their evolution during ages.

In this contest remote sensing technologies provide unique advantages for archaeological research, including:

- different yet related scales of analysis, from synoptical to the very detailed;
- a variety of wavebands, able to reveal different surface characteristics;
- availability of software tools to highlight details that cannot be noticed by human eyes;
- availability of automatic means of analysis and possibility to extend research to wide areas;
- reduction of costs and better planning of ground surveys;
- clear geographical context, possibility of integration within a GIS, up-to-date documentation tools.

The present piece of work explores www from the point of view of a non-remote sensing-specialist research archaeologist. He may wish to know:

- how and where this technology is being used in his field of interest;
- to get an idea of possible advantages;
- to obtain samples of raw data and derived information;
- to obtain some educational material and a list of useful links;
- to obtain some proper contacts to exchange views and ideas and establish co-operations.

This paper contains some examples (the best, in the opinion of the Author) of what can be retrieved from the web by use of the most common search engines (Excite, Yahoo, AltaVista, Lycos, Infoseek, Arianna). Samples are chosen to meet interest subjects of the Conference: the area of Pompeii, free remote sensing data for the ancient Pompeii Port, archaeological sites in UNESCO World Heritage List, satellite views of the city of Naples and Mount Vesuvius, examples for non-Italian archaeological areas, underwater archaeology.

Scope is to demonstrate the need of a dedicated web site supporting scientific community in the field of remote sensing archaeology.

## **Pompeii area**

### *Pompei Forum Project*

<http://pompeii.virginia.edu/pompeii/images/b-w/levin/small/levin.html>

Pompeii is located south of Rome in Campania at the mouth of the Sarno River near the base of Mt. Vesuvius and is among the most important sites for classical archaeology because its sudden and total destruction in A.D. 79 preserved a quantity of data that is unique in the classical world. Moreover, much of the city is already excavated and is therefore available for study without expensive and time-consuming excavations.

It should be emphasized that Pompeii was neither a provincial backwater nor merely a seaside resort town whose preservation may be interesting, but without greater implications for urban history. Pompeii had served for centuries as a major regional center. After the founding of the Roman colony in 80 B.C., and especially throughout the first century A.D. until the destruction in A.D. 79, its urban evolution consciously mirrored developments in Rome. It is therefore legitimate to view Pompeii as more than a regional curiosity and to use it as a gauge for exploring more widely applicable Roman practices of the first century (from Pompeii Forum Project).

During June of 1995 archaeological photographer Aaron Levin used a large format camera (4"x5" negatives) to create archival quality black-and-white photographs of the buildings in the forum. His work concentrates mainly on the East side of the forum in order to fully document the "Macellum" the Imperial Cult Building, the Sanctuary of the Genius of Augustus, and the Eumachia Building. Other views are also present among the 205 photographs that follow. The photographs themselves are printed at 8"x10." One of the current tasks of the Pompeii Forum Project is to present these photographs on the World Wide Web (from Pompeii Forum Project).



**Fig. 2 - North-Eastern corner of Pompeii forum, from South**  
(from <http://pompeii.virginia.edu/pompeii/images/b-w/levin/small/levin.html>)

## Free remote sensing data for the area of ancient Pompeii port

*National Imagery and Mapping Agency (DOI-10)*

<http://geoengine.nima.mil>

It contains 10 Meter Resolution Digital Orthorectified Imagery (DOI-10) derived from data obtained from the SPOT Image Corporation under an unrestricted license. Data were acquired in 1992-1994. The area of interest can be selected by giving coordinates and available images can be downloaded for free. License Tier (Unrestricted License) permits distribution of the imagery and imagery products to any entity or person.

The unrestricted license (including unlimited reproduction and distribution) will pass through to all those who acquire the imagery and/or imagery products. That is, this product is available for all users. No additional permission is needed to use or distribute this product. Inclusion of the “CNES/SPOT Image 1992-1994” copyright notice is required on all duplications of this product and on all products which contain a literal image from the DOI-10 product. Information extracted from DOI-10, such as line drawings or road centrelines, as well as other non-literal products, such as coordinates or textual reports not having image chips, does not require the copyright notices.

The image of Fig. 3 could be retrieved by giving coordinates of interest area. It can be seen that the area is presently rather urbanised.

Lat 40.8798°  
Long 14.4365°



Lat 40.7417°  
Long 14.6193°

**Fig. 3 - SPOT image of the area of the ancient Port of Pompeii (DOI-10, free download)**

United States Geological Survey (USGS).

<http://edc.usgs.gov/Webglis/glisbin/search.pl?DISP>

By using Excite web search engine, *Archaeology* as start keyword, following with: → *Archaeological Resources* → *Rome Classics and Mediterranean Archaeology Home Page* → *Atlases and Geographic Information* → *GIS related sources* → *Acquiring GIS data* → *recently declassified intelligence data* → *CORONA satellite photography* it could be found metadata about images of Pompeii Port. Coordinates of area of interest and date range can be given on line and optional representation of area on map can be required. Depending on camera, spatial resolution of the imagery is between 2 m (KH-6) and 150 m (KH-5). For the area of Pompeii port there are photos available for about 10 \$ each (spatial resolution 3-5 m, years 1962, 1963, 1964).

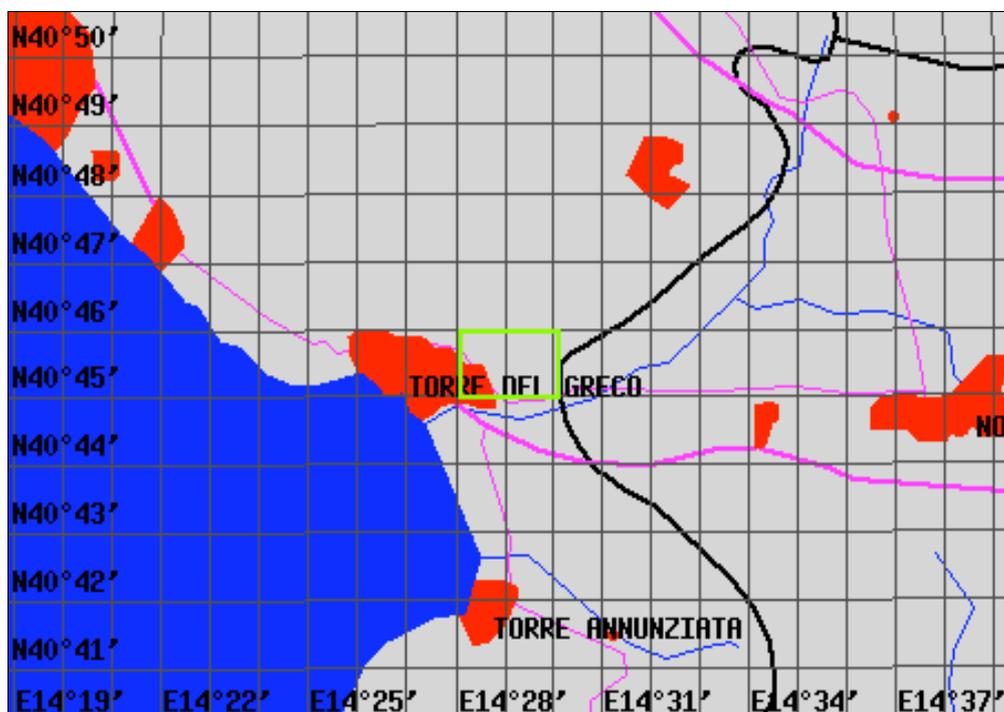


Fig. 4 - Selection of the area of interest (ancient Port of Pompeii) CORONA satellite photography metadata (from <http://edc.usgs.gov/Webglis/glisbin/search.pl?DISP>)

## The UNESCO World Heritage List

<http://www.unesco.org>

Among the 630 properties that the World Heritage Committee has inscribed on the World Heritage List (480 cultural, 128 natural and 22 mixed properties in 118 State parties) Table 1 shows the 30 belonging to Italy (updated at beginning of year 2000). Archaeological areas are printed in blue, while historical city centres are printed in green.

For most of these Italian heritage places, web information is in the form of text and pictures. Contents are art history or related subjects. There are links from regional sites, mostly for tourist information purposes. See as an example, the site of Agrigento, Temples Valley.

**Table 1 - The UNESCO World Heritage List – Italy (updated January 2000)**

1979 ROCK DRAWINGS IN VALCAMONICA	1997 PORTOVENERE, CINQUE TERRE, AND THE ISLANDS (PALMARIA, TINO AND TINETTO)
1980 THE CHURCH AND DOMINICAN CONVENT OF SANTA MARIA DELLE GRAZIE WITH "THE LAST SUPPER" BY LEONARDO DA VINCI	1997 CATHEDRAL, TORRE CIVICA AND PIAZZA GRANDE, MODENA
1982 HISTORIC CENTRE OF FLORENCE	1997 ARCHAEOLOGICAL AREAS OF POMPEI, HERCULANEUM, AND TORRE ANNUNZIATA
1987 VENICE AND ITS LAGOON	
1987 PIAZZA DEL DUOMO, PISA	1997 COSTIERA AMALFITANA
1990 HISTORIC CENTRE OF SAN GIMIGNANO	1997 ARCHAEOLOGICAL AREA OF AGRIGENTO
1993 I SASSIDI MATERA	
1994 CITY OF VICENZA AND THE PALLADIAN VILLAS OF THE VENETO	1997 VILLA ROMANA DEL CASALE
1995 HISTORIC CENTRE OF SIENA	1997 SU NURAXIDI BARUMINI
1995 HISTORIC CENTRE OF NAPLES	
1995 CRESPID'ADDA	1998 CILENTO AND VALLO DI DIANO NATIONAL PARK WITH THE ARCHEOLOGICAL SITES OF PAESTUM AND VELIA, AND THE CERTOSA DI PADULA
1995 FERRARA, CITY OF THE RENAISSANCE AND ITS PO DELTA	
1996 CASTEL DEL MONTE	1998 HISTORIC CENTRE OF URBINO
1996 THE TRULLI OF ALBEROBELLO	
1996 EARLY CHRISTIAN MONUMENTS OF RAVENNA	1998 ARCHAEOLOGICAL AREA AND THE PATRIARCHAL BASILICA OF AQUILEIA
1996 HISTORIC CENTRE OF THE CITY OF PIENZA	
1997 18TH-CENTURY ROYAL PALACE AT CASERTA WITH THE PARK, THE AQUEDUCT OF VANVITELLI AND THE SAN LEUCIO COMPLEX	1999 VILLA ADRIANA (TIVOLI)
1997 RESIDENCES OF THE ROYAL HOUSE OF SAVOY	
1997 BOTANICAL GARDEN (ORTO BOTANICO), PADUA	

### The experimental site of Aquileia and Roman Archaeology

<http://www.aquileia.it>

The site looks the most advanced as for the use of new technologies. The National Association for Aquileia maintains the site. It is a no-profit organization based on volunteers, which was founded in 1928, with the following scopes:

- promoting the image and the acquaintance of Aquileia all around the world;
- experimenting techniques and methods to be adopted in archaeology by National Institutions.

Some examples from this site are shown in Fig. 5. Many aerial views are available, together with georeferenced topographies at present and ancient times. Archaeological heritage can be seen together with the surrounding environment with synoptical as well as detailed view. It is possible to do virtual tours and 360° panoramic views starting from various points in the archaeological area. At present, aerial views are taken from aircraft, while satellite images are not used. Their multiscale, multispectral and multitemporal advantages have not yet been exploited for this area.



**Fig. 5 - Examples from site Aquileia, The Roman Harbour, Northern Italy, Century II**  
(<http://www.aquileia.it>)

## Satellite views of the city of Naples and Mount Vesuvius

### *IKONOS*

<http://www.si-eu.com/archive/archive.htm>

IKONOS, of Space Imaging, Colorado, USA ([www.spaceimaging.com](http://www.spaceimaging.com)) is the first commercial high-resolution satellite. His name derives from the Greek word meaning “image” and is pronounced “Eye-KOH-nos” in English language. After launch failure of IKONOS-1 on April 27<sup>th</sup> 1999, satellite IKONOS-2 (identical to the previous) was successfully put in orbit on September 24<sup>th</sup> 1999. Sensors on board can “see” 11 km wide strips of Earth surface. Panchromatic images (0,45-0,90  $\mu\text{m}$ ) with ground resolution of 1 m and multispectral images with 4 bands (band 1: blue, 0,45-0,53  $\mu\text{m}$ ;

band 2: green, 0,52-0,61  $\mu\text{m}$ ; band 3: red, 0,64-0,72  $\mu\text{m}$ ; band 4: near infrared, 0,77-0,88  $\mu\text{m}$ ) ground resolution 4 m are contemporarily acquired. IKONOS images reach an unprecedented level of detail in the field of Earth Observation data for civil use. At the site of Space Imaging Europe (<http://www.si-eu.com>) images of many European cities can be downloaded (see Fig. 6).



**Fig. 6 - IKONOS image of the city of Naples**

*Shuttle*

<http://earth.jsc.nasa.gov>

Mt. Vesuvius Area, Italy Spring/Summer 1996. The oval-shaped crater of Mt. Vesuvius (circular feature in the centre of the image) is encircled by the urban sprawl of Naples and many smaller urban areas along this section of the South-West coast of Italy. Naples, a major seaport and Italy's third largest city, is located along the North coast of the Gulf of Naples and is an arm of the Tyrrhenian Sea. Mt. Vesuvius' summit stands at 1281 m above sea level. It is the famous eruption of Vesuvius in 79 AD that destroyed the Roman cities of Pompeii and Ercolano. Mt. Vesuvius, now dormant, had its last major eruption in 1944. The steep calderas wall of Somma Volcano, an earlier stratovolcano, is visible several thousand meters North of the Vesuvius' crater. The darker-looking landscape shows the area of dense vegetation, while the lighter terrain is created by assorted human activities either in the form of cities, an extensive ground transportation network and agricultural operations. The rugged, mountainous Sorrento Peninsula (upper left corner) contrasts color wise with the more densely populated hilly scene that prevails over much of the terrain surrounding Mt. Vesuvius (from <http://earth.jsc.nasa.gov>)

The NASA Space Shuttle Earth Observations Photography database contains over 375 000 images. Some selected photos are published in this site, illustrating some very interesting Earth features and processes, including cities as seen by astronauts from space. Images can be searched by clickable Maps, Cities, Earth Landscapes, Earth-Human Interactions, Distinctive Features, Hurricane & Weather, Earth's Water Habitats, Geographic Regions.



**Fig. 7 - Shuttle view of Mt. Vesuvius**

## Examples for archaeological areas abroad

### *The Nile delta*

<http://www.athenapub.com/rivers1.htm>

Rivers have always a primary focus of human settlement and are perhaps the single most consistent natural feature related to the location and discovery of archaeological sites. A survey of satellite and aerial views from NASA/JPL sources ranging from Gemini and Landsat to TOPSAR and SIR-C (from the 1960s through 1990s) includes numerous pictures of the Nile, Amazon, Mississippi and other major river systems. Their striking visual patterns (enhanced by the false-color imagery used in interpretation) reveal a diversity of both natural and human-made processes within important zones of long-term habitation<sup>1</sup>.



**Fig. 8 - Gemini 4 view of the Nile Delta near Alexandria (NASA/JPL Gemini 4, S65-34776)**

---

<sup>1</sup> This text is taken from the site of Athena Review, Journal of Archaeology, History and Exploration. It is interesting to see that a specialised magazine is wishing to promote the use of remote sensing in Archaeology.

## Dry rivers

<http://www.remote-sensing.bu.edu/Research/rivers/rivers.htm>

...Landsat data have been used in many cases to reveal archaeological sites and interpret their setting. Another spaceborne method that promises to be as useful is radar imaging. Unlike the "passive" sensors on board the Landsat spacecraft, the imaging radar is "active". It provides a source of electromagnetic energy to "illuminate" the terrain. The returned energy is detected by the imaging system and recorded on magnetic storage system. Thus, radar systems can operate independently of lighting conditions and weather, because radar rays penetrate clouds.

Though the experimenters had no archaeological applications in mind, the imaging radar of the space shuttle Columbia in November 1981 obtained images of a featureless tract of the Western Desert of Egypt. Quite unexpectedly, the radar waves penetrated the sand cover in this wasteland; the extreme aridity of the area and thus the dryness of the sand grains allowed this penetration. Uncovered were courses of ancient streams, one 20 km across, as wide as to-day's Nile Valley. The revelation inspired field investigations to check the potential of human habitation around these ancient water courses. Digging through the sand up to 5 m in thickness revealed artefacts indicating prehistoric human habitation at these sites dating back to approximately 210 000 years BP... (from [www.remote-sensing.bu.edu](http://www.remote-sensing.bu.edu))



**Fig. 9 - Space shuttle radar image of a *featureless* tract of the Western Desert of Egypt (from [www.remote-sensing.bu.edu](http://www.remote-sensing.bu.edu))**

The finding also sparked interest in the potential for groundwater resources in the region. Some of the water of the ancient rivers must have evaporated, and some must have been supplied to the mouths of the rivers, but some must have seeped through the underlying rock to be stored as groundwater. After analysing the images in 1982, Farouk El-Baz, who served at the time as Science Advisor to Anwar Sadat, the late President of Egypt, suggested to the Egyptian government a program of test drilling. Wells drilled to date prove a groundwater reserve that is capable of supporting agriculture on nearly 81000 hectares (200000 acres) for 200 years.

## Projects

*The Perseus Atlas Project.*

[http://perseus.holycross.edu/PAP/PAP\\_GIS/MSS\\_metadata/](http://perseus.holycross.edu/PAP/PAP_GIS/MSS_metadata/)

The Perseus atlas Project is developing an extensive general-purpose GIS for the study of classical Greece.

It is interesting to see that also some processed images and spectral information (statistics for the various bands) are provided.

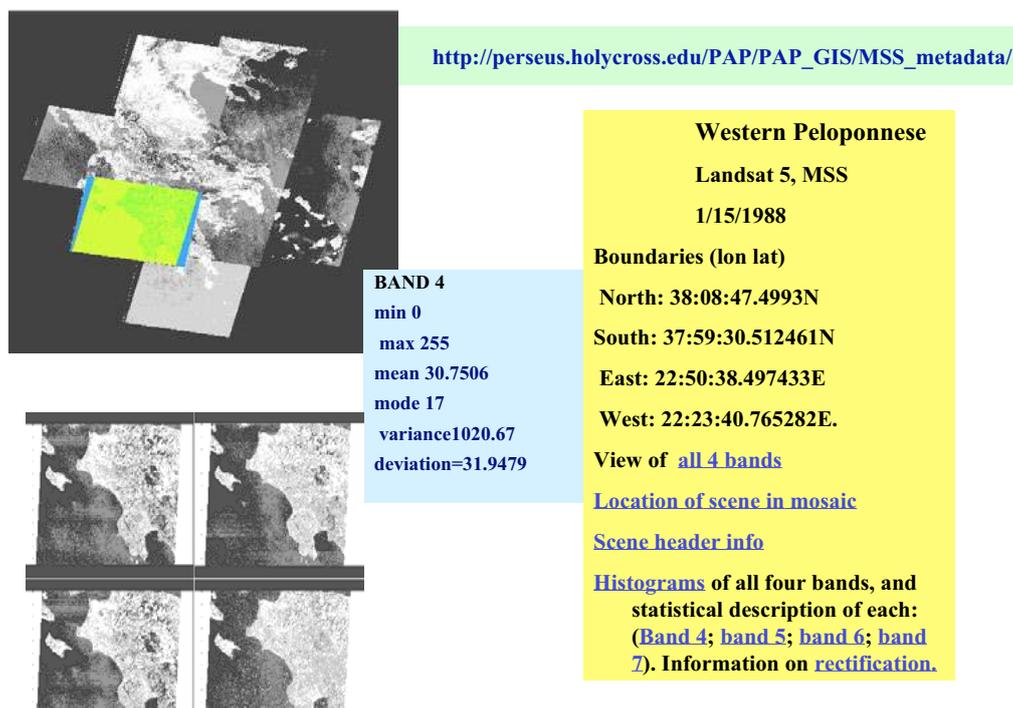
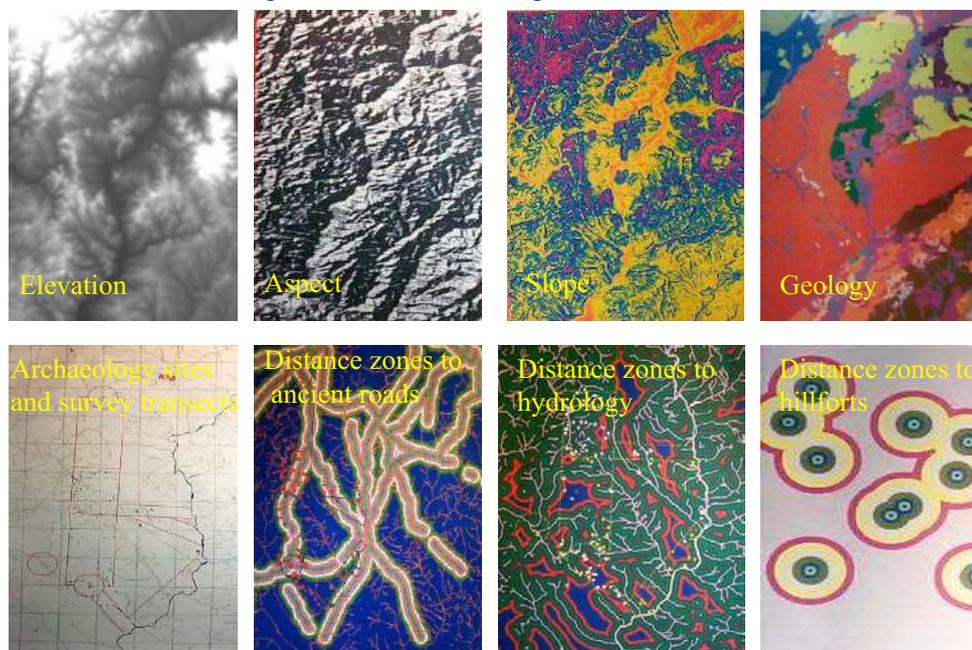


Fig. 10 - Samples from Perseus Project www site

Arroux River Valley, Region of Burgundy, France  
<http://www.informatics.org/france/france.html>

## Computers in Archaeology ? GIS and Remote Sensing

<http://www.informatics.org/france/france.html>



**Fig. 11 - Environmental and human factors in the Arroux Valley (France) Geographic Information System**

...An American interdisciplinary team has conducted research in the Arroux River Valley region of Burgundy (France) for over two decades. The team uses an integrative approach termed historical ecology, the multiscale analysis of the interaction of different cultures and the environment over time. Archaeologists, historians, ecologists, anthropologists, geologists, art historians, ethnographers, linguists and a variety of others have come together to try understanding this area and its history in an interdisciplinary perspective.

A period of over 2 000 years (from the Celtic Iron Age to the present) has been analysed. The overall goal of the research has been to understand long-term interaction between the different cultures and the physical environment, including the present time. Application of aerial photography and aerial reconnaissance, remote sensing, GIS, GPS, visualization and related tools has been studied in this context.

The GIS database covers an area of about 35x60 km, covering the majority of the Arroux River Valley and its immediate environs. The current basic raster and vector layers of the GIS data base include:

- elevation (generated from the French digital elevation data and manually digitised 1:25 000 contours);
- aspect (derived from the digital elevation data);
- slope (derived from the digital elevation data);
- SPOT images (20 m false color infrared);
- SPOT images (10 m panchromatic);
- land use/land cover maps (derived from SPOT image data);

- geology (generated from 1:80 000 geology map);
- faults (from the same 1:80 000 geology map);
- hydrology (from the three 1:50 000 topo-maps and 1:25 000 maps);
- modern roads (from the three 1:50 000 and 1:25 000 topo-maps);
- ancient roads (from project information and old maps);
- known Celtic hillforts (from project information and old maps);
- archaeological sites and field survey transects (from project surveys and other sources).

Additional derived data layers showing different distance categories, or buffer zones, from: roads, streams, faults, archaeological sites, hillforts, and ancient roads were then generated from the data above. Additional data have recently been added, derived from the 1:25 000 maps, including reclassifications and distance measurements from sites, hillforts, ancient roads, and hydrology. These data are used to conduct a variety of analyses, including line-of-sight modelling of the hillforts and the development of predictive models of archaeological sites of different periods ... (from <http://www.informatics.org/france/france.html>)

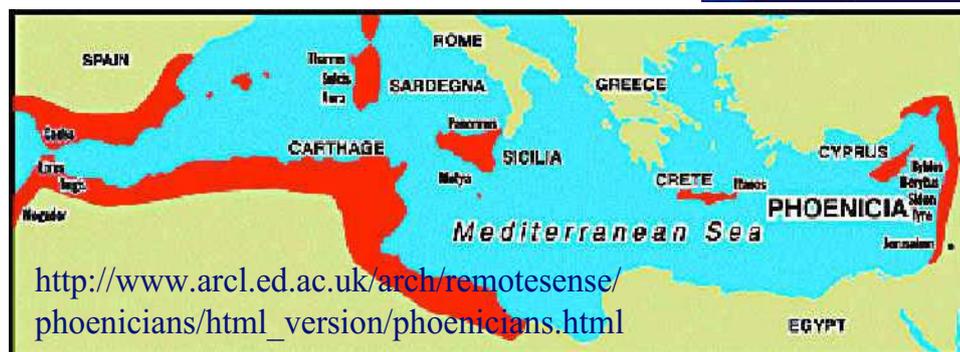
*Using Space-borne Imaging RADAR to detect and survey Phoenician Maritime Culture in the Western Mediterranean and Mining Activities in Andalusia, Spain.*  
[http://www.arcl.ed.ac.uk/arch/remotesense/phoenicians/html\\_version/phoenicians.html](http://www.arcl.ed.ac.uk/arch/remotesense/phoenicians/html_version/phoenicians.html)

The **Phoenicians** were part of the later European Bronze Age which began around 2300 BC. The discovery that copper could be alloyed with tin to produce bronze resulted in an enormous demand for this new material. Phoenician traders expanded throughout the Mediterranean Sea and surrounding areas to meet the demand for tin.

Around 900 BC time the Phoenicians at Carteia move inland to open their own tin mines

Why?

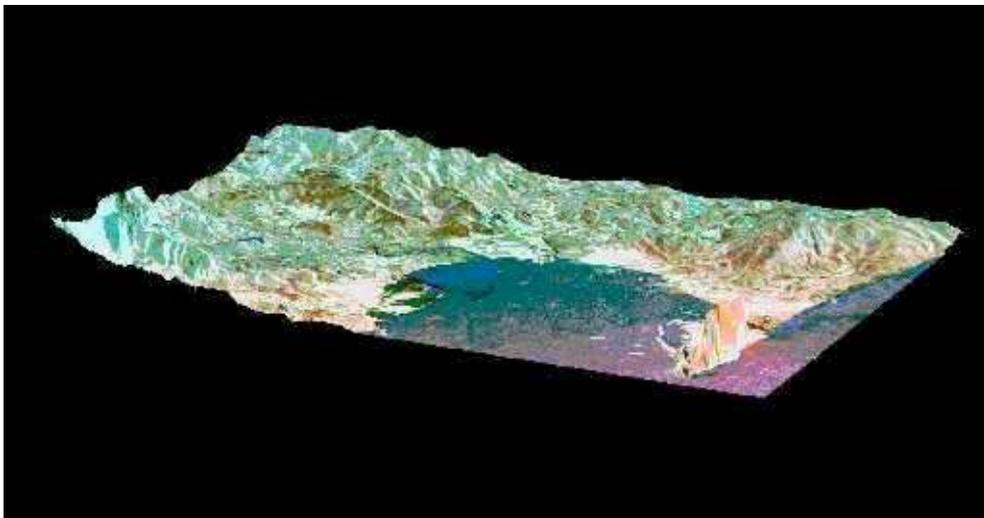
Where?



**Fig. 12 - Rationale of research project on the Phoenicians**

The Phoenicians are the most significant early maritime culture in the Mediterranean Sea. They developed keeled boats and established significant trade with cultures in Africa, India, Mediterranean rim and Western Europe.

Data from Space Shuttle Imaging RADAR (SIR-C/X-SAR) are being used to detect, analyse and model the spatial characteristics of previously unknown Phoenician mining sites in Spain and to determine their production capabilities, environmental influences (landscapes) and technological developments. In particular, advanced techniques are being studied and applied to improve spatial resolution of sub-surface terrain features. Contract is funded by USA Agencies, including NASA JPL. An Annotated Bibliography for Remote Sensing Archaeology has been compiled, which should help archaeologists to realise the potential that Remote Sensing has in their discipline. This is currently one large html document. It is intended to transfer the information contained in the bibliography into a searchable database (Fig. 13).



**Fig. 13 - Bay of Algeciras, Gibraltar, Spain**

#### *Underwater Archaeology*

<http://www.assonet.org/itarcind.htm>

This is an Italian site entirely dedicated to Underwater Archaeology. It is very rich for instance in what concerns compatibility between underwater archaeological heritage and civil maritime works and infrastructures. Remote sensing potentialities are still unexploited.

An interesting and useful satellite-derived global image of sea surface temperature can be found at: <http://www.meto.umd.edu/~owen/CHPI/IMAGES/sstglob.gif>

## Conclusions

Much of the human history can be traced through the impacts of human actions upon the environment. The use of remote sensing technology offers the archaeologist the opportunity to detect these impacts, which are often invisible to the naked eye. This information can be used to address issues in human settlements and their interactions with environment and climate.

This short review demonstrates:

- need of promotion of Archaeology Remote Sensing in Italy and in the Mediterranean area;
- cooperation projects on Remote Sensing Archaeology could well benefit from modern communication, research and documentation techniques;
- a Network on Remote Sensing Archaeology (NERSA), including a Web-Based Interactive Application Service (W-BIAS) could be very worthy in this context;
- W-BIAS should address issues like: availability of RS data and processing means, other information on archaeological areas (i.e. environmental, land use, history, etc.); links to local and regional governments to identify all areas of interest; access available to anyone wishing to provide clues, information, etc.; dissemination of ideas and results, etc.;
- network should promote knowledge and cultural exchanges (education, courses, workshops, conferences, fellowships, stages) and conduct application projects on specific areas.

Both 1999 and 2001 Conferences on Archaeology, Volcanism and Remote Sensing have been organised to be starting points in this direction.

## Bibliography

Abbate G., Telerilevamento e GIS per la Caratterizzazione del Microclima nelle Aree Archeologiche, *Atti 1<sup>a</sup> Conferenza Archeologia, Vulcanismo e Telerilevamento: Aree Vesuviana e dei Colli Albani*, Rome, 26-28 May, 1999.

McKay G. L., *The Annotated Bibliography for Remote Sensing Archaeology*:  
<http://www.arcl.ed.ac.uk/arch/postgradhome/remote%20sense%20biblio.htm>



# **HUMAN PRESSURE AFFECTING GROUNDWATER RESOURCES IN THE ROMAN AREA: THE EXAMPLE OF THE GABII ARCHAEOLOGICAL SITE (ALBAN HILLS VOLCANIC DISTRICT)<sup>1</sup>**

Giovanni ODORICO, Danilo Mauro PALLADINO, Marco PETITTA, Università degli studi “La Sapienza”, Roma

## **Abstract**

A hydrogeologic study was carried out in the area of Gabii located at the Northern periphery of the Alban Hills Volcanic District (Rome, Italy). This area is of notable cultural importance due to the presence of the archaeological site of the ancient Roman town of Gabii. The expansion of Rome metropolitan area, the availability of local water resource and ongoing agricultural activities determine the necessity to study their interaction and to preview the environmental evolution of the area. Here are presented insights into sub-surface dynamics of the hydrogeologic system in order to determine the extent of anthropogenic impact on the natural environment and thus to protect its integrity and to ensure the availability of a water resource of optimum quality to human settlements. Finally it is remarked that only an integrated project of an archaeological and agricultural park could preserve the current unbalanced equilibrium of the Gabii area, ensuring the future survival of this complex man-history-water-agriculture system.

## **Introduction**

Understanding the availability and the quality of surface and ground water resources is one of the pre-requisites of correct land planning and water management strategies<sup>2</sup>. In the past few years, this issue has become increasingly pressing, especially in areas where human activities may increase the demand for water and significantly reduce its quality, like around large cities. The strategic position and the flat morphology of these areas favour the continuous expansion of residential and industrial settlements. At the same time, around Rome, these areas host several ancient human settlements of archaeological interest.

Gaining insight into the sub-surface dynamics of these systems is necessary in order to determine and to understand the extent of anthropogenic impact on the natural environment and thus to protect its integrity and to ensure the availability of a water resource of optimum quality to human settlements. The sum of the archaeological importance, the city expansion and the availability of water resource determines the necessity to study their interaction and to preview the environmental evolution.

---

<sup>1</sup> Key words: Alban Hills, hydrogeology, human impact, archaeological site.

<sup>2</sup> Custodio, 1997.

A research program with the above described aims was realised in the area of the Archaeological Park of Gabii, located at the Eastern end of Rome metropolitan area (Central Italy).

## Geological setting

The study area is located to the North of the Tuscolano-Artemisio caldera rim, within the Alban Hills Volcanic District (Fig. 1), one of the quaternary potassic districts of the Roman Comagmatic Region<sup>3</sup>. For an updated summary of the stratigraphy and geochronology of the Alban Hills, the reader is referred to Marra et alii<sup>4</sup>. Compositional aspects of Alban Hills volcanics are treated in Trigila et alii<sup>5</sup>. The oldest exposed terrains in the area of Gabii belong to the Tuscolano-Artemisio phase of activity<sup>6</sup> and include the *pozzolane nere* (around 407 000 years BP) and Villa Senni (around 355 000 years BP) explosive eruption products. These mainly consist of mildly consolidated scoria flow (*pozzolane nere* and upper flow unit of Villa Senni, also known as *pozzolanelle*) and lithified ash flow (lower flow unit of Villa Senni, also known as *tufo lionato*) deposits<sup>7</sup>. The Tuscolano-Artemisio pyroclastic apron forms a gently sloping plateau, dissected by South-East – North-West directed streams. A poorly exposed lava flow (i.e. the Fosso Benzzone lava flow) is probably interbedded with these major pyroclastic units.

Stratigraphically above are the hydromagmatic products associated with the Castiglione eruptive centre. This is the most prominent volcanic structure in the area and consists of a relatively well preserved tuff ring with gently sloping outer flanks and a central depression with flat bottom (> 1 km across) named Valle di Castiglione which corresponds to the old crater area. The age of the Castiglione centre was estimated at approximately 270 000 years BP from a geochronologic and chrono-stratigraphic study of the lake sediments in the crater area<sup>8</sup>. A <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age constraint of approximately 260 000 years BP was obtained by Karner<sup>9</sup> from an ash-fall horizon recovered from a drill core into the lacustrine deposits, suggesting an approximate age of 285 000 years BP for the crater-forming event, based on estimated sedimentation rate. This age is consistent with the field observation that the Saponara leucitite lava flow (around 277 000 years BP<sup>10</sup>) overlies the hydromagmatic products of the Castiglione centre (Fig. 2). On the other hand, the stratigraphic relationships between the Castiglione products and the Osa leucitite lava flow (around 297 000 years BP<sup>11</sup>) are uncertain.

---

<sup>3</sup> Washington, 1906.

<sup>4</sup> 2002.

<sup>5</sup> 1995.

<sup>6</sup> De Rita et alii, 1988.

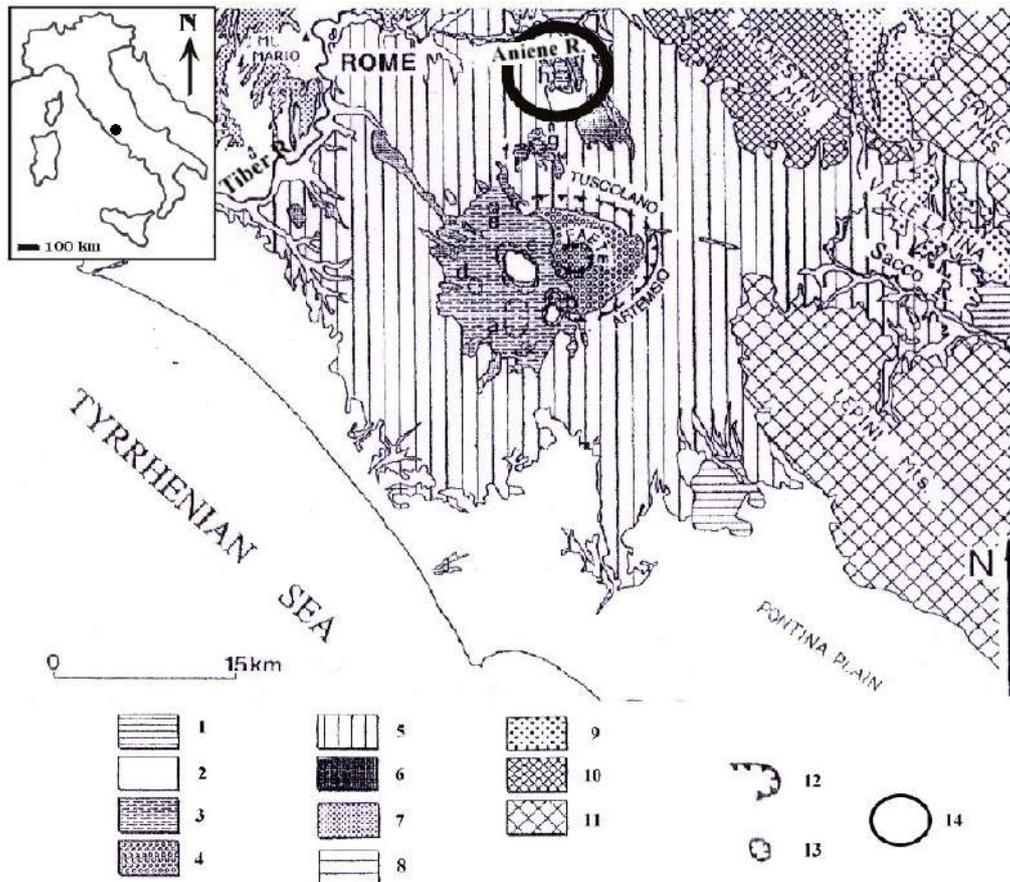
<sup>7</sup> Fornaseri et alii, 1963; Freda et alii, 1997.

<sup>8</sup> Follieri et alii, 1988.

<sup>9</sup> 1997.

<sup>10</sup> Karner et alii, 2001.

<sup>11</sup> Marra et alii, 2002.



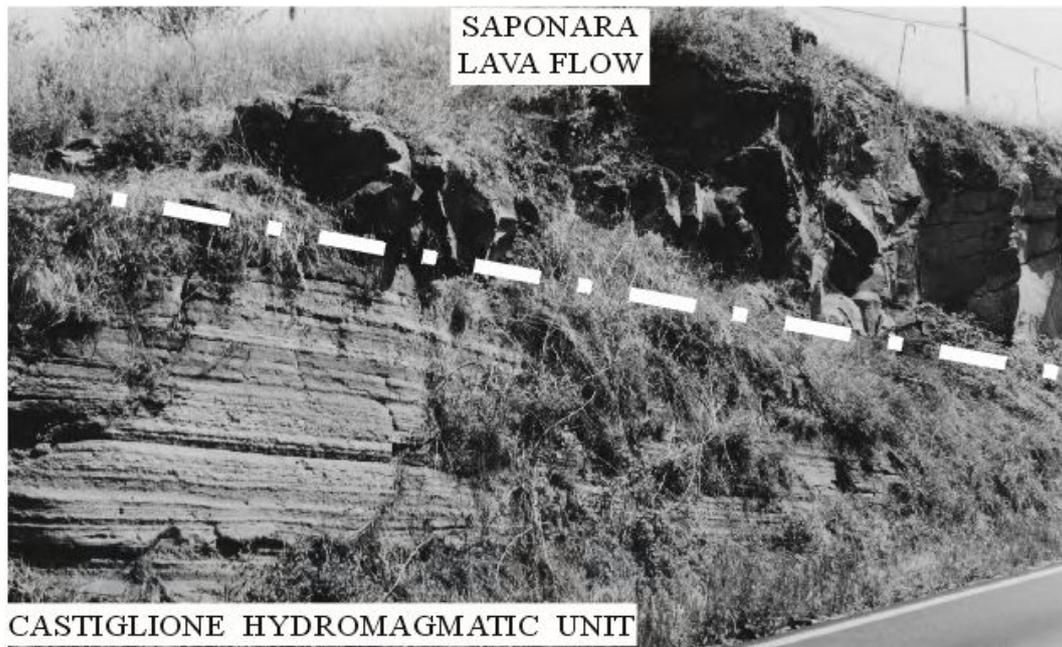
**Fig. 1 - Geological sketch map of the Alban Hills Volcanic District and nearby areas (after De Rita et alii, 1995; modified)**

Legend: 1) travertine; 2) Plio-Pleistocene sedimentary units and recent alluvial deposits; 3-6) Alban Hills volcanics: 3) pyroclastic deposits of the hydromagmatic centres of Ariccia (a), Nemi (b), Albano (c), Giuturna (d), Valle Marciana (e), Pantano Secco (f), Prata Porci (g), Castiglione (h); 4) pyroclastic deposits of Monte delle Faete phase; 5) pyroclastic deposits of Tuscolano-Artemisio phase; 6) lava flows of Tuscolano-Artemisio and Monte delle Faete phases; 7-8) Monti Sabatini volcanics: 7) pyroclastic fall deposits; 8) pyroclastic flow deposits; 9) Tortonian flysch (pelitic-sandy facies); 10) Meso-Cenozoic pelagic carbonate units (Sabina facies); 11) Meso-Cenozoic carbonate platform units (Latium-Abruzzi facies); 12) caldera rim; 13) crater rim; 14) location of the study area.

The Saponara and Osa lava flows, which form two ridges that border the Castiglione centre respectively to the East and to the West, probably erupted from peripheral vents during the Monte delle Faete phase of activity<sup>12</sup> spanning the time interval of approximately 250 000 to 308 000 years BP. Therefore, it would appear that the Castiglione centre is broadly contemporaneous with the Monte delle Faete phase of activity. The Castiglione products mostly derived from pyroclastic surge activity: yellowish, coarser-grained and lithic-rich deposits, lithified due to vapour phase

<sup>12</sup> De Rita et alii, 1988.

crystallization of zeolite minerals, are exposed around the crater rim in near-vent areas and show frequent impact sags from contemporaneous ballistic fallout of bombs and blocks; grey, loose to poorly consolidated, finer-grained and stratified deposits mostly crop out to the North of the crater, as far as 2 km from the rim. The proximal lithified facies is well known by archaeologists as *lapis gabinus* a rock type that was widely used as building stone by the ancient Romans.



**Fig. 2 - Stratigraphic contact between Castiglione hydromagmatic unit and Saponara lava flow near the Gabii Archaeological site (see Fig. 3 for location)**

### **Hydrogeological setting**

The Alban Hills Volcanic District is a hydrogeological unit located South-East of Rome, covering an area of about 1500 km<sup>2</sup>. Its boundaries are the Aniene River on the Northern side, the Tiber River to the North-West, the Tyrrhenian Sea to the South-West, the Acque Alte floodway to the South-East and the Sacco River to the East<sup>13</sup>. Due to lateral and vertical lithological variability, the permeability of the unit largely varies. The volcanic succession overlies the Pliocene-Pleistocene marine clayey deposits (as thick as several hundred meters) that represent the lower aquiclude.

The Alban Hills hydrogeological unit could be divided in two sectors:

- the intra-caldera area (75 km<sup>2</sup>) where the groundwater comes to the Albano Lake (perched aquifer);

---

<sup>13</sup> Boni et alii, 1995.

- the extra-caldera area, where the groundwater flowpaths are radial and centrifugal.

The regional aquifer is drained mainly by streambed springs, located along the drainage network. The extra-caldera regional multilayer aquifer contains several aquitards, represented by pyroclastic deposits. The Villa Senni eruption products are the main low permeability deposits and represent the local aquiclude<sup>14</sup> separating the extra-caldera regional aquifer in two parts: the lower and the upper regional aquifers. The groundwater comes from the inner part of the Alban Hills to the border, flowing preferentially into the high permeability deposits, represented by the fractured lava flows.

From the evaluation of the water balance, an effective infiltration of 285 mm/year is calculated, starting from 1020 mm/year of precipitation, 650 mm/year of evapotranspiration and a very low rate of runoff. The long term springwater resources of the area are<sup>15</sup> more than 10 m<sup>3</sup>/s. The springs and streambed springs are located mainly in the intra-caldera area with a contribution of 0,5 m<sup>3</sup>/s, and at the Northern, the Eastern and the Southern boundaries of the aquifer (respectively with the contributions of 3,5, 3 and 3,5 m<sup>3</sup>/s) where the volcanic deposits are in contact with neogenic alluvial and marine deposits, representing the regional aquiclude.

In the last decades, a strong increase of human activities, inhabitants and pressure caused an augmentation of the withdrawals from public and private wells. This fact, coupled with a natural precipitation decrease<sup>16</sup>, determines a significant drawdown of the regional water table, ranging from 10 to 20 m at the border of the Alban Hills to 100 m in the central part<sup>17</sup>, also affecting the intra-caldera aquifer and obviously the Albano Lake level<sup>18</sup>. At the same time, the groundwater discharge showed a remarkable decrease, evaluated at 50% of the mean discharge. Concomitant growth of the human impact and modification of the agricultural activities triggered another environmental problem, i.e. the aquifer and water pollution.

The increase of the withdrawals in the last two decades and the pollution risk raise an environmental alarm for the Alban Hills hydrogeological unit.

## **Groundwater hydrodynamics and pollution of the Gabii area**

In this study, the research activities were concentrated at the Northern border of the Alban Hills, in an area of 40 km<sup>2</sup> characterised by urban neighbourhood of Rome, a peculiar geological setting, a rich groundwater system, historic agricultural activities and the presence of an important archaeological site, i.e. the ancient Roman town of Gabii.

---

<sup>14</sup> Regione Lazio, 1999.

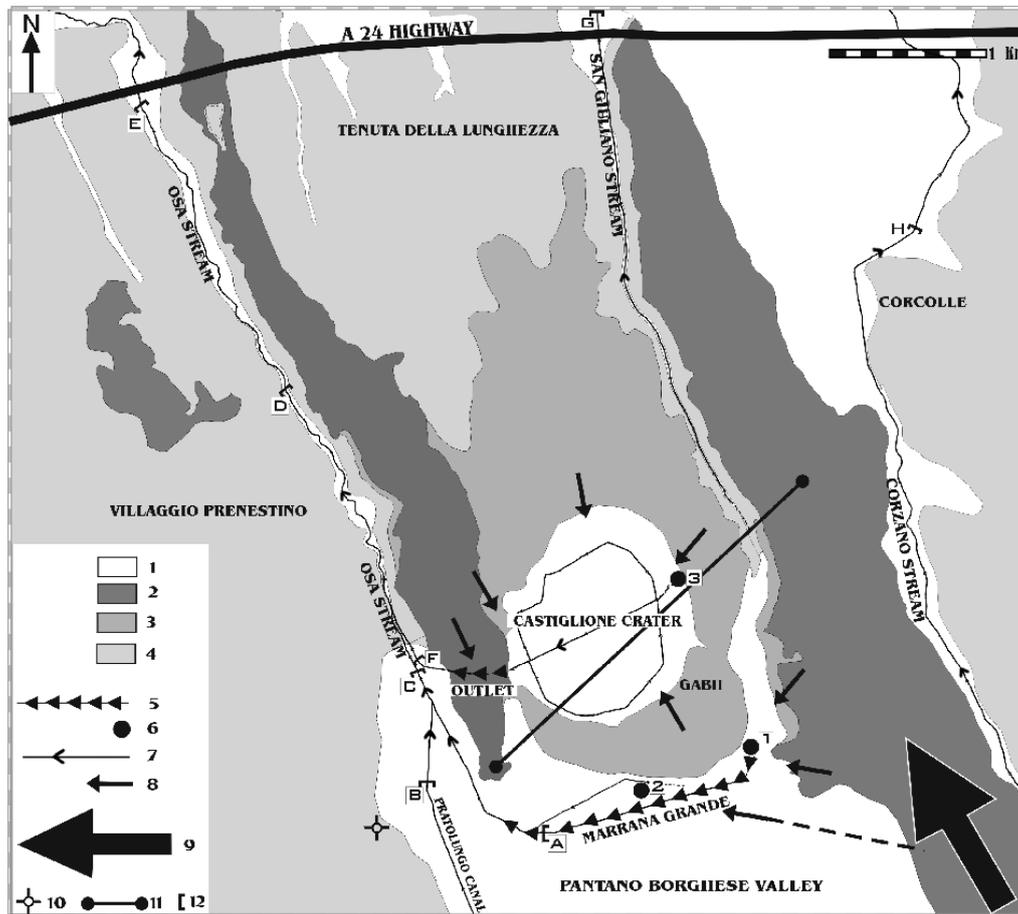
<sup>15</sup> Boni et alii, 1986; Celico, 1983.

<sup>16</sup> Dragoni, 1998.

<sup>17</sup> Capelli et alii, 2000.

<sup>18</sup> Giordano et alii, 2000.

The hydrogeological setting (Fig. 3) is defined by the Castiglione tuff ring and the two lava flows (Osa and Saponara) which represent the more permeable deposits overlying the Villa Senni pyroclastic aquiclude. The recent alluvial and colluvial deposits covering the flood areas of the Castiglione crater and the Pantano Borghese Valley, with a thickness of 10-20 m, show an intermediate permeability.



**Fig. 3 - Hydrogeological map of the Gabii area**

Legend: 1) alluvial deposits aquitard; 2) lava flows aquifer (F. Benzene, Osa, Saponara); 3) Castiglione hydromagmatic unit aquifer; 4) pyroclastic flow units aquiclude (Villa Senni and Pozzolane Nere); 5) streambed spring; 6) spring; 7) main stream; 8) local groundwater flowpath; 9) regional groundwater flowpath; 10) well exploitation for irrigation; 11) hydrogeological section (see Fig. 4); 12) stream discharge measurement.

The human activities affected the hydrographic network since the Roman times, when Gabii was inhabited. The problem of the reclamation of the area, flooded mainly by springwaters, was solved by the Romans by realising an underground outlet of the Castiglione Lake, to obtain terrains for agricultural activities. In the Imperial Age, in the city of Gabii there were cold baths probably connected with settlements using groundwater.

During the Middle Age, the Roman outlet became out of order and the Castiglione Lake covered the crater area. In the XVII Century new reclamation works started in the Pantano Borghese area; the hydrographic network was completely modified by digging an artificial canal (Marrana Grande) collecting the waters of the Pantano Borghese drained by the Osa Stream (Fig. 3). Only in the XIX Century a new underground outlet of the Castiglione Lake was realised, leading to present-day situation.

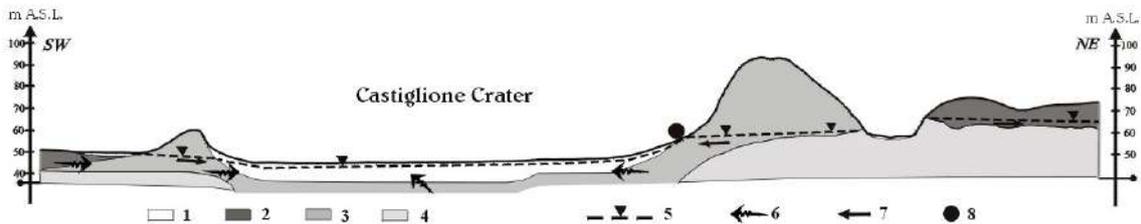
In the last decades new human settlements, connected with the urban expansion of Rome, covered the Gabii area. This uncontrolled growth caused wastewater discharge into the streams, increase of the withdrawals from groundwater and agricultural practice changes, favouring pesticide uses.

During 2000-2001 new hydrogeological studies were performed in the Gabii area to evaluate the changes related to the human pressure and to program protection measures. The discharge measurements (October 2001 and February 2002, see Table 1) show a groundwater discharge in the Marrana Grande canal and a constant regime of the Osa Stream (Fig. 3). The Osa Stream receives the contribution of the Marrana Grande (450 l/s) and the Pratolungo Stream (30 l/s) due to human activities and of the Castiglione outlet (35 l/s), obtaining a total discharge of 515 l/s. The discharge decrease measured along the Osa Stream (from 515 to 450 l/s) is due to artificial diversions or to sub-surface flow through the streambed.

**Table 1 - Main stream discharge in the Gabii area during October 2001 and February 2002 (see Fig. 3 for location)**

	<i>STREAM</i>	<i>OCTOBER 2001 (l/s)</i>	<i>FEBRUARY 2002 (l/s)</i>
A	MARRANA GRANDE	504	452
B	PRATOLUNGO CANAL	24	34
C	OSA STREAM	490	444
D	OSA STREAM	425	454
E	OSA STREAM	448	448
F	CASTIGLIONE VALLEY EFFLUENT	31	36
G	SAN GIULIANO STREAM	5	10
H	CORZANO STREAM	30	50

The groundwater contribution to the area is related to the Marrana Grande streambed spring, with the presence of minor localised springs, and to the Castiglione outlet, draining some springs located along the inner boundary of the crater (Fig. 4).



**Fig. 4 - Hydrogeological section (see fig. 3 for location)**

Legend: 1) alluvial deposits aquitard; 2) lava flows aquifer; 3) Castiglione hydromagmatic unit aquifer; 4) pyroclastic flow units aquiclude; 5) piezometric level; 6) groundwater seepage; 7) local groundwater flowpath; 8) spring

From these data, it is possible to elaborate a conceptual hydrogeological model of the Gabii area, as follows (Fig. 3):

- the Castiglione outlet (35 l/s) is fed by the hydromagmatic pyroclastic aquifer, with a contribution of 25 l/s;
- the Osa lava flow aquifer feeds the remaining discharge of 10 l/s to the Castiglione underground outlet, which in its final part intercepts the lava flow (Fig. 4). This hypothesis is supported by the evidence of the low discharge into the Castiglione stream at the entrance of the underground outlet (< 10 l/s) with a groundwater drainage along the tunnel;
- the Saponara lava flow aquifer is drained by the Marrana Grande canal, with a maximum contribution of 30 l/s, despite the more than 450 l/s measured. It is evident that the Saponara lava represents a preferential groundwater flow system that collects the groundwater from the regional aquifer and delivers it to the Marrana Grande canal at the boundary (permeability limit) of the Saponara lava flow aquifer;
- the alluvial and colluvial deposits within the Castiglione crater and Pantano Borghese Valley represent the final destination of the groundwater flow as they host an aquifer draining the groundwater seepage from pyroclastic and lava deposits.

The situation of the Gabii area confirms the role of the lava flows in the Alban Hills regional aquifer, hosting preferential groundwater flow from the central area of the hydrogeological unit. At the same time, the local hydrodynamic is influenced by pyroclastic aquifers, low-permeability aquiclude (Villa Senni deposits), recent alluvial deposits and hydrographic network.

The observed discharge decrease of the Osa springs (from 750 l/s in the 1980s to the 450 l/s to-day) confirms the heavy depletion of the regional aquifer, with 40% of water resources lost.

Fortunately the pollution indicators show a situation without irreparable unbalances. A nitrate survey on springs and streams (Table 2) evidences a low degree of pollution from agricultural activities. The highest nitrate amounts are observed along canals and streams (superficial waters, 8 mg/l) while significantly lower amounts are observed in springs (2 mg/l). The Pratolungo stream is the only situation at risk, the ammonia ion concentration (5 mg/l) probably indicating some pollution by urban wastewater.

**Table 2 - Chemical parameters determined by Spectroquant Kits (Merck) in February 2002 (see Fig. 3 for location)**

	SPRING AND STREAM	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
1	SPRING 1 -Pantano Borghese-	< 0,1	5
2	SPRING 2 -Pantano Borghese-	< 0,1	5
3	SPRING 3 -Valle di Castiglione-	0,1	2
A	MARRANA GRANDE	< 0,1	8
B	PRATOLUNGO CANAL	5,2	5
D	OSA STREAM	0,3	6
E	OSA STREAM	0,1	8
G	SAN GIULIANO STREAM	< 0,1	3
H	CORZANO STREAM	< 0,1	13

### Future purposes

The results of the study evidence the necessity to preserve the Gabii area from further human impacts. The Gabii area shows a local groundwater availability (60-70 l/s) only partially affected by moderate pollution due to agricultural activities. In addition, there is a groundwater discharge from the Alban Hills regional aquifer (450 l/s) 40% decreased respect to the 1980s. These resources could be used to preserve environmental characteristics into the stream ecology and, in part, to ensure the maintenance of the agricultural activities, menaced by growing human pressure.

At the same time, the existence of the Gabii Archaeological Park could allow the protection of the area, by including the surrounding agricultural areas into the park itself, which could be devoted to a “biological cultivation” avoiding pesticides and fertilizers.

Only a composed project of an archaeological and agricultural park could preserve the current unbalanced equilibrium of the area, ensuring the future survival of the man-history-water-agriculture system of the Gabii area.

## Bibliography

Boni C., Bono P., Capelli G., Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale, *Memorie Società Geologica Italiana*, 36, 1986, pp. 991-1012.

Boni C., Bono P., Lombardi S., Mastrorillo L., Percopo C., Hydrogeology, fluid geochemistry and thermalism, *The Volcano of the Alban Hills*, R. Trigila editor, SGS Press, Roma, Italy, 1995, pp. 221-242.

Capelli G., Mazza R., Giordano G., Cecili A., De Rita D., Salvati R., The Colli Albani volcano (Rome, Italy): breakdown of a hydraulic unit's equilibrium as result of unplanned and uncontrolled over exploitation, *Hydrogeologie*, 4, BRGM, France, 2000, pp. 109-116.

Celico P., Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale: Progetti speciali per gli schemi idrici nel Mezzogiorno, *Quaderni Cassa Mezzogiorno*, 4\2, Roma, 1983, pp. 1-225.

Custodio E., Groundwater quantity and quality changes related to land and water management around urban areas: Blessings and misfortunes, *Groundwater in the Urban Environment*, Chilton et alii editors, Balkema, Rotterdam, 1997, pp. 11-22.

De Rita D., Faccenna C., Funicello R., Rosa C., Stratigraphy and volcano-tectonics, *The Volcano of the Alban Hills*, R. Trigila editor, SGS Press, Roma, Italy, 1995, pp 33-71.

De Rita D., Funicello R., Parotto M., *Geological Map of the Colli Albani Volcanic Complex*, Progetto Finalizzato Geodinamica CNR, Rome, Italy, 1988.

Dragoni W., Some considerations on climatic changes, water resources and water needs in the Italian region South of the 43°N, *Water, Environment and Society in Times of Climatic Change*, N. Brown and A. S. Issar editors, Kluwier Academic Publications, Netherlands, 1998, pp. 241-271.

Follieri M., Magri D., Sadori L., 250 000 year pollen record from Valle di Castiglione (Roma), *Pollen et Spores*, 30, 1988, pp. 329-356.

Fornaseri M., Scherillo A., Ventriglia U., *La regione vulcanica dei Colli Albani: il Vulcano Laziale*, CNR, p. 561. Rome, Italy. 1963.

Freda C., Gaeta M., Palladino D. M., Trigila R., The Villa Senni Eruption (Alban Hills, Central Italy): the role of H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> on the magma chamber evolution and on the eruptive scenario, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 78, 1997, pp. 103-120.

Giordano G., Mazza R., Cecili A., Capelli G., De Rita D., Bigi G., Rodani S., GIS for groundwater management in cities on volcanoes: example from the Colli Albani Region, Rome, Italy, *Journal of Nepal Geological Society*, 22, 2000, pp. 315-326.

Karner D. B., *<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Age Calibration of the 100 000 Year Middle Pleistocene Climate Cycle*, Physics Degree Thesis, University of California, Berkeley, 1997, p. 285.

Karner D. B., Marra F., Renne P. R., The History of the Monti Sabatini and Alban Hills Volcanoes: Groundwork for Assessing Volcanic-Tectonic Hazards for Rome, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 107, 2001, pp. 185-219.

Marra F., Freda C., Scarlato P., Taddeucci J., Karner D. B., Renne P. R., Gaeta M., Palladino D. M., Trigila R., Cavarretta G., Post-caldera activity in the Alban Hills Volcanic District (Italy): <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology and insights into magma evolution, *Bulletin of Volcanology*, in press, 2002.

Regione Lazio, *Studio idrogeologico del complesso vulcanico dei Castelli Romani e sistema gestionale per la tutela della risorsa idrica*, ST10, Unpublished report, 1999.

Trigila R., Agosta E., Currado C., De Benedetti A. A., Freda C., Gaeta M., Palladino D. M., Rosa C., Petrology, *The Volcano of the Alban Hills*, R. Trigila editor, SGS Press, Roma, Italy. 1995, pp. 95-165.

Washington H. S., *The Roman Comagmatic Region*, Carnegie Institute, Washington, Yb 56, 1906, pp. 206-214.



## **ASPETTI GRAVIMETRICI DELLA STRUTTURA DI CIAMPINO (ROMA)**

Michele DI FILIPPO, Tania RUSPANDINI, Beniamino TORO, Università degli studi “La Sapienza”, Roma.

### **Abstract**

The Alban Hills region is affected by seismic swarm activity and hydrothermal activity and to better know the structural setting of the area setting several geophysical prospecting have been carried out. In this paper are discussed the results of a detailed gravity prospecting carried out in the Ciampino and Marino area where gas vents, both in soils and ground-waters, are frequent.

The Alban area is located in a complicate gravity setting for the presence of a positive and negative structures. The gravity maps were constructed using data from the Italian Geological Service and data from recent gravity prospecting performed by the authors. The Bouguer map, that represents the effects of the deepest structures, is characterised by a large gravity high with two culminations; the axis is broken in two parts. The first one is corresponding to the urban area of Ciampino and it is North-South trending and the second one to the Piano di Coste Rotonde, North-West – South-East trending.

To obtain more information about the local shallow events a residual gravity map was realised by subtracting the regional field from the Bouguer anomalies. Similarly to the Bouguer map the residual map is characterised by a wide gravity high, but this is well defined and presents five culminations. This gravity setting suggests that the gravity high of Ciampino, precisely the carbonatic substratum, presents tectonic dislocations due to fractures or faults.

In fact the Cava dei Selci area, where the gas vents are more frequent (mainly carbon dioxide, hydrogen sulphide and radon) is localised where the axis is broken and changes its trend, in other hand the vents are the result of the tectonic dislocations. To better define this setting four bidimensional gravity models have been realised, three are perpendicular to the contour lines and one is parallel to the axis.

### **Riassunto**

Il distretto vulcanico dei Colli Albani, interessato da un'intensa attività sismica ed idrotermale, è stato oggetto nel tempo di numerose indagini geofisiche. In questo lavoro sono presentati e discussi i risultati di una prospezione gravimetrica condotta nell'area di Ciampino e Marino, dove frequentemente si verificano emissioni gassose. L'elaborazione dei dati osservati e di quelli preesistenti ha permesso di realizzare una nuova mappa delle anomalie di Bouguer e delle Anomalie residue, oltre alla costruzione di alcuni modelli gravimetrici bidimensionali. Sia l'analisi qualitativa che quantitativa indica un massimo gravimetrico, corrispondente all'alto strutturale di Ciampino, caratterizzato da culminazioni separate da selle, in corrispondenza delle quali si misurano i valori più elevati delle emissioni gassose, ad indicare un substrato pre-vulcanico dislocato da faglie e fratture.

## Introduzione

Scopo del presente lavoro è di ampliare lo stato delle conoscenze tra gravità e strutture sepolte nell'area del distretto vulcanico dei Colli Albani, con particolare attenzione ai comuni di Ciampino e Marino, attraverso un rilievo gravimetrico ottenuto dall'integrazione di dati gravimetrici esistenti con i risultati di nuove prospezioni. L'area in esame presenta un'intensa attività, sia vulcanica (con numerose emissioni gassose, in particolare di CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>S, e relativi problemi alle popolazioni dei Comuni in questione) che sismica, caratterizzata da frequenti sciame sismici a cascata.

Il quadro d'insieme delle anomalie di gravità relative all'area laziale (Fig. 1) consente una prima analisi per il settore dei Colli Albani. Le anomalie di Bouguer indicano un graduale decremento in gravità da Ovest verso Est, dovuto all'approfondimento della Moho, con un conseguente aumento dello spessore crostale e dello spessore dei sedimenti terrigeni a bassa densità, ed una serie di massimi e minimi di direzione appenninica. Per sottrazione del Campo Regionale dalla mappa di Bouguer, dove il Campo Regionale è definito come l'anomalia dovuta a masse profonde e costituisce il fondo comune ai valori di gravità in tutta l'area, si ottiene la carta delle anomalie residue dove sono ancor più evidenti e definiti i massimi e minimi gravimetrici: da Ovest verso Est si riconosce la struttura positiva di Tragliata-Spinaceto, separata da un ampio minimo dall'alto gravimetrico di Cesano che prosegue verso Sud, attraverso l'alto di Tor di Quinto, fino al massimo di Ciampino. Ancora più ad Est il panorama gravimetrico è caratterizzato dal massimo della struttura Soratte-Cornicolani. In generale è possibile verificare che i massimi assoluti corrispondono agli affioramenti calcarei-mesozoici, i massimi gravimetrici relativi a strutture sepolte, mentre i minimi sono imputabili sia a settori fortemente ribassati del substrato carbonatico, sia a notevoli spessori di sedimenti plio-quadernari a bassa densità.

L'analisi qualitativa e quantitativa delle nuove mappe gravimetriche elaborate ha consentito una migliore definizione e un maggior dettaglio della struttura gravimetrica positiva di Ciampino, ovvero del substrato pre-vulcanico, e le probabili implicazioni tra assetto strutturale ed emanazioni gassose.

## Anomalie di Bouguer

La prospezione gravimetrica è stata eseguita con un gravimetro La Coste & Romberg mod. D n. 60, mentre per l'ubicazione e la determinazione della quota dei punti di misura è stato utilizzato un sistema GPS differenziale.

Ai valori osservati sono state apportate le usuali correzioni e la carta delle anomalie di Bouguer è stata calcolata utilizzando, per la correzione per la piastra e per la correzione topografica, un valore di densità pari a 2,3 g/cm<sup>3</sup>.

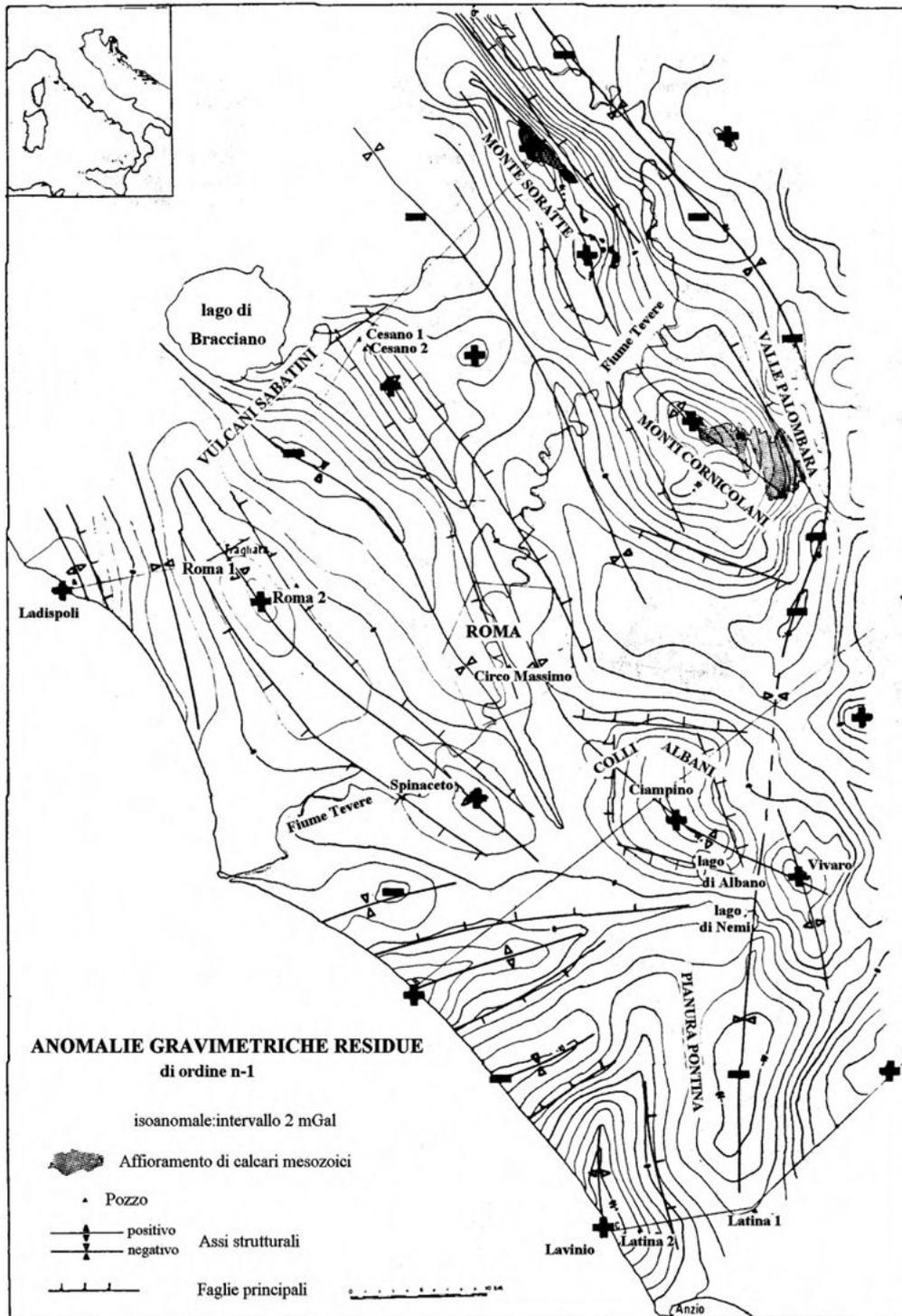
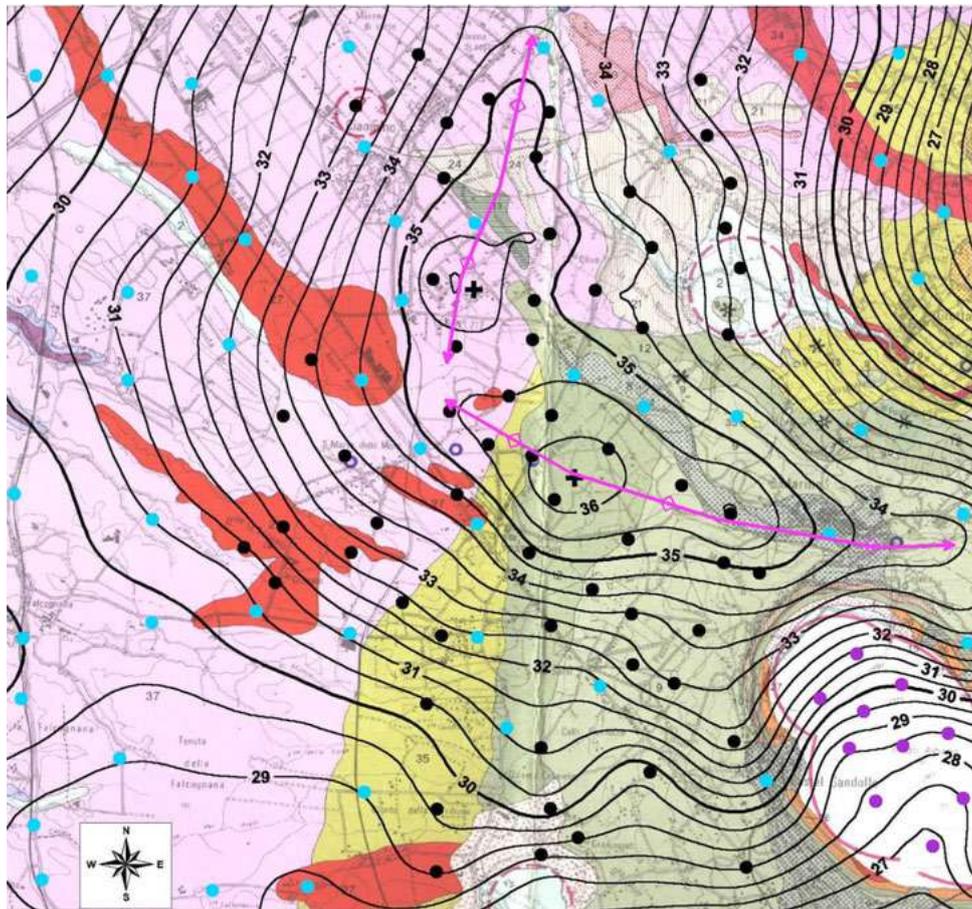


Fig. 1 - Carta delle anomalie residue del Lazio meridionale (Toro, 1976)

La mappa delle anomalie di Bouguer (Fig. 2) ottenuta dall'elaborazione dei dati rilevati e dei dati esistenti mostra un range di valori di anomalia di gravità compresi tra +26 mGal e +36 mGal, con un ampio massimo gravimetrico, ben definito (+ 36 mGal) caratterizzato da due culminazioni, di cui quella più settentrionale, con asse gravimetrico di direzione Nord-Sud, corrisponde all'abitato di Ciampino, mentre la seconda in località Piano di Coste Rotonde presenta direzione pressoché appenninica. Quindi si osserva un rapido decremento in gravità ad Est di Ciampino, verso gli abitati di Marino e Grottaferrata, e a Sud in corrispondenza del lago di Albano. La diminuzione è più graduale nel settore Sud-occidentale, nell'area che va da Ciampino verso la città di Roma. La peculiarità della nuova mappa di Bouguer è nella maggiore definizione dell'alto gravimetrico che si presenta più articolato con due culminazioni separate da una sella, non evidenti dalle precedenti indagini, che vanno ad indicare un'interruzione dell'asse gravimetrico positivo, ovvero un substrato pre-vulcanico dislocato.



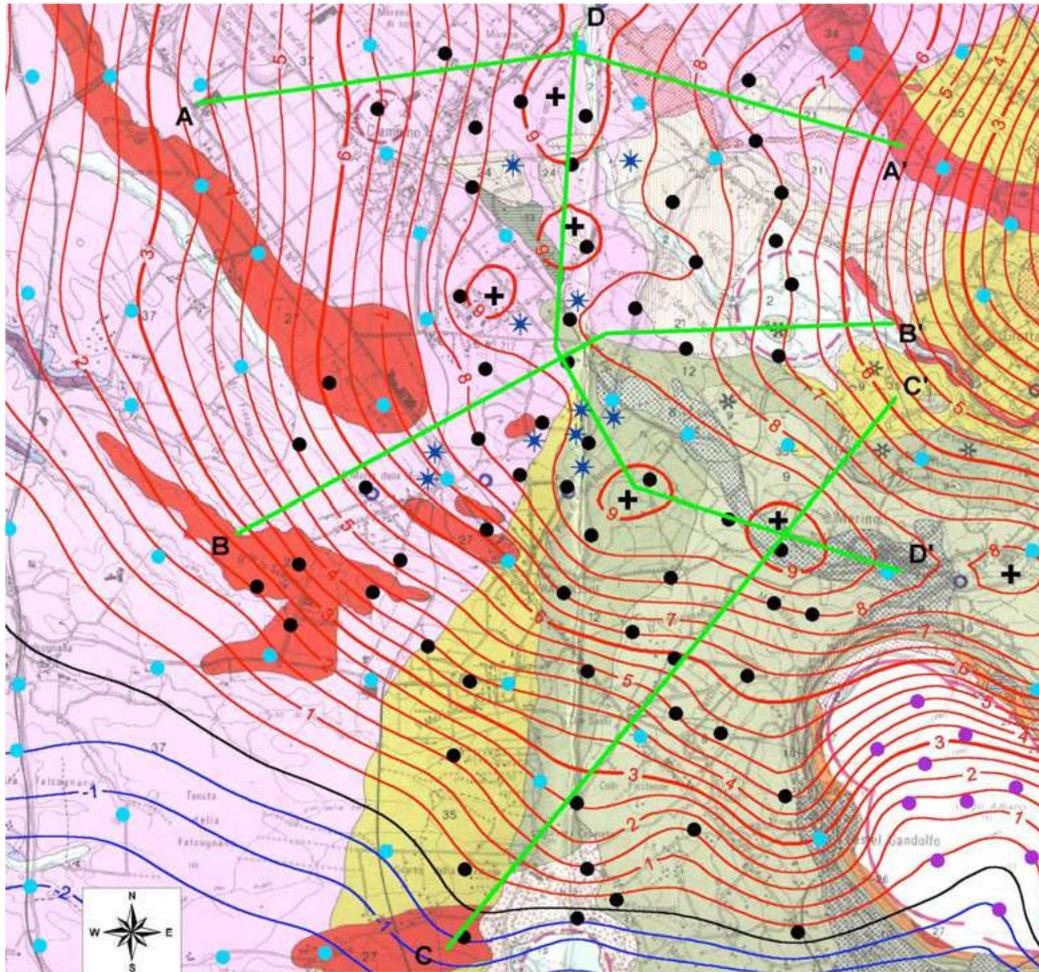
**Fig. 2 - Mappa delle Anomalie di Bouguer (intervallo delle isoanomale 0,5 mGal). Stralcio della Carta Geologica del Complesso vulcanico dei Colli Albani (De Rita et alii, 1988)**

Legenda:

- Nuove stazioni gravimetriche
- Stazioni gravimetriche preesistenti
- + Zona di massimo gravimetrico

## Anomalie residue

Per evidenziare anomalie superficiali dovute a strutture geologiche locali è stata elaborata la mappa delle anomalie residue (Fig. 3) ottenuta sottraendo il Campo Regionale dalle anomalie di Bouguer. La carta segue nelle linee generali la carta di Bouguer, con i valori che variano tra  $-1$  mGal e  $+9$  mGal, con una buona corrispondenza tra anomalie positive e localizzazione degli alti strutturali.



**Fig. 3 - Mappa delle Anomalie Residue (intervallo delle isoanomale 0,5 mGal). Stralcio della Carta Geologica del Complesso vulcanico dei Colli Albani (De Rita et alii, 1988)**

Legenda:

- Nuove stazioni gravimetriche
- Stazioni gravimetriche preesistenti
- + Zona di massimo gravimetrico
- ★ Emissioni di gas dal suolo
- Traccia delle sezioni

Anche in questo caso è ben evidente l'andamento prima Nord - Sud e poi Nord-Ovest – Sud-Est dell'asse gravimetrico positivo. Il dato più interessante è rappresentato dalla netta definizione dei massimi gravimetrici: un massimo assoluto di +9 mGal risulta essere articolato in cinque culminazioni diverse, separate da selle, in corrispondenza degli abitati di Ciampino e Marino. Si osserva inoltre un massimo relativo di +8 mGal a Sud-Ovest dell'ampia struttura positiva.

La particolare caratteristica di questi alti gravimetrici evidenzia ancor più marcatamente rispetto alla mappa di Bouguer la probabile disarticolazione dell'alto strutturale di Ciampino in culminazioni dislocate e separate da faglie e fratture, dove quest'ultime sarebbero responsabili delle emissioni di gas, principalmente anidride carbonica, idrogeno solforato e radon, presenti negli strati profondi che risalgono sia direttamente dal suolo che associati ad acque sotterranee. I punti di emissione di gas dove sono stati misurati i valori più elevati (zona di Cava dei Selci) sono in corrispondenza delle selle che separano le diverse culminazioni dell'alto gravimetrico e dove l'asse gravimetrico positivo cambia la propria direzione, ovvero le emissioni di gas si verificano laddove, con ogni probabilità, l'alto strutturale di Ciampino risulta essere dislocato.

### **Modelli gravimetrici bidimensionali**

All'interpretazione qualitativa è seguita un'analisi quantitativa dell'andamento del sottosuolo attraverso l'elaborazione di quattro modelli gravimetrici bidimensionali (Fig. 4). I profili sono costruiti sulla base della mappa delle anomalie residue secondo diverse direzioni: tre in direzione perpendicolare alle isoanomalie ed una quarta sezione disposta parallelamente all'asse gravimetrico positivo in modo da intersecare le altre tre. Attribuendo ai corpi presenti nel sottosuolo densità diverse, il programma utilizzato permette di confrontare in modo iterativo i dati sperimentali con quelli teorici, fino a raggiungere il miglior accordo possibile fra loro. Nell'elaborazione dei modelli è stato considerato un valore di densità del basamento cristallino pari a  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , in base al quale sono stati assegnati i seguenti contrasti di densità:  $-0,1 \text{ g/cm}^3$  per la successione pelagico-mesocenoica,  $-0,3 \text{ g/cm}^3$  per i depositi flyshoidi,  $-0,6 \text{ g/cm}^3$  per il complesso plio-quadernario delle vulcaniti, sabbie ed argille.

I modelli ottenuti trovano una buona correlazione con le anomalie di gravità. In particolare le tre sezioni (AA, BB, CC) disposte pressoché ortogonalmente all'asse gravimetrico positivo, lungo il quale corre la sezione DD, suggeriscono ipotesi interpretative accettabili con le conoscenze geologiche dell'area e compatibili con i parametri di densità e con le geometrie. In corrispondenza dell'asse gravimetrico positivo il substrato pre-vulcanico, costituito dalle successioni carbonatiche sepolte, risulta essere sollevato, sebbene non siano evidenti faglie di elevato rigetto, ma è possibile ipotizzare una fratturazione diffusa del substrato correlabile anche al fenomeno delle emanazioni gassose.

## MODELLI GRAVIMETRICI BIDIMENSIONALI

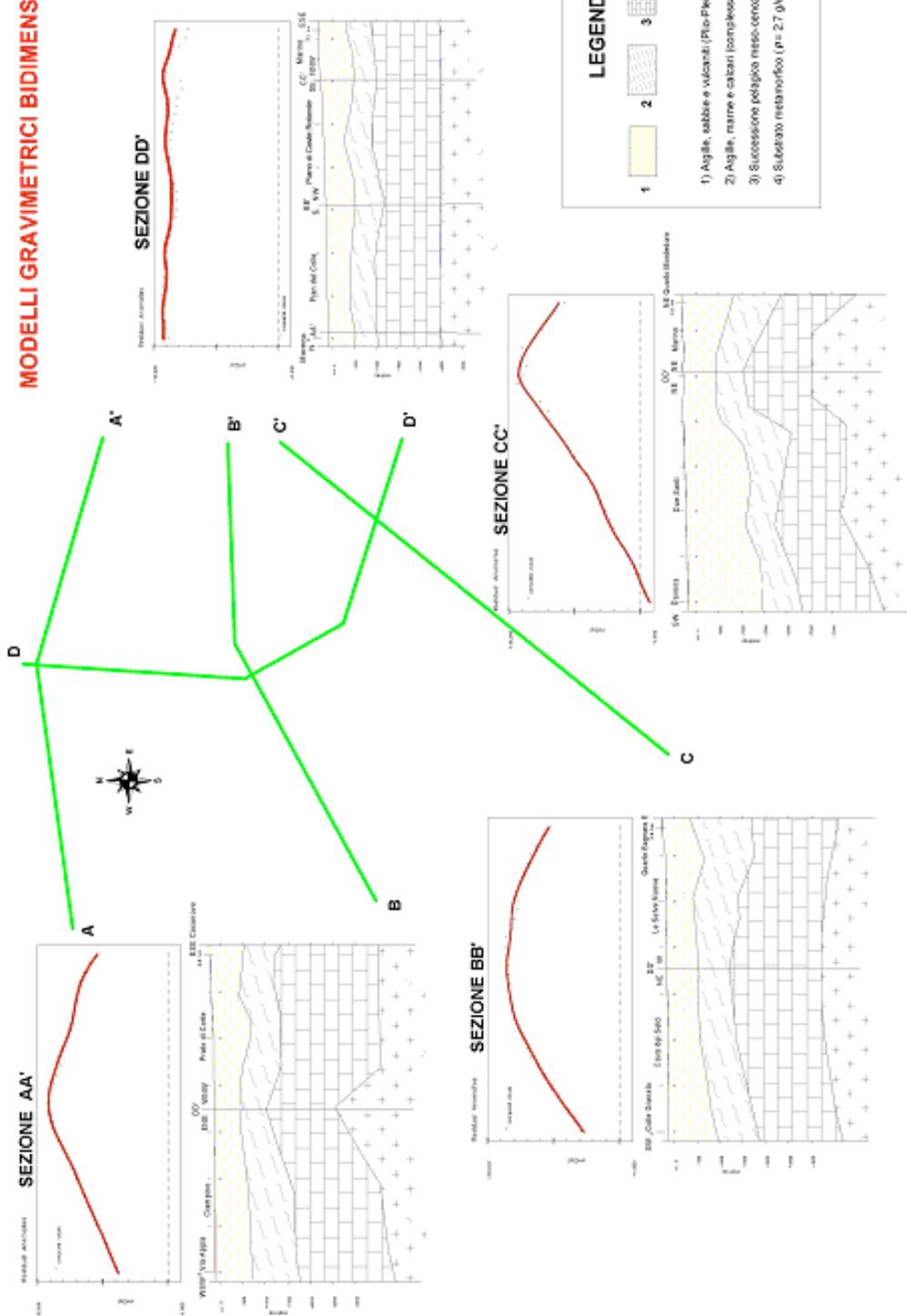


Fig. 4 - Modelli gravimetrici bidimensionali

## Conclusioni

L'interesse di uno studio di dettaglio in un'area già oggetto di numerose ricerche gravimetriche è motivato dall'intensa attività idrotermale e sismica, con vistose emanazioni gassose, che interessa la zona di Ciampino e Marino nel distretto vulcanico dei Colli Albani. I dati delle nuove prospezioni gravimetriche, congiuntamente a quelli esistenti, hanno consentito l'elaborazione di mappe gravimetriche aggiornate, che meglio hanno evidenziato e definito l'alto strutturale presente nell'area in questione. Con l'ausilio di modelli gravimetrici bidimensionali si è cercato di interpretare la geometria del sottosuolo, ricostruendo una situazione che tenesse conto dei fattori ambientali e delle conoscenze geologiche dell'area e che contemporaneamente soddisfacesse il modello geofisico ricostruito.

Le ipotesi interpretative suggeriscono un sollevamento del substrato pre-vulcanico in corrispondenza del massimo gravimetrico e delle culminazioni che lo caratterizzano. Non sono ipotizzabili faglie di notevole rigetto, ma una serie di faglie e fratture, non evidenziate dalle precedenti indagini geofisiche e correlabili anche al fenomeno delle frequenti emanazioni gassose; esse vanno a dislocare il substrato pre-vulcanico in corrispondenza delle culminazioni e delle selle caratterizzanti l'alto strutturale.

## Bibliografia

Amato A., Chiarabba C., Earthquake occurrence and crustal structure, *The Volcano of the Alban Hills*, Roma, 1995, pp. 193-209.

Baubien S. E., Ciotoli G., Lombardi S., Carbon dioxide and Radon hazard in the Alban Hills area (Central Italy), *Journal of Volcanology and Geothermal Research* in print, 2002.

De Rita D., Faccenna C., Funiciello R., Rosa C., Stratigraphy and volcano-tectonics, *The Volcano of the Alban Hills*, Roma, 1995, pp. 33-66.

De Rita D., Funiciello R., Parotto M., *Carta geologica del Complesso Vulcanico dei Colli Albani, Scala 1 : 50 000*, CNR, 1988.

Di Filippo M., Toro B., Analisi gravimetrica delle strutture geologiche del Lazio meridionale, *Geologica Romana*, XIX, 1980, pp. 285-294.

Di Filippo M., Toro B., Lazio: anomalie di Bouguer e Campo Regionale del 1° ordine, *Rendiconti Società Geologica Italiana*, 5, 1982, pp. 25-28.

Di Filippo M., Toro B., *Gravity features in the Volcano of the Alban Hills*, Roma, 1995, pp. 213-218.

Funiciello R., Parotto M., Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino centrale, *Geologica Romana*, XVII, 1978, pp. 233-287.

Maino A., Motta A., Segre G., Considerazioni sui rapporti tra gravimetria e geomorfologia per il Foglio 150 Roma (Vulcano Laziale) della Carta d'Italia al 100 000 dell'IGMI, *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, XXVIII, 1969, pp. 173-184.

Toro B., Gravimetry and deep structure of the Sabatinian and Alban volcanic areas (Latium), *Geologica Romana*, XV, 1976, pp. 301-310.



# VOLCANIC HAZARD ASSESSMENT DUE TO HYDROMAGMATIC ERUPTIONS ON THE BASIS OF WMI<sup>1</sup> LABORATORY EXPERIMENTS: THE CASE OF LATERA VOLCANO (VULSINI DISTRICT) AND ALBAN HILLS

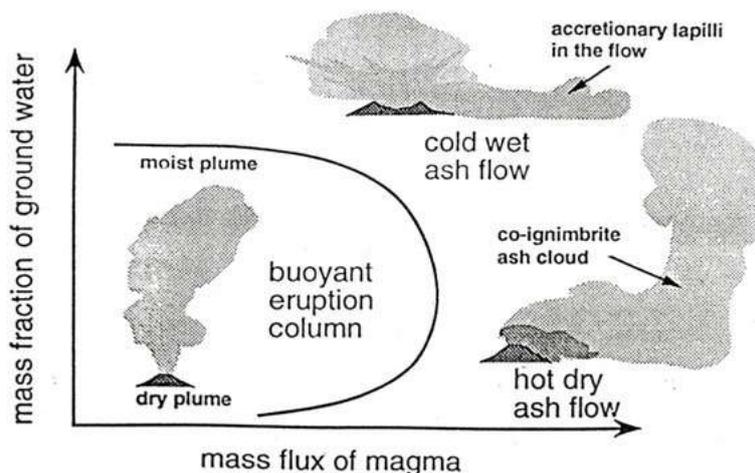
Raffaello TRIGILA, Luigi CASTIGLIONE, Università degli studi “La Sapienza”, Roma.

## Introduction

In the study of explosive volcanoes it has been recognized that hydromagmatic eruptions occur at the beginning or at the end of activity cycles. In both cases, they mark, usually, the end of long repose periods and/or are associated to important structural changes in the volcano structure, i.e. caldera collapses. This happened for the famous 79 AD Mount Vesuvius eruption ending with a strong hydromagmatic phase that destroyed the town of Ercolanum<sup>2</sup>.

Hydromagmatic eruptions are characteristic of virtually all the recent or active volcanoes of the Thyrrenian margin (Vulsini, Vico, Sabatini, Valle Latina, Roccamonfina, Campi Flegrei and Vesuvius) testifying the key role they had in building the volcanic complexes of Central Italy.

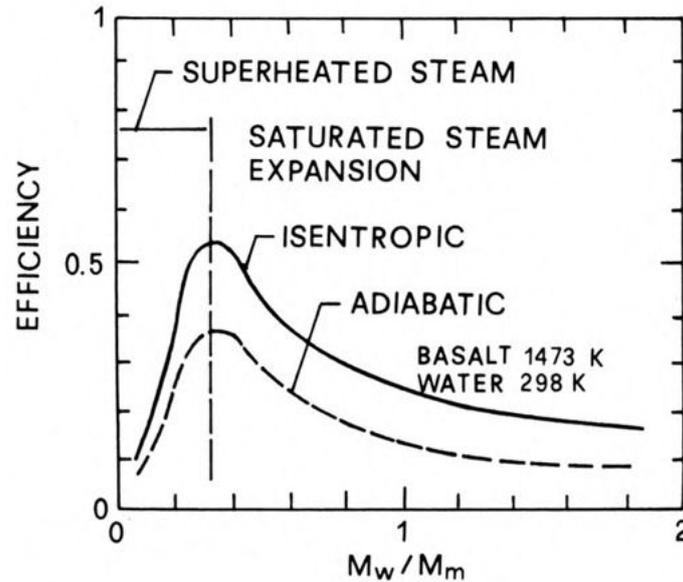
In the hydromagmatic eruptions, differently from the other types of explosive eruptions that are well defined on the grounds of released mechanical energy and mass transport, these two parameters are greatly variable (Fig. 1) with important implications on the volcanic hazard assessment.



**Fig. 1 - Types of hydromagmatic eruptions arising from different mass fraction of ground water related to different mass flux of magma (Koyaguchi, Woods, 1996)**

<sup>1</sup> WMI: Water-Magma Interaction.

<sup>2</sup> Sigurdsson et alii, 1985.



**Fig. 2 - Efficiency of magma-water interaction related to water-magma mass ratios:  $M_w/M_m$  (Dobran, 2001)**

In turn the released mechanical energy per mass unit is dependent by the water/magma mass ratio (Fig. 2), the degree of water–magma mixing, the pressure (depth) and the temperature of water and magma and finally the rheological properties of magma. The mass transport, which is the most relevant parameter for the volcanic hazard assessment, is primarily dependent by the degree of mixing between water and magma. This, in turn, is enhanced by internal inhomogeneities in the magma structure as produced by melt crystallisation and/or vesiculation processes. When the superficial mass transport involves relevant volumes of matter per time unit, the transported dispersions lose their original peculiar textural and structural characters due to water–magma interaction process (that originate normally the well sorted, sand size, thin pyroclastic layers) gaining instead the peculiar textural and structural characters arising by the involved specific superficial mass transport processes. E.g.: taking into account only the water–magma interaction mass ratio, if this is high enough to keep the system temperature in the field of liquid water, the transport mechanism will produce a mud–flow. As opposite, a very low water–magma interaction ratio will keep the system temperature in the field of vapor water and the transport mechanism will shift the structural and textural characters of forming layers toward the fall deposits typical of strombolian eruptions. The eruption may originate spatter cones or spatter flows according to the involved mass transport and magma rheological properties.

Because of this wide range of controlling parameters, hydromagmatic eruptions are very difficult to study and the mechanisms producing a high level of volcanic hazard are, up to date, poorly understood. For this reason a special experimental apparatus has been built with the purpose to reproduce the water-magma explosive interaction process at laboratory scale, generating pyroclasts similar for size and composition to those produced during hydromagmatic eruptions.

In this work the melt composition, the water-melt ratio and the other intensive variables were kept constant to understand the role of the other controlling parameters on the produced mechanical energy and mass transport mechanisms. In particular, it has been investigated the role of the homogeneity of the interacting material and the mode of water interaction on the efficiency of the conversion of the magma thermal energy into mechanical energy. In addition, because the efficiency of the mass transport is relevant for the evaluation of the volcanic hazard, the use of a special set-up of the apparatus has allowed an estimate of the amount of matter leaving the interaction site.

Finally, the results of these preliminary experiments have been applied to the hydromagmatic deposits of Poggio Pinzo–Onano E.U.<sup>3</sup> of Latera Volcano (Vulsini District) and to the Hydromagmatic Phase of Alban Hills Volcano (Latial district) in order to have a first idea of the most relevant parameters controlling the respective eruption cycles.

### **The experimental apparatus**

The experimental setup (Fig. 3) consists of four units, i.e. the interaction Unit, the water injection Unit, the PVT<sup>4</sup> control and recording Unit, and, finally, the gas compression Unit. The experimental setup has been designed by R. Trigila and installed at the experimental facilities<sup>5</sup> of Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli studi di Roma “La Sapienza”. The interaction Unit, manufactured by Leco Company (USA) is operative up to  $P_{\max} = 200$  MPa (gas Argon) and  $T_{\max} = 1200$  °C. This Unit is constituted by a large volume, 100 mm internal bore, internally heated pressure vessel containing the heating device and the interaction cell closed upwards with an Inconel 600 bellows, to keep the measurement of the volume variation due to H<sub>2</sub>O liquid-vapor transition. The sample holder runs through the whole heated area of the cell up to the top closed by the bellows, in form of a cylinder 20x180 mm in size. The lower part can accept the sample as fine powder or rock chips for a length of 60 – 90 mm being connected to a gasket sitting on top of this by a 3 mm stainless steel tubing to allow the eventual interaction products to leave the reaction site and to be collected after the experiment. The water, to be injected in the sample holder of the reaction cell, has a separate pressurization system working up to 200 MPa and arrives at room temperature into the sample holder via a capillary tube that can be positioned in any place within the cell. The injection system is equipped with a motorized valve that allows to discharge precise volumes of the injected water. A valves assisted circuit can connect or isolate the sample holder from the vessel body leaving the same pressure across the bellows or creating a modest differential pressure between the outside and the inside of the sample holder. This differential pressure can eventually act as a trigger for magma–water interactions.

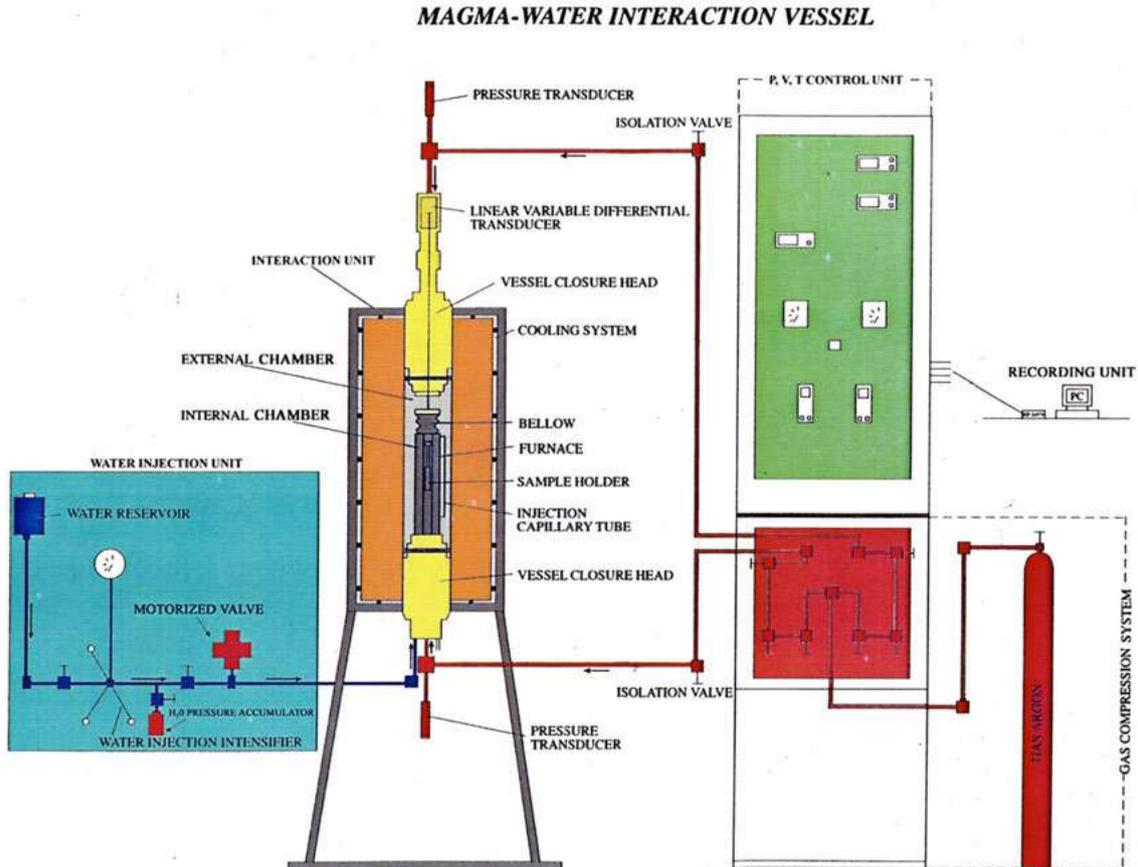
---

<sup>3</sup> E.U.: Eruption Unit.

<sup>4</sup> PVT: Pressure, Volume, Temperature.

<sup>5</sup> Trigila, Castiglione, 2000.

The PVT control and recording are assured by two pressure transducers measuring the pressure within the interaction cell and within the vessel body, two Pt/Pt-13%Rh thermocouples measuring the sample holder bottom and top temperatures and a linear variable differential transducer sitting on top of the bellows. PVT data are recorded during all the experiments by a computer assisted data logger.



**Fig. 3 - Experimental setup of the magma–water interaction apparatus (see text for explanation)**

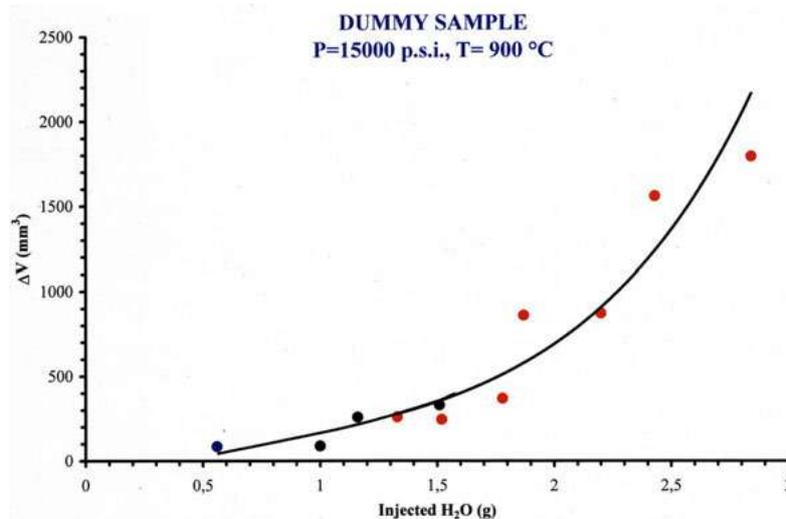
### Experimental procedures

All the experiments have been performed using a leucite tephrite sample (chemical and modal composition are showed in Table 1) from Onano spatter-flow (Latera volcanic complex in the Vulsini volcanic District) that is marking an important transition of the eruptive mechanism from the magmatic one to the hydromagmatic. The samples in form of 6 grams of finely grounded powder from the juvenile spatter producing a homogeneous melt interacting with water, or spatter grains 0.8 mm in size producing a inhomogeneous crystal-melt mush, have been reacted with water at temperatures between 800 and 1000 °C and confining pressure close to 7 MPa.

Water has been injected at pressures of 102 MPa following two different procedures: the isobaric one, by controlling the injection time, in order to keep fixed the amount of injected water, and the impulsive one, leaving the injection pressure decay from the initial value to that of the vessel pressure. The amount of injected water was kept as possible constant for both the experimental procedures varying from 1.5 to 1.6 g with a ratio melt/water almost constant for all the experiments i.e. between 4 and 3.75. To be able to compare the interaction results of impulsive injected water experiments against the isobaric ones, the volume expansion due to the interaction is related with the amount of injected water via calibration with a dummy sample made of a ceramic material (Fig. 4).

**Table 1 - Chemical and mineralogical composition of the starting material**

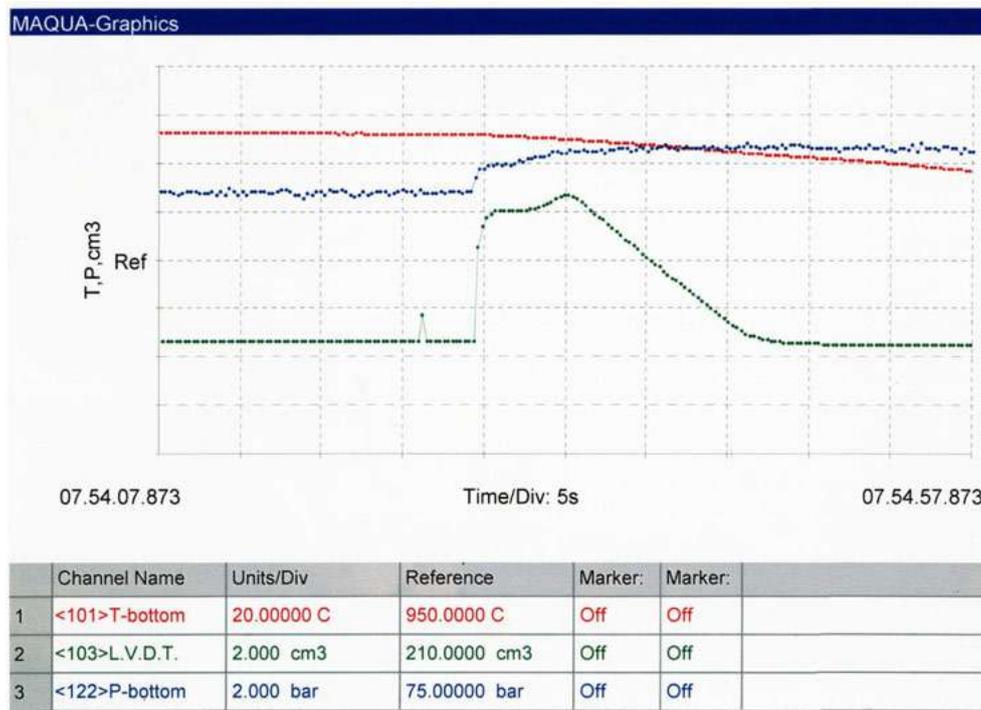
Chemical Analysis (wt%)		Modal Analysis (volume %)	
SiO <sub>2</sub>	49,14	Welded Ash Groundmass	57,4
TiO <sub>2</sub>	0,80	Light Pumices	16,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,58	Dark Pumices	12,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,78	Igneous Xenoliths	7,9
FeO	2,99	Sedimentary + Metamorphic Xenoliths	3,1
MnO	0,10	Leucite + Sanidine	0,1
MgO	3,14	Plagioclase	0,8
CaO	8,36	Biotite	0,1
Na <sub>2</sub> O	3,11	Pyroxene	1,9
K <sub>2</sub> O	6,73	Opakes	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,76	Total	100,0
Cl <sup>-</sup>	0,05		
BaO	0,18		
Loss on Ignition	2,38		
Total	100,10		



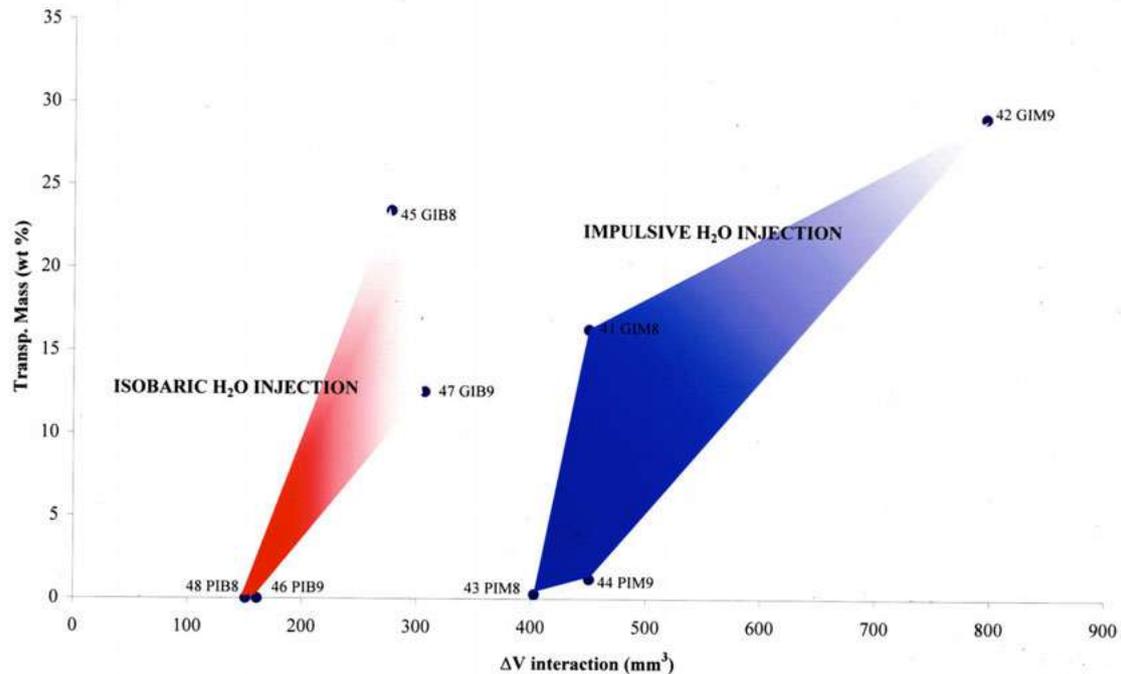
**Fig. 4 - Calibration diagram for impulsive (black dots) and isobaric (red dots) injected water experiments. This diagram allows to calculate the contribution of the amount of injected water to the sample holder volume expansion**

## Preliminary results

A typical record of an impulsive water injected experiment is reported in Fig 5. The results obtained from a selection of more representative experiments obtained at 102 MPa of injected water pressure are reported in Fig. 6, where the transported mass (wt%) is plotted against the volume expansion (mm<sup>3</sup>) of the cell due to the water-melt interaction. As expected, the melt temperature is linked positively both with the mass transport and system expansion. Very different role plays the aggregation state of the melt and the different water injection modes. A granular state of the melt, simulating a mostly crystallized (crystal–mush) system, enhances greatly the mass transport if compared with a system nearly completely molten as it is the case of the finely powdered starting material. Finally in the experiments with the impulsive water injected mode, because of the longer time for water injection, was recorded a volume expansion significantly larger than for the experiments with the isobaric water injection mode.



**Fig. 5 - Typical record of a melt-water interaction experiment of the impulsive injected water type. On the X axis it is reported the time scale. On the Y axis, T, P and V values are recorded. Bottom and top sample holder temperatures show a decreasing linear pattern because, to avoid external contributions of thermal energy, the furnace is kept off during the interaction. With this experimental procedure sample holder cell and the vessel body are communicating. As shown from by the sample holder volume variation the injected water, interaction time lasts 7 s**



**Fig. 6 - Volume expansion due to water-melt interaction versus transported material mass. If the starting material is rock-powder, it will give a homogeneous melt at the interacting conditions and almost all the produced work is spent for the melt fragmentation. If the starting material is granular, the melt fraction is scarce enveloping the crystalline domains, the crystal-mush will favour the water-melt mixing and most of the work is spent in the mass transport of the interacting material**

### **The cases of Latera (Vulsini Volcanoes) and Alban Hills hydromagmatic eruptions**

The climax of hydromagmatic activity at Latera Volcanic Complex occurred 170,000 years BP at the end of the eruptive cycle forming the Latera caldera, when were erupted the pyroclastic successions of the so called Onano-Poggio Pinzo Unit. The lower member (Onano) consists, mostly, of a pyroclastic flow deposit, while the upper one (Poggio Pinzo) is a sequence of an air-fall and pyroclastic surge deposit. This is marked at its basis by a spectacular spatter flow formed by black and violet, distinctly aligned, flattened and welded pumices, up to one meter long, embedding abundant lithic fragments. The distribution of Poggio Pinzo terrains is exposed along and outside the North-East rim of Latera caldera for a couple of km in the direction of Grotte di Castro village. The deposits include alternating loose decimetre-thick scoria lapilli beds and indurated, centimetre-thick ash horizons which become dominant in the upper part of the deposit<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Palladino, Taddeucci, 2000.

Scoria beds display unimodal grain size distribution, good sorting, paucity of lithics, and moderately vesicular angular ash particles. Ash horizons show complex grainsize distributions, a higher lithics content and ash particles showing hydration cracks. Recalling the observations made on the products of water-magma experiments, a first reconstruction of water-magma interaction process giving the Poggio Pinzo eruptive Unit, can be attempted. At the end of the Latera explosive phase of activity, associated to the phonotrachytic magma that produced among the most voluminous pyroclastic flows of the entire Vulsinian region, pockets of new, relatively fluid, magma of trachybasaltic-tephritic composition (see chemical analysis in Table 1) interacting with the phreatic lake aquifers gave origin to spatter flows deposits. The water-magma ratio was low enough to keep the system temperature within the magmatic range leaving the flowing pumices still at the plastic state. The propagation of the spatter flows should have been in the range of velocities typical of the pyroclastic flows, i.e. up to 100 km/h, but, even if the mass transport was limited, the longest tongue of the spatter flows reached the town of Acquapendente 6 km to the North. The scoria and ash deposits, which distribution is inside 2 km distance from the vents situated on the caldera rim, point out an origin by Strombolian fallout and by hydromagmatic base surges respectively. The transition from the magmatic to the hydromagmatic activity is marked by a graded layer at the top of the scoria beds as consequence of decreasing of the magmatic pressure allowing the water entering the system. Alternating cycles of magma depressurization produced the cycles of hydromagmatic deposits.

The Alban Hills hydromagmatic eruptions evidence a completely different story. The corresponding deposits have been erupted at the beginning of the known volcanic sequence, 561,000 years BP, K/Ar age, (Trigoria-Tor de' Cenci E.U.) and at the end of the Alban Hills volcanic activity from several centres (Albano, Nemi, Valle Ariccia, Giuturna, Pantano Secco and Valle Marciana<sup>7</sup>) producing a mass transport of about 1 km<sup>3</sup> in the last 180 000 years<sup>8</sup>. They formed small monogenetic and polygenetic maars and tuff rings located outside of the Tuscolano-Artemisio caldera rim and emplaced mostly as pyroclastic-surge deposits.

It is worth noting that, in spite the magma composition was one of the most silica poor known in the world, the melt, leucititic to phonotephritic in composition, was strongly differentiated<sup>9</sup>, i.e. very fluid and mobile even in presence of a prevalent crystalline fraction. This melt could reach easily the periphery of the magmatic chamber and, when in contact with aquifers, was able to produce hydromagmatic or phreatic eruptions.

In the interaction process the juvenile component was, therefore, very scarce or absent to mark the control of the hot wall-rock, the temperature, already low initially, was strongly lowered by the excess of available water. Macroscopic observations of the hydromagmatic deposits indicate the presence of leucite, clinopyroxene, phlogopite and garnet crystals.

---

<sup>7</sup> De Rita et alii, 1988.

<sup>8</sup> Marra et alii, 2002.

<sup>9</sup> Trigila et alii, 1995.

Fresh juvenile scoriae and lapilli are scarce, while the lithics represented by older pyroclastic flow debris, lava flows and xenocrysts are particularly abundant. Among the hydromagmatic centres, the craters of Albano and Nemi are the most important with repeated cycles of activity during the entire hydromagmatic phase almost. When the hydromagmatic deposits are put in places on steep slopes around the crater rims, mud-flows originate, as those erupted from the Albano lake that were running for few km, along the narrow valley below the town of Marino in the direction of Ciampino Airport. This deposit gives a very lithified rock used in the building and stone industry with the characteristic name of *peperino*.

## Conclusions

From the results of the experiments on silicate melt – water interaction performed on a representative sample of Onano spatter flow Sub-Unit (Vulsini Volcanoes) the following preliminary conclusions can be drawn:

1. The mechanical energy produced by the melt water interaction process is distributed as work done against:
  - the interacting material (melt fragmentation);
  - the boundary environment (system expansion);
  - outside the interacting environment (transport of fragmented material).
2. Critical parameters affecting the energy distribution effects are the aggregation state of the interactive material, the velocity of injected water and the temperature of the molten system. The aggregation state of the melt, because can act as a fragmentation trigger, plays a fundamental role in the mass transport representing therefore the most important parameter with respect of volcanic hazard evaluation.
3. The inferred environmental conditions that controlled the water-magma interaction process originating the Poggio Pinzo deposits at the Latera Volcano (Vulsini Volcanic District) are indicative of a relatively low water / magma mass ratio with production of dry base-surges alternating with violent strombolian air falls. In this last case the vapor present after the interaction allowed scoriae and pumices of the spatter cones to flow downslope forming very mobile spatter-flows.
4. The peculiar structural, textural, mineralogical and chemical characters of the Alban Hills pyroclastic deposit formed after the last hydromagmatic phase are instead indicative of a water-magma interaction process controlled by a very high water-magma ratio. The resulting eruptions were typically of the wet base-surge type with water in the liquid state. These deposits on steep slopes can flow as mud currents.
5. In both cases (Vulsini and Alban Hills) the climax of the hydromagmatic eruptions, corresponding also to the climax of the volcanic hazard, is associated to the running mechanisms of superficial mass transport, in particular of those giving origin to spatter-flows or mud-flows respectively.

## Acknowledgments

This research was financed by Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Gruppo Nazionale per la Vulcanologia, Progetto Nazionale: Scenari Eruttivi da Ricerche di Modellistica Fisica e Vulcanologia Sperimentale.

## Bibliography

De Rita D., Funicello R., Parotto M., *Geological Map of the Colli Albani Volcanic Complex*, Progetto Finalizzato Geodinamica, CNR, Rome, Italy, 1988.

Dobran F., *Volcanic Processes: Mechanisms in Material Transport*, Kluwer Academic Plenum Publications, New York. 2001, p. 590.

Koyaguchi T., Woods A. W., On the formation of eruptive columns following explosive mixing of magma and surface-water, *Journal of Geophysical Research*, 101, 1996, pp. 5561-5574.

Marra F., Freda C., Scarlato P., Taddeucci J., Karner D. B., Renne P. R., Gaeta M., Palladino D. M., Trigila R., Cavarretta G., Post-caldera activity in the Alban Hills Volcanic District (Italy):  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology and insights into magma evolution, Submitted to *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2002.

Palladino D. M., Taddeucci J., *Alternating Strombolian and hydromagmatic activities: a study case from the LATERA Volcano (Vulsini, Italy)*, Abstracts, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) General Assembly, 18-22 July 2000, Bali, Indonesia, 2000, p. 292.

Sigurdsson H., Carey S., Cornell W., Pescatore T., The eruption of Vesuvius in AD 79, *National Geographic Research*, 1, 1985, pp. 332-387.

Trigila R., Agosta E., Currado C., De Benedetti A. A., Freda C., Gaeta M., Palladino D. M., Rosa C., Petrology, in *The Volcano of the Alban Hills* R. Trigila editor, SGS Università degli studi “La Sapienza”, Roma, Italy, 1995, pp. 95-165.

Trigila R., Castiglione L., A new pressure vessel for magma H<sub>2</sub>O interaction studies: first results from isobaric vs. impulsive injected water experiments, *VIII EMPG Journal of Conference Abstracts*, 2000, p. 103.

# SPECTRAL PROPERTIES AND REFLECTED CURVES FOR THE REVEALED VOLCANIC ROCKS IN SYRIA USING FIELD RADIOMETRIC MEASUREMENTS

Mohamad RUKIEH, Abdul Majeed AL-KAFRI, Abdul Wahad KALAF, General Organization of Remote Sensing (GORS), Damascus.

## Introduction

This research aims to study the spectral reflected intensity of the revealed volcanic rocks in Syria and to draw their curves by field radiometric measurements. The study covered various kinds of volcanic rocks composed of fresh and rotten basalt, volcanic tuff and slag and phonolite related to different ages, from Jurassic till recent Quaternary. It was found that these rocks have, in general, low reflective intensities and differ according to their rottenness degree, kinds and age. This leads to the possibility of recognizing them clearly, according to the spectral and spatial resolutions of the images.

## Work method

The field radiometric measurements depend on counting the ratio of the reflected light, which rebounded from the earth features to the full incident ray from the sun in the visible light field and in the near infrared one. It is known that the atmosphere plays the role of ray-filter, especially the harmful one, as the ultraviolet, and a part of the incident ray reaches the earth, as a part rebounds from the molecules of the atmosphere, the other is absorbed by water vapor and carbon dioxide and the third by clouds.

The rocks reflected rays had been measured by two radiometer apparatuses; one was used to measure the reflected rays, the other for the incident one. Both of them were equipped with filters to the multispectral scanners: SPOT, TM, MSS, in addition to the correcting filters situated in the second channel in SPOT and MSS and in the first and second ones in TM.

The poly-corder had been linked with the radiometer for timing when taking the measurements of the incident and reflected rays. Calibration for the apparatuses of the whole filters of the white plate had been done as well. It was found that the reflection ratio ranged between 97% and 100% and these are acceptable values according to the apparatus catalogue.

Measurements for the incident and reflected rays in the poly-corder were registered, taken back and processed later. The wavelengths in each scanner were as follows:

Scanner	Channel	1	2	3	4
MSS	Wave-length Band ( $\mu\text{m}$ )	0.5-0.6	0.65-0.7	0.7-0.8	0.8-1.1
TM	Wave-length Band ( $\mu\text{m}$ )	0.45-0.52	0.52-0.6	0.63-0.69	0.76-0.9
SPOT	Wave-length Band ( $\mu\text{m}$ )		0.5-0.59	0.61-0.68	0.79-0.89

Many measurements were taken for each rock kind in different sites, to get more comprehensive results. Photos were taken for the whole studied sites. At each measurement, determination for the color, the kind in the field and the age were taken for the rocks, according to the geological maps. After each processing, drawing of three reflective curves was done for each kind of the rocks, in the channels of TM, MSS, SPOT. These curves were represented together for each kind of the scanners and for special kinds of the rocks. The relative reflected values were represented in 2/4 in SPOT, 2/3 and 1/4 in TM and MSS to the whole kinds of the studied volcanic rocks.

## Data Processing

The stored information in the poly-corder, which contains the reflected and incident rays for the rocks, was registered and processed according to the following equation, to account the reflective intensity of the studied rocks:

$$R = (\text{RAD} + \text{D}) \text{CF} / (\text{IRRAD} + \text{D}) \text{CF}$$

RAD = reflected rays value,

D = reflected rays value taken in the dark,

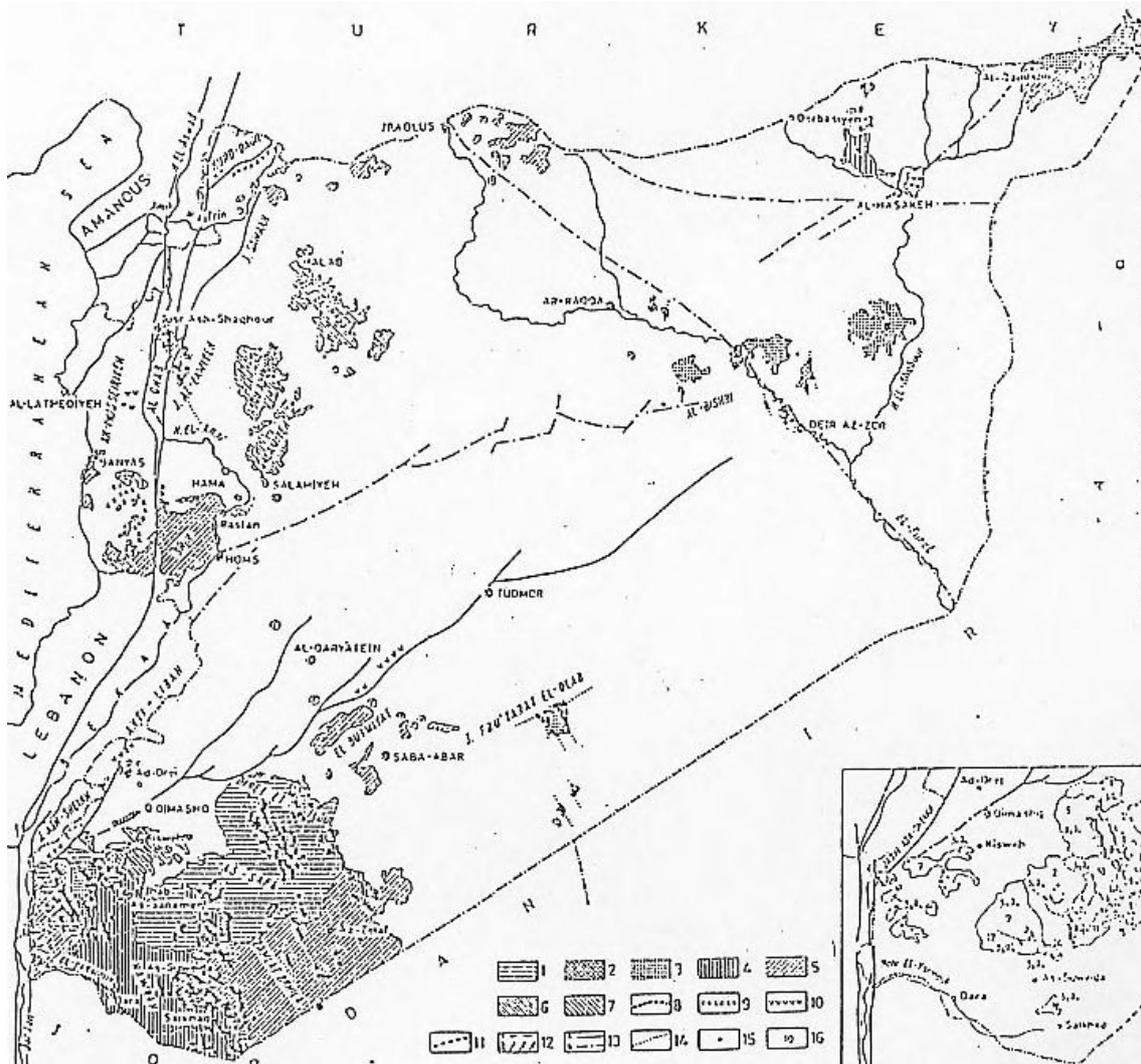
CF = the value of the coefficient apparatus of the identical reflected rays (Gain, channel and filter),

IRRAD = incident rays value.

The reflectance intensity was calculated for each kind of the rocks by the mentioned equation, then the results of the measurement presented graphically, where the reflectance intensity values symbolized on axis Y versus the values of the middle of spectral field for each channel in the scanners on axis X; thereafter the medium reflectance intensity curves for these rocks were symbolized for each kind of the scanners, in addition to symbolizing the relative values of the different spectral channels, to get the best information that helps in designing and developing field, aerospace and remote sensing survey equipments, in order to recognize the rocks accurately.

## Volcanic Rocks in Syria: age and distribution

The distribution of the volcanic rocks in Syria is related to various stages of the tectonic activity in the Arabian plate, through the history of its geological development. Fig. 1 shows that the volcanic rocks spread in various areas exceed more than tithe of the country area. The most important one is located in the Southern area, which extended to Jordan and Saudi Arabia, and it is considered as one of the greatest volcanic areas in the world.



**Fig. 1 - Schematic map of volcanic rocks**

*Legend:*

1: recent basalt; 2: upper Quaternary basalt; 3: middle Quaternary basalt; 4: lower Quaternary basalt; 5: Pliocene basalt; 6: upper Miocene basalt; 7: middle Miocene basalt; 8: lower Eocene basalt; 9: upper Cretaceous basalt; 11: middle Jurassic basalt; 12: hypabyssal basaltic rocks, a = Quaternary, b = Pliocene, c = Miocene; 13: faults, a = proved, b = inferred; 14: faults Feeding channels of lava flows; 15: cones of extinct volcanoes; 16: numbers of recent basalt sheets.

*On the right:* a scheme of basalt sheets of different ages. Names of recent basalt sheets: 1 = Omer, 2 = Ard el Hamra, 3 = Tell Stiman, 4 = Ad-Drutz, 5 = Rhayyet As-Samra, 6 = Diret, 7 = Kadar, 8 = Tell Om El-Jainbris, 9 = Al-Laja, 10 = As Sala, 11 = Al-Kra', 12 = Tell Pra, 13 = As Sala, 14 = Tlool Agheleh, 15 = tell As-Sala.

### *Volcanic eruptions in the Mesozoic*

Dubertret referred in 1930-1963 that the first stage of the volcanic activity in Syria began at the middle Jurassic. It was found that some of the volcanic levels are overlapping inside the sedimentary dolomite limestone in Bathonian and Bajocian in the Eastern section of Al-Haramoun Mountain, Erna, Demah and Jandal castle. Volcanic rocks spread at the end of Jurassic in the coastal chain, in the West of Syria, by the effect of tectonic activity in that age. At the beginning of Cretaceous, volcanic activity spread in Zabadani, South and North of the coastal chain, and part of Palmyra mountains (Al-remah and Al-naknakeya). The volcanic activity continued during the Cretaceous, inside the Alpine, in Mashta Al-Helo, Annabi Matta and in different funnels along the Syrian rift fault.

Recent studies<sup>1</sup> referred to a rock penetration and Cretaceous volcanic eruptions to the Jurassic rocks in various sites, in the coastal chain; in addition to the spread of deep xenoliths from mantle and the lower of the crust lithosphere as: lherzolite, eclogite, pyroxenite, dunite, phlogopite and the shining black Kersotite.

Remote sensing studies<sup>2</sup> have showed the existence of clear annular structures in the North-West of Syria. As well as volcanic vents and necks penetrate the upper Jurassic deposits. The absolute age of the funnels rocks was defined in the coastal chain; it was found that they are related to the lower Cretaceous<sup>3</sup>. Volcanism attached to ophiolite is characterized by the existence of pillow structures of sea origin, in addition to spread of other volcanic rocks and sub-alkaline volcanic eruption rocks from nepheline, syenite and aplite, in Al-Bayer-Al-Baseet area, which is characterized by the complexity of its tectonic structure.

### *Volcanic eruptions in Cenozoic*

Volcanic rocks in Cenozoic occupy a large area out of the volcanic eruptions one in Syria. They spread in the South-West, North-West and North-East and most of them related to Neogene.

Volcanism in Paleogene, related to Eocene exists, as rocky layers of basalt and volcanic tuff, in the North-West of Syria, in the Basin of Efreem River, as well as in Ein Al-Feja, in the North-West of Damascus. They are related to middle Miocene as Russian experts think. In fact these rocks need further study to determine their age accurately.

Neogene's volcanism spread greatly in Damascus, Aleppo, Al-Hasaka, Ein Dewar, the coastal and the Southern areas of Syria. It is related to lower, upper and middle Miocene and Pliocene.

---

<sup>1</sup> Ibrahim, Rukieh and Habib, 1994.

<sup>2</sup> Rukieh, 1991.

<sup>3</sup> Sharkov, Jarmakani, 1986.

Sharkov showed in 1993 that there are about 20-22 basaltic blocks in the South of Syria, related to Miocene. They separated by zones of red laterite, which resulted from the alteration and rottenness of these blocks.

M. Rukieh has brought out<sup>4</sup> many volcanic sites in Al-Qadmous area (North-West of Al-Qadmous, Al-qdemisa, Kherbt Makkar, Jabal Al- maola Hassan, A'nnabi Sheet, areas expanded between Hammam Wassel-Bal'Adar and Srejes). It was found that these rocks are of volcanic vents and necks consisted of breccia igneous rocks, with ultra basic xenoliths of rotten lezrolite and pyroxenite. He also discovered new volcanic sites in the mentioned area.

Various studies refer that the rocks of these blocks related to Neogene, in addition to many craters and dykes on the Western foot of the coastal chain to the West of the rift, consisted of fresh and rotten basaltic rocks.

Volcanic eruptions, which are related to the middle Miocene, spread near Alqeswa (Jabal Almane) as brown layers consisted of block basalt, then it became porous towards the peak. This type of eruptions exists, also, along the left side of the valley of Eferrn River and near Aleppo. Whereas, the eruption of upper Miocene exists to the West of Homs, Akkar pan depression between Aleppo and Assalamieh. The upper Miocene basalt is characterized by great thickness.

Pliocene volcanic eruptions spread in the North-West of Syria, West of Homs (Sheen, Barsheen, Ein Alkut, Wadi Efreem-Jarablus, the Northern-East of Al Qamshli, Al-Malkeya). They consist of basalt, volcanic glass, and volcanic tuff. The pan of Jabal Al-Arab is an important place for the intensive Pliocene eruptions; the accumulation of magmas zigzags and volcanic cones organized according to lines towards Western-North. The thickness of Pliocene basalt reaches 700-800 m in the depression.

#### *Volcanic eruptions in the Quaternary*

The volcanic rocks which are related to the Quaternary covered more than half of the whole volcanic rocks area of Syria. They are confined to the South and West of Syria, the left bank of Al-Khabour River, South-West of Jarablus, Ein Dewar and North-West of Syria.

Volcanic eruptions in the lower Quaternary spread as blocks in the South-West of Syria (Horan). Small areas are seen in the North-West of Syria and along the borders with Turkey. They are rotten and their lava is not saved. Sometimes there are destroyed volcanic craters and their volcanoes are coned with slopes and flattened tops, 50-80 m high. Volcanic craters aren't saved in most cases and their rocks consisted of dolerite, anamesite and ankarmite, which are related to the ordinary basalt group; their thickness in Horan reaches 100 m and in the rest places 10-25 m.

---

<sup>4</sup>1987, 1988, 1989, 1994.

The eruptions of the middle Quaternary spread in Horan, North of Deir A'zzour, far Eastern North of Syria. They are less rotten than others. Slag crust and volcanoes of clear depths spread as chains to the North-West. It is possible to notice volcanic bombs around them. Determining the age of rocks in North of Deir A'zzour depended on the founded firestones of the ancient man, who lived in the middle Quaternary, but absolute analysis showed that some the age of these rocks ranges between 2.7 and 0.8 million year BP<sup>5</sup>. These rocks consisted of ordinary and alkaline basalt. The thickness in Horan reaches 100 m or more and in the rest areas tens of meters.

The upper Quaternary eruptions are familiar in the North-East of Syria, on the banks of Euphrates River. Volcanoes of this age are of complex structure. These volcanoes reach 15 m high; they extend as chain towards North-East, connected with the cracks of this direction. Rocks are ordinary and alkaline basalt with tens of meters thick.

The recent volcanic eruptions spread greatly in the Southern and Southern-West of Syria (Horan, Jabal Al-Arab, Atloul) where they form enormous volcanic area about 6000 km<sup>2</sup> with various volcanic shapes. The recent basalt covers are characterized of geomorphologic properties and clear structure of the block surface, where volcanic cones are noticed clearly, and they give an impression that their eruptions are recent. Defining the absolute age of the basalt, which contain animals bones and sheep in Kherbt Al-Ambashi, clarifies that its age is about 4000 year BC. It is not excluded that the volcanic activity continued until the historic periods, as in Palestine. The Holocene flow links with linear deformation of the base, which extends towards North-Western. Various kinds of the mentioned inactive volcanoes existed along this base. The activity of these faults continued for a long time and increased in the modern age. This leads to eruption and flow of enormous masses of Holocene lavas.

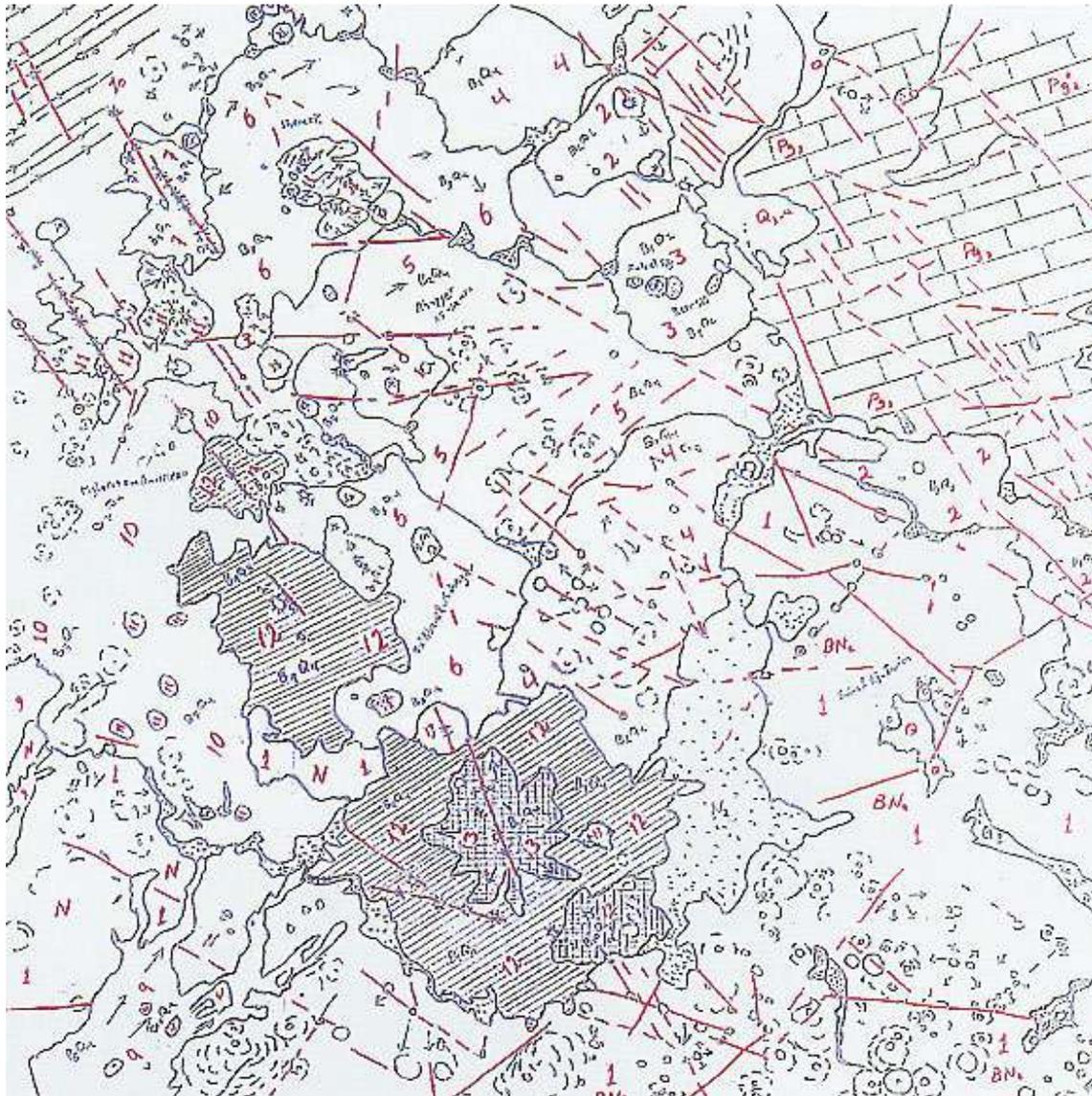
Only limited number of distinct quaternion blocks of Holocene basalt was distinguished by the previous studies. Whereas the recent studies<sup>6</sup> using interpretation of space images show eleven recent quaternary basalt flows (Fig. 2).

The vertical section of the recent basalt blocks shows that they are composed of a lot (a group) of flow separated by volcanic breccia. Present volcanic apparatuses are formed by very protected volcanic cones; they are composed of breccia, volcanic tuff and slag, lava, ordinary and alkaline basalt rocks. Holocene blocks thickness is more than 100 m.

---

<sup>5</sup> Sharkov, 2000.

<sup>6</sup> Rukieh, 1993.



**Fig. 2 - Litho-tectonic scheme for Tlool Al-Saffa Area by interpretation of space images (1:200,000)**

Legend (basaltic lava from the oldest to the newest):

**1:** N; **2:** B<sub>1</sub>O<sub>1</sub>; **3:** B<sub>1</sub>O<sub>2</sub>; **4:** B<sub>1</sub>O<sub>4</sub>; **5:** B<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; **6:** B<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; **7:** B<sub>4</sub>O<sub>4</sub>; **8:** B<sub>5</sub>O<sub>4</sub>;

**9:** B<sub>6</sub>O<sub>4</sub>; **10:** B<sub>7</sub>O<sub>4</sub>; **11:** B<sub>8</sub>O<sub>4</sub>; **12:** B<sub>9</sub>O<sub>4</sub>; **13:** B<sub>10</sub>O<sub>4</sub>; **14:** B<sub>11</sub>O<sub>4</sub>

	Paleogene sediments		Neogene sediments		Quaternary sediments
	Geological boundaries		Lava flow direction		New tectonic
	Different circular structures		Faults		New volcanoes along the faults
	Volcanoes				

## The medium reflected curves of the volcanic rocks in the studied area

The spectral reflected curves for each kind of the studied rocks determined that their ages ranged from Jurassic till Quaternary in the Southern, coastal, Northern and Eastern areas. Then, medial values of spectral reflections to the alike rocks were defined; to this end many measurements in different sites also had been done in the spectral channels related to the scanners: MSS, TM, SPOT.

### Reflected values in MSS

Through medial reflected values for great numbers of volcanic rocks sites in MSS (Figs. 3-4) it is found that, in general, the volcanic rocks have low reflected intensity, ranged between 4 to 37%. The reflected curves are characterized by the gradual increase of values from the first channel to the fourth one. Where the reflected intensity is at the highest level, that is, in the spectral field 0,8-1,1  $\mu\text{m}$ . The curves show that the volcanic tuff is characterized of the lowest reflected intensity among the other kinds of basalt, followed directly by altered basalt, then basaltic soils and gabbro, then less rottenness with solid basalt, then cracked olivine basalt and pillow lava, then basalt covered by algae.

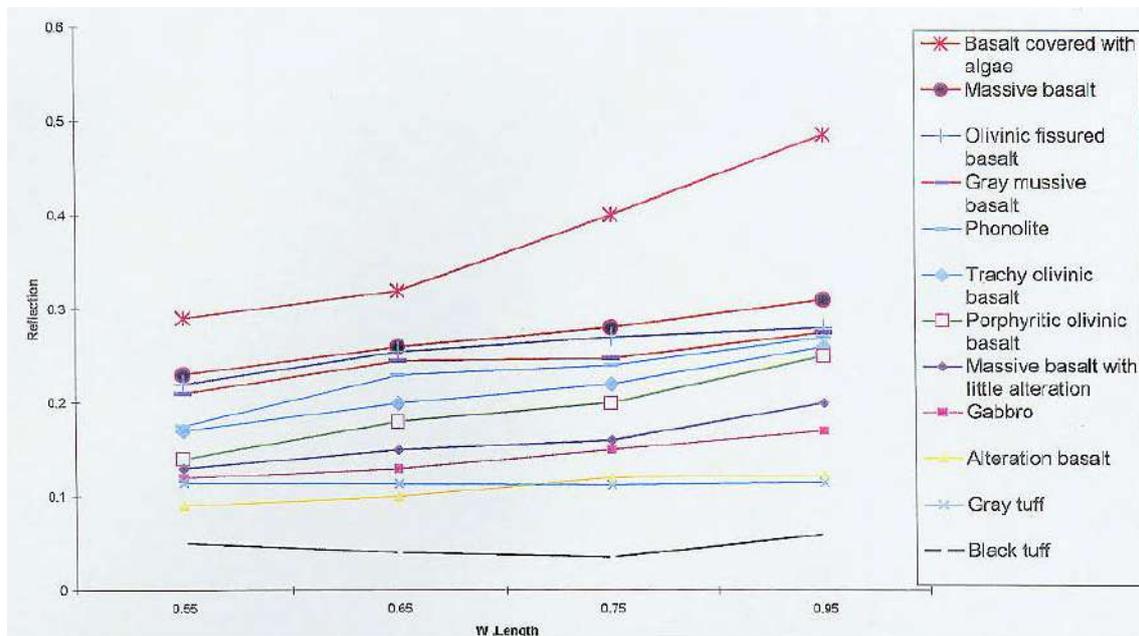
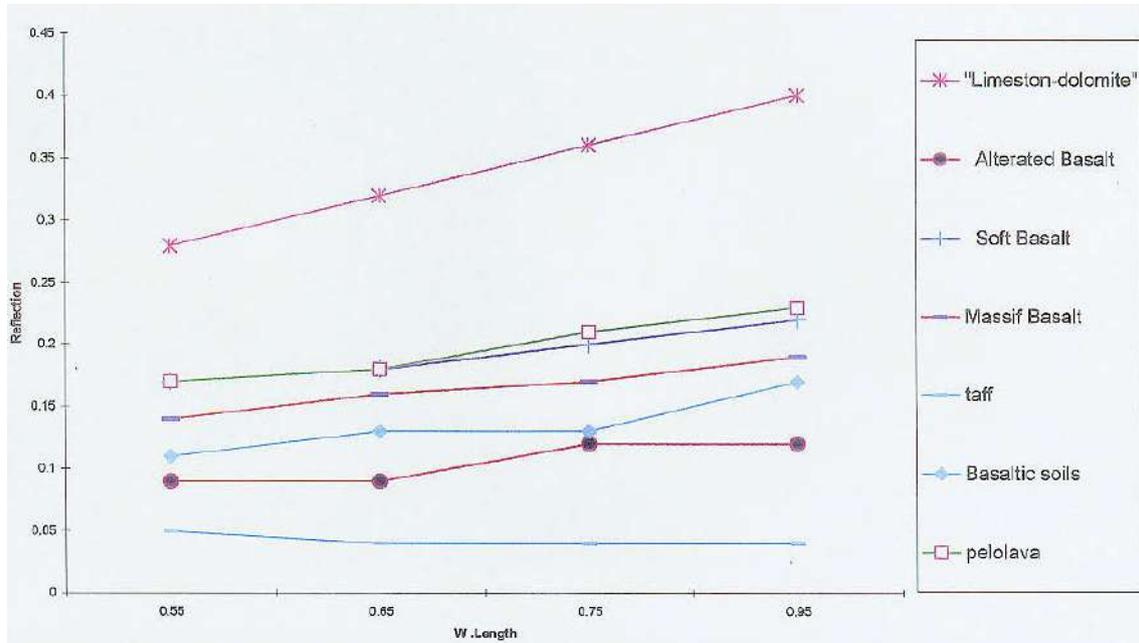


Fig. 3 - Average reflection curves for the volcanic rocks in MSS

Fig. 4 shows the reflected intensity for a number of volcanic rocks compared with reflected intensity of the dolomitic limestone of middle reflected intensity, which increase gradually from the first channel till the fourth one.

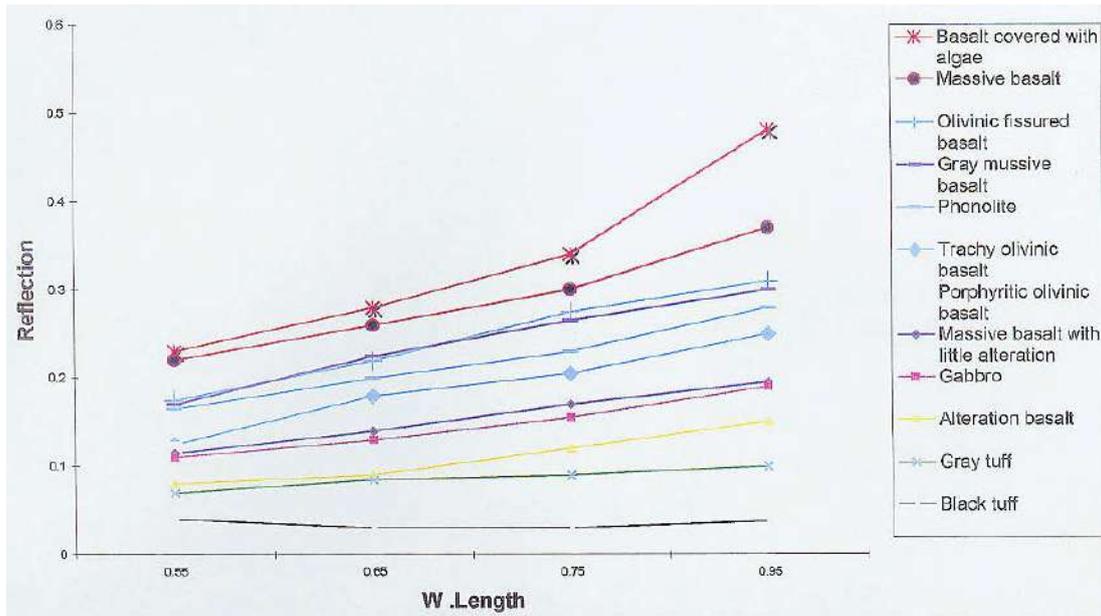
Fig. 4 shows that the reflected curves of the of Absyan basalt, Neogene and the recent Quaternary tuff have low reflected intensities, but they are varying and could be distinguished on the space images clearly, especially those of high resolution ones. This difference is noticeable at the highest level in the fourth channel in the mentioned scanner.



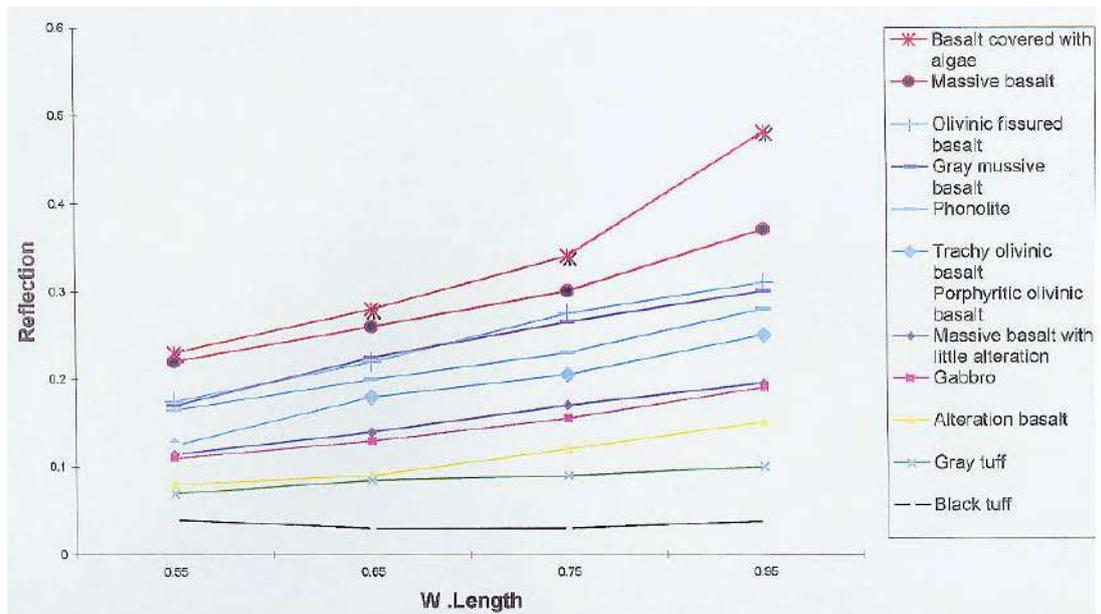
**Fig. 4 - Average reflection curves for the volcanic rocks in MSS**

### *Reflected curves in TM*

The medial reflected values of the volcanic rocks in TM (Figs. 5-6) also show that these rocks have low reflected intensities, ranged between 4% and 37%, and then the reflected intensity values increase gradually in the first channel to the fourth. Where the reflected intensity is at the highest level, it is also noticed out of these curves that the volcanic tuff is characterized of the lowest reflected intensity among basalt, followed by altered basalt, then basalt soils, gabbro, after that solid basalt with little rottenness, cracked oliphine basalt and pillow lava. But it is possible to notice here that solid basalt of little spaces, which is covered by white alga, has high reflected intensity (Fig. 5 - curve 1). Fig. 6 shows the reflected intensity for a number of volcanic rocks compared with reflected intensity of the dolomitic limestone of middle reflected intensity; they increase gradually from the first channel till the fourth one.



**Fig. 5 - Average reflection curves for the volcanic rocks in TM**



**Fig. 6 - Average reflection curves for the volcanic rocks in TM**

*Reflected values in SPOT*

It is found out of the medial reflected values of the volcanic rocks in SPOT (Figs. 7-8) that these rocks have low reflected intensity, ranged between 3% -30%, and increased gradually from the second channel to the fourth one, but sometimes reflection in the third channel was low.

It is noticed also out of these curves that the reflected intensity of the recent volcanic tuff decreases to 3%, followed by altered basalt, oliphine basalt, basalt soils, gabbro, then phonolite, block basalt. But Fig. 7 shows that the basalt covered by white alga of little spaces has high reflected intensity compared with the rest volcanic rocks.

Fig. 8 shows the reflected intensity of the volcanic rocks compared with the reflected intensity of dolomitic limestone of middle reflected intensity.

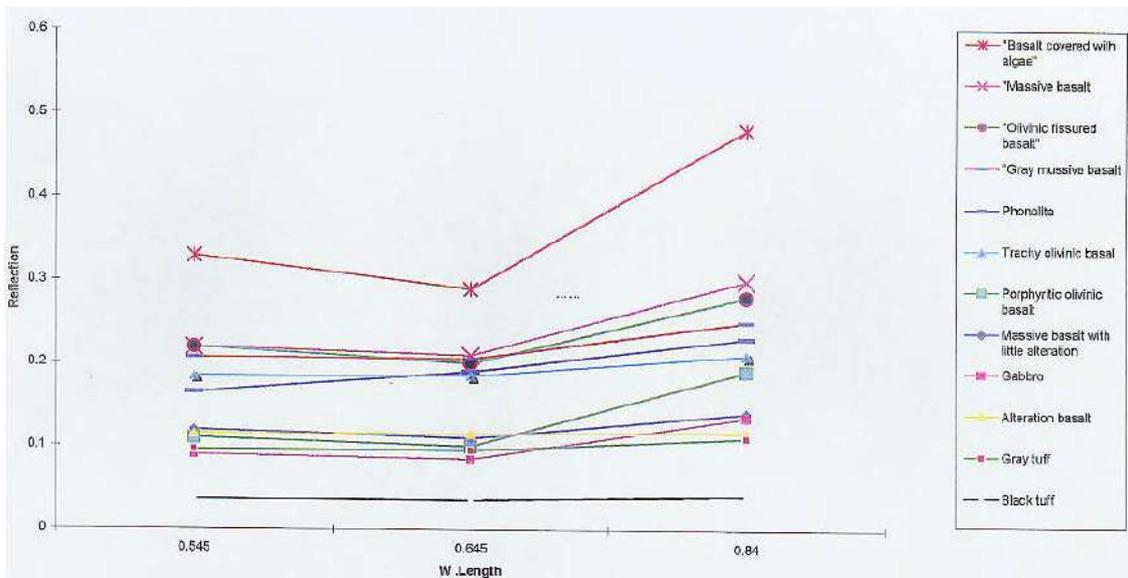


Fig. 7 - Average reflection curves for the volcanic rocks in SPOT

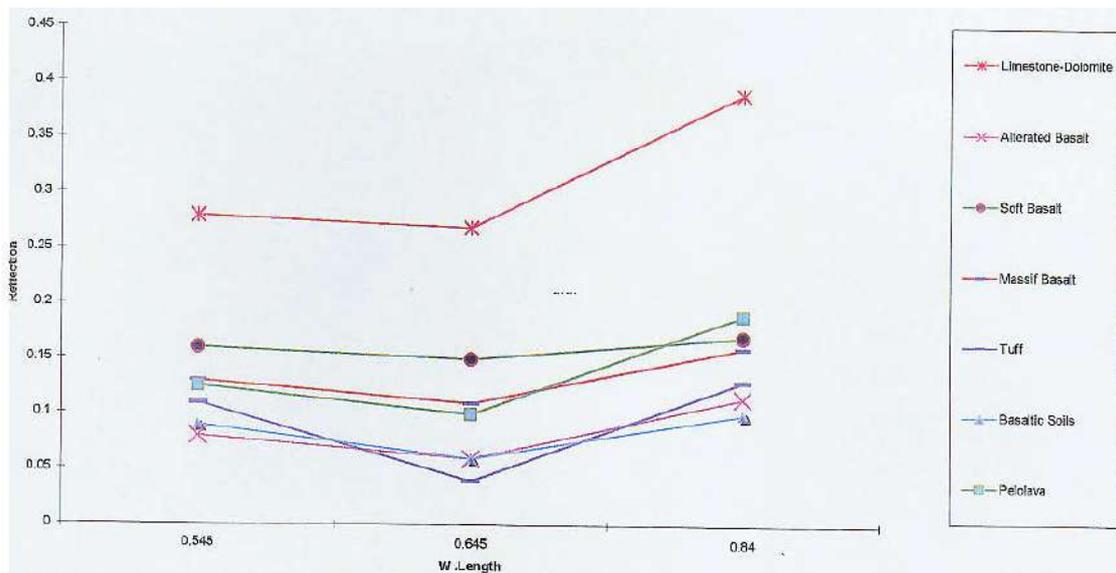


Fig. 8 - Average reflection curves for the volcanic rocks in SPOT

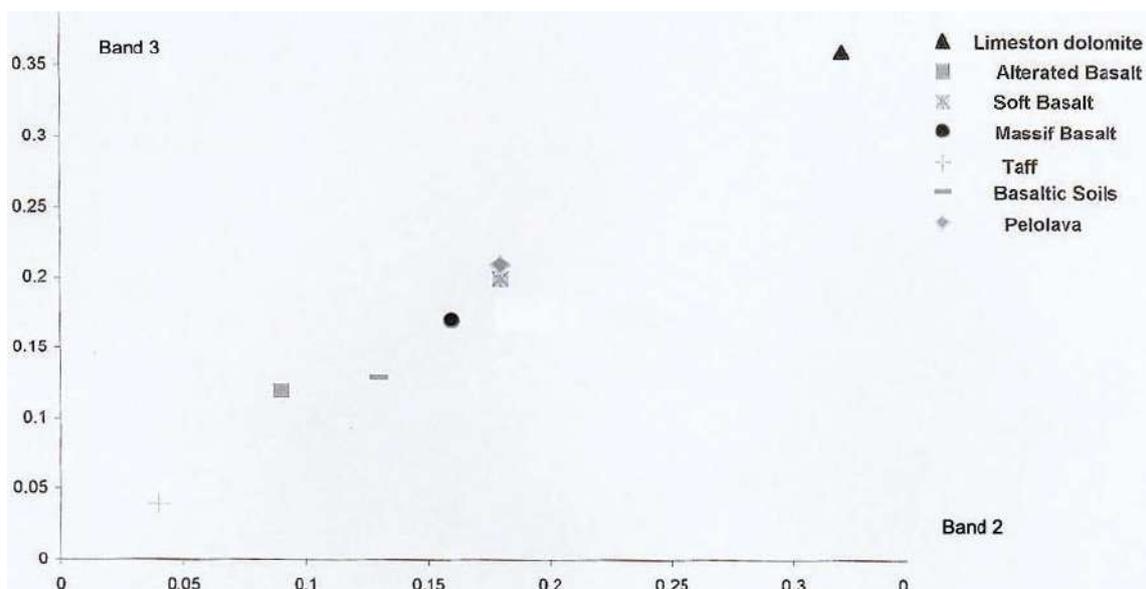
## Rationing the spectral reflected values of the volcanic rocks

The kind of multispectral images, consequently their information about the various kinds of rocks and their distribution manner, as well as soil types, plants distribution, humidity, etc., may be improved through the simple arithmetic operations as adding, discount, division and multiplication, for the various spectral channel data.

The reflected values of channels 2/4, 3/4 in MSS, SPOT, TM, also 1/4 in MSS, TM, and 2/3 in SPOT, TM and MSS are represented. For example in this study is showed the representation of the reflected values proportions of the volcanic rocks of channels 2/3 in MSS and 1/4 in TM, 2/4 in SPOT.

This representation shows more differentiation for each kind of the volcanic rocks, which have low values and graded in their height, consequently this help in lithological mapping and schemes for the more similar rocks. Fig. 9 shows rationing spectral reflection values of the volcanic rocks of the channels 2/3 in MSS, where the recent volcanic tuffs take the lowest reflected values compared with volcanic rocks, whereas the little space and smooth basalts take the highest reflected intensity.

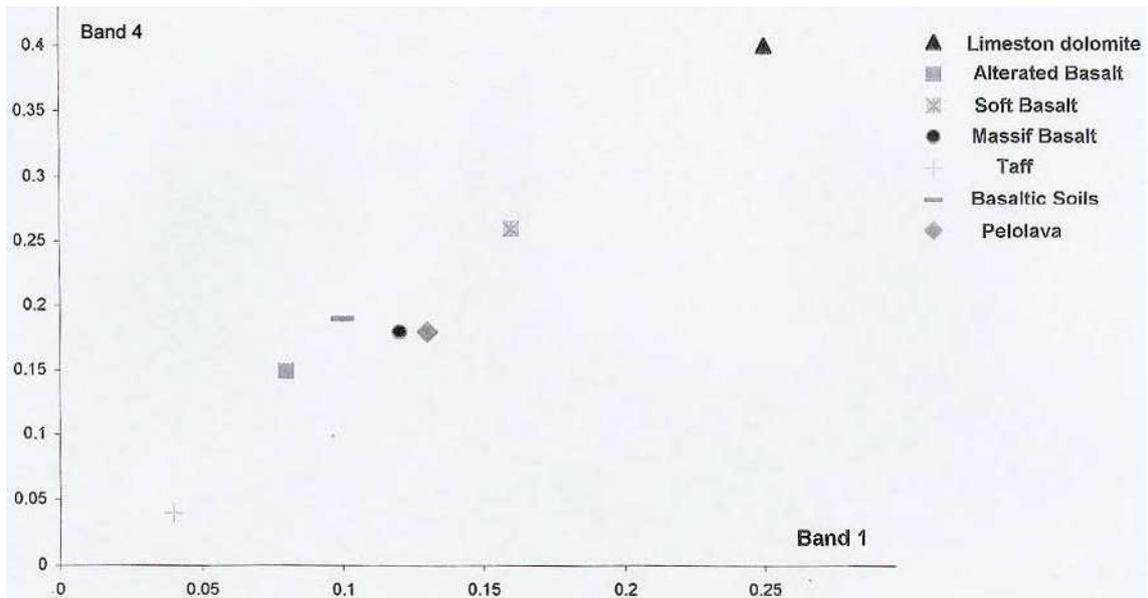
The limestone appears here for the comparison, where it is characterized by middle reflected intensity.



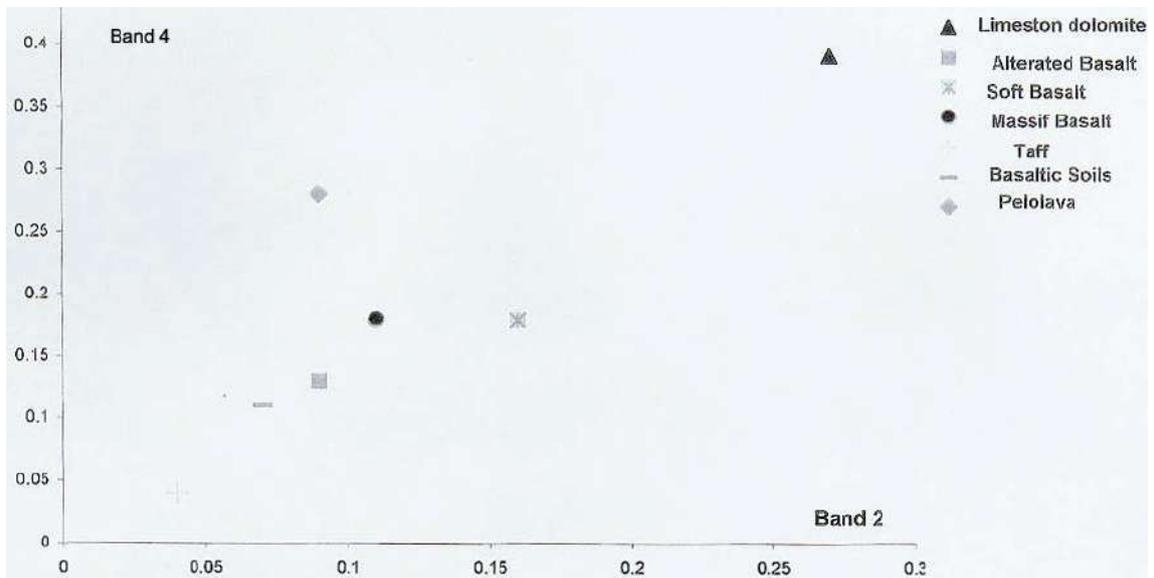
**Fig. 9 - Scheme showing the ratio reflection values for the volcanic rocks between 2 and 3 channels in MSS**

Fig. 10 shows rationing spectral reflection values for the volcanic rocks to the channel 1/4 in TM, where the mentioned results in MSS assure that the reflected intensities of the block basalt, pillow lava and basaltic soils are of low contrast.

Fig. 11 shows spectral reflection values of the volcanic rocks to channels 2/4 in SPOT and their rationings.



**Fig. 10 - Scheme showing the ratio reflection values for the volcanic rocks between 1 and 4 channels in TM**



**Fig. 11 - Scheme showing the ratio reflection values for the volcanic rocks between 2 and 4 channels in SPOT**

## Conclusions

The studied volcanic rocks take low reflected values, especially the volcanic tuff. They differ in low reflected intensities according to the kind of these rocks and rottenness degree, structure, color change and the surface zigzag.

Reflectance intensity, in general, begins gradual rise from the first channel till the fourth one, in MSS, TM and SPOT.

Differentiation appears in channel 4 at the highest level among the studied rocks in all scanners.

The ratio of the reflected values of the volcanic rocks in many spectral channels in the used scanners shows clearer differentiation for each kind of the studied volcanic rocks. This helps in geological and lithological mapping from the space images.

## Bibliography

Ashare M., Belal A., Rukieh M., Ammar O., Yossef A., Zaza T., *Report on new tectonic activity in Syria, economic and earthquakes reflections*, 2nd part, Damascus, 1998.

Rukieh M., *Reports about the discovery of deep xenoliths and new volcanic sites in Al-Qadmous area*, GORS, Damascus, 1987, 1988, 1989, 1994.

Ponikarov V. P., Kazmeen F. E., Kazlouf F. F., Krashenkov F. A. et al., *Geology and mineral resources of Syria*, publisher Dar nedra, Lenenghrad, 1969.

*Rocks Atlas: spectral properties and reflected curves, 1st part, to the Southern area of Syria*, GORS, Damascus, 1992.

*Rocks Atlas: spectral properties and reflected curves, 2nd part, to the coastal area of Syria*, GORS, Damascus, 1999.

*Rocks Atlas: spectral properties and reflected curves, 3rd part, to the Northern area of Syria and Aleppo*, GORS, Damascus, 1999.

*Rocks Atlas: spectral properties and reflected curves, 4th part, to the Eastern area of Syria*, GORS, Damascus, 2000.

# **A NEW EXCAVATED ANTHROPOMORPHIC PHOENICIAN SARCOPHAGI FROM AMRIT - TARTOUS REGION, SOUTHERN COASTAL SYRIA**

Kamal Moheddin HUSSEIN, Damascus University.

## **Abstract**

The present paper discusses the specifications of some Phoenician funerary sculptures-sarcophagi, from material, technical, stylistic and aesthetic point of view, by comparing them with the other findings of this kind, which were previously known from different Mediterranean archeological sites.

These sarcophagi were recently excavated from Phoenician tombs of Amrit-Tartous region of Southern coastal Syria. Concentration was made on the funerary sculptural material known as Anthropomorphic Sarcophagi dated between V to IV Centuries BC.

On regard to the scarcity of the studied Phoenician archaeological material related to the funerary rituals, as in our case, and basing on comparison, it was possible to determine the main characteristics of that ritual art works discussed in this paper.

It was also possible to specify the relationships between the excavated sarcophagi with those excavated from different geographic regions of the Mediterranean basin, such as: coastal Syria and Lebanon, Egypt, Cyprus, in Eastern Mediterranean basin from one hand, as well as, from Tunisia, Balearic and other Mediterranean islands in Western Mediterranean basin from the other hand. Local and foreign stylistic and aesthetic influences were discussed.

## **Introduction**

The Phoenician anthropomorphic sarcophagi were well known a long time ago from many Phoenician sites, since Ernest Renan (1823-1892) began his famous archeological expedition to Phoenicia, c.a. coastal Syria and Lebanon<sup>1</sup>. This beginning was a very important moment for the forth-coming development of Phoeniciology (Phoenician Studies).

Anthropomorphic sarcophagi are wide spread in many famous archaeological museums all over the world. For example, the oldest and the most famous Phoenician limestone sarcophagus of Ahiram, king of Byblos (XIII–XII Centuries BC) in Beirut National Museum, the Egyptian styled basaltic sarcophagus of Tabnith, king of Sidon (Istanbul Archaeological Museum) and the sarcophagus of Eshmunazar, king of Sidon (Paris, Louvre Museum) both are dated VI-V Centuries BC. Some of the other well-known sarcophagi from Sidon and from inland Lebanon were sculptured in the Egyptian and Greek mixed styles (IV Century BC). They are now in permanent display in Istanbul Archaeological Museum.

---

<sup>1</sup> Renan, 1864.

A very beautiful female marble sarcophagus from Amrit site (IV Century BC) which was excavated from Southern coastal Syria, is also in permanent display in Louvre Museum for a long time ago<sup>2</sup>. The Ford anthropomorphic marble Sarcophagi collection (c.a. 25 sarcophagi) is now the property of Sorsouk Museum in Lebanon<sup>3</sup>. Many other alabaster Greek styled Anthropomorphic sarcophagi, both male and female, are known from Cadiz Museum; they were dated between VI-V Centuries BC. Similar material was found in many other Phoenician settlements around the Mediterranean basin including Tunisia and Balearic islands<sup>4</sup>.

This paper discusses the marble and the terra-cotta anthropomorphic sarcophagi, which were lately excavated by chance, or partly by expeditions, from Amrit-Tartous sites: they were used as tombs and necropolis for the two mentioned cities, in addition to Arwad (Fig. 1).

Principally the anthropomorphic sarcophagi are of an Egyptian origin. Phoenician sculptors had specifically modified the anthropomorphic sarcophagi sculptures of the Hellenistic civilization in Phoenicia, along the Eastern coastal Mediterranean regions, during the indicated time period. They had reshaped the Egyptian prototype sarcophagus to a kind of specific combination of sculptural funerary-art-work during the second half of the I millennium BC, due to their specific local rituals, art traditions and tastes. That could be noticed along coastal Syria, Lebanon and Palestine (Canaan).

In general, Phoenician sarcophagi are traditionally made of sedimentary rocks as limestone or alabaster, metamorphic rocks as marble, volcanic rocks as basalt, amphibole and diorite, or of terra-cotta. The majority of these materials are widely spread in many parts of Phoenicia land around the Mediterranean basin. Basalts and different kinds of clays, especially montmorillonite, are widely found in the studied area. On the contrary, metamorphic rocks including marble are very rare in to-day Syria.

## **Sites and material**

The centre of the historical "Northern Phoenicia" was Arwad (Arados) the only inhabited island in Syria nowadays. The three cities (polis) Arados, Amrit (Maratos) and Antarados (Tartous) were tightly connected to each other through the Phoenician history. Arwad, the Northern Phoenicia centre, has situated in the littoral zone of the Levant sea, in the Eastern Mediterranean basin, about one 1.2 km distance from Tartous and about 6 km from Amrit. These two cities are situated on the opposite shore line with a distance of approximately 7 km between them-self.

Although there are no clear marks of that time on the island rather than the port constructions, which were studied by Honor Frost (1964) there are a group of archeological monuments on the opposite side of the island, mainly in Amrit<sup>5</sup>.

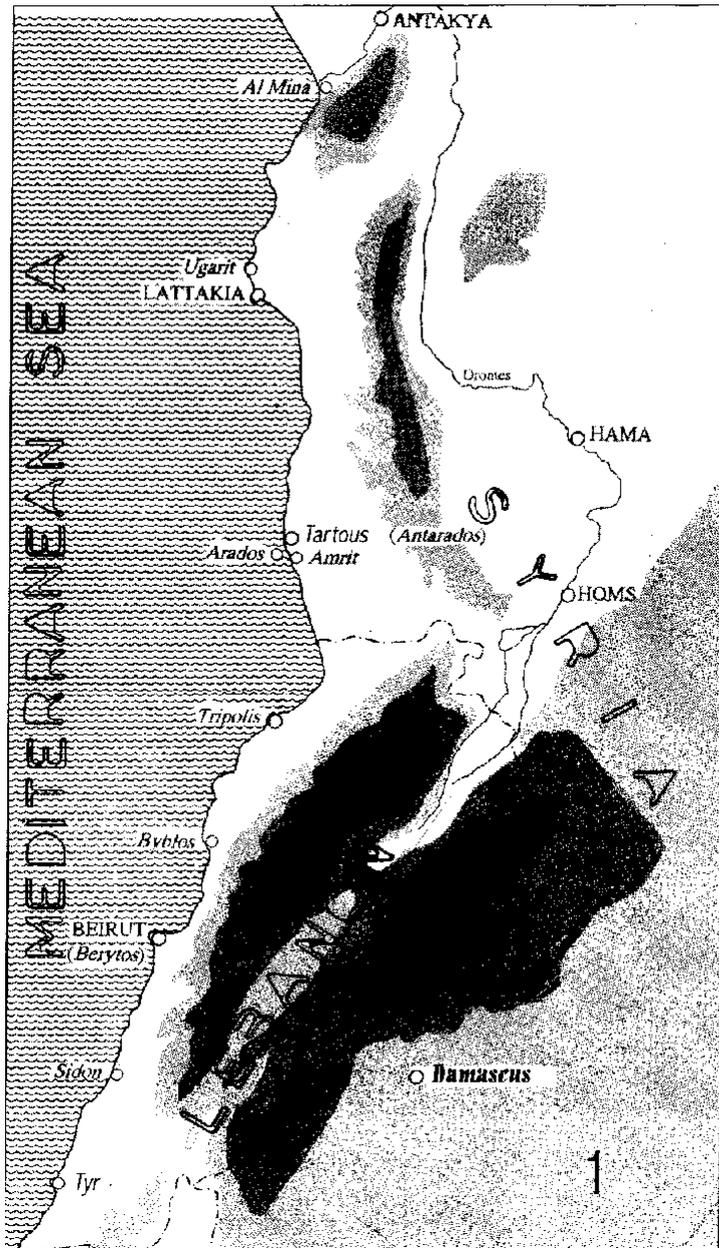
---

<sup>2</sup> Moscati, 1988.

<sup>3</sup> Contenau, 1997.

<sup>4</sup> Moscati, 1988.

<sup>5</sup> Lembke, 2001.



**Fig. 1 - The surface map of coastal Syria and Lebanon with site locations, Scale 1: 2 000 000 (after Lembke K., 2001, with slight modification)**

The main Phoenician archeological marks on the opposite coast to Arwad are in Amrit the water temple, the stadium, the port constructions, the under-ground tombs (Necropolis) and the tower tombs (Magazel). The tombs and the funerary constructions are spread at different underground depth along the distance between Amrit and Tartous. The Necropolis tombs and the tower ones were used through the around BC centuries to face the needs of Arados (kingdom) relating to the funerary rituals and habits.

The Amrit water temple, as well as the other marks, is unique one of its type across Phoenicia. From the other hand, the Phoenician marks in Tartous area are limited, as they are so far represented by some marble anthropomorphic sarcophagi from underground both single and double tombs, as well as the basaltic stele of god Ba'al (VIII-VII Centuries BC) from Kadmous area, North-East of Tartous. These findings are in permanent display in Tartous Museum. Other archeological material from this area is spread in some world museums.

The studied material in this paper consists of thirteen sarcophagi: eight marbles and five terra-cotta ones, which were found in separate places and different time intervals along the distance between Amrit and Tartous. This material was mostly discovered by chance, when some inhabitants were digging for constructing purposes. From the other hand, the major excavations in the area were done seasonally by the specialized national expeditions, which were organized by The General Directorate of Museums and Antiquities<sup>6</sup>.

Principally the sarcophagi were classified in three types, basing on their forms and materials. Depending on the materials, there are two types of the excavated sarcophagi from Amrit-Tartous sites: the marble sarcophagi and the terra-cotta ones. The form classification of the marble sarcophagi gives two types: the theca type and the anthropomorphic type. Whereas the terra-cotta sarcophagi have only the anthropomorphic type. All the discussed in this paper sarcophagi are in permanent display in Tartous Museum, the building of which is a Crusader Monastery of S. Maria, which was constructed about in 1200 AD.

The studied material in this paper includes the marble sarcophagi and the terra-cotta ones.

### **The marble sarcophagi**

It was mentioned that two marble sarcophagi types were distinguished; they are the theca and the anthropomorphic types.

#### *The Theca Type*

The theca type is represented in one sample, which was excavated from *Ram Al-Zahab* (gold pool) about 7 km far from Tartous in 1989 inside a tomb in the sandstone rocks (Fig. 2, partly seen at extreme right, and Fig. 3). It is composed of two parts: the box and its cover. The cover has the shape of a camel hump, while the other lower part has the shape of a simple open cuboid (an elongated open box).

No ornamentation, sculpturing or engravings were remarked on the sample. This type is well known from many Phoenician sites all over the Mediterranean regions and it was dated between V to IV Century BC. This sarcophagi type is very simple if compared with the older sophisticated sarcophagi types with very rich and complicated mythic

---

<sup>6</sup> Haykal, 1996; Hussein, 1997; Lembke, 2001.

relieves known from Byblos and Sidon as well as from the studied in this paper area. For instance, the king Ahiram limestone sarcophagus from Byblos (Beirut National Museum) was dated XIII-XII Centuries BC<sup>7</sup>.



**Fig. 2 - Group of marble Anthropomorphic sarcophagi from Amrit-Tartous sites, Tartous Museum. A general view (photo by the author)**



**Fig. 3 - The Theca type marble sarcophagus from Ram Al-Zahab (gold pool) tomb, V-IV Centuries BC, Tartous Museum, photo by the author**

---

<sup>7</sup> Moscati, 1988.

## *The Anthropomorphic Type*

The other marble sarcophagi type, the anthropomorphic (Fig. 2, four are seen in the image) consists of seven samples. Some has a male forms (three sarcophagi), the others demonstrates a female ones (four sarcophagi) with Greek style sculpturing of the human faces. The majority is similar in shape to that from Amrit in the Louvre Museum. Most of the marble sarcophagi were found in different sites inside Tartous city (Al-Hamrat, the bus station, etc.) or in the surrounding area during the period between 1988 and 1999. They were aged between V-IV Centuries BC<sup>8</sup>, basing on comparative stylistic and aesthetic data obtained from similar Phoenician material. Both old Egyptian, Greek with local influences are combined all together. So, it's a clear application of the Hellenistic style of that period basing on different tests blinding all together.

Other marble anthropomorphic sarcophagi were excavated in 1989 from *Ram Al-Zahab* site, 7 km to the South of Tartous and 1 km East of Amrit, in an under ground single and doubled tombs which is built of the widely spread in the area Sicilian age cross bedded sandstone rocks<sup>9</sup>. These sarcophagi of male and female individuals also were dated as the previous ones.

The four anthropomorphic sarcophagi covers with female sculpturing demonstrate very beautiful and so young different physiognomies of semi-smiling girls, which remember the so-called "Archaic smile" in the old Greek sculpture. Nevertheless, their hairs are shaped (dressed) in a manner that reminds some local flower shapes (Fig. 4). While the three other sarcophagi hairs are dressed symmetrical bilateral manner, they are wavy dressed in superposed smooth to rough lines (Figs. 5, 6 and 7). It was mentioned that the hairs were painted in certain color for women and in another color for men. The remains of the pigments are scarcely could be seen now due to hue decay by humidity<sup>10</sup>. The faces are healthy oval shaped, with big open, bulgy to protruding eyes, straight noses, wide and full lips, with full or partly clear ears. The cover majority have it's handles on the shoulders and near the foets, but some times on the top of the head. The covers feet areas are remarkably uplifted. All forms are resting in very quiet poses, astonishingly, full of satisfaction. As a rule, the bodies on the covers are smooth, highly polished, they are technically well-executed, delicate in contours and modeling, without any details or ornamentations, but they take the body forms. The sarcophagi boxes resemble the human corps in a direct way, there are clear and accurate freezes between all the coverings and the boxes for accurate shutting of the sarcophagi. The sarcophagi dimensions are scarcely different; they are about two meters long. The mentioned anthropomorphic sarcophagi belong to different time periods as indicated.

---

<sup>8</sup> Haykal, 1996; Lembke, 2001.

<sup>9</sup> Hussein, 1973.

<sup>10</sup> Haykal, 1996.



**Fig. 4 - Marble female Anthropomorphic sarcophagus from Ram Al-Zahab tomb, 470 BC, Tartous Museum, photo by the author**



**Fig. 5 - Marble female Anthropomorphic sarcophagus from Al-Hamrat (red lands) inside Tartous city, V Century BC, Tartous Museum, photo by the author**



**Fig. 6 - Marble female Anthropomorphic sarcophagus with full human skeleton from Tartous bus station tomb, IV Century BC, Tartous Museum, photo by The General Directorate of Antiquities and Museums**



**Fig. 7 - Marble female Anthropomorphic sarcophagus from Amrit-Tartous sites, Tartous Museum, V-IV Centuries BC, photo by the author**

The other three sarcophagi covers represent three young men (Figs. 8, 9 and 10). The faces are quiet, oval, with normal open eyes, straight noses, short hairs had been dressed bilaterally and crowned by an slightly ornamented ribbon, similar to that used for the dead persons in Al-Fayum panel paintings! Which was dated between I to III Century AD<sup>11</sup>. The lower portions of the ears are seen or they are fully appeared. The men sarcophagi shapes are also beautiful, healthy, quiet different from each other and they express a very high quality sculpturing possibilities. They are also all young.

In general, the sculpturing manner of the faces of the marble (female and male) anthropomorphic sarcophagi is highly influenced by the marvelous Greek sculpture of the V and IV Centuries BC and it has a clear Hellenistic character. It is highly remarkable that these sarcophagi must be produced in a specialized big workshops in the region by highly qualified artists. The different physiognomies of the dead individuals suggest the using of the human models of the dead, may be for a long time before the death of the individuals, when the persons are still young! For that, all the faces on the anthropomorphic sarcophagi are young. Nevertheless, they are fully different from each others. Similar way was used for Al-Fayum panel paintings. Physiognomic differences between persons are very clear, so it is so simple to distinguish every one from the others. There are no signs of standard sculpture of the physiognomies.



**Fig. 8 - Marble male Anthropomorphic sarcophagus from Ram Al-Zahab tomb, IV Century BC, Tartous Museum, photo by the author**

---

<sup>11</sup> Chobova et alii, 1966.



**Fig. 9 - Marble male Anthropomorphic sarcophagus from Ram Al-Zahb tomb, IV Century BC, Tartous Museum, photo by the author**



**Fig. 10 - Marble male Anthropomorphic sarcophagus from Amrit- Tartous sites, V-IV Centuries BC, Tartous Museum, photo by the author**

Local artists-sculptors must have played a very big part in sarcophagi production, using the local stylistic and aesthetic test, that was developed in Phoenicia in that time episode. Besides, it is not excluded that some sarcophagi or the marble itself were imported from Greece and from / or through Cyprus.

All the sarcophagi shapes bear a very slight Egyptian influences, only the general shape of the sarcophagi themselves represents it here. Local influences could be remarked as well may be in the physiognomies of the dead. It is difficult to decide that these faces are different from local inhabitants of a Hellenistic society, mainly composed of Phoenicians, Egyptians, Greeks, Persians, etc. of that time.

### **The terra-cotta sarcophagi**

Five anthropomorphic sarcophagi were found in Amrit site, about 120 m South of the water cistern of the coastal bungalows (Fig. 11). A national archaeological expedition carried out the excavations in March 1996 for an underground Phoenician group tombs belonging to a Phoenician family (dated V to IV Century BC). The tomb, which is dug in sandstone rocks, has an entrance leading to a staircase and that to a distributor, which is opened, on nine funerary holes. Four wooden coffins were destroyed by time, humidity and water flow. Their remains were found in the site. The other five were made of terra-cotta (as mentioned before).

The terra-cotta anthropomorphic sarcophagi were numbered from #1 to #5<sup>12</sup>.



**Fig. 11 - General view of the terra cotta anthropomorphic sarcophagi 1, 4, 2, 3 and 5 from right to left, Tartous Museum, photo by the author**

---

<sup>12</sup> Haykal, 1996.

### *Sarcophagus #1*

A male sarcophagus consisting of two parts, the covering and the coffin itself, the later is a box where a corpse was buried (Fig. 12).

#### *The Cover*

It has a convex profile, it bears a full young man face with; amygdaloidal bulgy eyes, clear eyelids crossing in the distal sides by a small angle, the irises are marked by an accurate curved circles in the centres of which the pupils are marked by two small holes. The mouth is accurately closed by thin lips which are marked (especially the upper lip) by a clear curved lines, a short nose, full rounded protruding cheek, which is separated from the lower lip by a small depressed area. The ears are complete with slight deepening. The head cover and the dress have an Egyptian traditional style. The neck area bears Lotus and Calendula flowers. There is a double protruding simple belt above the middle of the covering. The cover has no lip but it is supported by four handlings with rounded holes for fastening and opening. It is previously diagonally broken in two places, under the shoulders as well as between the two lower handles. The broken pieces were repaired by joining the fragments to each others by using a zigzag shaped engraved lines with holes on the apexes where a strip of lither or another thread material was tightly mounted.

#### *The Box*

It is straight smooth concave shaped container resembling the human body figure, with an elliptic profile shape for the cover and the box all together, no uplifting is remarked in the feet area.



**Fig. 12 - Terra cotta male Anthropomorphic sarcophagus # 1 from Amrit site (near the bungalows place) V-IV Centuries BC, Tartous Museum, photo by The General Directorate of Antiquities and Museums**

### *The Sarcophagus Status*

No principal deformations or injuries were remarked more than the two old broken areas.

### *The Sculptural Style*

The headdress and the ornamentation on the chest are traditional Egyptian. A striped tissue represents the first, whereas the second is consisting of chains of Lotus and Calendula flower shapes, plus geometrical triangular ornaments. The face physiognomy is local to oriental with clear Hellenistic influences. Perhaps the face shape of the dead was performed depending on the original model! Remarkably, that the faces sculptures suggest a high qualification of the craftsperson(s). The apparent Egyptian influences refer to either the active commercial and / or social and cultural relationships between Phoenician Syria and other Mediterranean countries and may be with the Persian Empire, which could be made easier to transport the ready-made terra-cotta sarcophagi<sup>13</sup>. The contact between the ports in the two countries was very active during the Persian reign (538-333 BC).

### *Sarcophagus #2*

It is a female sarcophagus consisting of two parts, the covering and the box (Fig. 13).



**Fig. 13 - Terra cotta female Anthropomorphic sarcophagus # 2 from Amrit site, V-IV Centuries BC, Tartous Museum, photo by the author**

---

<sup>13</sup> Fortin, 1999.

### *The Cover*

The cover profile is convex, the face of a beautiful young woman is full, well formed, with straight fine nose, the eyes are amygdaloidal well opened, eyelids are clear and crossing in distal sides, irises are curved by an accurate two circles while the pupils are drawn by two small holes in the centre. A curved lines mark firmly closed thin lips, nicely shape the mouth. The rounded cheek is separated from the lower lip by a small depression. The spirally braided hair is dressed in many successive lines, remarkably, above the eyebrows, around the neck and in front of the shoulders. A flower ruff beautifully surrounds the head. The ears are frontally slip located, with three holes for every one in its upper part and with a big rounded and curved ring. The neck is full and short, covered by a flower ruff with Egyptian decorative influences. The dress is simple and it covers the body tightly. In the middle of the cover (which has no lip for closing) there are four handlings with holes for tight closing (one hole for every handle) and an uplifted belt with Lotus flowers. At the end of the cover there is no uplifted area in the feet place.

### *The Box*

It is smooth, has a concave shape, had a rounded form in the head, narrowed in the neck, more wide in the shoulder and slightly narrows at feet areas respectively. Its profile with the box has an elliptical form.

### *The Sarcophagus Status*

The cover was previously broken to five parts in the chest and the abdomen areas. Shortly after excavation, using gypsum and other materials made a slight restoration. There are three defected areas due to lack of the material; two elongated holes around the neck and one small at the right upper corner of the face, in addition to two crossing cracks around the face. Partly repairs were done in unqualified way by using gypsum! The middle of the cover was previously broken and repaired using sewing technique, which is a curved double zigzag line with small holes in the zigzag apexes along the two broken pieces and mounting them by a leather thread (or other material).

### *The Sculptural Style*

Comparing this sarcophagus with the previous one, although the stylistic influences in the sarcophagus #1 are clear local and Egyptian whereas in sarcophagus #2 are local, Palmyran and Cypriot influences rather than Egyptian, basing on hairdressing, ornamentations and earrings, etc. the two sarcophagi are similar to each other in face shapes, sculpture techniques, treatments, solutions and artistic test. The two faces vitality of the sarcophagi, the beauty ideal used in face sculpturing and the physiognomies similarity suggests the using of live models. Sarcophagus #2 could be made by the same craftsperson(s). The style in sarcophagus #2 is Hellenistic: local, Palmyran, Cypriot and may be Persian, to some extent. The Egyptian influences are very slight, it could be seen in the ruff ornamentation.

### *Sarcophagus #3*

This sarcophagus belongs to a woman and it consists of two parts; the cover and the box (Fig. 14).

#### *The Cover*

It has a convex shape, bears a full rounded broad young woman face characterized by; straight, short and slightly pressed nose, amygdaloidal bulgy eyes, uncrossed eyelids, clear irises and pupils as in the previous sarcophagi. Remarkable that the mouth is smaller than the eyes, lips are thin, contoured by engraved thin lines, having the shape of an upward opened half moon, in a similar way, as in Etruscan sculptures! Cheek is full and close to the lower lip, neck is full short marked by a deep engraved line. The hair had dressed in wisps in three lines above the front and in many levels around the face, the neck and the shoulders. A broad perpendicularly lined head ruff could be seen above the front. Ears are partly seen. The cover has a lip, as well as, four handles, the upper two with one hole in every one. The end of the cover is uplifted at the feet level.

#### *The Box*

It is smooth, concave shaped, rounded in the head, narrowed in the neck, broad in shoulder, narrowed at feet areas respectively. Cross section of the box with the cover has an oval shape.



**Fig. 14 - Terra cotta female Anthropomorphic sarcophagus # 3 from Amrit site, V-IV Centuries BC, Tartous Museum, photo by the author**

#### *The Sarcophagus Status*

The cover is transversally broken in four places; under the shoulders, in the middle and near the feet area. The top middle and right part of the cover head area is lost.

Restoration by using gypsum could be seen in some face details and on the box lip in the head area.

#### *The Sculpture Style*

The craftsperson more likely had used pattern styles that suggest more generalization in face shaping, compared with the two previous sarcophagi. Basing on hair dressing this sarcophagus is similar to sarcophagus #2. No clear Egyptian influences are dominant in this sample. The style is Hellenistic with local influences.

#### *Sarcophagus #4*

This anthropomorphic sarcophagus belongs to a woman and it consists of a cover and a box (Fig. 15).



**Fig. 15 - Terra cotta female Anthropomorphic sarcophagus # 4 from Amrit site, V-IV Centuries BC, Tartous Museum, photo by The General Directorate of Antiquities and Museums**

#### *The Cover*

It has a convex shape with a full rounded, slightly smiling face of a young woman with a thick straight nose. The eyes are bulgy amygdaloidal, eyelids are clear and crossing each other, irises and pupils are marked as in previous sarcophagi. The mouth is firmly closed by full lips, a small-depressed area from the cheek separates the lower lip and the first is big and slightly broken. A nicely dressed hair surrounds the face, as well as, the full neck, in similar way as in sarcophagi #2 and #3. The lower parts of the ears are partly appearing with a big hole in every one. The cloth is tightly covering the body. The cover had been supplied by a lip and by four handlings with elongated holes.

There are two uplifting around the shoulders and another one in the feet area. Remarkably there is a frame around the cover as it is the case with sarcophagus #3.

#### *The Box*

It is smooth with a concave shape, resembling the body and supplied by a lip and by four elongated holes for closing firmly. The cover and the box profile together have an oval shape.

#### *The Sarcophagus Status*

The sarcophagus was previously broken and restored by using the *zigzag sewing technique*. The cover had been fractured into eleven separate pieces. The hair wisps above the face had been removed. A new slight restoration of the face had been done in some places simply by using gypsum.

#### *The Sculpture Style*

The face physiognomy suggests a local to oriental styles of sculpturing mixed with Hellenistic influences. On the contrary, the Egyptian influences are unclear or extremely slight. Sarcophagi #3 and #4 are similar, according to hairdressing and face shapes, including eyes, noses, mouths and necks; they could be made by the same craftsperson(s). From the other hand, although these sarcophagi are slightly different from sarcophagi #1 and #2 and could be made by different persons, the oriental sculpture style is similar and unique in these sarcophagi. Remarkably that all the figures physiognomies of the dead persons on the sarcophagi are young, what could be followed later in similar way in the painting traditions used in Al-Fayum portraits in old Roman Egypt between I to III Century AD and may be in different provinces of the Roman Empire around that period. Explanation for that could be that the sarcophagus sculptors (the artists) had used the dead persons as a models, as in marble sarcophagi, when they still young and a long time before they died, in order to sculpture their faces, because, according to Egyptian believes, in order to get reborn, it is necessary for the dead person that his portrait, as a young man or woman, must be buried in his mummy or his coffin<sup>14</sup>.

### *Sarcophagus # 5*

This sarcophagus belongs to a woman and is composed of the cover and the box (Fig. 16).

#### *The Cover*

The cover has a convex shape. Besides, the young woman face is different from the other sarcophagi faces in many aspects; especially its dimension, that is smaller than it is in the other sarcophagi, and by the used different sculpturing technique. The face has a triangular shape and a remarkably wide front. The bulgy eyes have an amygdaloidal simplified shape, eyelids are thick and cheek is small and separated from the lower lip by a slight depressed area.

---

<sup>14</sup> Chobova et alii, 1966; Hussein, in preparation.

The hair ruff is big and protruding with unclear ornamentation. The hair had been dressed roughly in six successive lines above the front and in many zigzag shaped brides ending in a spiral wisps, in the two sides of the face. Ears could be partly seen on the two sides of the face, every one has its small hole. The cover has been supported with a lip and it has no uplifted area in the feet place.

#### *The Box*

It is smooth, with a concave shape that resembles the body, and with a lip. The cover and the box profile has a semi-circular shape, its vertical diameter is smaller than it is in the other sarcophagi.

#### *The Sarcophagus Status*

Unfortunately, it has been badly crushed to many separate pieces! The sarcophagi could be used when it was still somewhat white, or it was pressed whetted after use, some marks of that could be seen in the head area as slight folds. The face had been badly defected, some parts of the face are lost forever, especially the right front, the right eye, the nose and its surroundings and the neck. The cover chest area had been crushed also, some parts are lost and one can see many cracks in this place.



**Fig. 16 - Terra cotta female Anthropomorphic sarcophagus # 5 from Amrit site, V-IV Centuries BC, Tartous Museum, photo by the author**

### *The Sculpture Style*

The face details are characterized by inaccurate proportions, rough and schematic treatments. The style is local oriental to Hellenistic, with Cypriot and Persian influences. No-clear real Egyptian influences are appearing. No regard to these style characteristics of this sarcophagus, it seems to be more similar to sarcophagi #3 and #4. More accepted that the sarcophagus #5 must be made by different craftsman.

## **Discussion**

The terra-cotta sarcophagi type is more rare than the marble ones in the area, due to their fragility, short duration and bad conservation. These sarcophagi are made from a locally wide spread montmorillonite (a kind of ferrous clay slightly mixed with sands locally abundant in the area) which is a sort of clay having an expanding structure and mixed with some iron oxides which give it a distinguished red color before and after heating (burning). It is believed that this application was widely spread in Cyprus, Persia<sup>15</sup> and Syria itself. The commercial relationships between Phoenicia and the other countries as: Egypt, Greece, Cyprus, Persia, using sea transportation, must give the opportunity for active exchange of cultures, fabricated materials and ideas as well. Exchange of art materials and techniques is certain between these countries.

The terra-cotta sarcophagi are composed of two parts, as it is the case in the marble ones. The covers in both types take the shapes of male or female figures. The decorative and the ornamental elements of the terra-cotta type were curved directly on the cover surfaces by using strong tools, when it was still wet. The workers on these sarcophagi are highly skilled persons. The shapes and ornamentations bear as a rule Egyptian, Cypriot and Palmyran influences. The Greek influences are unclear in these sarcophagi, as it was the case in the marble ones. These influences are marked clearly in the head covers styles, the lotus flower of the neck ruffs, earrings, hair dressing manner-braiding and locking, eye and lip forms, as well as face shapes. The smile on the faces had been described as the smiles of facing the death with no fear or excitement<sup>16</sup>.

All of these details suggest that all of the terra-cotta sarcophagi had been made in the same time period and for that they could belong to the same crafts person(s) and workshop(s)! The lower half of the funerary box is simply a half of a cylinder without any complicated craft treatments.

Unfortunately, due to the cotemporary hot and dry climate of the country in summer season, the terra-cotta sarcophagi were affected by some cracks, shortening and deformation. Therefore, at the moment, they need a certain urgent conservation processing. This makes to think that the clay sarcophagi were made without burning or heating by fire, but simply by drying under sunrays, may be for a different time periods before they were used.

---

<sup>15</sup> Christensen, 1959.

<sup>16</sup> Haykal, 1996, 1997.

Some sarcophagi were found broken in one or many places! The craftsmen had repaired the defected parts by bounding the pieces together by using leather (or other materials) ribbons.

Comparing the marble and the terra-cotta sarcophagi from Amrit-Tartous region, with the sarcophagi from Amrit, Syria, displaying in Louvre Museum, and with other Phoenician sarcophagi spreading in other world museums, that give the basis for considering that the age of the previous sarcophagi must be dated as old as V-IV Centuries BC. All these sarcophagi are similar in many aspects<sup>17</sup>, especially, from stylistic, material and esthetic points of view.

From the other hand, the differences between the marble and the terra-cotta sarcophagi are stylistic, iconographic, formal, dimensional, material, etc.

## Conclusion

Finally, basing on art styles, materials, ages and other characteristics of the sarcophagi of both types, the following remarks could be made as a conclusion:

- although the Amrit-Tartous marble anthropomorphic sarcophagi are similar to the Egyptian ones by their general Human forms, the local style and the neighboring countries influences are also clear. The Hellenistic and Greek styles influences are dominant in face sculpturing as well as in the other details;
- the sculpturing style of the marble sarcophagi has more realistic than idealized characters than some of the terra-cotta ones. That may refer to the presence of workshops and specialized masters, to face the needs of the society for that kind of ritual production. It is however true to say that the sculptors of the marble sarcophagi were more qualified than the terra-cotta ones;
- most of the used materials in the sarcophagi production, especially the terra-cotta ones, are widely found in the region. That gives the bases to say that the sarcophagi production heavily took place in the region<sup>18</sup>. However it is not excluded that some marble sarcophagi could be ready made or imported, as marble is a rarely found rock in the region;
- the local Hellenistic and Egyptian influences on sarcophagi sculpturing during the V to IV Century BC were clearer on the terra-cotta sarcophagi, compared with the marble ones. On the contrary, the Greek and the Hellenistic ideals are clearer on the marble anthropomorphic sarcophagi of the same time period;
- the terra-cotta sarcophagi mostly bears local, Palmyran, Cypriot and Egyptian Influences;
- it is not excluded that some marble importation had taken place as raw material to Phoenicia, due to the lack of good marble in the area. In this particular case,

---

<sup>17</sup> Moscati, 1988.

<sup>18</sup> Hussein, 1997; Hussein, in preparation.

sculpturing had taken place in the region by a local artists. Besides, it is not excluded that some sarcophagi were used more than one time for burying different persons;

- the material discussed in the present study gives the proof about the art importance in general and the sculpture in particular to the Phoenician society, as it had been practiced in Syria during the V-IV Centuries BC;
- the sarcophagi showed the richness levels of the higher classes inside the dominant slavery Hellenistic society of Phoenicia in that time. The higher classes used certainly marble sarcophagi, whereas, the lower classes had used the terracotta sarcophagi: “c’est la vie”.

## Bibliography

Chobova A. P., Ivanova A. P., *Antique Painting*, M. Iskustvo (in Russian), 1966, p. 195.

Chrestensen E. O., *The History of Western Art. A Mentor Book*, 1959, p. 320.

Contenau G., *La Civilisation Phoenicienne*, Arabic translation by M. A. Shaira, Egyptian Book Society Press, 1997, p. 478.

Elayi J., Haykal M. R., *Novelles Découvertes sur le Usage Funéraires de Phéniciens d'Arwad, Transeuphratène*, Supplement 4, 1966, p. 49.

Fortin M., *Syrie, terre de civilization*, Musée de la civilization, Quebec, Canada, 1999, p. 349.

Haykal M. R., *Anthropomorphic Sarcophagi*, (in Arabic), 1996, p. 80.

Haykal M. R., *Amrit and the Human Settlements in Akkar Plain* (in Arabic), 1997.

Hussein K. M., *Neogene and Quaternary Spore and Pollen Assemblages of Syria*, Ph. D. Thesis, (In Russian), Moscow, 1973, p. 185.

Hussein K. M., *Phoenician Painting Through History, Issues of Plastic Art*, Union of Arab writer Press (in Arabic), Damascus, 1997, p. 467.

Hussein K. M., *The Phoenician Funerary Painting and Sculpture during XIII to I Centuries BC* (in preparation).

Lembke K., *Phönizische Anthropeide Sarcophage, Tartus und sein Hinterland, Archäologische Forschungen in der Syrischen Küstenregion von der Antike bis ins Mittelalter* K. S. Freyberger editor, Deutsch Archäological Institute, Damaskus, 2001, pp. 22-26.

Lembke K., Arados und sein Gebiet-Tempel und Nekropolen, *Tartus und sein Hinterland, Archäologische Forschungen in der Syrischen Küstenregion von der Antike bis ins Mittelalter*, K. S. Freyberger editor, Deutsch Archäological Institute, Damaskus, 2001, pp. 13-16.

Moscato S. editor, *The Phoenicians*, Fabbri-Bompiani, first edition, 1988, p. 766.

Renan E., *Mission de Phénicie*, 1864, p. 884.

Hussein K. M., *A journey with Painting from Al-Fayum of Egypt to Pompeii of Rome*, in preparation.

## **IL TELERILEVAMENTO SATELLITARE: ITER ADDESTRATIVO ED APPLICAZIONI PER IL CONTROLLO DEL TERRITORIO**

Stefano GUSMANO, Scuola di Aerocooperazione, Guidonia.

È ormai da tutti riconosciuto che il Telerilevamento, nelle due componenti aerea e satellitare, costituisce oggi un insostituibile strumento in grado di risolvere compiutamente il maggior numero di esigenze informative in ambito territoriale ed ambientale, anche in contesti geografici limitati e complessi. Per molti ambiti applicativi le tecnologie di Telerilevamento aerospaziale, unitamente a tutto il complesso delle GeoTecnologie (Cartografia digitale, GPS, GIS, ecc.) consentono con pieno successo di soddisfare la domanda d'informazione geografica e prova ne è, la continua crescita della richiesta di dati Telerilevati da parte degli Enti preposti, per i tematismi di propria competenza, al controllo del territorio ed alla sua evoluzione.

Nel sottolineare la caratteristica multidisciplinare del Telerilevamento, nel senso che i tematismi d'indagine che ricopre sono talmente vasti che non esiste un esperto che possa comprenderli interamente, la familiarità con cui se ne parla non deve essere equivocata con l'idea di facilità di utilizzo.

I dati devono essere correttamente acquisiti, poi trattati per essere interpretati ed utilizzati nei diversi campi applicativi; inoltre devono essere strutturati secondo la scala di utilizzo ed in relazione alle tematiche affrontate. In ultima analisi deve essere poi considerata la finalità metodologica d'uso del dato Telerilevato, come interrogazione dei GIS, oppure come informazione in sé stessa per l'aggiornamento conoscitivo del territorio.

In tale contesto il Telerilevamento appare come disciplina complessa dove i principi e le metodologie sono la risultante di un processo formativo indispensabile e necessario.

La Scuola di Aerocooperazione, quale Istituto Militare Interforze istituzionalmente preposto alla formazione nel campo del Telerilevamento aerospaziale, racchiude, nell'ambito della propria offerta didattica, una serie di corsi, aperti a personale militare e civile della Pubblica Amministrazione, orientati in modo da comprendere le diverse sfaccettature del Telerilevamento aereo e satellitare.

L'offerta didattica si configura in due iter distinti che ricoprono rispettivamente l'area operativa, prettamente militare, e l'area geotopografica.

In particolare il secondo iter formativo fornisce le basi per poi procedere con le applicazioni tipiche legate all'osservazione ed al controllo territoriale ed ambientale, come ad esempio:

- archeologia;
- agronomia;
- geologia;
- produzione ed aggiornamenti cartografici;
- inquinamento;

- protezione civile.

L'iter didattico si compone di quattro moduli che affrontano le tematiche relative all'acquisizione, trattamento, interpretazione ed elaborazione delle immagini telerilevate attraverso l'utilizzo dei sensori sia aerofotografici che satellitari.

CORSI	FOTOLETTURA	IFA	AFIG	AFIGS
		Interpretazione Fotografia Aerea	Fotogrammetrista Analista Immagini Geocartografiche	Fotointerprete Analista Immagini Geocartografiche Satellitari
Durata (settimane)	2	6	4	4

In particolare il primo modulo (scheda 1) vuole dare un indirizzo di base attraverso quei tematismi (scheda 2) (cartografia, fotografia aerea, stereoscopia) necessari per saper inquadrare un'immagine su un riferimento cartografico ponendo particolare attenzione sui caratteri di visione stereoscopica del frequentatore (capacità necessaria per proseguire nell'iter formativo).

Il secondo modulo (scheda 3) vuole fornire i principi relativi all'interpretazione delle vie di comunicazione, del terreno e delle strutture con particolare riferimento alla pianificazione di una missione aerofotografica. Inoltre si presentano le principali tecniche per acquisire informazioni orizzontali e verticali dalle differenti tipologie di aerofotografie (scheda 4).

Il terzo modulo è di indirizzo specialistico ed è relativo alle metodiche di aerofotogrammetria, si basa cioè sulle tecniche di collezionare misure rigorose (scheda 5). Attraverso l'utilizzo di restitutori analitici e digitali sono proposte le procedure per orientare i fotogrammi, restituire informazioni vettoriali, produrre DTM ed elaborare ortoimmagini (scheda 6).

L'ultimo modulo è finalizzato alle elaborazioni di immagini satellitari (scheda 7). Attraverso tecniche di elaborazione geometrica e radiometrica, e successivamente di classificazione, vengono proposte le tecniche per produrre cartografia tematica (scheda 8).

## **CORSI TELERILEVAMENTO**

### **CORSO DI FOTOLETTURA**

Destinato a personale che necessita di saper “leggere”, nei caratteri generali, una fotografia aerea attraverso la conoscenza dei principi della stereoscopia, della cartografia e della fotografia aerea.

In particolare, tali corsi sono destinati a tutti coloro che durante la propria attività lavorativa utilizzano la fotografia aerea come fonte informativa.

Ad esempio Presidenza del Consiglio dei Ministri, Protezione Civile, Prefetture, Regioni, Province, Comuni.

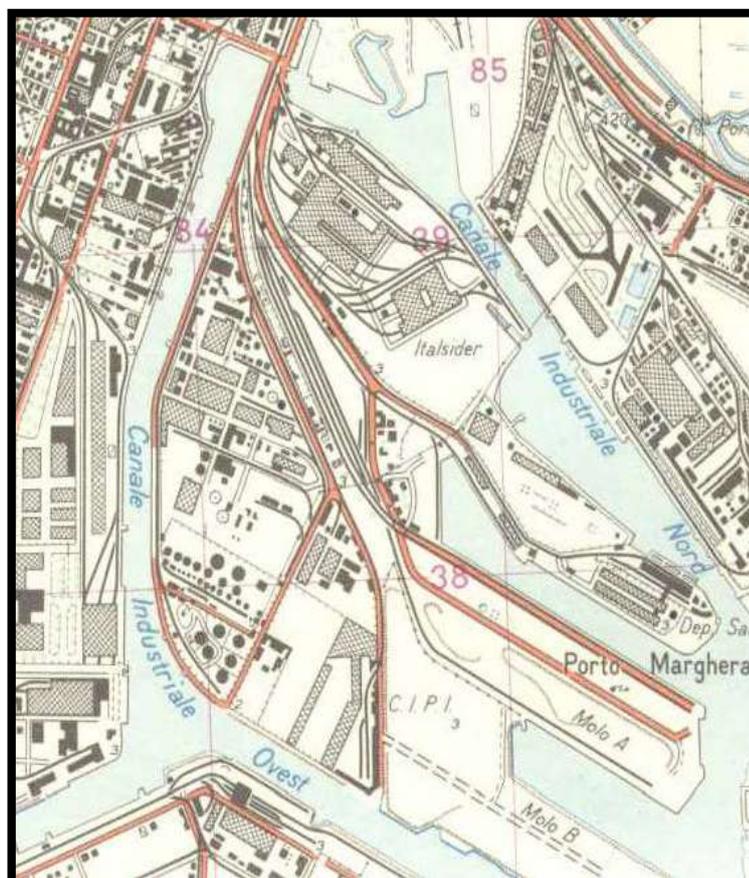
Il Corso ha carattere qualificativo ed è propedeutico alla frequenza del Corso d'Interpretazione della Fotografia Aerea, previa idoneità all'accertamento tecnico di Stereoscopia.

## CORSI TELERILEVAMENTO

### CORSO DI FOTOLETTURA

#### MATERIE

- Fotografia aerea
- Stereoscopia
- Cartografia
- Mosaici e riporto del campo abbracciato



## **CORSI TELERILEVAMENTO**

### **CORSO D'INTERPRETAZIONE DELLA FOTOGRAFIA AEREA (IFA)**

Il Corso d'Interpretazione della Fotografia Aerea è destinato al personale che, attraverso l'utilizzo delle fotografie aeree, ha necessità di conoscere:

- le dimensioni degli elementi naturali ed artificiali riportati sulle immagini;
- le caratteristiche legate alla morfologia del terreno ed alle vie di comunicazione;
- le strutture di manufatti ed opere d'arte;
- gli elementi necessari per la pianificazione di una missione aerofotografica.

Il Corso è propedeutico alla frequenza del:

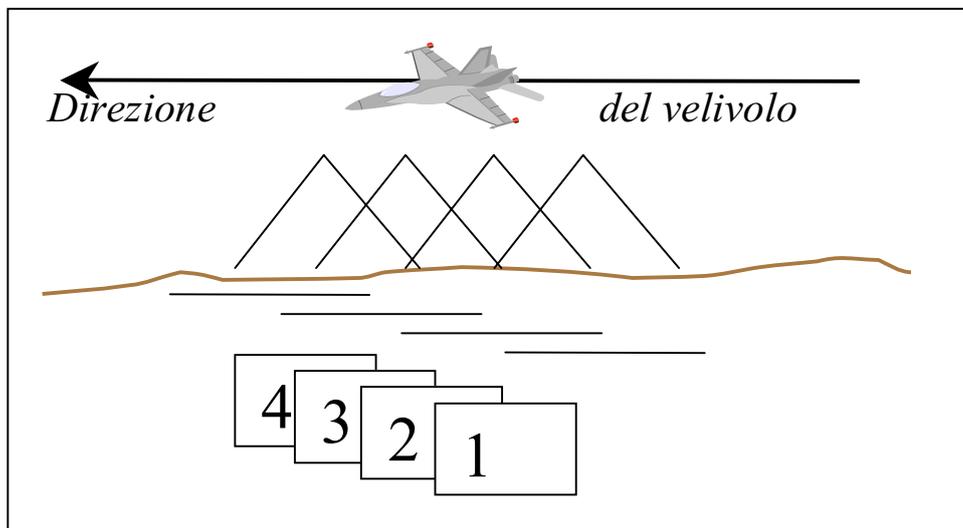
- Corso di Fotogrammetria ed Analisi d'Informazioni Geotopografiche;
- Corso per Analisti Geocartografici d'Immagini Satellitari.

## CORSI TELERILEVAMENTO

### CORSO PER INTERPRETE DELLA FOTOGRAFIA AEREA (IFA)

#### MATERIE

- Restituzione elementare
- Riporto del campo abbracciato
- Analisi delle strutture
- Immagini IR / SLAR
- Analisi del terreno
- Pianificazione di una Mix.
- Scale e misure foto verticali / oblique / panoramiche
- Scale e misure foto verticali / oblique / panoramiche
- Scale e misure foto verticali / oblique / panoramiche
- Vie di comunicazione - ponti / strade / ferrovie / idrovie



## **CORSI TELERILEVAMENTO**

### **CORSO PER FOTOGRAMMETRISTA ANALISTA D'IMMAGINI GEOCARTOGRAFICHE (AFIG)**

Il Corso di Fotogrammetria ed Analisi di Informazioni Geotopografiche è destinato a personale che, attraverso l'utilizzo delle aerofotogrammetrie, ha necessità di analizzare e restituire, in modalità analitiche o digitali, gli elementi geotopografici d'interesse, secondo dimensioni, caratteristiche e modalità definite da specifiche dedicate; attraverso queste tecniche, è possibile costruire o aggiornare cartografia, produrre modelli matematici del terreno, curve di livello, ortofotoproiezione.

## CORSI TELERILEVAMENTO

### CORSO PER ANALISTA FOTOINTERPRETE D'IMMAGINI GEOCARTOGRAFICHE (AFIG)

#### MATERIE

- Cartografia – GPS
- Aerotriangolazione
- Orientamenti spaziali
- Fotopiani ed Ortofoto
- Curve di livello
- Modelli matematici del terreno
- Tecniche di restituzione cartografiche

## MODELLO MATEMATICO DEL TERRENO



## **CORSI TELERILEVAMENTO**

### **CORSO PER ANALISTA FOTOINTERPRETE D'IMMAGINI GEOCARTOGRAFICHE SATELLITARI (AFIGS)**

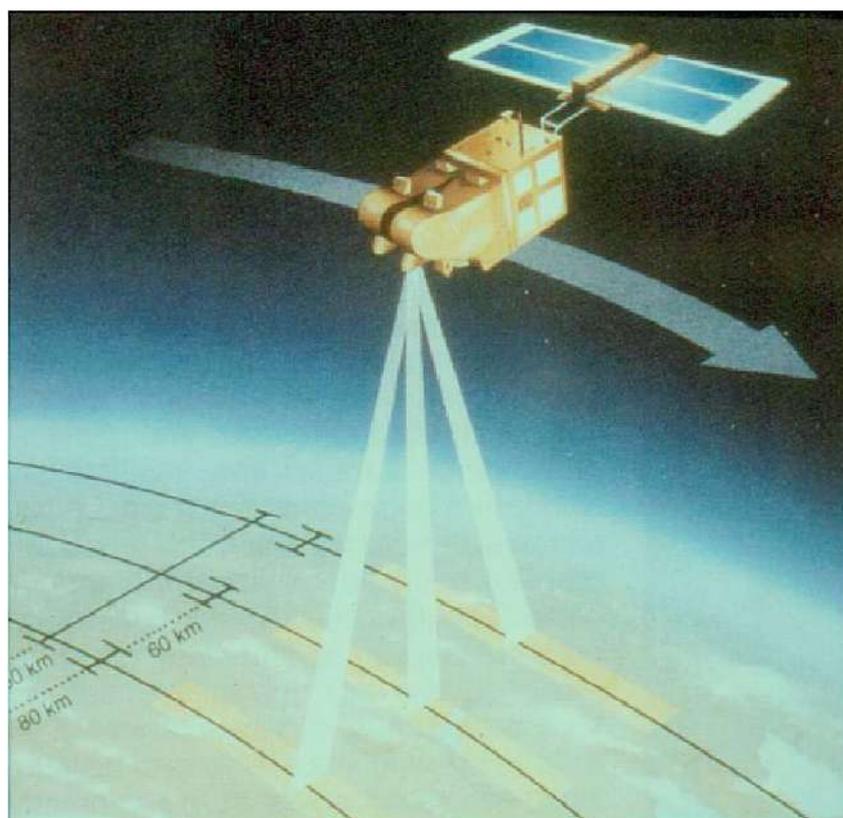
Il Corso per Analista Geocartografico d'Immagini Satellitari è destinato a personale che, attraverso l'utilizzo di immagini satellitari, ha necessità di analizzare e restituire gli elementi geotopografici d'interesse per l'aggiornamento o la produzione di cartografia tematica; in particolare è possibile, attraverso la fusione di immagini e modelli matematici del terreno, l'elaborazione di scenari geografici interattivi e di GIS quali strumenti per il supporto decisionale.

## CORSI TELERILEVAMENTO

### CORSO PER ANALISTA FOTOINTERPRETE D'IMMAGINI GEOCARTOGRAFICHE SATELLITARI (AFIGS)

#### MATERIE

- I principi del Telerilevamento
- Trattamento radiometrico
- Trattamento geometrico
- Elaborazione di cartografia satellitare.
- Analisi, estrazione e vettorizzazione di elementi significativi.
- Formati dati e software applicativo



## RECENTI IPOTESI SULLA CONFORMAZIONE DEL *LACUS BAIANUS*<sup>1</sup>

Fabio MANISCALCO, Istituto Universitario Orientale di Napoli; Nicola SEVERINO, Soprintendenza Archeologica delle province di Napoli e Caserta.

L'esistenza nell'antichità del *Lacus Baianus* oltre ad essere testimoniata dalle fonti letterarie, è ormai accertata da una serie di scoperte, tra le quali il canale di accesso, che hanno permesso la sua individuazione e la localizzazione topografica di parte degli edifici e delle strutture che lo delimitavano a Nord-Est ed a Sud-Ovest<sup>2</sup>.

Rimane ancora da definire quale fosse la conformazione e l'estensione di tale lago costiero di origine vulcanica, al quale si accedeva dal lato orientale, come dimostra la presenza dei resti degli antichi moli che delimitavano l'antico canale di ingresso (Tav. I, D1).

Proprio per cercare di determinare l'ampiezza interna del *Lacus Baianus* sono state avviate alcune ricerche che, pur essendo parziali perché limitate all'area meridionale dell'odierno golfo di Baia e perché non suffragate da scavi stratigrafici, hanno permesso di comprendere quanto l'estensione dell'area meridionale dell'antica laguna fosse ridotta rispetto a quella sino ad oggi ipotizzata (Tav. I).

Come hanno evidenziato le ricerche di archivio, tale area non è mai stata oggetto di indagini archeologiche complete, ma solo di occasionali prospezioni o di limitati saggi stratigrafici.

Viceversa, a partire dalla prima metà dello scorso secolo, si è sviluppata l'attività portuale con tutte le deleterie conseguenze per i giacimenti archeologici presenti in situ, dovute sia alla presenza di navi con pescaggio superiore ai 4 m, sia ai ripetuti improvvidi dragaggi, alcuni dei quali furono intrapresi nell'area meridionale dell'attuale porto nel 1984 e nel 1986<sup>3</sup>.

Il primo fu effettuato a partire dal 30 gennaio 1984 nello specchio d'acqua compreso tra l'estremità meridionale del molo Ovest, il molo Sud ed il mare aperto.

Durante i lavori la benna della draga strappò dal fondale alcuni resti archeologici nel seguente ordine cronologico:

- 8 febbraio. Ad una batimetria di 4,80 m, nell'area inquadrata nelle coordinate cartesiane tra la I e la II bitta del molo Ovest e tra la II e la III bitta di quello Sud (Tav. I, N) fu rinvenuto un ampio blocco di malta cementizia (delle misure di 1,60 x 1,40 x 0,45 m).

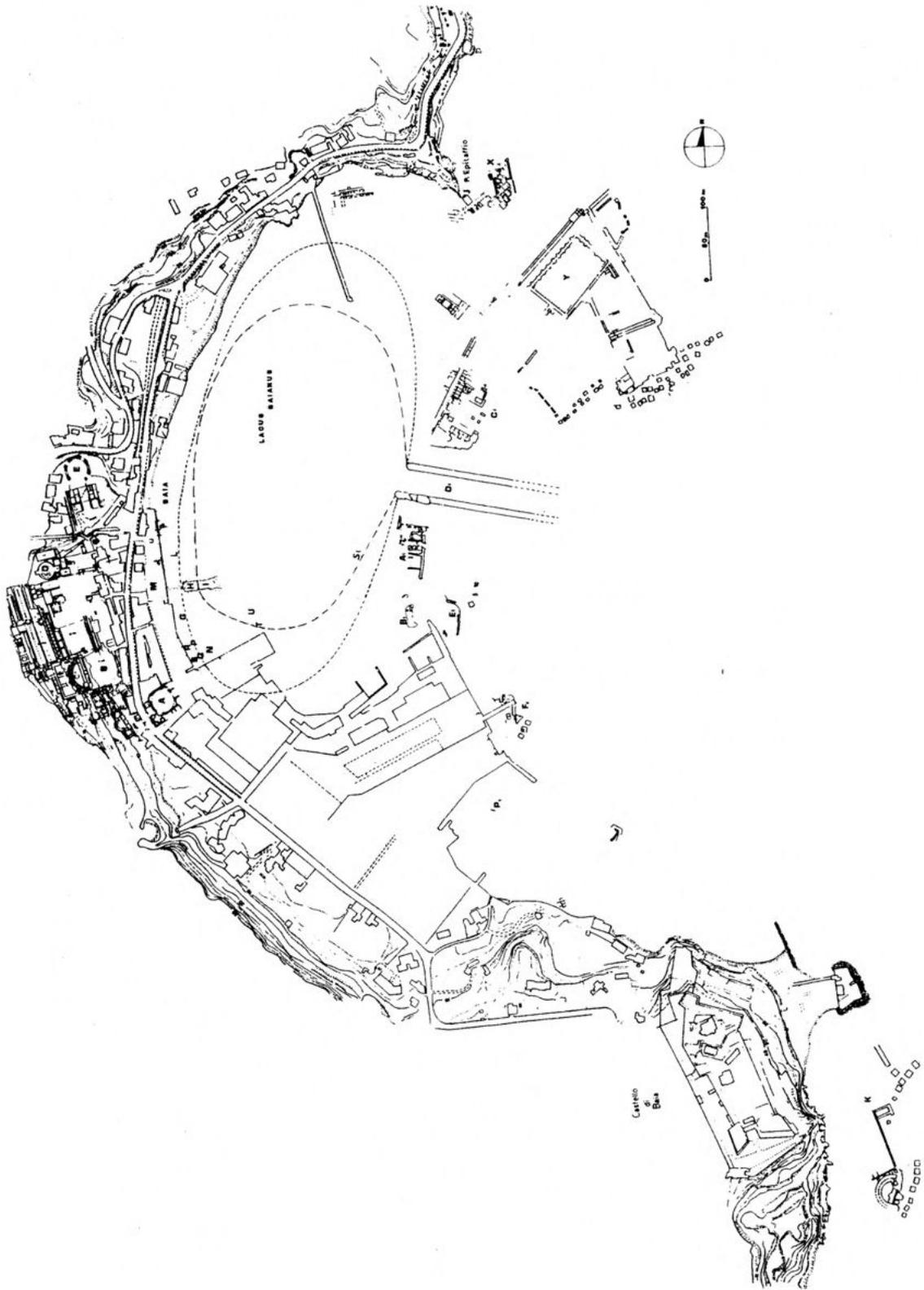
---

<sup>1</sup> Si ringraziano il Prof. Stefano DE CARO e la Dr.ssa Paola MINIERO, della Soprintendenza Archeologica delle province di Napoli e Caserta, per le autorizzazioni concesse, ed il Prof. Giuseppe CAMODECA per i preziosissimi suggerimenti.

<sup>2</sup> Maiuri, 1961, pp.108-112; Lamboglia, 1961, pp.225-255; Andree, Zevi, 1982, pp. 114-156; Autori Vari, 1983; Di Fraia et alii, 1985-1986, pp. 211-299; Di Fraia, 1993, pp. 21-42; Lombardo, 1993, pp. 49-53; Scognamiglio, 1993, pp. 65-70; Maniscalco, 1995, pp. 257-271; Scognamiglio, 1997, pp. 35-45; Maniscalco, 1997; Gianfrotta, 2001, pp. 63-72; Maniscalco, 2001, pp. 37-42; Miniero, 2001, pp. 29-39; Scognamiglio, 2001, pp. 43-50.

<sup>3</sup> Precedenti e distruttivi dragaggi nelle acque del porto di Baia si ebbero negli anni 1923-1924; 1927-1928 e 1954. Napoli, 1953, pp. 76-107; Maniscalco, 1995, pp. 257-271; Maniscalco, 1997.

Tav. I - Pianta del Lacus Baianus



## Tav. I - Pianta del Lacus Baianus - Legenda

A: Tempio di Venere  
B: Settore della Sosandra  
C: Villa dell'Ambulatio  
D: Tempio di Mercurio  
E: Tempio di Diana  
F: Terme del livello inferiore  
G: Saggi archeologici del 1998: mosaico  
H: Canale scavato da navi in attracco (recupero di ceramica di epoca medioevale)  
I: Saggi archeologici del 1999, casseforme in legno  
J: Ninfeo di Claudio  
L: Saggi archeologici del 1999, piano pavimentale  
M: Saggi archeologici per lavori fognari, cementizio e resti di muratura in laterizio.

Indagini archeologiche del 1984:

N: blocco di malta cementizia  
P: pietrisco  
Q: materiale ceramico vario  
R: materiale ceramico vario  
S: blocco di malta cementizia e materiale ceramico.

S1: Indagini archeologiche del 2000, resti di gettata a secco con pali (banchina ?).

Indagini archeologiche del 1986:

T: gettata cementizia  
U: blocco in opera cementizia  
X: Complesso termale e strada  
Y: Villa dei Pisoni  
A1: Opere di fondazione  
B1: Area danneggiata dalla eliche della nave Tourist  
C1: Resti di villa  
D1: Canale di ingresso al Lacus Baianus  
E1: Fondazione di un molo  
F1: Strutture in opera reticolata  
G1: Villa Gallo.

$\alpha$ : Dragaggi degli anni '20, area del Ninfeo Severiano

$\beta$ : Dragaggi degli anni '20, edificio Severiano

1: Specchio d'acqua indagato nel 2001.

(-----) Precedente ipotesi sull'estensione del Lacus Baianus

(----) Recente ipotesi sulla conformazione del Lacus Baianus.

(Ideazione ed Elaborazione grafica: Maniscalco F., Rossi F., Severino N.)

- 13 febbraio. Alla medesima quota batimetrica, tra le coordinate cartesiane comprese tra la II e la III bitta del molo Ovest e la II bitta del molo Sud, fu messo alla luce pietrame tufaceo di varie dimensioni, quasi certamente relativo a murature (Tav. I, P).
- 14-15 febbraio. Ad una quota batimetria di 3,80 m, tra le coordinate cartesiane comprese tra la I e la II bitta del molo Ovest e la II bitta del molo Sud, oltre al pietrame ed a frammenti di marmo e stucco dipinto furono scoperti diversi frammenti ceramici<sup>4</sup> (Tav. I, Q).
- 22 febbraio. Nello specchio d'acqua quasi a ridosso della banchina Ovest, tra le coordinate cartesiane comprese tra la I e la II bitta del molo Sud e tra la I e la II bitta del molo Ovest, ad una quota batimetrica di 4,20 m (Tav. I, R) oltre a frammenti ceramici frammisti a pietrame e ad alcuni frammenti di marmo e stucco fu recuperato un blocco di malta cementizia (delle misure di 1,60 x 0,40 x 0,60 m)<sup>5</sup>.

Dal momento che i lavori di sbancamento del fondale marino venivano sospesi non appena la benna riportava alla luce elementi archeologici, non si raggiunse una quota di scavo più profonda di 4,80 m.

Due anni dopo, nel marzo 1986, furono intrapresi nuovi lavori per il ripristino dei fondali che partendo dal medesimo specchio d'acqua dragato nel 1984 si estendevano sino al mare aperto.

In questo caso per realizzare lo sbancamento del fondale fu impiegata la motodraga Bragadin ed una sorbona ad aria dotata di una bocca di uscita di 2 x 1 m e di un'idrovora di 1200 HP.

L'eccessiva potenza di aspirazione della sorbona e l'impossibilità di far confluire i materiali di scavo all'interno di un crivello crearono non poche difficoltà operative nell'individuazione di eventuali presenze archeologiche sul fondo.

Inoltre, nonostante le precauzioni adottate quali il posizionamento della testa della sorbona a diversi centimetri dal fondo, il dragaggio si rivelò distruttivo; la Soprintendenza allora predispose alcune prospezioni subacquee.

---

<sup>4</sup> L'elenco del materiale rinvenuto è il seguente: "...n. 3 gusci di ostriche coltivate, una con il buco; n. 4 frammenti marmorei bianchi; n. 2 frammenti di stucco, uno a fondo rosso e l'altro a fondo giallo; n. 1 frammento di marmo rosso antico; n. 1 frammento di collo di anfora con manico a doppio bastoncino attaccato; n. 9 frammenti di anfora (pareti); n. 1 frammento di coperchio di olla con manico; n. 1 frammento di tegola; n. 2 frammenti di ceramica comune con orli e pareti; n. 1 frammento di fondo di ceramica da cucina; n. 2 frammenti di ceramica comune con orlo e parte di parete; n. 1 puntale di anfora con accenno di pareti; n. 11 frammenti di anfora (pareti); n. 1 frammento di anfora; n. 1 frammento di manico di anfora con attacco a doppio bastoncino; n. 1 collo di anfora frammentato; n. 1 frammento di ceramica comune di bacino con orlo...".

<sup>5</sup> L'elenco completo del materiale rinvenuto è il seguente: "... n. 27 frammenti di pareti d'anfora; n. 1 frammento di tegola; n. 5 frammenti marmorei; n. 4 frammenti di stucco, uno a più colori con accenni di cerchi; n. 1 collo d'anfora con orlo arrotondato con un'ansa intera attaccata; n. 1 frammento di collo d'anfora con orlo arrotondato; n. 1 frammento di collo d'anfora con orlo piatto con attacco ansa; n. 1 puntale d'anfora; n. 1 frammento coperchio di olla con manico di presa; n. 1 frammento di ceramica comune di bacino con orlo; n. 1 frammento di embrice; n. 1 frammento di ceramica comune (?) con base e accenno di pareti; n. 2 frammenti di ceramica comune con orli e accenni di pareti..".

Le prime due furono condotte, i giorni 1 e 6 aprile, nell'area compresa tra il canale romano e la testata Nord del molo OMLIN<sup>6</sup>.

La terza immersione esplorativa, risalente al 26 aprile, fu eseguita nello specchio d'acqua antistante il molo Sud del porto sino ad una distanza di circa 250 m dallo stesso, in direzione Nord-Est.

Nel corso di quest'ultima ricognizione furono segnalate le seguenti evidenze archeologiche:

- parte di una pavimentazione in cocciopesto (di altezza pari a 20 cm e di lunghezza di circa 2 m) di incerta estensione, in quanto l'area circostante era ricoperta da sabbia e sedimenti, presso la quale fu rinvenuto un frammento di colonna in laterizi (Tav. I, V);
- resti di pavimentazione, composti da una dozzina di blocchi tufacei inglobati in una gettata cementizia (Tav. I, T);
- un blocco cementizio delle misure di 40 x 50 cm, probabilmente divelto dall'originaria ubicazione dalla sorbona (Tav. I, U);
- parte di muro, in opera cementizia, emergente dalla sabbia per un'altezza di circa 20 cm (Tav. I, W);
- numerosi blocchi marmorei privi di forma, a causa dell'erosione marina (Tav. I, Z).

Nuove indagini di scavo stratigrafico furono promosse dalla Soprintendenza tra l'ottobre ed il novembre 1998, a seguito di una richiesta di concessione, di uno specchio d'acqua nell'area meridionale del porto di Baia, finalizzata alla messa in opera di alcuni pontili galleggianti ancorati sul fondale a corpi morti.

Poiché i lotti d'acqua richiesti in assegnazione erano due, le ricerche furono approntate in due fasi distinte.

La prima, attuata nel settore marino antistante l'intero molo Sud<sup>7</sup>, non fornì risultati, sia perché oggetto dei dragaggi degli anni 1980, sia per l'ingente accumulo di sabbia e sedimenti prodotto dalle grandi navi che qui ormeggiavano.

Il secondo lotto acqueo richiesto in concessione si estendeva immediatamente a Nord del primo e, a causa della mancanza di tempo, si decise di effettuare un unico ampio saggio di scavo, al fine di determinare la presenza di eventuali strutture murarie sommerse.

Le ricerche si concentrarono nella zona mediana del lotto, a circa 10 m dalla banchina ed alla quota batimetria di 2 m (Tav. I, G).

I lavori di scavo furono rallentati dalla presenza di uno strato, dello spessore di circa 2 m, contenente una copiosa quantità di moderni materiali di scarico di dimensioni tali da richiedere, in alcuni casi, l'impiego di un braccio meccanico per l'asportazione.

---

<sup>6</sup> Su tali prospezioni cfr. Soprintendenza Archeologica delle province di Napoli e Caserta, n. 608, 08/04/1986.

<sup>7</sup> Per una distanza di 90 x 35 m.

Dopo circa una settimana di lavoro, ad una quota batimetria di 4,20 m, fu accertata la presenza di parte di un pavimento costituita, come si legge dalla relazione della Soprintendenza<sup>8</sup>, da:

...una preparazione con schegge di tufo coperta da due strati di calce e pietrisco e rifinita da un mosaico di tessere marmoree policrome rettangolari disposte "a canestro" alternate a scaglie, anch'esse di marmo policromo, dalle forme e dimensioni irregolari. Una cornice realizzata con tessere quadrate nere delimita un probabile tappeto centrale. Ancora oltre riprende una balza bianca che lascia poi il posto ad una ripresa del pavimento a tessere nere con inserite a distanze regolari piccole scaglie in marmo bianco ben rifinite nel taglio (3 x 3 cm)....

Il confronto tra il pavimento scoperto nelle acque di Baia ed altri analoghi *pavimenta scutulata*<sup>9</sup> presenti, per esempio, nella Villa dei Misteri di Pompei, a Roma, Cosa ed Ostia<sup>10</sup> permetterebbe di datarlo, presumibilmente, alla metà del I secolo aC<sup>11</sup>.

Lungo il margine Est del saggio di scavo fu individuata una struttura<sup>12</sup>, in opera cementizia con paramento in opera quasi reticolata, verosimilmente riferibile ad un piano rialzato o ad un gradino.

Nella stessa area furono portati alla luce anche diversi frammenti di intonaco bianco.

Nel marzo del 1999 la Soprintendenza, sollecitata dalle medesime motivazioni dell'anno precedente, avviò nuove indagini nello specchio d'acqua antistante il tratto mediano della banchina Ovest (Tav. I, L - I).

I saggi di scavo qui realizzati diedero i seguenti risultati:

- ad una distanza di 15-20 m dalla banchina e ad una profondità di 4 m slm fu scoperta una gettata in cementizio, forse relativa alla preparazione di un piano pavimentale, di cronologia incerta per la mancanza di strutture murarie o di elementi datanti (Tav. I, L);
- ad una distanza compresa tra i 40 ed i 50 m dalla banchina, a partire dalla profondità di 5 m slm furono messi in luce i resti (Tav. I, I) di due casseforme, costituiti dalla testa di sei pali, da un tavolato ligneo e da una gettata cementizia impiegate nell'antichità per la realizzazione di una struttura pertinente, forse, ad una banchina. Nonostante nel cementizio vi fossero inglobate alcune tessere di mosaico, non furono individuati elementi datanti;
- altri saggi furono realizzati ad una distanza di circa 90 m dalla banchina moderna, ma non fornirono risultati.

Le ultime indagini archeologiche nel golfo di Baia risalgono al periodo compreso tra agosto e dicembre 2001, quando la Soprintendenza Archeologica di Napoli promosse

---

<sup>8</sup> Benini A..

<sup>9</sup> Secondo Plinio la prima attestazione di questo tipo di pavimentazione sarebbe successiva al 149 aC: "...scutulatum in Jovis Capitolini aede primum factum est post tertium bellum punicum initium...".

<sup>10</sup> Morricone, 1980; Blake, 1930, pp. 50 et sequentes.

<sup>11</sup> Sul rinvenimento del mosaico cfr.: "Il Mattino, 6 dicembre 1998, pag. 26".

<sup>12</sup> La struttura presentava un elevato di circa 44 cm e fu messa in luce per una lunghezza di 2,80 m.

nuove prospezioni ed alcuni saggi di scavo, a seguito di ulteriori istanze di concessioni demaniali marittime da parte di privati, in uno specchio d'acqua piuttosto esteso<sup>13</sup>.

Nel corso delle prospezioni, condotte esclusivamente nel settore Sud-Est dell'area esaminata, oltre ad essere stata individuata la presenza di frammenti ceramici e murari cronologicamente eterogenei, furono rinvenuti due rocchi di colonna, alcuni blocchi squadrati di tufo, numerose pietre di tufo e grossi blocchi di cementizio, probabilmente resti di antiche opere di banchinaggio.

Con l'ausilio di una lunga asta di sondaggio fu possibile appurare che tale materiale era avulso dal contesto originario<sup>14</sup>.

Per quanto concerne i lavori di sorbonatura, furono eseguiti solo tre saggi, in tre lotti d'acqua, condizionati dal periodo estremamente limitato concesso per gli scavi e dall'interruzione forzata ed imprevista dovuta ad una serie di questioni di ordine legale insorte tra la locale Capitaneria di Porto, la Soprintendenza ed alcuni privati<sup>15</sup>.

Le sorbonature compiute nei lotti d'acqua in concessione alle società Fusaro Land e Pozzolana Flegrea, che raggiunsero una profondità di 7 e 9 m, non portarono alla luce alcun elemento archeologico.

Il saggio di scavo (6x5 m) condotto nello specchio d'acqua in concessione alla società Nautica Fusaro (Tav. I, S1) evidenziò, a partire dalla quota batimetrica di 7 m slm<sup>16</sup>, due pali lignei<sup>17</sup> (Ø 14 cm e Ø 10 cm) distanti tra loro 2,80 m, privi di corteccia, conficcati in maniera perpendicolare al fondo e costipati all'interno di materiale di scarico.

La presenza dei due pali ed il loro allineamento, potrebbe indicare la presenza di una banchina con andamento NW-SE collegata alla costa SW del Lacus Baianus.

Questa, come confermerebbe uno studio archeomalacologico sulle valve di conchiglia individuate nella stratigrafia (vedi Appendice) fu eretta in prossimità della sponda della laguna.

La mancanza di materiali leganti, quali malta o cementizio, all'interno della stratigrafia fa supporre che la presunta banchina fosse realizzata a secco, con l'impiego di pali lignei che delimitavano e/o imbrigliavano il materiale di scarico.

Il lato occidentale del saggio di scavo, probabilmente, è relativo alla "scarpa" del lato Ovest della banchina edificata, forse, con la tecnica "a pietre perse" come suggerirebbe la presenza di numerosi frammenti ceramici ricchi di incrostazioni e di serpulidi<sup>18</sup> e la sequenza stratigrafica, caratterizzata da uno strato superiore di fango pozzolanico (forse causato dalla decennale attività di trasporto di pozzolana mediante il vicino pontile

---

<sup>13</sup> Le indagini archeologiche furono curate dagli autori, in collaborazione con la società Marine Sub di Biagio Carannante.

<sup>14</sup> Tra i diversi materiali individuati fu portata alla luce un'ancora litica trapezoidale a tre fori delle misure di 66 x 66 x 46 x 20 cm, diametro foro superiore pari a 6,8 cm, diametro fori inferiori di 5,5 cm.

<sup>15</sup> Mentre il presente lavoro andava in stampa sono state autorizzate le indagini di scavo anche nei rimanenti lotti d'acqua.

<sup>16</sup> La batimetria massima raggiunta è stata 8,90 m slm.

<sup>17</sup> La sequenza stratigrafica è la seguente: uno strato di sabbia frammisto a valve di molluschi e radici di posidonie (circa 20 cm); uno strato di materiale di scarico antico (circa 1,10 m) comprendente frammenti di muratura in opera reticolata, piccoli blocchi di cementizio, frammenti di cocciopesto, ceramica comune, frammenti marmorei e di stucco, valve di molluschi.

<sup>18</sup> Segno evidente che tale materiale in antico non era inglobato nella stratificazione della banchina.

Coppola) e da uno strato più ridotto di materiale antico (70 cm) rispetto a quello individuato nel lato orientale (110 cm).

La fabbricazione della banchina potrebbe risalire alla fine del I o agli inizi del II secolo AD dal momento che il materiale ceramico, rinvenuto nel corso dello scavo e sigillato nella stratigrafia, non è posteriore al I secolo AD<sup>19</sup>.

Dunque, le ricerche di archivio e le prospezioni subacquee effettuate hanno permesso di trarre alcune considerazioni e di ipotizzare una diversa e più ristretta conformazione del settore Sud-occidentale del Lacus Baianus.

Per quanto concerne il settore Sud-occidentale, i dragaggi del 1984 oltre a pietrame tufaceo, frammenti di marmo e stucco dipinto appartenuti forse a strutture murarie, accertarono la presenza di un piano pavimentale, comprovata da alcuni blocchi di malta cementizia (Tav. I, N).

La posizione di tale piano corrisponderebbe, in linea di massima, con l'andamento dell'antica linea di costa Sud-occidentale sino ad oggi ipotizzato.

Allo stesso modo, le indagini archeologiche del 1998 e del 1999 permisero di individuare, più o meno sul medesimo tratto costiero, una pavimentazione rifinita con mosaico (Tav. I, G) nei cui pressi fu individuata una struttura, in opera cementizia con paramento in opera quasi reticolata, verosimilmente riferibile ad un piano rialzato o ad un gradino<sup>20</sup> ed una gettata in cementizio, relativa ad un impiantito, a 10 m di distanza dall'attuale banchina Ovest.

La presenza di un mosaico e di un piano rialzato fanno supporre che quest'area fosse più arretrata rispetto al mare.

La definizione del limite Sud-occidentale dell'antica linea costiera è stata resa possibile dallo scavo stratigrafico del 1999 quando, ad una distanza compresa tra i 42 ed i 50 m dall'attuale banchina, furono rilevati un tavolato, una gettata cementizia all'interno della quale era affogata la testa di un palo, ed altre cinque teste di pali lignei paralleli al tavolato.

Tali elementi, che correavano in direzione Nord-Sud, erano relativi ai resti di due casseforme impiegate per la costruzione di una banchina portuale e proverebbero non solo il limite, ma anche l'andamento della costa Sud-occidentale del Lacus Baianus (Tav. I).

Nel versante meridionale dell'antico lago, le indagini furono promosse dalla Soprintendenza a seguito dei dragaggi del 1986 e misero in luce parte di un piano di calpestio in cocchiopesto (Tav. I, V) e dodici blocchi di tufo inglobati in una gettata cementizia, pertinenti anch'essi ad una pavimentazione<sup>21</sup> (Tav. I, T).

Nello stesso settore, come dimostrerebbe lo scavo del 2001, forse era presente una piccola banchina, collegata al lato SW della costa, che aveva un andamento NW-SE.

---

<sup>19</sup> Tali ipotesi, comunque, potranno solo essere suffragate da uno scavo più ampio dell'area.

<sup>20</sup> Furono recuperati anche frammenti di intonaco bianco.

<sup>21</sup> Nei pressi di tale pavimentazione fu rilevato un blocco in cementizio, non in situ in quanto divelto dall'opera di dragaggio.

Benché tali scoperte non chiariscano definitivamente la reale conformazione della costa meridionale del “Lacus Baianus” esse determinano dei punti fissi (Tav. I, I-G-T-V) sulla base dei quali si può approssimativamente proporre l'originaria estensione di questo cratere vulcanico in età romana<sup>22</sup>, che doveva avere dimensioni assai più ridotte di quanto prima immaginato, con conseguenze non da poco sulla ricostruzione topografica dell'intera area baiana.

## **APPENDICE:**

### **Relazione archeomalacologica sui campioni di fauna marina provenienti dal saggio di scavo nel lotto d'acqua *Nautica Fusaro* di Baia.**

Alfredo CARANNANTE<sup>23</sup>, Istituto Universitario “Suor Orsola Benincasa”, Napoli.

Nel dicembre 2001 sono state effettuate indagini archeomalacologiche su due campioni di resti di fauna marina rinvenuti nel corso del saggio di scavo subacqueo effettuato nel lotto d'acqua, richiesto in concessione dalla Società Nautica Fusaro nel golfo di Baia.

Il saggio, da cui provengono entrambi i campioni, è stato realizzato a partire da un fondale attualmente situato a 7 m di profondità.

Sotto 40 cm di fango pozzolanico giace uno strato di 20 cm di sabbia con conchiglie sub-attuali. Questo strato s'impone sui 70 cm di un deposito grossolano costituito da blocchi di tufo, frammenti di ceramica, grosse conchiglie, elementi di scarto dell'edilizia, ecc. Il primo campione proviene da questo deposito ed è rappresentato da quattordici conchiglie di bivalvi di grandi dimensioni, mentre mancano resti malacologici di taglia media o piccola. Tutti i reperti appaiono perforati da spugne, incrostati da serpulidi, vermetidi e briozoi.

Lo scavo del saggio si è arrestato ad un livello sabbioso dal quale proviene il secondo campione che è costituito da un insieme di resti di fauna marina: conchiglie di medie e piccole dimensioni immerse in un tritume di conchiglie di molluschi e di balanidi<sup>24</sup>.

#### *Primo Campione*

Le quattordici conchiglie rappresentanti il primo campione sono ascrivibili a tre specie di molluschi bivalvi:

---

<sup>22</sup> Si ringrazia il Prof. Filippo RUSSO per il proficuo scambio di idee. In generale, sugli aspetti geologici dei Campi Flegrei cfr. Di Girolamo et alii, 1984; Rosi, Sbrana, 1987.

<sup>23</sup> L'indagine archeomalacologica è stata eseguita nel Laboratorio di Bioarcheologia dell'Istituto Universitario “Suor Orsola Benincasa”, Napoli.

<sup>24</sup> Per tutte le determinazioni è stata utilizzata la nomenclatura fornita da G.T. Poppe e Y. Goto in *European Seashells*.

### *Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) OSTREIDAE

Vive in acque basse, raggiungendo al massimo i 90 m di profondità, su ogni tipo di fondale, con la valva inferiore cementata ad un substrato rigido. Lunga, in genere, 6-10 cm, raggiunge anche i 15 cm. Si tratta della tipica ostrica mediterranea particolarmente apprezzata nell'età imperiale romana, quando veniva allevata fino al raggiungimento delle dimensioni massime raggiunte dalla specie.

Dal campione provengono due valve superiori e una inferiore di dimensioni superiori alla media (10,5x12,5x2 cm; 9x11,5x2,5 cm; 9,5x10,5x2,5 cm) ben conservate ma perforate da spugne. La valva inferiore, sebbene ben conservata, non presenta tracce del substrato rigido naturale; ciò potrebbe suggerire la provenienza da ostricoltura su substrato deperibile.

### *Spondylus gaederopus* (Linnaeus, 1758) SPONDYLIDAE

Vive in acque basse, fino a 50 m di profondità, con la valva inferiore cementata a rocce o ad altri substrati rigidi; la valva superiore, violacea e coperta di spine o prominente, viene colonizzata da alghe, briozoi, spugne e da molluschi che camuffano l'animale rendendo estremamente difficile la sua individuazione. Preferisce le pareti verticali di roccia esposte a correnti lente ma costanti. La lunghezza della conchiglia, robusta e massiccia, varia dai 6 ai 14 cm. Fino agli anni 1980 era molto comune nel Mediterraneo; da allora le popolazioni si sono drammaticamente ridotte, fino quasi alla scomparsa, per cause non accertate ma connesse con epidemie e con l'inquinamento marino. Attualmente è di difficile reperimento, ma in epoca romana era molto apprezzata per il gusto e per la capacità di produrre perle di scarso valore.

Del campione fanno parte quattro individui interi e due valve (una superiore, una inferiore) tutti di grandi dimensioni (9,5x11,5x8 cm; 7,5x10x5 cm; 6x11x5,5 cm; 7x7,5x4,5 cm; 8x9x4 cm; 7x8x5 cm).

Tutte le conchiglie sono ricoperte di serpulidi, vermetidi e briozoi e perforate da spugne. La presenza di questi organismi anche all'interno delle conchiglie segnala che dopo la morte i loro gusci vuoti sono stati lungamente immersi in mare<sup>25</sup>.

Il margine delle valve non mostra segni di effrazione documentando una morte naturale o una morte indotta da cottura

### *Lutraria oblonga* (Gmelin, 1791) MACTRIDAE

Vive dal limite inferiore della bassa marea fino a 30 m, seppellita fino a 40 cm in fondali sabbioso-fangosi, sabbiosi o ciottolosi; le valve beanti permettono il rapido ritiro del lungo sifone che emerge dal fondale. Frequente è la loro presenza nelle sabbie adiacenti lo sbocco in mare aperto di canali di laguna.

### *Secondo Campione*

---

<sup>25</sup> Le valve inferiori di due delle conchiglie presentano piccoli frammenti del substrato: una roccia vulcanica nera, una lava contenente cristalli di pirosseni della quale un'accurata analisi petrografica potrà indicare la provenienza.

Immersi in un tritume di frammenti, più o meno riconoscibili, di bivalvi, briozoi, vermetidi e di moltissimi balanidi, sono stati determinati i resti di molluschi, in larga parte bivalvi, presenti.

*Cerastoderma glaucum* (Poiret, 1789) CARDIIDAE

Vive in acque basse su fondali sabbiosi o fangosi e preferisce acque iposaline: estuarine o di laguna.

La conchiglia raggiunge i 3,5 cm. La maggior parte dei frammenti è riconducibile a questa specie: ottanta valve di piccole dimensioni (da 0,4 a 3 cm) delle quali un quarto circa con fori di predazione.

*Tapes decussatus* (Linnaeus, 1758) VENERIDAE

Vive in acque calme, in fondali sabbiosi o sabbioso-fangosi, dalla linea di marea fino a pochi metri di profondità. Si tratta della “vongola verace” tanto apprezzata e diffusa sulle nostre tavole fino all’introduzione nel 1985, per scopi commerciali, della vongola delle Filippine.

Nel campione sono state riconosciute quarantotto valve intere o frammentate, lunghe da uno a quattro centimetri e quattro di esse presentano fori di predazione realizzati da un naticide. Le dimensioni variabili e i fori di predazione non consentono di ipotizzare un utilizzo da parte dell’uomo di questi molluschi.

*Paphia aurea laeta* (Poli, 1795) VENERIDAE

Vive in acque basse e salmastre, specie lagunari. Dal campione provengono otto valve ben conservate della specie, tutte di lunghezza tra 2 e 3 cm.

*Chlamys varia* (Linnaeus, 1758) PECTINIDAE

Vive in acque basse, attaccata tramite il bisso alle rocce. Una valva sola (4x4x0,5 cm) è presente nel campione e presenta il foro di predazione di un naticide.

*Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) OSTREIDAE

Nel campione sono riconoscibili ventinove frammenti, incrostati di serpulidi e briozoi, riconducibili ad almeno venti individui di dimensioni medio-piccole (da 1 a 4 cm) con una taglia media di 3 cm. Le dimensioni e due fori di predazione rendono improbabile un utilizzo alimentare da parte dell’uomo. Circa un terzo dei frammenti è di colore nerastro.

*Mytilaster solidus* (Martin, 1872) MYTILIDAE

Intertidale, vive attaccato alle rocce. Cinque valve, mal conservate, si riconoscono nel campione, tutte al di sotto di 2 cm di lunghezza.

Oltre ai bivalvi, il secondo campione contiene le conchiglie di alcuni gasteropodi.

*Nassarius corniculus* (Olivi, 1792) NASSARIIDAE

Comune nelle acque basse, calme, con salinità ridotta e fondale fangoso o sabbioso. Dal campione provengono undici individui misuranti da 1 a 1,5 cm.

*Gibbula* sp.

Vive sulle coste rocciose, perlopiù in acque basse. Le cattive condizioni di conservazione dei cinque individui del campione, tutti misuranti 1 cm circa, non permettono una più accurata determinazione tassonomica.

*Cyclope donoviana* (Risso, 1826) NASSARIIDAE

Vive su fondali di sabbia fine, in acque basse, calme e salmastre. Tre gli individui nel campione, tutti misuranti 0,5 cm.

*Cerithium vulgatum* (Bruguière, 1792) CERITHIIDAE

Vive su fondali sabbiosi o fangosi, in acque basse a salinità spesso ridotta. Due gli individui, lunghi rispettivamente 5,5 e 4 cm.

## Conclusioni

Osservando la lista delle specie presenti nel secondo campione e la descrizione della loro ecologia, si possono trarre delle conclusioni.

Tutte le specie sono di acque basse e la metà di esse predilige acque calme. La metà delle specie ed il 60% degli individui frequentano prevalentemente le acque salmastre o a salinità ridotta delle lagune.

In effetti, *Cerastoderma glaucum*, *Paphia aurea*, *Cyclope donoviana* e *Cerithium vulgatum* rappresentano la tipica associazione dei molluschi di laguna sabbiosa. L'accumulo di resti riferibili a tali specie, spesso forati da predatori e altamente frammentati, suggerisce una tanatocenosi di riva. Tutto ciò indica che la zona in cui è stato effettuato il saggio subacqueo rappresentava, un tempo, la sponda di una laguna che doveva occupare lo spazio antistante il porto attuale di Baia e sulla quale si andavano a spiaggiare gli organismi morti.

Le piccole ostriche presenti potevano fare pienamente parte della biocenosi di laguna. Il colore nerastro di alcune conchiglie di ostrica risulta dalla presenza di sostanza organica non ossidata, inglobata dalle conchiglie in accrescimento quando si creano situazioni di scarsa ossigenazione. Questo è un chiaro indicatore paleoambientale in quanto segnala l'instaurarsi di periodiche condizioni di circolazione ristretta dovute alla riduzione degli scambi tra mare aperto e laguna (ad esempio per l'ostruzione dei canali).

Il primo campione rappresenta, invece, la frazione malacologica di uno scarico creato dall'uomo con l'intenzione, probabilmente, di stabilizzare la riva realizzando un colmamento con ogni sorta di materiale reperibile, anche grosse conchiglie prese da uno scarico di resti alimentari.

Con ogni probabilità, le ostriche, di enormi dimensioni, dovevano provenire dai celeberrimi centri di ostricoltura allestiti nelle lagune flegree (Lucrino, Fusaro e lo stesso Lacus Baianus).

Degli ostricari si gloriavano i maggiori rappresentanti dell'aristocrazia romana, ostentando il lusso raffinato di poter disporre a proprio piacimento dei più preziosi prodotti del mare.

Il primo campione, sicuramente, rappresenta ciò che resta di un lussuoso banchetto, essendo composto da conchiglie raccolte in ambienti molto diversi, accomunate solo dalle grosse dimensioni e dal pregio delle loro carni.

## Bibliografia

Andreae B., Zevi F., Gli scavi sottomarini di Baia, *Parola del Passato*, 37, 1982, pp. 114-156.

Autori Vari, *Baia. Il ninfeo imperiale sommerso di Punta Epitaffio*, Napoli, 1983.

Blake A. E., The Pavements of Roman Buildings of the Republic and Early Empire, *Melanges of American Academy in Rome*, 8, 1930, pp. 50 et sequentes.

Di Fraia G., Lombardo N., Scognamiglio E., Contributi alla topografia di Baia sommersa, *Puteoli*, 9-10, 1985-1986, pp. 211-299.

Di Girolamo P., Ghiara M. R., Lirer L., Munno R., Rolandi G., Stanzione D., Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei, *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 1984, p. 103.

Gianfrotta P. A., Da Baia a Ponza, *Forma Maris. Forum internazionale di archeologia subacquea*, Pozzuoli 22-24 settembre 1998, a cura di P. A. Gianfrotta, F. Maniscalco, Napoli, 2001, pp. 63-72.

Lamboglia N., Inizio dell'esplorazione di Baia sommersa (1959-1960), *Atti del III Congresso internazionale di archeologia sottomarina Barcellona 1961* (Autori Vari), Bordighera, 1971, pp. 225-252.

Di Fraia G., Baia sommersa - nuove evidenze topografiche e monumentali, *Archeologia Subacquea. Studi, ricerche e documenti*, 1, 1993, pp. 21-42.

Lombardo N., Un documento epigrafico dalla *villa dei Pisoni* a Baia, *Archeologia Subacquea. Studi, ricerche e documenti*, 1, 1993, pp. 49-53.

Maiuri A., L'esplorazione archeologica sottomarina a Baia, *Atti del II Congresso internazionale di archeologia sottomarina Albenga 1958* (Autori Vari), Bordighera, 1961, pp. 108-112.

Maniscalco F., Gli edifici sommersi del Palatium dei Severi a Baia. Nuovi dati per la definizione del bradisismo flegreo, *Forma Maris. Forum internazionale di archeologia subacquea*, Pozzuoli 22-24 settembre 1998, a cura di P. A. Gianfrotta, F. Maniscalco, Napoli, 2001, pp. 37-42

Maniscalco F., *Ninfei ed edifici marittimi severiani del Palatium imperiale di Baia*, Napoli, 1997.

Maniscalco F., Un ninfeo severiano dalle acque del porto di Baia, *Ostraka*, 4, 2, 1995, pp. 257-271.

Miniero P., Baia: dallo scavo subacqueo, al Museo, al parco archeologico sottomarino... e le prospettive di tutela?, *Forma Maris. Forum internazionale di archeologia subacquea*, Pozzuoli 22-24 settembre 1998, a cura di P. A. Gianfrotta, F. Maniscalco, Napoli, 2001, pp. 29-39.

Morricone M. L., *Scutulata pavimenta. I pavimenti con inserti di marmo o di pietra trovati a Roma e dintorni*, Roma, 1980.

Napoli M., Di una villa marittima di Baia, *Bollettino di Storia dell'Arte dell'Istituto Universitario Magistero Salerno*, 3, 1, 1953, pp.76-107.

Rosi M., Sbrana A. (a cura di), Phlegrean Fields, *Quaderni La ricerca scientifica*, 1987, p. 114.

Scognamiglio E., Aggiornamenti per la topografia di Baia sommersa, *Archeologia Subacquea. Studi, ricerche e documenti*, 2, 1997, pp. 35-45.

Scognamiglio E., Baia sommersa: gli sviluppi di ricerca, *Forma Maris. Forum internazionale di archeologia subacquea*, Pozzuoli 22-24 settembre 1998, a cura di P. A. Gianfrotta, F. Maniscalco, Napoli, 2001, pp. 43-50.

Scognamiglio E., Il rilievo di Baia sommersa. Note tecniche e osservazioni, *Archeologia Subacquea. Studi, ricerche e documenti*, 1, 1993, pp. 65-70.

## APPORT DE LA TELEDETECTION MULTI-SOURCE A L'ETUDE TECTONIQUE DU MASSIF VOLCANIQUE DU SIROUA (MAROC)

Anas EMRAN, Université Mohammed V, Rabat-Agdal; Jean CHOROWICZ, Université Paris.

### Abstract

The Late Miocene - Early Pliocene Siroua strato-volcan is made of particular hyper-alkaline rocks. It lies between the High-Atlas and the Anti-Atlas, in a collisional zone related to the continental subduction of the African Plate under the Moroccan Meseta. The field observations and analyses of SPOT, Landsat-MSS and DEM imagery have permitted mapping of faults, joints and volcanic edifices. The elongate shape of volcanoes and linear clusters of adjacent edifices, together with their relationships with faults, show that magma ascent was favoured by tectonic crustal scale open fractures, essentially tension fractures, tail-cracks and open faults. These transforms link two segments of the *Accident Sud-Atlasique* which constitute the border between the Moroccan Meseta and the African Plate. The magma seems to originate from the lithospheric mantle, but asthenospheric material had previously migrated upward along the Panafrican suture zone. This mixed magma finally was transferred to the surface as a result of the onset of the open fractures prior to fault motions. The Siroua volcanic activity results from the conjunction of a Panafrican suture zone and a zone of open fractures due to *strike-slip* strain near a local transform inside the area of collision.

### Résumé

Le strato-volcan d'âge miocène supérieur - pliocène inférieur du Siroua comprend essentiellement des roches hyper-alkalines de caractère original. Il se trouve sur le bloc panafricain du Siroua entre les chaînes du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas, dans un contexte de collision avec subduction continentale vers le Nord de la Plaque Afrique sous celle de la Meseta Marocaine. Les analyses d'images SPOT, Landsat-MSS et du MNT ont permis de cartographier les failles, diaclases et appareils volcaniques. Les formes allongées et les groupements des venues volcaniques ainsi que leurs relations avec les failles montrent que les montées de magma se sont produites à la faveur d'ouvertures tectoniques d'échelle crustale, essentiellement des fentes de tension, des tail-cracks et des failles ouvertes. Les orientations et la distribution de ces fractures apportent une information sur la géométrie de la déformation, complétée par des analyses structurales de terrain. En dehors du massif volcanique, des fractures ouvertes de même direction n'ont pas servi de voie de passage pour le volcanisme et ont évolué en petits fossés allongés Nord-Nord-Est. La déformation en allongement - raccourcissement qui est responsable des fractures ouvertes, se situe à proximité de la transformante d'Azdem. Celle-ci est une zone de failles actives, orientée Nord-Nord-Est parallèlement à la direction de convergence, reliant deux segments de l'Accident Sud-Atlasique constituant la frontière entre les plaques Meseta Marocaine et Afrique.

Le volcanisme aurait son origine dans la croûte continentale inférieure mais du matériel asthénosphérique avait préalablement migré vers le haut le long de la zone de suture panafricaine. Il a pu finalement accéder à la surface grâce aux fractures ouvertes. C'est la conjonction d'une zone de fractures ouvertes accompagnant une transformante et d'une zone de suture qui est responsable du volcanisme du Siroua.

## Introduction

Le massif volcanique hyper-acalin du Siroua, d'âge mio-pliocène<sup>1</sup> est situé entre le Haut Atlas et l'Anti-Atlas marocains (Fig. 1) dans une zone de soulèvement compressif - décrochant à forte activité sismique<sup>2</sup>, d'accès difficile. Il se trouve également à proximité de la suture panafricaine<sup>3</sup>.

L'analyse du massif nécessite une cartographie géologique détaillée. Les images satellitales à haute résolution spatiale (pixel au sol de 10 à 20 m) sont adaptées à la cartographie géologique des volcans et des fractures<sup>4</sup>. Grâce à leur vision stéréoscopique et à leur vue synoptique les images SPOT permettent d'établir des cartes très détaillées<sup>5</sup> qui doivent être complétées sur le terrain. En complément, les images Landsat MSS (pixel au sol de 80 m) présentent des vues régionales simplifiées. Les MNT montrent plus clairement les déformations les plus récentes<sup>6</sup>.

La carte géologique peut donner la géométrie des structures, mais il est indispensable aussi de collecter des données sur les mécanismes de la déformation par analyse structurale de terrain. De plus, l'analyse de la répartition et des formes de volcans peut donner également des informations sur la déformation contemporaine<sup>7</sup>.

L'objectif de ce travail est d'analyser la présence du massif volcanique dans un contexte décrochant - compressif et lié à une suture ancienne. Pour cela il s'est fait appel à plusieurs données multi-sources:

- l'imagerie Landsat-MSS et le MNT pour placer le massif volcanique dans son contexte géologique;
- l'imagerie SPOT en couple stéréographique et la photographie aérienne pour analyser les formes des appareils volcaniques et leurs relations avec les principaux accidents tectoniques;
- les données microtectoniques du terrain, le MNT et les données géophysiques pour comprendre le mécanisme de ces accidents tectoniques.

---

<sup>1</sup> Choubert et alii, 1968; Bellon, 1976, Berrahma, Delaloye, 1989.

<sup>2</sup> Hatzfeld, Frogneux, 1981; Cherkaoui, 1988; Medina, Cherkaoui, 1992.

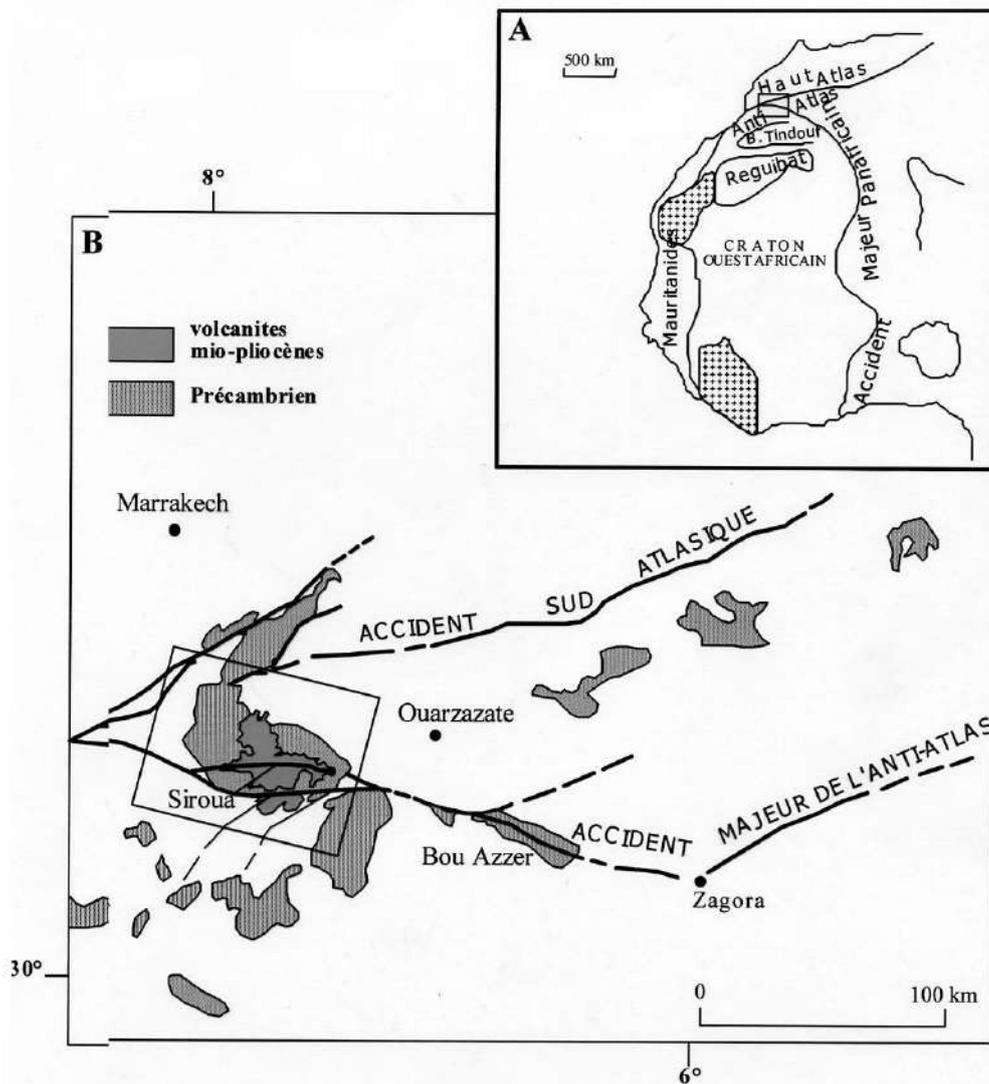
<sup>3</sup> Leblanc, 1975; Brabers, 1988; Saquaque, 1992.

<sup>4</sup> Rothery, 1987; Elsinga, Verstappen, 1988; Bonneville et alii, 1989; Vandemeulbouck, De Parseau, 1989; Chorowicz et alii, 1997.

<sup>5</sup> Chorowicz et alii, 1991; Mekarnia, Chorowicz, 1992; Emran, 1997.

<sup>6</sup> Chorowicz et alii, 1994.

<sup>7</sup> Nakamura, 1977; Chorowicz et alii, 1997; Korme et alii, 1997.



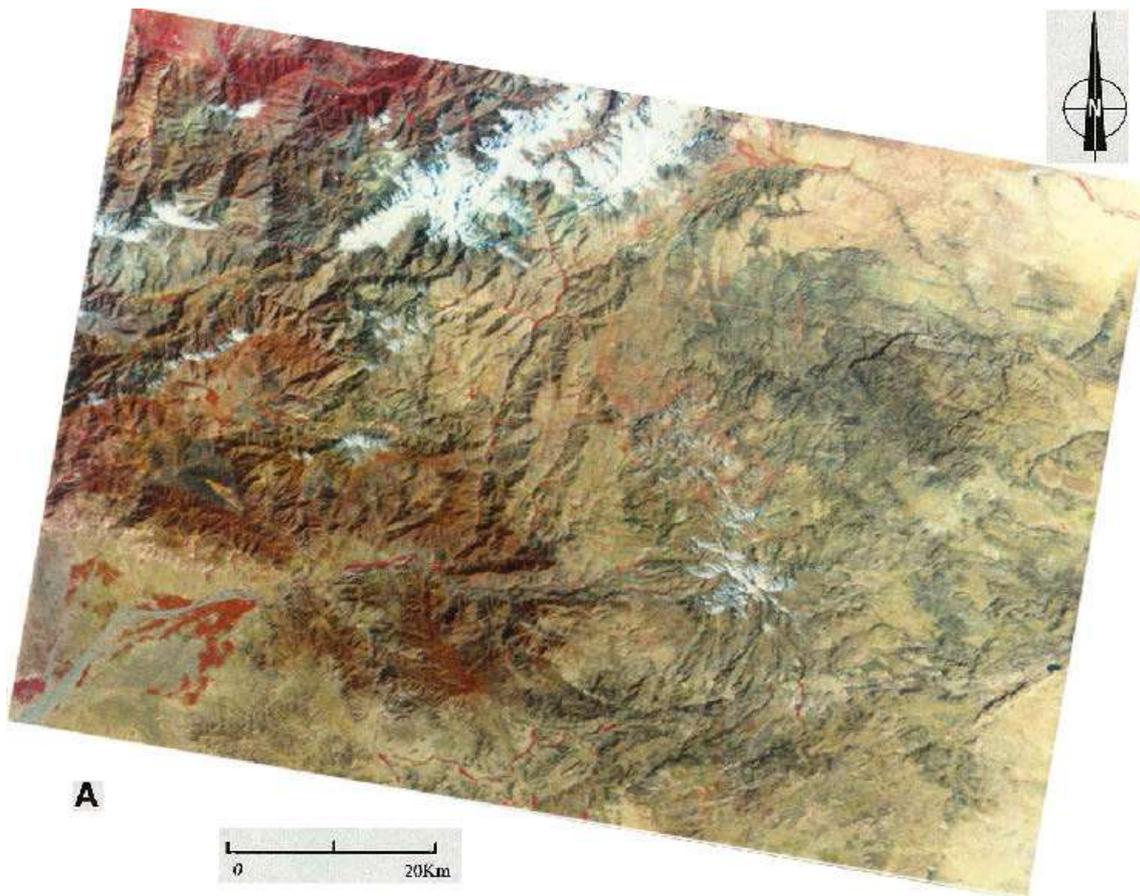
**Fig. 1 - Contexte de la région étudiée:**  
**A) Structures majeures de l'Afrique Nord-occidentale et localisation de la figure 1B.**  
**B) Région du massif volcanique du Siroua. Le cadre est celui de la figure 2. AMAA: Accident Majeur de l'Anti-Atlas**

### **Aperçu régional à partir de l'imagerie Landsat-MSS**

La scène Landsat-MSS de path and row 217-39 a été acquise le 26/03/1973. Le pixel correspond à une surface au sol de 80x80 m. La composition colorée classique (BVR) au 1:250 000 offre une bonne vue synoptique permettant d'observer le contexte géologique régional (Fig. 2A).

Le massif volcanique s'est mis en place sur un socle précambrien situé au Nord de la suture panafricaine de l'Anti-Atlas, soulignée par des affleurements d'ophiolites. Le matériel volcanique constitue des cônes, des cratères, des necks et des coulées

volcaniques de forme bien conservée<sup>8</sup>, d'âge mio-pliocène<sup>9</sup>. Ce volcanisme est essentiellement trachytique et phonolitique<sup>10</sup>. Le massif est représenté sur les cartes géologiques du Maroc (au 1:500 000 feuille de Ouarzazate et de Marrakech; au 1:200 000, Siroua Ouest; au 1:200 000, Anti-Atlas Central; au 1:100 000, feuille de Taliouine; au 1:100 000, flanc Nord de l'Anti-Atlas Central). La cartographie est assez sommaire, surtout en ce qui concerne la fracturation et la forme des appareils volcaniques.



**Fig. 2A - Image Landsat MSS (path/row 217-39, du 26 mars 1973) couvrant la région du Siroua**

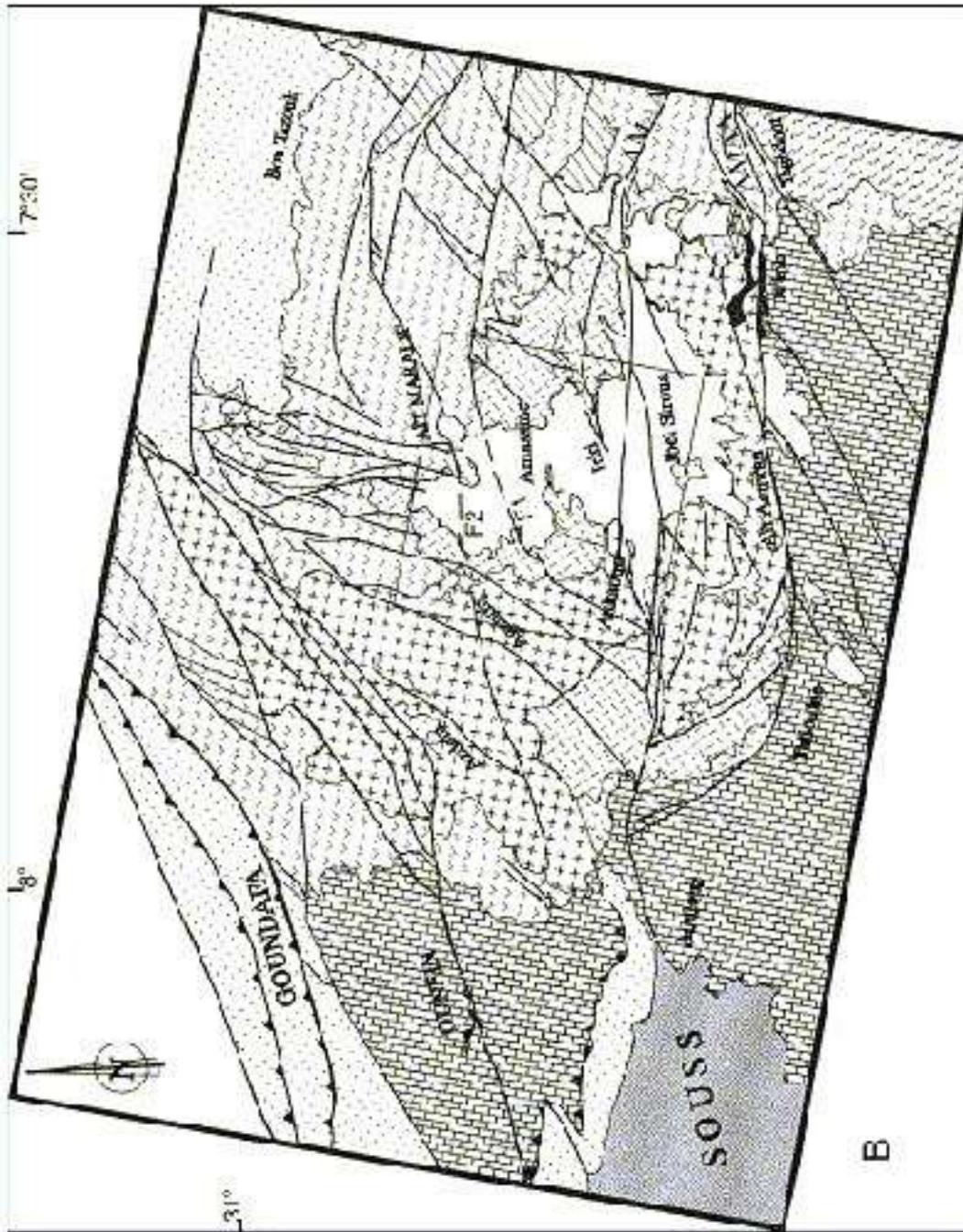
L'image Landsat-MSS montre avec évidence deux grandes failles d'orientation sensiblement Est-Ouest qui constituent ce que Choubert<sup>11</sup> a nommé les deux branches de l'Accident Majeur de l'Anti-Atlas. La branche Sud est superposée à la suture ophiolitique. La branche Nord traverse le massif volcanique du Siroua selon son milieu.

<sup>8</sup> Alem, 1976; Berrahma, 1989.

<sup>9</sup> Choubert, 1963; Choubert et alii, 1968; Bellon, 1976; Berrahma, 1989.

<sup>10</sup> Cherotzky, Choubert, 1973; Berrahma, 1989.

<sup>11</sup> 1947.



- Formations du Quaternaire récent
- Formations volcaniques mio-pliocenes
- Formations mesozoiques
- Formations de l'Aeolien
- Formations du Pliocen terminal P3
- Granite tardi-panafricain
- Formations du Neoprozoique P2 et P2.3
- Ophiolites, P2 de la suture
- Formations du Proterozoique precoces P1

Fig. 2B - Schéma structural. Le cadre du milieu est celui des figures

Au Sud de la suture, affleurent le Précambrien précoce (P1) du craton Ouest-africain, recouvert en discordance majeure par les séries sédimentaires de l'Adoudounien (Précambrien terminal - Paléozoïque inférieur). Au Nord de la suture se trouvent les formations du Néoprotérozoïque (P2) et (P2-3) formées d'ophiolites, de séries volcano-sédimentaires et de gneiss, ainsi que les formations détritiques post-orogéniques (P2-3). Le granite tardi-panafricain d'Askaoun couvre de grandes surfaces à l'Ouest et au Sud du Siroua. Au Nord et à l'Est les formations du Précambrien terminal (P3) la Formation de Ouarzazate forment également de larges affleurements de roches volcaniques acides rhyolitiques et andésitiques.

La Formation de Ouarzazate est recouverte au Nord par des sédiments peu déformés d'âge mésozoïque bordant le Haut Atlas. Plus au Nord-Ouest les formations mésozoïques du Haut Atlas sont en contact par failles avec le Précambrien et le Crétacé. Il s'agit des formations du paléofossé haut-atlasique effondré par failles normales au Mésozoïque et remontées par réactivation inverse au Paléogène<sup>12</sup>.

Le bassin du Souss au Sud-Ouest est un bassin néogène subsident sur la bordure septentrionale où se trouvent des failles inverses (carte géologique du Maroc au 1:500 000, feuille de Marrakech).

L'interprétation de l'image Landsat-MSS et la comparaison avec les cartes géologiques ont permis de tracer dans la zone d'étude un système de failles plus continues et plus cohérentes par rapport à ce qui était connu. Deux directions sont prédominantes, respectivement Est - Ouest et Nord - Sud.

## **Cartographie détaillée du massif du Siroua à partir des images SPOT**

### *Données utilisées*

Deux couples stéréoscopiques SPOT ont été analysés. Le couple de KJ 31-288 comprend deux scènes XS, l'une en vue oblique (26° Est) acquise le 30/06/1986 et l'autre en vue verticale acquise le 01/07/1986. Le couple de KJ 32-288 comprend une scène XS en prise de vue verticale, acquise le 19/03/1986 et une scène panchromatique en vue oblique (27° Ouest) acquise le 28/07/1986. Les fenêtres qui couvrent la zone d'étude ont permis de générer des images en composition colorée classique (BVR).

Les images SPOT ont une bonne résolution spatiale (10 m et 20 m, respectivement pour SPOT-P et SPOT-XS) et offrent la possibilité de travailler en vision stéréoscopique. La confrontation cartes géologiques -images SPOT a permis de dresser une carte géologique téléanalytique originale au 1:80 000 d'une zone restreinte, donnant une description détaillée des structures volcaniques et des failles qui les accompagnent.

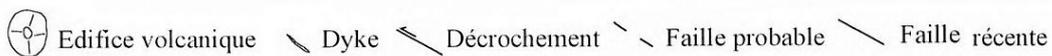
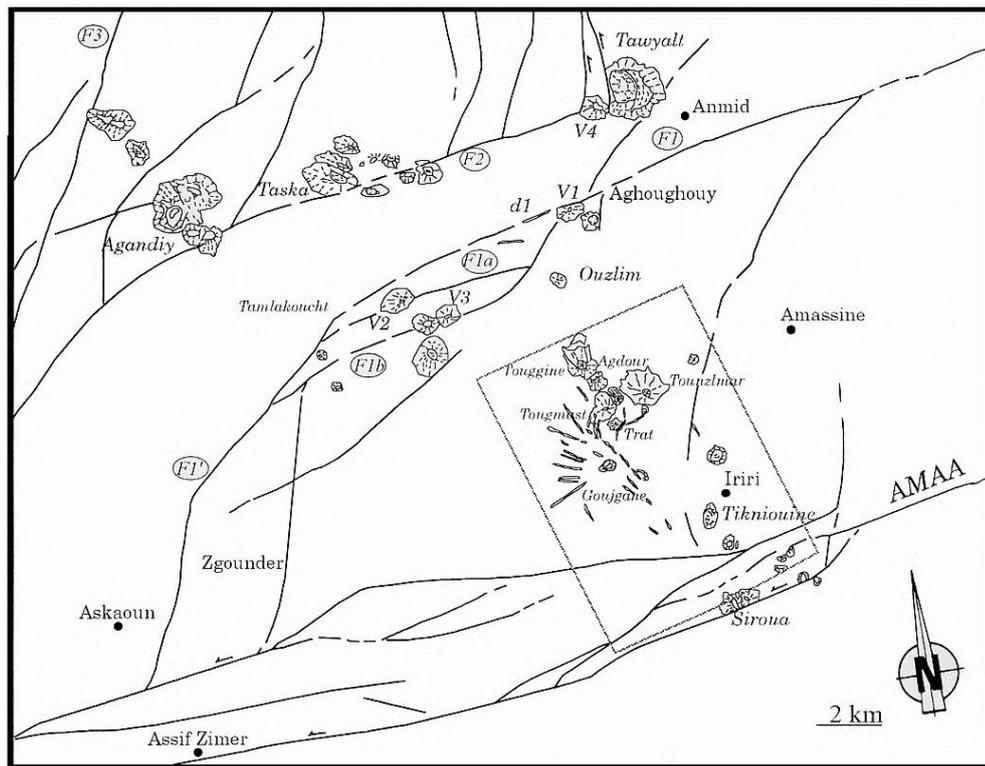
---

<sup>12</sup> El Kochri, Chorowicz, 1996.

## Analyse des images SPOT

### Analyse de la fracturation

La carte des fractures issue de l'interprétation de l'imagerie SPOT (Fig. 3) constitue un nouveau document qui contient plus d'information sur les failles qui affectent le volcanisme du Siroua. Sur cette carte elles ont été relevées des failles nouvelles. Les accidents de direction moyenne N070° environ (F1 et F2) forment de grandes zones de failles qui traversent tout le massif du Siroua. Dans leur extrémité occidentale, les accidents F1 et F2 sont à trace courbe, changent progressivement de direction et viennent se terminer sur la branche Nord de l'Accident Majeur de l'Anti-Atlas. Les failles Nord - Sud au Nord, qui bordent respectivement le volcan de Tawyalt et d'Aguera-n-Ounzal (V4) ont déjà été cartographiées auparavant, mais l'imagerie SPOT montre à l'opposé de la carte géologique du Maroc, que ces failles affectent les appareils volcaniques. Ces accidents se terminent sur F2 et leur jeu senestre a été déterminé à partir de réseau hydrographique au Nord, qui se trouve découpé en baïonnette par ces mêmes failles. La branche Nord de Accident Majeur de l'Anti-Atlas a été cartographiée avec plus de détail, cette zone comprend des blocs en forme lenticulaire en carte indiquant une composante décrochante senestre.



**Fig. 3 - Carte tectonique de la partie Nord du massif du Siroua issue de l'interprétation de l'image SPOT; encadré, figure 7**

## Analyse des volcans et leur répartition dans l'espace

Pour que le magma accède à la surface, il faut une ouverture locale formant voie d'accès. Ce type d'ouverture peut se former de plusieurs façons<sup>13</sup>. Au niveau du massif du Siroua ils ont été identifiés plusieurs types d'ouverture:

- Les fentes de tension sont des ouvertures directement liées à la déformation locale. Elles sont perpendiculaires à l'extension. Les volcans allongés et les alignements de volcans jointifs (linear clusters) sont considérés comme étant placés sur des fentes de tension<sup>14</sup>.

Ils ont été relevés plusieurs exemples de ce type de structure. Le strato-volcan du Siroua et les deux necks de Tikniouine (Figg. 3 et 4) sont allongés selon la direction N010°. Ils sont sur des fentes de tension (Figg. 4 et 5) qui caractérisent une extension locale N100°.

Au Nord de Tikniouine, le volcan de Tounzimar forme avec un point d'émission volcanique adventif, un alignement de direction N010° (Figg. 3 et 5). Ces deux points d'émission peuvent être interprétés comme formant un alignement de volcans jointifs et se placeraient donc sur une fente de tension de direction N010°. Cette fente de tension pourrait faire partie d'un groupe de fente de tension disposé autour du volcan de Goujgane. Le volcan de Goujgane est en effet, se trouve dans une zone effondrée, entouré par des dykes placés en éventail (Figg. 5 et 7). Au Nord du volcan de Goujgane, les volcans d'Agdour, de Touggine, de Tougmast et de Trat se trouvent également sur le prolongement de ces dykes. Il est connu que sous la pression de la chambre magmatique il peut se produire des fractures radiales indépendants de la contrainte régionale et dont lesquelles le matériel volcanique peut facilement s'injecter<sup>15</sup>. Selon ce modèle on peut interpréter le volcan de Goujgane et les structures volcaniques qui l'entourent, comme une ancienne caldera. Au Nord-Ouest de la zone d'étude (Figg. 3 et 5) les volcans d'Agandiy sont allongés, jointifs et alignés selon une même direction N150°. Ils seraient donc placés sur des fentes de tension caractérisant une extension locale de N060°. Parmi les volcans considérés comme liés à des fentes de tension, cas particulier du volcan de Tawyalt. Il se place à la terminaison de F2 comme un tail-crack, ce qui implique une composante décrochante senestre pour cette faille (Fig. 6).

- Les failles ouvertes se manifestent par des dykes injectés dans la faille ou par des volcans placés sur son trajet. Ce dispositif est très net pour le dyke d1 et le volcan V1 situés sur le trajet de la faille F1-F'1 (Fig. 3). A l'Ouest de Aghoughouy, sur le trajet de la faille F1a, le volcan V2 est dans une position analogue. Sur le trajet de la faille F1b les deux volcans en V3, placés à l'Est de Tamlakoucht, sont jointifs. Sur le trajet de la faille F2 se trouve le groupe des volcans alignés en V4, localisé dans la région de Taska.

---

<sup>13</sup> Chorowicz et alii, 1997; Korme et alii, 1997.

<sup>14</sup> Chorowicz et alii, 1997.

<sup>15</sup> Nakamura, 1977.

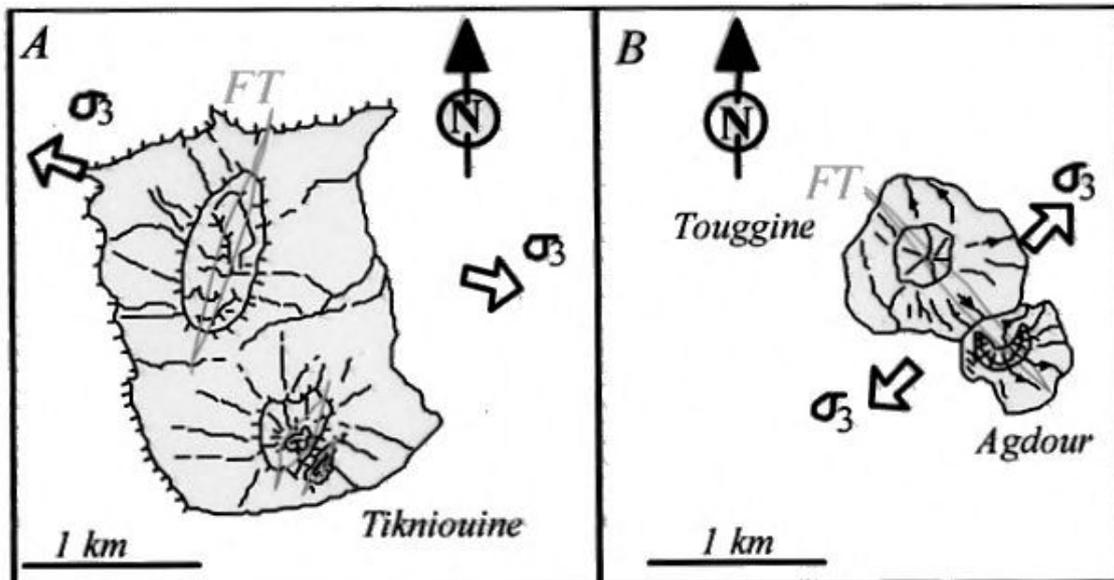


Fig. 4 - Exemples de volcans ancrés sur des fentes de tension. Localisation sur la figure. Les necks de Tikniouine allongés selon la direction N010°; (B): alignement de volcans jointifs "linear clusters" formé par les volcans de Touggine et d'Agdour. FT: Fente de tension déduite de l'allongement des volcans ou de l'alignement de volcans jointifs. Les flèches indiquent les directions d'extension locale déduites des fentes de tension

#### Répartition des fractures ouvertes

In Fig. 5 elle est reportée la répartition des failles de tension, car elles peuvent donner des renseignements sur déformation régionale. La plupart des fentes de tension sont orientées sensiblement selon la même direction (N010°) indiquant une extension régionale N100°, à l'exception des volcans appartenant au groupe Agandiy, qui semblent être placés sur des fentes de tension de direction N150° indiquant une extension locale N060°. La fente de tension déduite des volcans d'Agandiy est courbe et se termine sur F2. Elle montre dans ce secteur une déviation des contraintes due à la faille F2.

#### Analyse tectonique de terrain: mécanismes des déformations

Dans les terrains volcaniques les failles sont difficiles à observer et les stries s'expriment mal. Les mesures ont été réalisées in six sites; sur le terrain ils ont été mesurés les directions des failles, l'orientation et le sens des stries associées affectant les roches volcaniques du massif du Siroua. Les mesures ont été traitées numériquement à l'aide d'un programme de détermination du tenseur des paléocontraintes mis au point par Angelier<sup>16</sup>. En plus ils ont été représentés sur la carte les mouvements sur les plans de failles reconnues sur le terrain et déduites à partir des stries associées à la faille.

<sup>16</sup> 1984.

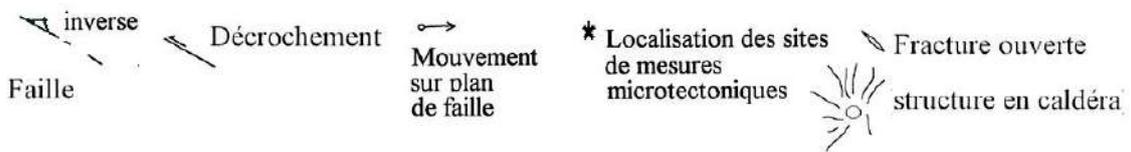
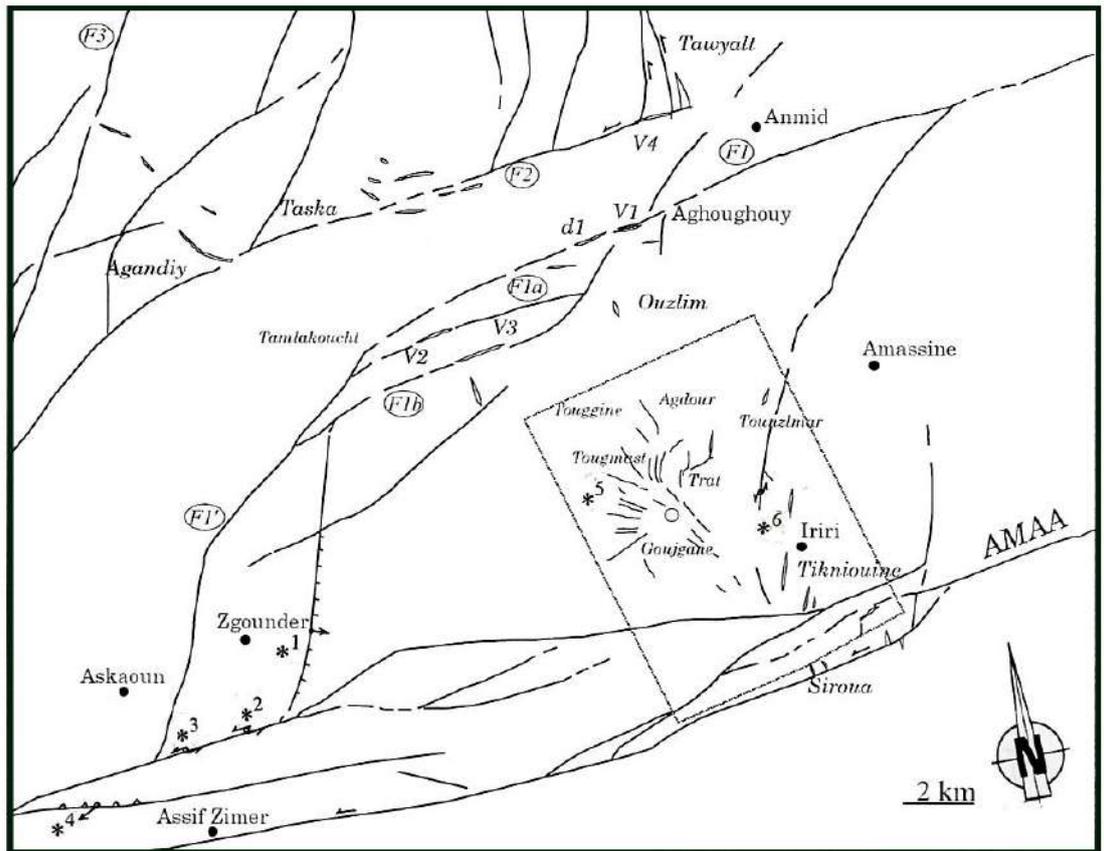


Fig. 5 - Carte représentant les principales fractures ouvertes dans la partie Nord du massif du Siroua; encadré, figure 7

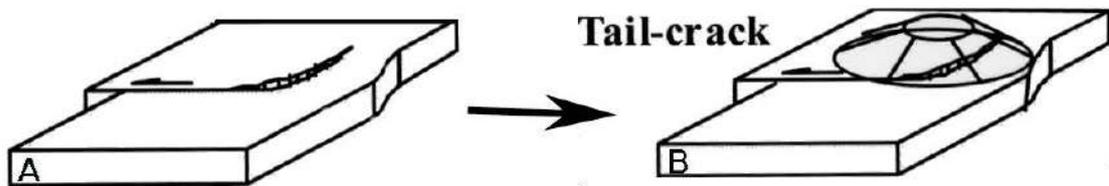
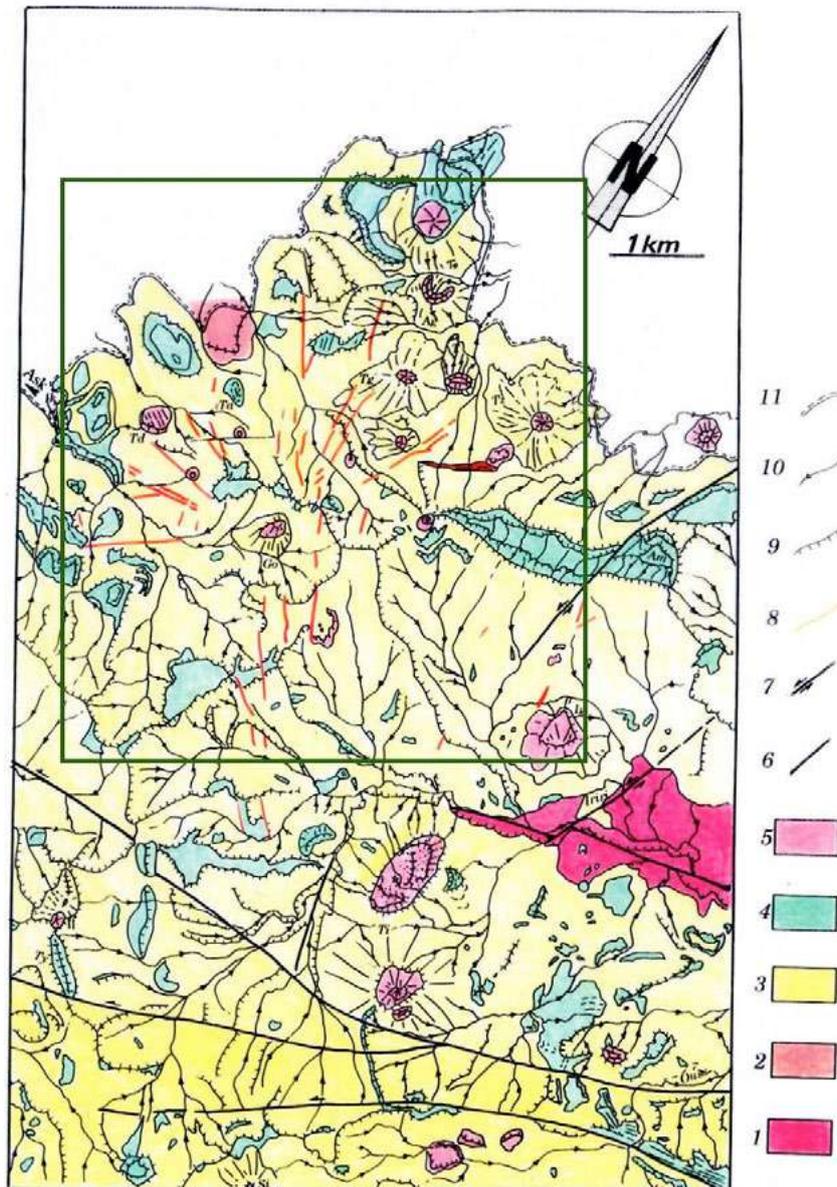


Fig. 6 - Exemples de volcans ancrés sur terminaison de faille (tail-crack). Localisation sur la figure

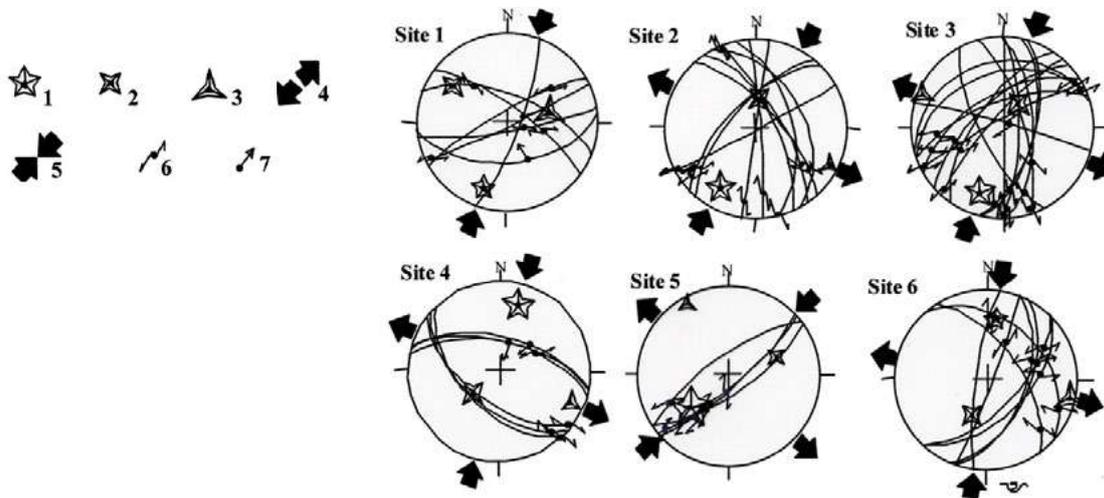


**Fig. 7 - Carte géologique de la région de Tikniouine et de Goujane, issue de l'interprétation visuelle de la photographie aérienne. Encadré la structure volcanique radiale (caldéra)**

1: Granite précambrien d'Iriri; 2: roches rhyolitiques et andésitiques du Précambrien terminal (P3); 3: cendres volcaniques meubles ou consolidées; 4: coulées volcaniques consolidées (laves trachytiques, phonolitiques ou ignimbrites); 5: point d'émission volcanique (cratère, neck, etc.); 6: faille; 7: décrochement sénestre; 8: dyke; 9: ligne d'escarpement; 10: réseau hydrographique; 11: piste Enzel-Askaoun.

Ag: Agdour; Am: Amzdour; Ask; Askaoun; Go: Goujane; If: Ifrad-n-Magous; Ig: Igzoulane; Ik: Ikouchtal; Iriri: Azib-n-Iriri; Ouss: Azib-n-Ouss; Si: Siroua; T: Trat; Ta: Tagchirt; Td: Tadmant Ighdwane; Tg: Tougmast; Ti: Tikniouine; To: Touggine; Ty: Tayçda; Tz: Tounzlmarr.

L'ensemble des mesures montre un régime de paléocontrainte en décrochement (Fig. 8). La contrainte principale  $\sigma_1$  est orientée dans la plupart des sites selon une direction N010° environ.  $\sigma_3$  étant orienté N100°. Ce qui confirme le résultat obtenu à partir de l'analyse des fentes de tension.



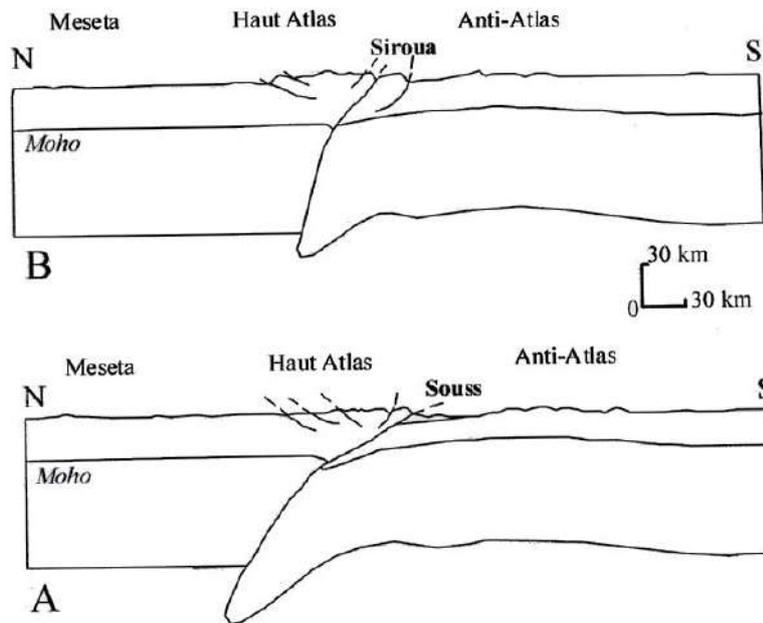
**Fig. 8 - Diagrammes présentant les données de l'analyse structurale de terrain, en utilisant la méthode d'inversion d'Angelier (1984) qui détermine la paléo-contrainte. Diagramme de Schmith, hémisphère inférieure. 1. orientation de  $\sigma_1$ ; 2. orientation de  $\sigma_2$ ; 3. orientation de  $\sigma_3$ ; 4. extension; 5. compression; 6. stries à composante décrochante; 7. stries à composante normale. \*1.\*6. sites de mesure**

Dans le site 1 localisé dans la région de Zgounder (Fig. 3) la strie placée sur la faille Nord - Sud montre un mouvement normal vers l'Est. Les site 2 et 3 montrent un mouvement senestre sur la branche Nord de l'Accident Majeur de l'Anti-Atlas qui est orientée N070° à cet endroit. Au niveau du site 4, à l'Ouest de Assif Zimer, l'Accident Majeur de l'Anti-Atlas présente plutôt un mouvement inverse. Dans le site 5, près de Iri, le mouvement enregistré sur la faille d'Amzdour (N010°) repéré sur la photoaérienne et l'imagerie SPOT est clairement senestre.

Dans le site 6, placé au Nord de Goujgane, on a une variation locale dans la direction des contraintes,  $\sigma_1$  étant orienté N060° et  $\sigma_3$  est orienté N150°.

### **Cadre tecto-orogénique actuel**

A partir d'un MNT extrait des données géoréférencées *Digital Chart of the World* interpolé au pixel de 1 km au sol (Fig. 10) ils ont été tracés des coupes structurales schématiques d'échelle lithosphérique (Fig. 9). La profondeur du Moho ainsi que l'épaisseur du manteau lithosphérique ont été choisis de manière conventionnelle, c'est-à-dire un Moho à 30 km de profondeur, plus profond sous les chaînes, et une lithosphère d'environ 110 km d'épaisseur.



**Fig. 9 - Coupes lithosphériques localisées en A et B sur la figure. Il s'agit de coupes schématiques supposées, tenant compte des données structurales, sismiques, gravimétriques et topographiques**

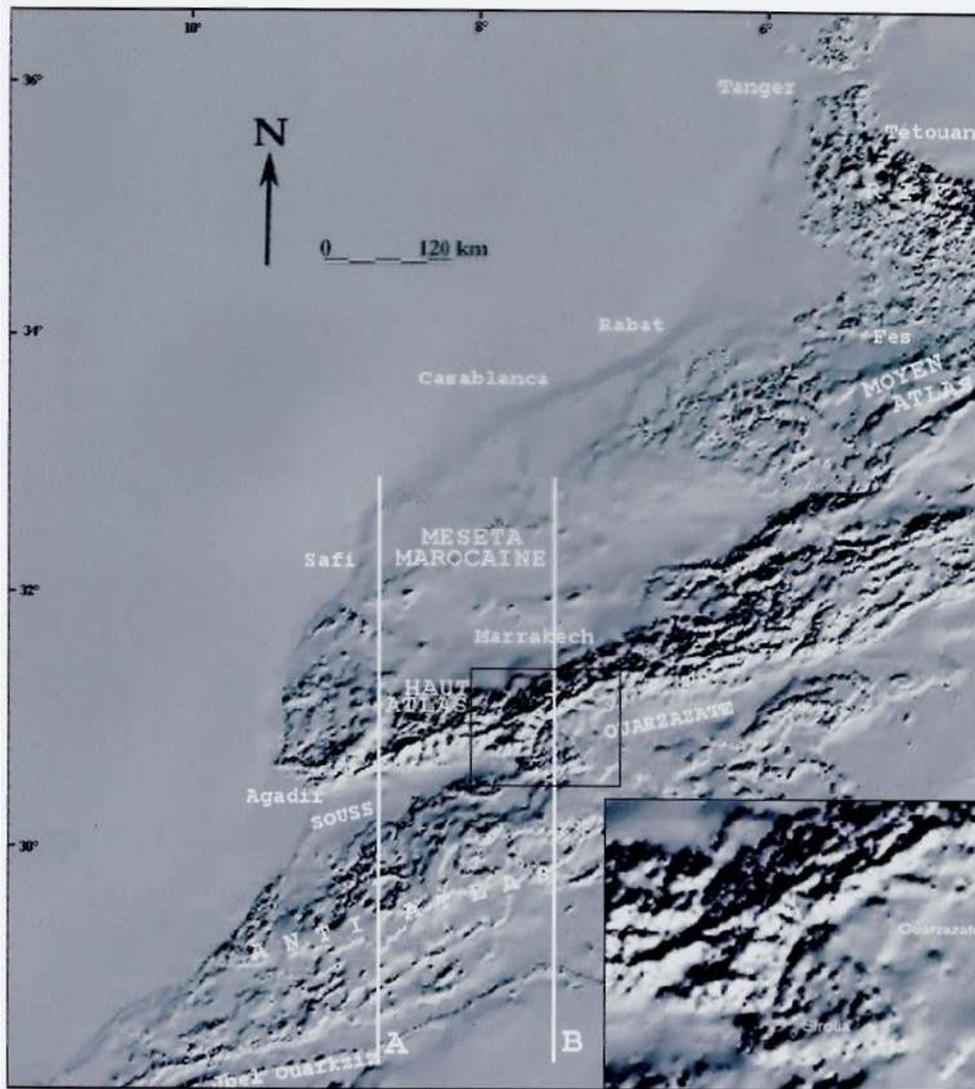
La coupe A traverse la meseta marocaine et la haute chaîne du Haut Atlas (altitudes de l'ordre de 3000 à 4000 m) un ancien fossé mésozoïque inversé qui chevauche vers le Sud des bassins néogènes: le bassin du Souss à l'Ouest et le bassin de Ouarzazate à l'Est, qui sont séparés par le bloc du Siroua. Plus au Sud vient le domaine modérément soulevé de l'Anti-Atlas (2000 à 2500 m d'altitude). La tectonique en failles inverses en éventail du Haut Atlas est semblable à celle des Pyrénées, une autre chaîne intracontinentale. Les données gravimétriques dans le Haut Atlas<sup>17</sup> et sismiques<sup>18</sup> montrent une anomalie négative importante. L'existence de la plaine du Souss, chevauchée par le Haut Atlas, suggère que les structures profondes de la chaîne impliquent une subduction continentale<sup>19</sup> dans la quelle le manteau lithosphérique de la plaque africaine plonge vers le Nord sous le bloc de la Meseta Marocaine.

L'activité sismique, localisée le long du front méridional du Haut Atlas, renforce cette interprétation en termes de subduction continentale. Dans ce scénario l'Anti-Atlas constitue la partie septentrionale de la plaque africaine subductée sous la plaque formant la Meseta Marocaine. Il se peut interpréter l'Anti-Atlas soit comme un soulèvement induit par une rampe profonde, soit comme le résultat de la flexure lithosphérique due au plongement de la plaque africaine subductée.

<sup>17</sup> Van Den Bosch, 1971; Ben Sari, 1978, Makris et alii, 1985; Tadili et alii, 1986; Görler et alii, 1988; Giese, Jacobshagen, 1992; Schwarz et alii, 1992; Wigger et alii, 1992.

<sup>18</sup> Hatzfeld, Frogneux, 1981; Cherkaoui, 1988; Medina, Cherkaoui, 1992.

<sup>19</sup> Bard, 1992; Shemenda et alii, 1992, 1995; Mattauer, Ritz, 1996.



**Fig. 10 - MNT estompé extrait des données Digital Chart of the World représentant le Nord-Ouest du Maroc. Pixel 1 km au sol; A et B, tracé des coupes de la figure; encadré, MNT en estompage centré sur le massif du Siroua; trait noir à triangle, Accident Sud-Atlasique, frontière entre la Meseta Marocaine et la plaque Afrique; trait noir tireté, branche méridionale réactivée de l'Accident Majeure de l'Anti-Atlas, lié à la suture panafricaine**

La coupe B passe au méridien du bloc du Siroua dont le socle se trouve à des altitudes de l'ordre de 2000 à 2500 m. Le Haut Atlas est en contact par faille avec le bloc du Siroua, ce qui signifie que la limite de plaques doit être placée entre ces deux unités. Le bloc du Siroua (actuellement un élément de la plaque Afrique) est en contact par faille sub-v verticale (Accident Majeure de l'Anti-Atlas, branche Sud) avec l'Anti-Atlas. Plus au Nord-Est (Fig. 10) la zone d'activité sismique majeure se trouve dans le Moyen Atlas, dont la bordure méridionale est donc la limite de plaques.

Le Haut Atlas Oriental, plus à l'Est, ne forme pas une chaîne récente, mais seulement des Hauts plateaux en grande partie aplanis et ne participe pas à la zone de collision actuelle, contrairement à une interprétation fréquemment admise<sup>20</sup>. La phase majeure de serrage dans le Haut Atlas et l'Atlas Saharien qui prolonge plus à l'Est en Algérie est oligo-miocène<sup>21</sup>.

## Discussion

L'ensemble des données disponibles montre que le strato-volcan du Siroua est affecté par une déformation principalement en allongement -raccourcissement (Fig. 8) dont la composante en raccourcissement change de la direction N010° à l'Est et au Sud-Est à la direction N150° au Nord-Ouest. Plus au Nord les fossés comportant du matériel mésozoïque effondré sont également des fentes de tension, orientées Nord-Nord-Est. Or, le mouvement relatif entre les plaques Afrique et Meseta Ibérique est orienté sensiblement Nord-Nord-Est (Fig. 11). La limite de plaques est presque partout l'Accident Sud-Atlasique, orienté globalement Est-Nord-Est, longeant une structure en collision accompagnée de la subduction vers le Nord du manteau lithosphérique continental (subduction continentale). Les sillons du Souss et de Ouarzazate sont chevauchés au Nord par le Haut Atlas et sont en position de bassins d'avant-pays.

Toutefois à proximité du segment de l'Accident Sud-Atlasique formé, par la zone de failles d'Azdem qui joue en transformante senestre, ces sillons disparaissent pour laisser la place au relief du massif du Siroua et au strato-volcan qui appartient à la Plaque africaine. La déduction logique est que le soulèvement et la déformation en raccourcissement - allongement du Siroua sont liés à la transformante. Partout le long de la zone de collision la déformation doit être une compression avec un raccourcissement orienté Nord-Nord-Est, sauf à l'Est de la transformante d'Azdem où apparaît une déformation en raccourcissement-allongement dont d'ailleurs l'orientation change à proximité de la transformante. Ce type de déformation est caractérisé par des failles crustales décrochantes ménageant des espaces et des fentes de tension de longueur kilométrique, sans doute échelonnées vers la profondeur. Ces types d'ouverture peuvent atteindre un réservoir magmatique ou permettre des décompressions dans la croûte inférieure et servir de voies d'accès vers la surface pour le magma ainsi formé.

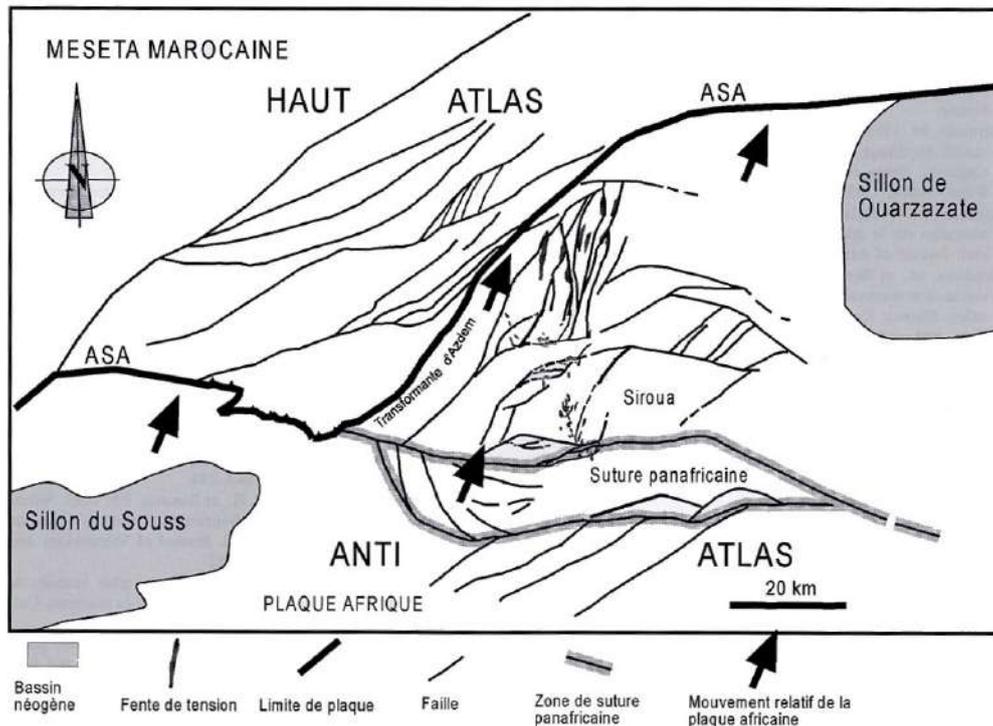
Les caractères particuliers de ce volcanisme sont sans doute à mettre en relation avec la position unique du bloc du Siroua, précisément à l'endroit où la zone suture panafricaine rejoint la zone de collision actuelle (Fig. 1). La discontinuité que représente la zone de suture dans le manteau lithosphérique peut avoir favorisé la montée et le stockage d'un magma d'origine asthénosphérique<sup>22</sup>. Ce matériel peut avoir été partiellement remobilisé par l'ouverture des voies d'accès vers la surface.

---

<sup>20</sup> Gomez et alii, 1996.

<sup>21</sup> Beauchamps et alii, 1999.

<sup>22</sup> Jové, Coleman, 1998; Leloup et alii, 1998.



**Fig. 11 - Modèle tectonique de la région du Siroua. Le volcanisme est le résultat de la conjonction entre, d'une part, une zone de fractures ouvertes accompagnant une transformante et, d'autre part, une zone de suture ancienne**

## Conclusions

L'utilisation de données multi-sources dans l'analyse du volcanisme miocène supérieur - pliocène inférieur du Siroua a permis de comprendre la mise en place de ce massif dans un contexte compressif. Le massif volcanique du Siroua aurait son origine dans la croûte continentale inférieure. L'accès à la surface s'est fait à la faveur de failles décrochantes et de fentes de tension ouvertes, compatibles avec une déformation en allongement - raccourcissement (régime décrochant). En dehors du massif volcanique, des fractures ouvertes de même direction n'ont pas servi de voie de passage pour le volcanisme et ont évolué en petits fossés allongés Nord-Nord-Est. Cette déformation se place le long de la transformante active d'Azdem, dans le contexte de la collision crustale atlasique entre les plaques Afrique et Meseta Marocaine, accompagnée d'une subduction continentale à plongement vers le Nord. Seule la partie de la plaque Afrique qui borde la transformante d'Azdem a subi cette déformation en décrochement.

Le caractère particulier du volcanisme est sans doute dû à une production de magma infra-crustal ayant remobilisé du matériel asthénosphérique préalablement remonté le long de la zone de suture panafricaine. C'est la conjonction d'une zone de fractures ouvertes accompagnant une transformante et d'une très ancienne zone de suture qui est responsable du volcanisme du Siroua. L'arrêt de celui-ci est sans doute lié à une mise en compression très récente du bloc du Siroua et son soulèvement.

## Bibliographie

Alem E. M., Utilisation de la télédétection dans l'interprétation géomorphologique du massif du Siroua (Maroc), *Thèse d'Université Paris VII*, 1976, p. 93.

Angelier J., Tectonic analysis of fault slip data sets, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, 1984, pp. 5835-5848.

Bard J. P., Les complexes intrusifs acide-basique calco-alcalins de la chaîne varisque Sud-ibérique et leurs liaisons avec les grands cisaillements transpressifs de Badajoz-Cordue et de la zone Sud-ibérique: proposition de modèles géodynamiques impliquant des processus de subduction continentale, *Compte Rendu de l'Académie des Sciences*, tome 314, série II, Paris, 1992, pp. 711-716.

Beauchamp W., Allmendiger R. W., Barazangi M., Demnati A., El Alji M., Dahmani M., Inversion tectonics and the evolution of the High Atlas Montains, Morocco, based on a geological-geophysical transect, *Tectonics*, 18(2), 1999, pp. 163-184.

Bellon H., Séries magmatiques néogènes et quaternaires du pourtour de la Méditerranée occidentale, comparées dans leur cadre géochronologique. Implications géodynamiques, *Thèse Es-Sciences, Université Paris XI*, 1976, p. 367.

Ben Sari D., Connaissance géophysique du Maroc, *Thèse Doctorat Es-Sciences Université de Grenoble*, 1978.

Berrahma M., Le volcanisme mio-pliocène de la partie Nord-Ouest du Siroua (Anti-Atlas central, Maroc): étude structurale et pétrographique, *Thèse de 3eme cycle Université Paris XI*, 1982, p. 183.

Berrahma M., Delaloye M., Données géochronologiques nouvelles sur le massif volcanique du Siroua (Anti-Atlas, Maroc), *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 9, n° 3/4, 1989, pp. 651-656.

Bonneville A., Lanquette A. M., Pejoux R., Bayon C., Reconnaissance des principales unités géologiques du Piton de la Fournaise, La Réunion, à partir de SPOT 1, *Bulletin de la Société Géologique de France* (8) V (6), 1989, pp. 1101-1110.

Brabers P. M., A plate tectonic model for the Panafrican orogeny in the Anti-Atlas, Morocco, *The Atlas System of Morocco Studies, Geodynamic Evolution V*. H. Jacobshagen editor, 1988, pp. 61-80.

Cherotzky G., Choubert G., Recueil d'analyse des roches éruptives et métamorphiques du Maroc, *Notes et Mémoire du Service Géologique du Maroc*, 239, 1973, p. 202.

Cherkaoui T. E., Fichier des séismes du Maroc et des régions limitrophes (1901-1984), *Travaux de l'Institut Scientifique série Géologie & Géographie Physique*, 17, 1988, pp. 1-158.

Chorowicz J., Mekarnia A., Rudant J. P., Cartographie géologique détaillée du massif de Sainte-Victoire (Provence, France) à l'aide de l'imagerie Spot. Comparaison avec d'autres données multisources. Nouvelle interprétation tectonique de cette région, *Actes Colloque International Spot-Image*, Novembre 1987, CEPADUES éditions, Toulouse France, Paris, 1987, pp. 905-913.

Chorowicz J., Derooin J. P., Gess G., Becue B., Curnelle R., Huger J., Ronfola D., A methodology for the use of SPOT imagery in petroleum exploration. Example for the Bas-Languedoc exploration permits area (France), *International Journal of Remote Sensing*, vol. 12, n° 10, 1991, pp. 2087-2108.

Chorowicz J., Luxey P., Lyberis N., Carvalho J., Parrot J., Yürür T., Gündogdu N., The Maras Triple Junction (Southern Turkey) based on digital Elevation Model and satellite imagery interpretation, *Journal of Geophysical Research*, 99 (B10) 20, 1994, pp. 225-242.

Chorowicz J., Bardintzeff J. M., Rasamimanana G., Chotin P., Thouin C., Rudant J. P., An approach using SAR ERS images to relate extension fractures to volcanic vents: examples from Iceland and Madagascar, *Tectonophysics*, 271, 1997, pp. 263-283.

Choubert G., L'Accident Majeur de l'Anti-Atlas, *Compte Rendu de l'Académie des Sciences Paris*, tome 224, 1947, pp. 1172-1173.

Choubert G., Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas, in *Thèse Es-Sciences, Université Paris* (1960), Notes et Mémoire du Service Géologique du Maroc, n° 162, 1963, p. 352.

Choubert G., Charlot R., Faure-Muret A., Hottinger L., Marcais J., Tisserant D., Vidal P., Note préliminaire sur le volcanisme messinien pontien au Maroc, *Compte Rendu de l'Académie des Sciences*, Paris, 266D, 1968, pp. 197-199.

El Kochri A., Chorowicz J., Oblique extension in the Jurassic trough of the Central and Eastern High Atlas (Morocco), *Canadian Journal of Earth Sciences*, 33, 1996, pp. 84-92.

Elsinga R. J., Verstappen H. T., SPOT for earthquake zoning in Southern Italy, *International Aerospace and Earth Sciences*, Enchede, Netherlands, 1988, pp. 199-207.

Emran A., Télédétection dans l'Anti-Atlas Central: utilisation pour la cartographie géologique appliquée à l'analyse tectonique et à la recherche minière, *Thèse Es-Sciences, Université Mohammed V*, Agdal, 1997, p. 146.

Giese P., Jacobshagen V., Inversion tectonics of intracontinental ranges: High an Middle Atlas, Morocco, *Geologische Rundschau*, 81/1, Stuttgart, 1992, pp. 249-259.

Gomez F., Barazangi M., Et Bensaid M., Active tectonism in the intracontinental Middle Atlas Mountains of Morocco: synchronus crustal shortening and extension, *Journal of the geological Society*, 153, London, 1996, pp. 389-402.

Görler K., Helmdach F. F., Gaemers P., Heissig K., Hisch W., Mädler K., Schwarzahns W., M. Zucht, The uplift of the central High Atlas as deduced from Neogene continental sediments of the Ouarzazate province, Morocco, *Lectur Notes in Earth Sciences*, 15, Berlin, 1988, pp. 361-401.

Hatzfeld D., Froigneux M., Intermediate depth seismicity in the Western Mediterranean unrelated to subduction of oceanic lithosphere, *Nature*, 292, 1981, pp. 443-445.

Korme T., Chorowicz J., Collet B., Bonavia F. F., Volcanic vents rooted on extension fractures and their geodynamic implications in the Ethiopian Rift, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 79, 1997, pp. 205-222.

Leblanc M., Ophiolites précambriennes et gîtes arséniés de Cobalt (Bou Azzer, Maroc), *Thèse Es-Sciences, Université Paris VI*, 1975, p. 329.

Leloup P. H., Ricard Y., Battaglia J., Lacassin R., Shear heating in continental strike-slip shear zones: model and field examples, *Geophysical Journal International*, 136, 1999, pp. 19-40.

Makris J., Demnati A., Klubman J., Deep seismic sondings in Morocco and a crust and upper mantle deduced from seismic and gravity data, *Geophysicaes*, 3, 1985, pp. 369-380.

Mattauer M., Ritz J. F., Arguments géologiques en faveur d'un modèle de subduction continentale pour l'exhumation du métamorphisme haute-pression d'Oman, *Compte Rendu de l'Académie des Sciences*, tome 322, série IIa, Paris, 1996, pp. 869-876.

Medina F., Cherkaoui T. J., Mécanisme au foyer des séismes du Maroc et des régions voisines (1959-1986). Conséquences tectoniques, *Ecloga Géological Helvetia*, 85/2, 1992, pp. 433-457.

Mekarnia A., Chorowicz J., Geological analysis of SPOT imagery at the 1 : 25 000 scale. Example of the eastern part of the Gabian petroleum structure (Sud-Est France), *Remote Sensing of Environment*, 39, 1992, pp. 179-185.

Nakamura K., Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 2, 1977, pp. 1-16.

Rothery D. A., SPOT imagery as an aid to understanding volcanism and tectonics: examples from the Chilean and the Tibetan Plateau, *SPOT Colloque International*, Toulouse, 1987, pp. 765-772.

Saquaque A., Un exemple de suture-arc: le Précambrien de l'Anti-Atlas centre oriental (Maroc), *Thèse d'Etat Es-sciences, Université Marrakech*, 1992, p. 348.

Shemenda A. I., Grocholsky A. I., Physical modelling of lithosphere subduction in collision zones, *Tectonophysics*, 216, 1992, pp. 273-290.

Shemenda A. I., Mattauer M., Malavieille J., Bokun A. N., A mechanism for syn-collisional rock exhumation associated normal faulting: results from physical modelling, *EPSL*, 132, 1995, pp. 225-232.

Tadili B., Ramdani M., Ben Sari D., Chapochnikov K., Bellot A., Structure de la croûte dans le Nord du Maroc, *Annales Geophysicae*, 4, B, 1, 1986, pp. 99-104.

Van De Meulebouck J., De Parscau J., Utilisation du Landsat-TM et d'un modèle Numérique de Terrain pour une analyse spectrale des laves de l'Etna, *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 115, 1989, pp. 43-47.

Van Den Bosch J., Carte gravimétrique du Maroc, au 1:500 000, en 7 feuilles, pliées sous pochette cartonnée (El-Jadida-Rabat-Oujda-Marrakech-Ouarzazate-Hamada-Tarfaya), *Notes et Mémoire du Service Géologique du Maroc*, n° 234, 1971.

Wigger P., Asch G., Giese P., Heinsohn W. D., Alami S. O., Ramdani F., Crustal structure along a traverse across the Middle and High Atlas mountains derived from seismic refraction studies, *Geologische Rundschau*, 81/1, Stuttgart, 1992, pp. 237-248.

## **SERVIZI ED APPLICAZIONI IN COSMO-SKYMED<sup>1</sup>: UNA COSTELLAZIONE DI SATELLITI PER IL MONITORAGGIO DEL TERRITORIO E LA GESTIONE DELL'EMERGENZA**

Laura CANDELA, Giovanni MILILLO, Agenzia Spaziale Italiana (ASI), Matera; Giovanni RUM, ASI, Roma.

### **Abstract**

Il Risk Management, la Difesa e le applicazioni commerciali sono stati alla base della definizione di COSMO SkyMed, il primo sistema dual-use (civile e militare) per l'Osservazione della Terra.

In questo articolo si intendono presentare le principali caratteristiche e le finalità del programma dell'Agenzia Spaziale Italiana, offrendo una panoramica dei principali aspetti architettonici e dei prodotti ed i servizi che si prevede di mettere a disposizione dell'utenza.

In particolare si mostreranno le potenzialità che il sistema di telerilevamento COSMO SkyMed può avere nello specifico campo applicativo dello studio dei vulcani e nella gestione del rischio vulcanico.

### **Introduzione**

I vantaggi di un adeguato monitoraggio delle risorse ambientali sono innegabili: prevenire il rischio, ridurre gli effetti dei disastri naturali, assistere efficacemente durante le emergenze, consentire la valutazione dei danni in modo tempestivo ed anche in condizioni ambientali difficili.

Un sistema di telerilevamento che possa essere impiegato in modo operativo ed efficiente deve offrire informazione globale ed un vero supporto all'operatività sul territorio, consentendo anche attività di prevenzione. Il Remote Sensing da satellite già risponde a queste esigenze, anche se attualmente esistono due grosse limitazioni per un sistema operativo dedicato al risk management:

- gli alti tempi di rivisitazione;
- la risoluzione non sempre sufficiente.

COSMO SkyMed è una costellazione di satelliti SAR ed ottici innovativa, in grado di accrescere l'applicabilità del Remote Sensing nel campo del management dell'ambiente, superando le due limitazioni all'operatività prima evidenziate.

---

<sup>1</sup> Constellation Of small Satellites for the Mediterranean basin Observation.

Il sistema COSMO è stato progettato in base alle esigenze dell'utente finale, sfruttando in modo ottimale le sinergie tra il sensore ottico ed il SAR e pensando ad un sistema pienamente operativo e capace di garantire il dato in tempo reale.

## **Satellite SAR COSMO Sky-Med**

### *Il programma COSMO-SkyMed*

COSMO SkyMed nasce dalla cooperazione tra Italia e Francia ed è un sistema di osservazione satellitare per il telerilevamento, destinato ad un uso duale, civile e militare. I quattro satelliti radar (SAR – Synthetic Aperture Radar) che verranno messi in orbita dall'Italia ed i due satelliti ottici francesi (chiamati Pleiades) previsti dall'attuale configurazione garantiscono la piena rispondenza del sistema ai requisiti derivati dalle applicazioni civili e militari.

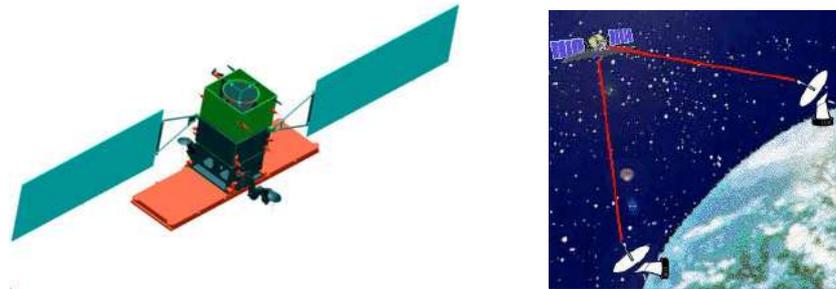
In ambito civile il sistema è principalmente dimensionato per la gestione delle risorse marine, costiere e terrestri, per il controllo dell'ambiente e per il risk management. Le sue principali caratteristiche sono:

- l'alta risoluzione spaziale e spettrale;
- la capacità di acquisire con qualunque condizione meteorologica e di illuminazione, grazie al SAR;
- il SAR in banda X, multimodo e multipolarizzazione;
- l'ottico con il pancromatico ad 1 m e con il multispettrale<sup>2</sup> a 4 m;
- la possibilità di selezionare la modalità di acquisizione scegliendo risoluzioni variabili tra il metro ed il centinaio di metri con una traccia a terra variabile da 10 km a 200 km;
- il breve intervallo di rivisitazione dei siti (con un revisit time massimo all'equatore di 12 ore per il SAR e di 24 per l'ottico);
- la rapidità dei tempi di risposta all'utente (real-time), con la possibilità di richiedere l'acquisizione ed avere i dati a terra in poche ore (per l'emergenza);
- acquisizioni ed archivi di dati multisensore/multimode/multitemporali;
- sinergia tra ottico e radar, per applicazioni tematiche e change detection;
- possibilità di processamento interferometrico dei dati SAR;
- generazione di DEM/DTM, sia da dati ottici, sia da SAR;
- accuratezza e riproducibilità dell'informazione generata.

Il sistema sarà pienamente operativo alla fine del 2007, quando tutti i sei satelliti saranno in orbita. Il primo satellite SAR sarà lanciato già nel 2004.

---

<sup>2</sup> Blue, green, red, NIR.



**Satellite SAR COSMO Sky-Med**

### *Il segmento di terra di COSMO SkyMed*

Il sistema, denominato CREDO<sup>3</sup>, per acquisire, archiviare, processare e distribuire i prodotti SAR ottenuti dai dati COSMO in banda X è stato sviluppato dall'industria nazionale su contratto dell'Agenzia Spaziale Italiana.

Le principali funzioni che svolge sono:

- Ricezione, catalogazione ed archiviazione dei dati esterni:
  - ricezione, trascrizione e screening dei raw data acquisiti durante la missione;
  - ricezione e screening dei dati di supporto e dei dati esterni.
- Processamento dei dati:
  - raw data Ingestion;
  - SAR processing e generazione dei prodotti standard;
  - processing a valore aggiunto (es. DEM);
  - generazione di applicazioni e fornitura di servizi;
  - distribuzione dei dati;
  - interfaccia e gestione degli utenti;
  - analisi di qualità.

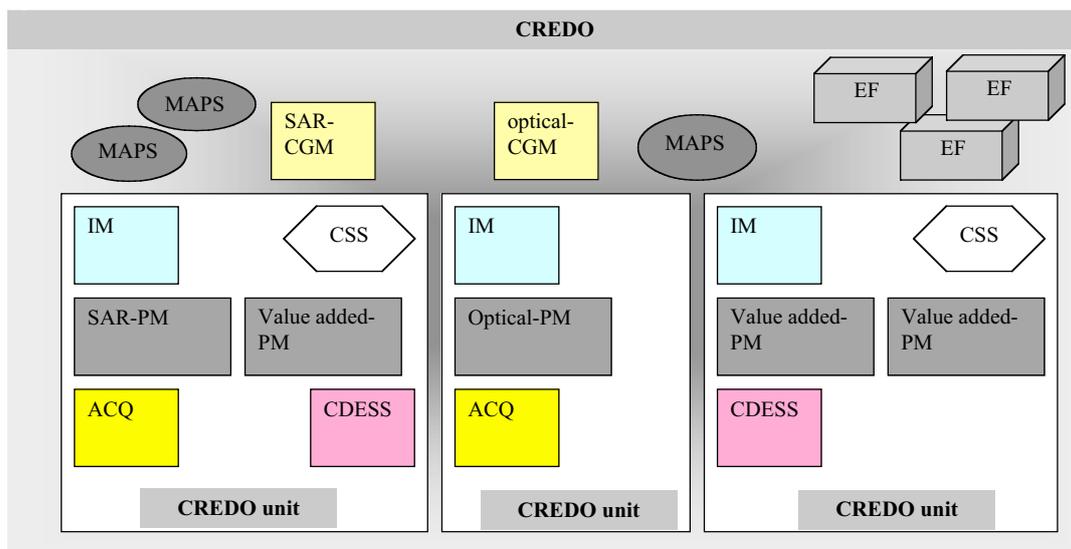
Dal punto di vista architetturale, il CREDO risulta essere costituito da un'insieme di *CREDO Units* interconnesse dalla *CREDO Network*. Ciascuna di tali *CREDO Units* è costituita da un ben determinato insieme di sotto-sistemi (porzioni del sistema autonome e con ben definite caratteristiche e funzionalità):

- un sotto-sistema di Interface Management (IM);
- uno o più sotto-sistemi di Processing Management (PM);
- una catena di acquisizione (ACQ).

L'infrastruttura di terra è modulare e geograficamente distribuita.

---

<sup>3</sup> Centro di Ricezione ed Elaborazione Dati Osservati.



### *I prodotti COSMO*

I prodotti standard o basici sono generati in modo sistematico dal sistema Italo-Francese COSMO-SkyMed/Pleiades, i prodotti SAR dall'Italia nell'ambito di COSMO-SkyMed, quelli ottici dai francesi nell'ambito di Pleiades. Le definizioni di entrambi i prodotti (SAR e Ottici) sono in linea con gli standard internazionali così da permetterne un uso integrato. I prodotti vengono classificati in modo gerarchico nei seguenti livelli:

- 0: Dati grezzi e dati ausiliari acquisiti dagli sensori di bordo.
- 1A: Dati di livello 0 riformattati ed ordinati rispetto al tempo, con informazioni ancillari che includono i parametri necessari per la calibrazione radiometrica e geometrica.
- 1B: Dati radiometricamente corretti e calibrati.
- 1C: Dati di livello 1B geocodificati.
- 2: Parametri geofisici geocodificati derivati dai dati di livello 1 (prodotti a valore aggiunto).

I prodotti possono essere generati in tempo reale o off-line, in base alle caratteristiche della particolare applicazione o alla complessità del processamento. Un sistema di controllo della qualità assicura che i prodotti generati rispondano agli standard di definizione.

I prodotti standard SAR sono costituiti da un insieme di 5 prodotti a differenti livelli di elaborazione, e le loro caratteristiche sono legate alla tecnologia del sensore.

Ogni prodotto ha caratteristiche peculiari che lo rendono idoneo a certi tipi di applicazioni e spesso è di input al successivo stadio di elaborazione.

I prodotti Standard sono:

- RAW: il dato grezzo riformattato ed annotato, non distribuito, di liv. 0;
- SCS: Single look, Complex, Slant range, Phase preserved, di liv. 1A;
- DGM: Detected, Ground projected, Multilooked, geometricamente e radiometricamente corretto, con i parametri di calibrazione assoluta, di liv. 1B;
- GEC: Geocoded Ellipsoid Corrected, di liv. 1C;
- GTC/GIM: Geocoded Terrain Corrected / Geocoded Incidence angle Mask, di liv. 1C;
- Quicklook di un prodotto SAR di livello 1B.

I prodotti RAW hanno come principale utilizzo la generazione di prodotti di livello superiore, inoltre possono essere utilizzati dall'utenza scientifica per:

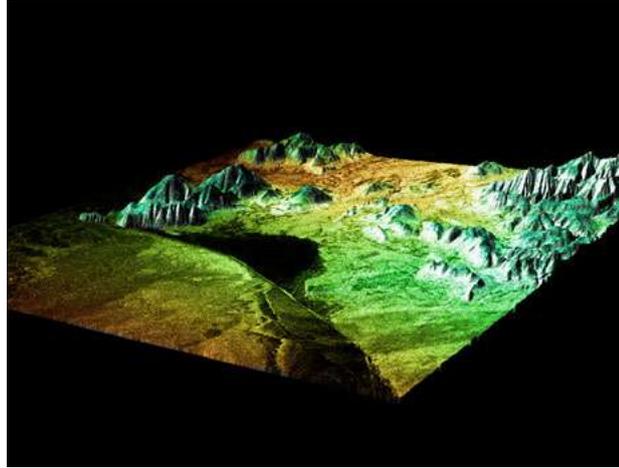
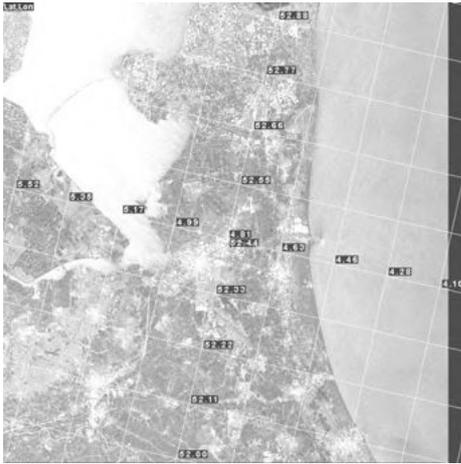
- elaborazioni SAR specifiche;
- testing di nuovi processori di focalizzazione;
- studi scientifici.

I prodotti SCS sono utilizzati sia per la generazione di prodotti di livello superiore, sia per l'uso diretto essendo utilizzabili da utenza anche non specializzata per scopi essenzialmente legati alle applicazioni interferometriche, ad esempio per:

- ricostruzione del modello digitale del terreno (DEM);
- ricostruzione dei movimenti sub-centimetrici del terreno (interferometria differenziale).

I prodotti DGM sono utilizzati sia per la generazione di prodotti di livello superiore, sia per l'uso diretto essendo prodotti standard richiedibili da utenza anche non specializzata in applicazioni in cui sia utilizzabile un dato in coordinate radar (quindi non in coordinate geografiche) ma calibrato radiometricamente.

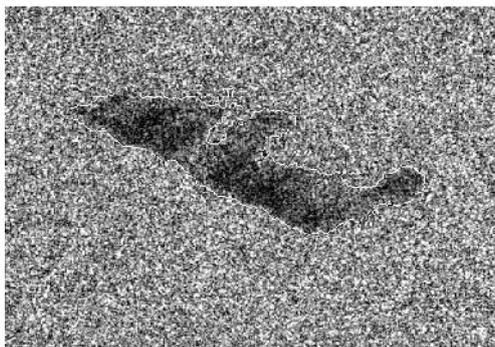
GEC e GTC sono utilizzati sia per la generazione di prodotti di livello superiore, sia per l'uso diretto, essendo prodotti standard richiedibili dall'utenza non specializzata per applicazioni che prevedano l'uso di dati in coordinate geografiche come ad esempio il mapping.



## Applicazioni

Alcuni tra i prodotti applicativi di maggior interesse che verranno sviluppati sono:

- Il DEM (Digital Elevation Model, che, combinato con altre informazioni esterne, è uno degli input alla Acclivity Map ed alla Differential Movement Map, alla Side Stability, Mappa di Stabilità dei versanti, ed alle Mappe di Frane e valanghe.  
Le tecniche di interferometria differenziale consentono di individuare e misurare con accuratezza sub-centimetrica gli spostamenti del terreno: possono essere applicate con successo all'osservazione di aree soggette a terremoto, alla misura della subsidenza, al monitoraggio dei vulcani (consentono di evidenziare le deformazioni dovute all'espansione della camera magmatica).
- La mappa di uso del suolo, che, integrata in un GIS, può essere di input a prodotti applicativi, quali la Mappa delle aree incendiate, quella delle aree esondate, le mappe topografiche di aggiornamento, le mappe delle aree urbane, quelle di vegetazione, quelle della rete idrologica.
- La mappa geologica (geologica, geo-morfologica, geo-strutturale, pedologica e la mappa dei lineamenti).
- Le mappe di rischio, come la mappa di rischio dinamico e la mappa di rischio di esondazione.
- La mappa di umidità del suolo e la mappa degli sversamenti petroliferi (Oil Spill).



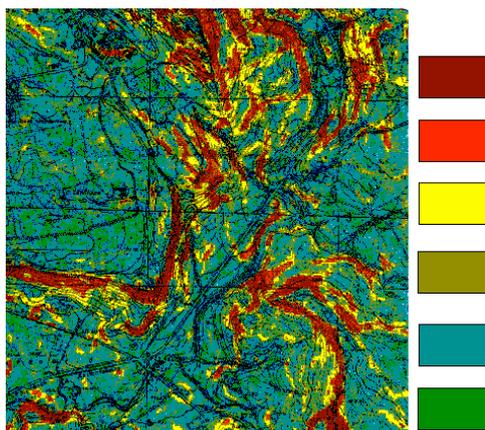
**Un oil spill visto dal sensore SAR, da dati ERS**



**Mappa delle aree esondate**



**Differential movement map: la subsidenza nella città di Bologna, tra il Dicembre del 1997 ed il Giugno del 1999, da dati ERS. La scala di colori, dal blue al rosso, rappresenta spostamenti da  $\approx 1$  a 6 cm**



**Acclivity Map (Input DEM da SPOT)**

### **Approccio allo sviluppo di prodotti applicativi e servizi**

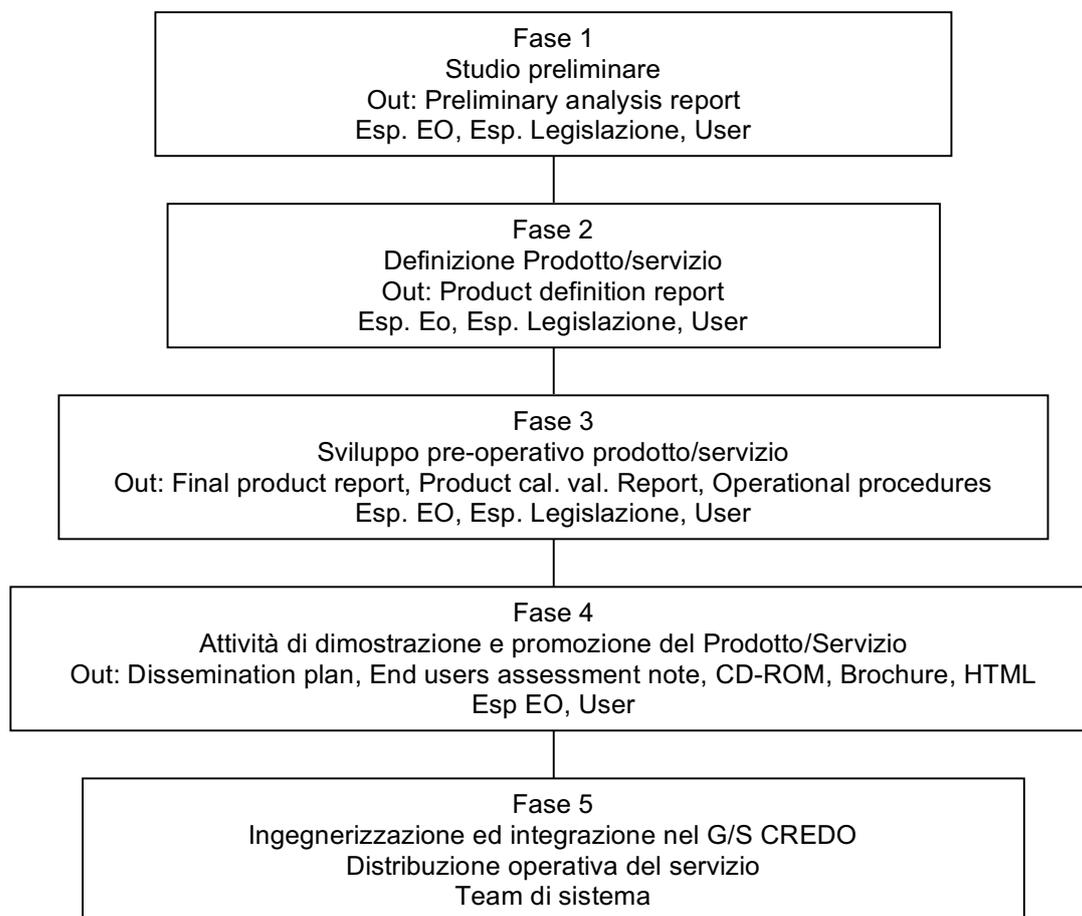
Fornire un servizio significa produrre prodotti standard e/o prodotti di livello superiore e/o dati ausiliari, definendo in accordo con le esigenze dell'utente:

- contenuto;
- parametri temporali;
- formato;
- modalità di erogazione e di fruizione.

Il progetto e lo sviluppo dei prodotti a valore aggiunto e delle modalità di servizio deve essere fatto in base alle esigenze dell'utente finale: l'ASI ha scelto come utenti di riferimento quelli istituzionali a livello nazionale ed ha considerato gli obblighi di legge in qualità di bisogni da soddisfare utilizzando i dati di COSMO SkyMed. Esaminando la legislazione a livello nazionale, è stato possibile individuare 150 requisiti utente (obblighi di legge) che possono essere soddisfatti utilizzando l'osservazione da satellite, raggruppabili in 15 linee tematiche: aree protette, beni ambientali, controllo urbanistico/catastale, difesa del suolo, eliminazione amianto, protezione foreste, qualità dell'aria, tutela acque dolci, tutela del mare, valutazione d'impatto ambientale, bonifica di siti contaminati, incidenti industriali rilevanti, protezione civile, cave e torbiere, inquinamento elettromagnetico.

In attesa dei dati COSMO, si sono considerate le missioni esistenti (ERS, ENVISAT, missioni commerciali, dati aerei) e si è valutato il grado, attualmente possibile, di soddisfacimento dei requisiti. I dati esistenti vengono utilizzati nelle fasi di sviluppo dei servizi COSMO.

## Work flow di sviluppo





## **IL TERRITORIO DI TORRE DEL GRECO NELL'ANTICHITÀ: PALEOMORFOLOGIA DEL 79 AD DEL SETTORE COSTIERO COMPRESO TRA VILLA SORA E LA TERMA-GINNASIO<sup>1</sup>**

Maria Paola DE CIMMA, Istituto Universitario “Suor Orsola Benincasa”, Napoli.

### **Introduzione**

Il complesso vulcanico del Somma-Vesuvio è stato da sempre al centro dell'interesse di geologi e vulcanologi e la sua area territoriale è stata la sede di importanti scoperte archeologiche, come le città romane di Pompei ed Ercolano che, poste lungo il versante meridionale del vulcano, sono state sepolte dai prodotti dell'eruzione pliniana del 79 AD.

In tal modo l'area vesuviana, come sede di fenomenologie vulcaniche e di eventi storici, è diventata terreno fertile per una nuova disciplina di studio, la Geoarcheologia.

Infatti la ricerca geoarcheologica si basa sul continuo confronto dei risultati degli studi archeologici con i dati geologici, al fine di ottenere una visione globale dell'evoluzione storico-geografica del territorio indagato, evidenziando i mutamenti geomorfologici subiti nel tempo ed il rapporto di adattamento dell'uomo all'ambiente.

Inoltre negli ultimi vent'anni sembra essersi accresciuto l'interesse della ricerca archeologica soprattutto per quei territori extraurbani dell'area vesuviana, che in epoca romana costituivano un *ager* a servizio delle *urbes*.

Infatti, se le fonti classiche sembrano in sostanza attribuire ad Ercolano un modello di insediamento ben definito, per quanto riguarda la tipologia degli insediamenti delle aree limitrofe le antiche descrizioni dei luoghi appaiono prive di riferimenti puntuali.

È evidente che, nell'intento di chiarire il ruolo assunto dall'entroterra ercolanese rispetto al centro abitato antico a partire almeno dal II secolo aC, è fondamentale la conoscenza della storia eruttiva del Somma-Vesuvio, dal momento che il vulcano ha fortemente condizionato lo svolgimento della vita in quest'area.

Un notevole contributo alla conoscenza della storia eruttiva del Somma-Vesuvio degli ultimi 3000 anni è stato offerto da recenti indagini vulcanologiche condotte su tutto il versante meridionale del vulcano, con particolare attenzione al territorio di Torre del Greco.

Di quest'ultimo, infatti, è stata redatta una carta geoarcheologica, risultato della collaborazione tra archeologi, geologi e vulcanologi, i quali, nell'impegno di chiarire in maniera dettagliata la cronostratigrafia dei prodotti eruttivi del Somma-Vesuvio di epoca preistorica e storica, evidenziano come la stretta relazione esistente tra le

---

<sup>1</sup> La presente relazione si riferisce al lavoro svolto nel corso della redazione della tesi di laurea in Geoarcheologia sul tema: “Il territorio di Torre del Greco nell'antichità” (Prof. U. Pappalardo) discussa presso la Facoltà di Conservazione dei Beni Culturali, Istituto Universitario Suor Orsola Benincasa di Napoli. Si ringraziano: Umberto Pappalardo, Filippo Russo, Mario Pagano, Giuseppe Rolandi, Eva e Tullio Pescatore.

formazioni vulcaniche e le presenze archeologiche consenta di pervenire a considerazioni di ordine geomorfologico circa l'assetto geo-vulcanologico assunto dal territorio di Torre del Greco prima e dopo l'eruzione del 79 AD.

### La carta geoarcheologica

Il territorio di Torre del Greco occupa la parte centrale del versante pedemontano meridionale del complesso vulcanico Somma-Vesuvio, che raggiunge la massima altezza di 1180 m slm. La superficie complessiva di poco più di 30 km<sup>2</sup> è limitata a Nord dal Comune di Ercolano, a Nord-Est dal Vesuvio, ad Est dal Comune di Trecase, a Sud-Ovest dal mare (per 2 km di costa) e a Sud-Est dal Comune di Torre Annunziata<sup>2</sup>. Dal punto di vista geomorfologico esso presenta, in linea di massima, un andamento del suolo dolcemente digradante verso il mare, dovuto alle continue sovrapposizioni dei depositi vulcanici, relativi soprattutto alle attività eruttive storiche del Vesuvio che hanno modificato completamente l'originaria morfologia dei luoghi. Sebbene una ricostruzione topografica *ab antiquo* dell'intero territorio risulti attualmente difficile, è stato possibile redigere una carta geoarcheologica di Torre del Greco<sup>3</sup> (Figg. 1 e 2) dove i reperti archeologici, intesi in questo caso come termini cronologici *ante-quem* e *post-quem* svolgono un ruolo fondamentale nel tentativo di recuperare i rapporti spaziali e temporali intercorrenti tra le formazioni vulcaniche più antiche e quelle più recenti, rapporti sconvolti dall'azione modificatrice del vulcano e dalla forte urbanizzazione del territorio iniziata a partire dal 1960 AD e tuttora in corso.

In particolare la carta evidenzia una maggiore concentrazione dei reperti archeologici in quei settori alla periferia del moderno centro abitato, lungo la fascia costiera compresa tra località Calastro e località Torre Bassano, nonché in zone interne vicine al vulcano, come località Scappi e sul Colle dei Camaldoli della Torre; ivi sono riconoscibili anche i prodotti eruttivi dell'attività preistorica del Somma-Vesuvio, che soggiacciono a quelli noti dell'eruzione del 79 AD.

La loro ubicazione consente di ricostruire il generale assetto socio-economico che il territorio torrese, suburbio dell'antica Ercolano, aveva prima dell'eruzione del 79 AD. Infatti, come in tutto il settore meridionale del territorio vesuviano, anche a Torre del Greco si possono distinguere una fascia pedemontana a ridosso del Somma-Vesuvio, con *villae rusticae* destinate soprattutto alla produzione agricola, ed una fascia costiera, con *villae maritimae* a carattere residenziale, entrambe disposte rispettivamente a monte e a valle dell'antica arteria consolare.

---

<sup>2</sup> Palomba, p. 9.

<sup>3</sup> Formicola et alii, p. 126. La carta geoarcheologica di Torre del Greco è costituita da due tavole, in scala 1: 25 000, sovrapponibili: una è la carta geologica di Torre del Greco, risultato del rilevamento geologico dei suoli, l'altra è la carta archeologica in cui sono localizzate sia le testimonianze archeologiche ancora visibili, sia quelle andate perdute, ma delle quali se ne ha testimonianza, soprattutto negli scritti dello storico torrese Francesco Balzano, il cui lavoro precede di almeno un secolo le campagne di scavo in Contrada Sora dei fratelli La Vega (1796, 1816, 1828, 1834, 1843); Balzano, pp. 15-16; Pagano VI.

Essa costituiva un attraversamento extra-urbano contornato da monumenti funebri e complessi termali, che, come si evince dalla Tabula Peutingeriana<sup>4</sup> doveva collegare Neapolis ad Herculaneum, Oplontis, Pompeii e da qui diramarsi da un lato in direzione di Stabiae e di Surrentum, dall'altro in direzione di Nuceria<sup>5</sup>.

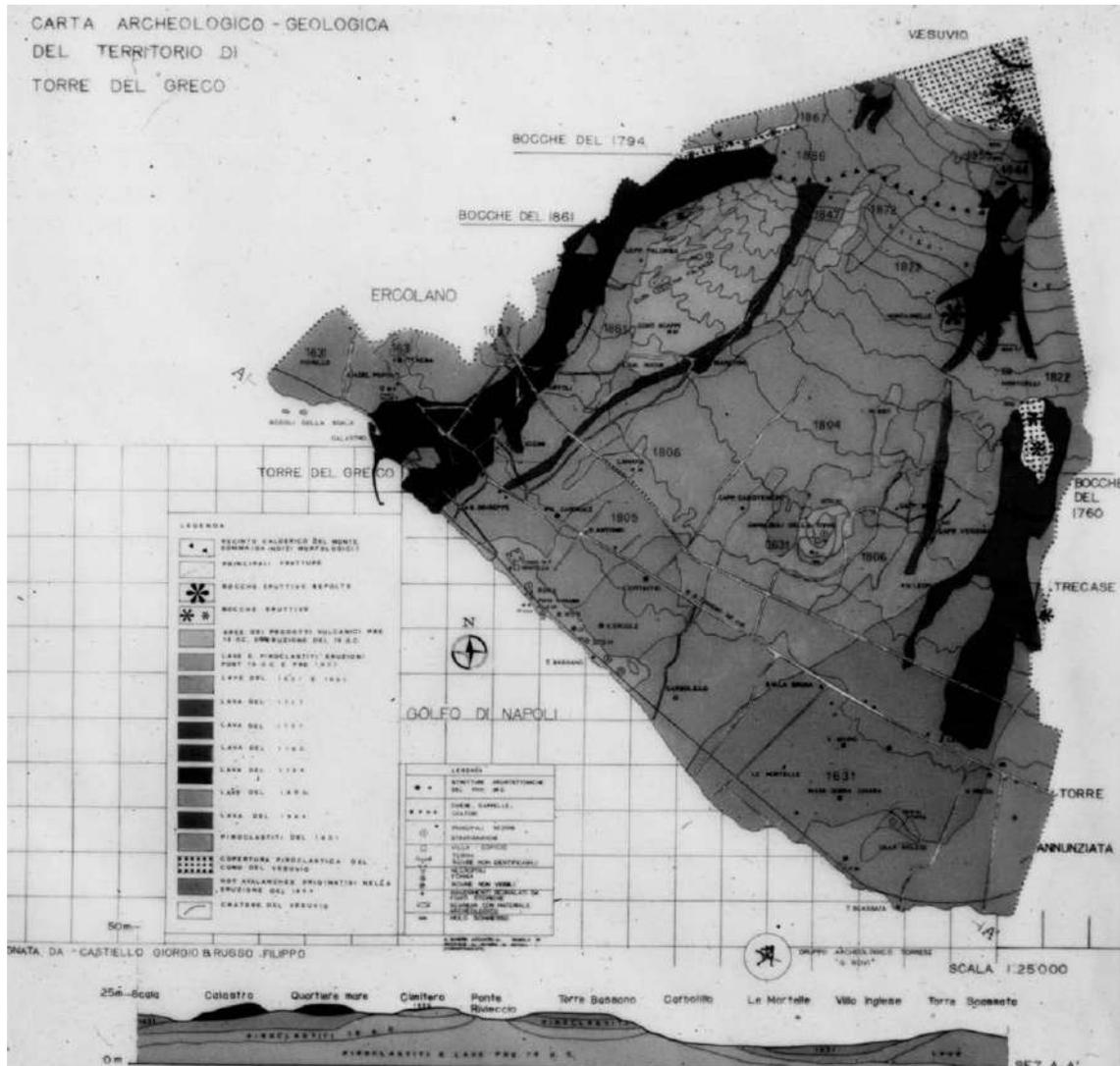


Fig. 1 - Carta geologica del territorio di Torre del Greco

<sup>4</sup> Miller, p. 191.

<sup>5</sup> Varone A., Un miliario del Museo dell'Agro Nocerino e la via da Nocera al porto di Stabia, *Apollo V*, 1984, pp. 59-85; Varone A., L'area vesuviana. Le strade, *Viae Publicae Romanae*, Roma, 1991, pp. 95-96.

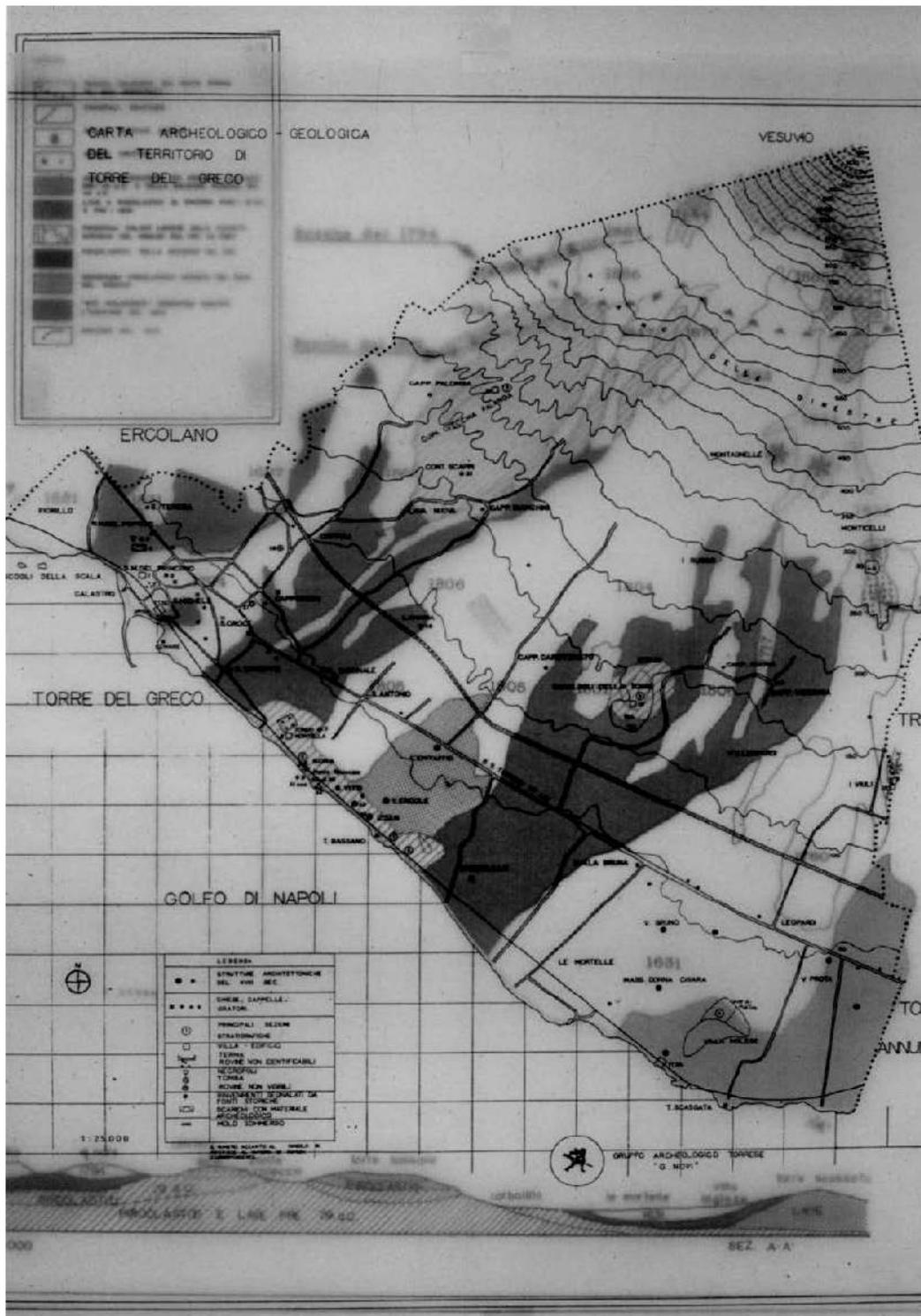
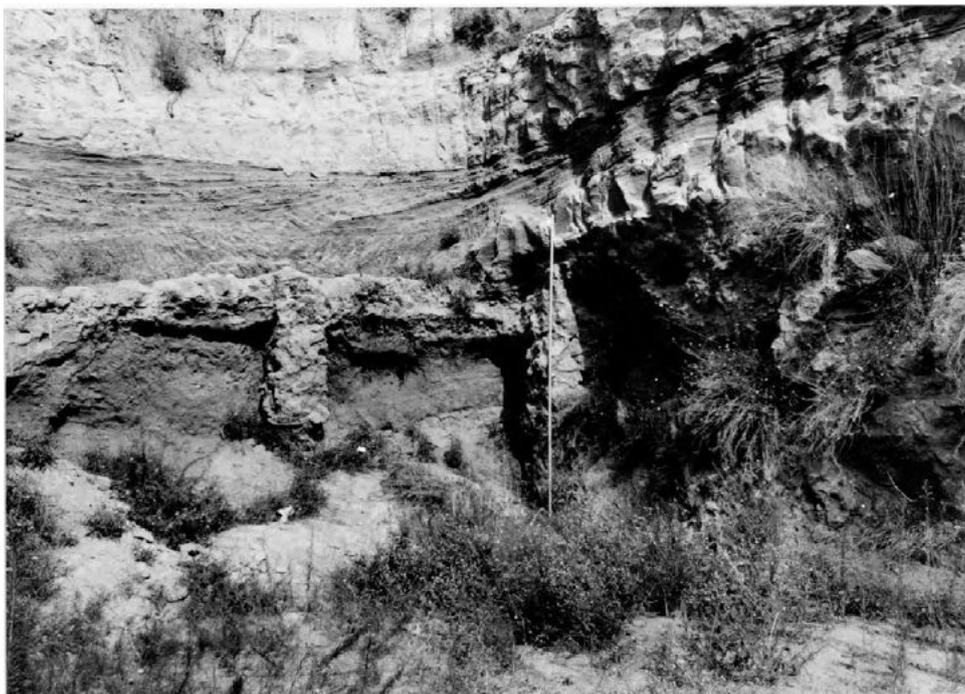


Fig. 2 - Carta archeologica sovrapposta alla carta geologica del territorio di Torre del Greco

## Inquadramento geologico-stratigrafico dei siti archeologici

Nel 1982, in contrada Scappi, nella zona denominata Cupa Vecchia Falanga, a seguito di uno sbancamento abusivo sono venute in luce alcune strutture romane in un fondo agricolo, posto a 240 m slm<sup>6</sup>. Lo scavo archeologico è stato condotto fino a 2,5 m di profondità sui lati Ovest e Sud dello sbancamento, in due punti quasi contigui, denominati come Sito A e Sito B, i quali distano tra loro 21 m<sup>7</sup>.

Nel Sito A sono state rinvenute tracce di un ambiente (2,50 x 3,20 m) delimitato a Sud e ad Est da strutture murarie di 40 cm di spessore, delle quali si conservano soltanto gli innesti di fondazione (Fig. 3). In particolare, il muro del lato Est risulta composto da frammenti di tegole tenuti insieme da una malta consistente e presenta nella parte interna tracce di rivestimento di intonaco bianco, spesso 3 cm. Nell'area si è rinvenuto anche un pavimento in cocciopesto in buono stato di conservazione e ricoperto da uno strato di crollo, di spessore variabile, contenente materiale fittile frammentario precipitato, tracce di materiale ligneo mineralizzato, forse appartenente a due grandi travi di sostegno della volta, ed i resti dei muri ordinatamente crollati in direzione Sud-Est.



**Fig. 3 - Torre del Greco, località Cupa Falanga, Contrada Scappi: successione vulcanica e muri di fondazione del sito A della *villa rustica* (foto Archivio Soprintendenza Archeologica di Pompei)**

<sup>6</sup> Formicola, 1982, pp. 1-16.

<sup>7</sup> Il quadro completo dei risultati della breve campagna di scavo, condotta nella zona è riportato in: Pagano, 1989, pp. 285-287.

Poco più a Sud dell'ambiente scavato è stata rinvenuta nel Sito B un'area pavimentata a semplice battuto, nella quale sono stati recuperati i resti di un muro in *opus reticulatum* crollato, numerosi frammenti di ceramica a vernice nera e di ceramica sigillata aretina, un collo di anfora pseudo-coa, due pesi da telaio, due fondi di *dolia* e parte di una macina in piperno, ascrivibili ad un intervallo cronologico che va almeno dal II secolo aC alla prima metà del I secolo AD<sup>8</sup> (Fig. 4).

Pertanto,

...i pochi reperti, che è stato possibile ricostruire, sembrano indicare che si è in presenza di una *villa rustica* costruita probabilmente intorno al IV secolo aC o sorta su un precedente insediamento appartenente a detto secolo ed ancora attiva in epoca imperiale al momento dell'eruzione del 79 AD<sup>9</sup>.



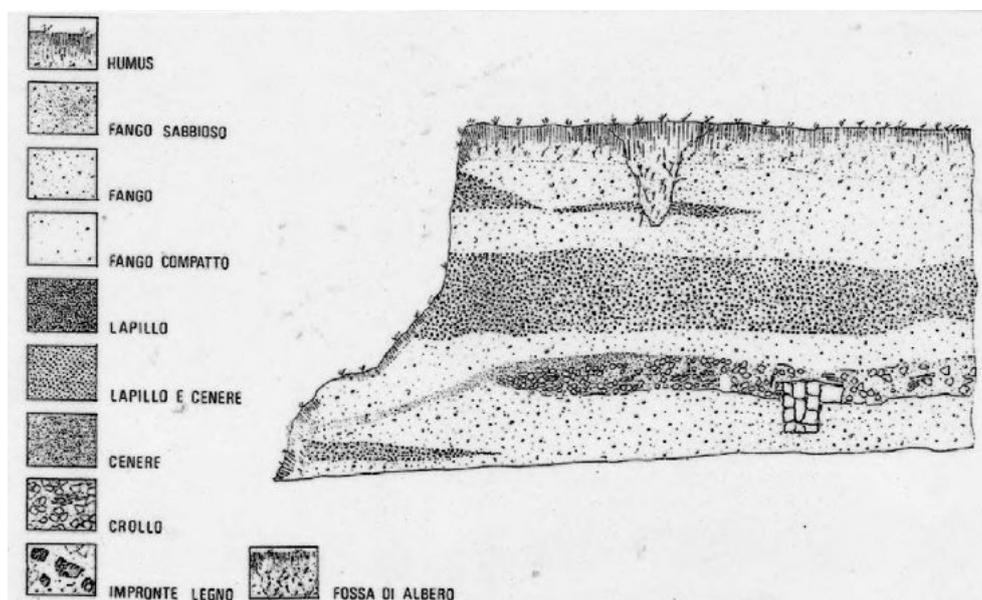
**Fig. 4 - Torre del Greco, località Cupa Falanga, Contrada Scappi: particolare di uno dei muri di fondazione del sito B della villa rustica (foto Archivio Soprintendenza Archeologica di Pompei)**

---

<sup>8</sup> Pagano 1988, p. 243.

<sup>9</sup> Formicola 1982, p. 9; la stessa sorte sembra essere toccata ad un'altra villa rustica romana, rinvenuta in località Cava Montone ad Ercolano, per la quale è stata proposta una datazione a partire dalla seconda metà del II secolo aC: Pappalardo U., Lagi De Caro A., Sigurdsson H., Ercolano, Cava Montone: villa rustica romana distrutta dal Vesuvio, *Tremblements de terre, éruptions volcaniques et vie des hommes dans la Campanie antique*, Deuxieme serie, VII, Bibliothèque de l'Institut Francaise de Naples, Napoli, 1986, pp. 95-99; entrambe le ville sembrano confermare l'ipotesi di uno sfruttamento agricolo sistematico dell'area posta alle pendici del Vesuvio, mediante una sorta di suddivisione agraria dei suoli precorritrice della centuriazione coloniale romana, avvenuta a partire dall'80 aC, a seguito della quale alcune delle ville rustiche preesistenti si sarebbero ampliate nella produzione fino a livelli "industriali" per soddisfare un mercato che era ormai quello dell'impero: Zevi, pp. 353-365.

Al di sotto dei resti della villa è stata rilevata la successione stratigrafica dei prodotti piroclastici pre-79 AD (Fig. 5) intercalati da paleosuoli, nella quale sono stati riconosciuti il livello basale relativo all'eruzione preistorica delle "pomici di Avellino" datata di recente a 3360 anni BP<sup>10</sup> ed alcuni livelli di eruzioni protostoriche databili al secolo VIII aC<sup>11</sup>. Invece, a seguito dell'eruzione del 79 AD, un deposito di materiale tufaceo di tipo alluvionale ha ricoperto la villa per uno spessore complessivo di 5 m. Esso è costituito in successione da un primo livello di 40 cm di cineriti compatte del tipo *pyroclastic flow* che conserva al suo interno legni carbonizzati, da un secondo livello, spesso poche decine di centimetri di prodotti di caduta, pomici biancastre e scorie grigie, ed infine da un livello di prodotti piroclastici di tessuto laminato e dalla matrice prevalentemente cineritica, ascrivibili al tipo *pyroclastic surge* la cui elevata velocità di messa in posto orizzontale ha determinato il dissesto delle strutture edilizie presenti<sup>12</sup>.



**Fig. 5 - Torre del Greco, località Cupa Falanga, Contrada Scappi: stratigrafia della parete Sud, sbancamento A (Pagano, 1988)**

<sup>10</sup> Una nuova analisi radiometrica al C<sup>14</sup> su un deposito di prodotti dell'eruzione delle pomici di Avellino confuta la precedente datazione, accettata da tutti gli studiosi, che facevano risalire l'evento eruttivo a circa 3760 anni BP: Rolandi G., Mastrolorenzo G., Barrella A.M., Borrelli A., The Avellino plinian eruption of Somma-Vesuvius (3760 years BP): the progressive evolution from magmatic to hydromagmatic style, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 58, 1993, pp. 67-88; Terrasi F., Campajola L., Petrazzuolo F., Roca V., Romano M., Brandi A., D'Onofrio A., Romoli M., Moniot R. K., Datazione con la spettrometria di massa ultrasensibile di campioni provenienti dall'area interessata dall'eruzione delle Pomici di Avellino, *L'eruzione vesuviana delle Pomici di Avellino e la facies di Palma Campania* a cura di C. Albore Livadie, Bari, 1999, pp. 139-148.

<sup>11</sup> Albore Livadie et alii., pp. 55-66.

<sup>12</sup> Formicola, 1982, pp. 6-7.

Allo stesso modo in località Camaldoli della Torre, meglio conosciuta con il toponimo di Colle S. Alfonso, affiorano i resti ben conservati di strutture murarie in opus reticulatum di una villa rustica databile tra il I secolo aC ed il I secolo AD.

Queste poggiano direttamente sul cono di scorie che costituisce il Colle S. Alfonso, confermando il fatto che quest'ultimo è il risultato dell'attività eccentrica subterminale del Somma, precedente l'eruzione del 79 AD<sup>13</sup>. Infatti al di sopra delle mura antiche, in alcuni punti è stata osservata una sezione stratigrafica dallo spessore di poche decine di cm, caratterizzata da un unico intervallo di pomici biancastre e grigie, nonché da un esiguo livello cineritico a tessitura ondulata, che denota una messa in posto esclusivamente per caduta dei prodotti piroclastici del 79 AD (pyroclastic fall) i quali, appesantendo la copertura della villa romana, ne hanno determinato il crollo delle volte. Inoltre l'altezza del sito (185 m slm) ha impedito la sovrapposizione dei prodotti di flusso piroclastico (pyroclastic flow) che sono invece ben visibili alla base del cono di scorie<sup>14</sup>.

A Sud-Est dell'abitato di Torre del Greco, nella località Sora, che comprende il tratto di costa che va dal Cimitero alla Torre Bassano, è ubicato il sito archeologico più vasto del territorio di Torre del Greco, noto sin dal XVII secolo anche con il toponimo di San Nicola<sup>15</sup>.

Esso presenta i resti di due altre grandiose villae maritimae: Villa Sora e, a 220 m a Sud-Est, la Terma-Ginnasio, ubicata presso il Ponte Riviaccio, oggi distrutto.

La villa marittima di contrada Sora fu scoperta nel 1796, quando furono condotti sondaggi e scavi sistematici nella zona a spese del principe ereditario Francesco I di Borbone, incoraggiato dalle notizie di numerosi ritrovamenti di pregevoli opere d'arte di epoca romana, effettuati da clandestini.

Degli scavi borbonici, condotti quasi ininterrottamente dal 1796 al 1828 AD, sotto la direzione dei fratelli Pietro e Francesco La Vega, oggi si possiede un dettagliato elenco, redatto nel 1831, delle pitture e degli oggetti d'arte rinvenuti nella villa, oltre ad una pianta ad acquerello dei ruderi, autografata e redatta nel 1828 AD da C. Bonucci probabilmente ricalcando un originale di F. La Vega<sup>16</sup> (Fig. 6).

Nella pianta del Bonucci, della quale esistono altre due edizioni, sono ben rappresentati i resti di un portico colonnato, orientato verso il mare, ed una grande sala absidata (12 x 19 m) in opus reticulatum aperta verso Nord con tre ampi ingressi.

Ad occidente della sala sono rappresentati altri due ambienti in opus reticulatum comunicanti tra loro mediante un ampio varco.

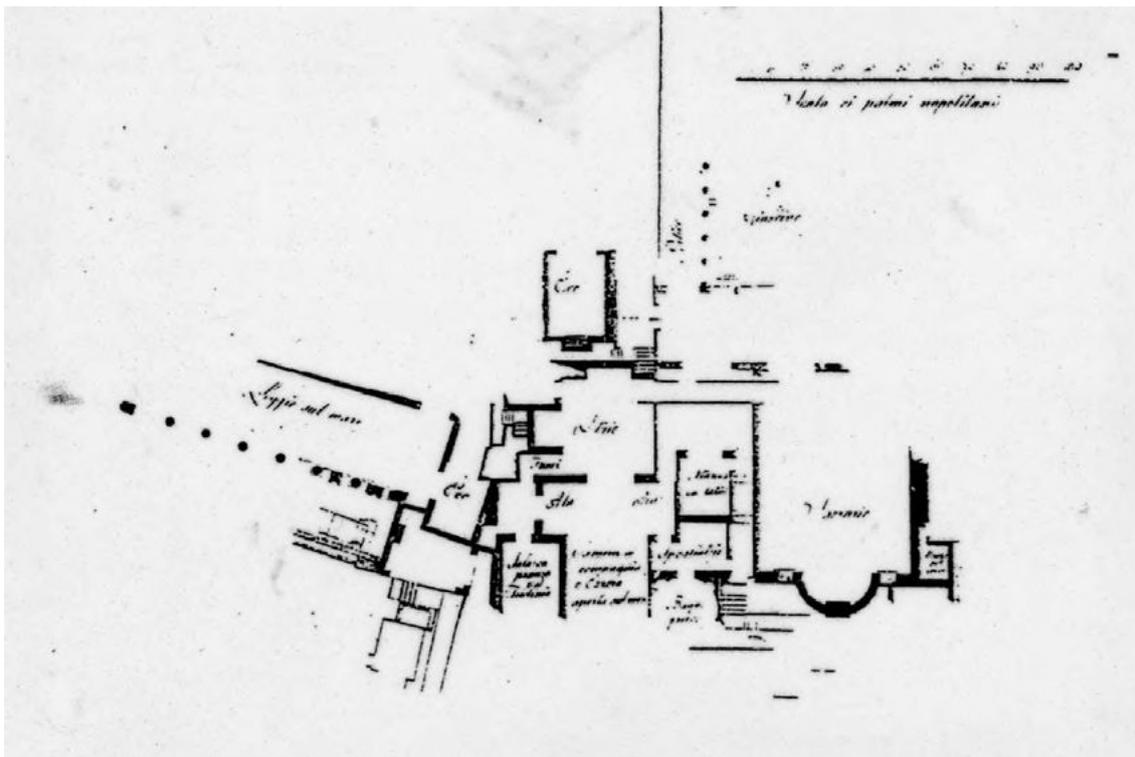
---

<sup>13</sup> La perfetta forma conica di tale struttura trae origine dalla disposizione trasversale degli strati di prodotti scoriacei relativi ad una fase esplosiva dell'attività del Somma che è rappresentata diffusamente in altre zone dell'area circumvesuviana, come Pollena e Somma Vesuviana: Nazzaro, p. 47.

<sup>14</sup> Formicola, 1984, pp. 1-11.

<sup>15</sup> In realtà, "... quantunque Francesco Balzano afferma di dirsi Sora dai torresi del suo tempo, e che la scritta municipale conserva quella ortografia, non per tanto bisogna ritenere che va detto Sola e non Sora perché il documento più antico, qual è riportato dal Muratori, così ci trasmette il vocabolo": Di Donna, s. v. Sola, pp. 45-47.

<sup>16</sup> La pianta è conservata presso l'Istituto Archeologico Germanico di Roma: Kochel, pp. 205-208.



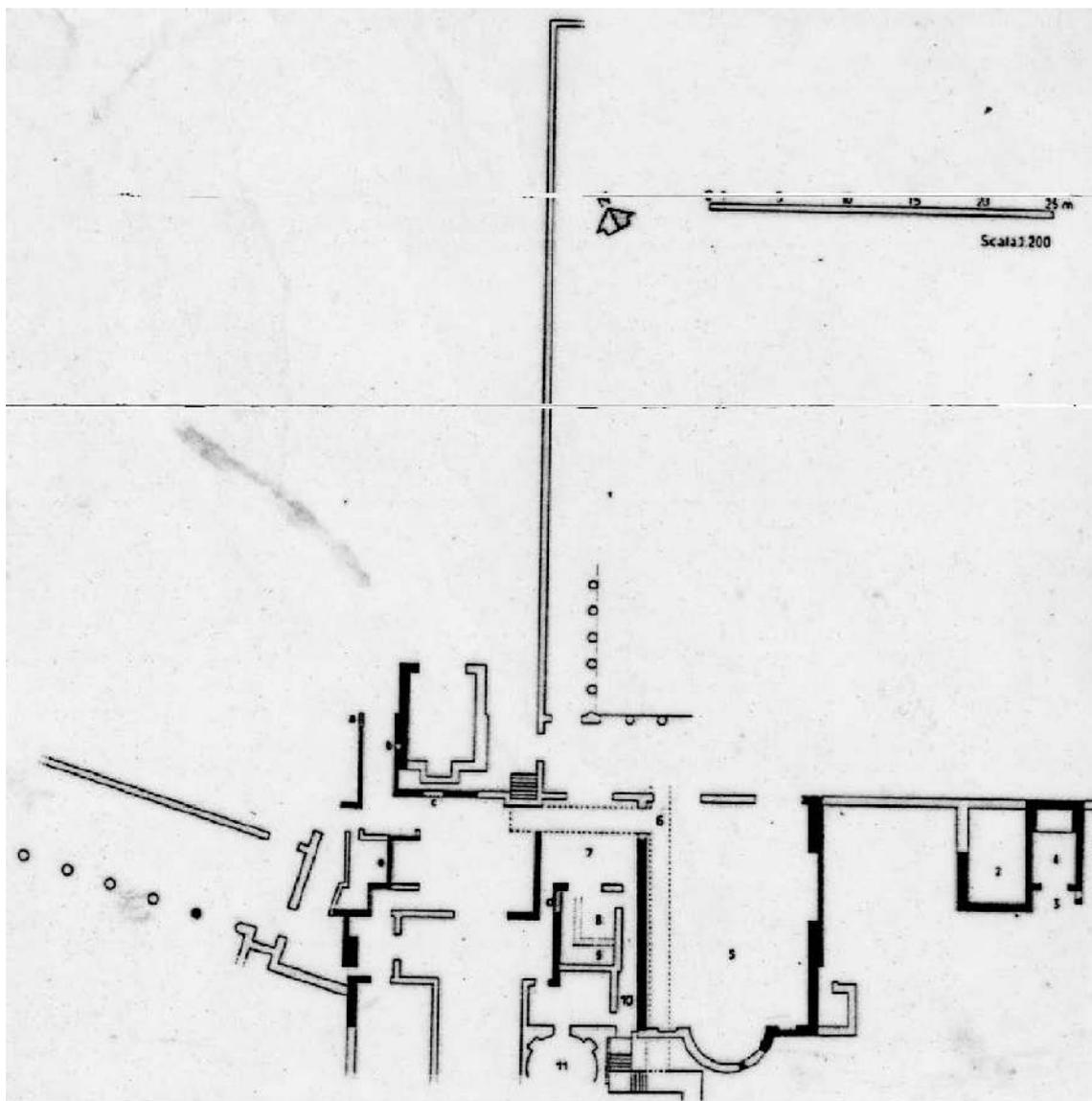
**Fig. 6 - Pianta dei ruderi di Villa Sora scavati nel 1797 (Bonucci, 1828)**

Il secondo ambiente presenta poi un piccolo ingresso su di un corridoio di servizio, in corrispondenza del quale un corridoio voltato inferiore, preesistente alla costruzione della sala absidata, costeggiava in senso Nord-Sud il lato occidentale della sala.

Inoltre sono presenti un triclinio d'inverno, un ambiente semicircolare con nicchie, considerato dal Bonucci un "bagno freddo" ed i resti di rampe che consentivano la discesa a mare.

Dal 1989 AD sono stati ripresi gli scavi dell'area di Villa Sora ed è stata redatta una nuova pianta della villa (Fig. 7) integrando le strutture ancora esistenti con quelle disegnate dal Bonucci in epoca borbonica ed aggiungendovi i dati archeologici ricavati dai nuovi scavi (per facilitare la lettura della planimetria, tutti gli ambienti sono stati contrassegnati da una numerazione progressiva da 1 ad 11, mentre le singole strutture architettoniche sono state indicate con le lettere dell'alfabeto)<sup>17</sup>.

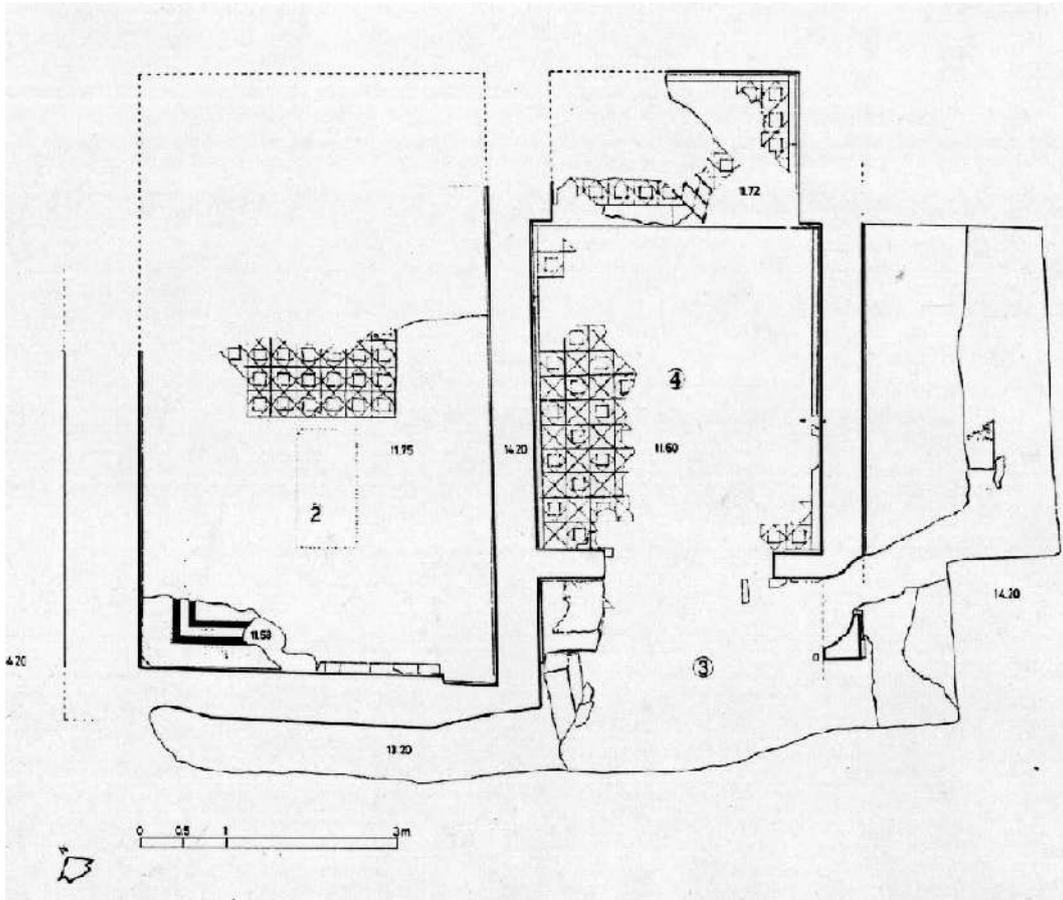
<sup>17</sup> La nuova pianta di Villa Sora è stata disegnata da Ubaldo Pastore, in collaborazione con Mario Pagano: Pagano, 1991, pp. 161- 167.



**Fig. 7 - Planimetria generale della *villa maritima* di Contrada Sora. In nero i ruderi visibili o rimessi in luce nel 1989-1990 AD, in bianco quelli ricostruibili sulla base della documentazione d'archivio, in puntinato gli ambienti di età repubblicana successivamente rasati, in tratteggio il livello inferiore dell'edificio (Pagano, 1993)**

In un'area ad oriente della grande sala absidata 5 sono stati scoperti tre ambienti, che non compaiono nelle piante precedenti e che sono stati identificati (Fig. 8) come un *oecus* (2), un vestibolo (3), ed un cubicolo diurno (4).

L'ambiente 2, largo 4,10 m e lungo 7 m, si affaccia a Nord sul grande peristilio 1 ed è allineato con l'ingresso della sala absidata e presenta strutture murarie in opus reticulatum tra le quali, però, il muro Ovest sembra appartenere ad una fase costruttiva precedente, per l'irregolarità del reticolato.



**Fig. 8 - Pianta dettagliata degli ambienti n. 2, 3 e 4, scavati nel 1989 (Pagano, 1991)**

Le pareti della sala presentano una ricca decorazione pittorica di III stile di età tiberiano-claudia con linee ed ornati dorati su fondo di colore rosso porfido (Fig. 9).

Il fregio superiore della decorazione è a fondo nero, come la fascia alla base dello zoccolo, ed è caratterizzato da motivi egittizzanti e bande di separazione con tralci arabescati ravvivati da animali. I pannelli a fondo rosso della fascia centrale della decorazione sono arricchiti con elementi zoomorfi e fitomorfi, tra cui una finissima pantera in bilico su una ghirlanda tesa<sup>18</sup>.

Una buca scavata da clandestini nell'angolo Sud-Ovest dell'ambiente ha permesso di rinvenire in sezione tre fasi successive di pavimentazione.

Infatti il pavimento più recente, in *opus sectile* era costituito da formelle alternate in marmo africano e giallo antico e presentava, lungo il contorno perimetrale della sala, lastre rettangolari di giallo antico.

Questo poggiava su di un sottilissimo strato di sabbia che a sua volta ricopriva un battuto di terreno pozzolanico, frammisto a scaglie di marmo, per far meglio aderire le formelle al pavimento.

<sup>18</sup> Formicola et alii, p. 167.



**Fig. 9 - Torre del Greco, Villa Sora, ambiente n. 2, oecus: particolari dell'affresco in III stile pompeiano che caratterizzava i pannelli della fascia centrale della decorazione (Pompeii. Picta fragmenta, Torino,1997)**

Il secondo pavimento, posto a 5 cm più in basso, era caratterizzato da tessere di mosaico di colore nero, di cui restano tracce lungo la parete Sud.

Il terzo pavimento, rinvenuto a 30 cm più in basso rispetto al primo pavimento, presentava tessere di mosaico bianche bordate da una doppia fascia nera (Fig. 10).



**Fig. 10 - Torre del Greco, Villa Sora, ambiente n. 2, oecus: particolare del terzo pavimento a mosaico bianco bordato da una doppia fascia nera, rinvenuto a 30 cm al di sotto del primo (foto Archivio Soprintendenza Archeologica di Pompei)**

Un sondaggio in profondità di 0,70 x 1,40 m al centro della sala ha permesso di individuare uno strato di calce, spesso 4 cm, che forse costituiva la preparazione del secondo pavimento, ed un riempimento di terreno sabbioso e pozzolanico frammisto a frammenti di intonaci dipinti che presentano tracce di una precedente decorazione pittorica di II stile, come parti di grandi colonne tuscaniche e di lastre di marmo<sup>19</sup>.

L'ambiente 3 era un vestibolo che precedeva il largo ingresso dell'ambiente 4, che, per la presenza di una nicchia rettangolare ricavata nella parete di fondo e sopraelevata di un gradino e per quella di un finestrino aperto nella parete Est verso un'area scoperta, è stato considerato un cubicolo diurno.

---

<sup>19</sup> Pagano, 1991, pp. 168-169.

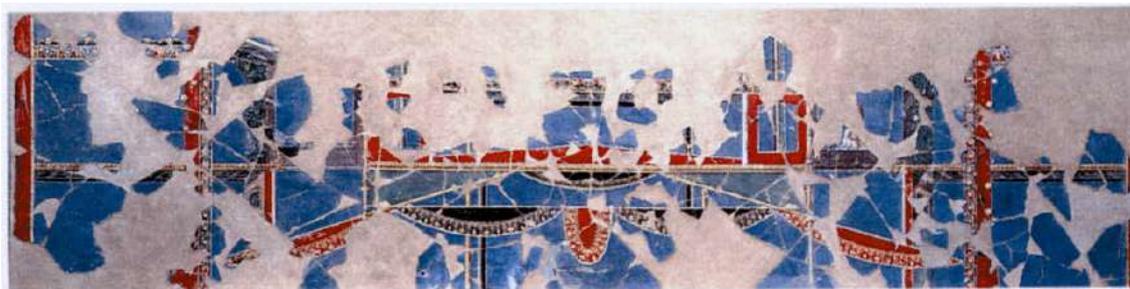
L'ambiente, pavimentato con formelle di marmo, doveva misurare 3,50 x 3,70 m, mentre la nicchia occupava un'area di 2,70 x 1,90 m. In rapporto a queste dimensioni, è verosimile la supposizione che i muri raggiungessero i 4 m di altezza<sup>20</sup>.

Le pareti ed il soffitto del cubicolo presentavano una delicata decorazione pittorica degli inizi del IV stile pompeiano (Figg. 11 e 12).

Alla base delle pareti correva uno zoccolo di colore bruno-violaceo, che era decorato lungo le pareti laterali da quadretti rettangolari, mentre nella nicchia da pappagalli e cigni che reggono ghirlande.

Al di sopra di questo, una predella scandita in riquadri contenenti una successione in alternanza di piccoli animali, tondi con maschere, tripodi e cerbiatti, sorreggeva la fascia mediana della decorazione parietale, caratterizzata da un fondo azzurro diviso in ampie specchiature, contornate da una fascia di colore rosso porfido e separate da lesene dorate che creano un mirabile intreccio di motivi vegetali.

Il fregio, sempre a fondo azzurro, era separato dai pannelli sottostanti da una piccola cornice bianca dipinta che riprendeva il motivo della cornice in stucco bianco che separava le pareti dal soffitto.



**Fig. 11 - Torre del Greco, Villa Sora, ambiente n. 4: fregio della parete Ovest (Pompeii. *Picta fragmenta*, Torino, 1997)**

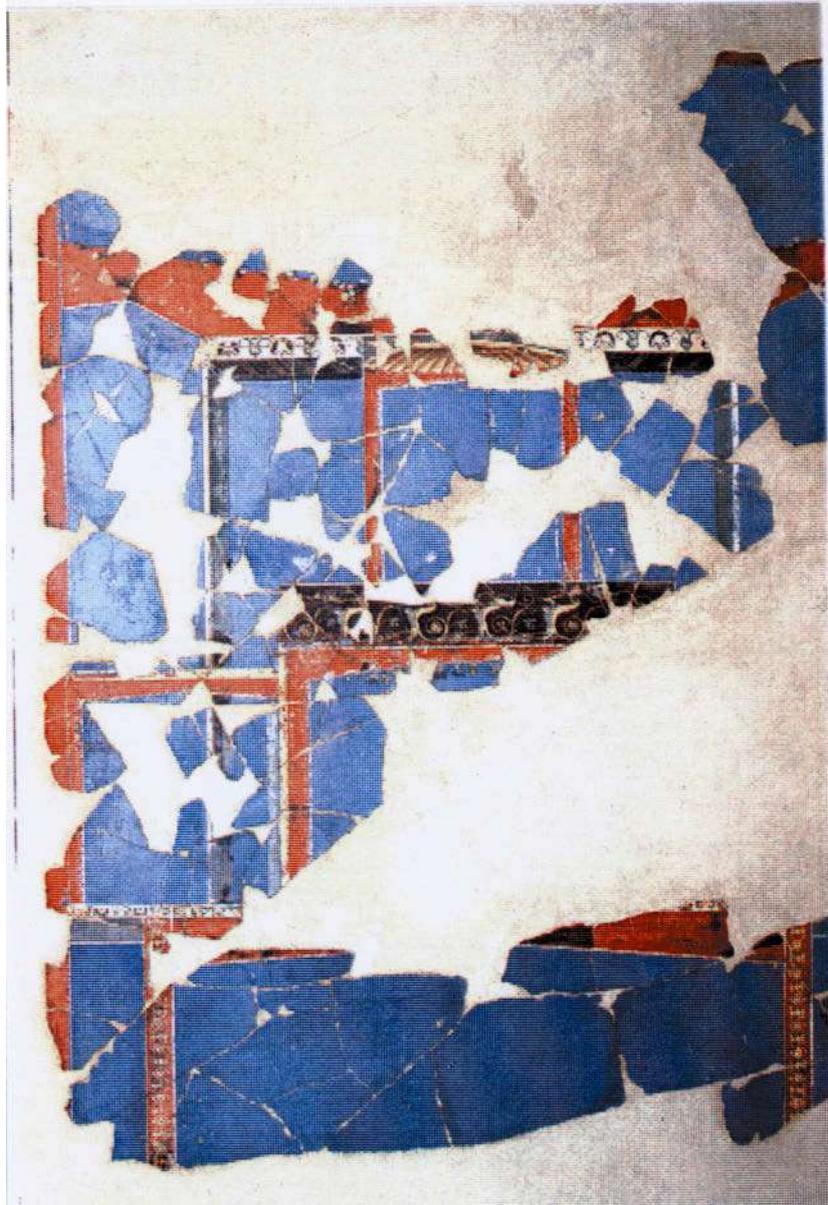
Il soffitto doveva essere caratterizzato da un grande pannello centrale di forma rettangolare, decorato a fondo azzurro e con fascia a meandro azzurro su fondo bianco, all'interno del quale vi era un'elegante decorazione romboidale racchiusa in un'ellisse e quattro grifi rampanti (frammento ricostruito, inventario n. 79558)<sup>21</sup> (Fig. 13).

Circa la cronologia di Villa Sora<sup>22</sup> si è propensi a ritenere che la villa presenti almeno due fasi di costruzione, ascrivibili ad un intervallo di tempo compreso tra il I secolo aC ed il I secolo AD, soprattutto per lo stile dei resti delle pitture. Infatti, sebbene gran parte delle tracce di intonaco dipinto rinvenuto in diversi ambienti appartenga a decorazioni di III e IV stile pompeiano, sono stati rinvenuti anche frammenti di intonaco con decorazioni di II stile.

<sup>20</sup> Pagano, 1993, pp. 269 et sequentes.

<sup>21</sup> *Catalogo Mostra Pitture nella Reggia dalle città sepolte, Palazzo Reale, Portici 12 marzo - 4 Luglio 1999*, pp. 43-50.

<sup>22</sup> Pagano, 1991, pp.163-165.



**Fig. 12 - Torre del Greco, Villa Sora, ambiente n. 4: fregio laterale della nicchia di fondo (*Pompeii. Picta fragmenta*, Torino, 1997)**

In particolare il muro del lato Est della grande sala absidata 5 è addossato ad una precedente struttura muraria, della quale è stato recuperato un tratto della decorazione dipinta di II stile<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> Tale scoperta, effettuata dal Gruppo Archeologico di Torre del Greco è ampiamente documentata nel *Reportage Archeologico. Antiche strutture romane: Villa Sora* a cura del Gruppo Archeologico Nazionale, sezione di Torre del Greco, Torre del Greco 1978, p. 26; allo stesso modo è ricordata da Formicola et alii, p. 166.



Fig. 13 - Torre del Greco, Villa Sora, ambiente n. 4: frammento pittorico del pannello rettangolare che costituiva il centro del soffitto (*Pompeii. Picta fragmenta*, Torino, 1997)

Sono documentati, inoltre, altri interventi di restauro, come la tompagnatura in *opus incertum* con materiale di riutilizzo di due porte, nell'ambiente semicircolare 11 oggi distrutto, i quali sembrano indicare che la villa abbia subito ingenti danni in seguito al terremoto del 62 AD, tanto che siano stati necessari veri e propri rifacimenti di interi ambienti con le loro decorazioni dipinte<sup>24</sup>.

Il sito archeologico di Villa Sora occupa la parte sommitale della falesia marina attiva. I resti delle strutture murarie della villa si impostano su di una formazione di depositi piroclastici dello spessore di circa 6 m, precedente l'eruzione del 79 AD.

La successione di questi depositi, analizzata di recente dal punto di vista stratigrafico, presenta dal basso verso l'alto tre distinti livelli di flusso piroclastico, separati tra loro da altrettanti paleosuoli: il livello basale è un deposito di tipo "nube ardente" caratterizzato da pyroclastic flow molto denso, con tracce al suo interno di legni

---

<sup>24</sup> Pagano, 1991, p. 165.

carbonizzati e scorie scure schiacciate dovute a temperature molto elevate; il livello intermedio è costituito da un deposito di pyroclastic flow a matrice prevalentemente cineritica di frammenti litici di varie dimensioni; infine, il livello sommitale della formazione pre-79 AD è un deposito di pyroclastic surges a stratificazione incrociata. A tetto della formazione vulcanica pre-79 AD si riscontra una superficie erosionale fortemente antropizzata sulla quale si impostano i resti della villa marittima.

Alle spalle di Villa Sora è possibile esaminare in dettaglio la sezione stratigrafica dei prodotti del 79 AD che hanno distrutto e seppellito gran parte dell'edificio.

Qui la formazione vulcanica raggiunge complessivamente i 10 m di spessore ed è costituita, procedendo dal basso verso l'alto:

- da un livello basale (0,5 m) di prodotti di caduta, come pomici bianche e grigie ed elementi litici, lavici e carbonatici, intervallati in alcuni punti da sottili livelli cineritici di tipo *base-surge*;
- da un livello intermedio, di spessore mediamente di 1,5 m, di tipo pyroclastic flow in *facies* massiva ed inglobante grossi clasti, pomici e frammenti di murature romane in crollo in una matrice prevalentemente cineritica;
- da un livello sommitale di flusso piroclastico di tipo pyroclastic surge a carattere tessiturale laminato, costituito da materiale pisolitico a stratificazione incrociata di tipo concavo.

La formazione si conclude localmente con un sottile paleosuolo, che presenta tracce di antropizzazione di tarda epoca romana, rappresentate da resti di un edificio nonché da frammenti di ceramica "sigillata D" di anfore e di lucerne tarde, ascrivibili ad un periodo compreso tra il IV ed il V secolo AD<sup>25</sup>.

Nel 1881 AD il colonnello di artiglieria Giuseppe Novi, appassionato di archeologia, riprese lo scavo dell'area con uno sterro nel fondo Rivieccio, poco oltre il ponte omonimo, giungendo fino alla spiaggia. Il Novi racconta che a circa 130 m di distanza da Villa Sora,

..nel 15 Dicembre 1881 mi venne fatto di scoprire una Terma-ginnasio importantissima... e son venuto nel concetto che la Terma in parola fosse appartenuta ad una gente riunita in un Pago, Vico, Vico o Città, distrutta nella esiziale catastrofe dell'anno 79 AD, con Ercolano, Pompei, Oplonti, Stabia, Veseri e Taurania<sup>26</sup>.

Per quanto riguarda i rinvenimenti effettuati fra il 1881 ed il 1895, ricorda:

sono state dissepolte la parte anteriore del Calidario, due ordini di celle e nicchie, il serbatoio delle acque *castellum aquae* due acquedotti, una torretta con sopravi un tempietto con colonne di tufo e mattoni, e vasi, e ruderi di pavimenti a mosaico e di mura dipinte con ornati, vedute, animali ecc. Una diga costruita con archi e pilastri e con doccioni di argilla assegnati allo sgorge dell'acqua<sup>27</sup>.

Si trattava, quindi, di un grande complesso in opus reticulatum con quadrelli regolari di lava, rivestito di intonaco bianco, e disposto su tre terrazze.

---

<sup>25</sup> Pagano, 1991, p. 180.

<sup>26</sup> Novi, 1895, p. 1.

<sup>27</sup> Novi, 1895, p. 22.



**Fig. 14 - Torre del Greco, località Ponte di Riviaccio: successione vulcanica del sito archeologico della Terma-Ginnasio; in particolare i resti della villa marina inglobati nella falesia marina (foto Archivio Soprintendenza Archeologica di Pompei)**

Il livello inferiore era costituito da una massicciata di terra e cocci, terrazzata verso il mare da uno spesso muro frangiflutto in *opus victatum* articolato da nicchie rettangolari e curvilinee, oggi non più visibile (Fig. 14).

Il livello intermedio era sostenuto da un muro in *opus reticulatum* anch'esso articolato da piccole e grandi nicchie arcuate.

La prima terrazza, sostenuta da questo muro, era limitata da una balaustra di bronzo, con spranghe impostate su ermette di bronzo bifronti con menadi e sileni, e presentava un pavimento in cocciopesto, rimosso dal Novi, perché erroneamente ritenuto di epoca posteriore all'eruzione del 79 AD<sup>28</sup>.

---

<sup>28</sup> Novi, 1884, pp. 4-5. Tre ermette di bronzo, vendute dal Novi nel 1882 sono oggi conservate presso il Museo Nazionale di Napoli: Pagano, 1991, nota 27 p. 154. Altre ermette bronzee provenienti dalla

Al di sotto del pavimento è stato rinvenuto il riempimento della terrazza, costituito in parte da materiale di demolizione, come cornici e frammenti di lastre marmoree di rivestimento, frammenti marmorei in opus sectile tessere di mosaico in pasta vitrea colorata appartenenti a rivestimenti parietali, due grappe di bronzo con estremità a spatola, utilizzate come fermi dei marmi di rivestimento di pareti e di gradini, ed in parte da frammenti di ceramica a vernice nera e frammenti di anfore Dressel 1 e 2/4, nonché anfore olearie spagnole.

La seconda terrazza era sostenuta anch'essa da un muro in opus reticulatum articolato da nicchie rettangolari e leggermente avanzato verso il mare.

Questa era probabilmente la terrazza più grande, dal momento che, per la parte finora conosciuta, sembra raggiungere i 41, 70 m di lunghezza.

Su di essa furono rinvenute cisterne ed un impianto termale, alimentati da un acquedotto.

Ad Ovest, parallelamente al muro con nicchie, vi era una grande struttura in *opus coementicium* che doveva limitare verso mare una lunga *ambulatio*<sup>29</sup>.

Circa la cronologia della Terma-Ginnasio, sulla base della varietà dei materiali che costituiscono il riempimento, si è potuto stabilire che il sito fu frequentato almeno dal I secolo aC.

Ma il rinvenimento dell'intonaco bianco di rivestimento in buono stato di conservazione e la mancanza di interventi di consolidamento e restauro in seguito al terremoto del 62 AD, sembrano ragionevolmente indicare che il complesso a terrazze sia stato edificato successivamente, utilizzando per il riempimento delle terrazze materiale di demolizione, forse appartenuto ad altri ambienti situati in prossimità dell'edificio che avrebbero subito i danni del sisma<sup>30</sup>.

La successione dei prodotti vulcanici pre-79 AD, riscontrabile sulla parete della falesia sulla quale sono addossati i resti della Terma-Ginnasio appare differente da quella del sito di Villa Sora.

Infatti nella Terma-Ginnasio si possono osservare livelli di prodotti piroclastici del tipo *pumice-ash flow* e livelli da caduta del tipo *pyroclastic-ash flow* intervallati da paleosuoli.

---

Terma-Ginnasio sono nei Musei di Berlino, Londra, Los Angeles e Parigi: Wrede H., *Die Spätantike Hermengalerie von Welschbllig*, Berlin 1972, p. 122. Inoltre nel 1988 sono stati rivendicati a Torre del Greco due statue e due dipinti parietali "Padrone e servo" conservati presso il Museo Archeologico Regionale di Palermo, detti genericamente di "provenienza pompeiana": il "Satiro versante" copia romana da un'originale in marmo di un'opera di Prassitele e "l'Ercole con la cerva" copia in bronzo da un'opera di Lisippo: Di Cristo C., *Rivendicati a Torre del Greco pregevoli reperti archeologici*, Torre del Greco, 1989, pp. 41-43; Bieber M., *Die Denkmäler zum Theaterwesen im Altertum, Berlin und Leipzig*, 1920, pp. 117 e 158; la recente rilettura dei documenti di scavo da parte del Pagano sembra confutare la provenienza da Torre del Greco dell'Ercole: Pagano M., *I diari di scavo di Pompei, Ercolano e Stabiae di Francesco e Pietro La Vega*, Roma, 1997, p. 169 e nota 146.

<sup>29</sup> Pagano, 1993, pp. 256-259.

<sup>30</sup> Pagano, 1993, p. 260.

Recenti analisi vulcanologiche della successione stratigrafica della falesia, seguite in alcuni casi da datazioni radiometriche, hanno evidenziato che il livello basale, oggi non più affiorante, è costituito da circa 2 m di breccia vulcanica, attribuibile alla presenza di una bocca eruttiva locale di età preistorica, ed è delimitato a tetto da una superficie di erosione, sulla quale poggia un livello eruttivo pliniano di *pumice-fall* spesso 30 cm di età sconosciuta e seguito per altri 70 cm da un coevo deposito di colata piroclastica del tipo pumice-ash flow intensamente pedogenizzato.

A tetto di questo primo paleosuolo sono stati riconosciuti un primo strato di 10 cm di minute pomice pliniane giallicce ed uno strato cineritico di colore chiaro dallo spessore di 1 m, di cui gli ultimi 60 cm altamente pedogenizzati, sono stati datati con il metodo del radiocarbonio a 4500 anni BP circa.

Sovrasta questo secondo paleosuolo una formazione vulcanica pliniana, per molto tempo erroneamente attribuita all'eruzione del 79 AD e che invece recenti datazioni al radiocarbonio riferiscono all'eruzione pliniana delle Pomice di Avellino (circa 3360 anni BP)<sup>31</sup>.

Si tratta, infatti, di una successione stratigrafica, la cui facies vulcanica è molto simile a quella dei depositi dell'eruzione del 79 AD: la parte basale presenta uno strato di 15 cm di pomice e lapilli da caduta, con diametro di 1 cm, ed uno strato di 1,5 m di sabbie lapilliche medie e grossolane, di tipo pyroclastic fall; il livello successivo è di tipo pyroclastic surge costituito da circa 3,7 m di cineriti da flusso piroclastico a stratificazione incrociata di tipo concavo, intercalati da frequenti livelli pisolitici.

A tetto della formazione vulcanica pre-79 AD si riscontra una superficie di erosione sulla quale poggiano i resti della lunga ambulatio della Terma-Ginnasio.

I ruderi romani sono a loro volta sottoposti ai depositi piroclastici dell'eruzione del 79 AD. Qui la formazione vulcanica del 79 AD raggiunge uno spessore complessivo di circa 30 cm ed è costituita da uno strato basale di pomice grigie, spesso circa 10 cm, e da uno strato compatto di fini cineriti pisolitiche, spesso circa 20 cm.

A monte dell'ambulatio recenti scavi archeologici condotti su di una striscia di terra compresa tra la ferrovia ed il mare hanno permesso di individuare al di sopra della formazione del 79 AD un ambiente circolare, probabilmente un belvedere, databile tra il II secolo AD e la prima metà del III secolo AD in base a tre frammenti di ceramica sigillata chiara di tipo Hayes 14 B, rinvenuti al suo interno sopra lo strato di battuto del pavimento ed al di sotto dello strato di crollo delle strutture murarie della costruzione<sup>32</sup>.

I dati geoarcheologici fin qui esaminati inducono ad una prima considerazione di carattere geodinamico in relazione alla morfologia del territorio torrese: nelle aree limitrofe all'apparato eruttivo centrale sono prevalsi i meccanismi di deposizione dei prodotti vulcanici delle eruzioni avvenute tra il 79 e il 1631 AD, con carattere di flussi piroclastici e con una componente primaria di scorrimento al suolo (pyroclastic flows e pyroclastic surges) che hanno probabilmente colmato e livellato molte depressioni antiche, evitando solo le morfologie collinari emergenti, come i Camaldoli della Torre; nelle aree litorali, invece, si è verificata una subsidenza di origine vulcanico-tettonica<sup>33</sup>.

---

<sup>31</sup> Pagano et alii, pp. 221-235.

<sup>32</sup> Pagano et alii, p. 223.

<sup>33</sup> Casertano, Pinna, pp. 1-32; Cinque, Russo, pp. 111-121; Pagano, 1995, pp. 242-248.

che ha favorito l'azione erosiva del moto ondoso e di conseguenza ha impedito una sovrapposizione massiccia delle colate laviche delle eruzioni successive all'eruzione del 1631 AD, come quella del 1794 AD che ha invece ricoperto completamente il centro urbano di Torre del Greco "con un mantello lavico dello spessore medio di circa 13 m"<sup>34</sup> obliando quindi i depositi piroclastici più antichi ed eventuali reperti archeologici inglobati in esso<sup>35</sup>.

Tale situazione evidenzia il fatto che per Torre del Greco è possibile procedere soltanto alla ricostruzione geoarcheologica di quei settori che conservano ancora degli elementi geomorfologici, mantenuti quasi del tutto nella loro configurazione originaria.

Pertanto, correlando dal punto di vista temporale e spaziale i depositi stratigrafici e i dati archeologici individuati lungo la parte Sud-orientale della falesia marina, è stato possibile ricavare la probabile configurazione morfologica della porzione di territorio compresa tra il Cimitero di Torre del Greco e i ruderi della Terma-Ginnasio prima dell'eruzione pliniana del 79 AD.

Presi come punti di riferimento i resti di epoca romana di Villa Sora e della Terma-Ginnasio, sono state costruite due sezioni contigue tra di loro con un angolo di 90°.

Una sezione rappresenta lo spazio della falesia compreso tra l'isobata dei 20 m slm e la linea di costa attuale che in questo caso diventa il piano zero di riferimento.

L'altra sezione rappresenta l'attuale fondale marino prospiciente la costa, che dal piano zero si spinge fino all'isobata dei -5 metri al di sotto del livello del mare.

Dal punto di vista cronologico, la prima sezione è stata suddivisa in senso orizzontale in due grandi blocchi traslati tra di loro di 30 m.

Il blocco inferiore rappresenta complessivamente la stratigrafia dei prodotti eruttivi precedenti l'eruzione del 79 AD, mentre il blocco superiore, parzialmente tagliato in senso verticale, rappresenta la formazione vulcanica del 79 AD che ha seppellito con i suoi prodotti Villa Sora e la Terma-Ginnasio.

Allo stesso modo nella seconda sezione sono rappresentati gli stessi depositi della formazione eruttiva precedente il 79 AD della precedente sezione, evidenziando così gli effetti morfologici provocati dalla subsidenza vulcano-tettonica sul fondale marino<sup>36</sup>.

Per quanto riguarda i due complessi archeologici, viene riprodotta una rappresentazione assonometrica delle evidenze archeologiche ancora affioranti (Fig. 15) per le quali si è proceduto ad una ricostruzione tridimensionale delle strutture architettoniche.

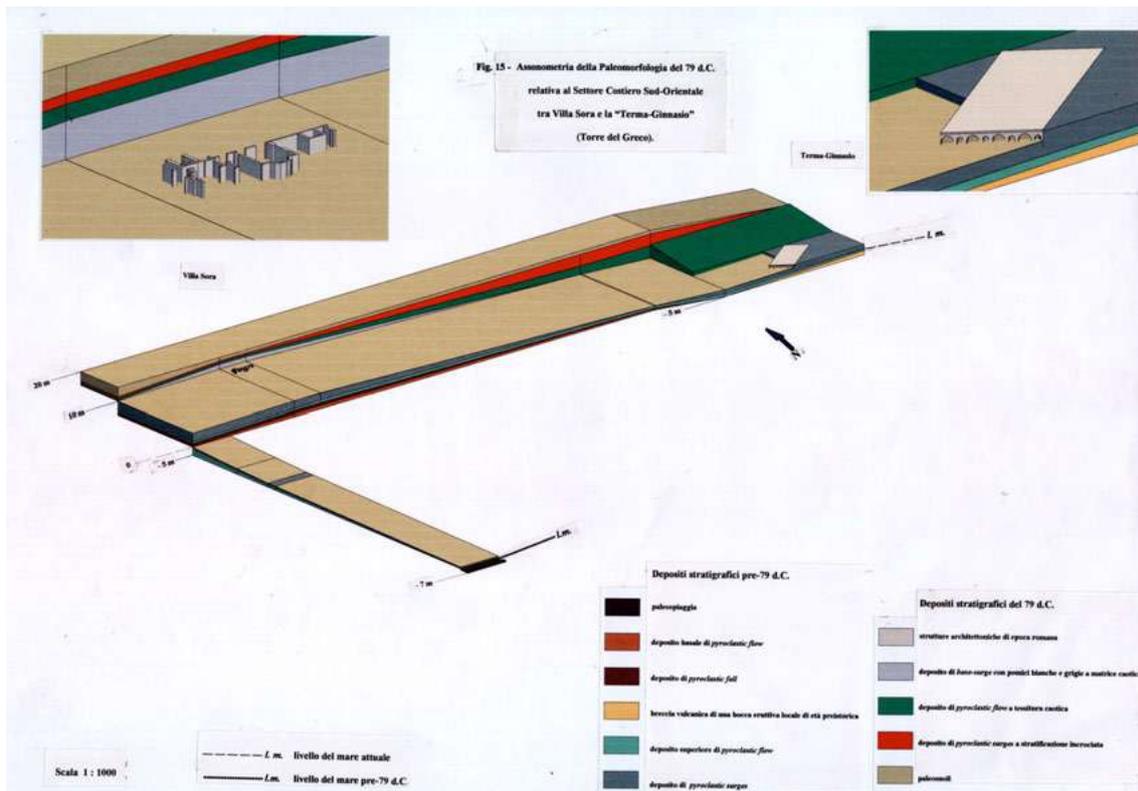
I resti di entrambi i complessi sono stati ricostruiti nel rispetto delle quote altimetriche dei siti e dell'orientamento degli edifici, desunti dalle piante redatte durante gli scavi.

---

<sup>34</sup> Formicola, 1982, nota 5 p. 2.

<sup>35</sup> Formicola et alii, p. 136.

<sup>36</sup> I dati forniti dalla recente esplorazione geoarcheologica subacquea dei bassi fondali marini antistanti il tratto di costa compreso tra Villa Sora e la Terma-Ginnasio, evidenziano come l'area indagata (circa 1480 m<sup>2</sup>) presenti una morfologia subpianeggiante, caratterizzata da un fondale di natura sabbiosa e ciottolosa a seconda della profondità fino all'isobata dei -5 m e come oltre il margine esterno il suo profilo trasversale tenda ad accentuare il suo declivo compiendo un brusco salto topografico di circa 2,50 m di quota, il quale per la sua natura sabbiosa e fangosa è stato verosimilmente interpretato come un residuo della spiaggia di epoca romana: Pagano, 1995.



**Fig. 15 - Torre del Greco. Assonometria della Paleomorfologia del 79 AD relativa al settore costiero Sudorientale tra Villa Sora e la Terma-Ginnasio**

Solo nel caso della Terma-Ginnasio si è ritenuto opportuno aggiungere il grande terrazzo che sovrastava la facciata, circondato per tre lati dai depositi eruttivi, allo scopo di rendere visibile la dinamica di seppellimento dell'edificio al momento dell'eruzione del 79 AD.

## Conclusioni

Sebbene rappresentata schematicamente, la variazione di spessore che i depositi eruttivi presentano soprattutto nei punti di immersione delle falde delle diverse formazioni eruttive evidenzia la complessità dei rapporti giacitureali tra i vari livelli stratigrafici. In particolare nella sezione della falesia si può osservare come a partire dal margine esterno Nord-occidentale di Villa Sora lo spessore dei livelli stratigrafici relativi alla formazione pre-79 AD tende ad aumentare fino a raggiungere il suo massimo valore, pari a circa 11,5 m s.l.m. al di sotto della villa stessa, per poi assottigliarsi con un'inclinazione di circa 10° in direzione Sud-Est, fino ad immergersi al di sotto dell'attuale livello del mare, per poi nuovamente riaffiorare con un notevole ispessimento soprattutto dello strato superiore della formazione vulcanica che rappresenta il deposito delle piroclastiti dell'eruzione delle Pomice di Avellino.

Infatti questo strato crea un alto topografico, lungo il cui versante occidentale si arrampicavano le terrazze della Terma-Ginnasio sfruttandone il naturale pendio digradante verso il mare. Pertanto la presenza dei rilievi, su cui insistono i resti di Villa Sora e quelli della Terma-Ginnasio fanno presumere che:

trasversalmente all'allineamento Villa Sora - Terma-Ginnasio doveva delinarsi una sorta di paleovalle lungo la quale s'incanalavano i flussi piroclastici dell'eruzione del 79 AD<sup>37</sup>.

Inoltre questa profonda paleodepressione, in funzione di impluvio naturale, ha indotto gli archeologi a ritenere che i ruderi della Terma-Ginnasio non fossero gli ambienti termali della *villa maritima* di contrada Sora, ma più verosimilmente i resti di un'altra villa maritima indipendente rispetto a Villa Sora e probabilmente di più ampie proporzioni<sup>38</sup>. D'altra parte è evidente che la morfologia valliva che sembra caratterizzare l'assetto morfologico di questo settore in epoca romana ha notevolmente influenzato la successiva deposizione dei prodotti dell'eruzione del 79 AD<sup>39</sup>.

Osservando la significativa differenza di spessore, che si rileva in più parti della sezione della formazione eruttiva del 79 AD, tra i depositi di tipo pyroclastic flow e di tipo pyroclastic surge è possibile supporre che la messa in posto dei prodotti eruttivi si sia verificata con modalità diverse a seconda delle caratteristiche chimico-fisiche del materiale eruttato.

Infatti, sebbene la dinamica di scorrimento al suolo delle particelle sia comune ad entrambi i depositi, la maggiore densità del pyroclastic flow ha costretto quest'ultimo a scorrere incanalato e con minore capacità di espansione laterale, la quale invece ha caratterizzato particolarmente la dinamica dei surges.

Pertanto il pyroclastic flow spesso intercalato da prodotti di tipo pyroclastic fall si è depositato soprattutto nella paleodepressione, colmandola e distruggendo completamente solo gli ambienti della Terma-Ginnasio e di altri edifici che erano ubicati ai margini della stessa, lasciando invece liberi gli alti topografici.

Diversamente il pyroclastic surge ha investito con un più ampio raggio l'intero sito, adattandosi ad una morfologia ormai completamente livellata e provocando di conseguenza la distruzione ed il seppellimento di Villa Sora e del resto degli ambienti della Terma-Ginnasio situati più in alto rispetto al fondovalle.

Sebbene sia evidente che questa ricostruzione morfologica dà una immagine parziale del territorio di Torre del Greco nell'antichità, in realtà le considerazioni geomorfologiche ricavate per il solo settore Villa Sora -Terma-Ginnasio possono essere facilmente estese ad altri settori della città. Tra l'altro non bisogna dimenticare che almeno fino al 1500 AD le azioni modificatrici dell'attività vulcanica del Somma-Vesuvio e del dilavamento superficiale, esplicandosi maggiormente rispetto a quelle del fattore antropico hanno permesso la conservazione di elementi morfologici del paesaggio antico (Fig. 16)<sup>40</sup> i quali (purtroppo) privati nel tempo delle relazioni spaziali che li accomunavano, attualmente appaiono frammenti di storia avulsi dalla realtà, impedendo così una concreta ricostruzione della morfologia antica del territorio di Torre del Greco in tutte le sue parti.

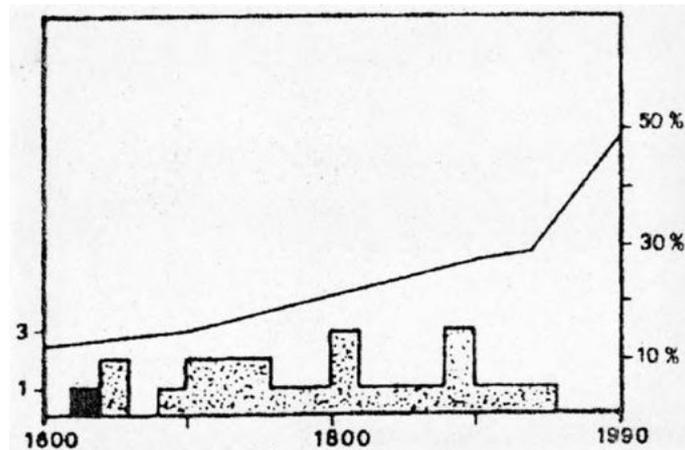
---

<sup>37</sup> Rolandi e Russo, p. 121.

<sup>38</sup> Pagano et alii, p. 230.

<sup>39</sup> Rolandi e Russo, p. 121 e p. 124.

<sup>40</sup> Russo, Valletta, pp. 434-435.



**Fig. 16 - Diagramma dell'incremento percentuale della superficie urbanizzata del territorio del Somma- Vesuvio dal 1600 AD ad oggi. Si osservi anche, per lo stesso periodo, il n. di eruzioni vulcaniche (eventi eruttivi principali) che hanno causato modificazioni più o meno importanti nell'assetto del territorio. In nero è indicata la catastrofica eruzione del Vesuvio del 1631, responsabile di una trasformazione pressoché radicale della superficie topografica (Russo, Valletta, 1994)**

Pertanto, alla luce di queste considerazioni si potrebbe ipotizzare che, di contro all'uniformità paesaggistica della morfologia attuale, il territorio di Torre del Greco doveva presentare in epoca romana un paesaggio vulcanico notevolmente articolato, in cui le differenze morfologiche tra la fascia pedemontana e quella costiera dovevano apparire molto più nette, tanto da determinare una scelta pressoché obbligata dello sfruttamento degli spazi.

La fascia pedemontana, per la presenza di *villae rusticae* doveva mostrare un paesaggio specificatamente agricolo e quindi una morfologia di tipo deposizionale caratterizzata da un profilo concavo interrotto da rilievi con pendenze basse, tale da consentire la coltivazione dei campi<sup>41</sup>.

Analogamente la presenza di numerose *villae maritimae* destinate soprattutto a soddisfare, lontano dalle città, la pratica dell'*otium*<sup>42</sup>, sembra indicare che la fascia costiera dovesse essere una zona prettamente residenziale, caratterizzata da profonde depressioni "che costituivano impluvi naturali, frutto dell'erosione lineare" e "da modesti alti topografici che avevano localmente la funzione di spartiacque superficiali"<sup>43</sup> ma che al tempo stesso dovevano creare stupende immagini panoramiche, tanto da meritare, alla stessa stregua di altre parti del Golfo di Napoli, l'appellativo di *amoenitas orae*<sup>44</sup>.

<sup>41</sup> Russo, Valletta, p. 432.

<sup>42</sup> Formicola et alii, p. 161.

<sup>43</sup> Rolandi, Russo, p. 121.

<sup>44</sup> "Erat frequens amoenitas orae"(Plinio il Giovane, Epistole ai Familiari, IV, 16).

## Bibliografia

Albore Livadie C., D'Alessio G., Mastrolorenzo G., Rolandi G., Le eruzioni del Somma-Vesuvio in epoca protostorica, *Tremblements de terre, éruptions volcaniques et vie des hommes dans la Campanie antique*, Bibliothèque de l'Institut Français de Naples, Deuxieme Serie, Vol. VII, Napoli, 1986, pp. 55-66.

Balzano F., *L'antica Ercolano ovvero la Torre del Greco tolta dall'oblio*, Napoli, 1688.

Casertano L., Pinna E., Variazioni del litorale vesuviano e fenomeni bradisismici, *Atti dell'Accademia Pontaniana*, 19, 1970, pp.1-32.

Catalogo Mostra *Pompeii. Picta fragmenta*, Torino, 1997.

Cinque A., Russo F., La linea di costa del 79 AD fra Oplonti e Stabiae nel quadro dell'evoluzione olocenica della Piana del Sarno (Campania), *Bollettino Società Geologica Italiana*, 105, 1986, pp. 111-121.

Di Donna V., *Vocabolario delle denominazioni locali*, Torre del Greco, 1925.

Formicola F., Nuova scoperta archeologica a Torre del Greco. Villa Romana in contrada Scappi, *Atti III Convegno Gruppi Archeologici della Campania*, Nola, 1982, pp. 1-16.

Formicola F., Presenze romane sul Colle S. Alfonso, *Atti V Convegno Gruppi Archeologici della Campania*, Torre del Greco, 1984, pp. 1-11.

Formicola F., Pappalardo U., Rolandi G., Russo F., Archeologia, geologia e vulcanologia nel territorio di Torre del Greco: tre discipline a confronto, *Volcanologie et Archéologie*, PACT 25C, a cura di Albore Livadie C., Widemann F., Strasbourg, 1990, pp. 125-181.

Gruppo Archeologico Nazionale Reportage archeologico, *Antiche strutture romane: Villa Sora*, Torre del Greco, 1978.

Golser C., Pagano M., Russo F., Evidenze archeologiche sommerse a Torre del Greco e loro implicazioni sull'andamento della linea di costa vesuviana del 79 AD, *Volcanologie et Archéologie*, PACT 25C, a cura di Albore Livadie C., Widemann F., Strasbourg, 1990, pp. 183-195.

Kockel V., Ein unpublizierter Plan der Villa Sora von Carlo Bonucci, *Cronache Ercolanesi*, 18, 1988, pp. 205-208.

Miller K., Römische Reisewege an der Hand der Tabula Peutingeriana, *Itineraria romana*, Stuttgart, 1916.

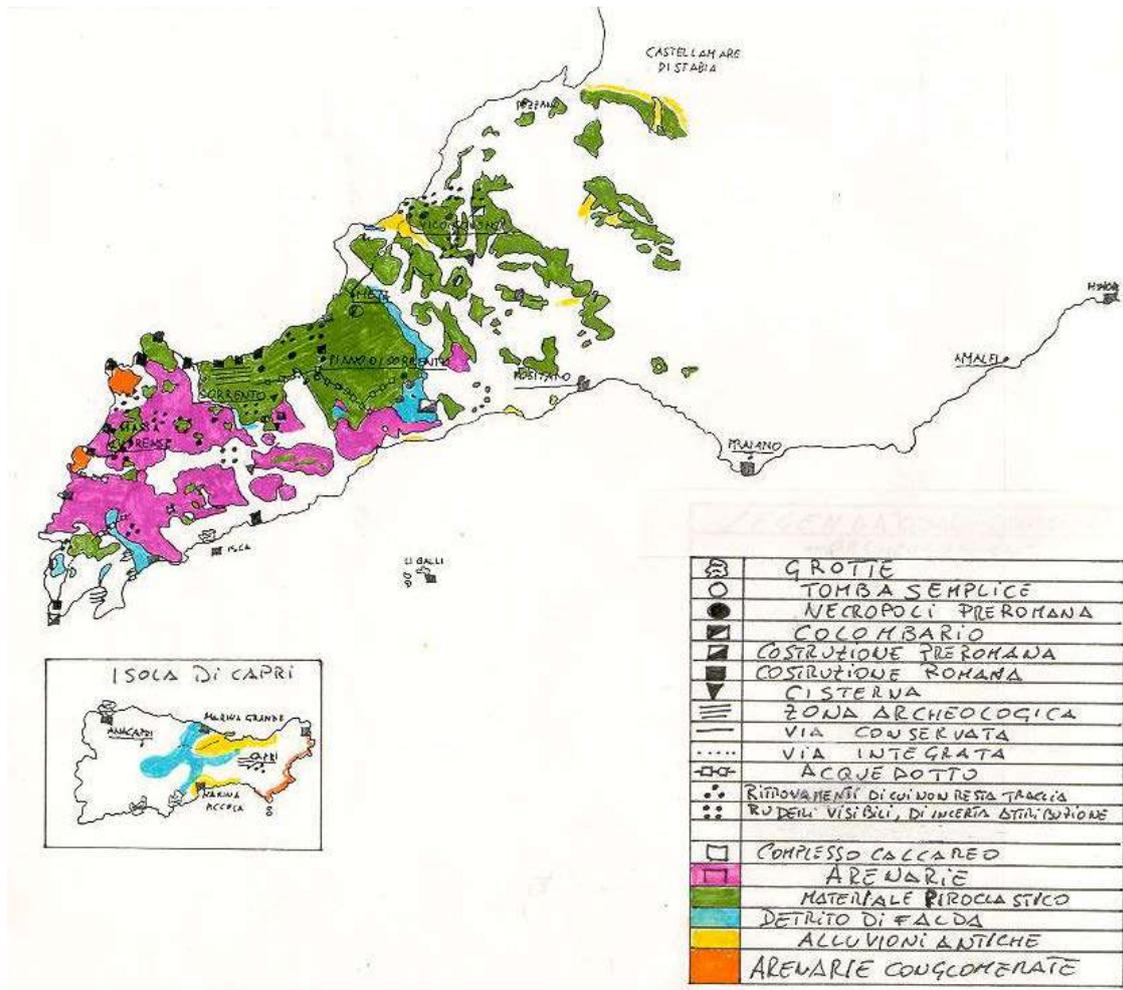
Nazzaro A., *Il Vesuvio. Storia eruttiva e teorie vulcanologiche*, Napoli, 1997.

- Novi G., *Degli scavi fatti a Torre del Greco dal 1881 al 1883*, Napoli, 1884.
- Novi G., Un pago o vico sepolto tra Ercolano e Pompei, *Atti dell'Accademia Pontaniana*, XXV, 1895, pp. 1-24.
- Pagano M., Torre del Greco. Scavo di una "villa rustica", *Rivista di Studi Pompeiani*, II, 1988, pp. 240-246.
- Pagano M., Torre del Greco. Località Cupa Falanga, *Rivista di Studi Pompeiani*, III, 1989, pp. 285-287.
- Pagano M., La villa romana di contrada Sora a Torre del Greco, *Cronache Ercolanesi*, 21, 1991, pp.149-186.
- Pagano M., Torre del Greco. Scavi e restauri in località Ponte di Riviaccio, *Rivista di Studi Pompeiani*, III, 1993, pp. 256-266.
- Pagano M., Considerazioni sulle variazioni del livello del mare sul litorale vesuviano, *Bollettino di Archeologia Subacquea*, 1, 1995, pp. 242-248.
- Pagano M., La villa marittima di Contrada Sora a Torre del Greco, *Catalogo Mostra Pittura nella Reggia dalle città sepolte*, Napoli, 1999, pp. 43-44.
- Pagano M., *I diari di scavo di Pompei, Ercolano e Stabiae di Francesco e Pietro La Vega*, Roma, 1997.
- Pagano M., Russo F., Terrasi F., Tuniz C., Antropizzazione e attività vulcanica in alcuni siti archeologici di Torre del Greco (Napoli), *Il sistema Uomo-Ambiente tra passato e presente. Atti Seminario Internazionale*, 3-5, VI. 1994, Bari, 1998, pp. 229-235.
- Palomba N., *Torre del Greco e le pendici meridionali del Vesuvio*, Torre Annunziata, 1998.
- Rolandi G., Russo F., I depositi vulcanici pre-79 AD affioranti lungo il litorale compreso tra i Comuni di Torre del Greco e Torre Annunziata, *Atti I Convegno Gruppi Archeologici dell'Italia Meridionale*, Prata Sannita, 1986, pp. 117-123.
- Russo F., Valletta M., Un esempio di coesistenza difficile tra ambiente fisico ed antropizzazione: l'area vesuviana, *Il Quaternario*, 7, 1994, pp. 431-436.
- Zevi, F. Urbanistica di Pompei, *Atti Convegno Internazionale: La regione sotterrata da Vesuvio: studi e prospettive*, 11-15 XI 1979, Napoli, 1982, pp. 353-365.

## THE SORRENTO PENINSULA AND CAPRI ISLAND: THE GEOARCHAEOLOGICAL CONTRIBUTION<sup>1</sup>

Umberto PAPPALARDO, University "Suor Orsola Benincasa", Naples; Filippo RUSSO, University of Sannio, Benevento.

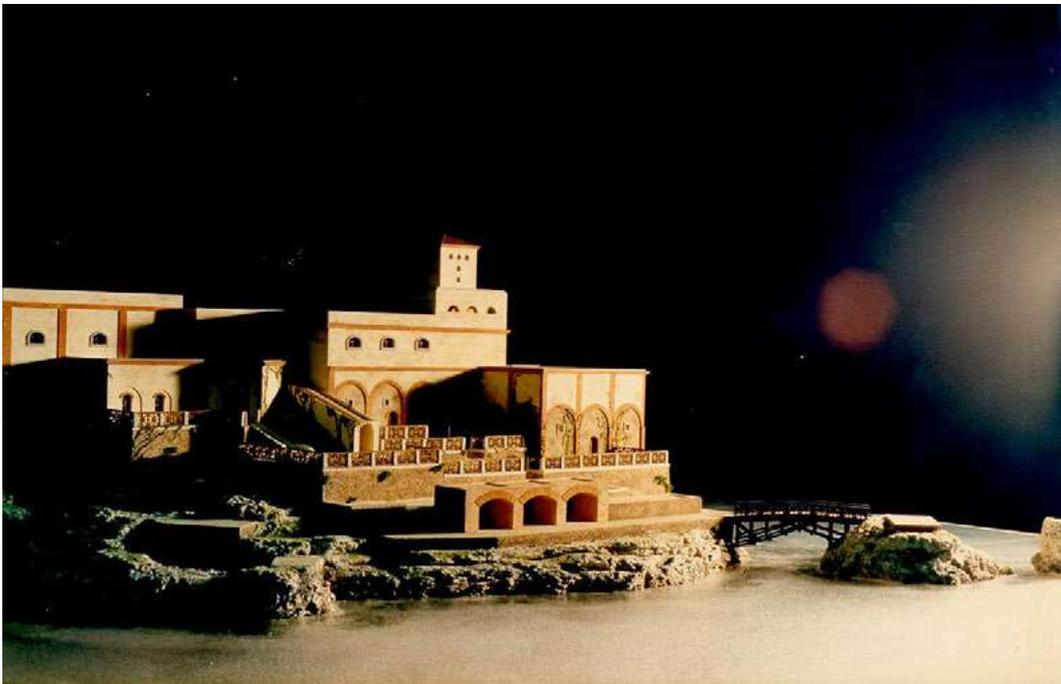
The entire Sorrento Peninsula and the Island of Capri offer many starting points for geoarchaeological research thanks to which it is possible to demonstrate, outside the usual volcanic areas of Campania, the various ways in which man adapted to his natural environment. At the same time being near the main volcanic areas, Capri has also witnessed those events responsible for the morpho-topographical changes induced by the great eruptive explosions. In fact, if the structure of the land is mainly calcareous-terrigenous, the covering is often of piroclastic nature and for the many benefits of such a covering that is due the success of this area of Campania. It's for this reason that from earliest times conspicuous numbers of inhabitants have settled there.



<sup>1</sup> Translation from Italian Laura SAPONARA, Pompeii.

Apart the climate and the extraordinary fertility of its volcanic ground, the environment of the Sorrento Peninsula and the island of Capri is also influenced by their complex morphology mostly of tectonic, carsic and coastal origin. This is such as to offer an enormous variety of geomorphological situations, which in a small area were amply and cleverly exploited by mankind in the past.

The scarcity of geoarchaeological studies conducted in this area has suggested to examine, from this point of view and with regard to the Roman period, the distribution of ancient settlements and their characteristics in relationship to the geological and geomorphological order of the area. In this way it has been possible to arrive at interesting conclusions regarding the relationship between mankind and his environment during Roman age and at the same time to have a valid geoarchaeological model for similar situations present in other parts of Southern Italy.



## **Bibliography**

Pappalardo U., Russo F., Indagine geo-archeologica sulla Penisola Sorrentina e l'isola di Capri, *La Terra delle Sirene*, 16, 1998, pp. 25-32.

## GEOARCHAEOLOGICAL OBSERVATIONS ON THE CAUSES OF THE END OF MINOAN CIVILIZATION<sup>1</sup>

Umberto PAPPALARDO, University “Suor Orsola Benincasa”, Naples; Filippo RUSSO, University of Sannio, Benevento.

Every visitor to ancient Crete is enchanted by the level reached by Minoan civilization and by the mystery surrounding its sudden demise. It has even been attempted to connect the latter to a cataclysm, to which Plato refers<sup>2</sup> determining the disappearance under the sea of the island of Atlantis and the end of its very high civilisation. It has practically become a real “myth” in archaeology.

Minoan civilization, which arose on Crete at the centre of the Eastern Mediterranean, developed from about 2800 to 1450 BC. At that time its influence extended over a large part of the Cycladic archipelagus with a dense network of relations with the nearby populations of the Middle East, Egypt and continental Greece. It is obvious from these “international” relations that there was a powerful commercial and military fleet, as the well known frescoes from Akrotiri on the island of Thera still show to-day. Undoubtedly the Creteans must have been excellent sailors and merchants, characteristics of which ancient historians were aware<sup>3</sup> and which made Crete famous in the whole Aegean basin during the Bronze Age.



<sup>1</sup> Translation from Italian Archer MARTIN, Rome.

<sup>2</sup> Timaios 20d-27a; Kritias 108c-109 and 113 to the end.

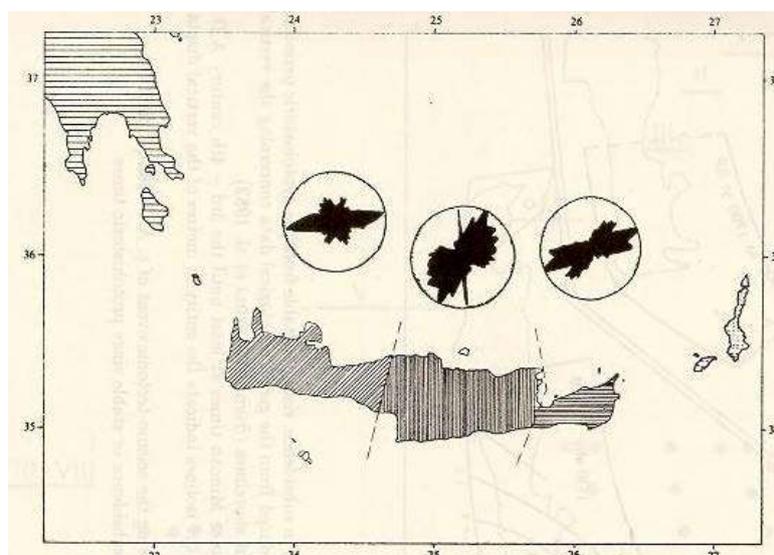
<sup>3</sup> Homer, *Odyssey* XIX 172-179; Thucydides I 4 and I 14.

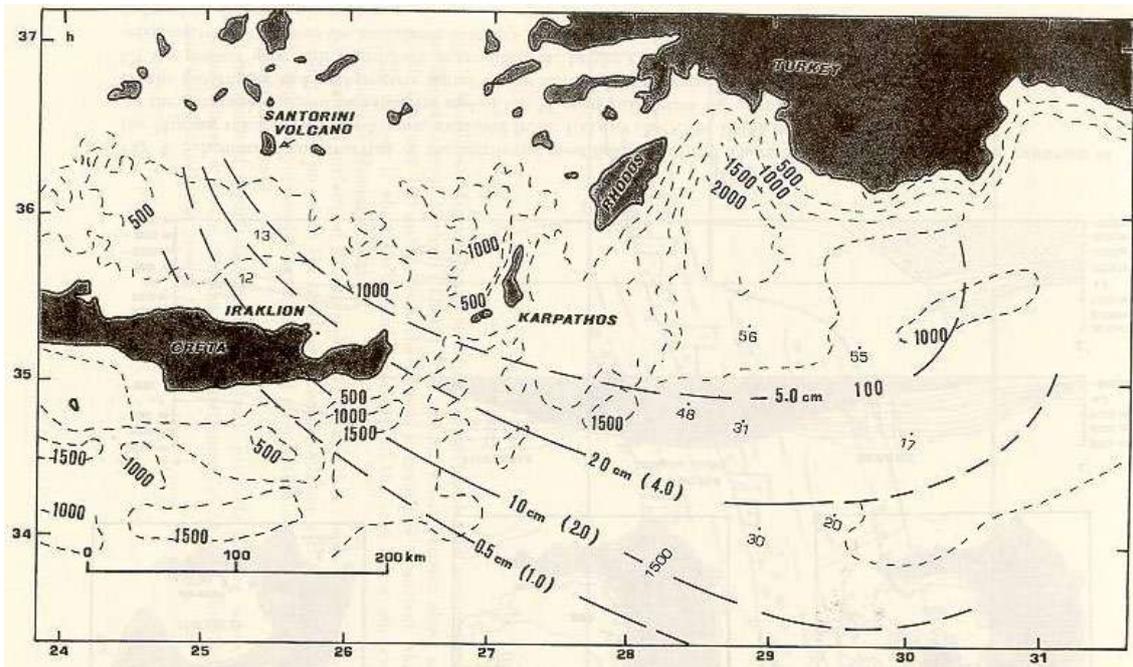
At the end of the Late Bronze Age this great civilization suddenly disappeared at its very peak and at the time of its greatest expansion. The causes of this unexpected disappearance remain unknown. Archaeological and historical studies take it for granted of the rising warlike Mycenaean civilization. Other studies consider that this military dominance took place only when the “Minoan empire” was already in decline due to the violent eruption of the volcano on the nearby island of Thera in the Cycladic archipelagus. Both solutions to the problem seem to be too simple, as they give too little space to other geological and environmental factors that could have changed the situation much more drastically and even irreversibly.

The exam of the considerable literature regarding Minoan “material” have allowed to gather sufficient archaeological and geological elements to form a more articulated scenario of the causes its decline.

It seems that one can conclude that the end of the Minoan civilization, although it may seem sudden because happened in a very short lapse of time, must really have been gradual and determined by a combination of natural and human causes that perhaps took place in the following order:

- Mycenaean pressure on the Minoan military and commercial outposts in the Aegean;
- the Thera eruption and consequent destruction of the Minoan outposts, then occupied by the Mycenaean;
- the consequences of the eruption effected the domestic economy, commercial traffic and defences of the Minoan kingdom which thus enters a crisis;
- Mycenaean pressure on the Minoan “homeland” i.e. the island of Crete;
- the homeland is brought to its knees by violent seismic activity that devastates its entire territory;
- the Mycenaean overcome Crete, replacing the impoverished Minoan population.





## Bibliography

Pappalardo U., Russo F., Geoarchaeological Observations on the Causes of the End of Minoan Civilisation, *Orbis Terrarum. Internationale Zeitschrift für Historische Geographie*, 3, Stuttgart, 1997, pp. 5-26.



## GEOELECTRICAL SURVEY IN HERCULANEUM<sup>1</sup>

Eugenio CARRARA, Giovanni FLORIO, Valeria PAOLETTI, Umberto PAPPALARDO, Antonio RAPOLLA, Nicola ROBERTI, University “Suor Orsola Benincasa”, Naples.

Two hundred years after the first discoveries of Roman settlements of the Vesuvius area by Bourbon diggers, the development of the geophysical underground exploration techniques allows a remarkably knowledge about Roman archaeological sites. For this regard, a study of one of the finest residences of the ancient Herculanum, the *Casa dell’Atrio a Mosaico* is here presented. The excavation works were performed in the 1930’s by A. Maiuri, allowing to uncover this beautiful house. The house lacks in most of its walls and in the household goods, the floor and the 4th style paintings are incomplete, due to the violence of the flood which totally destroyed the Herculanum settlement as a consequence of the Vesuvian eruption of 79 AD and to Bourbon extraction works through excavated tunnels.

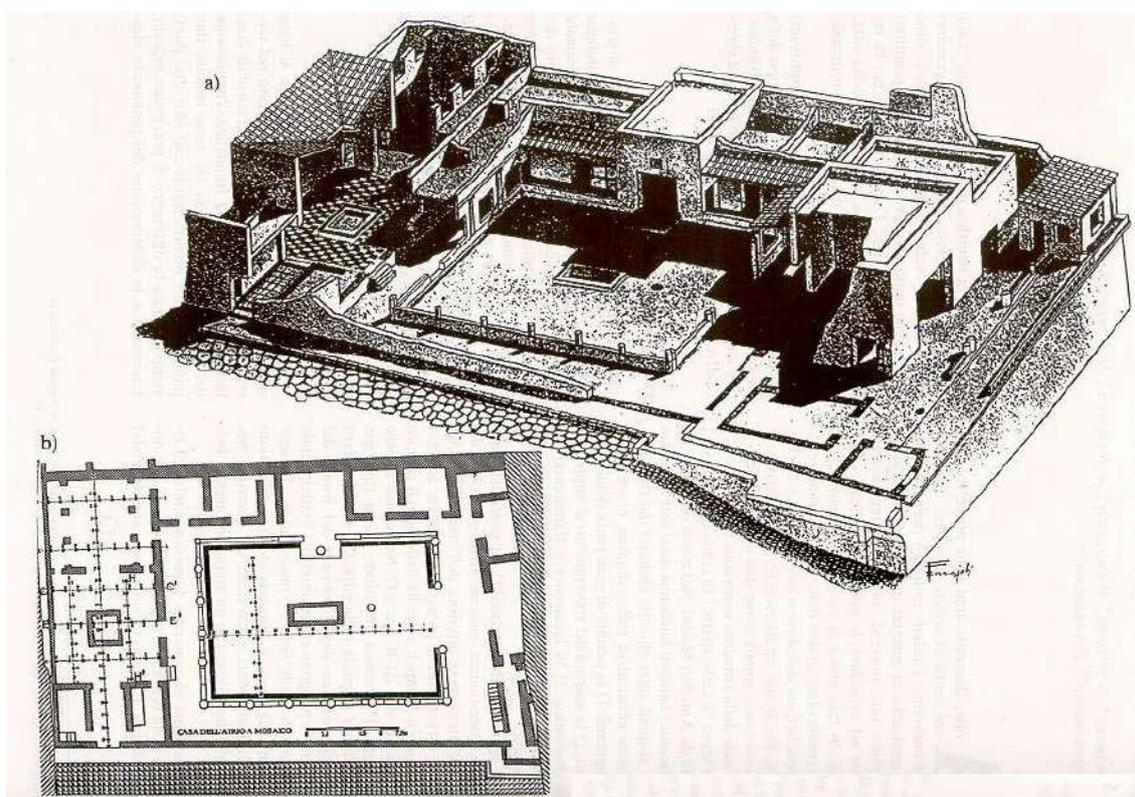


Fig. 1

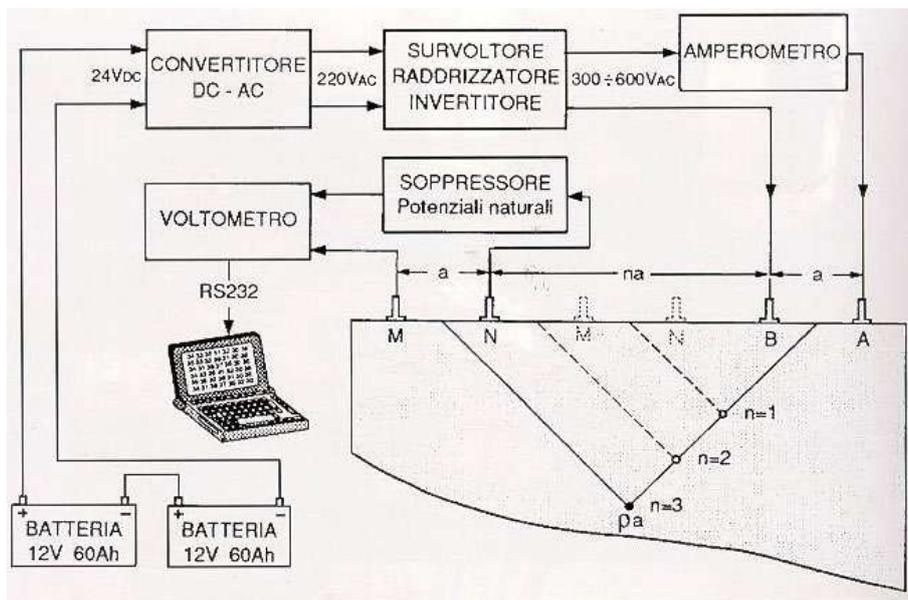
- a) Vista prospettica della Casa dell’atrio a mosaico  
b) Pianta della Casa con tracce dei sondaggi effettuati

<sup>1</sup> Translation from Italian Valeria PAOLETTI, Naples.

The beautiful house is placed with the *Casa dei Cervi* on a panoramic position in the South part of Insula IV and its dimension reminds, together with the *Casa del Fauno* of Pompeii, the Hellenistic houses of III and II Centuries BC. The structure of the house is characterized by the fusion of the domus and villa type; this can be noticed on the basis of the rooms' disposition, facing the sea to enjoy the view. This result is reached in spite of the boundary walls of the city, which are supplanted by the South panoramic quarter of the town, endowed by a belvedere terrace.

The divided planimetric structure seems to be the result of the fusion, in one residence, of two different houses: the first one (North quarter) was probably built on the ruins of an older Atrium house of italic origin; the other one (arcade garden) takes probably origin from two small units, one next to the other. This last house was subsequently enlarged during the last building period of the town, during the creation of the South quarter of Herculaneum, under the lee of the boundary city walls.

The aim of this work is for the underground geophysical study of the most interesting room of the Casa dell'Atrio a Mosaico by electric soundings, in order to deepen the knowledge about the origin and the development of the house.



**Fig. 2 - Schema a blocchi della strumentazione utilizzata nelle indagini**

## THE *VILLA IMPERIALE* IN POMPEII: FROM GEOARCHAEOLOGY TO VALORIZATION

Antonio DI MARTINO, Association of the Conservators for Cultural Properties POMERIUM, Naples; Umberto PAPPALARDO, University “Suor Orsola Benincasa”, Naples.

### Abstract

The *Villa Imperiale* is a sumptuous complex built in Pompeii, during the Tiberian-Claudian age, close to the town-walls, South of the Marina Gate and, moreover, laying on a public road, the *Via Antiqua*. It was discovered in 1944, during the II World War bombings. Its architecture and decorations (3rd style) are the result of an homogeneous plan.

After the earthquake of 62 AD that hit Pompeii, the *Villa Imperiale* undertook good repairs, particularly, on the highest parts of the walls and vaults, emphasized by the 4th style's decorations. It isn't known exactly when, after those repairs, if the villa went into decay (probably between 62 and 79 AD) and the great Granaries' complex start taking place, also acting as foundation of the overhanging Temple of Venus. Maybe, when Titus Suedius Clemens, Prefect of Vespasian, established the expropriation of the public areas all along the town-walls, the villa's owners went away. In the same time, between 62 and 79 AD, the town's Duumvirate, or the Prefect himself, managed the urbanistic rebuilding of Pompeii, planning the building ex-novo of the Central Baths, the restoration of the Basilica and the Forum, the enlargement of the Temple of Venus and the building of the Granaries too.

At present, the archaeological authority of Pompeii has large plans of restoration and valorization of the area of *Villa Imperiale* especially, concerning the reconstruction of the old *Antiquarium* and the remaking of *Porta Marina*'s entrance to excavations. Particularly for the *Villa Imperiale* are remarkable the architectural consolidation and a specific treatment for the painted walls and the weatherproof roof restoration where is necessary.

Anyway, just including the whole complex in the usual touristic itineraries and ensuring a normal and systematic maintenance, it will have the best protection. The neglected big rooms of the Granaries, to-day full of heaps of rubble and wild vegetation, could be used for temporary expositions.

A wooden-model of the villa was created to complete the research work, in order to understand for future valorization of the area: the architecture, the old and new repairs, the relations with the surrounding buildings.

## La Villa Imperiale a Pompei: dalla geoarcheologia alla valorizzazione

La Villa Imperiale a Pompei è un lussuoso complesso edilizio che in età agusteo-tiberiana fu costruito a ridosso delle mura all'interno della fascia demaniale presso Porta Marina, sovrapponendosi tra l'altro alla via Pomeriale (Via Antiqua) che uscita dalla porta curvava seguendo l'andamento delle mura, composte ad assisi regolari di blocchi parallelepipedi di *calcare del Sarno*.

Il complesso, venuto alla luce nel 1944 a seguito dei bombardamenti durante la seconda guerra mondiale, mostra che sia l'impianto edilizio che l'apparato decorativo in III stile sono il risultato di un unico progetto architettonico, forse il più sontuoso presente a Pompei. La villa rappresenta infatti molto più di una semplice *domus pompeiana*. Affascinante per la sua varietà, essa si apre sul paesaggio ed è contornata da giardini. I portici panoramici e le terrazze non erano una rarità a Pergamo, a Samotraccia, a Lindo e a Rodi si erano trasmessi tramite l'eredità della cultura Ellenistica.

L'orientamento degli ambienti verso ben studiate vedute mostra come l'integrazione fra architettura e paesaggio sia stata molto ricercata, anche in ambito romano.

Utilizzando il metodo di indagine geoarcheologico (a carattere macroscopico) si è potuto dare una più chiara interpretazione alla storia della villa, ciò a conferma che l'approccio al mondo antico può risultare più proficuo se svolto in modo multidisciplinare.

Pompei sorge su di un altopiano, esteso circa 66 ha ed alto 30 m, composto da un'antica colata lavica datata a 17 000 anni BP.

Nel VII aC vi si pose un insediamento di Oschi. Nel VI secolo si dedicò ad Atena un tempio dorico, che testimonia l'influsso dei Greci. Alla fine del V secolo aC i Sanniti, originari dall'Appennino, invasero la Campania occupando anche Pompei. Alla fine del IV secolo aC la città fu coinvolta nelle guerre fra Sanniti e Romani; si costruì una fortificazione in calcare del Sarno. Con la vittoria dei Romani le venne imposta la condizione di subalterna di alleata. Ribellatasi a Roma nella Guerra Sociale fu espugnata nell'anno 89 aC da Lucio Cornelio Silla che nell'anno 80 aC affidò i suoi veterani al nipote Publio per fondarvi *Colonia Cornelia Veneria Pompeianorum*. Colpita da un violento terremoto nel 62 AD, fu definitivamente distrutta dall'eruzione del Vesuvio nel 79 AD.

In virtù di questi eventi soprattutto la cronologia può quindi ora essere precisata.

La costruzione del complesso privato a ridosso delle mura urbane è giustificabile solo quando le mura non avevano più funzione difensiva, ovvero dopo la Pax Agustea. Non era consentito appropriarsi di una parte del pomerio, ovvero la fascia demaniale, è quindi presumibile che i proprietari della Villa Imperiale dovessero appartenere per nobiltà e per censo ad una classe privilegiata.

Il lunghissimo portico di almeno 80 metri, la disposizione a terrazze, la collocazione panoramica, la duplicazione dei giardini sono tutti elementi espressivi di un lusso eccezionale. Ogni elemento non scaturisce da esigenze funzionali ma esprime, con la

sua stessa esagerazione, potere e lusso, anche se questa espressione viene mitigata dalla finezza delle decorazioni e dall'elegante coerenza del progetto architettonico.

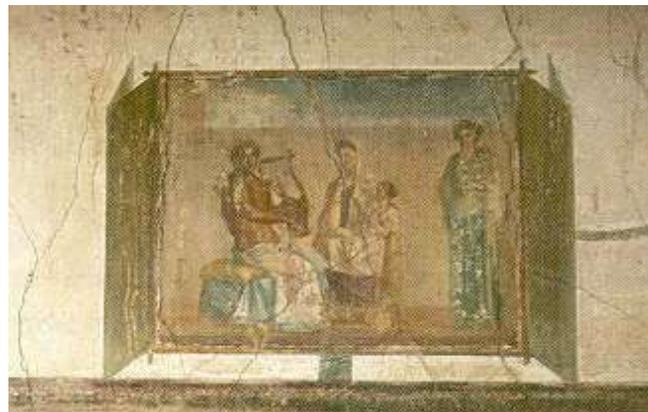
Quanto resta oggi del complesso è costituito essenzialmente da un salone a volta, un cubicolo con due ampie finestre aperte sul paesaggio, un triclinio che si apre anche sul peristilio ed un lunghissimo portico di 80 m circa.



Il terremoto che colpì la città nel 62 AD è il primo evento sul quale è stato necessario fare chiarezza. Il salone a volta è un ambiente rettangolare di 6 m di larghezza, 7,50 m di profondità e 8 m di altezza. Esso è decorato nella maniera architettonica prospettica, tipica del III stile iniziale, mentre i dipinti a fondo nero della volta e del registro superiore sono di primissimo IV stile.

Finora gli archeologi avevano ritenuto che il crollo della volta del salone, attestato da un rinnovo nell'ultima moda decorativa, di IV stile, non fosse da attribuire al terremoto del 62 AD, valutato però dai sismologi al IX grado della scala Mercalli; è comunque impensabile che dopo quell'evento sismico una volta di circa 7 x 6 m non abbia subito alcun danno.

A questo proposito è importante sottolineare che dopo il terremoto, con la conseguente crisi economica, il livello decorativo nella maggioranza degli edifici di Pompei subì un calo qualitativo (forse anche perché le maestranze erano oberate di lavoro); invece gli eccellenti restauri eseguiti nella Villa Imperiale mostrano l'immutato benessere dei proprietari.



Dopo questi rinnovi, ovvero tra il 62 ed il 79 AD, la villa fu abbandonata per far posto alla costruzione dei Granai che servirono anche da sostruzioni al sovrastante Tempio di Venere, dea protettrice della città, che al momento dell'eruzione era interessato da lavori di ristrutturazione.

Perché risulta evidente che la villa fu abbandonata?

Già durante i primi scavi il salone fu ritrovato privo di pavimentazione e coperto da prodotti vulcanici, nonché privo di oggetti ed arredi, con tutta un'ala distrutta dall'inserimento delle sostruzioni costituite dai Granai.

Pertanto è possibile che l'allontanamento dei proprietari sia da collegare con la requisizione di vaste aree pubbliche lungo la fortificazione ad opera del prefetto Tito Suedio Clemente, inviato da Vespasiano dopo il terremoto ovvero tra il 62-79 AD.

Non è da escludere che lo stesso prefetto o almeno uno dei due duoviri della città, abbiano gestito una vasta opera di ricostruzione urbanistica, caratterizzata a Pompei dalla costruzione di ampi complessi come le Terme Centrali, il restauro della Basilica e del Foro, l'ampliamento del Santuario di Venere, nonché appunto la costruzione dei Granai, che farebbe rientrare anche le Terme Suburbane in quell'opera di requisizione dell'area pomeriale da parte del potere pubblico, come attesta il rinvenimento dei cippi di esproprio.

L'indagine pertanto ha dimostrato che le ricostruzioni sottendono ad una vera e propria opera di risanamento urbanistico della città, nella quale viene coinvolta anche l'intera area sulla quale insiste la Villa Imperiale. Solo così è possibile spiegare l'allontanamento forzato di proprietari tanto ricchi e potenti.

L'analisi dell'area ha subito evidenziato notevoli difficoltà. Il complesso è infatti di vaste dimensioni e pieno di “lacune strutturali” che ne rendono difficile la lettura. Si è pensato pertanto di risolvere tali inconvenienti con la realizzazione di un plastico dell'area.

Dettato inizialmente da esigenze particolari, ci si è trovati infine dinanzi ad uno strumento di riflessione, utile ad ogni finalità, sia scientifica, sia didattica.

Infatti il plastico stesso, ma soprattutto l'analisi alla base della sua realizzazione, hanno immediatamente facilitato:

- la lettura integrata del complesso ed il raccordo con gli altri monumenti;
- la lettura differenziata con l'indicazione delle varie fasi e dei vari materiali;
- la lettura volumetrica;
- la realizzazione dello stato di fatto (rilievo) e quindi l'utilizzo del modello per lo studio finalizzato ad eventuali interventi di conservazione e valorizzazione.

La scala 1:50, che ha dato uno sviluppo di 2 x 1 m, è il risultato ponderato di un compromesso tra le esigenze della rappresentazione e le esigenze dettate dalla problematica del complesso, le cui vicende strutturali appaiono collegate alla storia degli edifici limitrofi, ovvero la Porta Marina, l'Antiquarium ed il complesso dei Granai.

Per quanto concerne la resa, si è preferito rappresentare lo stato di fatto, limitandosi alle ricostruzioni solo dove le tracce erano evidenti.

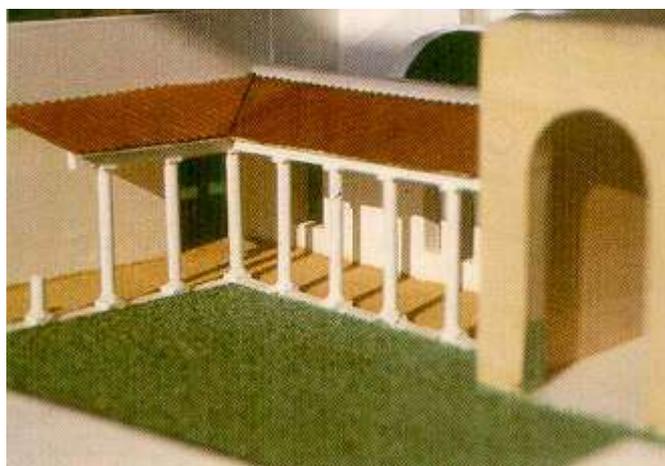
Tra le ricostruzioni minime effettuate, va segnalata quella dei colonnati esterni, incontestabilmente testimoniati sia dai resti di colonne presenti in situ sia dai fori di allettamento per la travatura della tettoia nei muri perimetrali. Questa ricostruzione ha permesso che l'intero complesso risultasse più leggibile nella sua essenza architettonica.

Nel plastico sono state rilevate e riproposte le coperture che in origine aveva la parte abitativa, mentre l'inserimento delle decorazioni è avvenuto con sistemi informatici.

Il modello è stato realizzato completamente in legno, le differenti fasi architettoniche sono state rese sia con diversi tipi di legno, sia con la colorazione in bianco.

Trattandosi di una riduzione geometrica, si è dovuto effettuare dapprima un'apposita campagna fotografica, diversa da quella che era servita a documentare le decorazioni. Le pareti, infatti, sono state riprese con un obiettivo grandangolare mantenendo la macchina fotografica a distanza fissa dai muri e spostandola sempre lungo lo stesso asse.

Successivamente si è proceduto alla scannerizzazione delle immagini, componendole e riducendole al computer in scala 1:50, per poi correggerne le distorsioni ottiche e stamparle ad alta definizione. Le stampe così ottenute sono state infine applicate alla pareti del plastico. Mentre per differenziare le varie parti sono stati usati i seguenti materiali e colori: sughero per la Porta Marina e le fortificazioni; bianco per la Villa Imperiale; legno naturale per le sostruzioni dei Granai; sughero dipinto per l'Antiquarium; grigio per il basolato della via Marina e della via Antiqua; marrone per i battuti del portico; verde per i giardini del portico e del peristilio.



## Conclusioni

Dall'analisi dei fatti geologici e degli avvenimenti storici, è emersa una nuova lettura sul periodo che intercorre tra il 62 ed il 79 AD, ed in particolare tra il 69 ed il 79 AD, quando ad opera di Vespasiano vaste aree di Pompei furono interessate da un unico progetto di ristrutturazione urbanistica. La demolizione in corso della Villa Imperiale, segna la fine dell'incondizionato abusivismo privato ed il passaggio ad un'urbanistica tesa ad una migliore pianificazione del territorio.

## Bibliography

Pappalardo U., Die Villa Imperiale in Pompeji, *Antike Welt*, 16, 1985, pp. 3-15.

## **CARTA GEO-ARCHEOLOGICA DI TORRE DEL GRECO**

Francesco FORMICOLA, Gruppo Archeologico Torre del Greco; Umberto PAPPALARDO, Giuseppe ROLANDI, Istituto Universitario “Suor Orsola Benincasa”, Napoli; Filippo RUSSO, Università degli Studi del Sannio, Benevento.

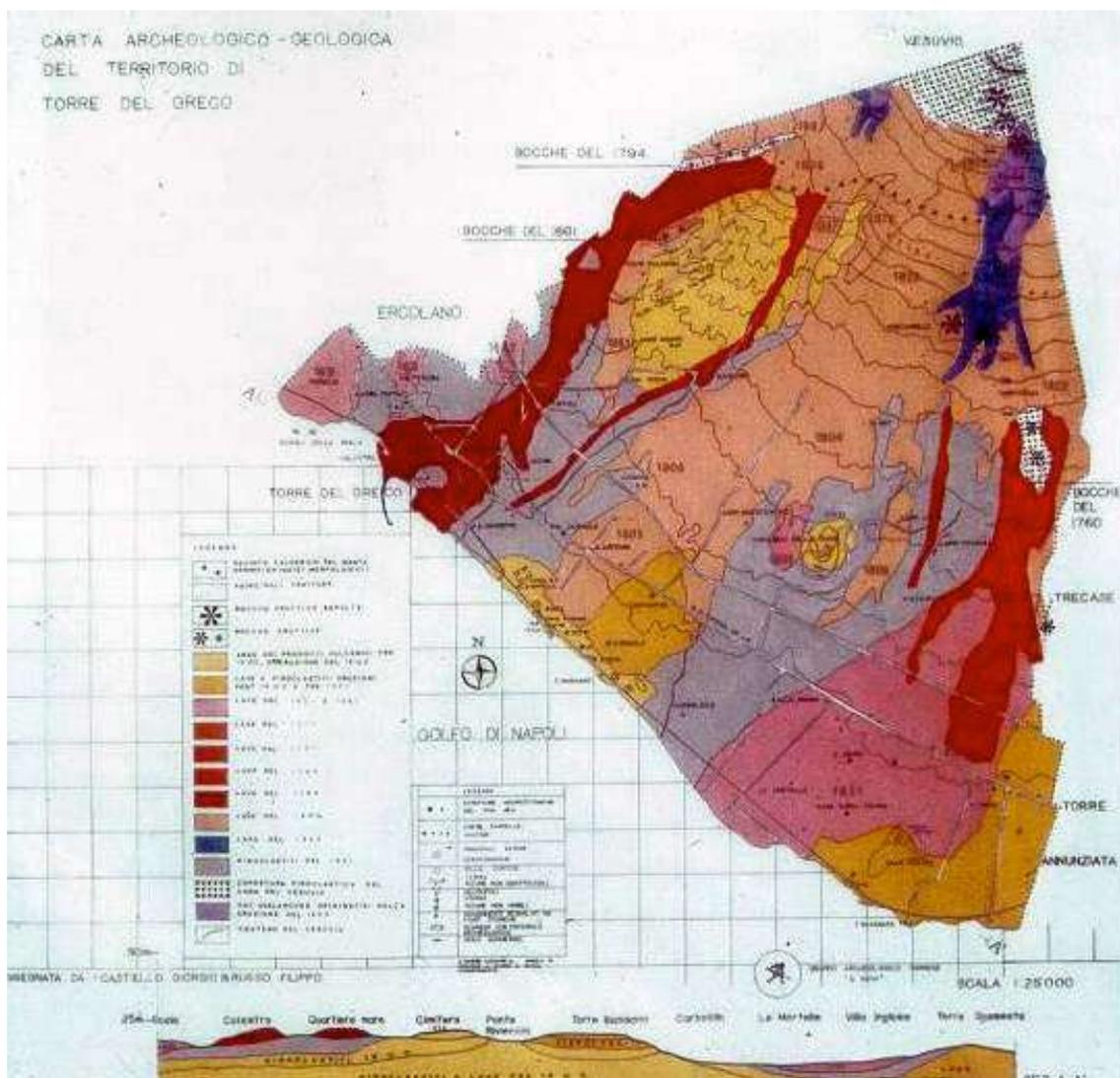
Il presente lavoro rappresenta la sintesi interdisciplinare dei dati relativi alle ricerche archeologiche, geologiche e vulcanologiche sul territorio di Torre del Greco e, più in generale, sul comprensorio meridionale del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio.

I dati geo-vulcanologici mostrano la diretta interazione tra le strutture abitative presenti sul territorio di Torre del Greco ed i prodotti esplosivi ed effusivi emessi dal vulcano vesuviano negli ultimi due millenni.

Le osservazioni di carattere stratigrafico hanno consentito di dividere la successione dei terreni osservati in tre grandi periodi:

- I Periodo pre-79 AD. Esso comprende i prodotti piroclastici e lavici, affioranti in varie località della città, soggiacenti a strutture edilizie romane del I secolo aC o ai prodotti piroclastici della grande eruzione del 79 AD.
- II Periodo compreso tra il 79 AD ed il 1631. Questo periodo è caratterizzato dalla presenza abbastanza diffusa dei prodotti piroclastici e lavici delle due più note eruzioni del Vesuvio: quella del 79 AD e quella del 1631. Non mancano i prodotti piroclastici e lavici di età medievale, anch'essi ben rappresentati in varie località di Torre del Greco. Particolarmente utili, ai fini di una corretta attribuzione cronostatigrafica dei prodotti ascritti a questo periodo, si sono rivelate le notizie ricavate da fonti di storia locale e le strutture architettoniche antiche della città.
- III Periodo post-1631. Esso rappresenta il periodo di più intensa attività eruttiva, soprattutto effusiva, del Vesuvio e il più ricco di notizie storiche che danno una idea dei danni arrecati dalle colate laviche all'abitato di Torre del Greco. In particolare, le eruzioni del 1737, 1760, 1794, 1805 e 1861 sono quelle che più direttamente hanno investito i luoghi abitati ed il centro urbano mentre i prodotti relativi alle altre eruzioni hanno interessato il territorio solo marginalmente. La particolare ubicazione di quest'ultimo, immediatamente al di sotto del vulcano, ha favorito nel corso degli ultimi due millenni, lo sviluppo di un paesaggio vulcanico notevolmente articolato, caratterizzato da alti e bassi topografici risultanti dalla deposizione dei prodotti piroclastici e/o lavici emessi durante le eruzioni del Somma-Vesuvio.

Numerosi sono i casi di intensa modificazione del paesaggio rappresentati sia dalla mutevole configurazione del litorale in seguito ai principali eventi eruttivi, sia dalla presenza di paleomorfologie sepolte o relitte, testimoni di una tormentata e repentina serie di vicissitudini morfologiche. Il rilevamento geologico ha portato alla realizzazione di una carta geologica in cui sono mostrati i prodotti delle eruzioni vulcaniche che hanno interessato il territorio di Torre del Greco e la loro interazione con le strutture abitative e sociali.

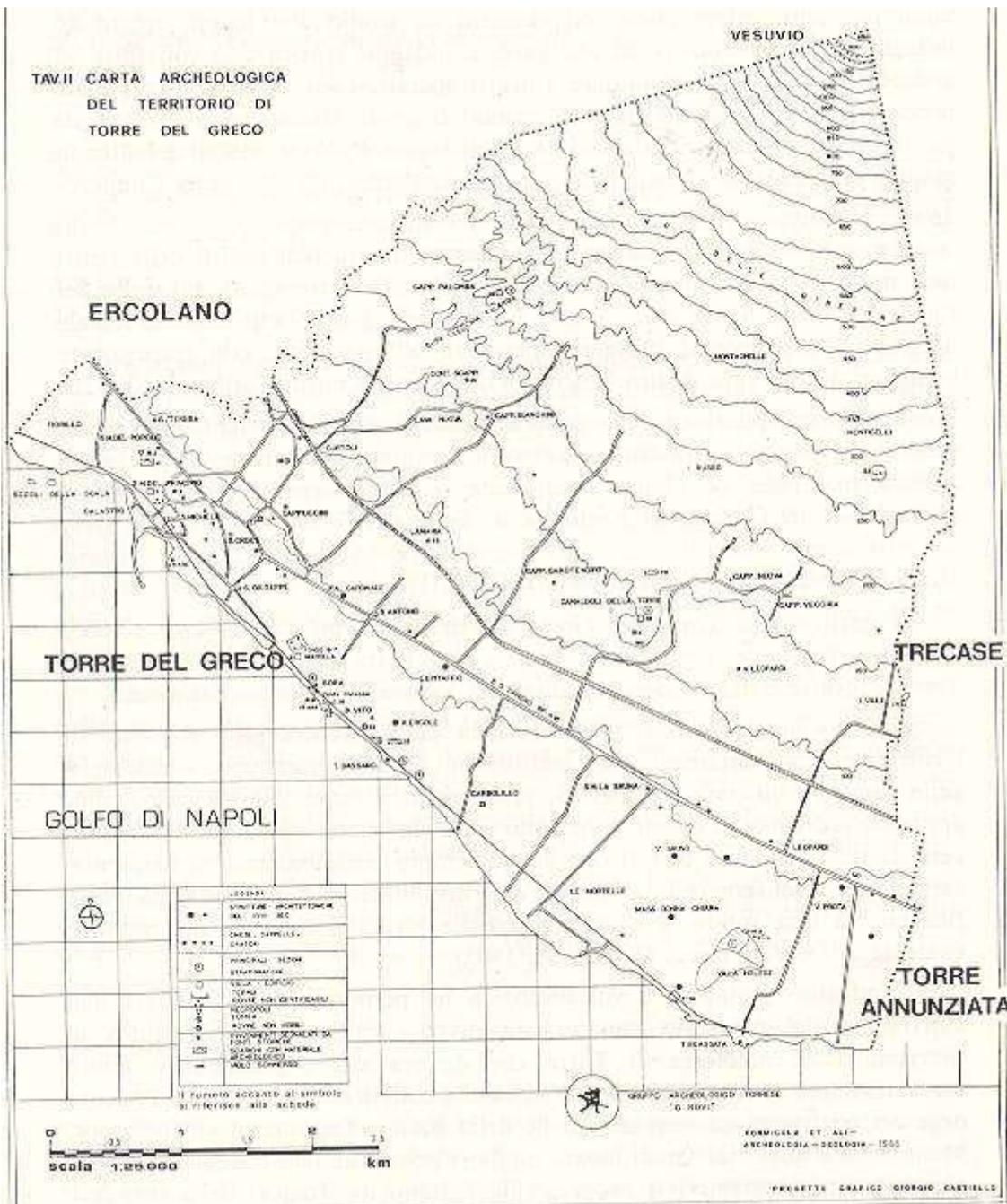


Nella seconda parte del lavoro sono presentati in forma organica e riepilogativa i dati archeologici più rilevanti del territorio torrese unitamente ad un'aggiornata storia degli studi archeologici della zona interessata.

La carta archeologica del territorio di Torre del Greco elaborata col presente studio può essere sovrapposta quella geo-vulcanologica.

In essa sono riportati sia i monumenti ancora visibili che quelli scomparsi e testimoniati per autopsia dagli eruditi dei secoli scorsi. Essa ha una duplice finalità: scientifica e operativa. Lo scopo scientifico è evidenziato dalla sintetica raccolta dei dati, che con la loro disposizione relativa stimolano riflessioni sulle singole ubicazioni nonché associazioni per possibili collegamenti topografici. Così, ad esempio, è possibile riconoscere una fascia pedemontana adibita ad edifici agricoli, che conferma quanto dice Strabone<sup>1</sup> di un Vesuvio coltivato sin sulla sommità:

<sup>1</sup> *Geografia V*, pp. 246-247.



Sovrasta quei luoghi il monte Vesuvio, ricoperto di bellissimi campi tranne in cima. Questa è per lo più piana, tutta sterile, cinerea all'aspetto e presenta dirupi cavernosi e di roccia combusta lungo la costa come fosse stata avvolta nel fuoco, tanto che si potrebbe pensare che questo luogo sia dapprima bruciato ed abbia avuto bocche di fuoco, quindi si sia spento per mancanza di materiale. Verosimilmente è questa la causa della feracità del circondario...

Si distingue anche una fascia costiera destinata a ville marittime, sulla quale la presenza di necropoli fa supporre l'esistenza di una via litoranea; inoltre il relativo infittimento di complessi in contrada Sora, Lamaria e Calastro fa immaginare una concentrazione di tipo urbano sul litorale, quale quello descritto da Strabone<sup>2</sup> quando ammira la costa vesuviana dal mare:

Poi tutto il cratere [i.e. il golfo di Napoli] appare trapunto da queste città, da edifici e piante, che sono così unite le une alle altre da assumere l'aspetto di un'unica città.

## **Bibliografia**

Pappalardo U., Formicola F., Rolandi G., Russo F., Archeologia, geologia e vulcanologia nel territorio di Torre del Greco: tre discipline a confronto, *Volcanology and Archaeology*, PACT, n. 25, Albore Livadie C. and Widemann F. editors, Strasbourg, 1990, pp. 125-181.

---

<sup>2</sup> *Geografia* V, pp. 4-8.

## **A COLOSSAL FEMALE STATUE FROM SORRENTO**

Stefano CANCELLIERE, Lorenzo LAZZARINI, Istituto Universitario di Architettura di Venezia; Caterina MURRO, Soprintendenza Archeologica delle province di Napoli e Caserta; Umberto PAPPALARDO, Istituto Universitario “Suor Orsola Benincasa”, Napoli.

### **The discovery**

In one of his subtlest short stories Henry James tells of a Roman aristocrat, Count Valerio, who, having found a colossal female statue in his garden, fell so deeply in love that he began to spend moonlit nights contemplating it. This irrational and overwhelming passion became so intense that it seriously threatened his only real relationship (his marriage) and so ultimately he was sadly forced to inter the statue again.

At Sorrento in February 1971 similarly intense emotions must have accompanied the discovery of a colossal female statue in Via Correale 48 (now 38) in the Fronzoni property (formerly De Martino). In fact the statue was found by chance during digging for the foundations of a villa, exactly at the point where the new circular stair of the modern building was to be constructed. The statue was then restored by a local marble expert who re-attached the head and a wrist. When displayed in the garden, the statue raised complex bureaucratic and legal issues only eventually settled by transferring the work to the National Archaeological Museum, Naples, where it was exhibited in room 6 as inventory number 159881. In its place the owner of the villa erected a replica, which can still be admired to-day. With the opening of the new Georges Vallet Archaeological Museum of the Sorrento Peninsula on 17 July 1999 at Piano di Sorrento, the statue was definitively transferred and is now on show next to the museum entrance stairway.

### **Condition**

The white Pentelic marble statue, including the plinth, stands 2.6 m high. The distance from the forehead to the chin is 30 cm. The figure forms a single block with the plinth. Oval-shaped with a straight cut along the front, the plinth is 9 cm high and 1.4 m at its greatest width.

Overall the statue is in good condition. The only major missing pieces are the left arm, elbow and part of the forearm, while on the right hand the thumb and index finger and middle fingers are lost. There are some small abrasions on the locks of hair behind the ears and at the back of the neck, whereas several recent scratches (made by the modern excavators during their chance discovery) can be seen on the folds of the peplos, the kolpos, the right hand sleeve of the himation, and along the hem of the peplos. Recently the left arm was removed, since it was mainly a modern reconstruction and seemed to protrude as well as being rather rough-edged.

There is modern oblique joint in the rear section of the plinth at the right foot, possibly due to the marble breaking away along the veining. There are also modern restoration joints at the attachment of the head and the right wrist. Restoration and cleaning work is now being carried out.

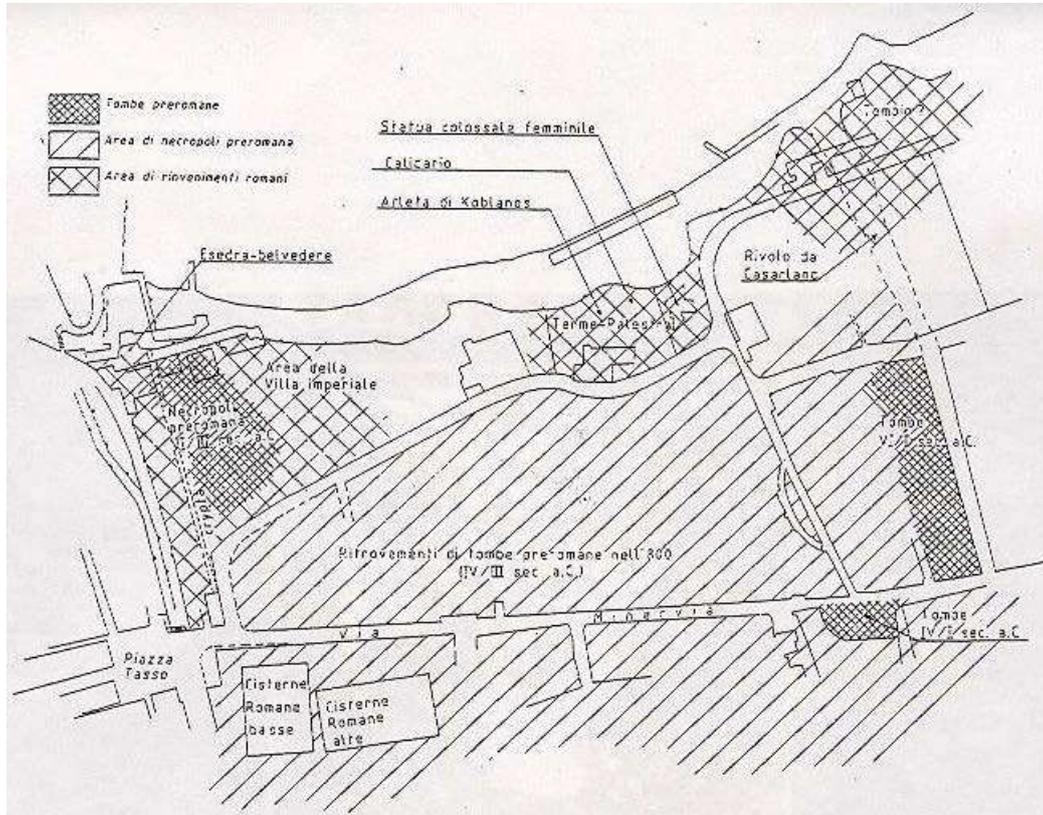


Fig. 1

## The subject

The sculpture portrays a female figure standing with the weight on the left leg covered in thick folds of peplos. The toes on a thick-soled sandal stick out from the bottom of the peplos. The right-hand leg stands apart and is slightly bent. This position means that the left hip is a little higher than the right one and consequently the left shoulder is slightly lower than the right shoulder. The right breast and shoulder are higher than on the left side, suggesting that at least in the prototype the right arm must have been raised to hold a rod or sceptre, as in the Pergamum Hera in Berlin. The incongruities in the posture of the Sorrento statue could be explained by the fact that in reworking the statue the copyist chose to leave the arm low along the body, moving it slightly forward so as to make it hold an attribute (possibly a mask, flowers or ears of corn) which was then lost along with the three fingers holding it. The fingers had already had iron pegs, possibly inserted by the copyist himself or during an ancient restoration. Inside the hand

the so-called Mount Venus i.e. the part with the thumb adducent and flexor muscles, appears to have been cut in half so as to better accommodate the supporting rod of the attribute.

The left arm (only part of the forearm near the elbow survives) was bent with the hand resting on the hip.

The peplos is tied at the shoulders and tightened round the waste by a belt concealed by the gently gathered billowing kolpos. The long apoptygma, enlivened by sinuous concentric folds gathered between the widely spaced breasts, follows the slight rotation of the bust to the right. Beneath the peplos the subject wears a chiton with elbow-length sleeves closed by small buttons.

Worn like a shawl resting on the right shoulder, the folded himation forms a hunch before cascading down the back in long vertical drapery. The other side falling obliquely down the back closes the circle with the tuck on the left forearm and falls beyond the knees in large folds held together by a small lead pin.

The head, bent slightly to the right, has a low forehead framed by a triangle of wavy locks, worked by a drill and clearly separated from each other, reaching half-way down the ears, where the pierced lobes suggest there were originally metal earrings.



Fig. 2



**Fig. 3**

The hair with a parting in the middle is gathered at the occiput in a bun held by a small hair-net. The well-polished refined oval face has long almond-shaped eyes with the large upper eyelids in relief laid over the lower lids on the outside corner, according to the Phidian stylistic model. The arch of the brow has been slightly swollen; the nose has a rigid spine and wide pinna; in the slightly open mouth the upper lip is sinuous and the lower lip fleshy with a central hollow. Although as stiff as a mask, the face expresses a strange self-conscious pride, the typical aspect of a goddess.

Carved out of the same block of marble as the figure, the plinth is rough-hewn along the external band, suggesting that it was originally inserted in a larger base.

Previously mainly unpublished, the sculpture can be classed in the type of female statue groups with peplos, the so-called pelophoroi, which, on the grounds of reciprocal affinities, the experts associate with the sculpture of Alcámenes, such as: Procne and Itys, the Hera from the East fronton of the Parthenon, the Erechtheum Korai, the Hera from the Pergamum Library, the Capitoline Demeter, the so-called Ariccia Artemis, the Castel Gandolfo Peplophoros, Demeter in the Vatican Rotonda, the Palazzo Sacchetti Peplophoros and fragments of a Peplophoros from the South-Eastern temple of the Athens Agora.



**Fig. 4**

The most well-known example of this type, and the one closest to the Sorrento statue, is the work in the Capitoline Museum, Rome, a first Century AD copy of an original colossal Attic work (420 BC).

The sculptures have a number of differences, however, due to their diverse functions and respective stylistic peculiarities.

An examination of the details of the peplos allows to liken the Sorrento statue to the Pergamum Hera on the grounds of the wide concentric folds of the apoptygma, the dense gathering of the kolpos, and the rigid vertical emphasis in the folds of the drapery, while the head is more directly comparable to the Vatican Kore.

The specific structure of the Sorrento statue (conceived according to the gradual volumetric development downwards, pyramidale Struktur) is achieved by swelling the drapery on the sides and shifting the right leg slightly sideways, giving a matron-like dignity to the austere erect solemn figure. On these grounds (also in light of the presence of a possible rod or sceptre in the model) it may be reasonably to surmise that the original was a portrait of an important Olympic divinity, such as Demeter or Hera.

The statue must thus be considered a basically Roman work by an Eclectic artist, who reworked Classical models filtered through Hellenism.

The surprise is that to learn from local accounts that the statue was found around three metres deep, below a compact layer of lapillus. This means that the statue was brought down by the earthquake accompanying the eruption of Vesuvius in 79 AD, and this constitutes an ante quem date for its creation.

In fact at the beginning of the inquiry the estimated period was around the late Hadrian or Antoninian age on a number of grounds: the stereotype pose, the cool execution, rigid drapery and the use of a drill with a powerful chiaroscuro effects, especially in the head. In this case even the use of the drill must not mislead, since as has recently been recognised: “it is already difficult to date a Roman sculpture, but when everything is blown up into colossal proportions, the patterns and canons usually applied are no longer valid”.

The situation is surprisingly similar to that of another famous statue, the so-called Sosandra-Aspasia of Stabia, stylistically dated to the II Century AD, but as emerges from recent archive inquiries, when found in 1907, it was three metres down, under the lapillus of the AD 79 eruption.



**Fig. 5**

## The original location

Unfortunately the opportunity to explore the grandiose architecture which must have housed the sculpture has been irremediably missed. Today it is possible only to surmise by referring to verbal reports, conjectures and suppositions. According to a reliable oral account by an eye witness, when found, the statue was lying face downwards on the ground in a position around fifteen metres from the sea. Broken off in the fall, the head had rolled a few metres down the slope. Moreover, not far away, a brick terracing wall and mosaic with white tesserae were also found.

In Roman times the area of the find (Villa Correale) was outside the city. The property, in Via Rota, changed name over time with the various changes in ownership: thus *fondo De Martino* (in the XIX Century) became the Hotel Royal (early XX Century) and lastly the Villa Fronzoni (1970s).



Fig. 6

Since the late nineteenth Century several major finds have been made in the area: in 1888 around two and a half metres down from the surface, a famous marble statue (1,8 m high) of a boxer, crowned with olives and resting on a tiny herm of Heracles was uncovered bearing the inscription: AFRODISIEUS KOBLANOS EIRGASATO.

In a note in *Notizie degli Scavi* of 1888 Giuseppe Fiorelli mentions that in the De Martino property at Sorrento

several columns, two large Corinthian capitals, another fragmentary statue, remains of marble paving, and brickwork ruin... can still be seen on the Northern edge of the property. This can be linked to the discovery of several columns, mentioned in official reports, in the place known locally as La Rota.

Moreover in 1906, when a perpendicular cut was made into the cliff over the sea from the garden of the Hotel Royal in order to build a tower-belvedere, around three metres down the remains were found of a large thermal room (a tepidarium or calidarium) which had partly collapsed into the sea. It had a hypocaust and suspensurae, with rectangular-section flues built into the walls, as well as flooring and walls clad in white marble slabs. This complex was accurately dated by Russo, on the grounds of the rectangular flues, to the first half of the I Century AD. By associating this room with the presence of the statue of the boxer, found nearby at the same depth of around three metres, Russo concluded that “we are dealing with a large suburban public thermal complex with adjacent palaestra.”

## **The workshop**

Identifying the sculptor’s workshop is very problematic. In general the luxurious decoration of Campania villas suggests there must have been craft workshops near the residential centres. But although the luxury of the Sorrento villas is mentioned by ancient writers and confirmed by archaeological finds, so far no art workshops have been found at Sorrento. Some have been found, on the other hand, in nearby Pompeii, where the presence of sculptors’ workshops and the activity of stone-cutters has been documented. Other statuary production centres have been found at Baia and Pozzuoli. The most refined works may have been imported, like the statue of the boxer by Koblanos of Aphrodisia, found not far from the Sorrento statue. It is thus likely, also because of the quality of the marble and especially in view of the colossal size, that the female statue of Sorrento was an imported work.

## **The use of the model**

Sculptures, votive and funerary reliefs as well as heads of decrees document the very widespread presence in Greece of the peplophoros type. Its popularity can readily be understood considering that at Eleusis, in the sanctuary of the same name, the two most worshipped gods, Demeter and Kore, were portrayed wearing respectively a peplos and himation.

Images of Demeter and Kore were faithfully reproduced in all the Eleusian sanctuaries to remind worshippers of the images of the cult by conveying their special iconographic features.

The best-known example of peplophoroi are the Erechtheum Korai, sculptures from the workshop of Alcamenes dating from around 421 BC. Faithful reproductions of this work were used for decorative architectural functions in the portico of the Forum of Augustus or for essentially decorative purposes in Hadrian's Villa at Tivoli. The great success of this type in Ancient Rome is documented by a series of replicas and reworkings, executed with a great variety of attributes, which in each particular case characterise the sculpture either as Hera-Juno, Tyche-Fortuna, Demeter or Hygieia. Paul Zanker has already pointed out (on the subject of the common typological and stylistic combinations, typical of eclectic Roman art) how, for example, in the Augustan era, the statue of Spes, tutelary deity of birth and flowering, is depicted as an Archaic-style Kore with a flower in hand, thus merging *pietas* and *Classicism* in the same figure, in line with the range of values expressed by the new cultural programmes.

The frontal pose of the Sorrento statue gives a rigid static impression, stressed by the vertical fall of the drapery folds. But in fact this is only an apparently frontal pose: the bent head, the arms opening outwards, the almost transparent thin drapery and the movement of the flexed leg on the right all invite the onlooker to walk round, following the circular course of the folds of the apoxygma. This invitation to walk round is created by what remains of the Classical age in the work. The rough finishing on the rear is explained by the original location against a wall, or more likely in an apse. It must have been a Roman decorator, who sacrificed the back from the original model with a disappointing but obviously practical flat rendering of the volumes. The statue should thus be considered a replica of a post-Phidian original from the late V Century BC with influences from other periods and schools, reflecting the eclectic fashion of the age.

The loss of the attributes from the right hand and the elements from the setting mean that there can be no precise iconographic identification, nor an accurate reconstruction of the architectural context. The colossal dimensions suggest, however, that the work must have been set in a monumental architectural complex, while the summary reworking at the lower rear indicate a frontal viewpoint with the work being displayed against a wall. It would be nice to think that the statue had been set in an apsed exedra, open towards the landscape in one of the great complexes dedicated to otium in the Sorrento peninsula, where, because of its ideal character, it must have had a mainly decorative rather than cultural or propaganda purpose (i.e. embellishing a temple or an imperial municipal building).

Although the workmanship is far from excellent, the economic effort involved (even only for the transport) must have been considerable. This find thus confirms the luxury of private and public buildings in the city, their rich decor as well as the thriving economy of Sorrentum and the Sorrento peninsula in the I Century AD. There is a first-hand testimony of this when the poet Statius describes Pollius Felix's Sorrento villa in *Silvae*:

The villa of Pollius Felix is situated high up opposite the gulf on the hills, whose grapes rival those of Falerno, and whose vineyards slope down in terraces almost to the rocky shore. Pollius is surrounded by ancient bronze and wax statues, paintings by Apelles, works by Phidias, Myron, and Polyclitus, busts of generals, poets and philosophers in this place where he has retired to live free from worries in the peace and quiet of studies... And what can be said of the marbles? The villa is enhanced by the finest stones from Greece, Syene and Phrygia, by the green of Laconia, the yellow of Numidia, the bright white marbles of Thasos, Chyos and Carystus. Pollius Felix is truly blessed since he frequents the Greek Neapolis.

## Technical description

The following description illustrates the data measured during the naked-eye and organoleptic inspection. Observation was improved by suitable lighting systems and the use of magnifying lenses of various strengths. The examination consists in a detailed inspection of the work in light of first-hand experience in many other observations of the same type.

The observation was conducted with the aid of an optic-fibre lighting system. This provided powerful localised light for a clear vision, even of the undercuts, and in more favourable cases to assess the appearance of the marble against the light.

### Observations:

- the background colour of the marble, measured according to the Munsell system with reference to the ASTM D 1535 standard, was 0.95N with tones tending to pink;
- the frontal part of the statue appeared to be covered by a spotted film of amber-coloured material, particularly thick in the folds of the clothing;
- on the surface there is a widespread presence of amorphous calcium carbonate;
- the marble has a homeoblastic granular structure, whose grains measure from 0,2 to 0,3 mm;
- in the folds of the clothes the examination against the light revealed considerable translucence in the marble with the colour tone tending to pink;
- examination of the surface ruled out the presence of re-cemented cracks, macroscopic inclusions, pigmentation or other elements connected with the geochemical history of the calcareous sediment;
- in some areas of the drapery in the frontal part there are circular translucent zones of around one centimetre in diameter, richer in matter, which appears like shadows and are not visible with normal lighting;
- the colours of the marble in the face have decayed less, and the white colour has none of the pinkish tones found in the body of the statue;
- on the neck there were traces of the yellow-coloured preparatory layer, suitable as a base for calcareous-type paints;

- the first three fingers on the right hand are broken; the index and middle fingers have the remains of iron pegs and pigmentation in the marble caused by iron oxides from corrosion; the characteristics of the shape, spots and corroded metal, suggest that the pegs were ancient. The fractures are not clean cut, but irregular and therefore not deliberate, as if caused accidentally;
- the upper part and right side show the presence of more deeply impressed prints left by the roots of trees above, recognisable for their characteristic “crow’s-foot” shape;
- lastly, the sculpture was made of fine-grained crystalline marble, characterised by low hardness and therefore relatively malleable.

The statue had clearly been restored after the fingers on the right hand (and perhaps also the base) had been fractured.

The marble has a superficial decohesion a few millimetres deep, due to the dissolving of the inter-granular cement caused by changes in temperature and rainwater.

## **Minero-petrographic and isotopic studies**

### *Foreword*

The aim of the present inquiry was to determine the kind of marble in the statue and therefore the quarry it had come from.

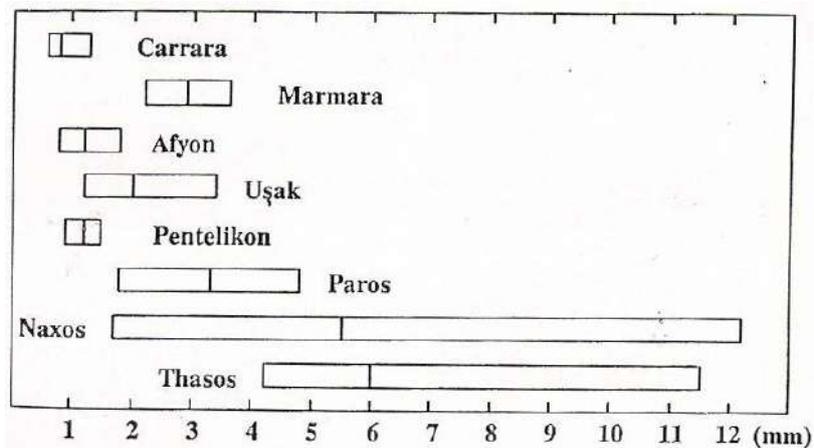
Two samples were examined, conducting first minero-petrographic studies and then geochemical (isotopic) studies.

### *Analytical methods*

All the studies were carried out on two sample fragments, of which a tiny part was used for the isotopic analysis and the rest for preparing thin sections to be used in the mineralogical and petrographic study of the marble under the polarising microscope. This study highlighted the following aspects:

- the large size of the calcite grains, an important diagnostic parameter, since linked to the degree of metamorphosis reached by the marbles, as has been stressed in recent studies;
- the form of the grain contours, it too linked to the type of metaphorical event that generated the marble;
- the kind of structure (homeoblastic = with isodiametric grains; heteroblastic = with grains of different sizes, etc.) in direct relation with the type and mode of development and evolution of the metamorphosis;
- the accessory minerals other than calcite/dolomite (the main constituents of all marbles).

The petrographic inquiry focused on specific studies of ancient marbles, as well as the classic treatises of petrogeology. The results were compared with reference samples taken from the main Mediterranean quarries and with data from the specialist literature.



**Fig. 7 - Valori del Maximum Grain Size degli otto marmi bianchi più importanti nell'antichità. Il tratto verticale continuo indica la mediana; quello tratteggiato il valore trovato per la statua di Sorrento (il valore è in accordo con gli ultimi dati noti e non ancora editi)**

#### *Minero-petrographic analysis*

The study of two thin sections of the two different samples taken from separate parts of the statue reveals a lightly tensioned heteroblastic structure made up of calcite crystals with curved contours, at times *gulf-shaped*. The highest value for the maximum grain size was 0,8 mm. There were also small zones of fine-grained calcite and some calcite crystals with considerable distortions in the planes of polysynthetic twinning.

#### *Isotopic analysis*

Isotope characterisation has been very useful in identifying the provenance of ancient marbles. In fact this kind of analysis is increasingly being used because of the small quantity of material required for analysis and the availability of a vast database allowing reliable comparisons, especially if the isotopic data are assessed with the data supplied by mineralogical-petrographic studies of the same samples, as happened in the current study (for a comparison of the isotopic data and the reference data, a database updated to 1999 was consulted).

Isotopic analysis (measuring the ratios  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  of  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  of the carbon material) were conducted on the carbon dioxide extracted from tiny quantities (20-30 mg) of one of the samples, after cleaning and crushing, through the attack of 100% pure phosphoric acid in a special vacuum line, according to the McCrea procedure.

The carbon dioxide generated was transferred into a special test tube and analysed in a dedicated mass spectrometer. The instrument used has a triple manifold and allows both isotope ratios to be measured at the same time. The analytical results are conventionally expressed in  $\delta$  units as parts of a thousand:

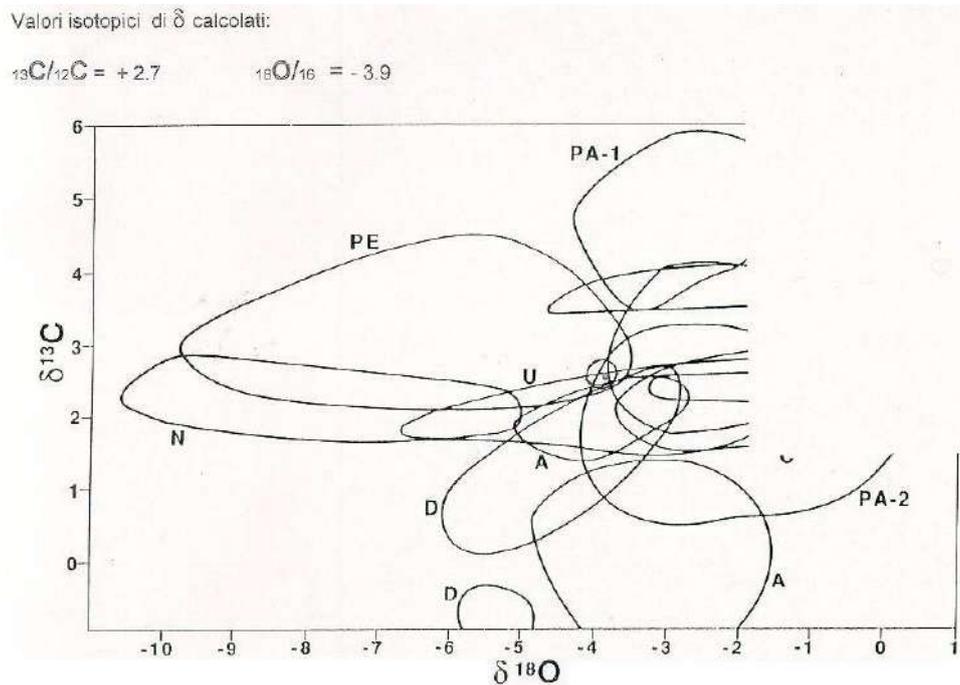
$$\delta = [ R(\text{sample}) / R(\text{standard}) - 1 ] \times 100$$

where R (sample) and R (standard) represent the isotope ratio of oxygen and carbon in the sample and reference standard, respectively. In the current work the international reference standard Pee Dee Belemnite (PDB) was adopted both for oxygen and carbon. The isotope values of  $\delta$  calculated for a single sample were:

$$\begin{aligned} {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C} &= + 2.7 \\ {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O} &= - 3.9 \end{aligned}$$

### Result

As revealed by minero-petrographic analysis and the isotopic value the sample turned out to be Pentelic marble.



**Fig. 8 - Diagramma isotopico degli antichi marmi bianchi di cava (A: Afrodizio, C: Carrara-Lunense, D: Docimio, N: Naxio, Pa 1-2: Pario 1-2, PE: Pentelico, T: Tasio, U: Usak). L'asterisco rappresenta la posizione del marmo pentelico della statua di Sorrento**

## **Historico-archaeological and archaeometric background to Pentelic marble**

Pentelic marble is a fine-grained calcite marble at times with nodes and zones of large grains. The most common colour is pure white, frequently with veins and/or bands of silvery white colour due to the presence of muscovite mica. The veins often take on a greenish colour due to the associated chloride. Some varieties (also exploited in ancient times) have greyish-blue tones characterised by darker bands or veins of the same colours. These varieties can often be confused macroscopically with Bardiglio di Carrara.

Pentelic marble usually displays such distinctive macroscopic petrographic features that it can be recognised with certainty by the naked eye. At times, however (when it is very uniform and has no foliation, veins, etc.,) characterising Pentelic marble can be difficult and therefore macroscopic identification impossible. In such cases in addition to petrographic studies, an analysis of the stable isotopes of carbon and oxygen is also necessary (which in general by itself is sufficient for identification purposes) or the use of other multidisciplinary archaeometric studies.

The ancient quarries of Pentelic marble were opened up on the Southern and South-Eastern slopes of Mount Pentelic, a few kilometres from Athens. Unfortunately they have been partially destroyed because of intense modern quarrying. But the surviving sites have been described and studied in depth by Korres, who also reconstructed the ancient quarrying techniques (partly on the basis of general studies on marble) and established the sequence of operations in the quarry and workshops.

This marble was first quarried in the Classical age for architectural (especially connected with the urban plans of Pericles) and statuary uses.

It continued to be exploited for the same purposes in the Hellenistic and Roman periods. Because of its great prestige (it was used in building the Parthenon) Pentelic was the first marble imported by Rome in the Republican age when, according to the sources, it was used to build the Temple of Jupiter Stator and the Temple of Hercules (also called the Round Temple or the Temple of Vesta). The presence of Pentelic marble in the latter temple was recently checked in archaeometric studies. This marble continued to be important for its architectural uses for duration of the empire, as is revealed by its use in highly symbolic buildings with propaganda functions, such as the Portico of Octavia and the Arch of Titus. Lastly, it was also greatly used in sarcophagi, which were particularly widespread throughout the Mediterranean and especially on the Eastern coasts.

## **Bibliography**

Pappalardo U., Murro C., Piccioli C., Lazzarini L., Cancelliere S., Statua colossale femminile da Surrentum, *Römische Mitteilungen*, 2000 (in printing).

## GEOARCHAEOLOGICAL EVIDENCES OF BRADYSEISM ALONG THE PHLAEGREAN COAST - NAPLES<sup>1</sup>

Umberto PAPPALARDO, University “Suor Orsola Benincasa”, Naples; Filippo RUSSO, University of Sannio, Benevento.

At present the Phlaegrean Coast is an area of volcanic activity whose most striking features are the vertical movements of the earth (bradyseism) and the intense smoking (Solfatara) hydrothermal and microseismic activity.

The reexamination and reinterpretation of historical events, geomorphological data and the sedimentary series which characterize the numerous archaeological sites along the Phlaegrean Coast have allowed to reconstruct with more accuracy the history of the vertical movements of the earth and the geomorphological evolution of the coast during the last two thousand years.

In some archaeological contexts examined, sea and/or beach sediments, containing the relative traces of erosion, have been met with giving evidence of various episodes of submersion of the Phlaegrean Coast, dating back to at least the IV Century AD.



Fig. 1 - Campania, satellital view

<sup>1</sup> Translation from Italian Laura SAPONARA, Pompeii.

This fact is due to the progressive bradyseismic descensional movement of the earth, which with the passing of time and up to the late Roman era has consigned vast continental areas to the sea.

Sea sediments are in places alternated by deposits of submerged continent often associated with anthropic layers and archaeological structures.

These data seem to be connected to the persistence of long or short pauses in the general bradyseismic descensional movement or can result from clear episodes of rising (inversion of movement) probably at the approach of a volcanic paroxysm which in at least one case coincided with an eruption, that of Monte Nuovo in 1538 AD.

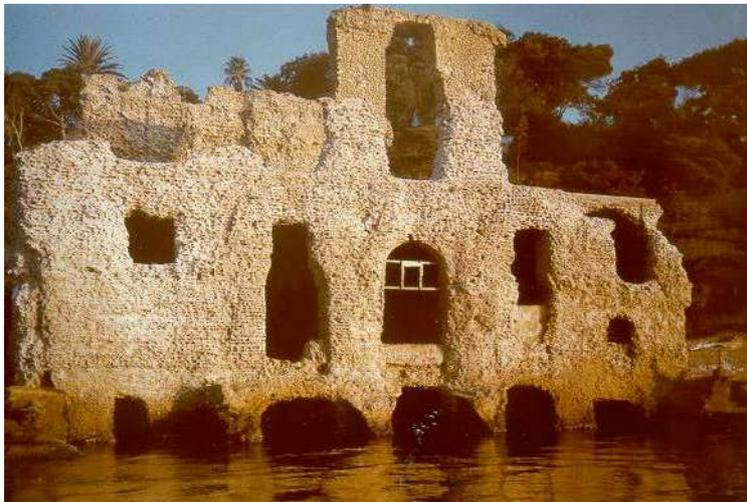
The analysis of all information demonstrates that, over the last 2000 years, the Phlaegrean Coast has been subject to a progressive bradyseismic sinking interrupted in places by brief and violent episodes of rising.

The submersion of the coast in the post-Roman era came out in three distinct moments: between the IV and V Century AD, between the VII and VIII Century AD and between the XIV and XV Century AD. The whole entity involved in the sinking was at least 17 m of which only a part (6-7 m) has been recuperated by the inversion of the movement.

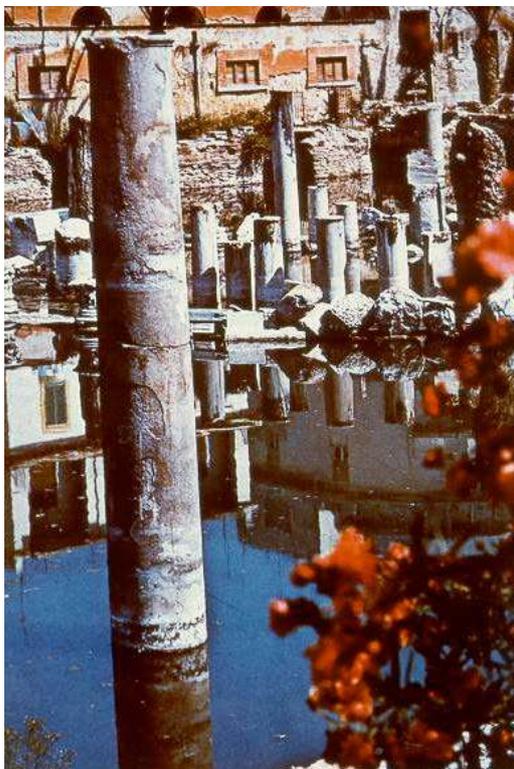


**Fig. 2 - Aerial view of Campi Flegrei (maquette Studio RomaTre, M. Travaglini)**

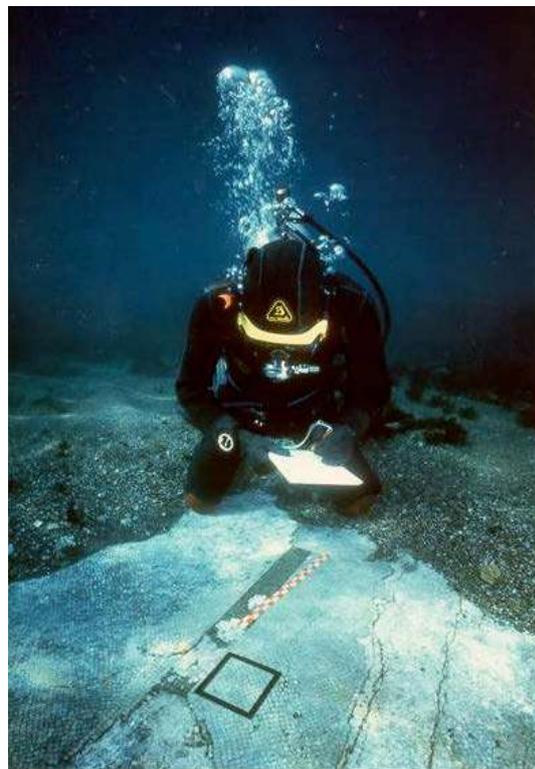
From the study it has emerged that archaeological remains often give evidence of the history of geomorphological events of localities; for this reason it has been possible to integrate in a homogeneous picture all the both published and unpublished information of geoarchaeological importance.



**Fig. 3 - Marechiaro, *Casa degli Spiriti***



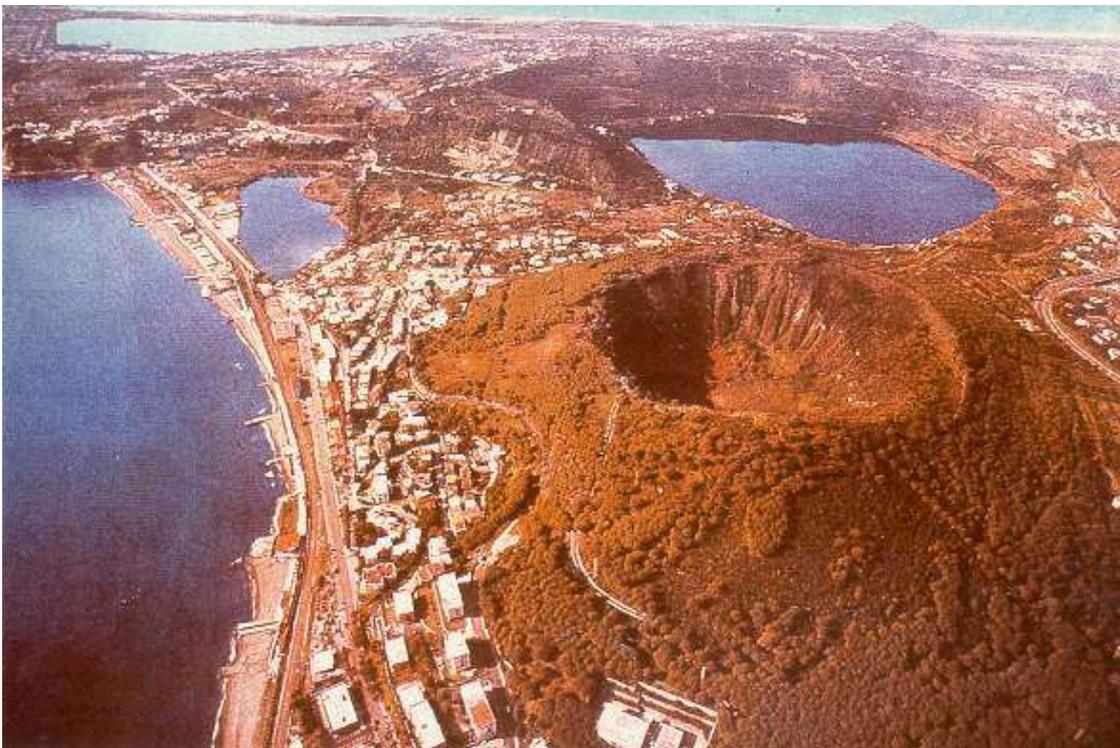
**Fig. 4 - The Serapeo in Pozzuoli**



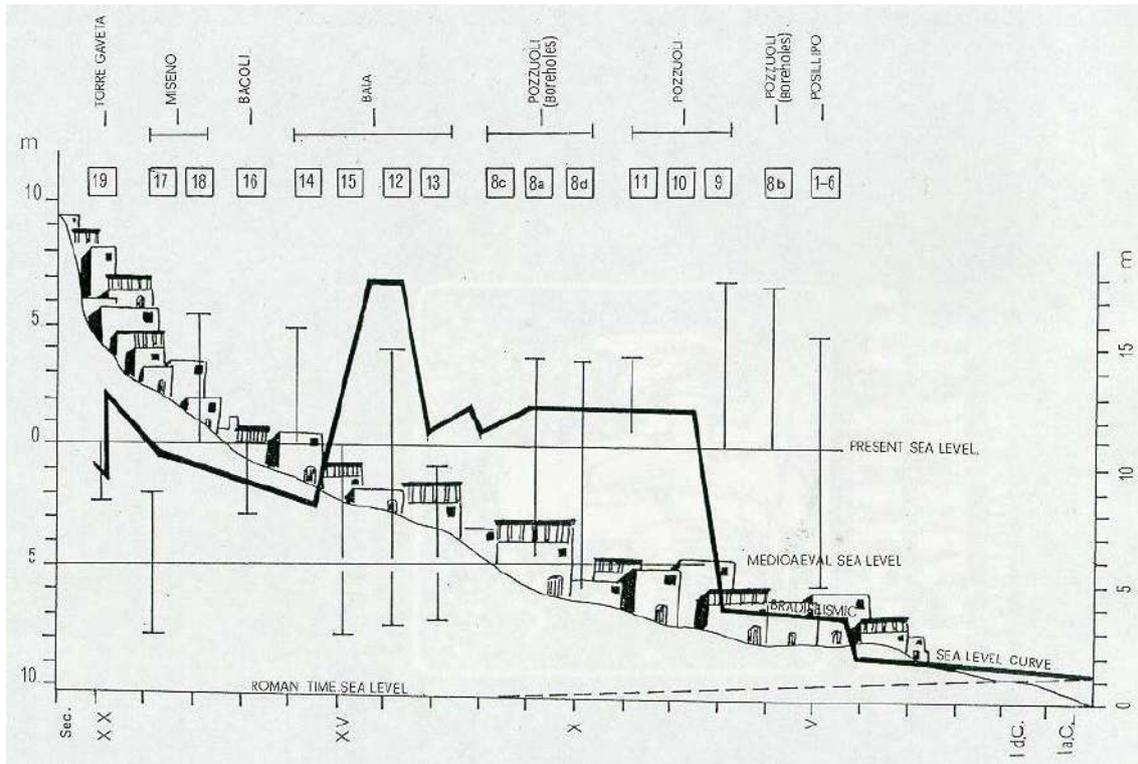
**Fig. 5 - Portus Julius**



**Fig. 6 - Portus Julius, Aerial view of the submerged ruins**



**Fig. 7 - Aerial view of Cuma and Campi Flegrei with the Lago d'Averno**



**Fig. 8 - Outline showing, for the several phlegraean coast places mentioned in the text, the maximum depth below sea level to which were founded roman age remains done, at its time, in subaerial environment; shows even the thickness of the post-roman marine and continental deposits through some surveys. The outline shows even the maximum height above sea level at which were found post-roman traces of erosion and/or marine deposits. All data were reported to today's position of the sea level, of the probable sea level in upper-medieval age (line and dot curve) and of the probable roman age sea level in the gulfs of Baia and Pozzuoli. To these data is overlaid the bradyseismic reascend curve of the sea level, corrected of its glacioeustatic component (tracts curve). 1) Torregaveta; 2) Misenum - Roman port; 3) Misenum - Roman-Baths; 4) Bacoli; 5), 6), 7) and 8) Baia - Archaeological Park: emerged and submerged roman ruins; 9), 10), and 11) stratigraphy of surveys; 12) Pozzuoli - the so-called Granaries; 13) Pozzuoli - Portus Julius and Ripa Puteolana; 14) - Pozzuoli - the so-called Serapeum; 15) UR5 survey; 16) various situations between Naples, Marechiaro and Nisida**

## Bibliography

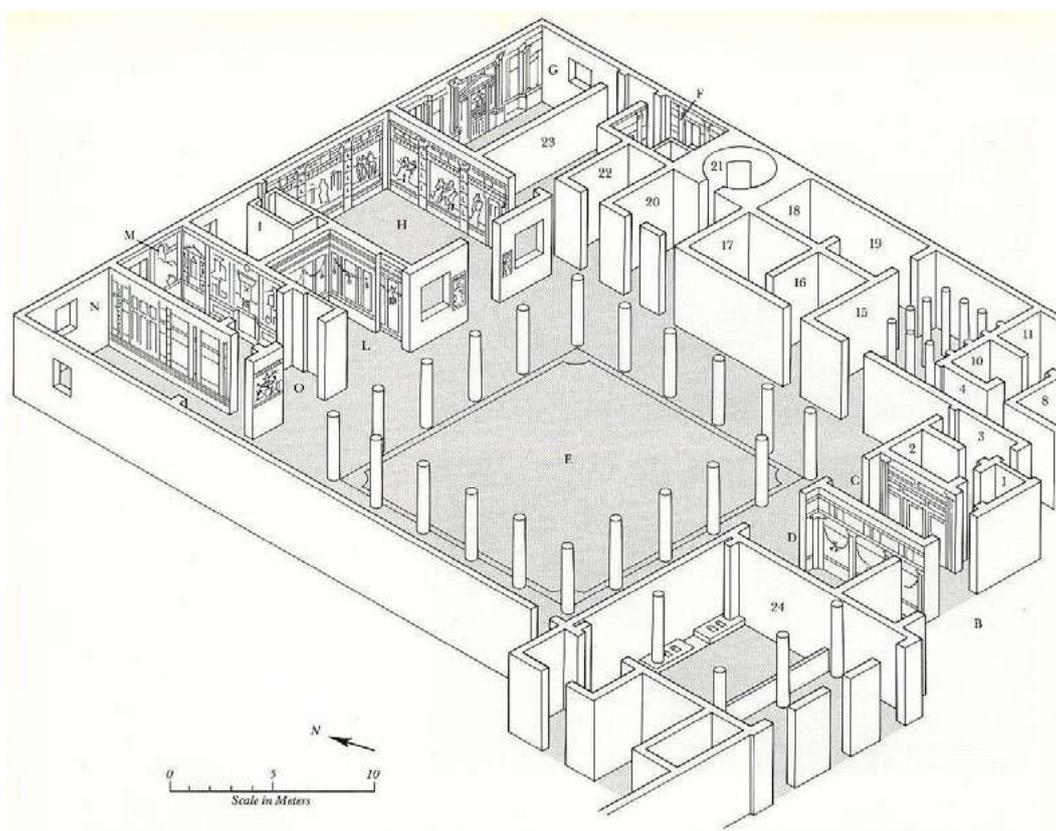
Pappalardo U., Russo F., Geomorphological and archaeological evidence of the ground movements (bradyseism) in the Phlaegrean Fields - Naples, Italy, *Geoarchaeology of the Landscapes of Classical Antiquity*, BABesch, Suppl. 5, De Dapper M. and Vermeulen F. editors, Louvain (Peeters), 2000, pp. 137-150.



## TOMOGRAFIA ELETTRICA DIPOLARE: LA VILLA DI PUBLIUS FANNIUS SYNISTOR PRESSO BOSCOREALE

Roberto FIORDELISI, Anna Rita MANGIACAPRA, Lavinia PERROTTA, Università degli Studi “Federico II”, Napoli; Mario GRIMALDI, Istituto Universitario “Suor Orsola Benincasa”, Napoli.

L'immissione di corrente elettrica continua nel sottosuolo è un valido strumento per la ricostruzione tomografica della sua struttura elettrica in termini di distribuzione della resistività attraverso le sue sezioni. Questo tipo di ricostruzione è in corso in un'area archeologica del suburbio pompeiano (Fig. 1) che nasconde i resti della famosa villa di Publius Fannius Synistor. Nell'area sono state sinora realizzate 18 sezioni di rilevamento dei dati geoelettrici, lungo i profili rettilinei contrassegnati dalle sigle B2-B19 (Fig. 1). In alcune delle sezioni rilevate, la ricostruzione tomografica della struttura elettrica del sottosuolo ha evidenziato corpi resistivi fortemente indiziati di rappresentare resti di antichi muri romani: l'ubicazione lungo i profili dei reperti indiziati e la loro sezione trasversale apparente sono evidenziate nella figura dalle quadrettature.

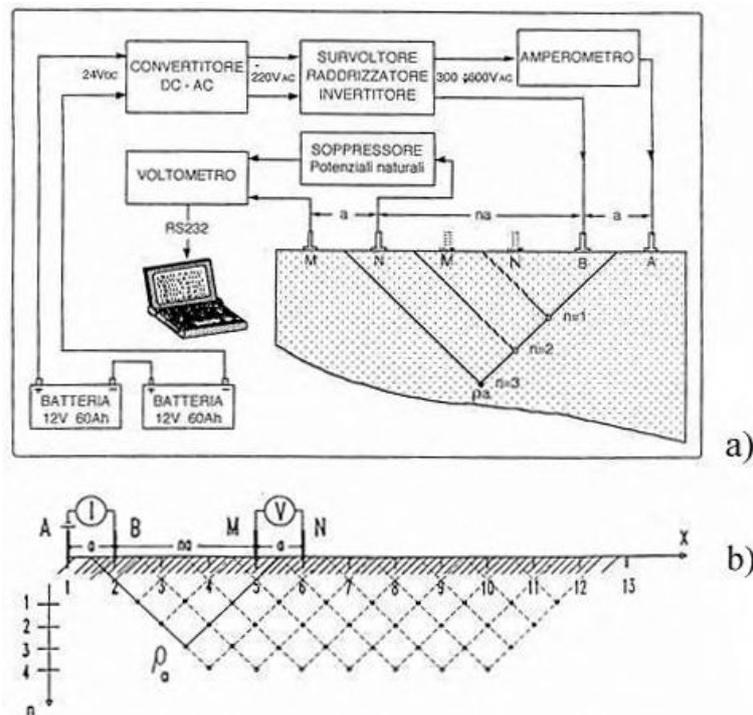


**Fig. 1 - Pianta dell'area d'indagine con l'indicazione dei profili d'acquisizione delle tomografie**

L'integrazione di questa prima campagna di rilevamento geofisico con l'analisi delle fonti iconografiche degli scavi del 1894 ha già consentito di ritrovare la collocazione esatta della villa all'interno dell'area e di ricostruire con maggiore precisione l'orientazione dell'intera struttura architettonica, registrata durante gli scavi in modo troppo approssimativo (Fig. 1).

Nella figura 2 è possibile vedere lo schema del dispositivo DIPOLO-DIPOLO ASSIALE e della catena per il rilevamento dei dati geofisici (Fig. 2a): un amperometro ed un voltmetro misurano rispettivamente la corrente  $I$  e la differenza di potenziale  $V$  ai capi di due poli (A-B ed M-N) di uguale lunghezza pari a 1 m e sono collegati ad un complesso sistema di "energizzazione" e a un soppressore dei potenziali spontanei del terreno; data la posizione dei due dipoli lungo il profilo, i valori misurati di  $I$  e di  $V$  sono tradotti in una determinazione puntuale della resistività apparente  $r_a$  nel sottosuolo secondo la relazione:

$$r_a = k V/I$$



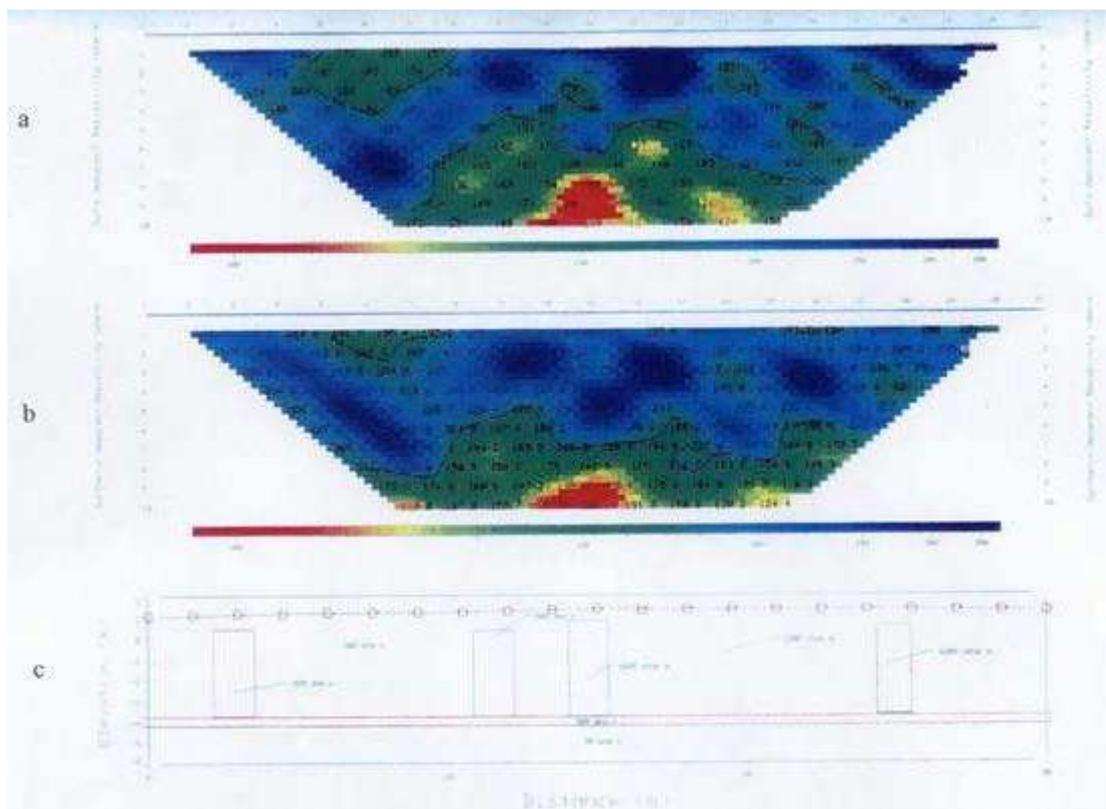
**Fig. 2 - a) Schema a blocchi della catena strumentale; b) Dispositivo Dipolo-Dipolo e schema di acquisizione della tomografia**

con  $k = n(n+1)(n+2)a$ , secondo la ricostruzione grafica mostrata in Fig. 2a. Spostando il dispositivo lungo il profilo si ha quindi l'acquisizione della resistività apparente del sottosuolo lungo la sezione di terreno determinata dal profilo stesso (Fig. 2b).

L'insieme dei dati di resistività apparente, così determinati all'interno di ciascuna sezione, è detta pseudosezione.

Le sezioni rilevate della resistività apparente consentono di ottenere delle vere e proprie immagini tomografiche del sottosuolo (Fig. 3):

- tomografia della resistività apparente rilevata lungo il profilo B16, ricavata dalla interpolazione dei dati sperimentali della resistività apparente con curve iso-resistive e dalla colorazione dei pixel, in cui è stata suddivisa la sezione di terreno lungo il profilo, secondo un'opportuna scala di colori/intervalli di resistività;
- tomografia sintetica della resistività apparente rilevata lungo il profilo B16, in cui i valori della resistività apparente sono stati calcolati con il metodo isoparametrico ad elementi finiti<sup>1</sup> per il modello sintetico della struttura elettrica del sottosuolo mostrata in (c);
- tomografia sintetica della resistività apparente rilevata lungo il profilo B16, ottenuta attraverso un processo di ottimizzazione di un semplice modello di partenza della struttura elettrica del sottosuolo descritto come background omogeneo incassante un livello di uno o più corpi prismatici, relativamente resistivi, poggianti su un bedrock a strati.



**Fig. 3 - Profilo Bosco 16 (a) Immagine tomografica rilevata; (b) Immagine tomografica sintetica; (c) Modello bidimensionale decodificazione sottosuolo**

<sup>1</sup> Proposto da Rijo nel 1977.

Il processo di ottimizzazione per il recupero dell'immagine tomografica (c) si è avvalso del programma di analisi dei dati geoelettrici RESIX IP2DI<sup>2</sup> ed ha seguito un approccio di modellizzazione diretta del tipo *trial-and-error*; il recupero finale dei parametri dei modelli (dimensioni e valori di resistività delle strutture) è stato comunque completato con l'ausilio del calcolo d'inversione, in particolare dell'algoritmo di regressione di Inman<sup>3</sup>.

### **La villa di Publius Fannius Synistor a Boscoreale**

Nel fondo del signor Francesco Vona in contrada Grotta Fraschini presso Boscoreale, a Nord-Ovest di Pompei, nel 1899 vennero condotti degli scavi da Vincenzo De Prisco, che portarono alla luce la struttura di una villa rustica a peristilio con tutto il suo apparato decorativo perfettamente conservato (Fig. 4).

La villa doveva avere da Nord a Sud (prendendo come Nord il Vesuvio) una lunghezza di circa 55 m per una larghezza Est-Ovest, di circa 32 m. La zona Sud-Ovest della villa, cioè quella alla sinistra dell'entrata, non venne scavata completamente poiché si rilevò il suo uso produttivo e, non essendo importante all'epoca, venne tralasciata e neanche riportata completamente in pianta.

Il 28 settembre 1900 fu istituita una commissione scientifica allo scopo di esaminare e vagliare l'esatta qualità artistica del ciclo pittorico della villa.



**Fig. 4 - Foto della villa durante gli scavi del settembre del 1900. In primo piano è riconoscibile l'olearium (ambiente 24)**

---

<sup>2</sup> Interpex Limited, 1996.

<sup>3</sup> 1975.

Già nel 1901, quando il Barnabei<sup>4</sup> scrisse la relazione circa lo scavo, erano stati staccati 71 “quadri” dalle pareti della villa ed il compito della commissione era quello di rileggere questi quadri nel conteso in cui erano stati staccati.

La villa al momento dell'eruzione era sicuramente abitata come dimostrano i resti ossei di animali da cortile trovati nelle cucine, anche se il ritrovamento di un solo scheletro umano, ritrovato sul vestibolo verso il peristilio col capo verso oriente, fa pensare che, coloro che vi abitavano al momento dell'eruzione cercarono la fuga trovando poi la morte probabilmente fuori della villa.

Il complesso architettonico doveva avere una sorta di criptoportico, se è vero che presso l'entrata, a destra, in quel piccolo corridoio segnato sulla pianta col numero 12 (Fig. 5) avente funzione divisoria tra gli ambienti prossimi alla cucina e gli altri a Nord, venne trovata una buca che dava l'accesso al sotterraneo, dal quale emergeva la testa ed il collo dello scheletro di un cavallo. Il suddetto corridoio a sua volta comunicava con altri locali destinati al servizio della villa ai quali vi si accedeva dalla parte inferiore. Lungo tale corridoio era incastrata una tabella di tufo, larga 37 cm e alta 20 cm, rinvenuta sotto l'intonaco sovrapposto durante restauri posteriori, con sopra inciso il nome Mario structor. Costui era il capo muratore artefice della prima costruzione della villa.

Particolare interessante è la mancanza dell'atrio con le sue stanze annesse.

La villa si presentava come una casa a peristilio non in asse con l'entrata costituita da cinque scalini di 30 cm l'uno, necessari per superare il dislivello naturale di poco più di 1,50 m.

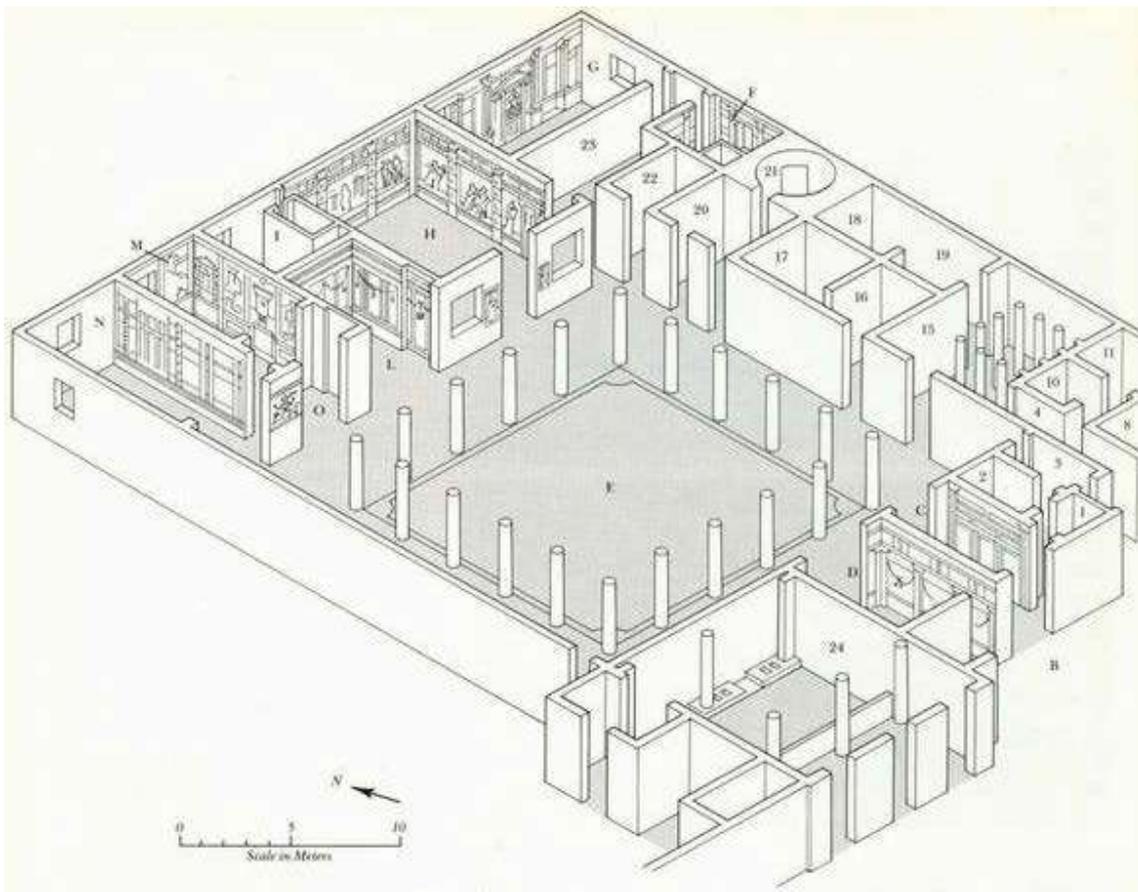
Non si penetrava subito nella parte padronale, anzi quest'ultima era nettamente separata dalla zona delle cucine ad Est e dalla zona produttiva ad Ovest, riservandosi tutta la parte Nord. I cinque scalini d'entrata occupano la parte Est di un piccolo peristilio A che doveva aver subito dei restauri come dimostra il muretto di collegamento delle colonne sul lato Sud. Da questo peristilio attraverso due ambulacri rispettivamente uno a Est l'altro ad Ovest si accedeva al forno 14 e alle cucine 13 dove venne ritrovato un mulino.

Alla fine dei gradini vi sono quattro colonne, fiancheggiate da pilastri che concludono il prospetto di un androne. L'androne B è lungo 13 m e largo 4 e in questa tipologia di villa occupa il posto che in genere nelle case ad atrio è riservato al tablino che qui invece viene spostato a Nord oltre il grande peristilio identificato con l'ambiente L. A sinistra dell'androne si trova un larario e sopra lo stucco di una di queste colonne il Sogliano vi lesse alcuni nomi scritti a graffito, nomi di servi in generale, ma vi si lesse anche: “vii idus Maias auctio facta Germanico consule”. Questo graffito informa che nell'anno 12 AD (anno di Roma 765) quando Germanico fu console per la prima volta<sup>5</sup> cioè sessantasette anni prima dell'eruzione del Vesuvio, la villa non solo già doveva esistere, ma venne anche messa in vendita, cambiando così padrone.

---

<sup>4</sup> Barnabei, 1901.

<sup>5</sup> Borghesi, Fast. Cons. Klein, p. 20.



**Fig. 5 - La villa di P. Fannius Synistor pianta e ricostruzione isometrica con posizionamento della decorazione parietale rinvenuta al momento dello scavo del Barnabei nel 1901**

Dall'androne si accede al peristilio attraverso un grande corridoio C lungo 6 m e largo 3 m, e attraverso una porta ad una sala D lunga 6 m e larga 4,60 m, forse un *oecus* aperto sul peristilio.

Il peristilio grande E misura 22 m di lunghezza e altrettanti di larghezza con uno spazio tra le colonne di poco più di 2 m.

Attraverso la fauce C ed il peristilio si accedeva alle stanze padronali che occupano tutto il lato Nord e consistono in una sala centrale L identificata per la sua forma come il tablino, in un grande triclinio H (Fig. 6) con una stanza annessa I, in un triclinio estivo G anch'esso con una stanza annessa F in un oecus più grande N vicino ad un *cubiculum* M (Fig. 7) con la sua anticamera O.

Sul lato orientale vi sono le camere di uso domestico e di servizio alle quali si accedeva da un piccolo corridoio 1 a destra dell'entrata principale; a Nord questo corridoio immetteva in due *cubicola*, 2 e 3, uno dei quali (3) aveva in origine un'apertura verso il peristilio che poi venne murata.



**Fig. 6 - Ambiente H, parete est zona mediana tratto est, figura muliebre stante con scudo**

Svoltando a destra dal piccolo corridoio 1, si accede ad un altro corridoio più grande 4 dal quale attraverso la sua doppia direzione, si accede a varie stanze: 5, 6, 7, 8 e 9, le prime tre con le aperture rivolte a Nord le altre due verso Sud; le stanze 7 e 9 presentano un'apertura verso la campagna ad oriente. Salendo verso Nord si passa in altre due camere: uno spogliatoio 10, e la latrina 11; in fondo al corridoio è situato un piccolo peristilio, sotto il quale si sono riconosciute le *suspensurae* per l'ipocausto, di 7 x 6 m, dal quale, attraverso una apertura sul lato orientale, si può accedere al peristilio grande, mentre attraverso una porta a Nord si ha accesso agli ambienti 18 e 19 facenti parte della zona termale e adibiti al bagno caldo. Contigui verso Nord a queste stanze vi sono gli ambienti 20 e 21, rispettivamente un *apodyterium* ed il *frigidarium*. Nel primo dei due ambienti venne ritrovato un monito amoroso riferito ad un non definito Publio.

La villa aveva sicuramente anche un piano superiore riccamente decorato e probabilmente di uso esclusivo del padrone.



**Fig. 7 - Ambiente M, ricostruzione conservata nel Metropolitan Museum di New York (i mosaici sono pertinenti alla decorazione pavimentale di un'altra villa romana)**

A sinistra degli scalini del vestibolo e attraverso il piccolo peristilio d'entrata, si entra nella parte produttiva della villa, 24; qui si ritrovarono la vasca per pigiare l'uva, il mortaio di un trapetum per la produzione di olio, vari strumenti agricoli e alcuni vasi di bronzo ed altri di misura. Di questi se ne conserva uno che sull'orlo porta inciso questa leggenda: "Publi Fanni Synistori sextarios XXIII".

Publio Fannio Sinistore è quindi il nome del secondo proprietario della villa ed il destinatario del monito amoroso ritrovato nell'apodyterium. La certezza di questa affermazione è data dal fatto che il nome ritrovato sull'orlo di quell'anfora da misura non può essere un marchio di fabbrica ma corrisponde al nome del padrone del contenuto, inoltre il fatto che egli sia il secondo padrone della villa è confermato dalla data certa di vendita della villa, il 9 maggio del 12 AD, quindi Publio non può essere il primo proprietario se è ancora vivo nel 79 AD.

Terminata la descrizione della villa ci sono alcuni punti di domanda da chiarire: in primo luogo ci si potrebbe spiegare la scelta di una casa a peristilio e non ad atrio con il nome greco del proprietario, ma è certo che Publio è solo il secondo proprietario e quindi forse anche il primo doveva essere un greco d'adozione o qualcuno che si atteggiava a tale; questo, se da un lato può servire a chiarire la scelta di una tipologia di casa a peristilio invece di una canonica casa ad atrio, non basta certo per chiarire tutti i dubbi che la pianta di questa villa propone.

Ad esempio la non assialità tra il tablino e l'entrata, o la disposizione lungo tutto l'asse Nord - Sud, di tutta una serie di stanze che farebbero pensare ad una aggiunta successiva in una fase d'ingrandimento della villa, o la non completezza della pianta di tutta la parte Sud (tutta la zona produttiva che non venne quasi per niente indagata) che potrebbe essere importantissima per meglio comprendere l'attività agricola e produttiva di cui la villa doveva essere il punto di riferimento; ancora servirebbe capire se la villa si apriva su una strada di centuriazione e da quale lato: da quello produttivo a Sud-Ovest o dal peristilio d'ingresso A il cui completamento di scavo potrebbe servire a chiarirne la funzione e gli eventuali cambiamenti, ricordando che l'entrata non è in asse con il peristilio ed il tablino è posto dietro quest'ultimo.

Per chiarire questi dubbi sarebbe necessaria un'attenta campagna di scavo condotta in modo scientifico, e soprattutto geoarcheologico, che tenga conto dello stretto rapporto che ci doveva essere tra la villa ed il territorio attorno ad essa; bisognerebbe quindi esaminare il terreno sul quale è stata fondata la villa e le strade che vi conducevano, oltre al grado di sfruttamento delle risorse agricole ad essa pertinenti.

In attesa che tale progetto venga condotto a termine un grande aiuto preventivo ad un'indagine di scavo può essere dato dall'uso di metodi d'indagine non distruttivi, quali il georadar, il geomagnetismo ed il sistema geoelettrico.

Proprio con quest'ultimo metodo d'indagine è stata condotta una campagna di misurazioni sul sito della villa, concentrate nella zona Sud-Ovest dello scavo, lì dove affiora il collo di un muro di 75 cm di larghezza per una lunghezza visibile di più di 1,50 m, non riportato su nessuna pianta della villa, nella zona pertinente alla parte produttiva, non scavata completamente alla fine dell'Ottocento. Le ricerche hanno segnalato la presenza di una serie di muri, a parte quello affiorante, anch'essi non rilevati nella pianta.

In conclusione, riguardo ai dubbi che la pianta di questa villa propone unitamente ai risultati ottenuti dalle misurazioni effettuate sul sito con il metodo geoelettrico, l'unione delle domande di tipo strettamente archeologico pone la necessità di una nuova e più scientifica indagine per lo meno di tutta la parte Sud della villa.

## Bibliografia

Anderson M. L., *Pompeian Frescoes*, New York, 1987, pp. 17-36 e passim.

Barnabei F., *La villa pompeiana di P. Fannio Sinistore scoperta presso Boscoreale*, Roma, 1901.

Barnabei M., Delpino F., *Le memorie di un archeologo*, a cura di Felice Barnabei.

De Albentis E., *La casa dei romani*, Milano, 1990, p.201.

Fittschen K., Zum Figurenfries der Villa von Boscoreale, *Neue Forschungen in Pompeji*, Andrae B. and Kyrieleis H. editors, Recklinghausen, 1975, pp. 93-100.

Inman J.R., Resistivity Inversion with Ridge Regression, *Geophysics*, Vol 40, 1975, pp 798-817.

Lehmann, Ph. W., *Roman Wall-Paintings from Boscoreale in the Metropolitan Museum of Art*, Cambridge, Massachusetts, 1953, pp. 2-6.

Pappalardo U., Il fregio con eroti fra girali nella Sala dei Misteri a Pompei, *Jahrbuch des Deutschen Archaologischen Instituts*, 97, 1982, pp. 251-280, in particolare p. 271.

Pesando F., *Domus. Edilizia privata e società pompeiana fra III e I secolo aC*, Roma, 1997, pp. 251-253.

## **IL REMOTE SENSING ARCHEO-VULCANOLOGICO DI UN ARTISTA**

Adriana PIGNATELLI MANGONI, Napoli.

Archeologia, Vulcanismo e Remote Sensing sono il tema della Conferenza: grazie al cortese e gradito invito, mi è stata data l'opportunità di partecipare operando un'estensione dell'area di applicazione del Remote Sensing dalla sfera tecnico-scientifica a quella umanistica.

Il Remote Sensing tradizionale e la foto-interpretazione da aereo consentono, ad esempio, di classificare nelle immagini rilevate la vegetazione meno mineralizzata (più chiara) come segno della presenza di manufatti architettonici sepolti. Questo consente, attraverso segni significanti, di esplorare semioticamente le immagini, di valutare che cosa rappresentano, di che cosa e di quali significati e valori sono portatrici.

Il Remote Sensing da satellite vede con una seconda luce, con una diversa ottica a diverse lunghezze d'onda, le immagini che l'uomo percepisce nei limiti dei propri sensi con la vista, in una visione particolare, tipica della biologia e della fisiologia dei vertebrati e degli umani.

Un'aquila e un falco vedono molto più lontano, molto più in dettaglio, un toro vede tutto molto più soffuso ed a contorni incerti, un serpente vede nell'infrarosso.

Su questo tema ci fu una bellissima mostra a Parigi di alcuni anni or sono. Ciascuno vede con un'ottica personale e la diversità culturale forse non è minore di quella derivante da caratteristiche tecniche soggettive. Vedendo, si interpretano e si confrontando le forme e i colori della visione percepita con modelli mentali consolidati nella propria mente.

Le immagini raccolte dal seicento ad oggi dai viaggiatori del Grand Tour tra i vulcani e l'archeologia della Magna Grecia sono impresse nella mia memoria. Le ho lette con una seconda luce, quella dell'emozione della scoperta delle tracce del mondo classico e del mondo naturale in una nuova cultura, quella dell'illuminismo, che contende, in termini protoscientifici, alla metafisica l'interpretazione dei grandi segni del passato, ancora enigmatici, ancora non oggetto di una giustificazione razionale.

Il mio linguaggio è figurativo, per cui debbo limitarmi nello scrivere ed espormi di più nella specificità della pittura. Lo faccio presentando alcune delle gouaches che ho prodotto su questo soggetto, del tutto affine a quello della Conferenza, e che per questo può essere intitolato "Il remote sensing archeo vulcanologico di un artista".



**Fig. 1. Vesuvio al Chiaro di Luna. Eruzione del Vesuvio - 1820. Gouache di Adriana Pignatelli Mangoni (Tratta da Camillo De Vito)**



**Fig. 2. Eruzione travolgente del Vesuvio. Gouache di Adriana Pignatelli Mangoni (tratta da *All'ombra del Vesuvio - Napoli nelle vedute europee dal quattrocento all'ottocento*. P. J. Volaire)**



**Fig. 3 - Stromboli in eruzione. Gouache di Adriana Pignatelli Mangoni ((tratta da *Excursion aux Isles Eoliennes. Impressions du present et du passé* de G. Vuillier)**



**Fig. 4. Panaria Struognuli e u Basiluzzo dalla chiesa di San Pietro a Panaria**  
(tratta da *Die Liparischen Inseln* di L. S. d'Asburgo Lorena)



## LE EOLIE SOTTOMARINE: LINEAMENTI GEOLOGICI

Giovanni GABBIANELLI, Università degli Studi di Bologna, Ravenna.

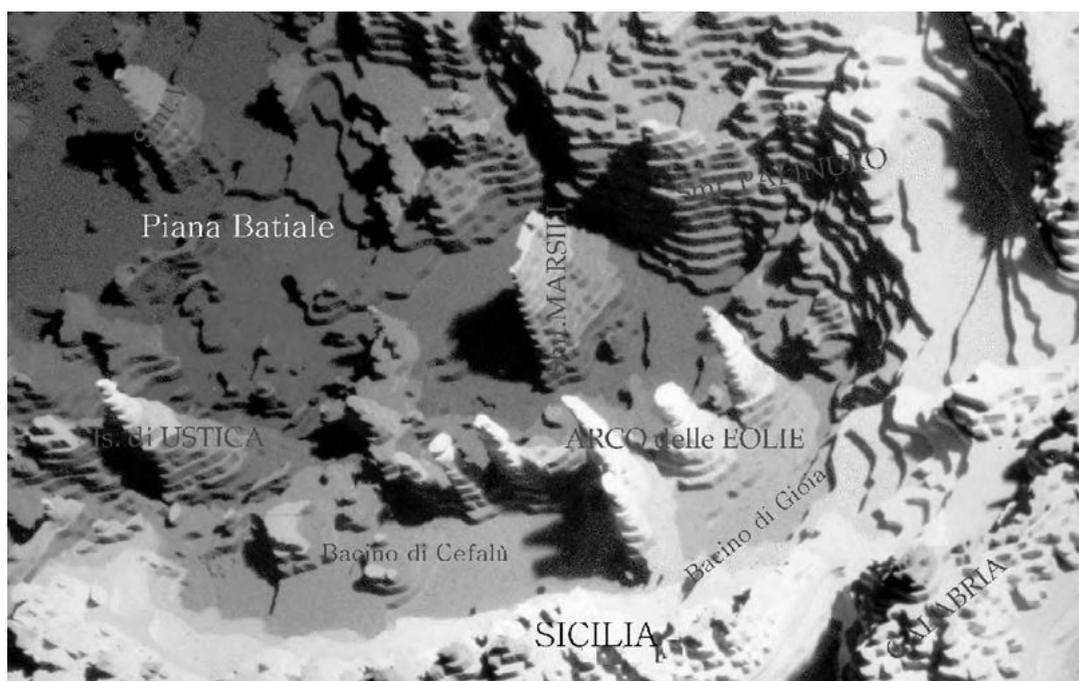
Oltre alle bellezze naturali e storico-archeologiche racchiuse nell'Arcipelago delle Eolie anche le sue peculiarità e le sue caratteristiche geologiche sorprendono chi raggiunge questo gruppo di sette isole vulcaniche ubicate nel Mar Tirreno Sud-orientale, circa 30 miglia a Nord-Ovest di Messina. Isole che rappresentano però solo la ridotta porzione apicale emersa di ben più ampi complessi vulcanici (Fig. 1) in parte ancora attivi (Stromboli e Vulcano) formatisi in tempi geologici recenti (ultimo milione di anni circa) in risposta agli stress tettonici indotti nel Mediterraneo centrale dalla collisione tra le placche continentali Africana ed Europea.



Fig. 1 - Ubicazione schematica dei principali complessi vulcanici del Mar Tirreno sud-orientale associabili alla Struttura Vulcanica Eoliana (indicata in letteratura anche come Arco o Anello delle Eolie)

Complessi vulcanici conosciuti oggi anche nel loro assetto sommerso a seguito delle sistematiche ricerche condotte dal gruppo Vulcanesimo sottomarino dell'Università di Bologna nell'ambito delle attività del Gruppo Nazionale per la Vulcanologia del CNR. Tali ricerche, oltre a definirne i caratteri bati-morfologici, hanno permesso di precisarne l'affinità petrogenetica e di ampliare le conoscenze sulle componenti più direttamente connesse agli elementi di rischio<sup>1</sup>. Nell'area inoltre, sono rilevabili vasti campi esalativo/idrotermali a cui, talora, sono associati (come nel caso dei seamounts Eolo, Enarete, Lametini e Panarea) depositi metalliferi e/o a solfuri<sup>2</sup>.

In particolare, sotto il profilo vulcanologico-strutturale, l'Arcipelago Eoliano costituisce solo un settore dell'articolata e complessa Struttura Vulcanica Eoliana che si estende con sviluppo arcuato per circa 200 km lungo la scarpata continentale siculo-calabrese (Fig. 2). Infatti tale struttura, oltre ai sette complessi vulcanici che danno origine alle rispettive isole, include numerosi apparati completamente sommersi distribuiti sia ad Ovest (seamounts Glauco, Sisifo, Enarete, Eolo) che a Nord e ad Est (seamounts Alicudi Nord, Filicudi Nord, Secca Capo I e II, Stromboli Ovest I e II, Lametini ed Alcione) dell'Arcipelago stesso (Fig. 1).



**Fig. 2 – Schema tridimensionale del sud- est Tirreno che evidenzia come i complessi vulcanici eoliani, impostati sulla scarpata continentale siculo-calabra, costituiscono anche il bordo verso mare dei bacini sedimentari di Cefalù e Gioia (plastico dell'istituto di Geologia Marina del CNR di Bologna)**

<sup>1</sup> Beccaluva et alii, 1985; Rossi et alii, 1990; Rossi, 1997; Rossi, Gabbianelli, 1998.

<sup>2</sup> Bocchi et alii, 1981; Colantoni et alii, 1984; Gamberi et alii, 1997.

La Struttura Vulcanica Eoliana si è impostata lungo sistemi tettonici a valenza regionale che, come dimostra anche l'elevata sismicità dell'area<sup>3</sup>, sono in parte ancora attivi. Infine, da un punto di vista magmatologico, la Struttura Vulcanica Eoliana presenta, a testimonianza delle dinamiche subduttivo-orogenetiche che ne hanno controllato l'evoluzione, prodotti variabili tra basalto-tholeitici d'arco a calcalcalini e shoshonitici. Prodotti che si sovrappongono, sia nel tempo, sia nello spazio lungo tutta l'estensione della struttura sebbene sia riconoscibile un generale trend di ringiovanimento del vulcanismo procedendo da Ovest verso Est<sup>4</sup>.

Per quanto riguarda le principali caratteristiche e peculiarità sottomarine delle strutture dell'arcipelago, queste possono essere schematicamente riassunte in rapporto ai diversi settori in cui esso si articola sotto il profilo vulcanologico-evolutivo e cioè occidentale, centrale e orientale.

### **Settore occidentale**

Costituisce una delle aree a più antica attività della Struttura Vulcanica Eoliana e il suo quadro morfo-strutturale è strettamente connesso soprattutto a sistemi di faglie a direzione Nord-Ovest-Sud-Est. I due principali complessi vulcanici che lo caratterizzano, quelli di Alicudi e Filicudi, presentano un assetto geomorfologico complessivo decisamente diversificato, come schematizzato in Fig. 3.

Alicudi infatti, a conferma del ruolo svolto da un'attività eruttiva essenzialmente centrale e con sovrapposizione di edifici vulcanici quasi coassiali, presenta una forma sostanzialmente conica, con raggio basale di circa 6 km a circa 1 300 m di profondità. Una relativa asimmetria marca le sue porzioni apicali sommerse dove solo in corrispondenza dei prodotti del ciclo più antico di attività subaerea (versanti Nord e Ovest) è possibile osservare la presenza di una piattaforma di abrasione relativamente ampia (massimo 700-800 m) che si spinge sino a circa 100-120 m di profondità.

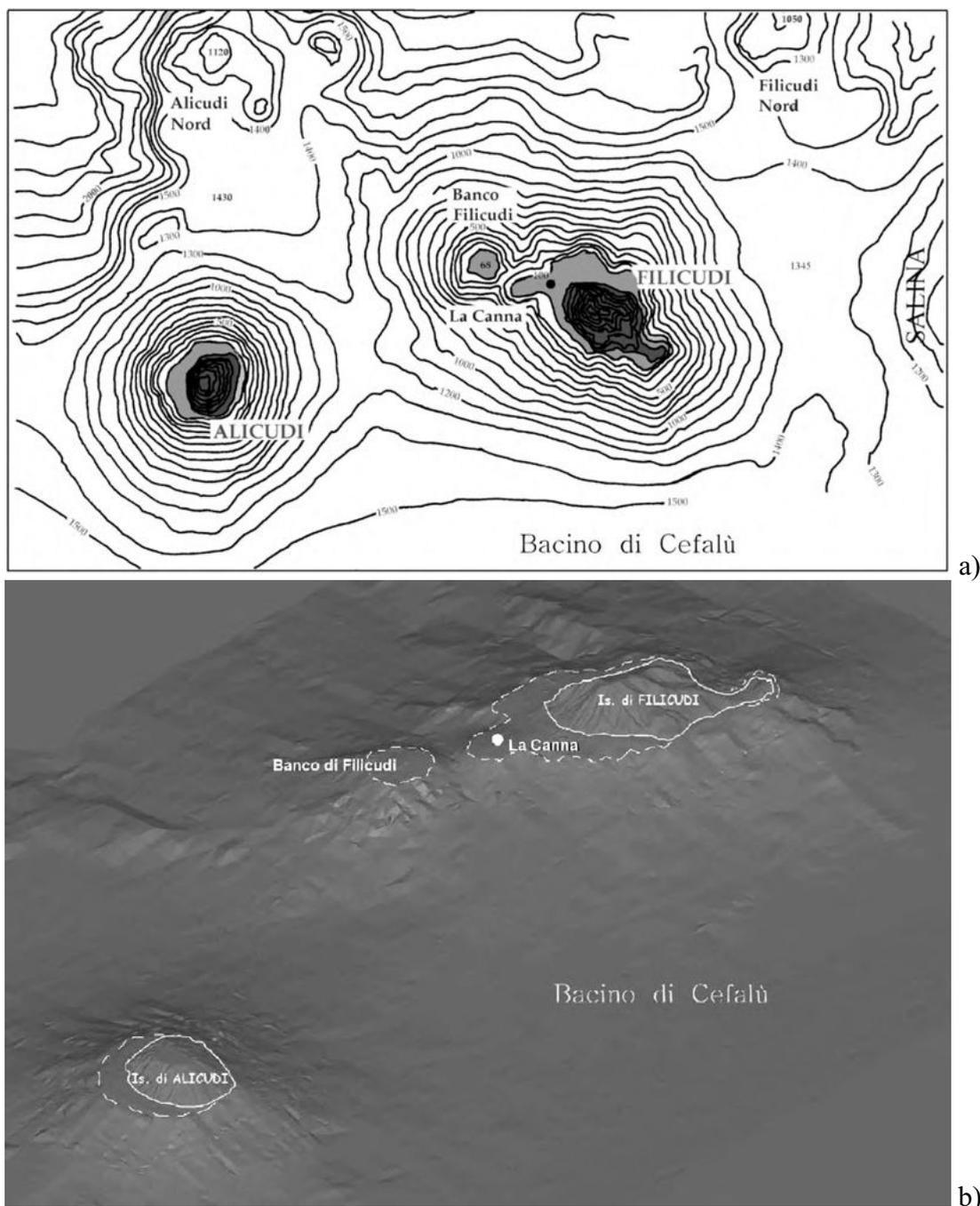
Una piattaforma di abrasione caratterizza in parte anche Filicudi e, più o meno estesa, tutte le altre isole dell'arcipelago (Fig. 4). In particolare essa evidenzia l'esistenza di uno stacco cronologico tra le prime fasi costruttive dei vari complessi (che hanno così registrato l'azione erosiva di uno o più eventi tardo pleistocenici di variazione glacioeustatica del livello marino, il quale, vale ricordarlo, durante l'acme glaciale di circa 20 000 anni BP ha raggiunto una quota media inferiore all'attuale di circa 120 m) e nel caso specifico di Alicudi testimonia anche come l'attività vulcanica abbia implicato una leggera migrazione dell'asse eruttivo verso Sud-Est.

Per contro, un assetto ben più articolato caratterizza Filicudi che, anche nelle sue porzioni sommerse, presenta un marcato sviluppo in direzione Nord-Ovest-Sud-Est per il succedersi di diversi centri eruttivi occorsi nel tempo lungo tale direzione.

---

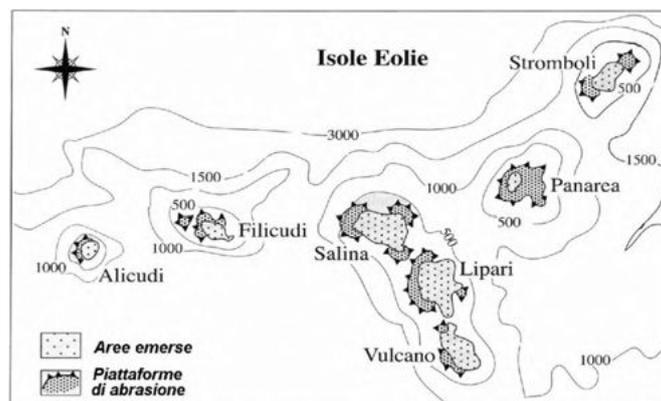
<sup>3</sup> Bottari et alii, 1986; Neri et alii, 1991.

<sup>4</sup> Beccaluva et alii, 1985.



**Fig. 3 – Schema batimetrico (a) e tridimensionale (b) dei complessi vulcanici di Alicudi e Filicudi. Evidenti le piattaforme di abrasione che, sino ad una profondità di circa -100/ 120 m, caratterizzano i settori occidentali delle due isole**

Direzione in cui, peraltro, si sviluppa anche la piattaforma erosiva che, con un'ampiezza di 1,5-3 km, borda il lato nord-occidentale dell'isola e da cui s'innalza il tipico "Scoglio della Canna" che unitamente al contiguo "Banco di Filicudi" (Fig. 3) testimonia la presenza di apparati e centri eruttivi sommersi eccentrici rispetto all'isola attuale.



**Fig. 4 - Distribuzione schematica delle piattaforme di abrasione rilevabili intorno alle isole dell'Arcipelago delle Eolie**

In particolare il complesso di Filicudi presenta una base morfologica, posta ad una profondità di circa 1200-1300 m, pressoché ellittica con asse maggiore della lunghezza di circa 22 km contro i 17 km circa del minore. I suoi versanti si presentano acclivi ed irregolari per il consistente sviluppo radiale di creste, depressioni ed incisioni di vario grado; inoltre, mentre il suo versante meridionale s'interrompe bruscamente in corrispondenza del bacino di Cefalù, quello settentrionale si raccorda direttamente con la scarpata siciliana. Due ristrette selle, anch'esse poste ad una profondità di circa 1 200 - 1 300 m, separano infine i versanti di Filicudi da quelli di Alicudi e Salina.

### **Settore centrale**

È costituito dai complessi di Salina, Lipari e Vulcano che si succedono senza soluzione di continuità in un unico belt vulcanico allungato in direzione Nord-Nord-Ovest – Sud-Sud-Est (coerente cioè con i principali andamenti tettonici rilevabili per l'area) per circa 35 km a fronte di una larghezza di 10-15 km (Fig. 5). Il belt è separato dalle contigue strutture di Filicudi e Panarea da due nette selle con profondità massima, rispettivamente, di circa 1360 e 970 m. Nel loro insieme gli acclivi versanti di Vulcano, Lipari e Salina presentano quindi una marcata continuità bati-morfologica solo parzialmente interrotta da modeste depressioni, talora vallive, e dai ristretti bracci di mare che separano tra loro le singole isole. Nel caso dello stretto (Bocche di Vulcano) tra Vulcano e Lipari, largo circa 800 m e profondo solo 40 m circa, i profili sismici ad alta risoluzione rivelano la presenza di un substrato vulcanico, continuo e comune alle due isole, su cui poggia una limitata copertura clastica, dello spessore massimo di circa 40-50 m, organizzata secondo una geometria progradazionale ed ascrivibile alle oscillazioni tardo pleistocenico-oloceniche del livello marino. Peraltro, la continuità tra Vulcano e Lipari è testimoniata anche dalla petrochimica e dall'età delle rocce che affiorano da una parte e dall'altra dello stretto.

Sebbene decisamente più ampia (4 km circa) e più profonda (320 m circa), anche la depressione tra Lipari e Salina risulta caratterizzata da un substrato vulcanico continuo,

seppur variamente tettonizzato, ricoperto da depositi vulcanoclastici organizzati in diverse fasi deposizionali.

I versanti del belt, che raggiungono acclività anche dell'ordine dei 15° - 20°, presentano in genere una scarsa e/o modesta copertura sedimentaria a volte tettonizzata e molto spesso rimobilizzata da fenomeni gravitativi di vario grado e scala. Recenti rilievi multibeam eseguiti dall'Istituto Idrografico della Marina (Fig. 5a) confermano, addirittura accentuandola in alcuni casi, la marcata asimmetria dei fianchi del belt, che, specialmente all'altezza di Lipari, mostra versanti occidentali più estesi, relativamente regolari e meno acclivi rispetto a quelli orientali. Condizioni queste in parte imputabili alla loro più antica età ed alla successiva migrazione verso Est dei principali assi eruttivi, talora accompagnata da sprofondamenti vulcano-tettonici. Indicazioni in tal senso sono anche fornite dalla pressoché totale mancanza lungo il bordo orientale del belt di una piattaforma di abrasione marina connessa alle variazioni glacio-eustatiche tardo quaternarie del livello marino.

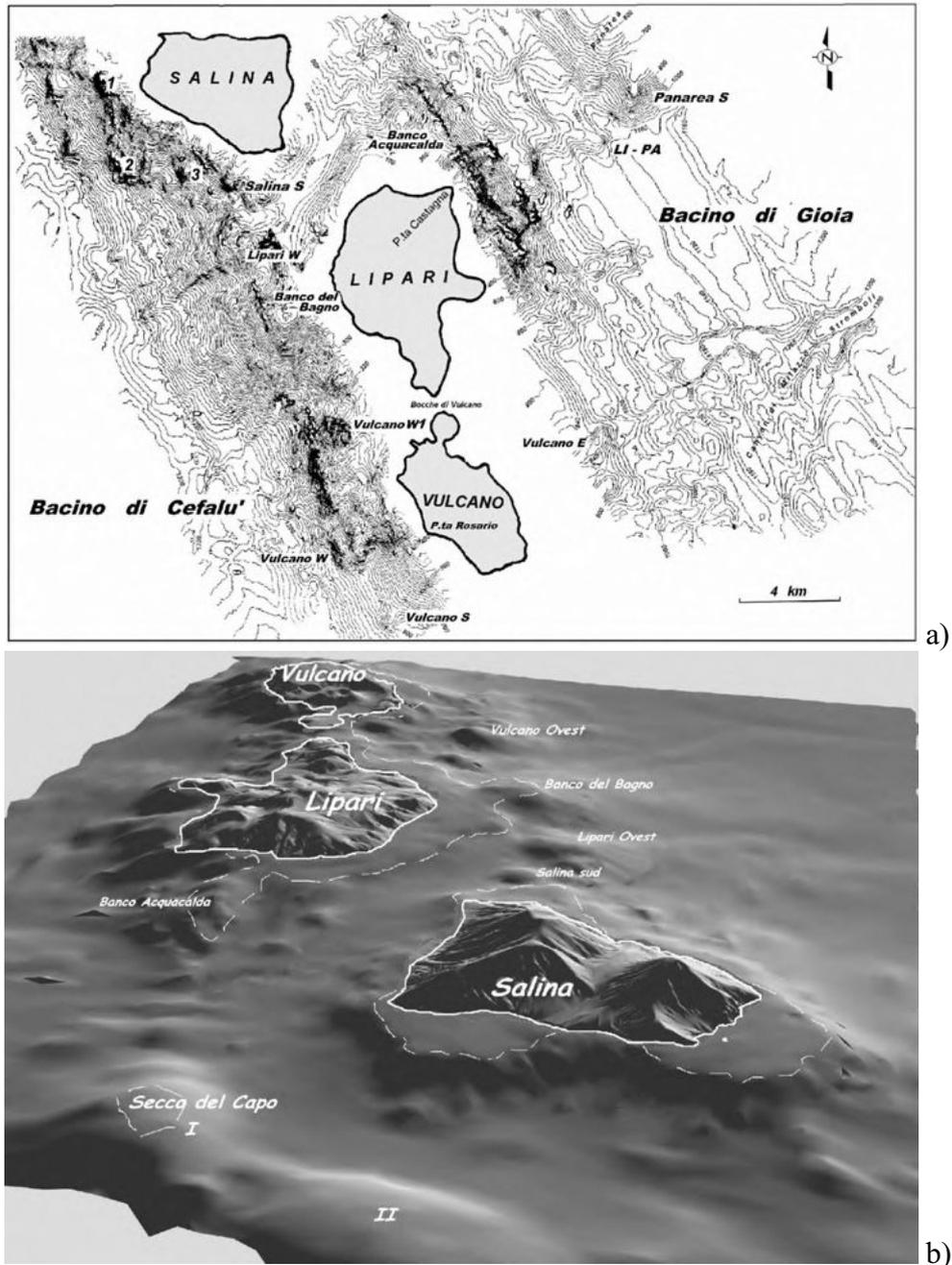
Il belt si presenta poi particolarmente complesso nel settore Nord-orientale di Lipari a causa dell'attività vulcanica storica e di quella protostorica subaerea, i cui prodotti hanno molto spesso raggiunto il mare cambiando la forma dell'isola stessa. Tali eruzioni, in cui si riconoscono almeno 4 cicli, avvennero circa tra 16 000 e 1 400 anni BP e l'ultima di queste ha prodotto il cono di pomici e la grande colata delle ossidiane che costituisce il promontorio di Punta Castagna ed il cui prolungamento in mare è testimoniato dallo sviluppo dell'antistante dorsale sommersa (Fig. 5).

Per quel che riguarda i rapporti tra tettonica e vulcanesimo i dati disponibili sull'area sottomarina forniscono poi, nel loro insieme, importanti evidenze sul ruolo giocato, non solo a mare, dalle principali direttrici tettoniche regionali che hanno controllato l'evoluzione di questo settore eoliano. Sui versanti occidentali del belt si registrano infatti evidenti allineamenti in direzione Nord-Nord-Ovest-Sud-Sud-Est di strutture eruttive secondarie, deformazioni superficiali ed abrupte scarpate topografiche. Tra queste, in particolare, ben rilevabile è la serie di apparati sub-conici minori (Vulcano Sud, Vulcano Ovest, Banco del Bagno, Lipari Ovest, Salina Sud; cfr. Fig. 5) che si susseguono lungo i versanti occidentali di Lipari e Vulcano; sempre lungo questa direzione si assiste poi anche ad un netto prolungamento sottomarino delle strutture laviche (ad esempio il Banco dell'Acquacalda) che caratterizzano la parte settentrionale emersa di Lipari.

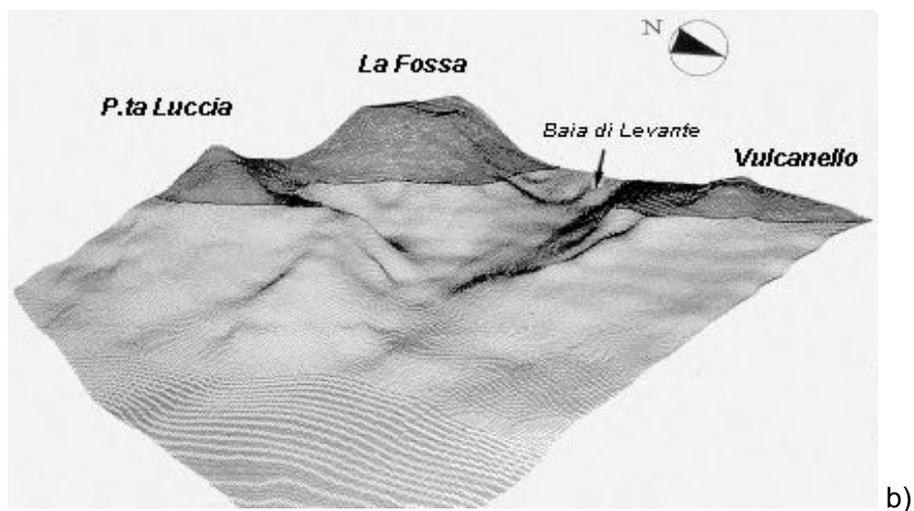
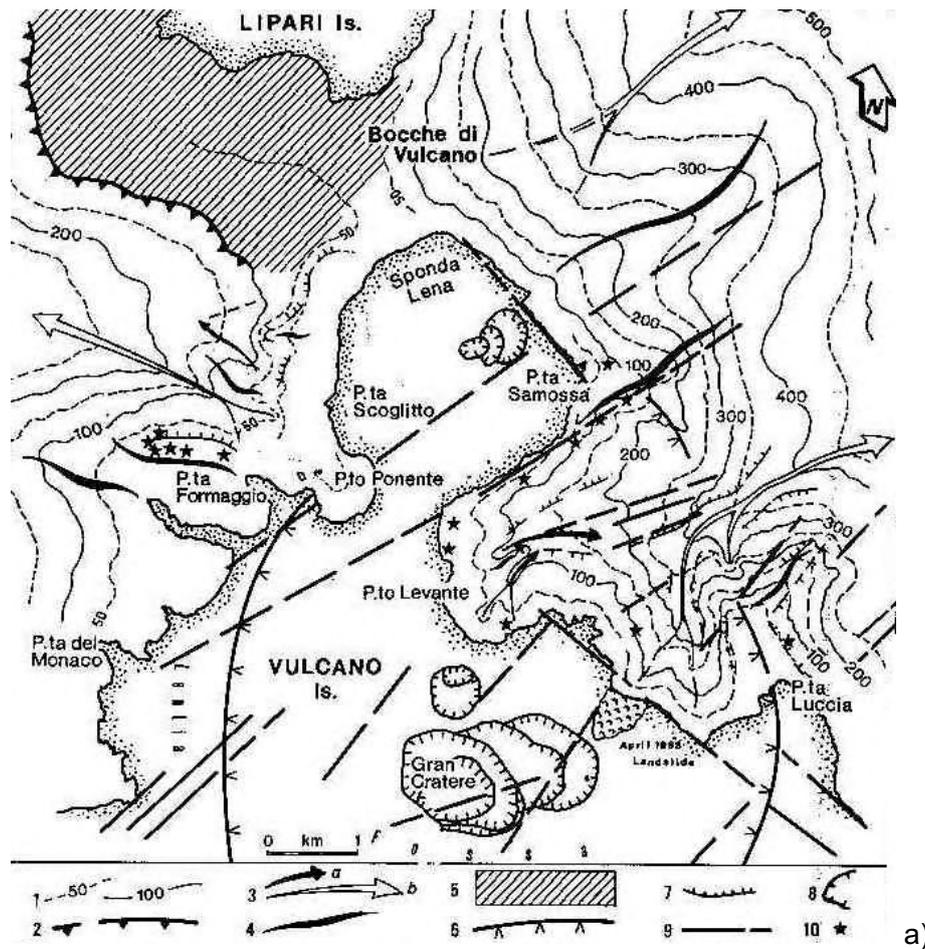
Per quanto riguarda gli elementi sottomarini più direttamente connessi ad una valutazione degli elementi di rischio si può ricordare come, ad esempio, le ricerche in mare abbiano contribuito a precisare che tutta l'area Nord-orientale di Vulcano rappresenta uno dei settori a maggior debolezza strutturale tra quelli investigati. Essa è infatti caratterizzata da fondali in rapido approfondimento e da dinamiche erosive attive che hanno contribuito ad accentuare l'interruzione nella continuità del bordo calderico della Fossa, probabilmente smembrato per cause vulcano-tettoniche ma ancora ben ricostruibile nel suo sviluppo sottomarino a partire sia da Punta Luccia che da Vulcanello<sup>5</sup> (Fig. 6).

---

<sup>5</sup> Gabbianelli et alii, 1991; Rossi et alii, 1993.



**Fig. 5 - Schema batimetrico dell'Istituto Idrografico della Marina (a) e tridimensionale (b) del belt vulcanico di Salina-Lipari-Vulcano. Evidenti le piattaforme di abrasione (tratteggiato in bianco il relativo ciglio) che, sino ad una profondita di circa -100/-120 m, caratterizzano i settori a più antica attivita delle isole**



**Fig. 6 - Schema batimetrico / morfo-strutturale (a) e tridimensionale (b) del settore settentrionale di Vulcano**

Legenda: 1) isobate; 2) ciglio della piattaforma di abrasione; 3) assi canyons o depressioni vallive; 4) asse dorsali; 5) piattaforma di abrasione; 6) bordo della Fossa della Caldera; 7) rotture di pendenza principali; 8) faglie; 9) orli craterici; 10) emissioni fumaroliche e/o idrotermali (da Gabbianelli et al., 1991; modif.)

Dislocazioni e fratture a prevalente orientazione Nordest-Sudovest, spesso sede di estesi fenomeni esalativo-idrotermali, interessano per altro i fondali della Baia di Levante e la sua recente copertura clastica (Fig. 6a). Connesso alla crisi vulcanica del 1888-1892 risulta infine un apparato eccentrico rilevato alla base del versante centro-orientale di Vulcano, a circa 850 m di profondità e 4 km da Punta Luccia (Vulcano Est; Fig. 5a). Peraltro in corrispondenza di quest'area all'epoca si registrò la rottura del cavo telegrafico Lipari-Milazzo e sulla superficie del mare furono segnalate numerose manifestazioni di una possibile attività sottomarina. Tale centro eruttivo, con sommità alla quota batimetrica di 742 m slm, presenta un allungamento in direzione Nord-Est – Sud-Ovest di circa 2 km, e sulla sua sommità sono rilevabili risposte sismiche anomale e indicative di possibili emissioni fluide e calde<sup>6</sup>.

## Settore orientale

L'evoluzione del settore orientale dell'arcipelago viene generalmente connessa ad un controllo tettonico regionale a prevalente orientazione Nord-Est-Sud-Ovest; lungo questa direzione si assiste infatti allo sviluppo del belt vulcanico, di cui le isole e gli scogli di Panarea e Stromboli (Fig. 7) rappresentano le componenti emerse, che raggiunge gli oltre 45 km di lunghezza a fronte di una larghezza di circa 20-25 km<sup>7</sup>. A questa continuità strutturale si associano gli effetti di una prolungata attività vulcano-tettonica e neo-tettonica, sia negli stadi precoci che in quelli relativamente recenti, così come ricostruita nelle porzioni emerse dei due apparati vulcanici. A riguardo è particolarmente significativo il caso di Panarea: qui l'apparente scarsa irregolarità dell'ampia porzione sommitale sommersa del complesso, ricollegabile ad un'ampia piattaforma di abrasione, è in buona parte il risultato di un livellamento topografico esercitato da una spessa copertura epiclastica, organizzata in più cicli deposizionali che registrano l'azione erosivo-deposizionale delle fluttuazioni del livello del mare nel Pleistocene superiore-Olocene (Fig. 7). Questa copertura seppellisce in gran parte diverse strutture eruttive minori circostanti l'isola e disposte in modo quasi concentrico ad essa. Tutta l'area sommitale è inoltre interessata da sistemi di faglie a prevalente direzione Nord-Est – Sud-Ovest ed il maggiore tra questi la attraversa determinando un abbassamento dell'intero settore orientale di almeno 100-150 m rispetto a quello occidentale<sup>8</sup>.

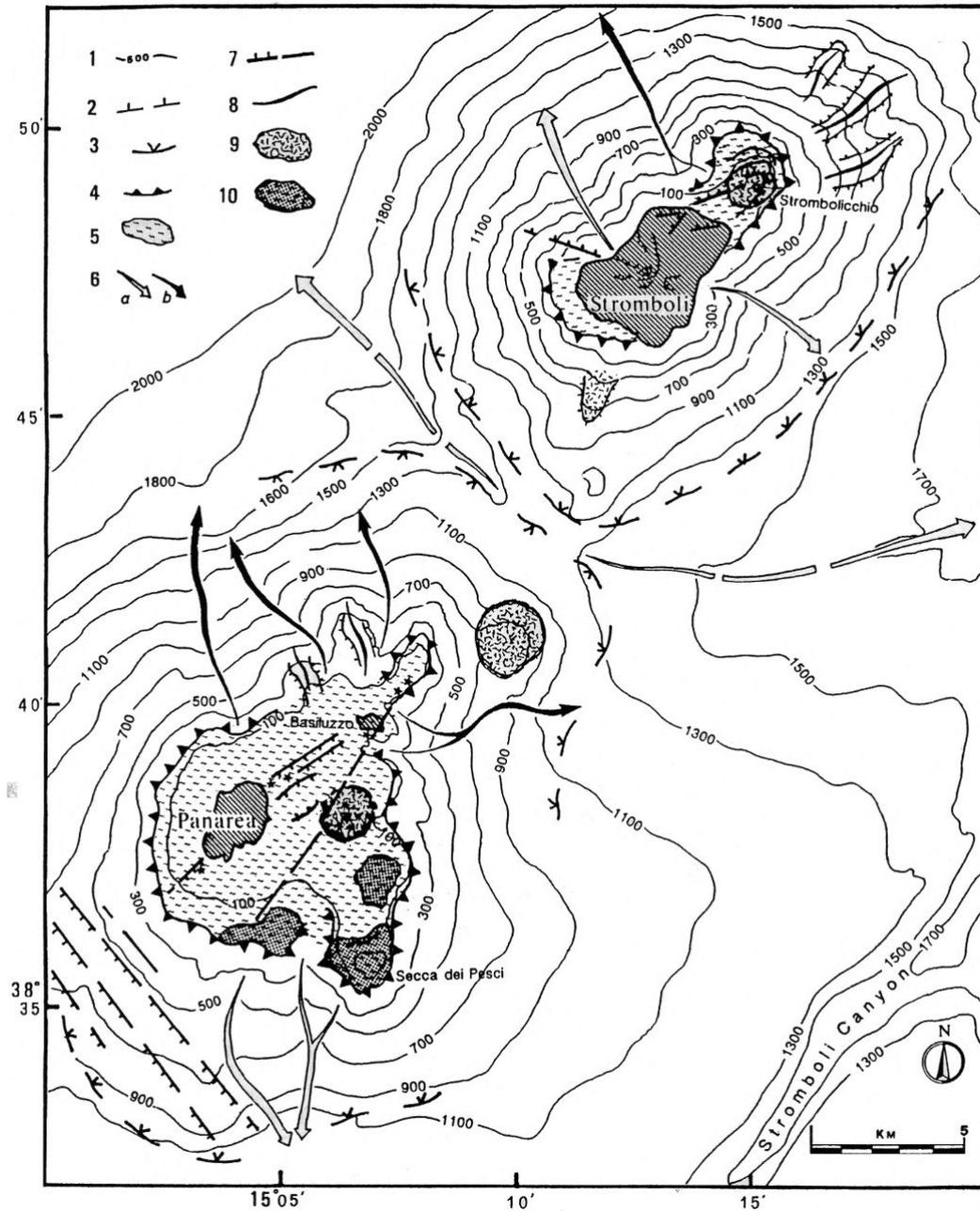
L'elemento strutturale dominante in zona è però costituito dall'area craterica marcata in superficie dalla distribuzione semicircolare degli scogli di Dattilo, Lisca Bianca e Lisca Nera, Bottaro e Panarelli (Fig. 8) caratterizzata da un'intensa attività esalativa sottomarina e da una marcata subsidenza in epoca storica.

---

<sup>6</sup> Gabbianelli et alii, 1991.

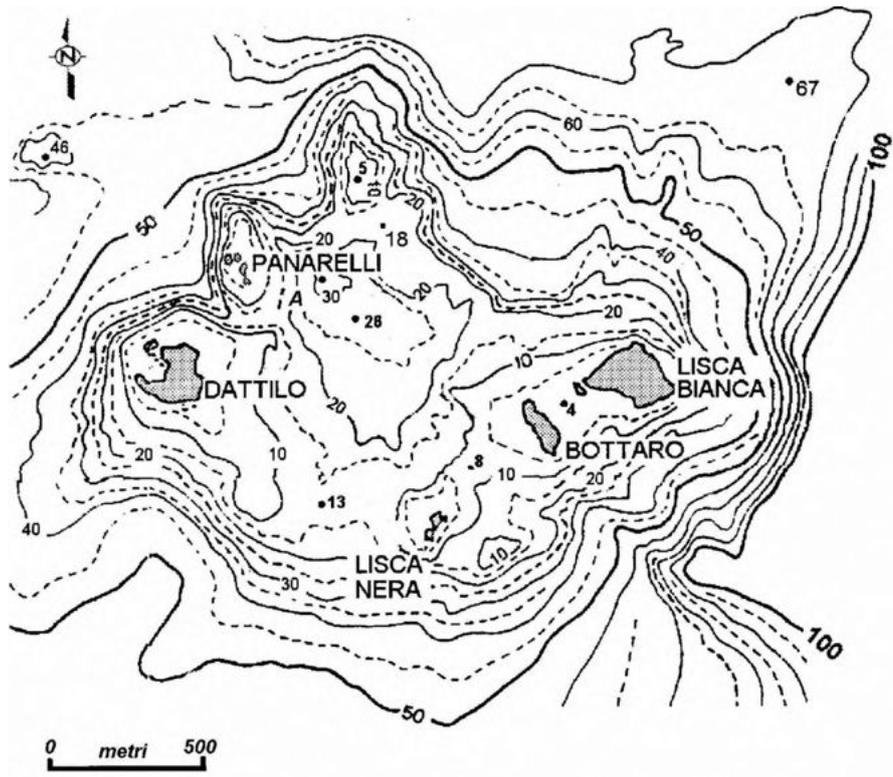
<sup>7</sup> Gabbianelli et alii, 1993.

<sup>8</sup> Gabbianelli et alii, 1990 e 1993.



**Fig. 7 - Schema batimetrico e morfo- strutturale del belt Panarea- Stromboli**

Legenda 1) isobate; 2) rotture di pendenza principali; 3) base morfologica dei complessi vulcanici; 4) ciglio della piattaforma di abrasione; 5) piattaforma di abrasione; 6) asse depressioni vallive (a) o canyons (b); bordo della Fossa della Caldera; 7) faglie principali; 8) asse dorsali; 9) e 10) centri eruttivi sommersi (da Gabbianelli et al., 1993; modif.)



a)



b)

Fig. 8 - Schema batimetrico (a) e fondali a Posidonia O. con emissioni idrotermali (b) dell'area craterica di Dattilo- Lisca (da Gabbianelli et al., 1997)

Quest'area, in particolare, è stata oggetto di una specifica indagine nell'ambito del Progetto EOCUMM-CONISMA<sup>9</sup> che ne ha evidenziato una tipica morfologia subcircolare del diametro medio di circa 1 500 m, con bordi che si elevano per una cinquantina di metri rispetto ai circostanti fondali della piattaforma di abrasione. Marcatamente asimmetrico si presenta invece il suo sviluppo interno, caratterizzato dal decentramento verso gli scogli dei Panarelli del massimo della depressione che, con profondità di circa 26-30 m e fondali subpianeggianti abbastanza regolari (con lussureggiante *Posidonia oceanica*) raggiunge un'ampiezza di alcune centinaia di metri. Inoltre, mentre la sommità del suo bordo Sud-occidentale posta ad una profondità di circa 10-13 m, risulta abbastanza ampia, terrazzata e continua, quella Nord-orientale si presenta decisamente più profonda ed irregolare, forse a causa di un parziale collasso vulcano-tettonico del bordo stesso (Fig. 8a). L'intensa attività fumarolica che vi si sviluppa è sostanzialmente di tipo gassoso-idrotermale con acque che raggiungono temperature variabili tra 32 °C e 53 °C, le quali alla fuoriuscita producono per ossidazione forti quantità di zolfo colloidale. In particolare, all'emissione le acque mostrano un pH di circa 3,5 e risultano arricchite in Li, K, Ca, Cl e dall'esaurimento di Mg e SO<sub>4</sub>. Tra i gas domina la CO<sub>2</sub> con oltre il 90% del volume totale; in subordine sono presenti H<sub>2</sub>S (fino al 6,5 % in volume) N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (tra 0,52 e 6,18% in volume e rapporto O<sub>2</sub> / N<sub>2</sub> generalmente più basso di quello in aria) e talora tracce di etano e di metano (fino a 6300 ppm)<sup>10</sup>.

Per quanto riguarda infine il complesso di Stromboli le informazioni relative alle sue porzioni sottomarine (le cui prime ricostruzioni risalgono alla fine del XIX secolo; cfr. Fig. 9a) evidenziano uno sviluppo basale di almeno 18 km in prevalente direzione Nord-Est-Sud-Ovest (Figg. 7 e 9b). L'elevata acclività che caratterizza anche i suoi fianchi sommersi (in particolare di quello Nord-occidentale, in rapido approfondimento verso la profonda piana batiale tirrenica del Marsili) unitamente alla conformazione morfologico-strutturale dello stesso edificio vulcanico (controllato da un sistema tettonico regionale a direzione Nord-Est-Sud-Ovest sin dalle più antiche fasi del suo sviluppo) evidenziano come il collasso gravitativo di ampie porzioni dell'apparato sia stato un fenomeno ricorrente nel corso della sua evoluzione. Solo negli ultimi 13 000 anni, tre eventi di collasso laterale sembrano per altro aver interessato il fianco occidentale dell'isola, in connessione con una migrazione verso Nord-Nord-Ovest dell'attività; ed il più recente di essi (avvenuto nel corso degli ultimi 5 000 anni) sarebbe il responsabile della formazione della Sciara del Fuoco, ampia e ripida depressione parzialmente riempita dai prodotti dell'attività recente di Stromboli<sup>11</sup>. Qui le ricerche in mare hanno permesso di ricostruire, fino a circa 700 m di profondità, il prolungamento dell'ampia nicchia di distacco (larga quasi 2 km e lunga 3 km) già ipotizzata addirittura nelle ricostruzioni di fine secolo e connessa al citato evento di collasso laterale. Una vasta struttura a conoide è stata poi riconosciuta, a partire dal limite inferiore della nicchia, fino ad oltre 2 500 m di profondità e sino ad una distanza di circa 20 km dall'isola<sup>12</sup>.

---

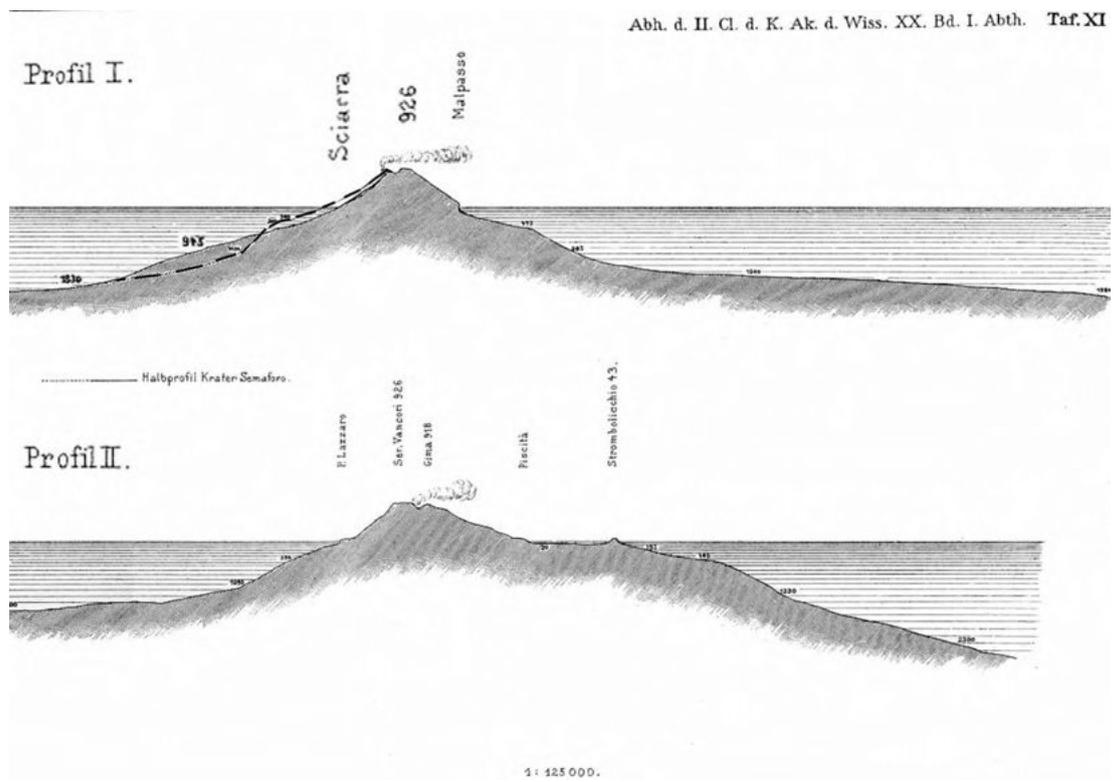
<sup>9</sup> Gabbianelli et alii, 1997.

<sup>10</sup> Nuccio, Italiano, 1991; Calanchi et alii, 1995.

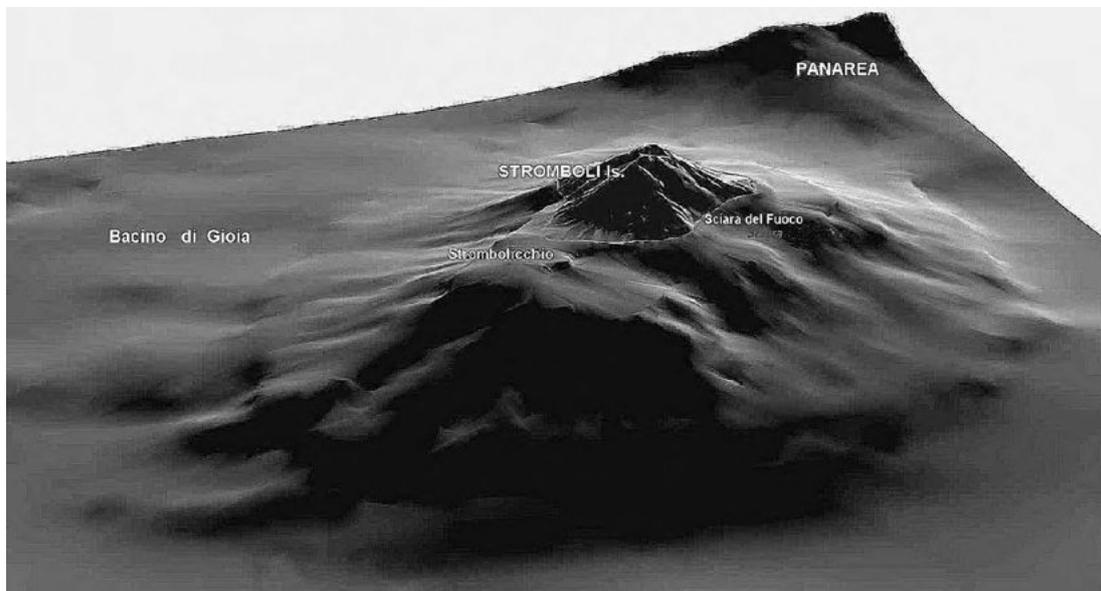
<sup>11</sup> Pasquarè et alii, 1993; Romagnoli, Tibaldi, 1994.

<sup>12</sup> Romagnoli et alii, 1993; Kokelaar, Romagnoli, 1995.

1



a)



b)

**Fig. 9 - Lineamenti bati-morfologici del complesso di Stromboli: a) profili dei versanti sommersi; b) tridimensionale basato su dati dell'U.R. "Vulcanismo sottomarino" dell'Università di Bologna**

## Bibliografia

Beccaluva L., Gabbianelli G., Lucchini F., Rossi P. L., Savelli C., Petrology on K/Ar ages of volcanics dredged from the Aeolian Seamounts: implications for geodynamic evolution of the Southern Tyrrhenian basin, *Earth Planetary Sciences Letters*, 74, 1985, pp. 187-208.

Bocchi G., Gabbianelli G., Lucchini F., Rossi P. L., Selli R., Deep-sea manganese deposits from the Southern Tyrrhenian area, *XXVII Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée (CIESM) Abstracts*, 8, 1981, pp. 157-158.

Bottari A., Caccamo D., Falsaperla S., Neri G., Confronto e correlazione tra dati di sismologia attiva e passiva nel basso Tirreno, *Atti 50° Convegno Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida*, Roma, 1986, pp. 709-720.

Calanchi N., Capaccioni B., Martini M., Tassi F., Valentini L., Submarine gas-emission from Panarea Island (Aeolian Archipelago): distribution of inorganic and organic compounds and interference about source conditions, *Acta Vulcanologica*, 7 (1), 1995, pp. 43- 48.

Colantoni P., Gabbianelli G., Minniti M., Rossi P. L., Geo-mineralogical survey of the Palinuro Seamount. (Tyrrhenian Sea). Riassunti Convegno Società Geologica Italiana, *La Geologia marina: aspetti di ricerca pura ed applicata*, 31, 1984.

Gabbianelli G., Gillot P. Y., Lanzafame G., Romagnoli C., Rossi P. L., Tectonic and volcanic evolution of Panarea (Aeolian Islands, Italy), *Marine Geology*, 92, 1990, pp. 313-326.

Gabbianelli G., Romagnoli C., Rossi P. L., Calanchi N., Lucchini F., Submarine morphology and tectonics of Vulcano (Aeolian Islands, Southeastern Tyrrhenian Sea), *Acta Vulcanologica*, 1, 1991, pp. 135-141.

Gabbianelli G., Romagnoli C., Rossi P. L., Calanchi N., Marine geology of the Panarea-Stromboli area (Aeolian Archipelago, Southeastern Tyrrhenian Sea), *Acta Vulcanologica*, 3, 1993, pp. 11-20.

Gabbianelli G., Tramontana M., Lanzafame G., Colantoni P., Curzi P. V., Fanucci F., Rossi P. L., Morelli D., Assetto morfo-strutturale dei fondali del settore centrale dell'Arcipelago Eoliano (Isole di Vulcano, Lipari e Salina), *Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia*, F. M. Faranda & P. Povero Editions, Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare (CoNISMa), Genova, 1996, pp. 455-462.

Gabbianelli G., Cortecchi G., Capra A., Giacomelli L., Pompilio M., Rossi P. L., Lineamenti geo-vulcanologici ed ambientali dell'area craterica sottomarina di Dattilo-

Lisca Bianca (Isola di Panarea, Arcipelago Eoliano), *Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia*, F. M. Faranda & P. Povero Editions, Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare (CoNISMa), Genova, 1996, pp. 475-484.

Gamberi F., Marani M., Savelli C., Tectonic, volcanic and hydrothermal features of a submarine portion of the Aeolian Arc (Tyrrhenian Sea), *Marine Geology*, 140, 1997, pp. 167-181.

Italiano F., Nuccio P. M., Geochemical investigations of submarine volcanic exhalations to the East of Panarea, Aeolian Islands, Italy, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 46, 1991, pp. 125-141.

Kokelaar P., Romagnoli C., Sector collapse, sedimentation and clast-population evolution at an active island-arc volcano: Stromboli, Italy, *Bulletin of Volcanology*, 57, 1995, pp. 240-262.

Neri G., Caccamo D., Cocina O., Montalto A., Shallow earthquake features in the Southern Tyrrhenian region; geostructural and tectonic implications,, *Bollettino Geofisica Teorica Applicata*, XXXIII, 129, 1991, pp. 47-60.

Pasquarè G., Francalanci L., Garduno V. H., Tibaldi A., Structure and geologic evolution of the Stromboli volcano, Aeolian Islands, Italy, *Acta Vulcanologica*, 3, 1993, pp. 79 - 89.

Romagnoli C., Kokelaar P., Rossi P. L., Sodi A., The submarine extension of Sciara del Fuoco feature (Stromboli Island): morphologic characterization, *Acta Vulcanologica*, 3, 1993, pp. 91-98.

Romagnoli C., Tinti S., Natural hazards from volcanic debris avalanches at Stromboli, SE Tyrrhenian: a prehistoric case study. XVIII European Geophysical Society, Wiesbaden, 3-7 Maggio 1993, *Annales Geophysicae*, 11, c124, 1993.

Rossi P. L., Gli apporti più significativi dell'Unità di Ricerca Gruppo Nazionale Vulcanologia *Vulcanismo sottomarino* dell'Università di Bologna, Riunione Gruppo Nazionale Vulcanologia, Roma. 4 marzo 1997.

Rossi P. L., *Vulcanismo sottomarino del mediterraneo ed idrotermalismo associato*, CNR, Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini, Sottoprogetto Risorse Minerarie - Rapporto Tecnico Finale, 1984.

Rossi P. L., Gabbianelli G., Sintesi delle conoscenze sul vulcanesimo sottomarino dell'Area Siciliana, *Atti 79° Congresso Nazionale Società Geologica Italiana*, Volume C, Palermo. 1998, pp. 797-804.

Rossi P. L., Gabbianelli G., Romagnoli C., Serri G., Ricerche di geologia marina nelle aree vulcaniche del Tirreno meridionale e Canale di Sicilia, *Memorie Società Geologica Italiana*, volume 45, 1990, pp. 927-938

Rossi P. L., Romagnoli C., Gabbianelli G., Calanchi N., Caratteristiche morfostrutturali e geovulcanologiche delle porzioni sommerse del complesso di Vulcano: sintesi dei principali risultati, *Rapporto su Vulcano - CNR-Gruppo Nazionale Vulcanologia*, Giugno 1993, p. 6.

## **EVOLUZIONE DELLE IDEE SUL VULCANISMO E GESTIONE DELLE RISORSE CULTURALI E AMBIENTALI ALLE ISOLE EOLIE**

Antonella RUSSO, Palermo; Vincenzo CABIANCA, Università di Palermo.

Il tema Archeologia e Vulcanismo alle Isole Eolie è trattato all'interno di un'unità espositiva situata al piano terreno della Sezione Vulcanologica del Museo Archeologico Regionale Eoliano "Luigi Bernabò Brea".

La sezione di Archeologia e Vulcanismo è stata creata da L. Bernabò Brea e M. Cavalier negli anni 1960 ed illustra la tematica delle culture materiali del mondo antico alle Eolie nel rapporto tra economia, escavazione, lavorazione, esportazione, scambio ed uso dei prodotti vulcanici delle Isole dell'Arcipelago.

Inoltre una parte è dedicata ai miti ed alle leggende Eoliane, alla cultura ideologica di interpretazione metafisica dei fenomeni vulcanici e tettonici dalla preistoria al tardo medioevo. Questa sezione può essere considerata sia una sezione ancillare del grande Museo Archeologico per la conoscenza del contesto ambientale e territoriale economico produttivo, sia, in una visione storico-strutturalista, la premessa ed il supporto di sostenibilità di tutto il processo storico.

Successivamente inizia la visita alla Sezione di Vulcanologia dedicata al prof. Alfred Rittmann, fondatore della Vulcanologia moderna e primo consulente per l'ordinamento scientifico del Museo Vulcanologico. Il Museo si articola in cinque sotto-sezioni: Introduzione Storica, Vulcanologia Generale, Vulcanologia Sottomarina, Vulcanologia Cosmica, Vulcanologia Eoliana e Tutela dei Beni Vulcanici.

Il tabellone didattico<sup>1</sup> Storia delle idee sul Vulcanismo (Fig. 1) costituisce il primo segmento introduttivo all'apparato didattico-interpretativo. Il tabellone costituisce il raccordo tra la sotto-sezione di Archeologia e Vulcanismo alle isole Eolie con un più vasto e generale panorama relativo alle idee sul Vulcanismo nel mondo antico, dall'oriente al nuovo mondo ed inoltre serve da profilo dello sviluppo delle conoscenze vulcanologiche da quei tempi allo stato dell'arte attuale delle Scienze della Terra perseguito nella Sezione Vulcanologica, che, di fatto, inizia con l'avvento della Tettonica a zolle, elemento fondante della Vulcanologia Moderna.

---

<sup>1</sup> I tabelloni sono stati redatti dagli Autori con il contributo iniziale del compianto Prof. E. Burgio. La grafica artistica è stata curata da A. Russo e M. Cambria con un contributo finale di S. Sabatelli.

## **La sinergia culturale tra Archeologia e Vulcanismo nel Piano di conservazione e fruizione dei Beni Culturali Eoliani**

Per sottolineare i rapporti tra queste due componenti, nelle tavole informatizzate relative al Piano Paesistico di Tutela, esposte nella Sezione del Vulcanismo Eoliano, i Beni Culturali Archeologici sono stati rappresentati su apposito layer in sovrapposizione al layer tematico della carta dei Beni Culturali Vulcanologici, in modo da poterli gestire, in un futuro Parco Archeo-Vulcanologico, in maniera separata tecnologicamente ed operativamente, ma coniugata concettualmente e territorialmente.

In questo modo viene messo in evidenza come i fattori morfologici, derivanti dall'attività vulcanica e connessi alla difendibilità, portualità, inaccessibilità, possibilità di visione panoramica tempestiva del nemico sul mare, e, ad un tempo, la presenza di risorse di origine vulcanica, quali le colate ossidiane, le cave di allume, di zolfo, di pomice, siano alla base delle scelte insediative sul territorio; come i fenomeni del termalismo post-vulcanico siano alla base delle localizzazioni dei luoghi di culto; come quelli relativi alle fonti di approvvigionamento dell'argilla siano legati ai processi di caolinizzazione derivanti dall'azione dei gas vulcanici nei confronti delle piroclastiti dei collari delle cupole di ristagno, come avviene a Sant'Anna, a confine del duomo lavico solidificato.

Risulta evidente come le scelte macro e micro insediative siano determinate dai fattori morfologici e dalla presenza di risorse derivanti dall'attività vulcanica o post-vulcanica: tra i fattori morfologici, l'intervulcanico viene destinato alle coltivazioni produttive, il meso-vulcanico ed a volte anche l'epi-vulcanico alla coltivazione della vite, i domi lavici e le cupole di ristagno all'insediamento urbano difensivo, posti di guardia, ecc. L'associazione agli altri fattori della morfologia e della portuosità della costa rende privilegiati alcuni siti per l'insediamento commerciale e residenziale.

Tra i prodotti dell'attività vulcanica, le risorse sono costituite dalle ossidiane delle colate riolitiche finali, dallo zolfo, dall'allume, dalla selce di deposito dei laghi vulcanici, dall'argilla e dal caolino, dagli ossidi per i colori da pittura ricavati dai prodotti dell'attività di alterazione post-vulcanica delle vulcaniti, dalla pietra da taglio delle piroclastiti aggredibili dalla sega e colorate dagli ossidi componenti, dai ciottoli dovuti all'arrotondamento dei frammenti delle lave nei terrazzamenti glacioeustatici del mare, dalle manifestazioni termali post-vulcaniche per usi terapeutici, spesso coniugate con il culto di divinità sotterranee.

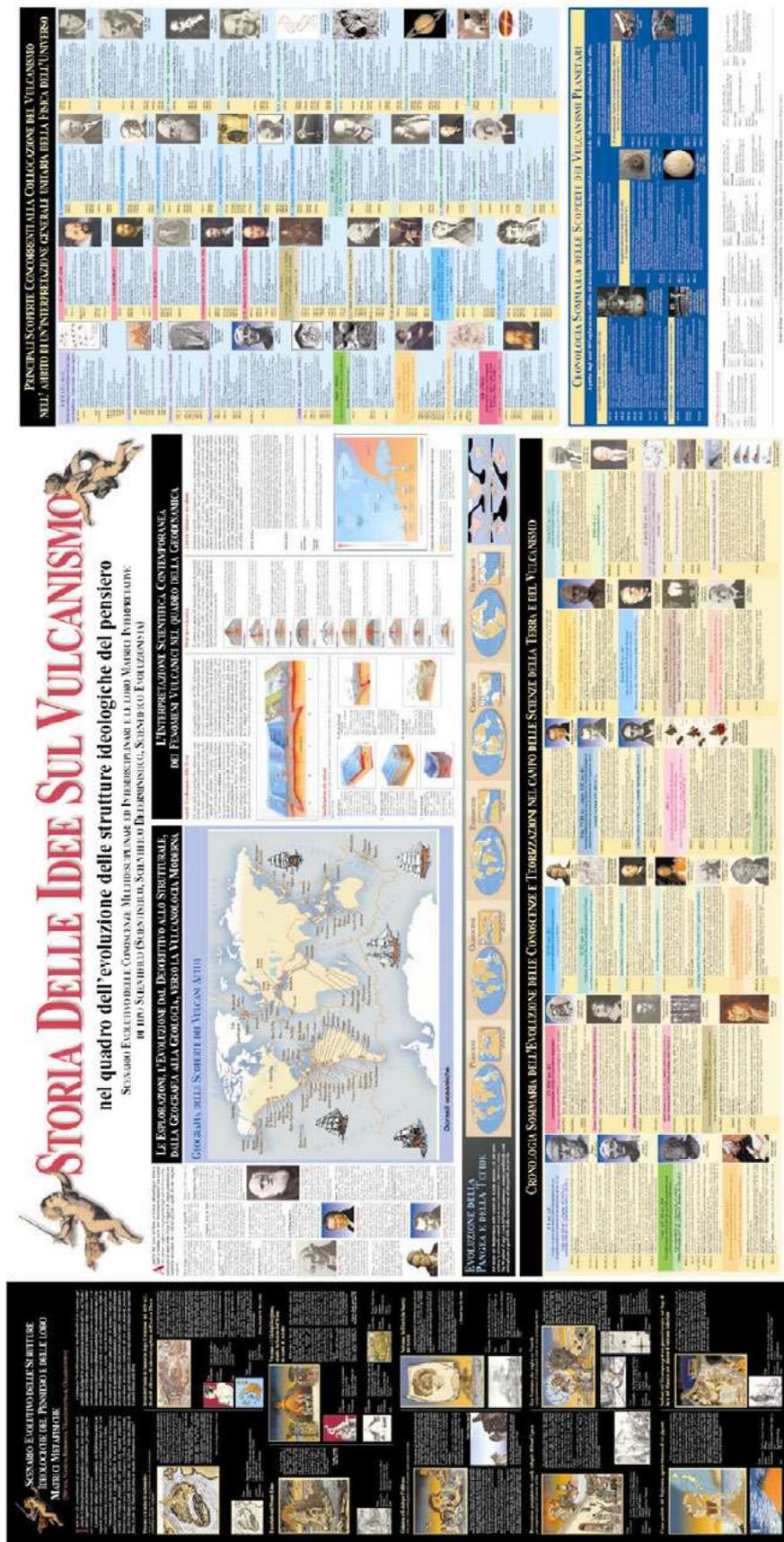


Fig. 1

## **Scenario evolutivo delle strutture ideologiche del pensiero e delle loro matrici metafisiche**

La prima parte (Fig. 2) del tabellone didattico evidenzia il processo evolutivo delle matrici interpretative del pensiero di tipo magico, religioso, metafisico, trascendentale, creazionistico che allora legavano lo stupore e il terrore per l'attività vulcanica e sismica alla collera degli Dei. Riguarda i rapporti tra l'archeologia e il vulcanismo, trattando il tema a livello di tutte le credenze relative ai vulcani nel mondo antico, dall'Atlantico e dall'Islanda al Mediterraneo, dalla Micro-Asia di Câtal Hüyük e dall'Egeo minoico di Thera alla Grecia, a Bali, alle Hawaii, sino al nuovo mondo, agli Indiani del Nicaragua e del Crater Lake, ai Mormoni ed al Mount Saint Helen in epoca contemporanea.

## **Cronologia sommaria dell'evoluzione delle conoscenze e teorizzazioni nel campo delle scienze della Terra e del Vulcanismo**

Nella seconda parte del tabellone, attraverso i soggetti protagonisti della Scienza, viene illustrata sia la storia dei loro contributi all'interpretazione della Geodinamica, della Tettonica e del Vulcanismo, sia l'evoluzione delle conoscenze multidisciplinari ed interdisciplinari, dalle prime intuizioni di Platone alle repressioni fideistiche della filosofia scolastica, alle scoperte geografiche della generalità del Vulcanismo sulla terra, al Nettunismo al Plutonismo, a Laplace, alla Terra come pianeta, quindi alla visione della Terra come pianeta in corso di raffreddamento, alla fondamentale scoperta della radioattività e al suo ruolo nella termodinamica del pianeta, sino al grande mutamento interpretativo attuato nella disciplina da Rittmann, attraverso l'introduzione della centralità della geodinamica e della tettonica a zolle di Wegener nell'interpretazione dei fenomeni vulcanici (Figg. 3, 4 e 5).

## **Principali scoperte concorrenti alla collocazione del Vulcanismo nell'ambito di un'interpretazione generale unitaria della fisica dell'Universo**

Nella successiva parte del tabellone (Fig. 6) è trattata l'evoluzione post-Rittmann dovuta alla scoperta dei flussi piroclastici, all'avanzamento di tutti i settori nelle Scienze della Terra anche grazie all'esplorazione con satelliti del Sistema Planetario e dei suoi vulcanismi.



# CRONOLOGIA SOMMARIAMENTE DELL'EVOLUZIONE DELLE CONOSCENZE E TEORIZZAZIONI NEL CAMPO DELLE SCIENZE DELLA TERRA E DEL VULCANISMO

**1687** - **1688** - **1689** - **1690** - **1691** - **1692** - **1693** - **1694** - **1695** - **1696** - **1697** - **1698** - **1699** - **1700** - **1701** - **1702** - **1703** - **1704** - **1705** - **1706** - **1707** - **1708** - **1709** - **1710** - **1711** - **1712** - **1713** - **1714** - **1715** - **1716** - **1717** - **1718** - **1719** - **1720** - **1721** - **1722** - **1723** - **1724** - **1725** - **1726** - **1727** - **1728** - **1729** - **1730** - **1731** - **1732** - **1733** - **1734** - **1735** - **1736** - **1737** - **1738** - **1739** - **1740** - **1741** - **1742** - **1743** - **1744** - **1745** - **1746** - **1747** - **1748** - **1749** - **1750** - **1751** - **1752** - **1753** - **1754** - **1755** - **1756** - **1757** - **1758** - **1759** - **1760** - **1761** - **1762** - **1763** - **1764** - **1765** - **1766** - **1767** - **1768** - **1769** - **1770** - **1771** - **1772** - **1773** - **1774** - **1775** - **1776** - **1777** - **1778** - **1779** - **1780** - **1781** - **1782** - **1783** - **1784** - **1785** - **1786** - **1787** - **1788** - **1789** - **1790** - **1791** - **1792** - **1793** - **1794** - **1795** - **1796** - **1797** - **1798** - **1799** - **1800** - **1801** - **1802** - **1803** - **1804** - **1805** - **1806** - **1807** - **1808** - **1809** - **1810** - **1811** - **1812** - **1813** - **1814** - **1815** - **1816** - **1817** - **1818** - **1819** - **1820** - **1821** - **1822** - **1823** - **1824** - **1825** - **1826** - **1827** - **1828** - **1829** - **1830** - **1831** - **1832** - **1833** - **1834** - **1835** - **1836** - **1837** - **1838** - **1839** - **1840** - **1841** - **1842** - **1843** - **1844** - **1845** - **1846** - **1847** - **1848** - **1849** - **1850** - **1851** - **1852** - **1853** - **1854** - **1855** - **1856** - **1857** - **1858** - **1859** - **1860** - **1861** - **1862** - **1863** - **1864** - **1865** - **1866** - **1867** - **1868** - **1869** - **1870** - **1871** - **1872** - **1873** - **1874** - **1875** - **1876** - **1877** - **1878** - **1879** - **1880** - **1881** - **1882** - **1883** - **1884** - **1885** - **1886** - **1887** - **1888** - **1889** - **1890** - **1891** - **1892** - **1893** - **1894** - **1895** - **1896** - **1897** - **1898** - **1899** - **1900** - **1901** - **1902** - **1903** - **1904** - **1905** - **1906** - **1907** - **1908** - **1909** - **1910** - **1911** - **1912**

Fig. 3



**LE ESPLORAZIONI, L'EVOLUZIONE DAL DESCRITTIVO ALLO STRUTTURALE,  
DALLA GEOGRAFIA ALLA GEOLOGIA, VERSO LA VULCANOLOGIA MODERNA**



Fig. 5

**Le esplorazioni, l'evoluzione dal descrittivo allo strutturale, dalla geografia alla geologia, verso la vulcanologia moderna**

L'ultima parte evidenzia l'attuale interpretazione del Vulcanismo, come esito storicizzato dell'evoluzione interpretativa e dell'interpretazione evolucionista generale, visto in termini esclusivamente fisici e globali, come componente nell'ambito delle Scienze della Terra, e ancor meglio come Vulcanismo della Terra, quale epifenomeno di un pianeta in corso di degasazione e lenta evoluzione termodinamica ed infine le prospettive di nuove conoscenze (Fig. 7).

In questo modo la successiva visita al Museo Vulcanologico avviene con il supporto di conoscenze istruttorie dell'evoluzione dell'interpretazione dei fenomeni vulcanici fornite dal tabellone, dallo stupore al terrore e divinizzazione primitiva all'interpretazione fisica specifica, a quella sistemica nell'ambito delle Scienze della Terra, a quella più generale legata all'astrofisica ed alla planetologia evolutiva.





## ISOLE EOLIE: LA NUOVA STAGIONE DELLA PIANIFICAZIONE

Sergio GELARDI, Regione Sicilia, Palermo.

Il Comitato del Patrimonio Mondiale dell'Unesco, nel corso della sua 24<sup>a</sup> sessione, che si è svolta a Cairns, Australia, dal 27 novembre al 2 dicembre 2000, ha iscritto le Isole Eolie nella Lista del Patrimonio Mondiale dell'Unesco, categoria dei beni naturali, con la seguente motivazione:

Le Isole Eolie sono un eccezionale esempio dell'attività di costruzione e distruzione di isole operata dal vulcanesimo e testimoniano un fenomeno vulcanico tuttora in corso. Questo sito riveste un'importanza internazionale per la vulcanologia. Studiate già a partire dal XVIII secolo, queste isole hanno fornito alle opere di vulcanologia la descrizione di due tipi di eruzione (vulcaniana e stromboliana) e rappresentano da più di 200 anni una tappa importante nella formazione di tutti i geologi.

Si tratta di un'attestazione di qualità importantissima, alla quale non è risultata estranea l'attività svolta dall'ultima generazione di amministratori dei Comuni eoliani, il cui operato è stato e rimane fondamentale per diffondere tra gli amministrati la coscienza della specialità delle isole e per promuoverla a livello internazionale.

Da questo punto di vista, la dichiarazione UNESCO può diventare il turning point per un impegno da parte di tutti gli operatori a fare delle Eolie il centro dell'ecoturismo<sup>1</sup> del Mediterraneo; essa è però, nello stesso tempo, il punto di arrivo più prestigioso della pianificazione paesistica siciliana e costituisce un risultato al quale non sono risultate indifferenti le scelte dell'amministrazione regionale di settore.

È infatti da ascrivere a merito di Gedo Campo<sup>2</sup> quello di avere individuato dieci anni fa, tra le prime risorse comunitarie che allora timidamente cominciavano a rendersi disponibili, le somme necessarie per cominciare la redazione del piano paesistico delle Eolie e, soprattutto, di avere attribuito senza esitazioni a Vincenzo Cabianca il coordinamento scientifico del Piano.

---

<sup>1</sup> Il termine individua un campo di primario interesse tanto per le ricerche ecologiche quanto per quelle economiche e definisce il turismo rivolto alla storia naturale, che costituisce in altri termini uno delle possibili manifestazioni del così detto "turismo alternativo" il quale com'è noto si pone in alternativa al turismo di massa tradizionale, considerato sempre più spesso come un modello sbagliato e pericoloso di sviluppo economico. Giavelli G., O. Rossi, Rational Management of Small Mediterranean Islands: Ecological and Demographic Evaluations, *Sustainable Development and Environmental Management of Small Islands*, W. Beller, P.G. d'Ayala and P. Hein editors, UNESCO, Parigi, Parthenon Press, 1990, New York.

<sup>2</sup> In dieci anni di attività, i collaboratori del piano paesistico sono stati molti e alcuni di essi sono stati riportati da Cabianca, come sempre in modo quanto mai dettagliato, nel Piano Territoriale Paesistico adottato. Altri non verranno ricordati e di questo ci si scusa. Non si può però omettere di segnalare tra i protagonisti del piano paesistico, e ringraziarli, i 166 cittadini o le loro associazioni che hanno contribuito con opposizioni e memorie alla fase di approvazione del piano.

Cabianca è non solo uno dei massimi conoscitori dei beni culturali territoriali eoliani e della loro componente geovulcanologica, ma è soprattutto il promotore della conoscenza di questo patrimonio da parte della comunità scientifica internazionale.

L'inserimento delle Eolie nell'UNESCO Heritage List, che significativamente è stato motivato dall'importanza internazionale per la vulcanologia rivestita dall'arcipelago, nasce proprio dalla intuizione, propria del piano di Cabianca, riguardo all'identità dell'arcipelago che "è quella di un arco vulcanico con emergenze insulari" e che questo paesaggio strutturale, di rilevanza scientifica primaria, deve condizionare le strategie di salvaguardia e valorizzazione delle Isole così come ne ha condizionato la storia.

Non vi è dubbio che proprio questa impostazione ha consentito di esaltare la straordinaria specificità eoliana sotto il profilo vulcanologico; così come è indubbio che la decisione dell'UNESCO è stata possibile solo grazie alla capace abnegazione con la quale Giusi Maxhuni ha saputo illustrare le ragioni del territorio e del piano, alla cui redazione ha collaborato insieme all'allora giovane Maurizio Carta, al cui apporto sono dovute alcune soluzioni avanzate fatte proprie dal piano in termini di rappresentazione e restituzione dell'armatura culturale del territorio, concetto al quale Carta andava lavorando in quegli anni<sup>3</sup>.

Ma la complessità della formazione culturale di Cabianca e la sua profonda conoscenza di tutte le componenti del territorio sono state essenziali non soltanto per trasporre nel piano paesistico quella "specialità" eoliana che è stata poi ratificata dall'istituzione internazionale, ma anche per dotare il piano stesso di soluzioni niente affatto convenzionali in termini di proposta e di progetto per uno sviluppo compatibile.

L'ampio rilievo che gli elaborati danno ai processi di valorizzazione dei connotanti beni eoliani mediante l'incentivazione di attività idonee a riformulare lo sviluppo economico dell'arcipelago sulla base della salvaguardia delle risorse esistenti (e quindi la prefigurazione di processi di gestione ed attuazione paesistica, ma anche tutta una serie di progetti, quali interventi diretti, parchi tematici o zone attrezzate con servizi) hanno certamente creato non pochi imbarazzi ai residenti, agli Enti locali e alla stessa amministrazione di tutela del paesaggio, in quanto è chiaro che alcune parti del piano redatto e adottato apparivano estranee al contenuto tipico della pianificazione paesistica<sup>4</sup>, pur nella concezione che le è stata riconosciuta dalla giurisprudenza<sup>5</sup>, secondo cui, dopo le innovazioni sostanziali arretrate dalla legge 8 agosto 1985, n. 431, il piano territoriale paesistico deve servire a promuovere i valori ambientali del territorio, con la determinazione non solo di limiti di segno negativo ma anche di prescrizioni positive e di usi privilegiati dei beni.

---

<sup>3</sup> M. Carta, *L'armatura culturale del territorio. Il patrimonio culturale come matrice di identità e strumento di sviluppo*, Franco Angeli, Milano, 1999.

<sup>4</sup> Indicazione di provvedimenti attivi, regime di intervento, regime fondiario proprietario programmatico, regime di gestione programmatica, opere in sotterraneo, fissazione di lotti minimi, come anche progetti quali strada-parco, parchi tematici, interventi diretti, servizi e strumenti pianificatori quale il "piano - progetto paesistico di grande dettaglio propedeutico obbligatorio".

<sup>5</sup> Cassazione, sezione III, 23 maggio 1994, n. 5877.

L'assetto organizzativo della Regione Sicilia, dove rimane irrisolta (per quanto incongrua e paralizzante, oltre che del tutto infondata sotto il profilo scientifico) la netta separazione che corre tra i contenuti e le istituzioni della tutela dei beni paesaggistici e quelli dell'urbanistica, rendeva infatti quanto mai difficile comprendere e dare soluzione sistematica alle determinazioni assunte dall'autore del piano paesistico, il quale, nel rispetto di una concezione corrente della pianificazione di area vasta, adombrava di continuo soluzioni atte a superare la prospettiva di un mero strumento di tutela, per fare della salvaguardia del paesaggio la matrice progettuale delle Eolie del 2000. La conseguenza era che, al di là dell'affermata intenzione di volere rispettare i ruoli e i contenuti assegnati ai due strumenti dalle ormai datate decisioni del giudice costituzionale del 1968, il piano paesistico adottato finiva per fare proprie soluzioni riservate allo strumento urbanistico.

Questa censura è stata tenuta ben presente dagli uffici e dalla commissione tecnica consultiva che hanno esaminato le varie opposizioni presentate e hanno proceduto a una complessiva rivisitazione del piano nel segno del dettato normativo vigente; attività questa che è da ascrivere soprattutto all'intelligenza di Maria Gabriella Fazio, la quale da una lunga serie di colloqui con il responsabile scientifico del piano ha tratto e fatto propri i fondamenti di questo originale strumento, li ha verificati con il diritto positivo e li ha proposti in una coerente riscrittura dei regimi normativi del piano stesso.

L'evoluzione in corso del quadro normativo rende però ancora più forte l'esigenza di salvaguardare gli aspetti originali del piano delle Isole Eolie: infatti, se l'arcipelago richiede risposte forti in termini di conoscenza dei complessi contenuti culturali, storici e sociali del suo territorio e di salvaguardia del suo ambiente naturale, intrinsecamente fragile, la sua economia, legata ai marcati caratteri di stagionalità del fenomeno turistico e quindi altrettanto fragile, impone però di indicare agli abitanti soluzioni concrete per abbandonare la più facile e immediata strada di un turismo senza restrizioni, che prima o poi distruggerà in modo definitivo le risorse su cui esso è basato.

Mentre i così detti piani partecipati, come dimostra l'esame dei patti territoriali eoliani, non riescono ad abbandonare la strada di un più immediato soddisfacimento della domanda di base e quindi, nello specifico eoliano, di una crescita edilizia a scopo residenziale turistico, il piano paesistico, nella sua parte propositiva, vuole fornire idee e soluzioni per promuovere una crescita caratterizzata dall'utilizzazione di più risorse (agricoltura, turismo, ecc.). Il tutto in linea, come si è detto, con le soluzioni auspiccate da norme di recente entrate in vigore o in fieri, tra le quali si rilevano i decreti legislativi 112/98 e 368/98, la Convenzione Europea del Paesaggio, sottoscritta dai Paesi aderenti al Consiglio d'Europa il 21 ottobre 2000, e l'Atto di Indirizzo, di iniziativa governativa, che intende dettare i contenuti della pianificazione paesistica.

Occorre però che queste proposte entrino in relazione con i residenti e siano discusse e condivise.

A questo riguardo il piano delle Isole Eolie vuole essere il primo esempio, in Sicilia, di una pianificazione paesistica in progress, di una cooperazione dinamica con la pianificazione urbanistica di livello comunale.

Questa soluzione è stata suggerita dall'articolo 150 del decreto legislativo 29 ottobre 1999 n. 490, con il quale, com'è noto, il legislatore ha chiarito che i piani regolatori generali si debbono conformare alle previsioni dei piani territoriali paesistici, aventi valore di piani territoriali di coordinamento.

La norma indica la possibilità di una sua lettura bidirezionale, nel senso, fatto proprio dal provvedimento di approvazione del Piano Territoriale Paesistico delle Isole Eolie, di rinviare le soluzioni da dare all'assetto paesaggistico delle aree e dei comparti diversi da quelli sottoposti a tutela integrale alle analisi e alle valutazioni dei piani regolatori in corso di redazione, ovvero da riscrivere.

Il che, più in generale, rimanda alla necessità di una rivisitazione complessiva di tutto il contenuto del piano paesistico quando e se le valutazioni espresse nei piani regolatori avranno dimostrato possibile una diversa lettura delle valenze ambientali e paesaggistiche del territorio.

Ma questa è un'altra storia che è auspicabile venga scritta presto, il che vorrà dire che i Comuni delle Eolie si saranno dotati di ottimi piani regolatori.

## **ELABORAZIONE DI UN'IMMAGINE RELATIVA AL SITO ARCHEOLOGICO SOMMERSO DI PORTUS JULIUS (GOLFO DI POZZUOLI)**

Carlo TRIPODI, Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "E. Cesaro", Torre Annunziata.

Nell'ambito delle attività didattiche complementari che la recente autonomia scolastica permette, l'Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "E. Cesaro" di Torre Annunziata, forte dell'esperienza acquisita da un proprio docente nell'ambito del Telerilevamento, quale membro per un decennio del Gruppo di Ricerca di telerilevamento (CATART) dell'Istituto di Aerodinamica del Politecnico di Napoli, ha prima proposto e poi attivato tramite il proprio Dipartimento Ambiente e Territorio, un Corso di aggiornamento in Telerilevamento della durata di 25 ore.

Il Corso, proposto gratuitamente alle ultime classi delle sezioni Geometri (vi hanno partecipato quindici allievi) oltre a fornire un credito formativo scolastico, ha permesso un approccio propedeutico a questa scienza che, pur essendo proposta sempre più spesso come metodologia d'intervento, ancor oggi appare essere quanto meno nebulosa, sia per gli studenti, non essendoci un qualsiasi riferimento nei programmi didattici, sia ancor di più per le persone (anche tecnici) cui viene proposta.

Il corso, che si è avvalso di ottimi ausili didattici forniti dall'ESA/ESRIN, si è concluso con esercitazioni durante le quali sono state elaborate alcune immagini aeree e satellitari del territorio vesuviano e di altre zone rappresentative.

Di particolare interesse è sembrata quella relativa alla elaborazione di alcune immagini aeree<sup>1</sup> riguardanti *Portus Julius* sito archeologico sommerso nel Golfo di Pozzuoli a qualche centinaio di metri della costa, al largo di Lucrino.

Portus Julius fu una grandiosa struttura portuale voluta e realizzata dallo stratega Marco Vipsiano Agrippa nel 37 aC durante la guerra civile tra Ottaviano e Sesto Pompeo.

La struttura aveva la funzione di base della flotta di Miseno, che aveva la possibilità anche di trasferirsi dal mare nel lago costiero di Lucrino e da qui, percorrendo un canale comunicante, nel lago d'Averno.

Gli effetti del bradisismo discendente hanno fatto oggi di Portus Julius un interessante sito archeologico sommerso. Riscoperto casualmente dal cielo da Raimondo Bucher (pilota militare nonché appassionato pescatore subacqueo) alla fine degli anni 1950 AD, dopo anni di razzie di lucerne, altre suppellettili e mosaici, solo recentemente ha ricevuto la dovuta attenzione, tentandosene un recupero culturale, sia mediante visite con appositi battelli a fondo trasparente, sia con visite subacquee guidate.

Purtroppo il periodo di attivazione di queste visite coincide con quello di massima torbidità delle acque: le stesse riprese delle fotografie aeree sono limitate ad un ristrettissimo periodo tra gennaio e febbraio, prima della polluzione algale.

---

<sup>1</sup> Concessione Stato Maggiore Aeronautica n. 22-130 del 13.06.94.

La foto elaborata dagli studenti con tecniche semplicissime (l'uso di un prodotto commerciale per ritocchi fotografici) operando sui livelli di colore, contrasto e saturazione, ha permesso di mettere in evidenza in modo originale e significativo la planimetria delle imponenti tracce delle strutture portuali e di alcuni *vici* suburbani.



**Portus Julius**

Dato il successo, l'iniziativa verrà replicata nel prossimo anno scolastico, proponendola anche a studenti e tecnici esterni che eventualmente volessero parteciparvi. L'Istituto confida anche nell'apporto di materiale educational dell'ASI, in quanto altre Agenzie spaziali, quali NASA e CNES, dedicano consistenti risorse a queste attività, certe dell'importanza della ricerca spaziale e di una positiva ricaduta sui giovani. In Italia purtroppo tali attività, al di là di buoni propositi, sono ancora poco supportate.

## **EFFETTI DEPOSIZIONALI DELLE CORRENTI PIROCLASTICHE ASSOCIATE ALLE ERUZIONI PLINIANE DEL SOMMA-VEUVIO: EVENTI DELLE POMICI DI AVELLINO (3760 ANNI BP) E DI POMPEI (79 AD)**

Giuseppe MASTROLORENZO, Osservatorio Vesuviano, INGV, Napoli; Pier Paolo PETRONE, Università degli Studi “Federico II”, Napoli.

### **Introduzione**

La Campania costituisce un riferimento mondiale per la ricerca biogeoarcheologica per le rilevanti evidenze sulle relazioni tra l'ambiente geografico, gli eventi naturali e il contesto antropico. L'area meridionale della piana campana, dominata dal Somma-Vesuvio (Fig. 1) e caratterizzata dalla presenza da estesi insediamenti umani sin dall'età del Bronzo, è stata interessata da eventi catastrofici ricorrenti di tipo Pliniano e sub-Pliniano, nonché di sovralluvionamento, con intervalli variabili tra qualche secolo e qualche millennio. Il rapido accumulo di depositi piroclastici ed alluvionali ha consentito il seppellimento e la preservazione integrale di vasti territori antropizzati e di villaggi.

In particolare, la quasi-istantaneità di questi fenomeni ha congelato nelle sequenze stratigrafiche evidenze uniche, sia per la ricerca archeologica, sia per la definizione dei meccanismi deposizionali stessi.

La ricerca interdisciplinare sui siti interessati da questi eventi catastrofici fornisce informazioni originali su:

- gli effetti diretti delle eruzioni su territorio, strutture, persone, animali e cose;
- le caratteristiche bioarcheologiche dell'ambiente;
- la caratterizzazione in situ degli elementi della cultura materiale;
- gli effetti secondari indotti dalle eruzioni;
- l'impatto sulla struttura socio-culturale delle comunità nelle varie epoche<sup>1</sup>.

Le eruzioni pliniane delle Pomici di Avellino e delle Pomici di Pompei, comparabili in termini di volumi eruttati e di successioni degli eventi eruttivi, hanno interessato settori diversi della piana campana e dei rilievi circostanti. I depositi da caduta di lapilli (pyroclastic fall) caratteristici della prima fase di colonna convettiva sostenuta delle due eruzioni, a causa della differente provenienza dei venti dominanti, hanno interessato rispettivamente le aree a Nord-Est e a Sud-Est del vulcano (Fig. 2).

Anche le zone di diffusione dei flussi piroclastici (pyroclastic surge e pyroclastic flow) generati nelle fasi tardive dell'eruzione per collasso della nube pliniana, risultano differenti a causa del diverso controllo operato dalla topografia del complesso vulcanico, nonché dalle modalità di collasso della colonna pliniana (Figg. 3 e 4).

---

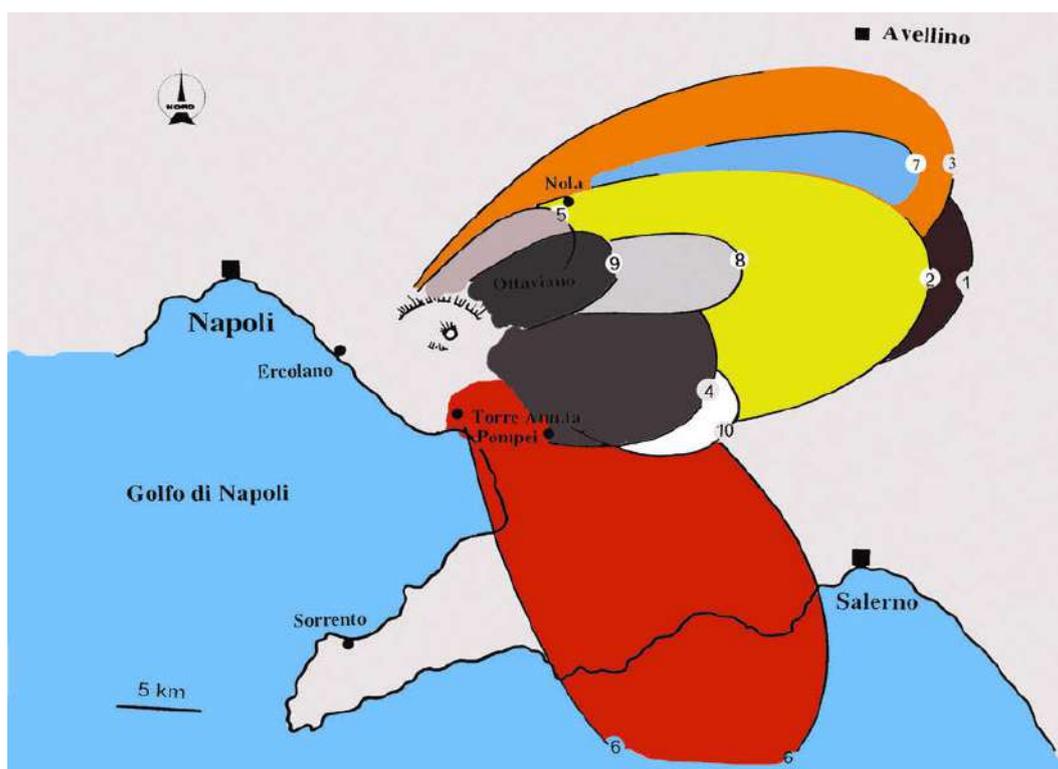
<sup>1</sup> Mastrolorenzo et alii, 1999, 2001a, b, 2002a, b; Mastrolorenzo, Petrone, 2000, 2002a, b, c; Fedele, Petrone, 1999; Petrone, Fedele, 2002.



**Fig. 1 - Immagine da satellite della piana campana dominata a Sud-Est dal complesso vulcanico del Somma-Vesuvio**

Mentre i depositi da flusso piroclastico dell'eruzione delle Pomici di Avellino (Fig. 5) occupano essenzialmente i settori da Ovest a Est-Nord-Est, quelli relativi all'eruzione del 79 AD (Fig. 6) interessano i settori a Sud e Sud-Est del Somma-Vesuvio. Per questo motivo nei settori interessati dai depositi dell'eruzione più antica sono preservati integralmente siti dell'età del Bronzo, mentre nelle aree sepolte dai depositi del 79 AD si preservano i siti di età imperiale.

Le recenti ricerche condotte nei siti già disponibili e la realizzazione di nuovi scavi ha consentito lo studio integrato di evidenze stratigrafiche, tafonomiche, biologiche e vulcanologiche, finalizzato alla comprensione della dinamica dei processi eruttivi e deposizionali e degli effetti su strutture abitative, manufatti, oggetti, persone, animali e vegetali, nonché di aspetti quali l'utilizzazione delle risorse naturali e le caratteristiche degli insediamenti sul territorio, ivi comprese le strutture abitative e produttive (Figg. 7, 8 e 9).



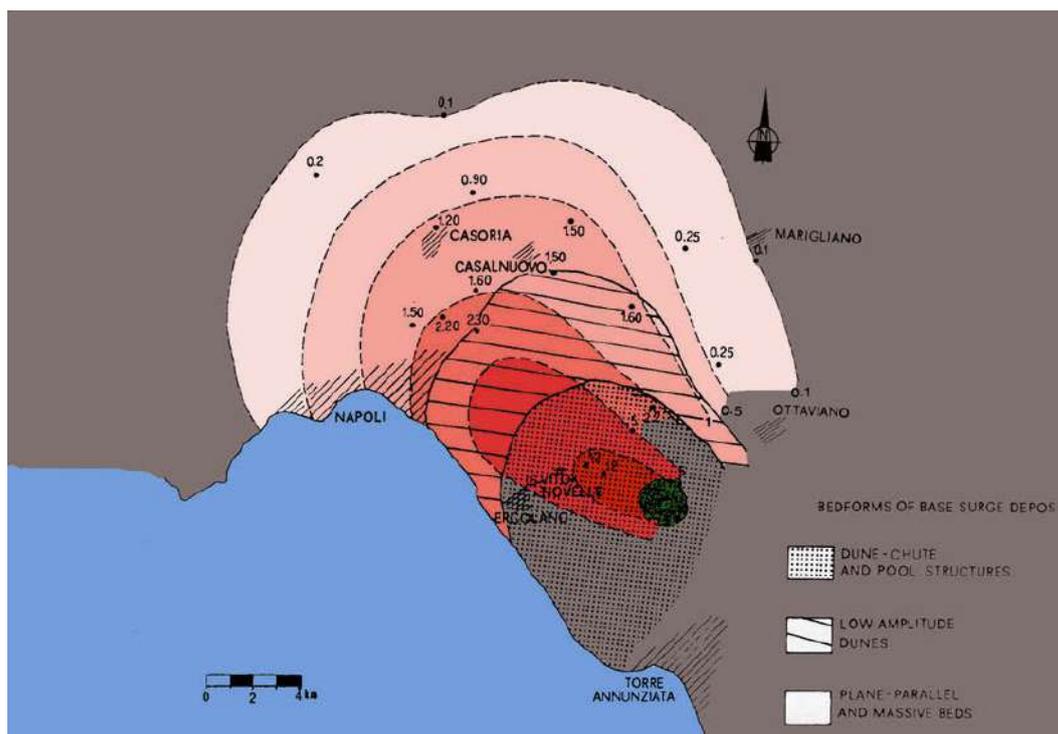
**Fig. 2 - Isopache dei depositi di lapilli da caduta (pyroclastic fall) di alcune delle eruzioni esplosive (pliniane, subpliniane e parossistiche finali dei cicli recenti) del Somma-Vesuvio. Le formazioni piroclastiche riportate sono: 1. pliniana di Sarno; 2. pliniana di Ottaviano; 3. pliniana di Avellino; 4. subpliniana protostorica A; 5. subpliniana protostorica B; 6. pliniana di Pompei; 7. subpliniana di Pollena; 8. subpliniana del 1631; 9. parossistica finale del 1906; 10. parossistica finale del 1944**

## Studio dei siti e risultati

Per l'analisi degli effetti connessi alle diverse fasi delle eruzioni pliniane (pyroclastic fall, surge e flow) sono stati selezionati siti dell'area nolana e napoletana per l'eruzione dell'età del Bronzo e siti dell'area ercolanese e pompeiana per l'eruzione del 79 AD.

Lo studio di tali siti è stato effettuato, sia a livello di macro che di micro-stratigrafie, mediante l'uso di tecniche di indagine di dettaglio che hanno consentito l'individuazione delle relazioni tra stratigrafie vulcaniche e stratigrafie archeologiche, con specifica attenzione alle singole unità e alle strutture deposizionali dei prodotti vulcanici e dell'interazione con le evidenze archeologiche, bioarcheologiche e bioantropologiche (Fig. 10).

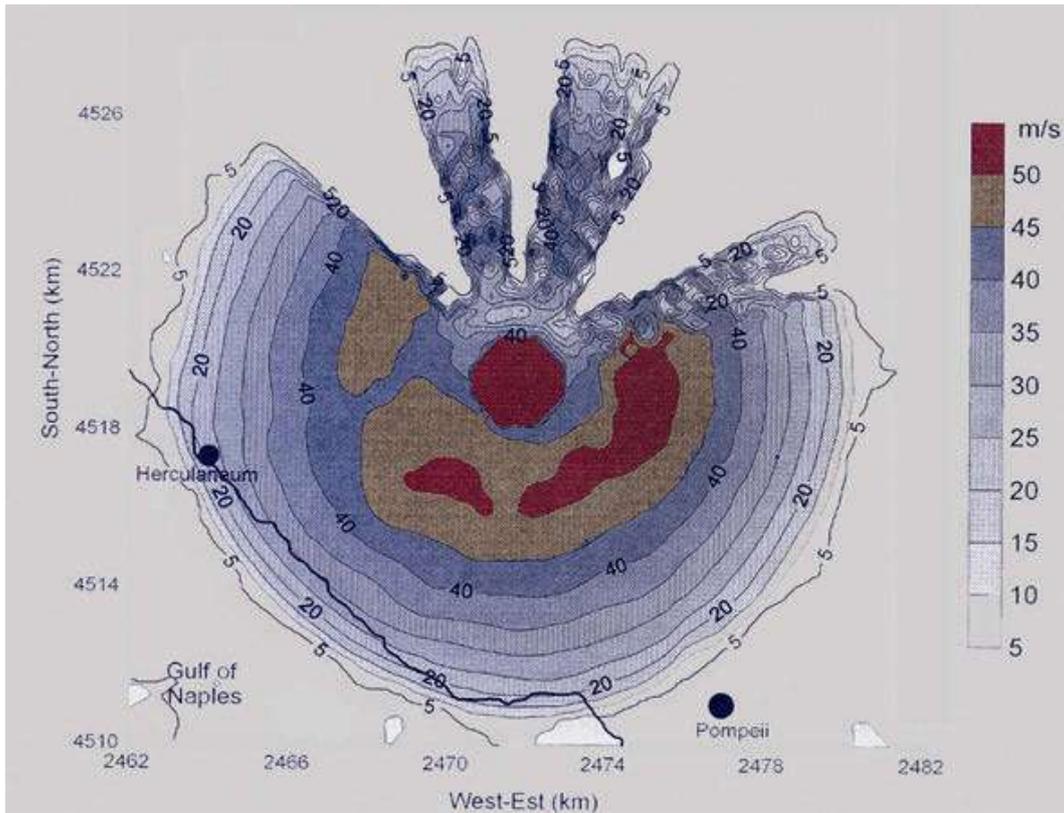
Il primo risultato di queste ricerche è stato quello della valutazione delle differenze tra gli effetti indotti dalla fase di pomici da caduta e gli effetti relativi al passaggio e la deposizione dei flussi piroclastici, sia sulle strutture e gli oggetti, sia sulle vittime umane e animali. Alla sostanziale analogia fra la sequenza degli eventi nelle due eruzioni e le tipologie dei prodotti fanno riscontro analoghi effetti sui siti.



**Fig. 3 - Isopache dei depositi da flusso piroclastico (pyroclastic flow e pyroclastic surge) della formazione delle Pomice di Avellino (modificata da Rolandi et alii, 1993). Gli spessori del deposito, indicati in cm, decrescono regolarmente con un asse di dispersione principale orientato Nord - Nord-Ovest. L'isopaca più esterna, che comprende il deposito a granulometria più fine, si estende fino all'area nolana**

Contrariamente al seppellimento sotto coltri di pomice che preserva intatte le strutture, gli oggetti in materiale inorganico e gli scheletri delle vittime, senza traccia alcuna di materiale organico, la deposizione di pyroclastic flow e surge, soprattutto nelle aree distali, preserva integralmente la forma, la dimensione e la posizione di materiali e corpi e talvolta anche residui organici di essi. Per questo motivo i depositi da flusso, soprattutto quelli di granulometria fine e posizionati in siti distali rispetto al vulcano, sono eccellenti indicatori degli effetti meccanici e termici della deposizione.

Nel caso del villaggio dell'Antica Età del Bronzo di Nola, l'effetto combinato della deposizione di oltre 1 m di lapillo e del successivo flusso piroclastico, di spessore variabile tra circa 10 e 60 cm, ha consentito la preservazione delle impronte di gran parte delle strutture interne ed esterne delle capanne, nonché degli oggetti presenti al loro interno (Fig. 11). Analogamente ad Ercolano l'effetto aerodinamico indotto dalla topografia della città sulla nube piroclastica ne ha causato il rapido e massivo accumulo (spessore compreso tra pochi centimetri e circa un metro) sulla spiaggia e, in modo particolare, nei forni ad essa antistanti, dove negli ultimi due decenni sono stati rinvenuti circa 300 scheletri delle vittime dell'eruzione (Fig. 12).



**Fig. 4 - Simulazione numerica della distribuzione areale dei principali pyroclastic flow e surge dell'eruzione del 79 AD, basata sul rilevamento di campagna dei limiti dei depositi (modificata da Rossano et alii, 1998)**



**Fig. 5 - Sequenza di pyroclastic flow e surge della fase finale dell'eruzione delle Pomici di Avellino nella cava di Novelle presso Nola. L'alternanza di livelli massivi e livelli ondulati e a stratificazione incrociata testimonia la variabilità del regime deposizionale nel corso dell'eruzione**



**Fig. 6 - Sequenza di lapilli da caduta a granulometria più grossolana e livelli da pyroclastic flow e surge, prevalentemente cineritici, dell'eruzione del 79 AD nel sito archeologico di Oplonti**



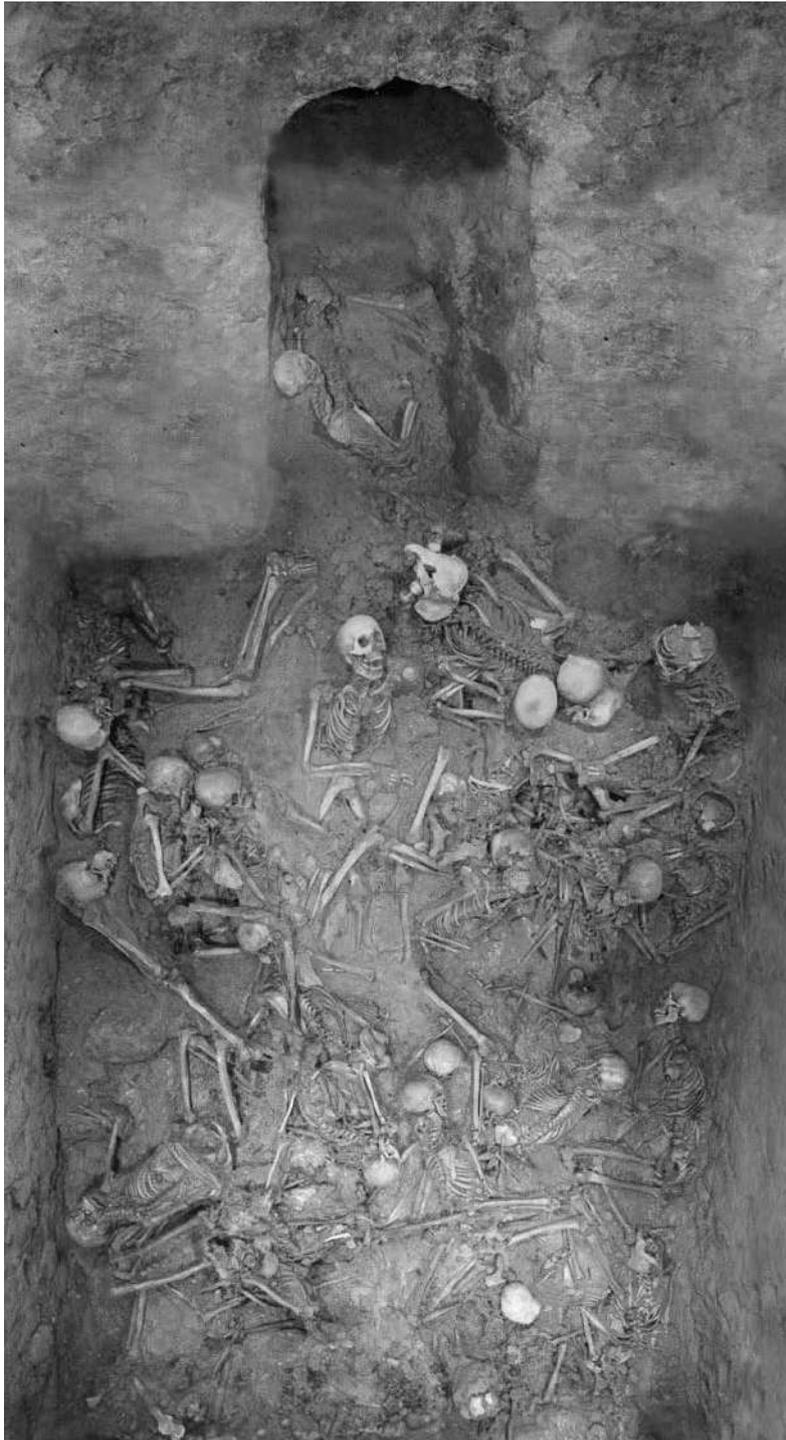
**Fig. 7 - Sequenza del deposito di lapilli da caduta, parzialmente rimaneggiati, dei surge e delle alluvioni associati all'eruzione delle Pomice di Avellino nel sito dell'Antica Età del Bronzo a Nola. Alla base è visibile il livello antropizzato con le tracce dei buchi di palo di una delle capanne rinvenute**



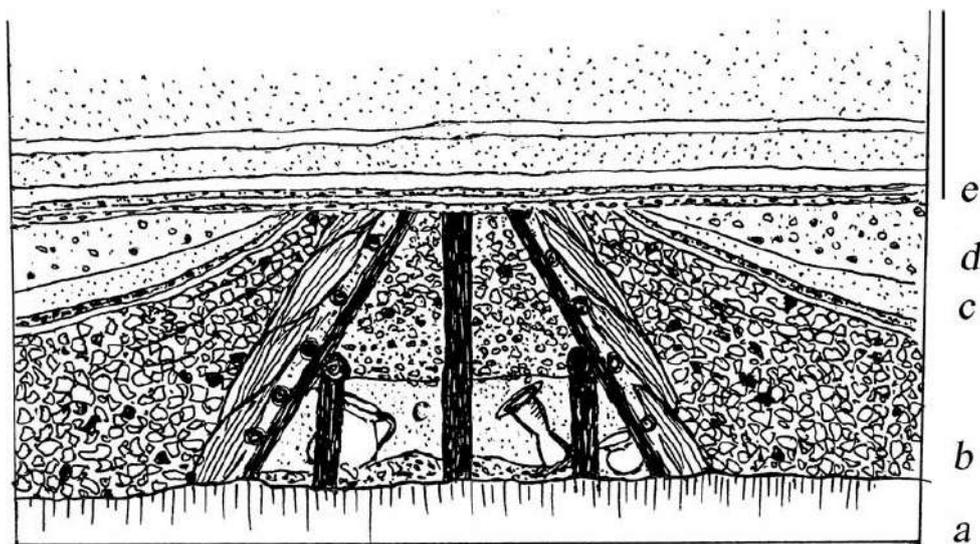
**Fig. 8 - Sequenza di circa 3 m di spessore, costituita dalle pomici bianche, dalle pomici grigie e dai primi due surge dell'eruzione del 79 AD a Pompei. Nelle pomici bianche sono inglobate alcune grandi olle, mentre nei surge è stato rinvenuto un gruppo di vittime**



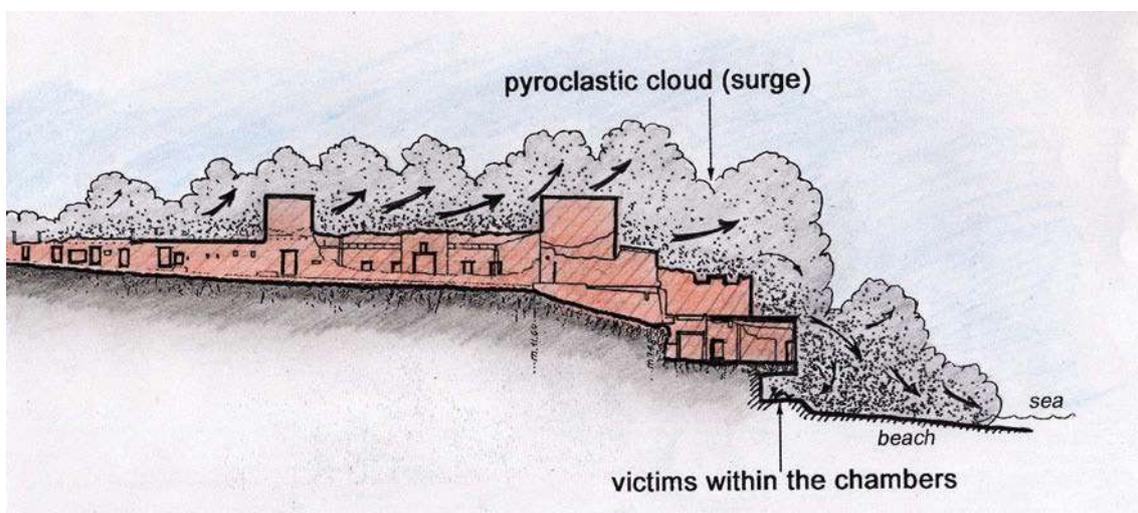
**Fig. 9 - Particolare di due vittime, un adulto ed un infante, del primo surge nel fornice 10 ad Ercolano. Gli scheletri, perfettamente preservati nella massa cineritica, conservano le loro posizioni originali al momento dell'impatto con la nube ardente**



**Fig. 10 - Scheletri delle vittime dell'eruzione del 79 AD nel fornice 10 ad Ercolano. Lo studio della posizione assoluta dei corpi e quella relativa dei singoli elementi ossei mostra l'assenza di impatto meccanico e l'istantaneità della morte, dovuta all'effetto dell'elevatissima temperatura**



**Fig. 11 - Stratigrafia vulcanica nel villaggio dell'Antica Età del Bronzo a Nola. a) Paleosuolo antropizzato; b) livello da lapilli da caduta dello spessore di circa 1 m; c) pyroclastic surge principale massivo cineritico, di spessore variabile tra 10 e 60 cm (gli spessori maggiori sono presenti all'interno delle capanne); d) livello alluvionale massivo, ricco di limo e immediatamente post-eruttivo; e) sequenze piroclastiche di eventi successivi in epoca protostorica**



**Fig. 12 - Sezione della città di Ercolano, lungo il terzo cardo. È rappresentata la nube piroclastica che avanza sulla città, depositandosi prevalentemente sulla spiaggia e nei fornici, nell'area suburbana**

I processi di trasporto e gli effetti legati all'impatto, all'inglobamento e all'esposizione all'alta temperatura e/o ad ambienti anomali dal punto di vista chimico-fisico sono registrati nel deposito e possono essere valutati attraverso analisi integrate dei depositi

piroclastici e dei reperti inglobati. In particolare lo studio degli effetti della deposizione da surge massivi e a grana fine nelle zone distali derivanti dal collasso della nube pliniana evidenzia sia ad Ercolano che a Nola caratteri di messa in posto quasi in massa da nubi turbolente a velocità moderata e caratterizzate da rapido irrigidimento post-deposizionale.

Tali caratteri, rilevati nei siti indagati e comuni ad una tipologia di flussi piroclastici diluiti (pyroclastic surge) sono stati studiati in dettaglio dal punto di vista stratigrafico, granulometrico, della morfologia dei granuli e di tutte le evidenze relative alla temperatura di deposizione e alle proprietà meccaniche della sospensione gas-particelle in condizioni predeposizionali e deposizionali (Figg. 13 e 14).

In particolare per Ercolano le evidenze biogeoarcheologiche relative alla deposizione ad alte temperature e limitata turbolenza dei flussi piroclastici diluiti sono consistenti con valutazione su base paleomagnetica<sup>2</sup> e sedimentologica<sup>3</sup>. Infatti le temperature deposizionali dell'ordine di 500 °C (stimate su base paleomagnetica) e le velocità minime, inferiori ad 1 m/s, stimate su base sedimentologica e sufficienti ad impedire la gradazione nel deposito a granulometria fine, sono in accordo con tutte le altre evidenze bioarcheologiche e geoarcheologiche di esposizione ad alta temperatura e trascurabili effetti meccanici<sup>4</sup>.

A differenza di Ercolano, i flussi piroclastici che hanno seppellito il villaggio di Nola, caratterizzati da granulometria ancora più fine, presentano evidenze di trascurabili effetti termici e meccanici. Queste differenze in eventi simili derivano dalla diversa distanza dalla colonna eruttiva dei due siti studiati, rispettivamente pari a 6 km per Ercolano e a circa 13 km per Nola<sup>5</sup>.

Analogamente alle evidenze rilevate presso l'area della spiaggia di Ercolano, anche nel sito di Nola i caratteri stratigrafici del deposito da surge sono fortemente controllati dalle strutture (capanne e rilevati). Cospicue variazioni di spessore e transizioni da facies massive ad ondulate indicano che a causa della bassa velocità di avanzamento anche strutture di qualche metro di altezza inducevano significative perturbazioni al flusso, causando modificazioni di regime e di rapidità di accumulo che venivano registrate nel deposito<sup>6</sup>.

La messa in posto relativamente tranquilla dei flussi piroclastici nei due siti indagati ha reso possibile il totale riempimento delle cavità e la risultante preservazione integrale non solo dei reperti ma anche delle impronte di strutture di materiali organici (pali in legno, coperture in paglia, resti di alimenti). La granulometria fine e omogenea associata all'elevato tasso deposizionale è risultata essere uno dei fattori determinanti per la registrazione di dettagli a scala millimetrica, nonché dell'esatta posizione originale anche di oggetti di piccole dimensioni. Tali evidenze, raramente disponibili nei siti interessati da eruzioni vulcaniche esplosive, costituiscono evidenze oggettive per la valutazione dei valori dei parametri fisici dei flussi piroclastici.

---

<sup>2</sup> Mastrolorenzo et alii, 2001a, 2002b; Incoronato et alii, 1998.

<sup>3</sup> Freundt e Schmincke, 1995.

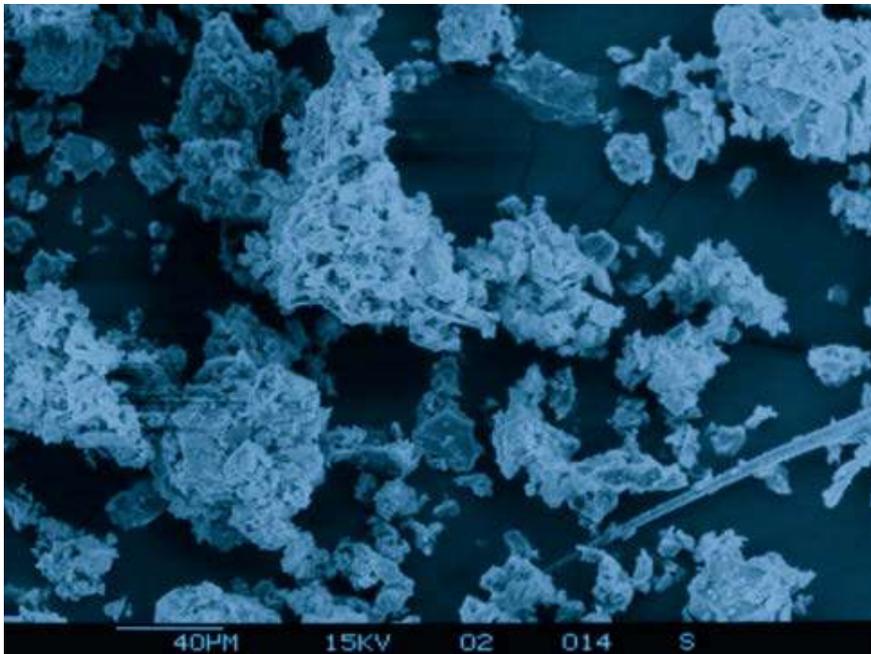
<sup>4</sup> Mastrolorenzo et alii, 1999, 2001a, 2002b; Mastrolorenzo, Petrone, 2000; Petrone, Fedele, 2002.

<sup>5</sup> Mastrolorenzo, Petrone, 2002a, b, c.

<sup>6</sup> Mastrolorenzo, Petrone, 2002b, c.



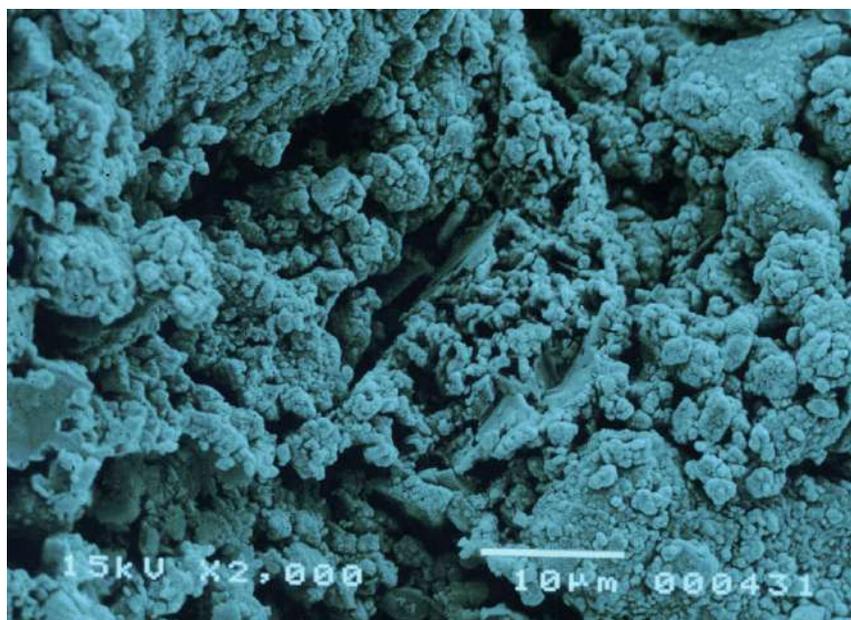
**Fig. 13 - a) Deposito massivo cineritico fine del primo surge, con a tetto il deposito del secondo surge, più grossolano e privo di materiale fine, presso l'antica spiaggia di Ercolano**



**Fig. 13 - b) Immagine al microscopio elettronico a scansione (SEM) delle ceneri fini vescicolate del primo surge**



**Fig. 14 - a) Sequenza stratigrafica della formazione delle Pomici di Avellino a Nola. A tetto dello strato di pomici da caduta dello spessore di circa 1 m è visibile lo strato cineritico, debolmente stratificato del surge principale, dello spessore di circa 12 cm, ricoperto dallo strato alluvionale**



**Fig. 14 - b) Immagine al microscopio elettronico a scansione (SEM) delle ceneri del surge principale della formazione di Avellino. È evidente l'elevata aggregazione dei granuli di dimensione variabile tra meno di 1  $\mu\text{m}$  e qualche decina di  $\mu\text{m}$**

Ulteriori indagini nei siti archeologici interessati da eruzioni pliniane e subpliniane, integrate con evidenze stratigrafiche e biogeoarcheologiche relative a tutta l'area di diffusione dei prodotti piroclastici nei vari contesti, parallelamente allo sviluppo di simulazioni numeriche della dispersione dei materiali da caduta e della propagazione di correnti piroclastiche (pyroclastic density currents) potranno sia migliorare le conoscenze sui processi deposizionali e sugli effetti, sia fornire elementi per la definizione di scenari eruttivi, essenziali per l'approntamento dei piani di emergenza.

## Bibliografia

Fedele F., Petrone P. P., a cura di, *Un'eruzione Vesuviana 2000 anni fa*, Fridericiana Editrice Universitaria, Napoli, 1999.

Freundt A., Schmincke H. U., Eruption emplacement of a basaltic welded ignimbrite during caldera formation on Gran Canaria, *Bulletin of Volcanology*, 56, 1995, pp. 640-659.

Incoronato A., Mastrolorenzo G., Pagano M., Spina G., Determinazione delle temperature di deposizione, mediante procedure paleomagnetiche, di piroclastiti del 79 AD ad Ercolano, *Le scienze della Terra e L'Archeometria*, a cura di C. D'Amico e C. Albore Livadie, Napoli, 1998, pp. 95-98.

Mastrolorenzo G., Petrone P. P., Studi scientifici sull'eruzione e i suoi effetti, *Gli Antichi Ercolanesi, Antropologia, Società, Economia*, a cura di M. Pagano, Electa, Napoli, 2000, pp. 51-59.

Mastrolorenzo G., Petrone P. P., Effects of Plinian eruptions of Somma-Vesuvius on people, animals, structures and objects: inferences from Avellino (3760 BP) and Pompeii (79 AD) events, *27th General Assembly Nonlinear Geophysics and Natural Hazards, European Geophysical Society, Abstracts*, Nizza, France, 2002a.

Mastrolorenzo G., Petrone P. P., La ricerca biogeoarcheologica in Campania, *Vesuvio 79 AD. Vita e morte ad Ercolano*, a cura di P. P. Petrone e F. Fedele, Fridericiana Editrice Universitaria, Napoli, 2002b, pp. 23-28.

Mastrolorenzo G., Petrone P. P., Emplacement and effects of Avellino (3760 BP) and Pompeii (79 AD) eruptions pyroclastic density currents, *Montagne Pelée 1902-2002. Explosive Volcanism in Subduction Zones*, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI), Abstracts, Saint Pierre, Martinique, 2002c.

Mastrolorenzo G., Petrone P. P., Pagano M., Incoronato A., Balasco A., Fattore L., Canzanella A., AD 79 eruption of Vesuvius (Italy): emplacement mechanisms of pyroclastic flows and related effects on structures and people, *24th General Assembly*

*Nonlinear Geophysics and Natural Hazards, European Geophysical Society, Geophysical Research, Abstracts, Den Haag, Nederland, 1999, p. 856.*

Mastrolorenzo G., Petrone P. P., Pagano M., Incoronato A., Baxter P. J., Canzanella A., Fattore L., Herculaneum victims of Vesuvius in AD 79, *Nature*, 410, 2001a, pp. 769-770.

Mastrolorenzo G., Petrone P. P., Incoronato A., Pagano M., Fergola L., Effects of the AD 79 Vesuvius Plinian eruption in the buried cities of Herculaneum, Oplontis and Stabiae from an integrated volcanological, anthropological and archaeological study, *XI Conference of the European Union of Geosciences, Abstracts, Strasbourg, 2001b.*

Mastrolorenzo G., Palladino D. M., Vecchio G., Taddeucci J., The 472 AD Pollena eruption of Somma-Vesuvius (Italy) and its environmental impact at the end of the Roman Empire, *Journal of Volcanological and Geothermal Research*, 113, 2002a, pp. 19-36.

Mastrolorenzo G., Petrone P. P., Pagano M., Incoronato A., Baxter P. J., Canzanella A., Fattore L., The AD 79 Vesuvius Plinian eruption at Herculaneum and its impact on the people, *Tephros. Chronology, Archaeology, 2001*, a cura di E. Juvigné e J. P. Raynal, CDERAD Editeur, 2002b, pp. 183-189.

Petrone P. P., Fedele F., a cura di, *Vesuvio 79 AD. Vita e morte ad Ercolano*, Fridericiana Editrice Universitaria, Napoli, 2002.

Rolandi G., Mastrolorenzo G., Barrella A. M., Borrelli A., The Avellino plinian eruption of Somma-Vesuvius (3760 BP). The progressive evolution from magmatic to hydromagmatic style, *Journal of Volcanological and Geothermal Research*, 58, 1993, pp. 67-88.

Rossano S., Mastrolorenzo G., De Natale G., Computer simulation of pyroclastic flows on Somma-Vesuvius volcano, *Journal of Volcanological and Geothermal Research*, 82, 1998, pp. 113-137.



Edito dall'ENEA  
Funzione Centrale Relazioni Esterne  
Unità Comunicazione  
Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma  
*www.enea.it*

Edizione del volume a cura di Giuliano Ghisu  
Stampa: Primaprint (Viterbo)  
Finito di stampare nel mese di settembre 2006