

UNIVERSITA DEGLI STUDI DI SASSARI

DISSERTAZIONE PER IL
DOTTORATO IN BIOLOGIA AMBIENTALE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI, 2008

***Strategie per il monitoraggio e la
conservazione della fauna ipogea in alcuni siti
della Sardegna***

Candidato:

Paolo Marcia

Tutor:

Prof. Achille Casale

Supervisore:

Prof. Marco Apollonio



UNIVERSITY OF SASSARI

DISSERTATION FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN
ENVIROMENTAL BIOLOGY
UNIVERSITY OF SASSARI, 2008

***Strategies for monitoring and conservation of
troglobitic endemic fauna in some
subterranean sites of Sardinia***

Candidate:

Dr. Paolo Marcia

Tutor:

Prof. Achille Casale

Supervisor:

Prof. Marco Apollonio

Abstract	1
Riassunto	2
1. INTRODUCTION	3
1.1. VALUES OF KARST	4
1.2. THREATS	6
1.3. BIOSPELEOLOGY	7
1.3.1. Why Subterranean Biodiversity is Important	8
1.3.2. Importance of troglobitic fauna endemic to Sardinia	8
2. AIMS OF THE THESIS	
2.1. Strategies for the conservation of troglobitic fauna endemic to Sardinia and its environment	13
2.2. Larval morphology and biological cycles of troglobitic beetles	
2.2.1. <i>Sardaphaenops adelphus</i>, larval morphology	14
2.2.2. <i>Speomolops sardous</i>, larval morphology	15
2.2.3. <i>Ovobathysciola</i> spp., larval morphology	16
2.2.4. The study of reproductive “K” strategy in <i>Speomolops sardous</i>	17
2.2.5. Monitoring of temperature variations in show caves	18
References concerning aims of the thesis	20
3. Papers	33
I. Conservation biology in Sardinian caves	34
II. Larval morphology of <i>Sardaphaenops adelphus</i> Casale, 2004, a highly specialized troglobitic beetle endemic to Sardinia (Coleoptera, Carabidae)	42
III. Morphology and way of life of the larval stages of <i>Speomolops sardous</i> Patrizi, 1955, a cave dwelling molopine beetle endemic to Eastern Sardinia (Coleoptera, Carabidae)	52
IV. Aspetti morfologici e funzionali dell’apparato riproduttore di <i>Speomolops sardous</i> (Coleoptera, Carabidae)	70
V. La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna	87
VI. Fluctuations of air temperature in show caves in order to assess the anthropogenic impact on subterranean animal species	101

VII. <i>Sardulus sacerensis</i> Casale & Marcia, nuova specie ipogea di Coleotteri Isteridi della Sardegna nord-occidentale e sua morfologia larvale (Coleoptera, Histeridae)	108
4. Additional Results	126
4.1 Publications and researches in progress	130
4.2. Tables	133
5. Conclusions	136
Acknowledgements	137

Abstract

From the biogeographic and biospeleological points of view, the subterranean fauna of Sardinia is one of the most interesting in the Mediterranean area: very rich in taxa, mostly endemic and highly specialised, it is apparently well known and currently investigated. Nevertheless, the amount of unexpected discoveries is still increasing every year.

In the present thesis, at first, owing to the general low interest of the public for the protection of invertebrate endemic, troglobitic organisms, we have selected among the endemic vertebrate species protected by European, national and regional laws, those that should be helpful - as "Umbrella Species" – for the conservation of this very important natural heritage. The choice of the genus *Speleomantes* (Amphibia, Plethodontidae) showed how many endemic organisms could be protected with the conservation of the karst areas where these Amphibians are present (in particular, in Sulcis-Iglesiente and Nuorese areas).

The second phase consisted in the study of larval morphology and natural history of some species of troglobitic beetles. Their larvae, in fact, seem to be much more vulnerable than adults to the anthropogenic impact in caves.

Finally, the yearly temperature variations in Bue Marino cave (Dorgali, Eastern Sardinia), the most visited show cave in Sardinia, have been monitored with the aim of increasing our knowledge of the touristic impact on subterranean animal species.

During the samplings in the field, several troglobitic organisms, new for the Science, or never previously reported from some caves, have been discovered and in part described, showing how scarce is our knowledge of the subterranean Biodiversity in the island, compared with the real potential of the Sardinian karst.

Riassunto

Da un punto di vista biogeografico e biospeleologico, la fauna sotterranea della Sardegna è una delle più interessanti nell'area mediterranea: molto ricca di taxa, in gran parte endemici e altamente specializzati, essa è apparentemente ben conosciuta e oggetto di regolari ricerche. Tuttavia, il numero delle scoperte inattese aumenta ancora di anno in anno.

Nella presente tesi, in primo luogo, dato lo scarso interesse generale dell'opinione pubblica nei confronti della protezione di organismi invertebrati, troglobi ed endemici, si sono scelte tra le specie endemiche di vertebrati protette da leggi europee, nazionali e regionali, quelle potenzialmente utili – come “Specie Ombrello” - per la protezione di questo importantissimo patrimonio naturalistico. La scelta del genere *Speleomantes* (Amphibia, Plethodontidae) ha dimostrato quanti organismi invertebrati endemici potrebbero essere protetti con la conservazione delle aree carsiche dove tali Anfibi sono presenti (in particolare, nel Sulcis-Iglesiente e nel Nuorese).

La seconda fase è consistita nello studio della morfologia larvale e della biologia di alcune specie di Coleotteri troglobi. Le loro larve, infatti, paiono essere molto più vulnerabili degli adulti nei confronti dell'impatto antropico sulle grotte.

Infine, sono state monitorate le variazioni annuali di temperatura all'interno della Grotta del Bue Marino (Dorgali, Sardegna orientale), che è la più visitata grotta turistica della Sardegna. Lo scopo è stato quello di incrementare le nostre conoscenze relative all'impatto turistico sulle specie animali presenti.

Durante i campionamenti sul terreno sono stati scoperti, e in parte descritti, diversi organismi troglobi nuovi per la Scienza, o mai citati prima di alcune grotte, dimostrando così quanto scarse siano le nostre conoscenze sulla fauna ipogea dell'isola, in confronto con le reali potenzialità delle aree carsiche presenti.

1. INTRODUCTION

The Italian Speleological Dictionary defines the hypogean environment as “The larger underground environment, with particular reference to the cavities that can be travelled by humans” (Balbiano et al. 2004). A full definition of hypogean environment from the biospeleological point of view involves ecological parameters like trophic resources, subterranean meteorology, nature of soils and geo-morphology of the environment, taking into account that also small micro-cavities can be easily colonized by small organisms.

People commonly think that organisms founded in cave live only in these environments, but many species actually live in the adjacent interstitial environment, from which irregularly they reach larger caves. For this reason, many representatives of the subterranean fauna are rather rare, sometimes known on single individuals never found again. The speleologist enters very rarely in small caves like bugs, and this fact limits the chance of a contact with some subterranean organisms. However, there is a particular fauna that always needs the subterranean environment, because its way of life needs a large space: for example, spiders for to weave their cobwebs, troglophile crickets for their particular walking, some species of winged dipters and trichopters, and some bats.

The phreatic environment is the zone instead influenced by the groundwater stratum; it is often subject to seasonal variations of level as a result of meteorological contributions and it interests mainly the aquatic fauna. Rains, in particular, exercise a remarkable action of water connection between several epigeal and hypogean systems and determine one greater hygrometric uniformity favouring these contacts. Therefore, the hypogean environment is only one component of the more vast and complex ecosystem of the subterranean world that is the underground, populated by highly specialized organisms. This exclusive habitat includes areas like endogean, cracks, microcaves, interstitial, artificial cavities, as well as what the French authors call "Milieu Souterrain Superficiel" (MSS, from the first cm of soil until few meters: Juberthie et al., 1980). Among all these areas there are significant differences in living space at the species disposal: for example, between the endogean and the cavernicolous species, the space is minimal in the former case and maximum in the latter. This condition (size of suitable space) is essential for the body size and general morphology of the species, and its influence is very different, if compared to

the physiological adaptations, dictated above all by abiotic characteristics such as humidity, high thermal stability and absence of light. (Serena 2003)

1.1. VALUES OF KARST

Karst is a resource of regional, national and international significance. It is valued for its:

- **association with local ancient culture**
- **unique attributes of natural heritage**
- **importance for natural history research**
- **utility for recreation and tourism**
- **role in the supply of water**

Ancient cultural values

In Ancient culture, the Earth Mother, one of the Primal Parents, is personified in all land, including karst. She nurtures people, and provides the shelter, warmth, food and protection that has enabled people to exist and to continue to prosper.

Caves were places of healing, learning, instruction and security for the families of those undertaking the higher aspects of learning; they are places to congregate, to receive or give wise counsel, and places of refuge in hard times.

Some caves or rock shelters also contain writings. These writings are sometimes colloquially referred to as “rock art”, and are statements of claim to being of people who existed in other times, words of the past, containing meanings or messages for people to see and understand.

Karst areas are also important burial places. These burial sites are, however, not just convenient holes or spaces for putting deceased people.

Natural heritage values

Some plants and animals are restricted to limestone and/or marble. Many of these favour such calcareous habitats independently of whether or not any karst formation is present. Karst surface landforms provide a variety of habitats for plant species that are restricted to or favour growing on calcareous soils. They also provide refuges for species that were once more widely spread throughout the landscape.

Caves provide habitats or shelter for a suite of animal species with varying degrees of reliance on or adaptation to dark, cool, moist conditions with low daily variability.

Of particular interest are the “troglobites”, species which are wholly adapted to subterranean environments and cannot survive elsewhere.

Research values

Some parts of some cave systems are not affected by the deteriorative effects of climate and erosion as the surface and this fact, in combination with their cool, relatively stable temperatures, offer an extraordinary conservative environment to the scientists.

The structure, form and age of these sites and the fragments that they contain (such as sediments, fossils and human artefacts) can be related to such phenomena as past sea levels, earth movements, and erosional cycles. These “time vaults” are important sites for geological, geomorphological, palaeontological and climatological studies.

Bones of amphibians, reptiles, birds and mammals are commonly found in caves. The relatively high calcium content and constant microclimatic conditions of caves make them ideal depositories for the long-term preservation of vertebrate bones. Some caves also contain remains of fossil invertebrates, often of previously unknown or locally extinct species.

On the other hand, in some caves the natural processes of erosion of the limestone sometimes expose fine examples of fossils that would otherwise be hidden.

Caves may also have well defined boundaries, zones or habitats which make them excellent natural laboratories for studying and analysing processes such as adaptation, the structure and function of ecosystems, the reactions of ecosystems to induced changes, and microclimatological studies.

Caves contain many types of secondary mineral deposits, known as speleothems (for example stalactites and stalagmites). Speleothems are one of the major terrestrial sources of palaeoclimate information. Most speleothems are formed mainly from calcite, the most common crystalline form of calcium carbonate, which is the main chemical component of limestone and marble. Aragonite and gypsum speleothems are also common.

Recreational and tourism values

Karst areas are highly valued for recreation and tourism by many visitors. Scenic drives, heritage trails, short walks and roadside amenities all facilitate and contribute to the enjoyment derived from being in these environments.

Large numbers of people also visit caves each year, appreciating their awe-inspiring vaults and caverns and regarding the stalactites and stalagmites and other rock formations. Tourism in caves, such as the Sardinian show caves, is internationally and nationally significant. For example, since many years the Bue Marino cave is one

of the top natural attractions and tourist destinations in Sardinia. Other major recreational activities are rock climbing and caving. Both of these activities are rapidly increasing in popularity and placing increasing pressure on karst and caves.

Water supply

In some karst areas the water issuing from caves and springs is an extremely important local resource. The integrity and sustainability of water supplies depends on knowledge and appropriate management of surface sources and associated subterranean drainage patterns.

1.2. THREATS

Habitat alterations, such as increases in sediment and nutrient loads are able to cause great damage to cave species. Because resources are scattered in the cave environment, many cave-dwelling species grow exceptionally slow and have very low reproductive rates, making them especially vulnerable. Since cave animals live much longer than their surface counterparts, they have a longer time to accumulate toxins in their bodies, such as heavy metals. Because many troglobitic species are known in a very small number of individuals and in very few caves, any loss of habitat can mean the extinction of that species (Casale,1999).

Common threats faced by subterranean species include:

Deforestation: This reduces forage area for bats and other species that leave the cave, such as crickets.

Deforestation also increases sedimentation in cave streams affecting aquatic species and reduces the inflow of organic debris that support many terrestrial cave species.

Development: Runoff from roads, the use of lawn care products, failing septic systems and sewage plants introduce toxins as well as nutrients that can unbalance species composition. Also in many cases sinkholes (critical for organic input) are filled in and cave entrances are blasted shut.

Visitation: visitation at inappropriate times can disturb hibernating bats or nursery colonies where females raise young bats. Furthermore, any modification of environmental conditions (light, humidity and temperature), is potentially able to strongly damage troglobitic species, highly adapted to a very stable environment.

1.3. BIOSPELEOLOGY

"Biospeleology" investigates the several biocenoses of the underground compartments and, in particular, those of the karstic (hypogean and endogean) environment, and its neighbouring zones. By extension, this science studies also those species which show adaptations to the subterranean life, such as certain crustaceans and other invertebrates that live under sand in coastal marine environments.

The life in the dark is not suitable for humans, because we are accustomed to estimate by means of the sight the distances and to adjust our movements to the environment that we perceive around us. The situation of an individual that fall suddenly in the dark, in a extraneous and mysterious environment, generates apprehension and disorientation. For this reasons, a lot of legends about fantastic monsters, dragons and ghosts have been born around to the natural cavities in the course of the history.

We must wait the 1689 for having the first document dealing with a troglobitic entity; as a matter of fact: in that year, the baron Johann Weichard Valvasor described the finding of an animal called "Dragon" by the popular fantasy and that periodically, with the floods, was carried outside from its hypogean environment by the waters.

In 1768 Laurenti, in a paper entitled "Il Dragone" ("The Dragon"), described this blind amphibian and attributed to it the scientific name with which still today it is known: *Proteus anguinus*.

The first true scientific study having as object the "*Proteus*", dated 1829, were carried out by Configlianchi and Rusconi.

The modern biospeleology began in 1831 with the discovery, made by an Austrian naturalist, the count Franz von Hohenwart, of the first troglobitic insect *Leptodirus hochenwartii* Schmidt, 1832, a Cholevidae beetle highly adapted to the hypogean environment.

The term "BIOSPELEOLOGY" has been coined by Viré in 1904: the successful beginning of researches that characterized the end of the 19th century led to an active search on the field, with discoveries and descriptions of many new species adapted to the hypogean environment to different degrees. However, many animals that were found accidentally in caves, were considered wrongly "cavernicolous".

Racovitza, a Rumanian naturalist, is considered the father of the modern biospeleology. In 1907 he published his ideas on how perform proper researches that

constituted the basis of studies that have been developed in the first half of the 20th century. At that time, the first underground laboratories were built, and, specifically, the first one was equipped by Viré in Paris; unfortunately, a flood of the Seine destroyed it in 1910. Later, the most famous subterranean laboratory was equipped by the great French entomologist René Jeannel in Moulis (Pyrenees), presently still working as CNRS structure.

The studies made in both superficial underground and hypogean environments, gradually, proved that many species, apparently exclusively hypogean, live also in those portions of the ground that resembles environmental characteristics comparable to those of the caves (deep soil, crevices, fissures).

Finally, the biospeleological and biogeographical studies allowed recently to make clear many aspects of the geologic history of the territories in which they have been carried out.

1.3.1. Why Subterranean Biodiversity is Important

The caves of the world may be found in many places, such as glaciers and lava fields, but the major cave-bearing landscape is karst, a term for lands whose bedrock has been hollowed out over the ages from the slow enlargement of cracks by acidic rainwater.

Karst landscapes are found on every continent, and the groundwater they contain are the world's most important water reserves.

Karst habitats comprise 20% of the Earth's land surface, and some thousands animal species are known so far from these habitats only.

1.3.2. Importance of troglobitic fauna endemic to Sardinia

From the Regional Speleological Cadastre, in Sardinia there are more than 3000 caves explored so far. Some of them are large subterranean systems of several kms in length, and some reach more than 300 m of depth.

The first animal reported from a cave in Sardinia by Cetti (1774) was an unidentified bat, but the first troglobitic animal discovered was the beetle *Ovobathysciola gestroi*, found in 1871 by the entomologist Raffaello Gestro in the Su Marmuri Cave (Ulassai) and described by Fairmaire in 1872. At the end of the 19th century, 10 animal species

were known in caves of the island. A first list of 17 specific taxa was produced by R. Gestro in 1904 (Gestro 1904)

With the impressive increasing of biospeleological researches in the present century, and thanks to the expeditions made on the island in the 50's, Cerruti (1968) was able to list 90 subterranean species of Arthropoda. Six years later, Puddu & Pirodda (1974) redoubled this amount, and published a list of 188 species. A few years later, 336 species from Sardinian caves were known (Cassola, 1982; Grafitti et al. 1999). At present, we have an inventory of nearly 500 specific taxa. Several of them are highly specialised endemic species, and many of them are not still described (Grafitti 2001).

The study of the subterranean fauna of Sardinia is therefore doubly promising just because this is a big island and, moreover, an emerged land of high antiquity. The qualitative and quantitative analyses of this fauna allow meaningful conclusions on its origin both on a geographical and temporal scale: indeed, in the past several territorial connections have been postulated by such analyses that without the presence of some particular zoological groups hardly could be explained. The presence of many highly specialised hypogean organisms, from this point of view, has a particular significance being excluded for them the possibility of passive transport or other similar forms of colonization.

The Sardinian cave fauna is also an irreplaceable witness of the past climatic events to investigate when the adaptation to underground life occurred from epigean ancestors, and how the latter have managed to survive during the process of colonization. Briefly, the subterranean fauna is a rich and diversified assemblage of relict taxa.

In particular, Sardinia is characterised by a very complex and problematic biogeographical history, as suggested by the fact that different karst areas have markedly different subterranean fauna. The study of the Sardinian speleofauna is therefore of crucial interest for the knowledge of the history of the Tyrrhenian areas. Some subterranean species of Sardinia show clear relationships with taxa present in Provence, in the southern Iberian Peninsula as well as in Balears, and provide evidence of the Miocene microplates drift in the Tyrrhenian Sea. On the other hand, some other elements seem to be more recent immigrants from the Italian Peninsula.

In recent years, many researches at molecular level are testing these hypotheses, and provide both biogeographers and biospeleologists with new data on the phylogeny of different groups of Sardinian cave dweller organisms.

References

BALBIANO C. et al., 2004. **Dizionario Italiano di Speleologia**.273pp.

CASALE A., 1972. **Visione d'insieme del complesso ecologico e faunistico della grotta del Bue Marino (Cala Gonone,Dorgali, NU)**. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 10: 3-28.

CASALE A. (1999)- **Impatto antropico e biomonitoraggio in ecosistemi sotterranei**. Ente fauna siciliana. Atti e memorie vol. vi : 61-76.

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C.& STOCH F., 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna**. Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 27-30 aprile 2007). Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, Bologna, in press. 197-209.

CASSOLA F., 1982. **Il popolamento cavernicolo della Sardegna**. Lav. Soc. It. Biogeogr., n.s.7: 615-755.

CERRUTI M., 1968. **Materiali per un primo elenco degli artropodi speleobii della Sardegna**. Fragmenta entomologica., 5 (3), 207-257.

CETTI F., 1774. **Storia naturale della Sardegna. I. I Quadrupedi della Sardegna**. Tip. Piattoli, Sassari: XIX+218 pp.

GESTRO R., 1904. **Una gita in Sardegna, divagazioni biogeografiche**. Boll.soc.geogr.it.,4, pp 3-39.

GRAFITTI G., CASALE A., DELITALA G. & MANCA I., 1999. **Contributions to the knowledge of subterranean fauna of Sardinia: a work in progress**. Proc. XIV Intern. Symposium of Biospeleology,(Makarska, 19-26. IX. 1999): 90 (abstract).

GRAFITTI G., 2001. **La Biospeleologia in Sardegna storia e prospettive**. Atti del convegno: Il carsismo e la ricerca speleologica in Sardegna.Cagliari 23-25. X. 2001. pp 269-268.

JUBERTHIE C., BOUILLON M. et DELAY B., 1981. **Sur l'existence du milieu souterrain superficiel en zone calcaire** - Mém. Biospéol., 8: 77-93.

JUBERTHIE C., DELAY B. et BOUILLON M., 1980. **Extension du milieu souterrain en zone non-calcaire: description d'un nouveau milieu et de son peuplement par les Coleoptères troglobies** - Mém. Biospéol., 7: 19-52.

PUDDU S. & PIRODDA G., 1974. **Catalogo sistematico ragionato della fauna cavernicola della Sardegna**- Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari, 43 (1973), 151-205.

SERENA F. (Ed.), 2003. **Atti del 27° corso di III livello SSI, Di Biospeleologia**. ARPAT, FST, SSI, GSAL, Livorno, 216pp.

2. AIMS OF THE THESIS

2.1 Strategies for the conservation of troglobitic fauna endemic to Sardinia and its environment

Thanks to the impressive increasing of biospeleological researches in last years, the subterranean fauna of Sardinia includes presently more than 600 specific taxa, and this number increases every year with the exploration of new caves. Several of them are endemic, highly specialized troglobitic organisms, well known for their biogeographical importance.

Concerning this topic, in consideration of the general low interest of the public opinion for the protection of invertebrates organisms, in the first phase of this research we have selected, among the endemic trogliphilic species of vertebrates, those that are able to offer a valid conservation of the very important subterranean fauna of Sardinia. Therefore, we have chosen the Amphibian species belonging to the genus *Speleomantes* as perfect "umbrella species" for the conservation of many other, lesser-known but endemic, rare and/or highly localised species. In particular, we also performed for the Sardinian Region a preliminary research about the distribution of some of these species in sites indicated as important for the Biodiversity conservation (S.I.C.) by the U.E.

The protection of these "umbrella species", if applied, should have surprising effects on the conservation of other hypogean organisms. We estimated that more than 120 taxa, mostly endemic (35% of the total number, with a highest percentage of endemics in the Sulcis-Iglesiente and "Nuorese" areas), could benefit by this conservation strategies.

Most of these species are endemic to very small and scattered areas, and include a representative of the main groups of subterranean invertebrate animals.

Furthermore, the conservation of the superficial karst areas could represent an excellent way to protect the habitats of some endangered, endemic epigean species, like the snake *Natrix cettii* and the amphibian *Euproctus platycephalus*, and many trogliphilic bats.

2.2. Larval morphology and biological cycles of troglobitic beetles

2.2.1. The knowledge of pre-imaginal stages is crucial for the protection of subterranean insects. In particular, in holometabolic taxa, the larval stages are linked in many cases to deep, stable environments, and seem much more exposed to the risk of their modification than adults. We have been able to discover several previously unknown larvae of hypogean species endemic to Sardinia. Three have been studied and described; the others are under investigation (see papers II, III, VII).

The discovery of larval stages of highly specialized troglobitic carabids is a rare event, even in caves where adult individuals are very abundant. This fact induced biospeleologists to believe that the life cycle of the most specialized troglobitic carabids should have – like some cholevid beetles of the tribe Leptodirini – a contracted biological cycle, reduced to one single larval stage which does not eat.

Purpose of one of the papers was the description of larval features of *Sardaphaenops adelphus* Casale, 2004, one of the two aphaenopsoid representatives of a genus peculiar to Sardinia, with a discussion of its characters from the morphological and biospeleological points of view. This is a highly specialized troglobitic, recently described carabid beetle, known so far from four caves in the “Supramonte” area of Baunei (Ogliastra region), and endemic (with the congeneric species *S. supramontanus* Cerruti & Henrot, 1956) to the Jurassic limestone massifs of Central-Eastern Sardinia. We collected two larval specimens only, in a sampling of adults. This occurrence could be due to exceptional conditions, like increasing of subterranean waters flooding the deeper zones where the larvae develop. Interesting is the fact that *Sardaphaenops supramontanus*, which was described more than fifty years ago, is much more widely spread than *S. adelphus*, and in some caves is abundant. However, never any larva of this species has been found.

The larval features of *S. adelphus*, described in this paper, were very informative from the biospeleological points of view. They demonstrated that in highly specialized, troglobitic aphaenopsoid trechid beetles, like representatives of the genus *Sardaphaenops*, the larva does not present a contracted biological cycle. On the contrary, at least the older-instar larva presents the most generalized features

peculiar to most Trechini of the subtribe Trechina, including epigean species. This confirmed that many carabid beetles, highly adapted to subterranean environment, have running, predaceous larvae, morphologically very similar to those of epigean species.

2.2.2. This is also the case of the larva of *Speomolops sardous* Patrizi, 1955, described in the second paper. In spite of the fact that both adults and larvae display marked modifications to the life in caves (blindness, general weak sclerotization, pale colour body), the larval features are in full agreement with the general morphological pattern of larvae of Pterostichini known so far.

In September 2006, after some decades of vain researches (Casale et al. 2008), in deep zones of the Bue Marino cave (which is one of the most visited show caves in Sardinia very rich in subterranean fauna: see paper), we had the opportunity to collect five larvae at different larval stages of the troglotic carabid beetle *Speomolops sardous*.

Also the study of this larva was very informative from different biospeleological points of view. In particular: 1. It confirmed that in highly specialized, troglotic carabid beetles, the larva does not present a contracted biological cycle. On the contrary, at least the older-instar larva presents the most generalized features peculiar to the close epigean taxa. In *Speomolops*, lack of stemmata, weak sclerotization, unspecialized mandibles, moderately long, unarticulated urogomphi, are well known as results of selective pressures for a life in caves, and are in agreement with the "soil pore explorer" type proposed by Zetto Brandmayr *et al.* (1998), or with the "stratobionts-runners, of the cryptobionts-series" of Sharova (2008). 2. It confirmed again the extreme rarity of larval stages in environments where adults can be very abundant, and the peculiar way of life of larvae, which can be very different from that of adults: in Bue Marino cave, type locality of *Speomolops sardous*, adults are numerous, walking on sandy, humid soil on the banks of the subterranean lakes in the inner parts of the cave. On the contrary, the larva of this species was searched in vain, for thirty eight years, by one of the authors (A.C.). Only in one visit on 10th September, 2006, five larvae have been collected digging sand at 20-30 cm of depth near one of the freshwater lakes where adults were very abundant. On the contrary, never a larva was observed walking on surface. This demonstrates that the larva of this species has obligate underground, fossorial behaviour, in sandy soil periodically flooded by the subterranean river of the cave; 3.

Finally, it confirmed the importance of the periodical monitoring programme, carried out since three years by one of the authors (P.M.) and presently in progress, for the conservation in Bue Marino cave of this, and other subterranean species, endemic to this area of Sardinia. This cave, in fact, is one of the most attractive show-caves of the island, visited every year by some 80.000 persons. Although adult individuals of *Speomolops sardous* were observed only in not touristic areas, and seem to have a rather high dispersal power in deep crevices (the species is known by a few specimens or remains from some other Sardinian caves), the larval stages – as specified above – show an obligate, fossorial way of life into sandy soils in deep zones of large, periodically flooded subterranean systems. Therefore, any further anthropogenic impact on these environments, as modifications induced by touristic activities, should have a destructive effect on the survival of this endemic, relict species.

Moreover, following the collections of 2007 and those of the previous years, we started with a study of the complete life cycle of this species. In particular, some preliminary results concern both male and female reproductive apparatus (see below).

Finally, concerning the larval morphology of subterranean species, we had the opportunity to describe the larval features of *Sardulus sacerensis* Casale et al., 2006, a smallest sized (1 mm about) Histeridae beetle belonging to a genus endemic to Sardinia. Known only from a cave near Sassari (NW Sardinia), it is the first species of this genus discovered outside of the Central-Eastern Sardinia. This paper, based on one larva specimen collected with several adults, was a contribution to the larval morphology of a group very scarcely known from this point of view. In particular, this is the first discovered and described larva amongst the few troglobitic Histeridae species spread in different parts of the world (Eastern Alps, Turkey, Central America) (See paper IV).

2.2.3. Furthermore, the study of larval features of Coleoptera Cholevidae of the endemic genus *Ovobathysciola* is in progress (See Tab. I).

2.2.4. The study of reproductive “K” strategy in *Speomolops sardous*

Introduction

Speomolops sardous Patrizi, 1955 is a troglobitic beetle endemic to the “supramontes” of Dorgali and Oliena (Central-Eastern Sardinia), belonging to Carabidae of the Subtribe Molopina. The adults present a depressed, depigmented body, completely atrophic eyes and very elongate appendages. The length of the body varies, in both sexes, from 8 to 10.5 mm, and the colour is more or less light brown. In Bue Marino cave, *Speomolops sardous* appears restricted to only active, periodically flooded inner zones. Patrizi, in its original description, noted that it is mainly common near the terminal siphon, walking on sandy moist soil (Casale, 1972). Subsequent researches showed that, from the second freshwater lake, the species is spread everywhere, particularly in confined areas of clay at the base of stalagmitic walls, where it is sometimes abundant. The species is now known from a few other caves in the area of Dorgali and Oliena, and from the biogeographical point of view is one of the endemic troglobitic beetle most significant and interesting in the Sardinian fauna.

For the first time we analyzed in this paper (in preparation) the morphology of the reproductive male and female apparatus of this species.

Materials and Methods

The specimens were collected by one of authors (P.M.) in the Bue Marino cave and reared in a thermostatic cell at 17-18°C about. So me individuals, killed by means of ethyl acetate, have been dissected at the stereomicroscope. Three specimens were dissected in autumn, two in winter and three in the late spring.

The entire reproductive apparatus was obtained by dissection of sexually mature males and females specimens.

Light Microscopy (LM)

For LM observation, specimens were fixed in Boun’s fluid, dehydrated in series of ethanol, embedded with paraffin at 57°C and serial sectioned at 5 µm intervals. Section were then stained with emallume Mayer-eosine and examined with a ZEISS microscope.

Results and conclusions

In the specimens collected in the Bue Marino cave during the spring, three females resulted sexually mature, and each specimen brought one only large egg.

The dissection of sexually mature male specimens showed specific characteristics, for the presence of two both clockwise twisted vasa deferentia.

Examination of fresh testicular tubule and *vas deferens* revealed the presence of mature sperms, which - as already shown by the few data in the literature concerning other species, are grouped in bundles with heads held together by a acellular cap.

The presence of one only big egg in mature females is a further confirmation that also this species, as demonstrated in other troglobitic organisms, presents a K-selected reproductive strategy. It is well known that this strategy is spread in species living in stable habitats like caves, poor in trophic resources, where a high rate of propagation is not favourable. On the other hand, it is demonstrated that troglobitic insects are very longevous: adults of *Speomolops sardous* in laboratory conditions lived for more than three years, and probably in nature their life is markedly longer (See manuscript, IV).

2.2.5. Monitoring of temperature variations in show caves.

With the aim to increase our knowledge of the anthropogenic impact on subterranean animal species, we started a monitoring programme of environmental parameters in show caves in Sardinia.

In particular, to obtain more information helpful to the conservation of the rich subterranean fauna of Bue Marino cave (see checklist of species above), in addition to the cited papers concerning the beetle *Speomolops sardous*, we performed a preliminary environmental monitoring in the same cave. This is one of the most visited show caves in Sardinia, with some 70-80.000 visitors per year (Casale et al. 2008).

At present, we collected data on temperature variations in both touristic and inner, undisturbed zones. On this subject, we tested a very cheap but effective method that could be used for monitoring caves on large scale. In particular, in Bue Marino cave we placed four sensors (ibutton of Dallas Maxim), we have used two type of sensors: the DS1922L sensibility 0.0625°C, and the DS1921Z with resolution 0.125°C. These are able to detect and record the temperature every hour for 85 days. Three of them

were placed along the tourist path (T1,T2,T3). The remaining sensor (T4), with higher sensitivity, was placed in the sector of the cave that is not open to tourists.

The data highlighted that during the summer time (i.e., when up to 2000 tourists may have access to the cave in a single day) the T4 sensor recorded a slight but not statistically significant increase of temperature. This datum is important, because it shows how the increase of tourists could be able in the future to influence the temperature in a sector of the cave 200 meters far away from the tourist path (See manuscript, VI).

REFERENCES

CONCERNING AIMS OF THE

THESIS

References

Strategies for the conservation of troglobitic fauna endemic to Sardinia and its environment

CASSOLA F., 1982. **Il popolamento cavernicolo della Sardegna.** Lav. Soc. ital. Biogeogr., N. S., 7, (1978), pp. 615-755.

CERRUTI M., 1968. **Materiali per un primo elenco degli Artropodi speleobii della Sardegna.** Fragmenta Entomologica, 5 (3), pp. 207-257.

GRAFITTI G., 2001. **Osservazioni sulla fauna cavernicola della Sardegna,** pp. 13-33. In: Piras G. & Randaccio F. (eds.) - Atti Convegno "Biospeleologia dei sistemi carsici della Sardegna", (Cagliari, 10 giugno 2000), a cura del Gruppo Speleologico Centro Studi Ipogei "Specus", 116 pp.

GRAFITTI G., CASALE A., DELITALA G. & MANCA I., 1999. **Contributions to the knowledge of subterranean fauna of Sardinia: a work in progress.** Proc. XIV Intem. Symp. of Biospeleology (Makarska, 19-26. IX. 1999), p. 90 (abstract).

MUCEDDA M., KIEFER A., PIDINCHEDDA E. & VEITH M, 2002. **A new species of long-eared bat (Chiroptera, Vespertilionidae) from Sardinia (Italy).** Acta Chiropterologica, 4 (2), pp. 121-135.

PUDDU S. & PIRODDA G., 1974. **Catalogo sistematico ragionato della fauna cavernicola della Sardegna.** Rendiconti Seminario della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari, 43 (3-4), (1973), pp. 151-205.

References

***Sardaphaenops adelphus* Larva**

BOLDORI L., 1924. **Contributo alla conoscenza della fauna cavernicola lombarda. La larva del *Duvalius Carminativi* ssp. *Humeralis* Dod.** Bollettino della Società entomologica italiana 66: 145-148.

BOLDORI L., 1958. **Larve di Coleotteri I. Larve di Trechini X.** Memorie della Società entomologica italiana 37 (2): 149-161.

BOUILLON M., 1964. **Description de la larve de *l'Aphaenops crypticola* Linder (Coleoptera Trechinae).** Annales de Speleologie 19 (4) : 751-758.

BOUSQUET Y., GOULET H., 1984. **Notation of primary setae and pores on larvae of Carabidae (Coleoptera: Adephaga).** Canadian Journal of Zoology 62: 573- 588.

CASALE A., 1980. **Trechini e Bathysciinae nuovi o poco noti delle Alpi occidentali, e note sinonimiche (Coleoptera, Carabidae e Catopidae).** Fragmenta entomologica 15 (2): 305-326.

CASALE A., 2004. **Due nuovi Coleotteri ipogei di Sardegna, *Sardaphaenops adelphus* n. sp. (Coleoptera Carabidae) e *Patriziella muceddai* n. sp. (Coleoptera Cholevidae), e loro significato biogeografico.** Bollettino della Società entomologica italiana 136 (1): 3-31.

CASALE A., GIACHINO P.M., 1988. **Note su *Sardaphaenops supramontanus* Cerruti & Henrot, 1956 (Col. Carabidae), e descrizione di *S. supramontanus grafittii* n. subsp.** Bollettino del Museo regionale di Scienze naturali, Torino 6 (2): 585-601.

CASALE, A., LANEYRIE R., 1982. **Trechodinae et Trechinae du monde. Tableau des sous-familles, tribus, series phyletiques, genres, et catalogue general des especes.** Memoires de Biospeologie 9, 226.

CASALE, A., VIGNA TAGLIANTI A., 1996. **Coleotteri Carabide di Sardegna e delle piccole isole circumsarde, e loro significato biogeografico (Coleoptera, Carabidae).** Biogeographia, Lavori della Società italiana di Biogeografia (n.s.) 18 (1995): 391-427.

CASALE A., VIGNA TAGLIANTI A., JUBERTHIE C., 1998. **Coleoptera Carabidae.** Pp.1047-1081 in C. Juberthie, V. Decu eds. Encyclopaedia Biospeologica. 2. Moulis-Bucarest.

DELEURENCE S., 1960. **Sur la biologie de l'*Hydraphaenopsehlarsi* Ab. (Coleoptere Trechinae). Description de la larve du premier stade.** Comptes rendus des seances de l'Academie des Sciences 251 : 974-975.

DELEURENCE-GLACON S., 1963. **Contribution a la connaissance des Coleopteres cavernicoles de la sous-famille des Trechinae.** Annales de Speleologie 18 (2) : 227-265.

GIACHINO P.M., 1985. **Morfologia larvale di alcuni *Trechus* alticoli delle Alpi Lepontine (Coleoptera, Carabidae).** Bollettino della Società entomologica italiana 117 (8-10): 161-171.

GIACHINO P.M., 1989. **Contributo alla conoscenza della morfologia larvale del genere *Trechus*. La larva di *Trechus schatzmayri* Focarile, 1949 (Coleoptera, Carabidae).** Rivista piemontese di Storia naturale 10: 131-135.

GREBENNIKOV V.V., MADDISON D.R., 2005. **Phylogenetic analysis of Trechitae (Coleoptera: Carabidae) based on larval morphology, with a description of first-instar *Phrypeus* and a key to genera.** Systematic Entomology 30: 38-59.

JEANNEL R., 1920. **Les larves des Trechinae.** Biospeologica, 42, Archives de Zoologie experimentale et generale 59: 509-542.

JEANNEL R., 1926. **Monographie des Trechinae. 1ere Livraison.** L'Abeille 32: 221-550.

JEANNEL R., 1943. **Les fossiles vivantes des cavernes.** Gallimard, Paris, 321 pp.

LUFF M.L., 1985. **The larvae of the British Carabidae (Coleoptera). 7. Trechini and Pogonini.** Entomologist's Gazette 36: 301-312.

MAKAROW K.V., 1994. **A key to the genera of the Groundbeetle larvae (Coleoptera, Carabidae) of the Palearctic region.** Bollettino del Museo regionale di Scienze naturali, Torino 12 (1): 221-254.

MAKAROW K.V., KOVAL A.G., 2003. **On the biology of the troglobiont carabid *Jeannelius birsteini* Ljovuschkin, 1963 (Coleoptera, Carabidae, Trechini).** Entomologicheskoe Obozrenie 82 (4): 836-845 (in Russian).

VIGNA TAGLIANTI A., 1967. **La larva del *Duvalius lepinensis* (Coleoptera, Carabidae).** Fragmenta entomologica 5 (2): 153-163.

VIGNA TAGLIANTI A., 1968. **Un nuovo genere di Trechinae endogei e cavernicoli delle Alpi occidentali (Coleoptera, Carabidae).** Fragmenta entomologica 5 (3): 181-201.

VIGNA TAGLIANTI A., 2005. **Checklist e corotipi delle specie di Carabidi della fauna italiana.** Pp. 186-225 in P. Brandmayr, T. Zetto, R. Pizzolotto eds. I Coleotteri Carabidi per la valutazione ambientale e la conservazione della biodiversità. APAT, Roma.

ZETTO BRANDMAYR T., GIGLIO A., MARANO I., BRANDMAYR P., 1998. **Morphofunctional and ecological features in carabid (Coleoptera) larvae.** Pp. 449-490 in G.E. Ball, A. Casale, A. Vigna Taglianti eds. Phylogeny and Classification of Caraboidea. Atti XX International Congress of entomology (Florence, 1996), Museo regionale di Scienze naturali, Torino.

References

***Speomolops sardous* Larva**

ARNDT E., 1989. **Die Larven der mitteleuropaischen *Abax* s. str.-Arten (Coleoptera, Carabidae: Pterostichini)**. Beitrage zur Entomologie 39 (2): 255-270.

BARGAGLI P., 1874. **Cenni biologici su due specie di *Percus***. Bullettino della Società entomologica italiana 6: 27-31.

BARONI URBANI C, RUFFO S, VIGNA TAGLIANTI A., 1978. **Materiali per una biogeografia italiana fondata su alcuni generi di Coleotteri Cicindelidi, Carabidi e Crisomelidi**. Memorie della Società entomologica italiana 56 (1977): 35-92.

BEER S, BINAGHI G., 1937. ***Percus dejeani* Dj. (Col. Car.)**. Descrizione della larva. Bollettino di Zoologia agraria e Bachicoltura, Torino 7 (1936): 3-7.

BOUSQUET Y., 1985. **Morphologie comparée des larves de Pterostichini (Coleoptera: Carabidae): descriptions et tables détermination des espèces du nord-est de l'Amérique du nord**. Revue d'écologie et de systématique 112: 191-251.

BOUSQUET Y, GOULET H., 1984. **Notation of primary setae and pores on larvae of Carabidae (Coleoptera: Adephaga)**. Canadian Journal of Zoology 62: 573-588.

BRANDMAYR P., 1992. **Short review of presocial evolution in Coleoptera. Ethology, Ecology and Evolution**. Special Issue 2: 7-16.

BRANDMAYR P., ZETTO BRANDMAYR T., 1979. **The evolution of parental care phenomena in Pterostichini, with particular reference to the genera *Abax* and *Molops***. In: den Boer P.J, Thiele H.U, Weber F. editors. On the Evolution of Behaviour in Carabid Beetles. Miscellaneous Papers, 18, Landbouwhogeschool Wageningen, 35-49.

BRÜCKNER M., MOSSAKOWSKI D., 2006. **Phylogeny of the genus *Percus* (Coleoptera: Carabidae) – nuclear genes and the basal splits**. In: Serrano J, Koivula M, Lövei G. editors.

Proceedings of the XII European Carabidologists' Meeting. Entomologica Fennica 17 (3), pp. 195-199.

CASALE A., 1972. **Visione d'insieme del complesso ecologico e faunistico della Grotta del Bue Marino**. Bollettino della Società Sarda di Scienze naturali 10: 3-28.

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C., STOCH F., 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna**. Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007), Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia, Bologna (S. II) XXI: 197-209.

CASALE A., RIBERA I., (in press). **Are Molopina of the Euro-Mediterranean region related to the Madagascan, South African and Australian Pterostichini? (Coleoptera, Carabidae)**. Biogeographia (n.s.).

CASALE A., VIGNA TAGLIANTI A., 1996. **Coleotteri Carabidi di Sardegna e delle piccole isole circumsarde, e loro significato biogeografico (Coleoptera, Carabidae)**. Biogeographia, Lavori della Società italiana di Biogeografia (n.s.) 18 (1995): 391-427.

CASALE A., VIGNA TAGLIANTI A., JUBERTHIE C., 1998. **Coleoptera Carabidae**. In: Juberthie C, Decu V. editors. Encyclopaedia Biospeologica, 2. Moulis-Bucarest, pp. 1047-1081.

DURING A., BRÜCKNER M., 2000. **The evolutionary history of the tribe Molopini: a first molecular approach**. In: Brandmayr P, Lövei G, Zetto Brandmayr T, Casale A, Vigna Taglianti A. editors. Natural History and applied ecology of Carabid Beetles. Pensoft, Sofia-Moscow, 1-4.

EMDEN F.I. VAN, 1942. **A key to the genera of larval Carabidae (Col.)**. Transactions of the Royal Entomological Society, London 92: 1-99.

GIACHINO P.M, SCIACKY R., 1991. **Valore sistematico delle strutture genitali femminili in Pterostichinae (Coleoptera: Carabidae)**. Atti XVI Congresso nazionale italiano di Entomologia, Bari-Martina Franca (TA), 23/18 settembre 1991: 885-892.

JEANNEL R., 1942. **Faune de France. 40. Coléoptères Carabiques (Deuxième partie).** Lechevalier, Paris: 572-1173.

KAVANAUGH D.H., 1998. **Field observations confirming brood care in *Percus passerinii* in the Tuscan Apennines, Italy (Coleoptera Carabidae).** Bollettino della Società entomologica italiana 130 (1): 55-63.

LEONARDI C., 1969. **Descrizione delle larve di *Molops senilis* Schaum e *Typhlochoromus stolzi* (Mocz.) e note sulla sistematica larvale di questi due generi di Pterostichini (Col. Carabidae).** Annali del Museo civico di Storia naturale, Genova 77: 609–625.

LUMARET J.-P., 1971. **Stades larvaires de *Percus (Pseudopercus) navaricus* Dejean (Col. Pterostichidae).** Bulletin de la Société entomologique de France 76 : 55-60.

MAKAROW K.V., 1994. **A key to the genera of the Ground-beetle larvae (Coleoptera, Carabidae) of the Palearctic region.** Bollettino del Museo regionale di Scienze naturali, Torino 12 (1): 221-254.

PATRIZI S., 1955. **Nuovo genere e nuova specie di Pterostichide troglobio della Sardegna orientale (Coleoptera Caraboidea, Fam. Pterostichidae, Trib. Molopini).** Fragmenta Entomologica 2 (4): 29-40.

SERRANO J., 2003. **Catálogo de los Carabidae (Coleoptera) de la Peninsula Iberica.** Monografias S.E.A., Zaragoza, 9, 130.

SHAROVA, 1958. **The larvae of Carabidae, beneficial and noxious to agriculture.** Scientific notes of Moscow State Pedagogical Institute 124: 1-165 (in Russian).

SHAROVA I.K., 2008. **Adaptive radiation of carabid larvae (Coleoptera, Carabidae).** In: Penev L, Erwin T, Assmann T. editors. Back to the roots and back to the future. Towards a new synthesis amongst taxonomic, ecological and biogeographical approaches in carabidology. Proceedings of the XIII European Carabidologists Meeting, Blagoevgrad, August 20-24, 2007. Pensoft, Sofia-Moscow, 285-304.

THOMPSON R.G., 1979. **A Systematic Study of Larvae in the Tribes Pterostichini, Morionini, and Amarini (Coleoptera: Carabidae).** Bulletin of the Agricultural Experimental Station, Arkansas University, Fayetteville 837: 1-105.

THOMPSON R.G., 1979b. **Larvae of North American Carabidae with a Key to the Tribes.** In: Erwin T.L, Ball G.E, Whitehead D.R. editors. Carabid Beetles, their evolution, natural history, and classification. W. Junk Publishers, The Hague, pp. 209-291.

VIGNA TAGLIANTI A., 1982. **Le attuali conoscenze sui Coleotteri Carabidi cavernicoli italiani.** Lavori della Società Italiana di Biogeografia (n.s.) 7 (1978): 339-430.

ZETTO BRANDMAYR T., GIGLIO A., MARANO I., BRANDMAYR P., 1998. **Morphofunctional and ecological features in carabid (Coleoptera) larvae.** In: Ball G.E, Casale A, Vigna Taglianti A. editors. Phylogeny and Classification of Caraboidea. Atti XX International Congress of Entomology (Florence, 1996), Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino, 449-490.

ZETTO BRANDMAYR T., MAZZEI A., TALARICO F., GIGLIO A., BAUER T., BRANDMAYR P. 2007. **The larva of *Siagona europaea* Dejean, 1826: morphology and collecting technique for a subterranean blind “running ant killer” (Coleoptera, Carabidae).** Italian Journal of Zoology 74 (3): 239-245.

References

***Speomolops sardous* Reproductive apparatus**

CARCUPINO M., STOCCHINO GA., CORSO G., MANCA I., & CASALE A., 2002. **Morphology of the male reproductive apparatus and spermatodesms in formation in *Percus strictus strictus* (Coleoptera, Carabidae)**. In: van de Horst G., Franken D., Bornam R., Bornam T & Dyer S., eds. Proceeding oh 9th, 31-34. Monduzzi, Bologna.

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C, STOCH F., 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna**. Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007), Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia, Bologna (S. II) XXI: 197-209.

CASALE A. & VIGNA TAGLIANTI A., 1996. **Coleotteri Carabidi di Sardegna e delle isole circumsarde, e loro significato biogeografico (Coleoptera, Carabidae)**. Biogaographia, XIII: 391-427.

CASALE A., 1972. **Visione d'insieme del complesso ecologico e faunistico della grotta del Bue Marino (Gala Gonone, Dorgali, NU)**. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 10: 3-28.

PATRIZI S., 1955. **Nuovo genere e nuova specie di Pterostichide troglobio della Sardegna Orientale**. Fragmenta entomologica, 2 (4): 29-40.

SASAKAWA K., 2007. **Sperm bundle and reproductive organ of Carabid beetles tribe Pterostichini (Coleoptera: Carabidae)**. Naturwissenschaften 94: 384-391.

STOCCHINO G. A., CARCUPINO M., CORSO G., MANCA I., MARCHAND B., CASALE A., 2004. **Formazione degli spermatodesmi in *Carabus (Macrothorax) morbillosus morbillosus* Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae)**. IV Congrès international. Environnement et Identité en Méditerranée. Corte (Corsica), 123.

STOCCHINO G. A., CASALE A., CARCUPINO M., MANCA I., DELITALA G., CORSO G., 2003. **Osservazioni morfologiche sull'apparato riproduttore maschile di *Carabus***

(Macrothorax) morbillosus morbillosus Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae). 64°
Convegno U.Z.I., Varese.

STOCCHINO G. A., CASALE A., CORSO G., CARCUPINO M., MANCA I., DALU M. A.,
PINNA M. P., DELITALA G. M., 2002. **Morfologia dell'apparato riproduttore maschile
di *Percus strictus strictus* (Dejean, 1828) (Coleoptera, Carabidae)**. Atti XIX Congresso
nazionale italiano di Entomologia, 95-98.

STOCCHINO G. A., CORSO G., BIAGI F., CASALE A., CARCUPINO M., 2008.
**Spermatodesm formation in *Carabus (Macrothorax) morbillosus morbillosus* Fabricius,
1792 (Coleoptera, Carabidae)**. Naturwissenschaften, in press.

References

Monitoring

BADINO G., 2004. *Clouds in Cave*. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 2 (2).

CASALE A., 1972. **Visione d'insieme del complesso ecologico e faunistico della grotta del Bue Marino (Gala Gonone, Dorgali, NU)**. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 10: 3-28.

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C., STOCH F., 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna**. Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007), Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia, Bologna (S. II) XXI: 197-209.

COSSU Q. A., BADINO G., MURGIA F., SANNA L., 2007 **“Micrometeorology of the Colostrargiu cave (Sardinia, Italy) and its interactions with karst geomorphology”**. European Geosciences Union 2007. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 00030.

MARCIA P., COSSU Q. A., CASALE A., 2008. **Fluctuations of air temperature in show caves in order to assess the anthropogenic impact on subterranean animal species**. (in prep)

References

Sardulus sacerensis

CASALE A., MARCIA P., MANCA I., GRAFITTI G., 2006. ***Sardulus sacerensis* CASALE & MARCIA, nuova specie ipogea di Coleotteri Isteridi della Sardegna nord-occidentale e sua morfologia larvale (Coleoptera Histeridae)**. *Fragmenta entomologica*, Roma, 38 (2): 201-217.

CASALE A., MARCIA P., GRAFITTI G., MUCEDDA M., MANCA I. **Conservation biology in Sardinian caves**. *Encyclopaedia Biospeologica*, Moulis-Bucarest (in press).

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C., STOCH F., 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeologiche in Sardegna**. *Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007)*, *Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia*, Bologna (S. II) XXI: 197-209.

CASALE A., MARCIA P., 2007. **Larval morphology of *Sardaphaenops adelphus* Casale, 2004, an ultra-specialized troglotic beetle of Sardinia (Coleoptera: Carabidae)**. *Subterranean Biology*, 5: 35-42.

CASALE A., DI GIULIO A., MARCIA P., MOLINU A. **Larval morphology of *Speomolops sardous* Patrizi, 1955, a troglotic molopine carabid beetle endemic to Sardinia, and notes about its way of life (Coleoptera, Carabidae)**. *Italian Journal of Zoology* (2008, submitted).

MARCIA P., STOCCHINO G., CADEDDU B., CASALE A. **Morphology of reproductive male and female apparatus in *Speomolops sardous* (Coleoptera, Carabidae)** (in preparation).

3. Papers

Paper I

Conservation biology in Sardinian caves

CASALE A., MARCIA P., GRAFITTI G., MUCEDDA M., MANCA I.

--Encyclopaedia Biospeologica, Moulis-Bucarest (manuscript in press).--

Casale Achille*, Marcia Paolo*, Grafitti Giuseppe**, Mucedda Mauro** & Manca Ivo*

*Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Università di Sassari, Via Muroni 25, 07100 Sassari (Italia)

** Gruppo Speleologico Sassarese, Via dei Navigatori 7, 07100 Sassari (Italia)

Conservation biology in Sardinian caves

Thanks to the impressive increasing of biospeleological researches in last decades, the subterranean fauna of Sardinia (comprising both troglophilic and troglobitic species) includes presently some 540 specific taxa (fig. 1), and this number increases every year with the exploration of new caves (Cerruti, 1968; Puddu & Pirodda, 1974; Cassola, 1982; Grafitti et al., 1999). Several of them are endemic, highly specialized troglobitic organisms, well known for their biogeographic interest. In fact, some subterranean and stygobian species show clear relationships to taxa present in Provence, in the Southern Iberian peninsula and in Balears, and give evidence of the Miocene drift of microplates in the Tyrrhenian Sea (fig. 2).

Nevertheless, the conservation of subterranean organisms, and their habitats, remains an unresolved question. In Sardinia, the updated inventory lists more than 3000 caves. Inconspicuous invertebrate animals living in these caves have a scarce appeal on both public opinion, and media. On the contrary, the European Community, the Italian Ministry of Environment and the Sardinian Region request conservation rules for some endangered vertebrate animals, which are typical troglophilic elements in the island. They are 8 species of bats (*Rhinolophus euryale*, *R. ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. mehelyi*, *Miniopterus schreibersi*, *Myotis capaccinii*, *M. emarginatus*, *M. myotis*), and 4 species of plethodontid salamanders endemic to Sardinia (*Speleomantes imperialis*, *S. genei*, *S. flavus*, *S. supramontis*).

Troglophilic species of Amphibia Plethodontidae and Chiroptera protected by international conventions in Sardinia	Habitat	Berna	Distribution	CATEG IUCN
<i>Speleomantes flavus</i>	2,4	2 (*)	Endemic	VU* C2b,D2
<i>Speleomantes genei</i>	2,4	2 (*)	Endemic	LR* nt
<i>Speleomantes imperialis</i>	2,4	2 (*)	Endemic	LR* nt
<i>Speleomantes supramontis</i>	2,4	2 (*)	Endemic	LR* nt
<i>Rhinolophus euryale</i>	2,4	2(*)		VU A2c
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	2,4	2(*)		LR cd
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	2,4	2(*)		VU A2c
<i>Rhinolophus mehelyi</i>	2,4	2(*)		VU A2c
<i>Miniopterus schreibersi</i>	2,4	2(*)		LR nt
<i>Myotis capaccinii</i>	2,4	2(*)		VU A2c
<i>Myotis emarginatus</i>	2,4	2(*)		VU A2c
<i>Myotis myotis</i>	2,4	2(*)		LR nt

The troglophilic bat *Plecotus sardus*, not yet cited in the table above, is the only Chiroptera species endemic to Sardinia, and one of the last vertebrate species of the European Fauna described so far (Mucedda et al., 2002) (fig. 3).

The use of these taxa as “umbrella species” seems to be, at present, the only valuable strategy to protect the rich troglobitic invertebrate fauna of the island.

In the framework of the UE project Natura 2000, in fact, we selected and mapped a series of Sites of Community Importance (the so-called SIC), able to protect caves and annexed epigeal areas in which the cited vertebrate species are present (fig. 4). The protection of these "umbrella species", if applied, should have surprising effects on the conservation of other hypogean organisms. We estimated that more than 120 taxa (20% about of the total number of subterranean species), mostly endemic, could benefit of this conservation strategies. Furthermore, the conservation of superficial karst areas represents an excellent way to protect the habitats of some endangered, endemic epigeal species, like the snake *Natrix cettii* and the amphibian *Euproctus platycephalus*.

Most of the troglobitic species are endemic to very small and scattered areas, with a highest percentage of endemics in the Sulcis-Iglesiente and the "Nuorese" areas, and include a representative of the main groups of subterranean invertebrate animals. To be cited are Diplopoda like *Callipus piroddai*, Chilopoda like *Lithobius sbordonii*, *L. nuragicus* and *L. doderoi*, spiders like *Sardostalita patrizii*, Pseudoscorpiones like *Neobisium lulense*, Isopoda like *Nesiotoniscus* spp., insects like *Patrizicampa sardoa*, *Acroneuroptila* spp., *Duvalius sardous*, *Sardaphaenops supramontanus*, *S. adelphus*, *Speomolops sardous*, *Speonomus* spp., *Patriziella* spp. and *Ovobathysciola* spp., *Sardulus* spp., and many others.

One of the topics of the modern biogeography, on which the same concept of biogeographic region is based, consists in the location of areas of endemism, that is of regions, more or less extended in surface, having exclusive living organisms. It is evident that the precise marking out of these areas become very important, from the point of view of conservation biology, when a high number of endemic species is present, that is, when they belong to the so-called hot spot of endemism. Furthermore, in several cases, the conservation of these areas and species should be obtained with the protection of a relatively small surface of territory.

As example in Sardinia, we can cite the cases of Monte Albo and the coastal "supramonte" areas in the central-east part of the island, close but very different small massifs of Triassic limestone, where the protection of some bats and the endemic plethodontid salamanders *Speleomantes flavus* and *S. supramontis* could protect 47 endemic invertebrate troglobitic species (figg. 5-6).

This work in progress at moment includes:

1. A survey and mapping of the karst areas and cavities to establish their specific richness and number of endemic species (hot spot of biodiversity and endemism).
2. An inventory of the karsts areas and cavities with higher conservation priority, and/or exposed to more imminent risk.
3. A cartography of territorial danger and exposure to the pollution threats, in particular concerning the subterranean systems.
4. A list of the more important cavities from the point of view of biodiversity, based on the richness both of species and populations.
5. A selection of possible "umbrella species" able to protect the highest number of endemic and rare species.

6. A cartography of the maximum range of every umbrella species, to estimate its level of functionality to protect the highest number of both endemic species and not.
7. An environmental monitoring of caves more exposed to tourism and speleological exploitation.
8. A guidelines for a correct monitoring and a correct management of the karst areas and the hypogean fauna.

Besides the scientific interest of these programmes, it is evident that only a serious carrying out of conservation rules by political administration could obtain the wished and expected effects. On the contrary, this will become, again, a simple list of localities, species, and "good intentions".

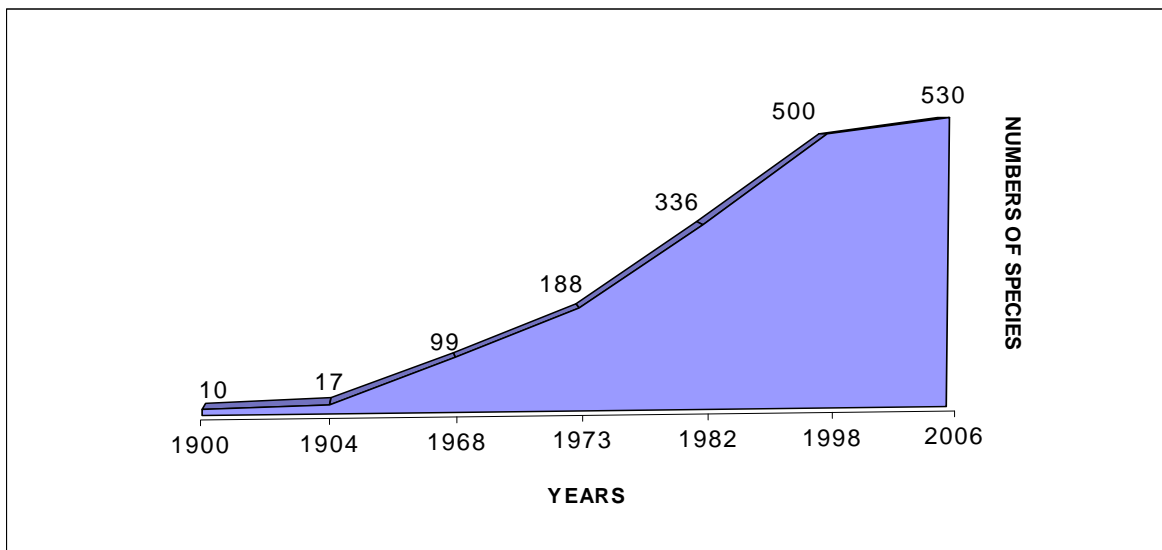


Figura 1 Increasing of biospeleological researches in Sardinia.



Fig. 2 - The Miocene drift of microplates in the Tyrrhenian Sea.

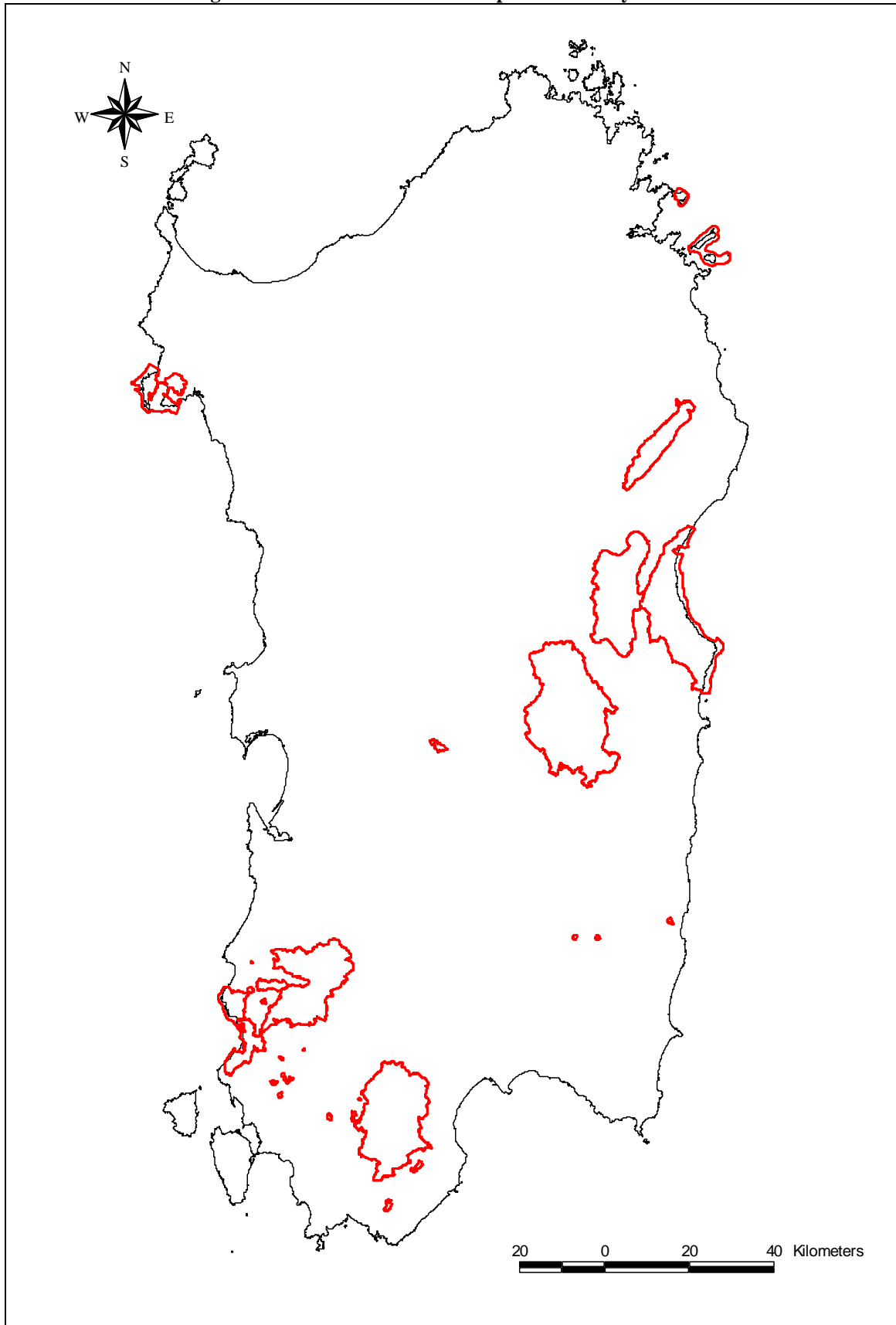


Fig. 3 – Sites of Community Importance including caves in Sardinia

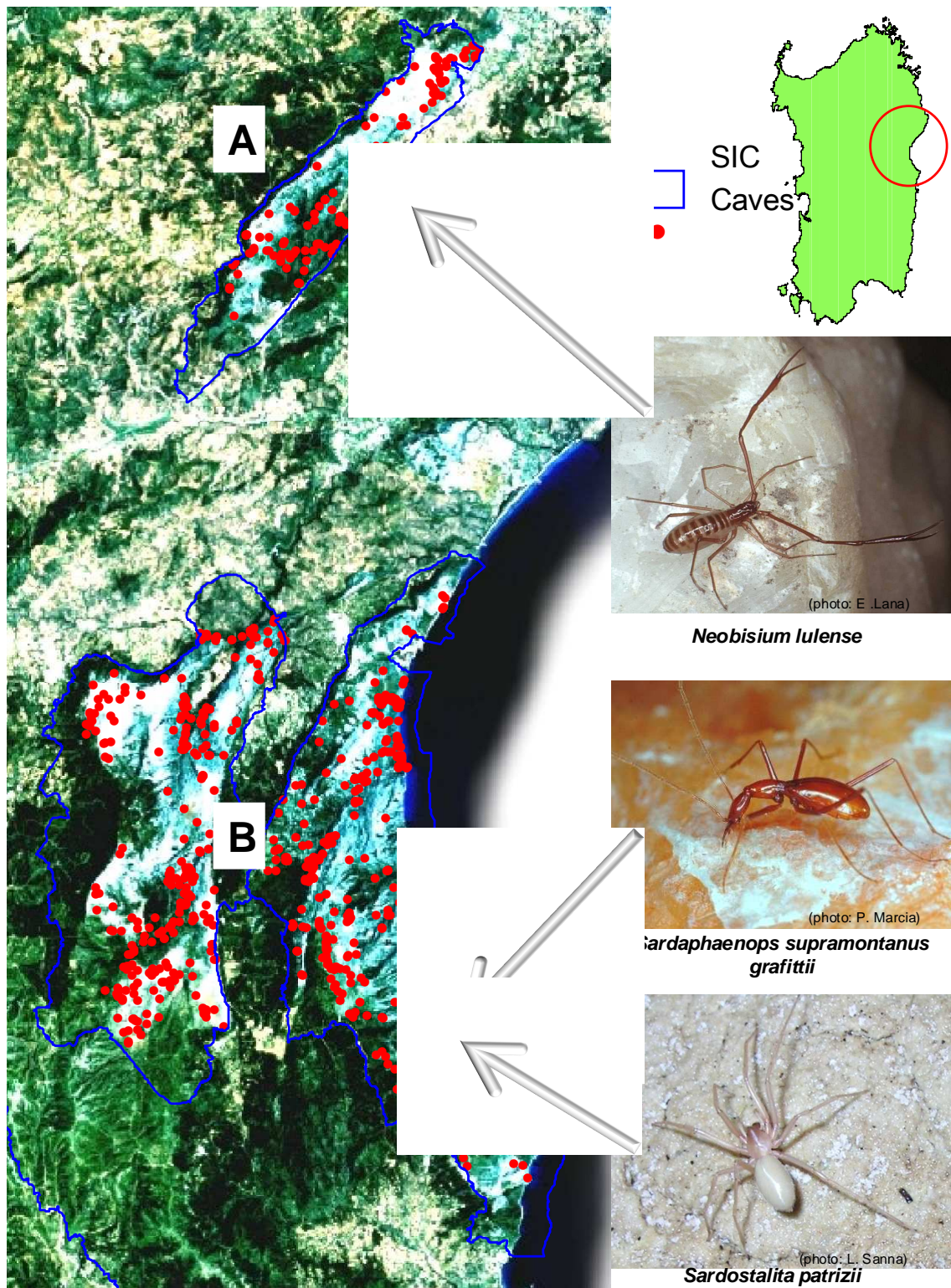
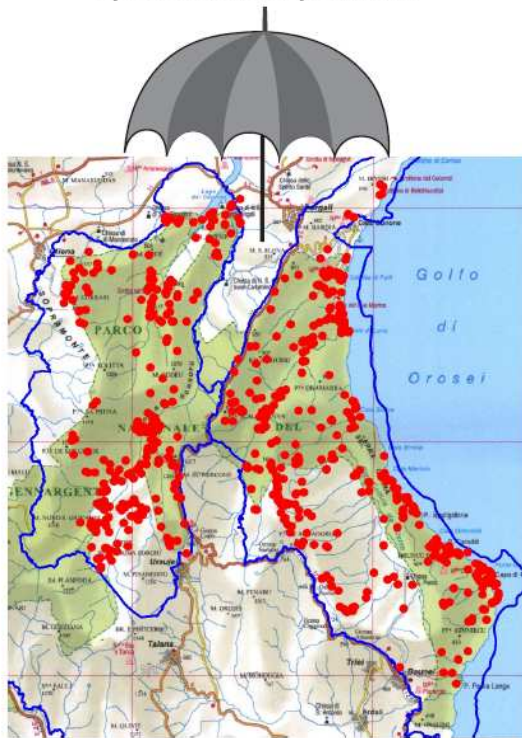
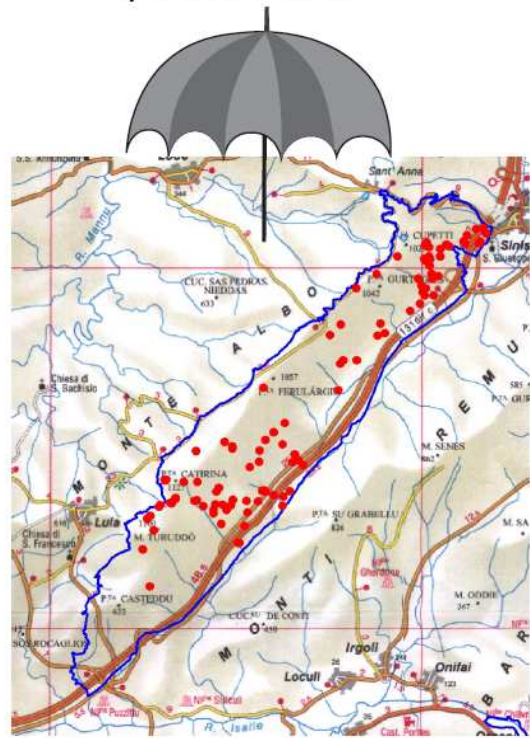


Fig. 5 – Karst areas of Monte Albo (A) and “Supramonti” (B), sites very rich in endemic troglobitic fauna.

KARST AREA: SUPRAMONTE
Speleomantes supramontis



KARST AREA: MONTE ALBO
Speleomantes flavus



Acallorneuma gasparoi Osella, (Coleoptera, Curculionidae)
Acroneuroptila sardoa Baccetti, 1959 (Orthoptera, Gryllidae)
Alpioniscus fragilis (Budde Lund, 1909) (Isopoda, Trichoniscidae)
Buemarinoa patrizii Roewer, 1956 (Opiliones, Travuniidae)
Devillea cerrutii Manfredi, 1956 (Diplopoda, Xystodesmidae)
Devillea patrizii Manfredi, 1956 (Diplopoda, Xystodesmidae)
Eukoeneria patrizii (Condé, 1956) (Palpigrada, Eukoeneriidae)
Laemostenus (Actenipus) pippiai (G. Fiori, 1961) (Coleoptera, Carabidae)
Leptoneta taramellii Roewer, 1955 (Araneae, Leptonetidae)
Mitostoma patrizii Roewer, 1953 (Opiliones, Nemastomatidae)
Neobisium (Ommatoblothrus) sardoum Beier, 1956 (Pseudoscorpiones, Neobisiidae)
Nesiotoniscus patrizii Brian, 1953 (Isopoda, Trichoniscidae)
Ovobathysciola majori (Reitter, 1885) (Coleoptera, Cholevidae)
Patricampa sardoa Condé, 1956 (Diplura, Campodeidae)
Patriziella muceddai Casale, 2004 (Coleoptera, Cholevidae)
Patriziella sardoa Jeannel, 1956 (Coleoptera, Cholevidae)
Plecotus sardus Mucedda, Kiefer, Pidinchedda & Veith, 2002 (Chiroptera, Vespertilionidae)
Roncus sardous Beier, 1955 (Pseudoscorpiones, Neobisiidae)
Sardaphaenops adelphus Casale, 2004 (Coleoptera, Carabidae)
Sardaphaenops supramontanus grafitii Casale & Giachino, 1988 (Coleoptera, Carabidae)
Sardaphaenops supramontanus supramontanus Cerruti & Henrot, 1956 (Coleoptera, Carabidae)
Sardohoratia islamioides Manganelli et al., 1998 (Gastropoda, Hydrobiidae)
Sardohoratia sulcata Manganelli et al., 1998 (Gastropoda, Hydrobiidae)
Sardopaladilhia plagigeyeric Manganelli et al., 1998 (Gastropoda, Hydrobiidae)
Sardostalita patrizii (Roewer, 1956) (Araneae, Dysderidae)
Sardulus spelaeus Patrizi, 1955 (Coleoptera, Histeridae)
Spelyngochthonius sardous Beier, 1955 (Pseudoscorpiones, Chthoniidae)
Speomolops sardous Patrizi, 1955 (Coleoptera, Carabidae)
Stigmatogaster dimidiatus sardous (Verhoeff, 1901) (Chilopoda, Himantariidae)
Tegenaria henroti Dresco, 1956 (Araneae, Agelenidae)
Tritracheoniscus cerrutii (Vandel, 1958) (Isopoda, Trachelipodidae)
Trogloithobius sbordonii Matic, 1967 (Chilopoda, Lithobiidae)
Typhloreicheia henroti Jeannel, 1957 (Coleoptera, Carabidae)
Utopioniscus kuehni Schmalzfuss, 2005 (Isopoda, Synocheta)

Bathysciola fortesculpta Jeannel, 1914 (Coleoptera, Cholevidae)
Choneiulus lacinifer Strasser, 1980 (Diplopoda, Blaniulidae)
Cordioniscus patrizii Brian, 1955 (Isopoda, Styloniscidae)
Duvalius sardous (Doderò, 1917) (Coleoptera, Carabidae)
Neobisium (Ommatoblothrus) henroti Beier, 1956 (Pseudoscorpiones, Neobisiidae)
Neobisium (Ommatoblothrus) lulense Gardini, 1982 (Pseudoscorpiones, Neobisiidae)
Omalius doderoi Zanetti, 1980 (Coleoptera, Staphylinidae)
Oritoniscus condei Brian, 1956 (Isopoda, Trichoniscidae)
Plusiocampa socia Condé, 1983 (Diplura, Campodeidae)
Rhegmabotius agostinii Jeannel, 1937 (Coleoptera, Carabidae)
Roncus zoiai Gardini & Rizzerio, 1987 (Pseudoscorpiones, Neobisiidae)
Sardoblanulus annae Manfredi, 1956 (Diplopoda, Blaniulidae)
Sardosoma franchettii Manfredi, 1956 (Diplopoda, Craspedosomatidae)
Scotonomus troglophilus Coiffait, 1970 (Coleoptera, Staphylinidae)



Fig. 6 - *Speleomantes supramontis* and *S. flavus* (right, below), as umbrella species able to protect 48 invertebrate species endemic to two karst areas in eastern Sardinia.

References

Cassola F. (1982) - Il popolamento cavernicolo della Sardegna. *Lav. Soc. ital. Biogeogr.*, N. S., 7, (1978), pp. 615-755.

Cerruti M. (1968) - Materiali per un primo elenco degli Artropodi speleobii della Sardegna. *Fragmenta Entomologica*, 5 (3), pp. 207-257.

Grafitti G. (2001) - Osservazioni sulla fauna cavernicola della Sardegna, pp. 13-33. In: Piras G. & Randaccio F. (eds.) - *Atti Convegno "Biospeleologia dei sistemi carsici della Sardegna"*, (Cagliari, 10 giugno 2000), a cura del Gruppo Speleologico Centro Studi Ipogei "Specus", 116 pp.

Grafitti G., Casale A., Delitala G. & Manca I. (1999) - Contributions to the knowledge of subterranean fauna of Sardinia: a work in progress. *Proc. XIV Intern. Symp. of Biospeleology (Makarska, 19-26. IX. 1999)*, p. 90 (abstract).

Mucedda M., Kiefer A., Pidinchèdda E. & Veith M. (2002) - A new species of long-eared bat (Chiroptera, Vespertilionidae) from Sardinia (Italy). *Acta Chiropterologica*, 4 (2), pp. 121-135.

Puddu S. & Pirodda G. (1974) - Catalogo sistematico ragionato della fauna cavernicola della Sardegna. *Rendiconti Seminario della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari*, 43 (3-4), (1973), pp. 151-205.

Paper II

Larval morphology of *Sardaphaenops adelphus* Casale, 2004, a highly specialized troglobitic beetle endemic to Sardinia (Coleoptera, Carabidae)

ACHILLE CASALE AND PAOLO MARCIA

Università di Sassari, Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Via Muroni 25, 07100 Sassari, Italy; e-mail: casale@uniss.it; pmarcia@uniss.it.

--Subterranean Biology 5: 35-42, 2007--

SUBTERRANEAN BIOLOGY

**Published by The International Society
for Subterranean Biology**

Larval morphology of *Sardaphaenops adelphus* Casale, 2004, a highly specialized troglobitic beetle endemic to Sardinia (Coleoptera, Carabidae)

Achille CASALE and Paolo MARCIA

Università di Sassari, Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Via Muroni 25, 07100 Sassari, Italy; e-mail: casale@uniss.it; pmarcia@uniss.it.

ABSTRACT

Larval features of *Sardaphaenops adelphus* Casale, 2004 are described and illustrated from an older-instar larva obtained, with several adult specimens, in a deep vertical cave. This is a highly specialized troglobitic carabid beetle, recently described and endemic, with the congeneric species *S. supramontanus* Cerruti & Henrot, 1956, to the Jurassic limestone massifs of Central-Eastern Sardinia. The discovery of larval stages of troglobitic carabid beetles with aphaenopsoid shape is a very rare event. Most larval features in *S. adelphus* are in agreement with those known so far in Carabidae of the tribe Trechini, but some others are unusual and important for a better knowledge of the life history of this carabid beetle. Some informative characters, from both the taxonomic and phylogenetic points of view, are stressed and debated.

Key words: Coleoptera, Carabidae, Trechini, *Sardaphaenops adelphus*, larval morphology

INTRODUCTION

Larval morphology of carabid beetles has been the object of many contributions (for a review of the extensive literature concerning the Palaearctic Region, see for instance Makarow 1994). In last years, the classic paper of Bousquet and Goulet (1984) made available to the students of larval stages a rigorous nomenclature and an exact topography of the chaetotaxy in larvae of different groups of carabids.

In particular, the representatives of the tribe Trechini attracted much interest by several authors. Jeannel (1920, 1926), in his classic monographs, greatly contributed to the knowledge of the larval morphology of Trechini known at his time. Later, many other contributions were dedicated to this topic by several authors in different parts of the world. Monographic papers at local scale are also available (Luff 1985).

More recently, Grebennikov and Maddison (2005), stressing some informative characters, proposed a phylogenetic analysis of the supertribe Trechitae (Carabidae subfamily Trechinae of authors, including Zolini, Pogonini, Trechini and Bembidiini) based on larval morphology, with a key to tribes and some genera at global scale. From this analysis, the monophyly of the tribe Trechini, with the subtribes Trechodina and Trechina, appears strongly supported.

Concerning Trechini of the Italian fauna, very rich in endemic genera and species (some 215 species distributed in 17 genera: Vigna Taglianti 2005), a pioneer contribution was offered by Boldori, who in one of his papers (Boldori 1958) proposed a preliminary key for

identification to genera based on larval features. Subsequently, larval characters of many both epigeal and hypogean species were described and illustrated, mostly of the genera *Trechus* Clairville, 1806 (see, among others, Giachino 1985, 1989) and *Duvalius* Delarouzeé, 1859 (see, among others, Vigna Taglianti 1967). Among the genera more recently described, the larval characters of the genus *Doderotrechus* Vigna Taglianti, 1968, have been described for two species by Vigna Taglianti (1968) and Casale (1980), respectively. All these genera have been included by Makarow (1994) in his key to Palaearctic genera of carabids.

However, among the most specialized troglobitic representatives of Trechini endemic to the Italian fauna, only the larval features of the genus *Allegrettia* Jeannel, 1928 have been described (Boldori 1924), although erroneously attributed, in the original description, to *Boldoriella carminatii* (Doderò, 1917). The larval morphology of taxa with highly modified aphaenopsoid shape, e.g. *Sardaphaenops* Cerruti & Henrot, 1956, *Lessinodytes* Vigna Taglianti, 1982, and *Italaphaenops* Ghidini, 1964, remain unknown so far. The larva of *Italaphaenops dimaioi* Ghidini, 1964, however, is now available and under examination (Monguzzi, personal communication).

Purpose of this paper is the description of larval features of *Sardaphaenops adelphus* Casale, 2004, one of the two aphaenopsoid representatives of a genus peculiar to Sardinia, with a discussion of its characters from the morphological and biospeleological points of view. This is a highly specialized troglobitic, recently described carabid beetle, known so far from four caves in the "Supramonte" area of Baunei (Ogliastra region), and

endemic (with the congeneric species *S. supramontanus* Cerruti & Henrot, 1956) to the Jurassic limestone massifs of Central-Eastern Sardinia (Casale 2004).

MATERIAL AND METHODS

Two larvae of *S. adelphus* were collected on May 22, 2005 (J. De Waele, P. Marcia, C. Onnis leg.) in deep zones of the cave "Voragine di Tesulali" 2681 SA/NU 40°07'40"N 2°52'17"E, m 895, near Baunei (Central-Eastern Sardinia, Italy), walking with several adult individuals on muddy soil. The identification was stated *ex societate imaginis*, and appears reasonably certain. In fact, *S. adelphus* is syntopic with *Sardaphaenops supramontanus graffitii* Casale and Giachino, 1988; the latter however in this cave is very rare, spread in other parts of the hypogean system, and – as an adapted walker on stalagmitic walls - with a different way of life.

One of the larvae was cleaned in KOH at 10%, dehydrated in Ethanol, and mounted on permanent microscope slides in Balsam of Canada. The specimen is now preserved in the collections of the Department of Zoology, University of Sassari (Italy).

The specimen was examined with a stereomicroscope Wild M5, and for details with a Zeiss Orthoplan; all drawings were prepared using *camera lucida* mounted on both microscopes. Measurements were made using a micrometre.

The nomenclature, and the location of pores and setae, is according to the models proposed by Bousquet and Goulet (1984), Makarow (1994) and Grebennikov and Maddison (2005).

Acronyms. TL: total length, from the anterior margin of frontale (nasale) to the apex of abdominal segment X (pygidium). HL: head maximum length, from the anterior margin of epistoma to the base of epicranial suture. HW: head maximum width. LP/WP: length of pronotum/width of pronotum. LM/WM: length of mesonotum/width of mesonotum. LME/WME: length of metanotum/width of metanotum. Other abbreviations are explained in both text and figures.

RESULTS

Larval features of Sardaphaenops adelphus

Diagnosis. Larva campodeiform, pubescent, elongate and slender, with developed urogomphi (Fig. 1). Colour pale, whitish; cephalic capsule, head appendages and legs pale yellow-reddish. Head elongate; mandibles very long, arcuate, with big retinaculum and evident penicillum; stemmata absent. Legs elongate, each with one claw.

Description. Size: TL mm 4.95. Owing to the size, similar to that of adult specimens (mm 5.0-5.6 mm: see Casale 2004), to the lateral side of stipes with sev-

eral setae, femora with additional secondary setae, and urogomphi with several long setae (see Grebennikov and Maddison 2005), we assumed that these individuals were older-instar larvae, of second or third instar.

Head (Fig. 4) elongate; cephalic capsule parallel sided, markedly longer than wide (HL: 0.76; HW: 0.63; ratio HL/HW: 1.20), densely pubescent. Neck constriction vanished. Frontal sutures moderately sinuate; epicranial suture short, as long as one fourth of the head width. Nasale (Fig. 8) very prominent, with six-seven small, irregular teeth on each side. Parietale without postocular and epicranial grooves; stemmata (ocelli) absent.

Chaetotaxy (Figs 5-6): in frontale (FR), all primary setae (1-11) are evident; FR1, FR2, and FR7, with long setae, much longer than the others; in parietale (PA), all primary setae (1-19) are also evident; pores k, i, j, l, m, n, o present.

Antenna (Fig. 9) four segmented, long and slender. Segment 1 with pores a, b, d, e evident; pore c absent. Segment 2 as long as the segment 1, with one very small sensillum. Segment 3 with setae AN1, 2 and 3 long, evident; sensorial appendage elongate; surface of the penultimate antennomere above the sensorium slightly sclerotized. Segment 4 with setae AN4, 5, 6 and 7 evident; setae 5 and 7 very long.

Mandible (Fig. 10) very long and narrow, regularly curved, with evident penicillum and developed, moderately bent retinaculum. Seta MN1 very long, MN2 absent.

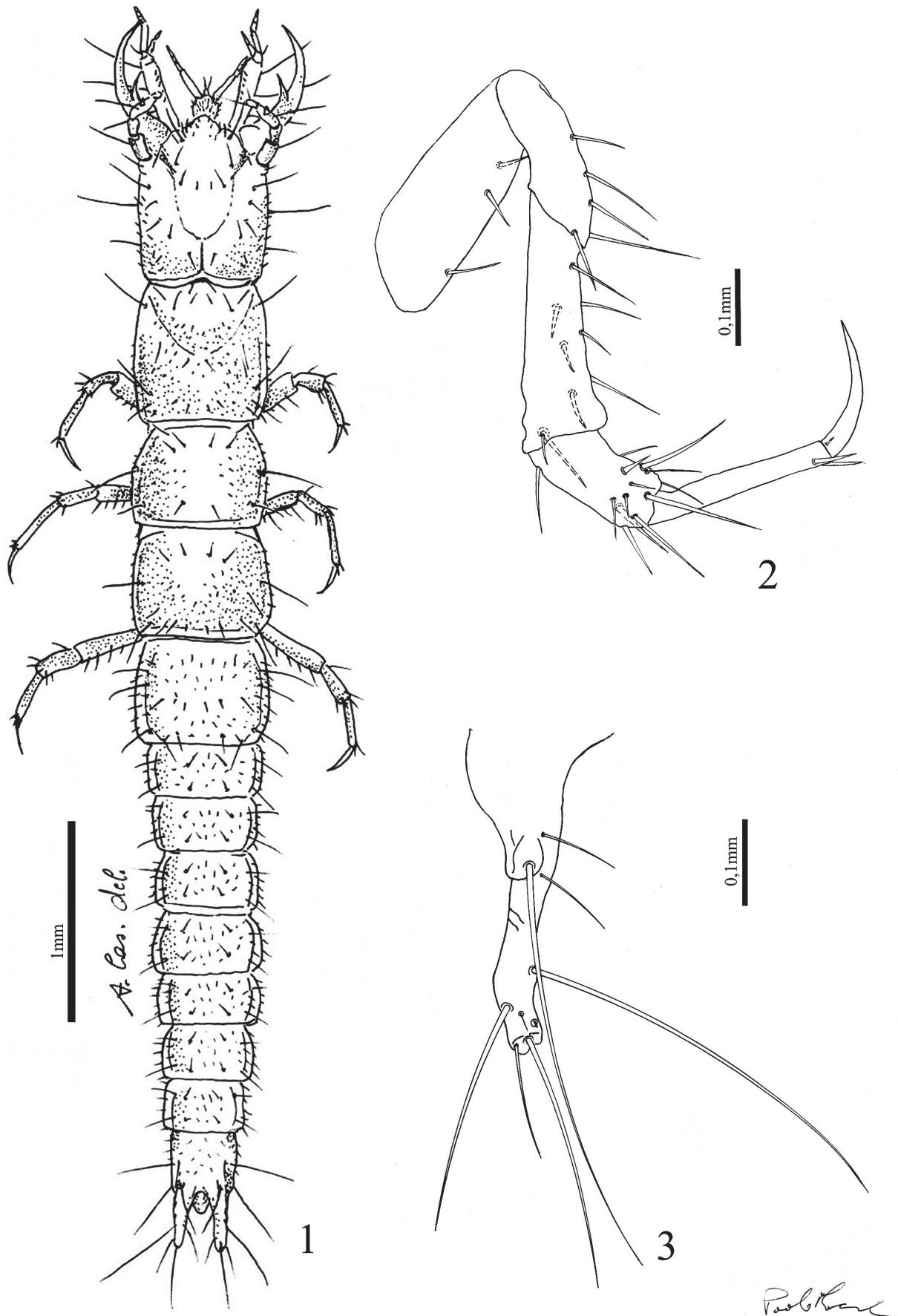
Maxilla (Fig. 11) elongate. Cardo very small, seta MX1 not evident. Stipes very long, distinctly longer than the maxillary palp, with setae MX2, 3, 5, 6 long; MX9 very reduced in size; pores a, b present, each with a short seta; setae on the dorsal side (gMX) scarce but evident, spinose. Maxillary palp – like in other representatives of the tribe Trechini - five segmented, being composed by four palpomeres inserted on the basal segment (*palpiger*), taking the seta MX10. Lacinia not evident. Galea two segmented, with segments almost equal in length and without evident setae.

Labium (Fig. 12) elongate. Prementum densely pubescent on the dorsal side, and bearing several additional setae on the lateral margins. Labial palp – like in other representatives of the tribe Trechini – four segmented.

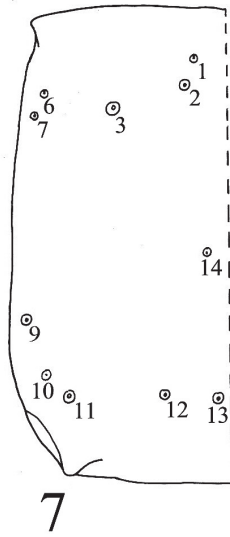
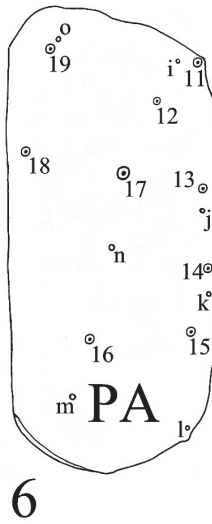
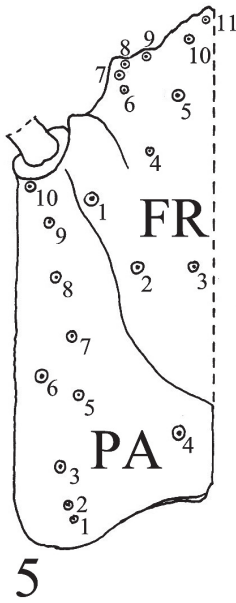
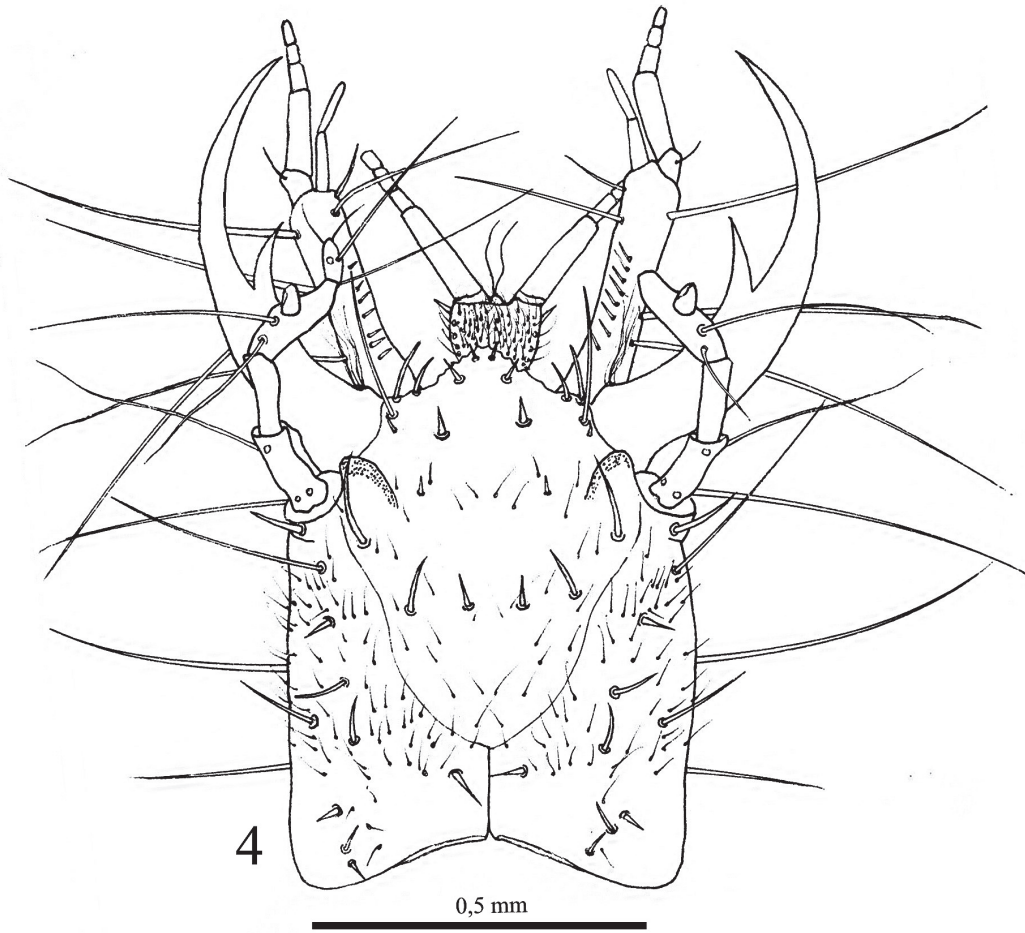
Prothorax (Fig. 7) elongate, longer than wide (ratio LP/WP: 1.07), parallel sided, slightly narrowed in front. Medial suture vanished. PR1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14 evident; lateral setae 6 and 9 very long. Prothoracic pores PRc, e, i absent.

Meso- and metathorax transverse (ratio LM/WM: 0.76; LME/WME: 0.80). Medial suture vanished and chaetotaxy reduced. Notum of both segments with only setae ME2, 8, 11, 12, 13, 14 distinct.

Legs (Fig. 2) very long and slender; the metathoracic pair longer, and markedly distant from the second pair. Coxa, femur and tarsus elongate. Lengths of the segments of the prothoracic leg are, respectively: coxa mm 0.34; trochanter mm 0.28; femur mm 0.40; tibia mm

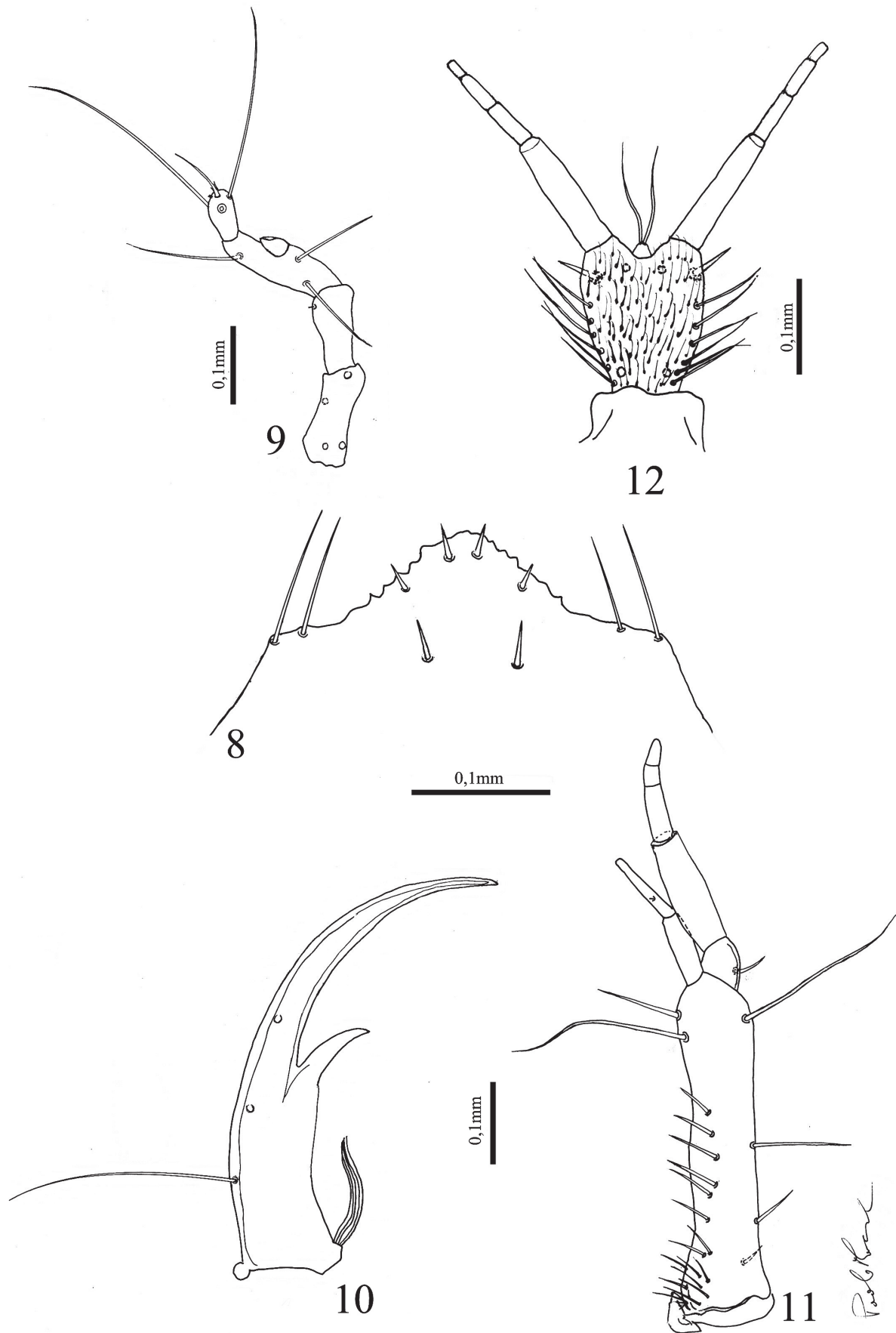


Figs 1-3 - *Sardaphaenops adelphus*, larval features. 1: habitus, dorsal view; 2: left prothoracic leg, dorsal view; 3: left urogomphus, dorso-lateral view.



Paolo Marcia

Figs 4-7 - *Sardaphaenops adelphus*, larval features. 4: head, dorsal view; head, left half, dorsal view; 6: head, left half, ventral view; 7: pronotum, left half. Abbreviations: FR: frontale, PA: parietale.



Figs 8-12 - *Sardaphaenops adelphus*, larval features. 8: nasale; 9: right antenna, dorsal view; 10: left mandible, dorsal view; 11: right maxilla, dorsal view; 12: labium, dorsal view.

0.15; tarsus mm 0.29; claw mm 0.16. Coxa with three setae (CO6, 8, 9). Trochanter with five setae (TR3, 4, 5, 7, 8). Femur with some additional, secondary setae besides those indicated by Bousquet and Goulet (1984) in their generalized model: besides FE2, 3, 4, 5, 6, some additional setae on the postero-ventral side are present. Tibia with TII-7 present, and some additional pre-apical spinose setae. Tarsus with preapical TA2 and TA7 evident; tarsal setae TA3-6 absent. Only one claw present; claw seta very reduced in size and attached on the base of the claw.

Abdominal segments 1-8 transverse; setae TE1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 markedly long. Abdominal segment 9 elongate and narrow, taking moderately developed, unarticulated urogomphi (Fig. 3). UR4-9 evident, UR5 and 6 very long.

Pygidium short, weakly sclerotized.

DISCUSSION

The discovery of larval stages of highly specialized troglobitic carabids is a rare event, even in caves where adult individuals are very abundant. This is a well known fact, which authorized many biospeleologists (among others Jeannel 1920, 1943) to suppose that the larval stages of these species were confined to deep crevices and inaccessible fissures of the hypogean systems, where they accomplish their development in very stable environmental conditions.

In Pyrenees, for instance, where not less than 40 species of *Aphoenops* Bonvouloir, 1862 (*sensu lato*) (*Aphaenops* of authors) and 18 species of *Hydrapphaenops* Jeannel, 1926 are known so far, larvae of only two species of the first genus, and one of the second have been described.

The descriptions by Deleurence-Glaçon (1963) and Bouillon (1964) of the first instar larva obtained *ex ovo* of *Aphoenops cerberus* (Dieck, 1869) and *A. crypticola* (Linder, 1859), respectively, with markedly modified features (globose head, very short appendages, short urogomphi, and reduced chaetotaxy), induced biospeleologists to believe that the most specialized aphaenopsoid troglobitic Trechini should have – like some cholevid beetles of the tribe Leptodirini – a contracted life cycle, reduced to one or two only larval stages which do not eat (see Casale et al 1998).

Nevertheless, it is known that at least some taxa highly adapted to the subterranean environment (species of the genera *Paraphaenops* Jeannel, 1916, *Neaphaenops* Jeannel, 1920, *Allegrettia* Jeannel, 1928, *Trichaphaenops* Jeannel, 1916) have running, predaceous, not modified larvae, perfectly agreeing in morphology with those of more basic species. The larva of *Hydrapphaenops ehlersi* (Abeille de Perrin, 1872), bred in the subterranean laboratory in Moulis (France) and described by Deleurence (1960), is highly hygrophilous, can be submerged by the water, and eats regularly.

This seems the case of the larva of *Sardaphaenops adelphus* here described. We have to recall that this taxon, as pointed out in the original description, is markedly *Hydrapphaenops*-like for both morphological and ecological features, and was observed only in big, active, periodically flooded hypogean systems (Casale 2004). In spite of the fact that adult representatives of this genus display extreme aphaenopsoid modifications to the life in caves, the larval features are in full agreement with the general model of Trechini of the subtribe Trechina, apart some troglomorphic modifications related to the subterranean way of life (blind, large head, general weak sclerotization, depigmented body, elongate appendages, femur and tarsus markedly elongate) peculiar also to the adult stage. The additional pores on FR and PA, made evident by Giachino (1989) in *Trechus* larvae, are not evident.

In particular, all main synapomorphies stressed by Grebennikov and Maddison (2005) for the supertribe Trechitae (subfamily Trechinae of authors) (claws with only one seta, tarsal setae TA3-6 absent, prothoracic pores PRc, e, i absent), the tribe Trechini (surface of the penultimate antennomere above the sensorium sclerotized, frontale with secondary setae in older instars), and subtribe Trechina (presence of secondary femoral setae in older-instar larvae), have been confirmed.

Furthermore, the well known morphological characters peculiar to larvae of trechid beetles are evident (see Jeannel 1920; Makarow 1994): only one claw present, and apical palpomeres of maxillary and labial palp subdivided on three and two subsegments, respectively, so that the maxillary palp appears five segmented (palpiger plus four palpomeres), and the labial palp is four segmented. Evolution of claws, the transformation series, and the reduction of the number of claws from two to one in this, and other groups of carabids, have been discussed by Grebennikov and Maddison (2005).

Some peculiar characters, like the dense hydrofobous pubescence on head and body, and the densely pubescent labium, could be related – like in some Leptodirini cholevid beetles – to a specialized feeding behaviour on muddy soil and wet film of organic matter in periodically flooded caves.

A comparison with the larval features of other genera of Trechini is scarcely informative. For the general features, and shape of both nasale and urogomphi, the larva of *S. adelphus* resembles to that of species of the genera *Geotrechus* and *Paraphaenops* (see, among others, Makarow 1994).

The phylogenetic position of *Sardaphaenops* among Trechini, and its high biogeographic interest in the history of the Mediterranean insect fauna, have been debated several times. From all adult morphological features, its possible position as adelphotaxon of the Iberian genus *Paraphaenops* has been proposed several times (Casale and Giachino 1988; Casale and Vigna Taglianti 1996; Casale 2004). Therefore, this taxon – with several other subterranean elements of the Sardinian fauna – should belong to the Iberian-Pyrenean stock of taxa derived in the island as

a consequence of the Miocene drift of the Corso-Sardinian massif in the Western Paleo-Mediterranean basin.

The features of this larva, and our scarce knowledge of the larval stages of troglobitic Trechini, does not offer conclusive elements supporting this hypothesis. In fact, it seems evident that, like in adults, also in larval stages some convergence characters are possible. An impressive example is offered by the larva of the Caucasian species *Jeannelius birsteini* Ljovuschkin, 1963, which presents marked resemblances to the larva of the Alpine species *Allegrettia boldorii* Jeannel, 1928 (Makarow and Koval 2003). The troglobitic, "pterostichoid" species of *Jeannelius*, in adult stages, are somewhat similar to those of *Allegrettia*, but these genera are currently attributed to two different phyletic lineages (*Neotrechus* and *Aphoenops* phyletic lineages, respectively) (Casale and Laneyrie 1982).

CONCLUSIVE REMARKS

The larval features of *S. adelphus*, described in this paper, are very informative from the biospeleological point of view. They demonstrated that in highly specialized, troglobitic aphaenopsoid trechid beetles, like representatives of the genus *Sardaphaenops*, the larva does not present a contracted biological cycle. On the contrary, at least the older-instar larva presents the most generalized features peculiar to most Trechini of the subtribe Trechina, including epigeal species. For this very reason, its characters do not offer any further information about the taxonomic and phylogenetic relationships of this genus with other genera of Euro-Mediterranean Trechini.

It is confirmed that the occurrence of larvae of the most specialized trechid beetles in accessible caves is a very rare event, even in localities where adult individuals are abundant. This occurrence could be due to exceptional conditions, like increasing of subterranean water flooding the deeper zones where the larvae develop. In Sardinia, for instance, *Sardaphaenops supramontanus* is much more widely spread than *S. adelphus* (see updated map in Casale 2004), and in some caves is abundant. However, never any larva of this species has been found.

Lack of stemmata, weak sclerotization, long appendages, moderately long, unarticulated urogomphi, are well known result of selective pressures for a life in caves, and are in agreement with the "soil pore explorer" type proposed by Zetto Brandmayr et al (1998). Elongate, slender body, long mandibles and distanced legs show an adaptation to fast running movements and a predaceous way of life of this larva.

ACKNOWLEDGMENTS

For the invaluable speleological support in the field, the authors are particularly indebted with Jo De Waele (Bologna), Enrico Lana (Torino), Giuseppe Grafitti

(Sassari) and Carlo Onnis (Cagliari). For communication of data, suggestions and bibliographic references, our sincere thanks are extended to Pier Mauro Giachino (Torino) and Riccardo Monguzzi (Milano), and for the critical lecture of the manuscript to Augusto Vigna Taglianti (Roma).

REFERENCES

- Boldori, L. 1924. Contributo alla conoscenza della fauna cavernicola lombarda. La larva del *Duvalius Carmi-natii* ssp. *Humeralis* Dod. Bollettino della Società entomologica italiana 66: 145-148.
- Boldori, L. 1958. Larve di Coleotteri I. Larve di Trechini X. Memorie della Società entomologica italiana 37 (2): 149-161.
- Bouillon, M. 1964. Description de la larve de *l'Aphaenops crypticola* Linder (Coleoptera Trechinae). Annales de Spéléologie 19 (4) : 751-758.
- Bousquet, Y., H. Goulet. 1984. Notation of primary setae and pores on larvae of Carabidae (Coleoptera: Adephaga). Canadian Journal of Zoology 62: 573-588.
- Casale, A. 1980. Trechini e Bathysciinae nuovi o poco noti delle Alpi occidentali, e note sinonimiche (Coleoptera, Carabidae e Catopidae). Fragmenta entomologica 15 (2): 305-326.
- Casale, A. 2004. Due nuovi Coleotteri ipogei di Sardegna, *Sardaphaenops adelphus* n. sp. (Coleoptera Carabidae) e *Patriziella muceddai* n. sp. (Coleoptera Cholevidae), e loro significato biogeografico. Bollettino della Società entomologica italiana 136 (1): 3-31.
- Casale, A., P.M. Giachino. 1988. Note su *Sardaphaenops supramontanus* Cerruti & Henrot, 1956 (Col. Carabidae), e descrizione di *S. supramontanus grafittii* n. subsp. Bollettino del Museo regionale di Scienze naturali, Torino 6 (2): 585-601.
- Casale, A., R. Laneyrie. 1982. Trechodinae et Trechinae du monde. Tableau des sous-familles, tribus, séries phylétiques, genres, et catalogue général des espèces. Mémoires de Biospéologie 9, 226 pp.
- Casale, A., A. Vigna Taglianti. 1996. Coleotteri Carabidi di Sardegna e delle piccole isole circumsarde, e loro significato biogeografico (Coleoptera, Carabidae). Biogeographia, Lavori della Società italiana di Biogeografia (n.s.) 18 (1995): 391-427.
- Casale, A., A. Vigna Taglianti, C. Juberthie. 1998. Coleoptera Carabidae. Pp.1047-1081 in C. Juberthie, V. Decu eds. Encyclopaedia Biospeologica. 2. Moulis-Bucarest.
- Deleurence, S. 1960. Sur la biologie de *l'Hydraphaenops ehlersi* Ab. (Coléoptère Trechinae). Description de la larve du premier stade. Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences 251 : 974-975.
- Deleurence-Glaçon, S. 1963. Contribution à la connaissance des Coléoptères cavernicoles de la sous-fa-

- mille des Trechinae. *Annales de Spéléologie* 18 (2) : 227-265.
- Giachino, P.M. 1985. Morfologia larvale di alcuni *Trechus* alticoli delle Alpi Lepontine (Coleoptera, Carabidae). *Bollettino della Società entomologica italiana* 117 (8-10): 161-171.
- Giachino, P.M. 1989. Contributo alla conoscenza della morfologia larvale del genere *Trechus*. La larva di *Trechus schatzmayri* Focarile, 1949 (Coleoptera, Carabidae). *Rivista piemontese di Storia naturale* 10: 131-135.
- Grebennikov, V.V., D.R. Maddison. 2005. Phylogenetic analysis of Trechitae (Coleoptera: Carabidae) based on larval morphology, with a description of first-instar *Phrypeus* and a key to genera. *Systematic Entomology* 30: 38-59.
- Jeannel, R. 1920. Les larves des Trechinae. *Biospéologie*, 42, *Archives de Zoologie expérimentale et générale* 59: 509-542.
- Jeannel, R. 1926. Monographie des Trechinae. 1ère Livraison. *L'Abeille* 32: 221-550.
- Jeannel, R. 1943. Les fossiles vivantes des cavernes. Gallimard, Paris, 321 pp.
- Luff, M.L. 1985. The larvae of the British Carabidae (Coleoptera). 7. Trechini and Pogonini. *Entomologist's Gazette* 36: 301-312.
- Makarow, K.V. 1994. A key to the genera of the Ground-beetle larvae (Coleoptera, Carabidae) of the Palearctic region. *Bollettino del Museo regionale di Scienze naturali, Torino* 12 (1): 221-254.
- Makarow, K.V., A.G. Koval. 2003. On the biology of the troglobiont carabid *Jeannelius birsteini* Ljovuschkin, 1963 (Coleoptera, Carabidae, Trechini). *Entomologicheskoe Obozrenie* 82 (4): 836-845 (in Russian).
- Vigna Taglianti, A. 1967. La larva del *Duvalius lepinensis* (Coleoptera, Carabidae). *Fragmenta entomologica* 5 (2): 153-163.
- Vigna Taglianti, A. 1968. Un nuovo genere di Trechinae endogei e cavernicoli delle Alpi occidentali (Coleoptera, Carabidae). *Fragmenta entomologica* 5 (3): 181-201.
- Vigna Taglianti, A. 2005. Checklist e corotipi delle specie di Carabidi della fauna italiana. Pp. 186-225 in P. Brandmayr, T. Zetto, R. Pizzolotto eds. *I Coleotteri Carabidi per la valutazione ambientale e la conservazione della biodiversità*. APAT, Roma.
- Zetto Brandmayr, T., A. Giglio, I. Marano, P. Brandmayr. 1998. Morphofunctional and ecological features in carabid (Coleoptera) larvae. Pp. 449-490 in G.E. Ball, A. Casale, A. Vigna Taglianti eds. *Phylogeny and Classification of Caraboidea*. Atti XX International Congress of Entomology (Florence, 1996), Museo regionale di Scienze naturali, Torino.

Paper III

Morphology and way of life of the larval stages of *Speomolops sardous* Patrizi, 1955, a cave dwelling molopine beetle endemic to Eastern Sardinia (Coleoptera, Carabidae)

A.CASALE^{1*}, A. DI GIULIO², P. MARCIA P.¹ & A. MOLINU³

1 Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Università di Sassari, Via Muroli 25, 07100 Sassari, Italy.

2 Dipartimento di Biologia, Università degli Studi 'Roma Tre', Viale G.Marconi 446, 00146 Roma - Italy

3 Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sede di Sassari, Traversa La Crucca
3, 07100 Sassari, Italy.

* Correspondence: Achille Casale, Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Via Muroli 25, 07100
Sassari (Italy). Email: casale@uniss.it

--Submitted to Italian Journal of Zoology--

**Morphology and way of life of the larval stages of
Speomolops sardous Patrizi, 1955, a cave dwelling
molopine beetle endemic to Eastern Sardinia
(Coleoptera, Carabidae)**

A. CASALE^{1*}, A. DI GIULIO², P. MARCIA P.¹ & A. MOLINU³

1 Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Università di Sassari, Via Muroni 25, 07100 Sassari, Italy.

2 Dipartimento di Biologia, Università degli Studi 'Roma Tre', Viale G.Marconi 446, 00146 Roma - Italy

3 Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sede di Sassari, Traversa La Crucca 3, 07100 Sassari, Italy.

* Correspondence: Achille Casale, Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Via Muroni 25, 07100 Sassari (Italy).

Email: casale@uniss.it

Abstract

Recent investigations confirmed that Molopina, currently treated as subtribe of Carabidae Pterostichini, although moderately supported from the morphological point of view, are a monophyletic unit represented by several genera and species distributed in the Euro-Mediterranean area. Larval morphology and peculiar behaviour of several epigeal species, noticeable for developed phenomena of parental care rather unusual among Coleoptera Carabidae, are well known since several years. On the contrary, nothing was known so far about larval stages, development, and way of life, of the specialized subterranean species of some genera (*Molopidius* Jeannel, 1942, *Oscadytes* Lagar, 1975, *Henrotius* Jeannel, 1953, *Zariqueya* Jeannel, 1924, *Speomolops* Patrizi, 1955) endemic to the Tyrrhenian area (Southern Iberian peninsula, Pyrenees, Balears, Sardinia) and currently interpreted as the result of an event of vicariance produced by the Miocene drift of the West Mediterranean micro-plates. In this paper, the larval morphology of *Speomolops sardous* Patrizi, 1955, a specialised troglobitic beetle endemic to eastern Sardinia, is described and illustrated. In particular, the main diagnostic characters are stressed (stemma absent; mandibles with a dorsal, longitudinal, membranous furrow; retinaculum very small; seta FR8

sickle-shaped, widely flattened and expanded), and compared with those of species of genera which seem more closely related to *Speomolops*, e.g. *Molops* Bonelli, 1810, *Tanythrix* Schaum, 1858, and *Typhlochoromus* Moczarsky, 1913.

Some data about habitat and way of life of the larval stages of *Speomolops sardous* are also given. They show an obligate, fossorial way of life into sandy soils in deep zones of large, periodically flooded subterranean systems. This indicates that any human impact on these environments should have a destructive effect on the survival of this relict species, endemic to an area of Sardinia very reduced in size.

Keywords: Coleoptera, Carabidae, Molopina, *Speomolops sardous*, larval morphology, way of life

Introduction

From the morphological point of view, Euro-Mediterranean Molopina Bonelli, 1810, currently treated as a subtribe of Carabidae Pterostichini, appears as a moderately supported monophyletic unit. As recalled by Brandmayr and Zetto Brandmayr (1994) and by Düring and Brückner (2000), the group is characterized by some external features in adults, like the absence of discal setiferous punctures on elytra, the presence of a basal keel on the seventh (or sixth) elytral interval, the lack of secondary sexual characteristics in the 7th abdominal segment in the male, and the presence of a membranous band at the base of the first antennomere in the larvae. The features of female genitalia do not give additional informative data on the homogeneity of Molopina (Giachino & Sciaky 1991).

From the molecular point of view, however, the clade “Molopina”, including the Euro-Mediterranean genera *Molops* Bonelli, 1810, *Tanythrix* Schaum, 1858, *Typhlochoromus* Moczarski, 1913 (treated as distinct genera: Vigna Taglianti 2005), *Percus* Bonelli, 1810, *Abax* Bonelli, 1910, and some subterranean taxa cited below, but excluding *Styracoderus* Chaudoir, 1874 (an Iberian genus currently attributed to this subtribe: Serrano 2003) and all genera from the southern hemisphere (South Africa, Madagascar and Australia, attributed to Molopina in some contributions: see, among others, Jeannel 1948), seems to be strongly supported (Casale & Ribera in press).

The high biogeographic interest of some genera of Molopina has been stressed in several papers (Baroni Urbani *et al.* 1978; Brückner and Mossakowski 2006). This is particularly evident in some subterranean genera (*Molopidius* Jeannel, 1942, *Oscadytes* Lagar,

1975, *Henrotius* Jeannel, 1953, *Zariqueya* Jeannel, 1924, *Speomolops* Patrizi, 1955), the species of which are endemic to the Tyrrhenian area (Southern Iberian peninsula, Pyrenees, Balears, Sardinia), and are currently interpreted as the result of an ancient event of vicariance produced by the tectonic, Miocene drift of the West Mediterranean micro-plates (Casale & Vigna Taglianti 1996; Vigna Taglianti 1982).

Furthermore, in this group, the species of some genera are highly noticeable for having developed phenomena of parental care, described more than one century ago (Bargagli 1874), and rather unusual among carabids (Brandmayr 1992; Brandmayr and Zetto Brandmayr 1979; Kavanaugh 1998).

Nevertheless, and in spite of a reach literature on these beetles, including descriptions of several larval stages, nothing was known so far about the pre-imaginal stages of the subterranean taxa of the Western Mediterranean area, their development, habitat choice, and behaviour. In this contribution, we describe the morphology of the larva, and its peculiar way of life, of one of these: *Speomolops sardous* Patrizi, 1955, a highly specialized troglobitic species endemic to the Triassic limestone massifs of Central-Eastern Sardinia.

Material and methods

Material examined: Five larvae (1 second and 4 third instars) of *Speomolops sardous* preserved in 70% ethyl alcohol, with data: Italy, Central-Eastern Sardinia, Bue Marino cave near Cala Gonone, Dorgali (Nuoro), Sardinian Speleological cadastre: 12 SA/NU, 40° 14' 51" N, 9° 37' 29" E.

The attribution to the relative larval instars was established by the observation of some morphological features: 1. the absence of *ruptor ovi*, which excludes a first instar stage; 2. the sizes of the head, which is the most sclerotized part of the body, not subject to possible modifications during the different phases of preparation; and, 3. by the fact that the larva utilized for the S.E.M. examination was clearly in exuvia phase, from the second to the third instar.

Larvae were collected in deep zones, about 2 km far from the entrance into sandy, humid soil on the banks of one of the internal subterranean lakes, where many adult individuals were walking. The identification of larvae was stated *ex societate imaginis*.

Samples were collected on 10th September, 2006, during one of the several bio-speleological expeditions organized in last years by some of the authors (A.C., A.M., P.M.), and by other bio-speleologists working on this area (see Casale *et al.* 2008).

Two third instar larvae were cleared in 10% KOH, dehydrated in ethanol, and mounted on microscope slides in Canada Balsam. Another third instar larva was dehydrated in ethanol, cleared in xylene, and mounted as dried specimen on pinned card. The second instar larva was dehydrated in ethanol from 10% to 100%, critical point dried, sputtered with gold, mounted on stub, and photographed with a Philips XL30 scanning electron microscope (L.I.M.E. laboratory, University "Roma Tre", Rome). All material is presently preserved in the collections of the Department of Zoology, University of Sassari (Italy).

The specimens have been examined and drawn with stereomicroscopes Wild M5 and Olympus SZX16, and for details with Zeiss Orthoplan and BX51, all equipped with drawing tubes.

Measurements were made by analyzing pictures taken by digital camera Color View II (Soft Imaging System) by Cell* (software for life sciences microscopy, Olympus Cell* Family, Soft Imaging System).

For general terminology of larval structures we refer to Lawrence (1991). Notation of primary setae and pores follows the system of Bousquet and Goulet (1984) and Bousquet (1985).

Results

Description of third instar larva of *Speomolops sardous*

Diagnosis. This larva can be distinguished from other molopine larvae for the peculiar combination of the following morphological characters: stemmata absent; mandibles with a dorsal, longitudinal, membranous furrow; retinaculum very small; seta FR8 sickle-shaped, widely flattened and expanded.

Measurements. Total body length (TL), from anterior margin of frontale (at the level of nasale) to apex of abdominal segment X (pygidium): 8,58 mm; head maximum length (HL), from anterior margin of epistoma (apex of nasal teeth) to base of stem of epicranial suture: 0,77mm; head maximum width (HW) 0,92 mm; length of pronotum (LP): 1,06 mm; width of pronotum (WP) 1,18 mm; length of mesonotum (LM): 0,69 mm; width of mesonotum (WM): 1,18 mm; length of urogomphi: 1,25 mm.

Habitus and coloration. Body soft, slender, cylindrical, subparallel sided, weakly sclerotized (Figs 1-2). Colour pale, with cephalic capsule and mandibles more sclerotized, reddish-brown; head appendages, legs and urogomphi light brown; sclerites of thorax and

abdomen pale, whitish to light brown.

Microsculpture. Sclerotized structures (cephalic capsule, mouthparts, sclerites and legs) smooth, membranous areas of body rugose (Figs 19-20). Anterior belt of pronotum (Fig. 12) distinctly corrugated longitudinally. Setae of head and body longitudinally corrugated except for setae of urogomphi with irregular transversal pattern (Fig. 21).

Chaetotaxy. Frontoclypeolabrum (Figs 4, 7) with 1 pair of additional setae on adnasalia internal and parallel to FR₉; FR₈ sickle-shaped, widely flattened and expanded (Fig. 17); FR₃ extremely small; FR₄ slightly posterior to the level of pore FR_c; FR₁₀ and FR₁₁ peg-like. Parietale (Figs 4-6) without additional setae; PA₄, PA₈ and PA₁₄ very small; PA₅ posterior to cervical groove. Antennae (Fig. 8) with antennomere I with 1 additional seta; II with 2 additional setae. Mandible (Fig. 9) without additional setae. Maxilla (Fig. 10) with setal group gMX on stipes composed of approximately 50 small setae; one strong, spiniform, short seta on outer margin, more basal than MX₂; seta MX₃ about twice as long as MX₂; MX₁₀ very small; palpomere IV with small medial additional seta, 6 longitudinal subapical digitiform sensilla and apical sensorial area composed of several small papillae. Prementum (Fig. 11) without additional setae; labial palpomere II with 1 very small additional seta, medially directed, and apical sensorial area composed of several small papillae. Pro-, meso- and metanotum (Fig. 12) without additional setae. Coxa, trochanter and femur (Fig. 13) with setae spine-like; no additional setae present. Abdominal tergites (Fig. 1) without additional setae. Median sternites (Fig. 14) with two pairs of additional setae. Hypopleurites (Fig. 14) with 3 additional setae. Epipleurites (Fig. 14) with 2 additional setae. Urogomphi (Fig. 15, 19, 21) with 2 ventral additional setae each, one subapical and one medial; one basal additional seta often present laterally. Pygidium (Figs 19-20) without additional setae.

Head. Cephalic capsule (Figs 4-6) slightly transverse (HW/HL = 1.18), prognathous, sub-parallel sided, only slightly curved; maximum width at level of setae PA₆; occipital foramen dorsally displaced. Frontoclypeolabrum (Figs 4, 7) shield-like, slightly elongate (L/W = 1.2), with surface medially convex and laterally concave, anteriorly sloped; frontoclypeolabral length about 6.5 times longer than basal stem of epicranial suture, anterior frontal arms straight or only slightly sinuate; frontoclypeolabrum anteriorly produced into 2 sub-triangular teeth (Fig. 7), apically rounded, widely separated by a deep, V-shaped, incisure; frontoclypeolabrale convex at the level of the teeth; adnasalia pointed and slightly protruding; epipharynx with preoral filter apparatus, composed by two lateral tufts of verticillate hairs projecting towards the mouth and a medial tuft of plumy hair structures, partially branched, anteriorly directed (Fig. 18). Parietale (Figs 4-6) without any trace of stemmata; ocular groove absent; cervical groove wide, slightly extended ventrally; walls of

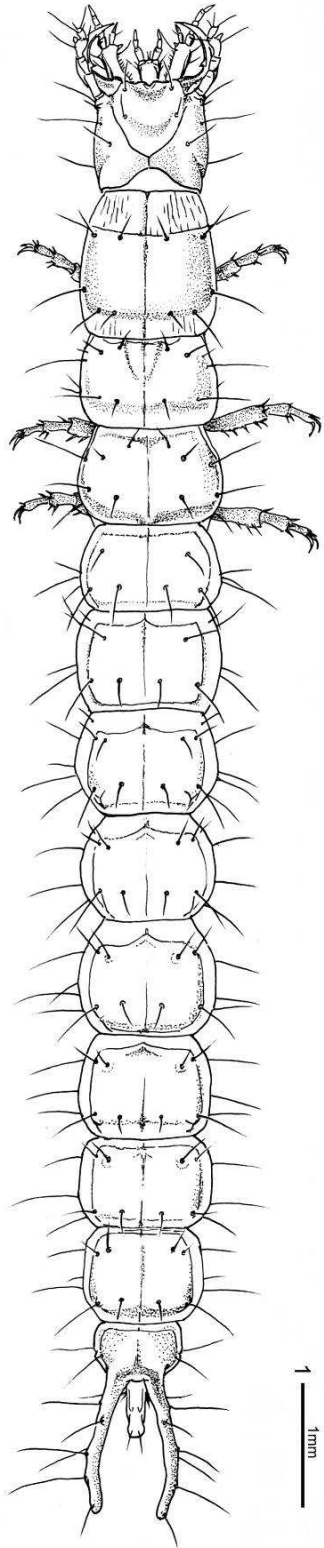
parietale medially fused, forming a complete gular suture (Fig. 5). Antennae (Figs 4, 6, 8) 4-jointed, about as long as mandibles, forwardly directed; antennomere I longer than others, with sub-basal membranous belt; II half long than I; III slightly shorter than I; IV half long than III; III with conical sensorial appendage, about half as long as IV. Mandibles (Fig. 9, 16) slender, sickle-shaped, distinctly upcurved, about 2.5 times as long as their basal width, strongly curved along lateral margin, with a dorsal, longitudinal, deep membranous furrow (Fig. 16), extending along basal third; penicillus present; cutting edge smooth, regularly concave; retinaculum very small, subtriangular, basally directed, with sharp apex. Maxilla (Fig 10) with elongate and slender stipes curved inwards, about 3 times as long as their basal width; maxillary palpomere III longer than others gradually decreasing in length from III to I; IV slender, cylindrical, about as long as I; lacinia (Figs 10) small and pointed, inwardly directed; galea slender divided into 2 joints, galeomere II slender, slightly longer than I. Labium (Figs 11) with subquadrate prementum; ligula not apparent; labial palpomere I slightly shorter and wider than II.

Thorax. Pro- meso- and metanotum (Figs 1, 12) of the same width, with longitudinal ecdysial line well marked. Pronotum about 1.5 times longer than meso- and metanotum, subtrapezoidal, about as long as wide, with maximum width at base. Meso- and metanotum widely transverse, about 2 times wider than long.

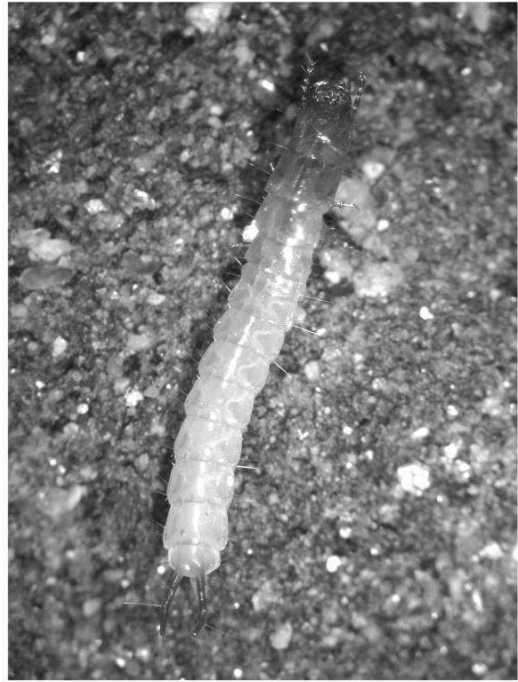
Spiracles. Thoracic and abdominal spiracles subequal, very small (35-40 μm), annular, not protruding; mesothoracic spiracles anterolaterally on mesopleura. Abdominal spiracles slightly dorsal to epipleurites.

Legs. 5-jointed (Fig. 13), foreleg distinctly shorter than meso- and hindleg. Coxa subcylindrical, longer than other joints; trochanter and femur subequal, $2/3$ than coxa; tibia and tarsus subequal, $2/3$ than femur; trochanter obliquely truncate and ventrally expanded at apex; claws strong, subequal, only slightly curved and pointed at apex.

Abdomen. Cylindrical, subparallel sided, with segments I-VII subequal, subrectangular (Fig. 1); VIII slightly narrower; IX suboval, bearing a pair of elongate urogomphi (Figs 1, 15, 19-20). Tergites transverse, with medial longitudinal suture (Fig. 1), and sides slightly rounded. Epi- and hypopleurites elongate, subrectangular (Fig. 14). Sternal area of segments I-VII composed by 2 small anterior sternites, 1 suboval median sternite, 2 posterior inner sternites and 2 lateral outer sternites (Fig. 14); medial sternite and inner and outer sternites fused into a unique sternal sclerite on sternum VIII, incorporating also anterior sclerites on sternum IX (Fig. 20). Urogomphi fix, elongate, slender, apically upcurved, not segmented, with distinct setiferous nodes (Figs 15, 19, 21). Pygidium elongate, cylindrical, about as long as segment IX, with dorsal and ventral sclerites not fused (Figs 19-20).



1

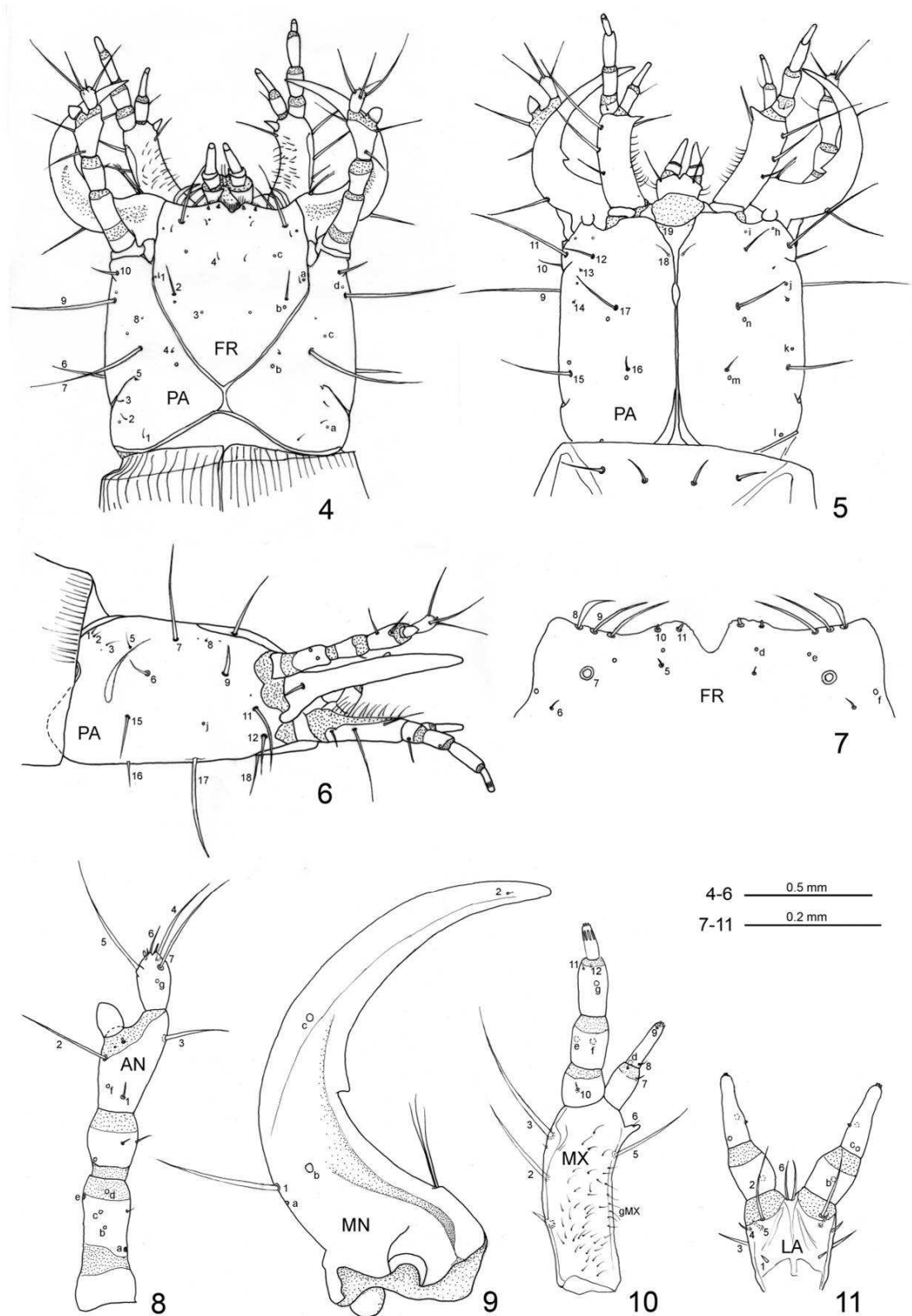


2

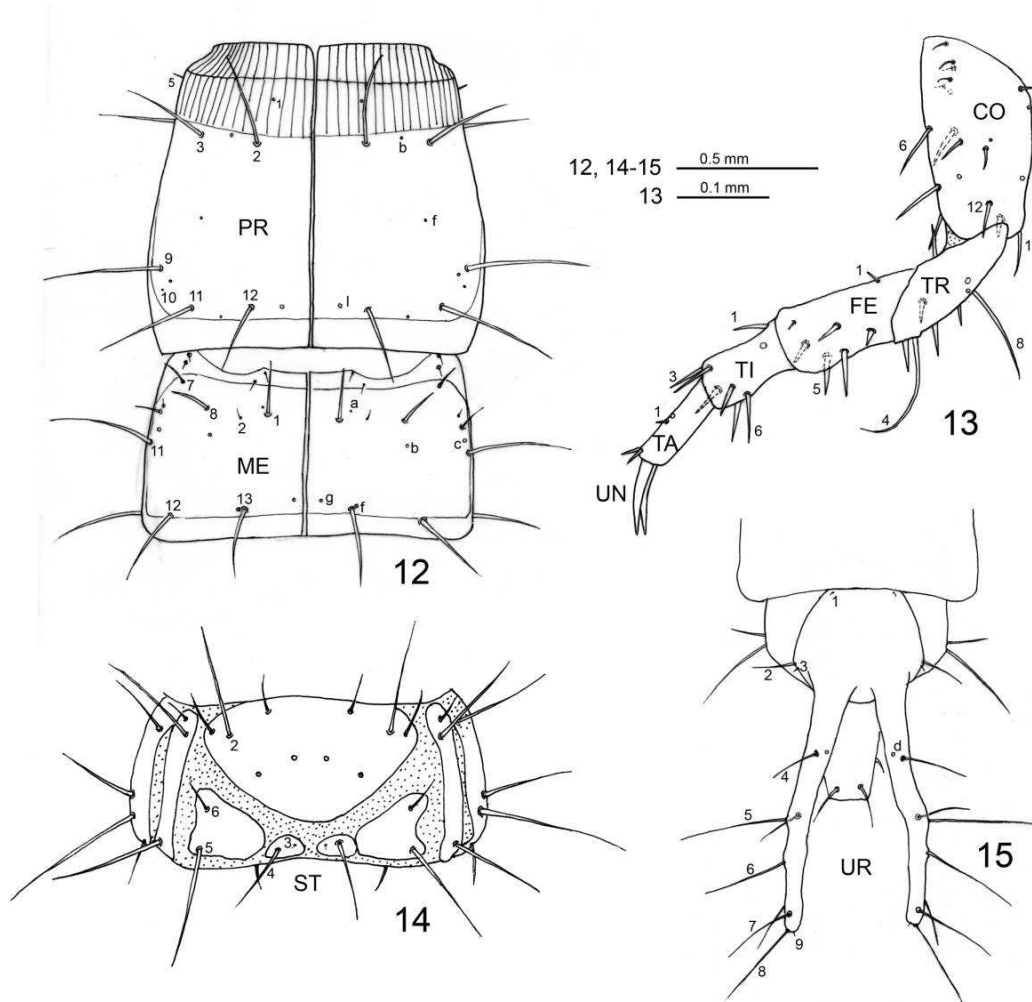


3

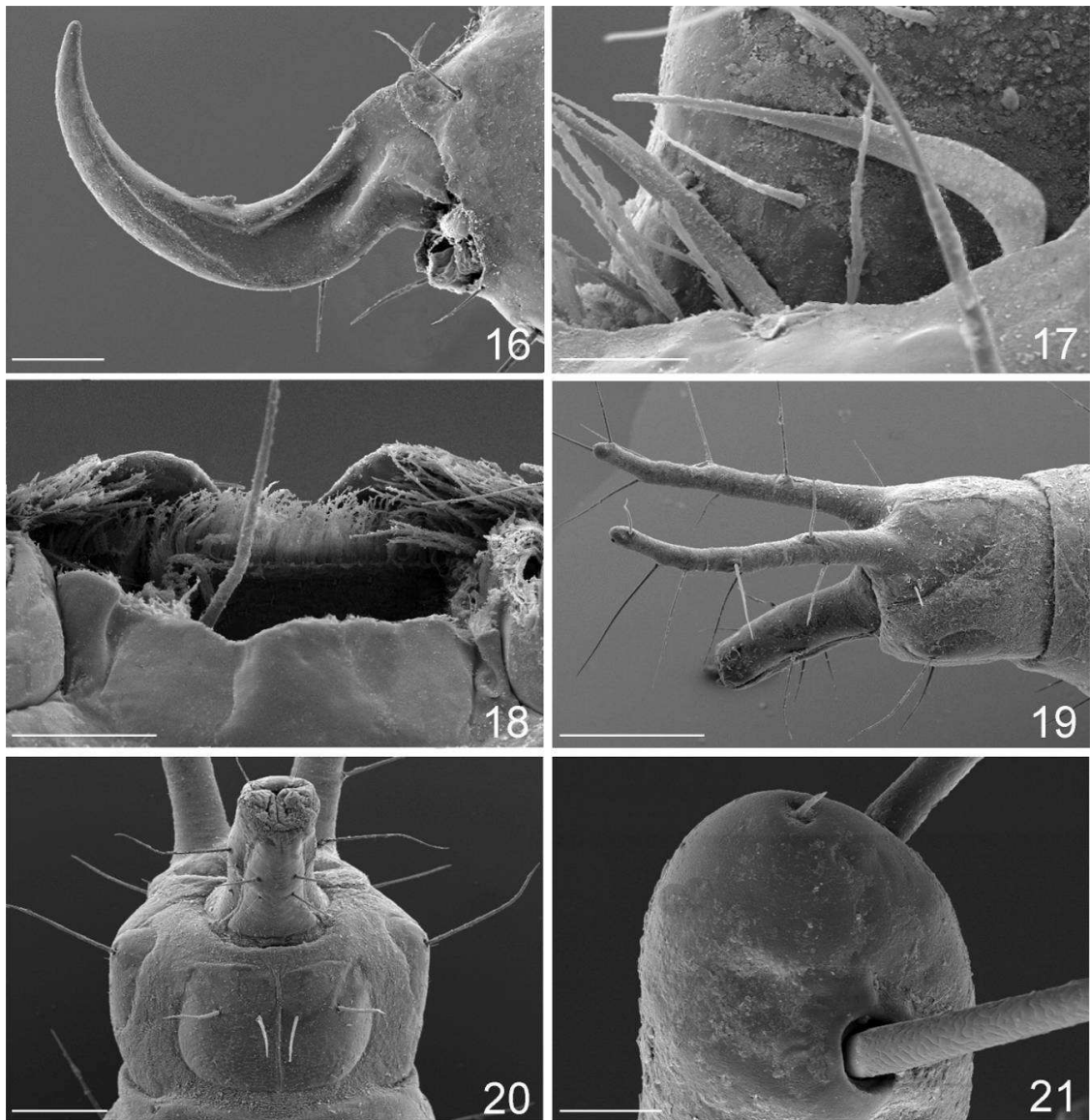
Figures 1 – 3. *Speomolops sardous*, larval and adult features: 1) third instar larva, habitus, dorsal aspect; 2) idem, alive individual on sandy soil near an inner lake of Bue Marino cave; 3) adult individual walking on sandy soil.



Figures 4 – 11. *Speomolops sardous*, third instar larva: 4) head, dorsal view; 5) head, ventral view; 6) head, lateral view; 7) anterior margin of frontoclypeolabrale; 9) right mandible, dorsal view; second instar larva: 8) left antenna, dorsal view; 10) left maxilla, dorsal view; 11) labium, ventral view.



Figures 12 – 15. *Speomolops sardous*, third instar larva: 12) pro- and mesonotum, dorsal view; 14) abdominal segment III, ventral view; 15) abdominal apex with urogomphi, dorsal view; second instar larva: 13) foreleg, posterior view.



Figures 16 - 21. *Speomolops sardous*, second instar larva, SEM micrographs: 16) right mandible, dorsal view; 17) setae FR8-9; 18) epipharynx; 19) abdominal apex, lateral view; 20) abdominal apex, ventral view; 21) apex of right urogomphus. Scale bars: Fig. 16 = 100 μm ; Figs 17, 21 = 20 μm ; Fig. 18 = 50 μm ; Fig. 19 = 400 μm ; Fig 20 = 200 μm .

Discussion

As recalled recently (Casale & Marcia 2008), the discovery of larval stages of highly specialized troglotic carabids is a rare event, even in caves where adult individuals are very abundant. This fact induced biospeleologists to believe that the life cycle of the most specialized troglotic carabids should have – like some cholevid beetles of the tribe Leptodirini – a contracted biological cycle, reduced to one single larval stage which does not eat.

On the contrary, it has been demonstrated that many carabid beetles, highly adapted to subterranean environment, have running, predaceous, not modified larvae, morphologically very similar to those of epigean species (Casale *et al.* 1998). This is the case of the larva of *Speomolops sardous* here described. In spite of the fact that both adults and larvae display marked modifications to the life in caves (blindness, general weak sclerotization, pale colour body), the larval features are in full agreement with the general morphological pattern of larvae of Pterostichini known so far, Zabрини and Abacetini excluded (Emden 1942; Sharova 1958; Jeannel 1942; Thompson 1979 a, b; Bousquet 1985; Makarow 1994): frontoclypeolabrum prominent; cervical (occipital of authors) groove present, wide; mandibles elongate and slender, with retinaculum inserted at middle length of the inner side; legs each with two, sub-equal tarsal claws.

A comparison with the larval features of other genera of Molopina is more informative, despite some descriptions are quite ancient and not adequate to the modern standards. Furthermore, we did not obtain any first instar larva of *Speomolops sardous*, which should be important for a comparison with the primary chaetotaxy of larval stages of other Molopina.

Larvae of species of the genera *Percus* Bonelli, 1810 and *Abax* Bonelli, 1810, close to each other, are easily recognizable for having sub-ovate head, frontoclypeolabrum with anterior margin straight or gently curved, without deep incisure in the middle, and segmented urogomphi (Beer and Binaghi 1937; Lumaret 1971; Arndt 1989). On the contrary, the larval features of *Speomolops sardous* are similar to those of some species of genera *Molops*, *Tanythrix* and *Typhlochoromus*, described by Cerruti (1941) and Leonardi (1969). In these also, the frontoclypeolabrum shows two evident outer lobes (adnasalia) and two inner lobes widely separated by a deep incisure; in *Typhlochoromus*, in particular, the incisure is markedly deep, as in *Speomolops*, but narrower, U-shaped. The sub-basal membranous belt in antennomere I is present in all genera cited above. Adnasalia in *Molops*, *Tanythrix* and *Typhlochoromus* have six-seven setae each; in *Speomolops* there are only three setae, and seta FR8 is peculiarly sickle-shaped, widely flattened and expanded. Additionally, larval stages of *Speomolops sardous* - as stressed in Diagnosis - are markedly distinct from all other molopine larvae for the absence of stemmata, and for having mandibles with a dorsal, membranous furrow, and retinaculum very reduced in size. Furthermore, the maxilla shows a setal group gMX on stipes composed of many small and short setae.

Conclusive remarks

The phylogenetic position of the genus *Speomolops* among Molopina, and its high biogeographic interest in the history of the Mediterranean insect fauna, have been debated several times. In particular, based on adult morphology, its possible position as adelphotaxon of the Iberian genus *Zariqueya* Jeannel, 1924, or the Balearic genus *Henrotius* Jeannel, 1953, has been proposed since the original description by Patrizi (1955), discussed later (Vigna Taglianti 1982; Casale and Vigna Taglianti 1996), and seems confirmed by molecular data (Ribera, personal communication).

Larval features do not introduce new elements supporting this hypothesis, owing to the fact that the larval features of all other troglobitic Molopina species are unknown so far. Nevertheless, the discovery of larval stages of *S. sardous* is very informative from different biospeleological points of view. In particular: 1. It confirms that in highly specialized, troglobitic carabid beetles, the larva does not present a contracted biological cycle. On the contrary, at least the older-instar larva presents the most generalized features peculiar to the close epigeal taxa. In *Speomolops*, lack of stemmata, weak sclerotization, unspecialized mandibles, moderately long, unarticulated urogomphi, are well known as results of selective pressures for a life in caves, and are in agreement with the “soil pore explorer” type proposed by Zetto Brandmayr *et al.* (1998), or with the “stratobionts-runners, of the cryptobionts-series” of Sharova (2008). On the other hand, some of these modifications - like the absence of stemmata - are also known in subterranean larvae of species with epigeal adults belonging to different groups of carabids (as the “ant killer” *Siagona europaea*, the adults of which are provided with functional eyes: Zetto Brandmayr *et al.* 2007); 2. It confirms again the extreme rarity of larval stages in environments where adults can be very abundant, and the peculiar way of life of larvae, which can be very different from that of adults: in Bue Marino cave, type locality of *Speomolops sardous*, adults are numerous, walking on sandy, humid soil on the banks of the subterranean lakes in the inner parts of the cave. On the contrary, the larva of this species was searched in vain, for thirty eight years, by one of the authors (A.C.) (Casale 1972; Casale *et al.* 2008). Only in one visit on 10th September, 2006, five larvae have been collected digging sand at 20-30 cm of depth near one of the freshwater lakes where adults were very abundant. On the contrary, never a larva was observed walking on surface. This demonstrates that the larva of this species has obligate underground, fossorial behaviour, in sandy soil periodically flooded by the subterranean river of the cave; 3. Finally, it confirms

the importance of the periodical monitoring programme, carried out since three years by one of the authors (P.M.) and presently in progress, for the conservation in Bue Marino cave of this, and other subterranean species, endemic to this area of Sardinia. This cave, in fact, is one of the most attractive show-caves of the island, visited every year by some 80.000 persons. Although adult individuals of *Speomolops sardous* were observed only in not touristic areas, and seem to have a rather high dispersal power in deep crevices (the species is known by a few specimens or remains from some other Sardinian caves: Casale *et al.* 2008), the larval stages – as specified above – show an obligate, fossorial way of life into sandy soils in deep zones of large, periodically flooded subterranean systems. Therefore, any further human impact on these environments, as modifications induced by touristic activities, should have a destructive effect on the survival of this endemic, relict species.

Acknowledgments

For the invaluable speleological support in the field, the authors are particularly indebted to Giuseppe Grafitti (Sassari), Enrico Lana (Torino), Mauro Mucedda (Sassari), Carlo Onnis (Cagliari), Virginia Denanni (Sassari) and many other speleologists who contributed to the biological exploration of the Bue Marino cave, and for the facilities in visits and exploration of this cave to Fabio Sagheddu and the Atlantika team (Dorgali).

For communication of data and bibliographic references, we are very grateful to Erik Arndt (Anhalt University of Applied Sciences, Bernburg, Germany), and to Pietro Brandmayr and Tullia Zetto (Università della Calabria, Arcavacata di Rende, Italy).

References

- Arndt E. 1989. Die Larven der mitteleuropaischen *Abax* s. str.-Arten (Coleoptera, Carabidae: Pterostichini). Beitrage zur Entomologie 39 (2): 255-270.
- Bargagli P. 1874. Cenni biologici su due specie di *Percus*. Bullettino della Società entomologica italiana 6: 27-31.
- Baroni Urbani C, Ruffo S, Vigna Taglianti A. 1978. Materiali per una biogeografia italiana fondata su alcuni generi di Coleotteri Cicindelidi, Carabidi e Crisomelidi. Memorie della Società entomologica italiana 56 (1977): 35-92.
- Beer S, Binaghi G. 1937. *Percus dejeani* Dj. (Col. Car.). Descrizione della larva. Bollettino di Zoologia agraria e Bachicoltura, Torino 7 (1936): 3-7.
- Bousquet Y. 1985. Morphologie comparée des larves de Pterostichini (Coleoptera: Carabidae): descriptions et tables détermination des espèces du nord-est de l'Amérique du nord. Revue d'écologie et de systématique 112: 191-251.
- Bousquet Y, Goulet H. 1984. Notation of primary setae and pores on larvae of Carabidae (Coleoptera: Adephaga). Canadian Journal of Zoology 62: 573-588.
- Brandmayr P. 1992. Short review of presocial evolution in Coleoptera. Ethology, Ecology and Evolution, Special Issue 2: 7-16.
- Brandmayr P, Zetto Brandmayr T. 1979. The evolution of parental care phenomena in Pterostichini, with particular reference to the genera *Abax* and *Molops*. In: den Boer P.J, Thiele H.U, Weber F. editors. On the Evolution of Behaviour in Carabid Beetles. Miscellaneous Papers, 18, Landbouwhogeschool Wageningen, pp. 35-49.
- Brückner M, Mossakowski D. 2006. Phylogeny of the genus *Percus* (Coleoptera: Carabidae) – nuclear genes and the basal splits. In: Serrano J, Koivula M, Lövei G. editors. Proceedings of the XII European Carabidologists' Meeting. Entomologica Fennica 17 (3), pp. 195-199.

Casale A. 1972. Visione d'insieme del complesso ecologico e faunistico della Grotta del Bue Marino. *Bollettino della Società Sarda di Scienze naturali* 10: 3-28.

Casale A, Grafitti G, Lana E, Marcia P, Molinu A, Mucedda M, Onnis C, Stoch F. 2008. La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna. *Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007), Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia, Bologna (S. II) XXI: 197-209.*

Casale A, Ribera I. (in press). Are Molopina of the Euro-Mediterranean region related to the Madagascan, South African and Australian Pterostichini? (Coleoptera, Carabidae). *Biogeographia* (n.s.).

Casale A, Vigna Taglianti A. 1996. Coleotteri Carabidi di Sardegna e delle piccole isole circumsarde, e loro significato biogeografico (Coleoptera, Carabidae). *Biogeographia, Lavori della Società italiana di Biogeografia* (n.s.) 18 (1995): 391-427.

Casale A, Vigna Taglianti A, Juberthie C. 1998. Coleoptera Carabidae. In: Juberthie C, Decu V. editors. *Encyclopaedia Biospeologica*, 2. Moulis-Bucarest, pp. 1047-1081.

During A, Brückner M. 2000. The evolutionary history of the tribe Molopini: a first molecular approach. In: Brandmayr P, Lövei G, Zetto Brandmayr T, Casale A, Vigna Taglianti A. editors. *Natural History and applied ecology of Carabid Beetles*. Pensoft, Sofia-Moscow, pp. 1-4.

Emden F.I. van 1942. A key to the genera of larval Carabidae (Col.). *Transactions of the Royal Entomological Society, London* 92: 1-99.

Giachino P.M, Sciaky R. 1991. Valore sistematico delle strutture genitali femminili in Pterostichinae (Coleoptera: Carabidae). *Atti XVI Congresso nazionale italiano di Entomologia, Bari-Martina Franca (TA), 23/18 settembre 1991: 885-892.*

Jeannel R. 1942. *Faune de France*. 40. Coléoptères Carabiques (Deuxième partie). Lechevalier, Paris: 572-1173.

Kavanaugh D.H. 1998. Field observations confirming brood care in *Percus passerinii* in the Tuscan Apennines, Italy (Coleoptera Carabidae). Bollettino della Società entomologica italiana 130 (1): 55-63.

Leonardi C. 1969. Descrizione delle larve di *Molops senilis* Schaum e *Typhlochoromus stolzi* (Mocz.) e note sulla sistematica larvale di questi due generi di Pterostichini (Col. Carabidae). Annali del Museo civico di Storia naturale, Genova 77: 609–625.

Lumaret J.-P. 1971. Stades larvaires de *Percus (Pseudopercus) navaricus* Dejean (Col. Pterostichidae). Bulletin de la Société entomologique de France 76 : 55-60.

Makarow K.V. 1994. A key to the genera of the Ground-beetle larvae (Coleoptera, Carabidae) of the Palearctic region. Bollettino del Museo regionale di Scienze naturali, Torino 12 (1): 221-254.

Patrizi S. 1955. Nuovo genere e nuova specie di Pterostichide troglobio della Sardegna orientale (Coleoptera Caraboidea, Fam. Pterostichidae, Trib. Molopini). Fragmenta Entomologica 2 (4): 29-40.

Serrano J. 2003. Catalogo de los Carabidae (Coleoptera) de la Peninsula Iberica. Monografias S.E.A., Zaragoza, 9, 130 pp.

Sharova 1958. The larvae of Carabidae, beneficial and noxious to agriculture. Scientific notes of Moscow State Pedagogical Institute 124: 1-165 (in Russian).

Sharova I.K. 2008. Adaptive radiation of carabid larvae (Coleoptera, Carabidae). In: Penev L, Erwin T, Assmann T. editors. Back to the roots and back to the future. Towards a new synthesis amongst taxonomic, ecological and biogeographical approaches in carabidology. Proceedings of the XIII European Carabidologists Meeting, Blagoevgrad, August 20-24, 2007. Pensoft, Sofia-Moscow, pp. 285-304.

Thompson R.G. 1979a. A Systematic Study of Larvae in the Tribes Pterostichini, Morionini, and Amarini (Coleoptera: Carabidae). Bulletin of the Agricultural Experimental Station, Arkansas University, Fayetteville 837: 1-105.

Thompson R.G. 1979b. Larvae of North American Carabidae with a Key to the Tribes. In: Erwin T.L, Ball G.E, Whitehead D.R. editors. Carabid Beetles, their evolution, natural history, and classification. W. Junk Publishers, The Hague, pp. 209-291.

Vigna Taglianti A., 1982. Le attuali conoscenze sui Coleotteri Carabidi cavernicoli italiani. Lavori della Società Italiana di Biogeografia (n.s.) 7 (1978): 339-430.

Zetto Brandmayr T, Giglio A, Marano I, Brandmayr P. 1998. Morphofunctional and ecological features in carabid (Coleoptera) larvae. In: Ball G.E, Casale A, Vigna Taglianti A. editors. Phylogeny and Classification of Caraboidea. Atti XX International Congress of Entomology (Florence, 1996), Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino, pp. 449-490.

Zetto Brandmayr T, Mazzei A, Talarico F, Giglio A, Bauer T, Brandmayr P. 2007. The larva of *Siagona europaea* Dejean, 1826: morphology and collecting technique for a subterranean blind “running ant killer” (Coleoptera, Carabidae). Italian Journal of Zoology 74 (3): 239-245.

Paper IV

Aspetti morfologici e funzionali dell'apparato riproduttore di *Speomolops sardous* (Coleoptera, Carabidae)

CAEDDU B., CASALE A., MARCIA P., STOCCHINO A.G.

--Manuscript in prep--

CAEDDU B., CASALE A., MARCIA P., STOCCHINO A.G.,

Aspetti morfologici e funzionali dell' apparato riproduttore di *Speomolops sardous* (Coleoptera, Carabidae)

Introduzione

Speomolops sardous è un Carabide troglobio endemico di Sardegna. Descritto da Patrizi nel 1955 su esemplari provenienti dalla Grotta del Bue Marino, la specie è stata successivamente rinvenuta in altre quattro grotte nei pressi di Dorgali.

Su questa specie è stata effettuata per la prima volta un'analisi morfologica dettagliata di tutte le strutture dell'apparato riproduttore maschile, seguendo, con particolare attenzione, lo sviluppo delle cellule germinali e il loro decorso lungo le vie genitali. Si tratta di un genere di *Molopini* cavernicoli, scoperto e descritto dal marchese Saverio Patrizi nel giugno del 1955, durante ripetute visite alla grotta del "Bue Marino" (Patrizi, 1955). *Speomolops sardous* presenta un corpo alquanto depresso, depigmentato, occhi del tutto atrofici ed arti notevolmente allungati.

La lunghezza del corpo varia, nei due sessi, da 9 a 10,5 mm; il colore è bruno testaceo più o meno chiaro, piuttosto lucido (Figg. 1, 2).

Il capo è alquanto ristretto posteriormente, nella sua massima larghezza più stretto del margine pronotale anteriore, e lateralmente è munito di lunga e profonda incavatura quasi scrobiforme nella regione oculare; gli occhi sono ridotti a piccolissima macchia biancastra. La fronte ha due solchi laterali, e nel tratto sopraorbitale si presenta alquanto rilevata e convessa (Patrizi, 1955). Il labbro superiore è quadrangolare, con margine anteriore quasi rettilineo e munito di 6 setole; le mandibole, ambedue di uguale lunghezza, sono piuttosto brevi, ma molto robuste e distintamente uncinata all'apice, con margine interno mutico e faccia esterna basalmente assai incavata. Il mento ha un dente bifido; i palpi labiali sono dicheti, mentre quelli mascellari hanno l'ultimo articolo fusiforme e stipite munito di 2

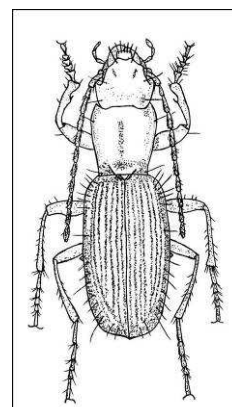


Figura 2) *Speomolops sardous*



Figura 3) *Speomolops sardous*

setole. Una setola si trova all'angolo anteriore dell'epistoma, una nel sopraorbitale ed una sopra il quarto posteriore delle genae. Le antenne sono molto lunghe, raggiungono le anche posteriori, e sono pubescenti dal terzo articolo; ciascun articolo presenta un lieve solco longitudinale. Il pronoto è più lungo che largo, cordiforme, con base notevolmente più stretta del margine anteriore, mentre il margine posteriore è lievemente concavo; ha un solco longitudinale mediano, e un solco basale trasverso ben marcati. Il prosterno è a stretta carena arrotondata nella sua parte mediana, quindi allargato nella parte intercoxale, ed infine di nuovo alquanto ristretto sull'apogisi, che è ribordata, con margine anale quasi rettilineo e formante un angolo acuto con la parte posteriore declive. Dalla porzione intercoxale del prosterno sporgono due minuti rilievi rotondi, disposti in senso trasversale. Le zampe del 1° paio hanno i femori che raggiungono il mento, le tibie distalmente dilatate, munite di 3 robuste chete spiniformi sul margine adduttore e 3 sulla superficie ventrale. Le zampe mediane e posteriori sono allungate, con i tarsi lunghi come le rispettive tibie; il femore anteriore ha una lunga setola distale esterna, quello mediano presenta 6-7 brevi chete spiniformi sul bordo anteriore, e il posteriore è inerme. I tarsi sono glabri, muniti di due setole laterali e due superiori nella loro parte distale; hanno un onichio non setoloso inferiormente. Le tibie mediane e posteriori hanno numerose chete spiniformi. I metatrocanteri sono lunghi, con la parte distale sottile e acuminata. Le elitre sono subparallele nei 2/3 basali, nei maschi il terzo apicale è regolarmente arcuato, mentre nelle femmine è alquanto bruscamente incurvato verso la sutura; presentano inoltre 16-17 pori setigeri (Patrizi, 1955).

Speomolops sardous (Coleoptera, Carabidae) appare infeudato solo nel ramo attivo della Grotta del Bue Marino. Patrizi, descrivendolo, faceva notare che esso è frequente soprattutto verso il sifone terminale, e lo si trova vagante sui sabbioni umidi (Casale, 1972). Con le successive ricerche si è visto come a partire dal secondo lago di acqua dolce, la specie si trovi un po' ovunque, e pur vagando qua e là, si concentri soprattutto nei limitati banchi d'argilla alla base delle pareti, dove talora è numerosissimo.

La specie oggi è nota di poche altre grotte della regione di Dorgali (Fig.3), e rappresenta uno degli elementi ipogei endemici più significativi e interessanti della Sardegna.

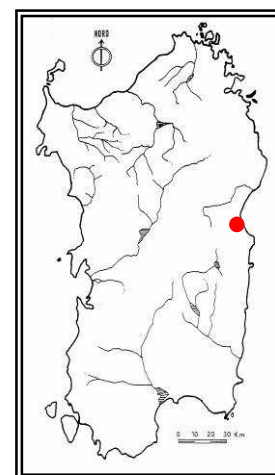


Fig.4 distribuzione di *Speomolops sardous*

LA GROTTA DEL BUE MARINO

La grotta del Bue Marino (12 Sa/NU, Dorgali, Cala Gonone), si apre sulla costa della Sardegna centro-orientale con uno sviluppo di 15 km. È la più lunga grotta aperta al pubblico dell'isola, e si trova tra Cala Fuili e Cala Luna. Questa cavità si apre con un ingresso maestoso direttamente sul mare 3 km a Nord della spiaggia di Cala Luna, e presenta inoltre altri due accessi (figg.4-5)

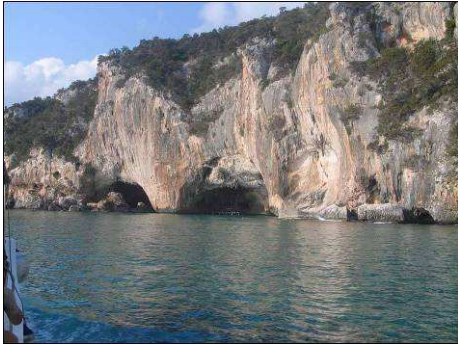


Figura 5 Bue Marino, veduta interna

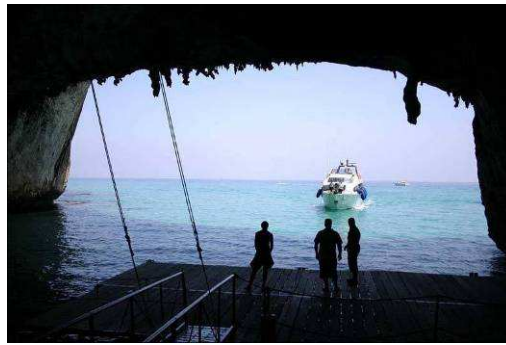


Fig. 6 Bue Marino veduta esterna

Nella parte iniziale della cavità carsica è molto evidente l'effetto del mare sulla morfologia interna; questa grotta presenta due rami principali con caratteristiche idrogeologiche notevolmente differenti, che confluiscono nella zona d'ingresso: un ramo Nord, fossile, percorribile a piedi, per gran parte attrezzato turisticamente; un ramo Sud, assai più lungo, attivo, in parte invaso dal mare, percorribile con imbarcazioni e a piedi nei rami interni, e aperto al pubblico nei primi 600 m (Casale, 1972 e Casale *et al.*, 2008)

Il Ramo fossile o ramo Nord o Grotta Nuova del Bue Marino, è il tratto attrezzato a scopo turistico, che si dirige verso il canyon carsico della Codula Fuili, ed una volta raggiunto questo, prosegue in direzione Ovest verso la grande dolina di Barisone (Fancello *et al.*, 1994). Presenta una successione di 41 sifoni lungo una grande galleria per lo più sommersa, esplorata per una lunghezza complessiva di oltre 7 km (Hovorka e Benisek, 1991; Slezak, 1992, 1993; Hovorka, 1993). In tutta la grotta è stato sempre osservato uno strato d'acqua dolce dello spessore metrico che scorre al di sopra di acque salmastre e salate. Questo fiume trova origine da quattro sorgenti sotterranee, tre dolci ed una salmastra, ad una distanza lineare di quasi 2 km dalla costa. Durante le piene del fiume tutta la galleria viene totalmente allagata da acque essenzialmente dolci provenienti dall'esteso circuito carsico.

Nel ramo fossile, la fauna strettamente cavernicola è limitata al ramo che, partendo dall'ingresso "via terra", si ricongiunge alla via principale, e risulta particolarmente concentrata nella diramazione più settentrionale, quella che costeggia il «lago abissale», essendovi in essa ingenti quantità di legname marcescente, ricoperto di muffe candidissime.

Presso l'ingresso di terra le condizioni trofiche sono assai scarse, sono stati raccolti un esemplare di *Akis bacarozzo* Schrank (*Coleoptera, Tenebrionidae*) e *Diptera* trogllosseni. Poco più avanti compaiono i primi *Alpioniscus fragilis* B.L., grandi isopodi candidi, che divengono comunissimi sulle grandi colate coperte di stillicidio dei rami interni. Il substrato in quasi tutto il ramo Nord è prevalentemente sabbioso e spesso asciuttissimo. Verso il lago abissale invece compaiono banchi argillosi molto umidi, uniti a imponenti masse trofiche introdotte dall'esterno. Qui abbondano *Pholcidae* (Arancae) e il coleottero Catopide *Ovobathysciola majori* (Reitt.), assieme alla sua larva che predilige le fessure sotto le croste stalagmitiche. Poco più avanti, cioè nel tratto terminale, la fauna sparisce bruscamente per il calo di umidità.

I motivi per cui gli abitatori del ramo turistico sono così localizzati appaiono evidenti se si constata che gran parte della grotta è qui interessata a notevoli circolazioni d'aria a causa dei suoi tre ingressi ed aperture varie, con conseguenti mutamenti climatici e scarsa umidità.

Un breve tratto, assai tortuoso e complicato chiamato "il labirinto", che si diparte a Sud-Ovest del primo grande salone, risulta totalmente secco e azoico (Casale, 1972).

Ramo attivo o ramo Sud o Grotta del Bue Marino I. È il ramo principale della grotta, interessato alle variazioni di livello del fiume che in esso scorre, e presentante una varietà di ambienti eccezionali, che va dai grandi bacini d'acqua dolce agli immensi sabbioni, dalle colate stalagmitiche ai banchi argillosi (Casale, 1972). Il ramo Sud si dirige verso il canyon della Codula Ilune ed oltrepassa la valle nella quale esistono alcuni inghiottitoi che alimentano questo ramo in occasioni di piena. Tutta questa parte della cavità è caratterizzata da una galleria a sezione ogivale di dimensioni notevoli (diametro 10-15 m), il cui fondo è occupato da una lunga successione di laghi. Dopo poco più di 3 km questa condotta, di evidente origine freatica, continua in un sifone lungo 630 metri con una profondità massima di 3 - 2 m. Dopo questo tratto allagato la grotta prosegue per almeno altri 2500 m sempre con dimensioni ragguardevoli e con diversi altri sifoni (Mahler, 1979; Commission Plongée Souterraine, 1982).

I primi 600 metri, oggi visitabili turisticamente, sono interessati dalle acque marine, che si arrestano a una “cascata” o sbarramento di circa un metro e mezzo di altezza, al di là della quale iniziano i laghi d’acqua dolce.

Superata «la cascata» occorre percorrere, interamente su canotto, il lago più lungo e profondo della grotta; attorno ad esso le pareti sprofondano a picco e solo in qualche tratto si notano rocce affioranti; segue subito dopo un bacino di dimensioni più modeste.

Da questo tratto in poi iniziano gli ambienti favorevoli ad un insediamento faunistico, con la presenza di *Speomolops sardous* Patr., alcune *Ovobathysciola* (le uniche del ramo attivo) e gli unici due esemplari del raro Chilopode *Lithobius (Troglolithobius) sbordonii* Matič. Nel rimanente tratto, assai ancora più lungo, è tutto un alternarsi di sabbioni vastissimi, di greti invasi da grossolani detriti alluvionali, di laghi e di concrezioni talora stupende.

Per il mondo scientifico la grotta del Bue Marino rappresenta un luogo simbolico della storia della Biospeleologia. Proprio da questa grotta infatti, oltre cinquantanni fa, Saverio Patrizi portò alla luce alcuni organismi destinati a rimanere fra i più interessanti, da un punto di vista biospeleologico e biogeografico, della fauna sotterranea della Sardegna. Negli anni seguenti, la grotta fu oggetto di indagine da parte di numerosi speleologi e biologi, con la scoperta di 49 taxa di rango specifico – ipogei terrestri eucavernicoli, stigobi e stigofili – attualmente noti, che fanno della Grotta del Bue Marino la cavità più ricca di fauna della Sardegna (Casale *et al.*, 2008).

MATERIALI E METODI

MATERIALE BIOLOGICO

Per il presente studio sono stati utilizzati 8 esemplari di sesso maschile, sessualmente maturi, di *Speomolops sardous* (Patrizi 1955), catturati nella Grotta del Bue Marino, Dorgali (NU), nei mesi di giugno e settembre 2007. Dopo la cattura, gli esemplari sono stati trasportati in laboratorio, all’interno di contenitori di plastica, e allevati in contenitori di metallo contenenti terriccio, in frigo termostato ad una temperatura di $16 \pm 2^{\circ}\text{C}$, in modo da ricreare un habitat simile a quello naturale. Gli esemplari sono stati nutriti con isopodi.

TECNICHE DI STUDIO

Gli esemplari sono stati uccisi trattandoli con acetato di etile per 30 minuti circa; successivamente sono stati dissezionati operando allo stereomicroscopio. Tre esemplari sono stati dissezionati in autunno, due in inverno e tre nella tarda primavera, inizio estate. A ciascun esemplare è stato asportato l'intero apparato riproduttore. Il materiale durante questa fase è stato trattato con soluzione fisiologica. Gli apparati riproduttori maschili di due esemplari sono stati frammentati in vivo e osservati a contrasto di fase.

Microscopia ottica

Per lo studio morfoanatomico dell'apparato riproduttore maschile, sono state utilizzate tecniche istologiche che prevedono in successione i procedimenti di fissazione, disidratazione, inclusione, taglio al microtomo, allestimento dei vetrini e colorazione.

Fissazione

Il fissativo utilizzato è il liquido di Bouin che consiste in una miscela contenente

- ✓ Formalina 40% : 5cc
- ✓ Acido Acetico : 1cc
- ✓ Soluzione acquosa di Acido Picrico : 15cc

Il tempo di fissazione necessario è di 24 ore. Questo è un processo importante, poiché, i costituenti delle cellule e dei tessuti sono fissati in uno stato fisico e in parte in uno stato chimico, che consente loro di sopportare il successivo trattamento con i vari reagenti, subendo un minimo di perdite, distorsioni significative, o decomposizioni. Il fissativo, infatti, provoca un certo indurimento nei tessuti, che viene rinforzato dall'azione degli alcoli impiegati durante la disidratazione.

Disidratazione e inclusione

La disidratazione è un processo che si attua al fine di privare dell'acqua i tessuti degli animali da includere tramite dei bagni in alcool. Si tratta il materiale con alcool etilico a concentrazione progressivamente crescente, a partire dalla gradazione più bassa (50% oppure 70%) fino all'alcool a 100%.

Tutti i giorni si sostituisce l'alcool del primo lavaggio fino a quando tutto il fissativo è stato eliminato (in pratica l'alcool rimane trasparente).

Si tratta con alcool a 90% per 24 h e 95 per 2 o 3 h.

In seguito si fanno due passaggi con alcool 100% per un'ora ciascuno. Dopo la disidratazione il materiale viene trasferito in toluolo per 30 minuti per la completa chiarificazione, al fine di poter procedere all'inclusione in paraffina.

In seguito si lavora in stufa ad una T° di poco superiore al punto di fusione della paraffina, sostanza in cui è incluso il preparato. Si elimina il toluolo e si aggiungono in uguali dosi toluolo e paraffina per 30 minuti. Essendo il toluolo un solvente della paraffina, questo bagno ha lo scopo di rendere gradevole la sostituzione, nei tessuti, del toluolo da parte della paraffina.

Il processo di inclusione comporta l'utilizzo della paraffina per riempire tutte le cavità naturali, gli spazi, gli interstizi dei tessuti, anche gli spazi entro le cellule costituenti per ottenere sezioni sottili senza distorsioni. Si fanno tre passaggi in paraffina, precedentemente filtrata, di 1 ora ciascuno, eliminando ogni volta la vecchia. Il campione opportunamente orientato viene quindi trasferito in formelle metalliche, contenenti paraffina liquida, dove permane fino alla solidificazione.

Allestimento dei vetrini e colorazione

Dopo l'inclusione con l'uso del microtomo rotativo REICHERT YOUNG sono state ottenute sezioni trasversali di 5µm di spessore. Le sezioni, sistemate sui vetrini, sono state fatte asciugare in stufa a 40°C per 24 h.

I vetrini sono stati colorati con la tecnica di Emallume Mayer che si articola in vari passaggi.

Dopo l'ultimo passaggio in xilolo i vetrini sono stati chiusi con un vetrino copri-oggetto utilizzando una goccia di balsamo Eukitt, e lasciati asciugare a temperatura ambiente per un giorno.

RISULTATI

L'apparato riproduttore maschile di *Speomolops sardous* è costituito da due testicoli tubulari e dai relativi canali deferenti, da due ghiandole accessorie e dal dotto eiaculatore, che si continua col sacco interno o endofallo dell'organo copulatore o edeago.

Tutte queste strutture sono circondate da tessuto adiposo che, unitamente alle tracheole, le mantiene in situ. (fig6)



Figura 7 Apparato riproduttore maschile

TESTICOLI

Ciascun testicolo è formato da un lungo e convoluto tubulo spermatico che si continua col relativo canale deferente.

Il tubulo spermatico è caratterizzato da un corto tratto iniziale ad andamento rettilineo e da un lungo tratto che si avvolge a gomito. Il testicolo presenta l'organizzazione tipica a spermatocisti in cui si riconoscono cloni di cellule germinali isogoniche delimitate da cellule somatiche a forma squamosa.

La maturazione delle cisti lungo il tubulo procede in senso cefalo – caudale con la seguente successione: spermatociti 1°, spermatociti 2°, spermatidi neo formati, spermatidi in spermiostogenesi, spermatozoi. In tutti gli esemplari esaminati non è stato possibile mettere in evidenza la "zona germinativa" del tubulo spermatico, con gli spermatogoni. La porzione cefalica del testicolo, comprendente il 30% circa della lunghezza totale del tubulo spermatico, appare occupata da spermatocisti in diversi stadi maturativi. La parte medio caudale è invece interamente occupata da spermatocisti con spermatozoi maturi. Tra le spermatocisti o in posizione eccentrica sono presenti grosse cellule somatiche. L'ultima porzione del tubulo spermatico risulta ben identificabile poichè mostra una colorazione giallo paglierino che contrasta con tutte le altre strutture che hanno invece una colorazione biancastra.

DEFERENTE

Il canale deferente, che risulta particolarmente lungo, è delimitato per tutta la sua lunghezza da un epitelio secernente monostratificato di cellule di tipo cubico o squamose, circondato da uno o più strati muscolari con fibre ad andamento circolare. Il canale deferente può essere suddiviso in quattro tratti. Il primo e il secondo tratto appaiono convoluti e affiancati ai testicoli in posizione laterale, formando insieme a questi un'unica massa globulare.

Il secondo, il terzo e il quarto tratto del canale deferente decorrono liberi.

Il quarto e ultimo tratto del canale deferente assume il significato di vescicola seminale. Inoltre, ciascun tratto può essere distinto dagli altri per il diametro, la morfologia dei fasci di spermatozoi in esso contenuti, e la presenza/assenza di spiralizzazione del canale stesso. Infatti, eccetto il primo tratto la restante porzione del canale deferente è avvolta a spirale.

Primo tratto

Il primo tratto del canale deferente, del diametro di circa 4 μ , decorre rettilineo ed è caratterizzato da un epitelio monostratificato di cellule di tipo cubico con nucleo centrale, circondato da un sottile strato muscolare con fibre ad andamento circolare. Il lume è interamente occupato da fasci di spermatozoi provenienti dal testicolo.

Secondo tratto

In questa porzione del canale deferente il diametro del tubulo aumenta gradualmente, cosicchè nella seconda metà di questo tratto aumenta anche il diametro della spirale (Fig 7)

In questa porzione i canali deferenti sono caratterizzati da numerose evaginazioni laterali della parete che mostrano una periodicità regolare e costante. All'interno delle evaginazioni, che risultano leggermente inclinate tutte nella stessa direzione, vengono accolti fasci di spermatozoi provenienti dal primo tratto del deferente. In questo tratto l'epitelio secerne un materiale omogeneo che gradualmente avvolge sia le teste sia le code dei fasci di spermatozoi accolti nelle evaginazioni, formando gli spermatodesmi (Fig.8).

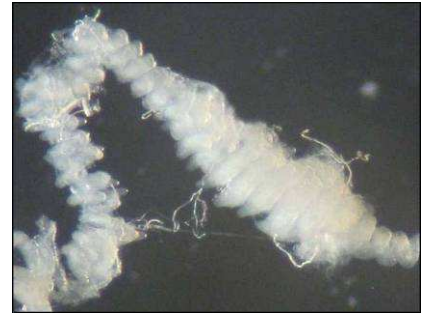


Fig.7, Deferente, secondo tratto

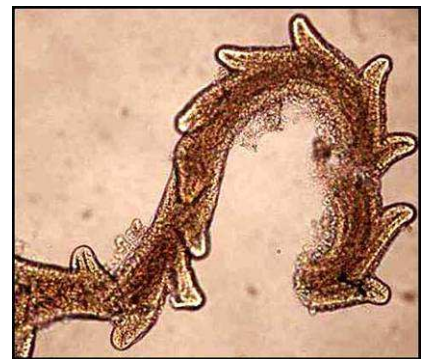


Fig. 8 Evaginazioni del deferente

Terzo tratto

Il terzo tratto del deferente è caratterizzato da una forte spiralizzazione del dotto. Il suo diametro di circa 3 μ , rimane costante per tutto il suo decorso. L'epitelio luminale è formato da cellule cubiche con nucleo centrale. In questo tratto viene completata la maturazione degli spermatodesmi provenienti dal secondo tratto. Durante il passaggio lungo questa porzione del deferente, essi subiscono una modificazione nella forma che passa da rettilinea a spiralata. Assumono cioè la forma del tubulo che li accoglie.

Vescicola seminale

L'ultimo tratto del canale deferente, del diametro di circa $11\ \mu$, assume il significato di vescicola seminale. Infatti il lume, delimitato da un epitelio lineare con cellule squamose, risulta particolarmente ampio e al suo interno si accumulano gli spermatodesmi, ormai completamente maturi, provenienti dal terzo tratto. Gli spermatodesmi isolati dalla vescicola seminale hanno la forma di piccole molle che tuttavia mantengono la loro forma solamente se osservati a fresco. Il trattamento con alcuni coloranti o con fissativi comporta la perdita della spiralizzazione (Fig.9).



Fig. 9 Spermatodesmi isolati dalla vescicola seminale

Ciascun spermatodesma appare formato da due fasci di spermatozoi tenuti insieme per tutta la loro lunghezza da un ponte mediano di materiale amorfo, a sezione triangolare (Fig 10).



Fig. 10 Spermatodesmi colorati con Orceina acetica

Dall'osservazione preliminare sia dei preparati a fresco sia delle sezioni non è stato possibile individuare la posizione delle teste e delle code degli spermatozoi all'interno di ciascun spermatodesma. Subito prima dello sbocco di ciascuna vescicola seminale nella ghiandola accessoria omolaterale si osserva una riduzione del diametro del dotto (circa $5\ \mu$) e soprattutto del lume che risulta quasi virtuale. Il canale è delimitato da un epitelio di tipo cubico con nucleo centrale, circondato da uno spesso strato di fibre muscolari con andamento circolare.

GHIANDOLE ACCESSORIE

Le ghiandole accessorie, in numero di due, hanno forma tubulare con la porzione cefalica leggermente più affusolata. Nella loro porzione terminale si continuano con il dotto eiaculatore, mentre in corrispondenza del loro quarto inferiore ricevono lo sbocco dell'ultimo tratto dei deferenti, cioè delle vescicole seminali. Osservate a fresco, mostrano una colorazione lattescente dovuta alla presenza di grandi quantità di secreto.

Esse appaiono morfologicamente uniformi per tutta la loro lunghezza.

Risultano costituite da un'epitelio luminale circondato da muscolatura. L'epitelio è formato da cellule secernenti cilindriche, con nucleo basale e citoplasma ricco di globuli variamente eosinofili.

La muscolatura è costituita da due strati, uno esterno di fasci longitudinali e uno interno di fasci circolari. Lungo tutto il decorso delle ghiandole il lume è occupato dal secreto prodotto dalle cellule epiteliali, Tuttavia, si possono individuare due tratti funzionalmente distinti per ciascuna ghiandola. Nel primo tratto, rappresentato da tutta la porzione situata a monte dello sbocco dei canali deferenti, il lume risulta occupato solamente dal prodotto di secrezione delle cellule epiteliali. Nel secondo tratto, che corrisponde alla porzione localizzata a valle di tale sbocco, il secreto si organizza a formare una spermatofora per ciascuna ghiandola.

DOTTO EIACULATORE

Il dotto eiaculatore si origina dalla confluenza delle due ghiandole accessorie.

Esso si continua, diminuendo di diametro, con il sacco interno o endofallo dell'organo copulatore o edeago.

In sezione trasversale appare di forma circolare ed è caratterizzato dalla presenza di un epitelio con cellule di tipo cilindrico e nucleo basale. L'epitelio si solleva a formare pieghe longitudinali che interessano l'intera parete del dotto. Esternamente è circondato da uno spesso strato di muscolatura circolare.

L'endofallo, in sezione trasversale, mostra un epitelio di tipo cubico, sollevato in pieghe, circondato da un sottile strato interno di muscolatura circolare e da uno spesso strato esterno di muscolatura longitudinale .

Apparato riproduttore femminile.

La dissezione di 3 esemplari di sesso femminile, risultati sessualmente maturi, ha portato a evidenziare la presenza di un singolo uovo, di grosse dimensioni, all'interno dell'apparato riproduttore femminile. Il dato è di particolare significato biospeleologico, in quanto conferma anche in questa specie una strategia riproduttiva di tipo K, tipica di organismi ipogei specializzati (fig.11).



Fig. 11 Uovo singolo

CONCLUSIONI

I Carabidi sono caratterizzati dalla presenza di lunghi testicoli tubulari raggomitolati a formare una struttura gonadica di forma globulare (Jeannel, 1941, 1942; Yahiro, 1998). Tuttavia, come evidenziato da recenti studi su alcuni Coleotteri Carabidi di Sardegna (Carcupino *et al.*, 2002; Stocchino *et al.*, 2002, 2008) anche in *Speomolops sardous* questa struttura globulare in realtà comprende sia il testicolo sia la prima porzione del vaso deferente.

Il 30% della lunghezza totale del testicolo è formata da spermatocisti con spermatociti e spermatidi in vari stadi di sviluppo, mentre il restante 70% del tubulo spermatico è interamente occupato da spermatocisti con spermatozoi maturi.

In tutti gli esemplari esaminati non è stato possibile mettere in evidenza la cosiddetta "zona germinativa" del tubulo spermatico con gli spermatogoni. Verosimilmente, quindi, gli stadi iniziali della spermatogenesi iniziano già nello stadio di pupa, come dimostrato sia per altre famiglie dell'ordine Coleoptera sia per altri ordini di insetti (Virkki, 1967; Jamieson *et al.*, 1999).

In *Speomolops sardous*, come in altri insetti, gli spermatozoi neoformati vengono raggruppati in fasci conosciuti come spermatodesmi. Questi vengono trasferiti nelle vie genitali femminili racchiusi all'interno di spermatofore, sacchetti acellulari che si formano nelle ghiandole accessorie dell'apparato riproduttore maschile.

Come recentemente riportato per altri Coleotteri Carabidi di Sardegna (Carcupino *et al.*, 2002; Stocchino *et al.*, 2002, 2003, 2008) anche in *Speomolops sardous* gli spermatodesmi si formano e completano la loro maturazione all'interno del canale deferente.

In altri ordini di insetti, quali Orthoptera e Odonata, la maturazione degli spermatodesmi viene invece completata nel testicolo (Cantacuzène, 1968; Viscuso *et al.*, 1998).

L'esame dettagliato di tutto il canale deferente ha messo in evidenza la presenza di quattro tratti distinguibili sia dal punto di vista morfologico sia da quello funzionale.

Tutto il deferente, eccetto il primo tratto, è caratterizzato dalla spiralizzazione del canale. Tale condizione è stata riportata finora solamente per alcuni Coleotteri Carabidi del Giappone (Sasakawa, 2007).

Nel primo tratto del canale deferente gli spermatozoi, provenienti dal testicolo vengono rilasciati nel lume liberi dalle spermatocisti ma non ancora organizzati in fasci.

Infatti, solamente nel tratto successivo del deferente inizia la formazione degli spermatodesmi. In questa porzione del canale sono presenti delle evaginazioni laterali della parete, inclinate tutte nella stessa direzione e mostranti una periodicità regolare e costante. All'interno di tali evaginazioni vengono accolti fasci di spermatozoi, provenienti dal primo tratto del deferente che gradualmente vengono avvolti dal secreto prodotto dalle cellule epiteliali.

La presenza di tali evaginazioni della parete del deferente è stata osservata finora solamente in un'altra specie di Carabide di Sardegna, *Percus strictus strictus* (Carcupino *et al.*, 2002; Stocchino *et al.*, 2002)

Tuttavia, in quest'ultima specie il secreto delle cellule epiteliali del deferente forma un cappuccio di materiale amorfo che circonda solo le teste degli spermatozoi, mentre le code rimangono libere di muoversi, permettendo quindi il movimento di tutto lo spermatodesma.

In *Speomolops sardous*, invece, il secreto acellulare avvolge completamente sia le teste sia le code degli spermatozoi rendendo gli spermatodesmi immobili. Questo tipo di organizzazione è stata messa in evidenza finora solamente per alcuni Carabidi giapponesi (Sasakawa, 2007).

Si può quindi ipotizzare che dopo la copula, la disgregazione della parete della spermatofora nella vagina sia seguita da quella del cappuccio acellulare degli spermatodesmi, permettendo in questo modo agli spermatozoi di raggiungere la spermateca, dove vengono accumulati e conservati fino al momento della fecondazione.

Tutto ciò appare in contrasto con quanto riportato per altri Carabidi (Carcupino *et al.*, 2004; Takami e Sota, 2007) in cui gli spermatozoi, liberati dalla spermatofora, raggiungono la spermateca ancora organizzati in spermatodesmi. In questi casi la disgregazione del cappuccio degli spermatodesmi avviene subito prima della fecondazione ad opera o del secreto della ghiandola annessa alla spermateca oppure di quello di strutture secernenti localizzate nella vagina.

La maturazione degli spermatodesmi in *Speomolops sardous* si completa nel terzo tratto del canale deferente. La forte spiralizzazione di questo tratto e le ridotte dimensioni del suo lume, che consentono il passaggio di un unico spermatodesma

alla volta, fanno sì che questi ultimi assumano la forma spiralata del canale che li ospita.

Gli spermatodesmi completamente formati hanno infatti la forma di piccole molle che vengono accumulate nell'ultimo tratto slargato del canale deferente che assume perciò il significato di vescicola seminale.

Lo sbocco di ciascuna vescicola seminale nella ghiandola accessoria omolaterale è caratterizzato dall'aumento dello spessore della muscolatura circolare della parete e dalla riduzione del lume del canale che in questo tratto diventa quasi virtuale.

Quest'ultima porzione del deferente funziona perciò come una valvola, consentendo di regolare il trasferimento degli spermatodesmi dal canale deferente nel lume delle ghiandole accessorie.

Le ghiandole accessorie secernono, per tutta la loro lunghezza, un secreto amorfo che nella loro porzione caudale, cioè quella localizzata a valle dello sbocco dei canali deferenti, si organizza a formare le spermatofore.

Tuttavia, queste appaiono prive di spermatodesmi, diversamente da quanto riportato in letteratura per altri Carabidi (Stocchino *et al.*, 2003; Takami e Sota, 2007) in cui le spermatofore presenti all'interno delle ghiandole accessorie contengono sempre fasci di spermatozoi provenienti dalle vescicole seminali.

La presenza costante, all'interno delle ghiandole accessorie, di spermatofore perfettamente sviluppate, ma vuote, suggerisce, come già riportato per altri phyla di invertebrati (Vreys *et al.* 1997), un possibile trasferimento degli spermatodesmi al loro interno solamente durante la copula.

BIBLIOGRAFIA

CARCUPINO M., STOCCHINO GA., CORSO G., MANCA I., & CASALE A., 2002. **Morphology of the male reproductive apparatus and spermatodesms in formation in *Percus strictus strictus* (Coleoptera, Carabidae)**. In: van de Horst G., Franken D., Bornam R., Bornam T & Dyer S., eds. Proceeding oh 9th, 31-34. Monduzzi, Bologna.

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C, STOCH F., 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna**. Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007), Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia, Bologna (S. II) XXI: 197-209.

CASALE A. & VIGNA TAGLIANTI A., 1996. **Coleotteri Carabidi di Sardegna e delle isole circumsarde, e loro significato biogeografico (Coleoptera, Carabidae)**. Biogaographia, XIII: 391-427.

CASALE A., 1972. **Visione d'insieme del complesso ecologico e faunistico della grotta del Bue Marino (Gala Gonone, Dorgali, NU)**. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 10: 3-28.

PATRIZI S., 1955. **Nuovo genere e nuova specie di Pterostichide troglobio della Sardegna Orientale**. Fragmenta entomologica, 2 (4): 29-40.

SASAKAWA K., 2007. **Sperm bundle and reproductive organ of Carabid beetles tribe Pterostichini (Coleoptera: Carabidae)**. Naturwissenschaften 94: 384-391.

STOCCHINO G. A., CARCUPINO M., CORSO G., MANCA I., MARCHAND B., CASALE A., 2004. **Formazione degli spermatodesmi in *Carabus (Macrothorax) morbillosus morbillosus* Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae)**. IV Congrès international. Environnement et Identité en Méditerranée. Corte (Corsica), 123.

STOCCHINO G. A., CASALE A., CARCUPINO M., MANCA I., DELITALA G., CORSO G., 2003. **Osservazioni morfologiche sull'apparato riproduttore maschile di *Carabus***

(Macrothorax) morbillosus morbillosus Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae). 64°
Convegno U.Z.I., Varese.

STOCCHINO G. A., CASALE A., CORSO G., CARCUPINO M., MANCA I., DALU M. A.,
PINNA M. P., DELITALA G. M., 2002. **Morfologia dell'apparato riproduttore maschile
di *Percus strictus strictus* (Dejean, 1828) (Coleoptera, Carabidae)**. Atti XIX Congresso
nazionale italiano di Entomologia, 95-98.

STOCCHINO G. A., CORSO G., BIAGI F., CASALE A., CARCUPINO M., 2008.
**Spermatodesm formation in *Carabus (Macrothorax) morbillosus morbillosus* Fabricius,
1792 (Coleoptera, Carabidae)**. Naturwissenschaften, in press.

Paper V

La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna

Achille Casale, Giuseppe Grafitti, Enrico Lana, Paolo Marcia, Alessandro Molinu, Mauro Mucedda, Carlo Onnis, Fabio Stoch

--Atti del XX Congresso Nazionale di Speleologia, Iglesias 27-30 aprile 2007 – Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s.II, vol. XXI, 2008--

La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna*

ACHILLE CASALE^{1,3}, GIUSEPPE GRAFITTI², ENRICO LANA³, PAOLO MARCIA^{1,4},
ALESSANDRO MOLINU^{5,2}, MAURO MUCEDDA², CARLO ONNIS⁶, FABIO STOCH⁷

Riassunto

La Grotta del Bue Marino (12 Sa/NU), che si apre sulla costa della Sardegna centro-orientale, grazie alla sua splendida posizione e alla bellezza delle sue zone interne, rappresenta una delle maggiori attrazioni turistiche dell'isola. Ma per il mondo scientifico questa località rappresenta un luogo simbolico della storia della Biospeleologia. Proprio da questa grotta infatti, oltre cinquanta anni fa, Saverio Patrizi portò alla luce alcuni organismi destinati a rimanere fra i più interessanti, da un punto di vista biospeleologico e biogeografico, della fauna sotterranea della Sardegna. Negli anni seguenti, la grotta fu oggetto di indagine da parte di numerosi speleologi e biologi, e il numero di taxa scoperti crebbe enormemente. Inoltre, numerose prospezioni furono dedicate al tentativo di conservazione della Foca monaca (*Monachus monachus*), che aveva dato il nome locale alla grotta; questo mammifero, tuttavia, si estinse nell'area prima del 1970. Negli ultimi due decenni, nuove indagini hanno portato a risultati sorprendenti. Nel presente lavoro, gli autori riassumono la storia della scoperta della fauna sotterranea di questo sito. Viene inoltre fornita una lista completa e aggiornata dei 48 taxa a livello specifico noti fino ad ora (con esclusione degli elementi trogllosseni e marini), che fanno di questa cavità la grotta più ricca di fauna di tutta la Sardegna.

Parole chiave: Sardegna, biospeleologia, Grotta del Bue Marino.

Abstract

The Bue Marino cave (12 Sa/NU), on the coast of Central-Eastern Sardinia, thanks to its beautiful position and the beauty of its inner zones, represents one of the main tourist attractions of the island. But, for the scientific community, this locality represents a symbolic place in the history of Biospeleology. Just from this cave, in fact, over half a century ago, Saverio Patrizi brought to the light some of the most interesting organisms, from both the biospeleological and biogeographical point of view, of the subterranean fauna of Sardinia. In the following years, the cave was investigated by many biologists and speleologists, and the number of taxa discovered increased dramatically. Furthermore, several surveys were dedicated to the

(*) Ricerche eseguite in parte con contributi INTERREG 1, 2, 3, e dell'Università di Sassari.

¹ Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Università degli Studi di Sassari, via Muroni 25 - 07100 Sassari

² Gruppo Speleologico Sassarese, via dei Navigatori 7 - 07100 Sassari

³ Gruppo Speleologico Piemontese CAI - UGET, Galleria Subalpina 30 - 10123 Torino

⁴ Gruppo Speleo Ambientale Sassari, Via Pigliaru, 5 - 07100 Sassari

⁵ Istituto per lo Studio degli Ecosistemi - CNR, Sede di Sassari, c/o Dipartimento di Protezione delle Piante, Università degli Studi di Sassari, via E. De Nicola - 07100 Sassari

⁶ Unione Speleologica Cagliaritano, via De Gasperi 21 - 09045 Quartu S. Elena (CA)

⁷ Segreteria Tecnica; Direzione per la Protezione della Natura, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, via Capitan Bavastro 172 - 00100 Roma

attempt of conservation of the Monk Seal (Monachus monachus), which gave the local epithet to the cave; this mammal, however, became extinct in the area before 1970. In last two decades, new researches achieved surprising results. In this paper, the authors summarize the history of the discovery of the hypogean fauna of this site. A complete and updated checklist of the forty-eight hypogean and stygobiont species (with exclusion of the trogloneic and marine organisms) known so far is reported, which make the Bue Marino cave the richest in fauna among the Sardinian caves.

Keywords: Sardinia, biospeleology, Bue Marino Cave.

Introduzione

La Grotta del Bue Marino (12 Sa/NU), che si apre sulla costa del Golfo di Orosei a Sud di Cala Gonone, deve notoriamente il suo nome - analogo ad altri toponimi presenti lungo le coste sarde e italiane in genere - alla regolare frequentazione della cavità, fino agli anni '60 dello scorso secolo, da parte della Foca monaca *Monachus monachus* (Hermann, 1779) che oggi, sull'orlo dell'estinzione, rappresenta una delle più drammatiche emergenze ambientali e conservazionistiche fra i Mammiferi del Mediterraneo (Altara, 1995; Anselin & Van der Elst, 1987; Ardizzone *et al.*, 1991; Boitani, 1979, 1981, 1983; Casale, 1972; Council of Europe, 1986, 1992; Gazale & Porcheddu, 1991; Johnson, 1999; Manconi *et al.*, 1988; Puddu & Viarengo, 1993; Ronald & Duguy, 1979; Sartori, 1966; Scott, 1972; Stefani, 1964; Valdes & Ebau, 1996).

Ben nota da molti anni (la cavità è stata frequentata dall'Uomo fin dal Neolitico, 3200 a.C. circa, come dimostrano i petroglifi incisi in una parete nell'atrio dell'ingresso principale presso l'imbarcadero) la grotta, grazie alla sua splendida posizione, al suo sviluppo (15.000 m attualmente esplorati, dei quali circa 1.200 m nel ramo Sud aperti alla visita), alla bellezza delle sue zone interne e al ricordo della presenza della Foca, rappresenta una delle attrazioni turistiche più famose della Sardegna (Pratesi & Tassi, 1973; Cassola, 1974b).

Ma per il mondo scientifico questa cavità costituisce una località simbolica nella storia della Biospeleologia e della Biogeografia della Sardegna (Baccetti, 1964; Casale, 2001; Casale & Vigna Taglianti, 1996; Cassola, 1982). Proprio da questa grotta infatti, oltre mezzo secolo fa, Saverio Patrizi portò alla luce e fece cono-

scere alcune delle specie destinate a rimanere fra gli elementi più interessanti, da un punto di vista biogeografico e biospeleologico, della fauna ipogea dell'isola: fra gli altri, il coleottero carabide *Speomolops sardous*, l'araneide *Sardostalita patrizii*, l'opilione *Buemarinoa patrizii*.

Negli anni successivi, con cadenza più o meno regolare, la grotta fu visitata con intenti biospeleologici da un gran numero di ricercatori e speleologi, che grazie ai dati pubblicati e inediti ne hanno fatto la cavità più ricca di fauna dell'intera Sardegna. Solo a partire dagli anni '90 dello scorso secolo, tuttavia, le ricerche sono riprese con periodicità e metodo, e i risultati conseguiti, particolarmente negli ultimi anni, sono stati sorprendenti, in una cavità che si riteneva ormai ben nota ed esplorata da un punto di vista biospeleologico.

Scopo del presente contributo è raccogliere, in forma sintetica, la storia di tali esplorazioni (con relativi dati bibliografici che, dispersi su riviste e pubblicazioni talora poco note o di difficile consultazione, meritano di essere citati in questa occasione nella forma più completa possibile), e di illustrare per la prima volta, in forma preliminare, gli ultimi risultati conseguiti.

Viene inoltre fornita una checklist aggiornata di tutta la fauna ipogea (stigobia inclusa) nota fino ad oggi della cavità. Il numero di taxa presenti, ben 48 di rango specifico (inclusi alcuni ancora inediti), ne fanno la grotta più ricca di fauna di tutta la Sardegna.

Numerosi riferimenti a specie presenti nella suddetta cavità sono inoltre riportati in lavori di sintesi (anche a carattere divulgativo) e in cataloghi faunistici (Boscolo & Puddu, 1977; Brignoli, 1982, 1985; Bucciarelli, 1980; Carta, 1974, 1978; Casale *et al.*, 1998; Cassola, 1982;



Fig. 1 - Grotta del Bue Marino (Dorgali, NU). Ingresso.

Cerruti, 1968; Cobolli Sbordoni *et al.*, 1994; Condé, 1985, 1993, 1996, 1998; Condé & Heurtault, 1993; Cottarelli *et al.*, 1996; De Waele & Grafitti, 2000; Fiori, 1960, 1967; Forestiero & Sbordoni, 1978; Furreddu & Maxia, 1964; Gardini, 1976, 1980, 1982, 1994, 1996, 2000; Grafitti, 1999, 2001, 2002, 2003; Grafitti & Mucedda, 1993; Grafitti & Zapparoli, 1995; Karaman, 1993; Latella & Stoch, 2001; Lazzeroni, 1969; Magistretti, 1965; Magrini & Vanni, 1987; Manfredi, 1976; Marcellino, 1982; Minelli, 1982, 1983, 1985; Parenzan, 1969; Pesce & Maggi, 1983; Prota, 1986; Puddu & Pirodda, 1974; Ramellini, 1995; Restivo De Miranda, 1983; Ruffo, 1959, 1982; Ruiu, 1987, 1997; Stoch *et al.*, 2001; Vigna Taglianti, 1982).

Materiali e metodi

I materiali oggetto della presente nota sono conservati nelle collezioni degli specialisti che li hanno studiati e identificati, nella collezione del Gruppo Speleologico Sassarese (presso G. Grafitti) e del Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica dell'Università di Sassari.

I taxa sono citati nel testo senza un particolare ordine sistematico. Nella checklist in appendice sono citati in ordine, ciascuno con rispettivi autore e data di descrizione.

Storia delle esplorazioni: la seconda metà del '900 Anni '50

Nel giugno 1955, il marchese Saverio Patrizi (con Francesco Pisanu, Francesco e Ginetta

Baschieri Salvadori, Salvatore Fancello) effettua le prime prospezioni biospeleologiche nella grotta del Bue Marino, che fruttano risultati straordinari (Patrizi, 1956). In particolare, i taxa sotto elencati: *Patrizicampa sardoa* (genere e specie nuovi), *Speomolops sardous* (genere e specie nuovi), *Buemarinoa patrizii* (genere e specie nuovi), *Sardostalita patrizii* (genere e specie nuovi), *Spelyngochthonius sardous* (specie nuova), *Eukoeningenia patrizii* (specie nuova), *Devillea patrizii* (specie nuova), *Alpioniscus fragilis*, *Ovobathysciola majori*, *Orchestia remyi*, *Tegenaria domestica*.

Le emozioni provate dal Patrizi, straordinario e infaticabile naturalista (cfr. Vigna Taglianti, 1983), nelle sue esplorazioni di questo angolo della Sardegna, sono state raccolte da Fabio Cassola (Cassola, 1982), che ha pubblicato pagine del suo diario e alcune sue tempere a colori, raffiguranti le specie più significative della fauna ipogea scoperta. Il materiale raccolto fu studiato dagli specialisti attivi all'epoca (Beier, 1955, 1963; Brian, 1955; Condé, 1956 a, b; Manfredi, 1956; Roewer, 1956) e dal Patrizi stesso (Patrizi, 1955).

Nell'ottobre 1955, lo svedese Knut Lindberg effettua ulteriori ricerche nelle acque del Bue Marino, ricerche che fruttano i copepodi *Speocyclops sardus* (specie nuova di ciclopoide, stigobia, nota solo di questa cavità) e *Bulbamphiascus imus* (arpatticoide marino) e l'oligochete *Pristina menoni*, stigosseno (Lindberg, 1956).

Le "pescate" effettuate da Baschieri Salvadori l'anno successivo permettono alla Stella (1957) di segnalare le seguenti specie di crostacei: nelle acque all'ingresso: *Eucyclops serrulatus*; a 600 m, alle cascatelle d'acqua dolce: *Diacyclops crassicaudis* "varietà *cosana*" (oggi *Diacyclops cosanus*, specie stigobia); al Lago Smeraldo: "*Diaptomus vulgaris*", *Daphnia longispina*, *Simocephalus vetulus*, *Acroperus angustatus*; al Lago Abissale: "*Diaptomus vulgaris*". La maggior parte di tali segnalazioni riguardano però specie tipiche di pozze e stagni di superficie, non tutte note per la Sardegna, che difficilmente potrebbero sopravvivere nelle acque francamente marine dei laghi Smeraldo e Abissale, e potrebbero essere dovute ad un'errata cartellinatura del materiale (Stoch, *oss. pers.*)



Fig. 2 - *Speomolops sardous* Patrizi, 1955. Elemento endemico che caratterizza la grotta.

Anni '60

Nell'aprile 1963 Giorgio Fiori (Università di Sassari) e Antonio Pippia (Gruppo Grotte Nuorese) scoprono nella grotta un chilopode specializzato, ritrovato successivamente, nell'aprile 1964, da Valerio Sbordonni e Augusto Vigna Taglianti (Università di Roma La Sapienza) (cfr. Restivo De Miranda, 1977). La specie sarà descritta da Matic (1967) come *Lithobius (Troglolithobius) sbordonii*.

Nel 1965 e nel 1966 Chicco Calleri, Antonio Martinotti e altri membri del Gruppo Speleologico Piemontese CAI-UGET, Torino, visitano la grotta nell'ambito di una delle campagne speleologiche condotte in Sardegna in quegli anni (Casale, 1972). Vi raccolgono *Speomolops sardous* e altra fauna. Nel corso di una delle visite, nel 1965, Carlo Tagliafico realizza alcune foto stupende di Foca monaca (Tagliafico, 1965).

Nel 1967, membri del Gruppo Speleologico Bolognese CAI documentano un ulteriore incontro con la Foca monaca (De Lucca, 1967, 1968). Nel 1969, Andrea Gobetti, Adalberto Longhetto, Paolo De Laurentiis e altri membri del G.S. Piemontese CAI-UGET Torino, con Giuseppe Rivalta (G.S. Bolognese CAI), raccolgono *Speomolops sardous*, *Ovobathysciola majori*, *Sardostalita patrizii*, *Alpioniscus fragilis* e altra fauna (Casale, 1969; Longhetto *et al.*, 1969; Rivalta, 1970).

Anni '70

Nell'estate 1970 (luglio-agosto), il Gruppo Speleologico Piemontese del CAI-UGET, con il patrocinio di WWF-Italia, organizza una lunga permanenza in Sardegna, con base a Cala Gonone, volta principalmente ad accertare l'even-

tuale presenza residua di esemplari di Foca monaca nell'area della Grotta del Bue Marino. I partecipanti ottengono pure il valido e insostituibile appoggio degli ancora attivissimi Padre Antonio Furreddu e di Francesco Pisanu, che già aveva accompagnato Patrizi negli anni '50.

Purtroppo, a dispetto di permanenze anche prolungate e di campi interni nella grotta (che all'epoca era attrezzata turisticamente solo nel ramo Nord, fossile), gli esiti in tal senso risultarono totalmente negativi.

In quell'occasione tuttavia Achille Casale, con l'ausilio soprattutto di Andrea Gobetti e di Adalberto Longhetto, ma pure di altri membri del gruppo, poté realizzare una serie di ricerche sia nella cavità in oggetto, sia in altre grotte del Nuorese ancora poco conosciute (Casale, 1969; 1970a; 1970b).

I risultati relativi alla Grotta del Bue Marino, con elenco della fauna sotterranea nota all'epoca (16 specie, 17 con il coleottero ptinide troglissimo *Gibbium psylloides* [Czenpinski, 1778], furono pubblicati da Casale (1972). Fra i reperti più significativi sono da ricordare: *Lithobius (Troglolithobius) sbordonii* (maschio, inedito, citato da Restivo De Miranda, 1977), *Speomolops sardous* (con la nuova segnalazione della specie, su resti, alla Grotta di Toddeitto), *Ovobathysciola majori* (scoperta della larva, che fu descritta qualche anno più tardi: Casale, 1975), *Meta merianae* e *Pholcus phalangioides* (specie non note in precedenza della grotta, citate da Brignoli, 1971; 1972; e da Thermes, 1972), oltre ad altri elementi già ben conosciuti: da citare fra gli altri *Patrizicampa sardoa*, *Devillea patrizii*, *Alpioniscus fragilis* (Argano & Rampini, 1973).

Nel marzo 1971, Villy Aellen e Pierre Strinati, del Museo di Storia Naturale di Ginevra, visitano ancora la grotta, segnalando reperti di *Alpioniscus fragilis* e *Tegenaria henroti* (Aellen & Strinati, 1976). I ragni *Tegenaria henroti* e *Pholcus phalangioides* sono citati pure da Brignoli (1974).

Anni '80

Tra il 1985 e il 1989, Giuseppe Grafitti e Mauro Mucedda (Gruppo Speleologico Sassarese) visitano a più riprese la Grotta del Bue Marino (Mucedda, 1987; 1989), con reperti di *Ovobathysciola majori* (adulti e larve), Collemboli

e Acari, raccolti nel ramo Nord.

Nell'ottobre 1989, Fulvio Gasparo (Commissione Grotte Eugenio Boegan, Trieste), visita a sua volta la cavità con intenti biospeleologici. Tale visita si rivelerà fruttuosa, permettendo all'aracnologo triestino il reperto di una specie nuova di Oligocheti, che sarà descritta da Martinez-Ansemil *et al.* (2002) come *Parvidrilus spelaeus*, e di esemplari del disderide fino ad allora noto come *Stalita patrizii*, esemplari che permetteranno (con altri, successivamente raccolti anche dagli scriventi) la descrizione del nuovo genere *Sardostalita* (Gasparo, 1999). Il ricco materiale di crostacei acquatici raccolto nel corso della visita, successivamente studiato da uno di noi (F. Stoch) contiene un interessante elemento stigobio, *Metacyclops trisetosus*, raccolto per la prima volta in Sardegna.

Anni '90

Tra maggio e giugno 1991, l'aracnologo Guillem Pons (CSIC, Palma de Mallorca) visita la grotta, e vi trova *Filistata insidiatrix*, *Pholcus phalangoides*, *Spermophora* sp., *Meta merianae* (Pons, 1993).

Nel settembre dello stesso anno, Giuseppe Grafitti e Mauro Mucedda (Gruppo Speleologico Sassarese), raccolgono *Ovobathysciola majori* (adulti e larve), *Alpioniscus fragilis*, *Lithobius (Troglolithobius) sbordonii*.

Ancora nello stesso anno, in ottobre, Achille Casale - che nel frattempo ha preso servizio presso l'Università di Sassari - può rivedere la Grotta del Bue Marino dopo ventuno anni, accompagnato da Alessandro Molinu e Daniela Spano (Gruppo Speleologico Sassarese). I reperti sono tuttavia scarsi: *Ovobathysciola majori*, Araneae gen. sp. (Casale, 1992).

In maggio, giugno e agosto 1992, Antonello Cossu, Giuseppina Doria, Giuseppe Grafitti, Gavino Murittu, Mauro Mucedda, Roberto Loru, Igor Panoutsopoulos e Marcello Verdinelli (Gruppo Speleologico Sassarese) visitano più volte la cavità (Cossu & Loru, 1992), con intenti esplorativi ma pure biospeleologici, e vi rinvennero: *Speomolops sardous*, *Ovobathysciola majori*, *Patrizicampa sardoa*, *Alpioniscus fragilis*, *Lithobius (Troglolithobius) sbordonii*, *Buemarinoa patrizii*. Citiamo inoltre (dati inediti) *Roncus sardous* (resti divorati da uno *Speomolops*) (prima segnalazione



Fig. 3 - *Buemarinoa patrizii* Roewer, 1956. Opilioneide Travunidae tipico della grotta.

del genere nella grotta: Gardini, det. *in litt.*), Diptera Brachycera gen. sp., *Limonia nubeculosa*, Annelida Oligochaeta gen. sp., Acari gen. sp. Nel medesimo anno Achille Casale organizza, con David Pala (GSS), una prospezione nelle zone interne della grotta, a cui partecipano Vezio Cottarelli (Università della Tuscia, Viterbo), Marina Cobolli, Elvira De Matthaeis e Augusto Vigna Taglianti (Università di Roma La Sapienza). Gli scopi della missione erano principalmente due: 1, la raccolta di esemplari di *Macarorchestia remyi*, per una verifica delle distanze genetiche della popolazione del Bue Marino nei confronti delle popolazioni di Corsica (cfr. Beron, 1972); e, 2, un'ulteriore prospezione della stigofauna nei laghi interni.

Il primo obiettivo non ha avuto successo: nessun individuo di *M. remyi* è stato trovato. Al contrario, le "pescate" di Vezio Cottarelli hanno fruttato una serie di taxa nuovi per la scienza, che saranno descritti l'anno successivo da Cottarelli & Bruno (1993): *Nitocrella beatricis*, *Elaphoidella janas*, *Parastenocaris triphyda*. Viene segnalato per la cavità anche l'arpatticoide stigobio *Ceuthonectes pescei*. Da ricordare inoltre che alcuni esemplari di *Speomolops sardous* portati a Roma sono vissuti oltre due anni, senza tuttavia riprodursi in cattività.

Nel marzo 1993, Leo Fancello (Gruppo Ricerche Ambientali, Dorgali), al quale si debbono le più importanti esplorazioni subacquee dei rami sommersi della grotta (Fancello & Mucedda, 1993; Fancello *et al.*, 1994), raccoglie *Lithobius*

(*Troglolithobius*) *sbordonii*, *Speomolops sardous*, *Patrizicampa sardoa*, *Buemarinoa patrizii*.

Nel settembre dello stesso anno, Mauro Mucedda (GSS) raccoglie *Lithobius* (*Troglolithobius*) *sbordonii* e *Patrizicampa sardoa*.

Nei primi anni '90 la grotta fu anche visitata, con intenti biospeleologici, da Leonardo Latella (attualmente curatore per la Zoologia presso il Museo Civico di Storia Naturale di Verona), e da Mauro Rampini, dell'Università di Roma "La Sapienza".

Nel 1994, in due visite, Achille Casale, Gavino Murittu e Igor Panoutsopoulos (GSS), in un'occasione anche con Germana e Milena Casale, raccolgono *Speomolops sardous*, *Sardostalita patrizii*, *Patrizicampa sardoa*, *Alpioniscus fragilis*. Tra gli scopi di quelle visite, vi era il prelievo di alcuni esemplari di *Speomolops sardous*, da mantenere vivi al duplice fine di tentarne l'allevamento e di verificare la presenza di ritmi circadiani indotti in condizioni artificiali (Casale & Giachino, 1994). Purtroppo, gli adulti di *S. sardous*, inviati in Germania al laboratorio di F. Weber dell'Università di Münster, non sopravvissero al viaggio.

Nel 1995 (ottobre) e nel 1996 (maggio), Carlo Carletti, Mariamicaela Calcagno (GS Sez. Speleosubacquea, Calenzano), Simone Cianfanelli e E. Talenti (Museo Zoologico La Specola, Firenze) effettuano raccolte in acque carsiche della Sardegna, e visitano pure la Grotta del Bue Marino. Tali prelievi fruttano tra l'altro la scoperta di un nuovo idrobiide, presente nelle acque del Bue Marino, nella Risorgente carsica di Su Cologone e nella Grotta Su Guanu (Oliena) e nella Sorgente presso S. Leonardo (Onifai), che sarà descritto da Manganelli *et al.* (1998) come *Sardopaladilhia plagigeyrica*.

Le ricerche nel nuovo millennio, dal 2000 al 2006

Negli ultimi anni, un nuovo fervore di ricerche ha animato la Grotta del Bue Marino.

La prima occasione per una nuova visita si è realizzata nel 2003, con la venuta in Sardegna da Torino di Enrico Lana (GSP CAI-UGET). Scopo di questa missione, a cui se ne aggiungeranno molte altre negli anni successivi un po' ovunque in Sardegna, era iniziare la documentazione fotografica degli organismi ipogei più significativi del-

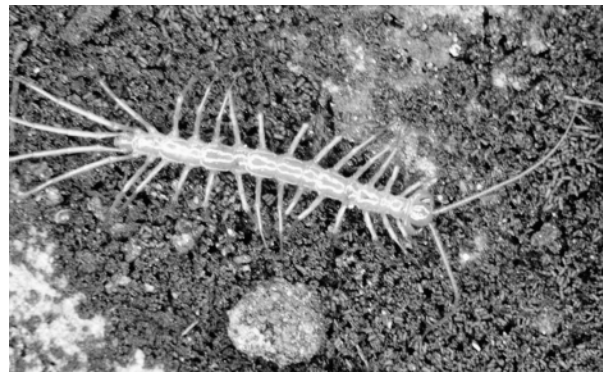


Fig. 4 - *Lithobius* (*Troglolithobius*) *sbordonii* Matic, 1967. Chilopoda troglobio della Grotta del Bue Marino.

l'isola, al fine di realizzare un atlante analogo a quello realizzato da Lana (2001) sulla fauna cavernicola del Piemonte.

Un'ulteriore occasione è stata offerta dall'inizio, nel 2005, di un dottorato di ricerca da parte di Paolo Marcia presso il Dipartimento di Zoologia dell'Università di Sassari, teso a monitorare alcuni parametri ambientali di grotte turistiche e non, e di approfondire alcuni aspetti della biospeleologia sarda. Infine, un nuovo incentivo è stato offerto dall'entusiasmo per lo studio delle acque sotterranee della Sardegna, e della loro fauna, da parte del biospeleologo triestino Fabio Stoch.

Così, con la presenza costante di Achille Casale, Giuseppe Grafitti, Enrico Lana, Paolo Marcia e Alessandro Molinu (GSS), e quella saltuaria di Mauro Mucedda (GSS), Carlo Onnis (Unione Speleologica Cagliariitana), Renato Sella (Gruppo Speleologico Biellese CAI) e Fabio Stoch, la grotta è stata nuovamente visitata con intenti biospeleologici il 22 ottobre 2003 e il 10 settembre 2006. I risultati sono stati stupefacenti, in una grotta che si riteneva ormai fra le meglio investigate e conosciute dell'intera Sardegna. Ecco i principali:

1. Nel corso dell'uscita del 10 settembre 2006, Achille Casale ricordava come già nel 1970 uno degli scopi della missione, su sollecitazione di Leonida Boldori (nome mitico della biospeleologia bresciana), fosse il rinvenimento e la descrizione della larva di *Speomolops sardous*, e come tutti i tentativi in tal senso, allora e negli anni successivi, fossero stati vani, così come i tentativi di ottenere la riproduzione della specie in condizioni di laboratorio. Proprio quel giorno, lungo una vasta spiaggia interna popolata da numerosi adulti,

Alessandro Molinu affondava le mani nella sabbia e ne estraeva dapprima una, poi due larve di *Speomolops*, subito seguito da Paolo Marcia, fino al rinvenimento di cinque larve di stadi diversi e pure di una pupa in procinto di sfarfallare.

Lungo la medesima spiaggia, a ridosso di una parete, Paolo Marcia rinveniva due esemplari (un maschio, una femmina) di una *Typhloreicheia* attribuibile a una specie inedita.

Inoltre, nelle pescate, erano presenti *Bogidiella* sp., *Metacyclops trisetosus*, *Jaera* sp., accanto a specie nuove per la scienza, in corso di descrizione, di copepodi ciclopoidi (Stoch det.) e in un campione raccolto nelle pozze vicino agli spiaggioni l'ostracode *Candonopsis scourfieldi* (Stoch leg., Pieri det.), specie di superficie presente talora in grotte e sorgenti come substigofila o stigossena.

Nel frattempo Giuseppe Grafitti e Carlo Onnis, nel ramo Nord (fossile), raccoglievano resti di *Callipus* sp. (primo reperto!), *Symphyla* gen. sp. (primo reperto!), Psocoptera Psillypsocidae gen. sp. (primo reperto!) e, in legni fradici, numerosi esemplari di un coleottero curculionide depigmentato e microftalmo, *Amaurorhinus* sp. (M. Meregalli det.), rinvenuti anche in una visita successiva il 17 settembre 2006 da Paolo Marcia e Carlo Onnis. Si tratta di Coleotteri saproxilofagi in grado di essere trasportati in mare all'interno di tronchi che poi vengono spiaggiati in località diverse. Questo fatto giustifica il nuovo rinvenimento nella grotta, e il fatto che l'identificazione della specie (di un genere che annovera una o più specie endemiche sarde) non sia ancora sicura (Meregalli, com. pers.).

2. Nel corso dell'uscita del 22 ottobre 2003, Giuseppe Grafitti, presso la spiaggia delle foche (al primo lago d'acqua dolce del ramo Sud, attivo, dove termina la visita turistica), ritrovava dopo molti anni lo Pseudoscorpione specializzato, di piccolissime dimensioni, *Spelyngochthonius sardous*, mentre Achille Casale, Enrico Lana, Paolo Marcia e Alessandro Molinu incontravano *Mitostoma patrizii* (prima segnalazione per la grotta), *Buemarinoa patrizii*, *Lithobius (Troglolithobius) sbordonii*, *Alpioniscus fragilis*, *Ovobathysciola majori* e alcuni esemplari di *Speomolops sardous* che, trasportati vivi al laboratorio sotterraneo della Grotta di Bossea (Cuneo), sono poi sopravvissuti un paio di anni, senza però

riprodursi (cfr. Lana *et al.*, 2004).

3. Il 17 settembre 2006 Paolo Marcia, Virginia Denanni e Carlo Onnis ritrovavano numerosi esemplari di Curculionidi, e piazzavano i primi sensori per i rilevamenti di temperatura nella grotta (vedi oltre).

Risultati e conclusioni

Le ricerche sopra descritte, della durata di oltre mezzo secolo, hanno portato a risultati che possono essere sintetizzati in alcuni punti.

In primo luogo, si tratta di risultati di base, eminentemente faunistici e biogeografici, che hanno fatto conoscere sempre più in dettaglio la ricchezza e l'interesse della fauna ipogea di una grotta eccezionale per la sua posizione geografica e per le sue caratteristiche geo-morfologiche. L'interesse di alcuni reperti non ancora identificati potrà essere ulteriormente chiarito con l'esame approfondito dei medesimi, affidato ai tassonomi specialisti in grado di lavorare su ogni singolo gruppo sistematico; tassonomi peraltro sempre più scarsi e oberati di lavoro grazie a una politica miope e suicida della ricerca italiana (e non solo!), che premia scarsamente tali ricerche, salvo poi reclamarne e decantarne i risultati nei progetti di conservazione della natura richiesti a livello nazionale e internazionale. In secondo luogo, hanno dimostrato come una cavità fra le più visitate e meglio indagate nel corso di decenni sia stata in grado di svelare, anche negli anni più recenti, sempre nuove e inattese sorprese: specie nuove per la Scienza, specie note ma mai osservate in precedenza nella grotta, stadi preimmaginali di insetti ricercati invano negli anni precedenti. Il risultato, come detto nell'introduzione, porta ad un numero eccezionale di 48 (v. oltre, in Checklist) taxa di rango specifico - ipogei terrestri eucavernicoli, stigobi e stigofili - attualmente noti, che fanno della Grotta del Bue Marino la cavità più ricca di fauna della Sardegna (seguita dalla Grotta di San Giovanni, Domusnovas, 81 Sa/CI con 40 specie eucavernicole, esclusi Chiroterri). A questi, sono forse da aggiungere numerosi elementi trogllossenici e stigossenici: ad esempio l'anfibio urodelo *Euproctus platycephalus* (Gravenhorst, 1829) (cfr. Lanza, 1956), i copepodi marini *Bulbamphiascus imus* (Brady, 1872), *Harpacticus chelififer* (O.F. Müller, 1776) accanto forse al calanoide *Eudiaptomus vulgaris*

(Schmeil, 1896) e ai cladoceri *Daphnia longispina* (O. F. Müller, 1776), *Simocephalus vetulus* (O. F. Müller, 1776) citati dalla Stella (1957) (si veda tuttavia la nota nel testo a p. 199).

Infine, la costanza delle visite con intenti biospeleologici nel corso del tempo, costanza che ha poche analogie con altre grotte sarde e di altre località continentali, consente di verificare alcuni problemi connessi con la conservazione della fauna ipogea in grotte da tempo aperte alla fruizione turistica. Tale argomento, ormai trattato in numerosissimi convegni nazionali e internazionali sulle "show caves" (cfr. ad esempio Casale *et al.*, 1996), coinvolge differenti correnti di pensiero, ma sostanzialmente si scontra sempre con la realtà dei fatti, che è questa: grotte di grandi dimensioni, con retroterra di grandi reticoli ipogei e imponenti coperture montane, possono tollerare l'apertura al pubblico di parti di esse senza particolari conseguenze sulla fauna più specializzata, salvo eventuali scomparse di specie nelle zone illuminate e frequentate. Al contrario, grotte di piccole dimensioni, superficiali, con scarsa copertura forestale, particolarmente in aree mediterranee xeriche, possono subire danni gravi o irreversibili (Casale, 2000; Cassola, 1974a; Crovetto, 1972).

La Grotta del Bue Marino ci mostra tale evoluzione nel tempo. A parte la scomparsa della Foca monaca, la cui presenza è risultata evidentemente incompatibile con una frequentazione turistica che interessa decine di migliaia di persone l'anno (nel periodo Marzo-Novembre 2006, 80.087 biglietti; stesso periodo del 2005, 66.069 biglietti venduti: Consorzio Atlantikà, com. pers.) e che riguarda tutta la costa del Golfo di Orosei, si rileva per ora nella grotta una sostanziale compatibilità tra il carico antropico sopportato negli ultimi cinquanta anni dalla grotta e la biocenosi ipogea in essa presente. Si registra una scarsità di fauna fino al termine del percorso turistico attrezzato; ma superato appena il primo grande lago (primo lago d'acqua dolce, lungo circa 300 m), la fauna ipogea ricompare nelle medesime condizioni verificate da Casale (1972), quando il ramo Sud, attivo, non era ancora percorribile. Per contro il ramo Nord (fossile), un tempo l'unico visitabile ed abbandonato nel 1983, registra oggi una grande abbondanza di elementi saprofagi, favoriti dai resti di infrastrutture in legno oggi marcescenti, e pure una

colonizzazione da parte di taxa mai riscontrati in precedenza (*Amaurorhynchus* sp.). Risultano peraltro sempre assenti i troglobi più specializzati (*Speomolops*, *Troglolithobius*, *Buemarinoa*, e altri), legati alle grandi sale interne e alle spiagge percorse dal torrente sotterraneo. Tale quadro risulta preziosissimo per dimostrare come aree diverse della medesima grotta presentino criticità ambientali molto differenziate, da tenere in debito conto nelle valutazioni di impatto al momento di uno sfruttamento turistico. Al fine di monitorare un parametro ambientale significativo legato alla frequentazione turistica, la grotta - nell'ambito del dottorato di ricerca di Paolo Marcia - è stata attrezzata da un anno con 4 sensori che rilevano e registrano la temperatura ogni ora per 85 giorni (3 lungo il percorso turistico, 1 ad alta sensibilità in un vicino ramo non turistico). I dati sono periodicamente scaricati in computer e saranno valutati al termine della ricerca.

Ringraziamenti

Siamo molto grati a tutti coloro, nominati nel testo, che ci hanno accompagnato nel corso degli anni alla scoperta di questa cavità unica al mondo per la sua bellezza e per l'interesse scientifico della fauna in essa presente. Vorremmo ringraziare in particolare coloro che hanno identificato nostri reperti di vari gruppi sistematici:

Roberto Argano (Univ. "La Sapienza", Roma: Isopodi); †Paolo M. Brignoli (Univ. Roma: Ragni pars); †Bruno Condé (Univ. Nancy, Francia: Dipluri Campodeidi); Fulvio Gasparo (Trieste: Ragni Disderidi); Giulio Gardini (Univ. Genova: Pseudoscorpioni); Massimo Merigalli (Univ. Torino: Col. Curculionidi); Valentina Pieri (Univ. Parma: Ostracoda); Marzio Zapparoli (Univ. della Toscana, Viterbo: Chilopodi); Augusto Vigna Taglianti (Univ. di Roma "La Sapienza": Coleotteri Ptinidi).

Un particolare ringraziamento va rivolto ai responsabili delle società che si sono avvicinate nella gestione della cavità, per la sensibilità ambientale dimostrata, per il costante interessamento alle ricerche e per le agevolazioni sempre offerte nel corso delle nostre visite: Giampaolo Mulas, Leo Fancello, Giuseppina Masuri, Fabio Sagheddu e Ida Spina del Consorzio Atlantikà, Dorgali.

MOLLUSCA - GASTROPODA - NEOTAENIOGLOSSA Fam. Hydrobiidae <i>Sardopaladilhia plagigeyeric</i> Manganelli, Bodon, Cianfanelli, Talenti & Giusti, 1998	PALPIGRADA Fam. Eukoeneniidae <i>Eukoenenia patrizii</i> (Condé, 1956)
ANNELIDA - OLIGOCHAETA - TUBIFICIDA Fam. Parvidrilidae <i>Parvidrilus spelaeus</i> Martinez-Ansemil, Sambugar & Giani, 2002 Fam. Tubificidae <i>Pristina (Pristinella) menoni</i> (Aiyer, 1929) Oligochaeta fam. gen. sp.	ACARI Fam. gen. sp.
COPEPODA - CYCLOPOIDA Fam. Cyclopidae <i>Acanthocyclops</i> n. sp. <i>Diacyclops</i> cf. <i>paolae</i> Pesce & Galassi, 1987 <i>Diacyclops cosamus</i> Stella & Salvadori, 1954 <i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851) <i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1820) <i>Metacyclops trisetosus</i> Herbst, 1957 <i>Speocyclops sardus</i> Lindberg, 1956	DIPLOPODA - POLYDESMIDA Fam. Xystodesmidae <i>Devillea patrizii</i> Manfredi, 1956 CALLIPODIDA Fam. Callipodidae <i>Callipus</i> sp.
COPEPODA - HARPACTICOIDA Fam. Canthocamptidae <i>Ceuthonectes pescei</i> Cottarelli & Saporito, 1985 <i>Elaphoidella janas</i> Cottarelli & Bruno, 1993 Fam. Ameiridae <i>Nitocrella beatricis</i> Cottarelli & Bruno, 1993 Fam. Parastenocarididae <i>Parastenocaris triphyda</i> Cottarelli & Bruno, 1993 Harpacticoida fam. gen. sp.	CHILOPODA - LITHOBIOMORPHA Fam. Lithobiidae <i>Lithobius (Troglolithobius) sbordonii</i> Matic, 1967
OSTRACODA - PODOCOPIDA Fam. Candonidae <i>Candonopsis scourfieldi</i> (Brady & Robertson, 1870)	SYMPHILA Fam. gen. sp.
MALACOSTRACA - ISOPODA Fam. Trichoniscidae <i>Alpioniscus fragilis</i> (Budde-Lund, 1909) Fam. Janiridae <i>Jaera</i> sp.	COLLEMBOLA Fam. gen. sp.
MALACOSTRACA - AMPHIPODA Fam. Bogidiellidae <i>Bogidiella</i> sp. aff. <i>vandeli</i> Coineau, 1969 Fam. Talitridae <i>Macarorchestia remyi</i> (Schellenberg, 1950)	DIPLURA Fam. Campodeidae <i>Patrizicampa sardoa</i> Condé, 1956
MALACOSTRACA - SYNCARIDA	HEXAPODA-PSOCOPTERA Fam. Psilypsocidae gen. sp. COLEOPTERA Fam. Carabidae <i>Speomolops sardous</i> Patrizi, 1955 <i>Typhloreicheia</i> n. sp. Fam. Cholevidae <i>Ovobathysciola majori</i> (Reitter, 1885) Fam. Curculionidae <i>Amaurorhinus</i> sp. (Meregalli <i>in litt.</i>) DIPTERA Fam. Limoniidae <i>Limonia nubeculosa</i> Meigen, 1804 Brachycera gen. sp.
ARACHNIDA - ARANEAE Fam. Dysderidae <i>Sardostaliia patrizii</i> (Roewer, 1956) Fam. Pholcidae <i>Pholcus phalangioides</i> (Fuesslin, 1775) <i>Spermophora</i> sp. Fam. Tetragnathidae <i>Metellina merianae</i> (Scopoli, 1763) Fam. Agelenidae <i>Tegenaria domestica</i> (Clerck, 1758) <i>Tegenaria henroti</i> Dresco, 1956 Fam. Filistatidae <i>Filistata insidiatrix</i> Forskål, 1775	
PSEUDOSCORPIONIDA Fam. Chthoniidae <i>Spelyngochthonius sardous</i> Beier, 1955 Fam. Neobisiidae <i>Roncus sardous</i> Beier, 1955	
OPILIONIDA Fam. Travuniidae <i>Buemarinoa patrizii</i> Roewer, 1956 Fam. Nemastomatidae <i>Mitostoma patrizii</i> Roewer, 1953	

Tab. 1 - Appendice: Checklist aggiornata della fauna ipogea terrestre, stigobia e stigofila, nota della Grotta del Bue Marino (aggiornata al 2007); ordine sistematico secondo la checklist della Fauna d'Italia (Aa. Vv., 1993-95).

Nota: dalla lista sono omessi gli scarsi Chiroterteri osservati e le specie chiaramente trogllossene, incontrate all'ingresso oppure acquatiche non ipogee, trasportate dalle piene del fiume o penetrate dal mare.

Bibliografia citata

- AA. VV. (1993-95) - *Checklist delle specie della Fauna d'Italia*. A cura di A. Minelli, S. Ruffo, S. La Posta. Calderini, Bologna, fasc. 1-110.
- AELLEN V., STRINATI P. (1976) - *Guida alle Grotte d'Europa*. Zanichelli, Bologna: 247 pp.
- Altara E. (1995) - *La Foca monaca*. Sottoterra, 101: 43-54.
- ANSELIN A., VAN DER ELST M. (1987) - *Monk Seal bulletin*. Institut Royal de Sciences Naturelles Belgique 5: 1-3.
- ARDIZZONE G., ARGANO R., BOITANI L. (1991) - *Le déclin du phoque moine en Italie et sa survie dans une contexte méditerranéen*. Seminar on Conservation of the Mediterranean Monk Seal-Technical and Scientific aspects. Antalya, Turkey, 1-4 may 1991: 30-31.
- ARGANO R., RAMPINI M. (1973) - *Note sulla distribuzione dei Trichoniscidae in Sardegna (Crustacea, Isopoda, Oniscoidea)*. International Journal of Speleology, 5: 311-317.
- BACCETTI B. (1964) - *Considerazioni sulla costituzione e l'origine della fauna di Sardegna*. Arch. Bot. Biogeogr. Ital., 40 (4) 9 (4): 29-95.
- BEIER M. (1955) - *Hohlen-pseudoscorpione aus Sardinien*. Fragmenta Entomologica, 2 (5): 41-46.
- BEIER M. (1963) - *Ordnung Pseudoscorpionidea (Afterscorpione)*. Bestimmungsbuch zur Bodenfauna Europas, 1: 313 pp.
- BERON P. (1972) - *Aperçu sur la faune cavernicole de la Corse*. Laboratoire souterrain du C.N.R.S. Moulis, S. Doc. 3: 1-56.
- BOITANI L. (1979) - *Monk seal in Italy: status and conservation perspectives in relation to the condition of the species in the Western Mediterranean*. I International Conference on the Mediterranean Monk Seal, Rhodes, Greece, 1978. Pergamon Press, Oxford: 61-62.
- BOITANI L. (1981) - *Foca monaca Monachus monachus Hermann, 1779*. Distribuzione e biologia di 22 specie di Mammiferi in Italia, CNR, Roma: 117-120.
- BOITANI L. (1983) - *Monitoring the extinction of the Italian Monk Seals (Monachus monachus) with a indication of the possibilities for their survival*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, 8, (1980): 801-811.
- BOSCOLO L., PUDDU S. (1977) - *Bibliografia speleofaunistica della Sardegna (1872-1976) (IV Contributo alla conoscenza della bibliografia speleofaunistica italiana)*. Notiz. S.S.I., 1: 10-20.
- BRIAN A. (1955) - *Descrizione di una specie nuova di Crostaceo cavernicolo della Sardegna raccolta dal Marchese S. Patrizi*. Bollettino della Società Entomologica Italiana, 85 (9-10): 148-153.
- BRIGNOLI P. M. (1970) - *Le attuali conoscenze sui ragni cavernicoli italiani*. Notiziario del Circolo Speleologico Romano, 20-21: 39-45.
- BRIGNOLI P. M. (1971) - *Note sui Ragni cavernicoli italiani (Araneae)*. Fragmenta Entomologica, 7 (3): 121-229.
- BRIGNOLI P. M. (1972) - *Catalogo dei Ragni cavernicoli italiani*. Quaderni di Speleologia, Circolo Speleologico Romano, 1: 212 pp.
- BRIGNOLI P. M. (1974) - *Ragni d'Italia XXI. Settimo contributo alla conoscenza dei ragni cavernicoli di Sardegna e descrizione di una nuova specie di Corsica (Araneae)*. Revue Suisse de Zoologie, 81 (2): 387-395.
- BRIGNOLI P. M. (1982) - *Palpigradi cavernicoli italiani*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, 7, (1978): 55-56.
- BRIGNOLI P. M. (1985) - *Aggiunte e correzioni al "Catalogo dei Ragni cavernicoli italiani"*. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 4: 51-64.
- BUCCIARELLI I. (1980) - *Catalogo dei tipi del Museo Civico di Storia Naturale di Milano. VI. I tipi dei Coleoptera Carabidae*. Atti della Società Italiana di Scienze Naturali e Museo Civico di Storia Naturale, Milano, 121 (3): 121-164.
- CARTA G. (1974) - *La vita in grotta. Parte prima: Introduzione alla biospeleologia*. Gruttas e Nurras, 2: 22-26.
- CARTA G. (1978) - *Biospeleologia*. In: AA.VV. *Sardegna centro-orientale. Dal Neolitico alla fine del Mondo Antico*. Ed. Dessì, Sassari: 231-233.
- CASALE A. (1969) - *Sardegna 1969: risultati biospeleologici*. Grotte, 40: 15-16.
- CASALE A. (1970 a) - *Note biologiche*. Grotte, 41: 14-16.
- CASALE A. (1970 b) - *Sardegna 1970: ricerche biospeleologiche*. Grotte, 42: 29-31.
- CASALE A. (1972) - *Visione d'insieme del complesso ecologico e faunistico della grotta del Bue Marino (Cala Gonone, Dorgali, NU)*. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 10: 3-28.
- CASALE A. (1975) - *Morfologia larvale di Ovobathysciola majori (Reitter), specie cavernicola di un Genere endemico sardo (III. Nota sui Coleoptera Catopidae)*. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 15: 193-202.
- CASALE A. (1992) - *Attività biospeleologica 1992*. Grotte, 110: 43-47.
- CASALE A. (2000) - *Impatto antropico e biomonitoraggio in ecosistemi sotterranei*. Atti e Memorie dell'Ente Fauna Siciliana, 6, (1999): 61-76.
- CASALE A. (2001) - *Biospeleologia e fauna cavernicola*. In: PIRAS G., RANDACCIO F. (eds.) - *Atti Convegno "Biospeleologia dei sistemi carsici della Sardegna" (Cagliari, 10 giugno 2000)*. A cura del Gruppo Speleologico Centro Studi Ipogei "Specus", Cagliari: 7-12.
- CASALE A., GIACHINO P. M. (1994) - *Attività biospeleologica 1994*. Grotte, 116: 36-39.
- CASALE A., GIACHINO P. M., LANA E., MORISI A. (1996) - *Attività antropica - faune ipogee e biomonitoraggio dai precursori allo speleoturismo*. Atti del Simposio

- Internazionale Grotte Turistiche e Monitoraggio ambientale, Frabosa Soprana, 1995: 367-379.
- CASALE A., VIGNA TAGLIANTI A. (1996) - *Coleotteri Carabidi di Sardegna e delle piccole isole circumsarde, e loro significato biogeografico (Coleoptera, Carabidae)*. Biogeographia, 18: 391-427.
- CASALE A., VIGNA TAGLIANTI A., JUBERTHIE C. (1998) - *Coleoptera Carabidae*. Encyclopaedie Biospeologica, 2: 1047-1081.
- CASSOLA F. (1974 a) - *L'entomofauna sarda e i problemi della conservazione. Primo elenco di specie da proteggere*. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 12: 141-149.
- CASSOLA F. (1974 b) - *Problemi di conservazione degli ambienti sotterranei in Sardegna*. Speleologia Sarda, 9: 3-17.
- CASSOLA F. (1982) - *Il popolamento cavernicolo della Sardegna*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, N.S., 7, (1978): 615-755.
- CASSOLA F., TASSI F. (1973) - *Proposta per un sistema di Parchi e Riserve Naturali in Sardegna*. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 13: 51-129.
- CERRUTI M. (1968) - *Materiali per un primo elenco degli Artropodi speleobii della Sardegna*. Fragmenta Entomologica 5 (3): 207-257.
- CIANFANELLI S., CALCAGNO M., CARLETTI C. (1999) - *Nuovi molluschi nelle acque sotterranee della Sardegna orientale*. Speleologia, 40: 112-113.
- COBOLLI SBORDONI M., PAOLETTI M. G., SBORDONI V., VIGNA TAGLIANTI A. (1994) - *Historique de la biospéologie. Italie*. Encyclopaedie Biospeologica, 1: 737-751.
- CONDÉ B. (1956 a) - *Campodéides des grottes de Sardaigne (Insecta, Diplura)*. Atti VII Congresso Nazionale di Speleologia, Sardegna 1955: 199-202.
- CONDÉ B. (1956 b) - *Une Koenenia cavernicole de Sardaigne (Arachnides Microtéliphonides)*. Notes Biospéléologiques, 11: 13-16.
- CONDÉ B. (1985) - *Les Palpigrades des Iles de la Méditerranée (Arachnida Palpigradida)*. Bulletin de la Société Zoologique de France, 112 (1-2): 215-219.
- CONDÉ B. (1993) - *Description du male de deux espèces de Palpigrades*. Revue Suisse de Zoologie, 100 (2): 279-287.
- CONDÉ B. (1996) - *Les Palpigrades, 1885-1995: acquisitions et lacunes*. Proceedings of the 13th Intern. Congr. Arachnol., Genève 1995, Revue Suisse de Zoologie: 87-106.
- CONDÉ B. (1998) - *Palpigradida*. Encyclopaedie Biospeologica, 2: 913-920.
- CONDÉ B., HEURTAULT J. (1993) - *Palpigrades de Sardaigne, avec la description d'une seconde espèce troglobie*. Bollettino Accademia Gioenia Scienze Naturali, 26 (345): 65-75.
- COSSU A., LORU R. (1992) - *Bue Marino ... le ultime crociate*. Bollettino del Gruppo Speleologico Sassarese, 13: 23-25.
- COTTARELLI V., BRUNO M. C. (1993) - *Harpacticoida (Crustacea Copepoda) from subterranean waters of Bue Marino cave, Sardinia, and St. Barthélémy cave, Corsica, and description of three new species*. International Journal of Speleology, 22 (1): 97-119.
- COTTARELLI V., BRUNO M. C., FORNIZ C. (1996) - *Copepodi Arpacticoidi e Sincaridi (Crustacea) di acque sotterranee delle isole circumsarde*. Biogeographia, 18: 261-272.
- Council of Europe (1986) - *Group of Experts on the Mediterranean Monk Seal (Monachus monachus)*. First Meeting 15-16 sept. 1986, Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, Strasbourg, T-PVS 86 (16): 1-33.
- Council of Europe (1992) - *Conservation of the Mediterranean monk seal*. Technical and scientific aspects. Environmental Encounters, 13: 1-94.
- CROVETTI A. (1972) - *Gli insetti endemici della Sardegna. Un patrimonio da salvare*. Bollettino degli Interessi Sardi, Rivista Camera di Commercio, Industria, Artigianato, Sassari, 27 (12): 577-582.
- DE LUCCA M. (1967) - *Un incontro con la Foca Monaca nella grotta del Bue Marino*. Sottoterra, 16: 15-18.
- DE LUCCA M. (1968) - *Incontro con la Foca Monaca della "Grotta del Bue Marino"*. In: AA.VV. Spedizione Speleologica "Città di Bologna" Sardegna 1967: 17-20.
- DE WAELE J., GRAFITTI G. (2000) - *Show caves in Sardinia: geologic and biologic aspects*. In: CIGNA A. (ed.). Proceedings of the 3rd Congress of the International Show Caves Association, Santadi 19-25 october 1998: 81-95.
- FANCELLO L., MAHLER A., BENISEK L. (1994) - *Die Hoble Bue Marino*. Cave Diving Magazine, 6: 36-39.
- FANCELLO L., MUCEDDA M. (1993) - *Esplorazioni speleo-subacquee alla Grotta del Bue Marino di Dorgali (anno 1993)*. Sardegna Speleologica, 4: 31-40.
- FIORI G. (1960) - *Alcuni appunti sulla entomofauna cavernicola sarda e sui problemi concernenti il popolamento delle caverne della Sardegna*. Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Rendiconti, 8: 307-316.
- FIORI G. (1967) - *I più strani ed interessanti animali della Sardegna (Parte I)*. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 1 (1): 31-35.
- FORESTIERO S., SBORDONI V. (1978) - *Biospeleologia*. Manuale di Speleologia, Longanesi, Milano: 219-273.
- FURREDDU A., MAXIA C. (1964) - *Grotte della Sardegna. Guida al mondo carsico dell'Isola*. Fossataro Editrice, Cagliari: 310 pp.
- GARDINI G. (1976) - *Note sugli Pseudoscorpioni d'Italia. III. Su un maschio di Spelyngochthonius in Sardegna: S. sardous Beier (Pseudoscorpionida, Chthoniidae)*. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 16: 39-49.
- GARDINI G. (1980) - *Catalogo degli Pseudoscorpioni caver-*

- nicoli italiani (Pseudoscorpioni d'Italia VIII)*. Memorie della Società Entomologica Italiana, 58, (1979): 95-140.
- GARDINI G. (1982) - *Pseudoscorpioni cavernicoli italiani*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, N.S., 7, (1978): 15-32.
- GARDINI G. (1994) - *I generi Paraliichthonius Beier, 1956 e Spelyngochthonius Beier, 1955 in Italia (Pseudoscorpionida, Chthoniidae)*. Fragmenta Entomologica, 26 (1): 1-10.
- GARDINI G. (1995) - *Arachnida Pseudoscorpionida*. Checklist delle specie della fauna italiana, A cura di A. Minelli, S. Ruffo, S. La Posta. Calderini, Bologna, 22: 1-8.
- GARDINI G. (1996) - *Pseudoscorpioni cavernicoli italiani. Seconda nota (Pseudoscorpioni d'Italia XXXI)*. Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 20: 157-174.
- GARDINI G. (2000) - *Catalogo degli Pseudoscorpioni d'Italia (Arachnida)*. Fragmenta Entomologica, 32: 1-181.
- GASPARO F. (1999) - *Ridescrizione di Stalita patrizii Roewer, 1956, specie tipo del nuovo genere Sardostalita (Araneae, Dysderidae)*. Bollettino del Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino, 16 (1-2): 59-76.
- GAZALE V., PORCHEDDU A. (1991) - *Sardegna da salvare. Il Mediterraneo e la sua vita*. Editrice Archivio Fotografico Sardo, Nuoro: 398 pp.
- GRAFITTI G. (1999) - *La fauna cavernicola della Sardegna. Un patrimonio da salvare*. Anthèò, 3: 33-39.
- GRAFITTI G. (2001) - *Osservazioni sulla fauna cavernicola della Sardegna*. In: PIRAS G., RANDACCIO F. (eds.) - *Atti Convegno "Biospeleologia dei sistemi carsici della Sardegna", (Cagliari, 10 giugno 2000)*. A cura del Gruppo Speleologico Centro Studi Ipogei "Specus", Cagliari: 13-33.
- GRAFITTI G. (2002) - *La biospeleologia in Sardegna. Storia e prospettive*. In: De Waele J. (ed.) - *Atti Convegno "Il carsismo e la ricerca speleologica in Sardegna. Cagliari, 23-25 novembre 2001"*. Anthèò, Boll. Gruppo Speleo-Archeol. "G. Spano", Cagliari, 6: 269-298.
- GRAFITTI G. (2003) - *Insetti*. In: CICOGLIA F., NIKE BIANCHI C., FERRARI G., FORTI P. *Grotte marine. Cinquant'anni di ricerca in Italia*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Rapallo, 2003: 211-216.
- GRAFITTI G., MUCEDDA M. (1993) - *Note sulle grotte e sul patrimonio speleologico del Parco del Gennargentu*. In: AA.VV. *Il Parco del Gennargentu: un'occasione da non perdere*. Atti del Convegno (Desulo, 1992). A cura dell'Amministrazione Provinciale di Nuoro: 143-145.
- GRAFITTI G., ZAPPAROLI M. (1995) - *Note su alcune specie di Chilopodi cavernicoli di Sardegna (Chilopoda)*. Notiziario del Circolo Speleologico Romano, 6-7: 121-130.
- JOHNSON W. M. (1999) - *Monk Seal myths in Sardinia*. International Marine Mammals Association Inc. Guelph, Ontario, Canada. The Monachus Guardian, 1 (1): 11-15.
- KARAMAN G. S. (1993) - *Crustacea. Amphipoda di acqua dolce*. Fauna d'Italia, Calderini, Bologna, 31: 337 pp.
- LANA E., CASALE A., GIACHINO P. M. (2004) - *Attività biospeleologica 2003*. Grotte, 142: 36-41.
- LANZA B. (1956) - *Notizie su alcuni Anfibi e Rettili dell'Italia Centrale e della Sardegna, con cenni sulla probabile presenza di un Urodelo nelle acque della Grotta del Bue Marino (Nuoro)*. Monitore Zoologico Italiano, 63 (4): 300-308.
- LATELLA L., STOCH F. (2001) - *Biospeleologia*. Grotte e fenomeno carsico. Quaderni Habitat. Ministero dell'Ambiente e Museo Friulano di Storia Naturale, Udine: 53-86.
- LAZZERONI G. (1969) - *Ricerche sugli Pseudoscorpioni. VI. Il popolamento della Sardegna*. Fragmenta Entomologica, 6 (3): 223-251.
- LINDBERG K. (1956) - *Cyclopides (Crustacés Copépodes) de la Sardaigne*. Memorie della Società Entomologica Italiana, 35: 71-79.
- LONGHETTO A., OLIVETTI M., PANI A. (1969) - *Attività estiva in Sardegna*. Grotte, 39: 8-14.
- MAGISTRETTI M. (1965) - *Coleoptera: Cicindelidae, Carabidae. Catalogo topografico*. Fauna d'Italia, Calderini, Bologna, VIII: 512 pp.
- MAGRINI P., VANNI S. (1987) - *La ricerca dei Coleotteri Carabidi in grotta e generalità sull'ambiente cavernicolo*. Itinerari Speleologici, 2: 57-63.
- MANCONI F., CIREDDU C., MULAS G., PORCU G. (1988) - *Storie di foche e di parchi*. Anthèò, 4: 6-17.
- MANFREDI P. (1956) - *Miriapodi cavernicoli del Marocco, della Sardegna e del Piemonte*. Atti della Società Italiana di Scienze Naturali e Museo Civico di Storia Naturale, Milano, 95 (3-4): 197-222.
- MANFREDI P. (1976) - *Catalogo dei tipi del Museo Civico di Storia Naturale di Milano. IV. Tipi di Miriapodi (Diplopodi e Chilopodi)*. Atti della Società Italiana di Scienze Naturali e Museo Civico di Storia Naturale, Milano, 117 (3-4): 214-238.
- MANGANELLI G., BODON M., CIANFANELLI S., TALENTI E., GIUSTI F. (1998) - *New hydrobiids from subterranean waters of eastern Sardinia, Italy (Gasteropoda Prosobranchia: Hydrobiidae)*. Basteria, 62: 43-67.
- MARCELLINO I. (1982) - *Opilioni cavernicoli italiani*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, N.S., 7, (1978): 33-53.
- MARTINEZ-ANSEMIL E., SAMBUGAR B., GIANI N. (2002) - *First record of Parvidrilidae (Annelida, Oligochaeta) in Europe with a description of a new species (Parvidrilus spe-laesus sp. nov.) and comments on the family and its phyletic relationships*. Journal of Zoology, London, 256: 496-503.
- MATIC Z. (1967) - *Contribution a la connaissance des*

- Lithobiidae, Scutigeridae et Cryptopsidae des grottes de l'Italie (Myriopoda)*. Fragmenta Entomologica, 5 (1): 77-110.
- MINELLI A. (1982) - *Chilopodi e Diplopodi cavernicoli italiani*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, N.S., 7, (1978): 93-110.
- MINELLI A. (1983) - *Note critiche sui Chilopodi della Sardegna*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, N.S., 8, (1980): 401-416.
- MINELLI A. (1985) - *Catalogo dei Diplopodi e dei Chilopodi cavernicoli italiani*. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 4: 1-50.
- MUCEDDA M. (1987) - *Il rilievo dei rami secondari della Grotta del Bue Marino*. Bollettino del Gruppo Speleologico Sassarese, 10: 26-33.
- MUCEDDA M. (1990) - *I lavori al Bue Marino 1990*. Bollettino del Gruppo Speleologico Sassarese, 12: 43-49.
- PARENZAN P. (1969) - *Fondamenti per una biospeleologia marina nel quadro generale della scienza oceanografica*. Actes IV Congrès Internationale Spéléologie en Yougoslavie, 12-26 sept. 1965, 4-5: 181-188.
- PATRIZI S. (1955) - *Nuovo genere e nuova specie di Pterostichide troglobio della Sardegna orientale (Coleoptera Caraboidea, Fam. Pterostichidae, Trib. Molopini)*. Fragmenta Entomologica, 2 (4): 29-40.
- PATRIZI S. (1956) - *Nota preliminare su alcuni risultati di ricerche biologiche in grotte della Sardegna*. Atti VII Congresso Nazionale di Speleologia, Sardegna 1955: 202-208.
- PESCE G. L., MAGGI D. (1983) - *Ciclopidi delle acque sotterranee freatiche ed interstiziali di Sardegna (Crustacea: Copepoda)*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, N.S., 8, (1980): 271-277.
- PONS G. (1993) - *Noves dades sobre biospeleologia de Sardenya: (Arachnida, Araneae)*. Endins, 19: 43-47.
- PRATESI F., TASSI F. (1973) - *Guida alla natura della Sardegna*. Arnoldo Mondadori Editore, Milano: 340 pp.
- PROTA R. (1986) - *Entomofauna endemica*. In: AA.VV. *L'ambiente naturale in Sardegna. Elementi di base per la conoscenza e la gestione del territorio*: 323-336.
- PUDDU F., VIARENGO M. (1993) - *Animali di Sardegna. I mammiferi*. Carlo Delfino Editore, Sassari: 318 pp.
- PUDDU S., PIRODDA G. (1974) - *Catalogo sistematico ragionato della fauna cavernicola della Sardegna*. Rendiconti del Seminario della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari, 43 (3-4), (1973): 151-205.
- RAMPELLINI P. (1995) - *Materiali per un catalogo topografico dei Dipluri italiani (Dipluri)*. Fragmenta Entomologica, 27 (1): 15-50.
- RESTIVO DE MIRANDA M. A. (1977) - *Descrizione del maschio di Lithobius (Trogloolithobius) sbordonii Mat., della Sardegna (Chilopoda)*. Bollettino della Società Entomologica Italiana, 109 (1-3): 42-45.
- RESTIVO DE MIRANDA M. A. (1983) - *Distribuzione dei Chilopodi Litobiomorfi in Sardegna*. Rendiconti del Seminario della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari, 53 (2): 111-119.
- RIVALTA G. (1970) - *Grotta del Bue Marino: relazione scientifica*. Sottoterra, 27: 16-30.
- ROEWER C. F. (1956) - *Cavernicole Arachniden aus Sardinien II*. Fragmenta Entomologica, 2 (9): 97-104.
- RONALD K., DUGUY R. (1979) - *The Mediterranean Monk Seal*. 1th International Conference on the Mediterranean Monk Seal, Rhodes, Greece, 1978. Pergamon Press, Oxford, 5 (1): 180 pp.
- RUFFO S. (1959) - *La fauna delle caverne*. La fauna. Conosci l'Italia. III. Touring Club Italiano, Milano: 154-164.
- RUFFO S. (1982) - *Gli Anfipodi delle acque sotterranee italiane*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, N.S., 7, (1978): 139-169.
- RUIU D. (1987) - *Supramonte*. Oasis 7/8: 22-45.
- RUIU D. (1997) - *Aspetti faunistici*. Un itinerario naturalistico e storico nella provincia di Nuoro. Poliedro Ed., Nuoro: 109-149.
- SARTORI G. (1966) - *Una foto-documentazione sulla Foca monaca*. Grotte, 29: 31-33.
- SCOTT W. N. (1972) - *Monk Seals in Sardinia*. Universities Federation for Animal Welfare, Report & Accounts, 1970-1971: 31-33.
- STEFANI R. (1964) - *La Foca monaca in Sardegna*. Natura e Montagna, 4 (4): 195-197.
- STELLA E. (1957) - *Il plancton delle acque di una grotta di Sardegna*. Bollettino di Zoologia, 24 (1): 39-44.
- STOCH F., LATELLA L., LAPINI L. (2001) - *Biospeleologia. Parte tassonomica*. Grotte e fenomeno carsico. La vita nel mondo sotterraneo. Quaderni Habitat, Ministero dell'Ambiente e Museo Friulano di Storia Naturale, Udine: 87-129.
- TAGLIAFICO C. (1965) - *Sardegna sotterranea 1965 - Foto-documentazione*. Grotte, 27: 40.
- THERMES G. (1972) - *Primo contributo alla conoscenza della fauna araneologica della Sardegna (Fauna ipogea ed epigea)*. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 11: 29-48.
- VALDES P., EBAU M. (1996) - *La Foca monaca in Sardegna: uno studio inedito*. Sardegna Speleologica, 10: 52-57.
- VIGNA TAGLIANTI A. (1982) - *Le attuali conoscenze sui Coleotteri Carabidi cavernicoli italiani*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, 7, (1978): 339-430.
- VIGNA TAGLIANTI A. (1983) - *Storia dell'entomologia romana*. Atti XII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Roma 1980, 1: 5-66.

Paper VI

Fluctuations of air temperature in show caves in order to assess the anthropogenic impact on subterranean animal species

--Manuscript--

Paolo Marcia⁽¹⁾, Q. Antonio Cossu⁽²⁾, Achille Casale⁽¹⁾

(1) Dipartimento di Zoologia ed Antropologia Evoluzionistica, Università di Sassari;

(2) ARPAS, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna;

Fluctuations of air temperature in show caves in order to assess the anthropogenic impact on subterranean animal species

Paolo Marcia ⁽¹⁾, Q. Antonio Cossu ⁽²⁾, Achille Casale⁽¹⁾

(1) Dipartimento di Zoologia ed Antropologia Evoluzionistica, Università di Sassari;

(2) ARPAS, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna;

Introduction

With the aim to increase our knowledge of the anthropogenic impact on subterranean animal species, we started a monitoring program of environmental parameters in show caves in Sardinia. In particular, to obtain more information helpful to the conservation of the rich subterranean fauna we monitored the Bue Marino cave, i.e. one of the most visited show caves in Sardinia, with some 70-80.000 visitors per year (Casale et al. 2008).

Till now, no researches on the effect of such human impact were performed in the cave of Bue Marino, where the presence of thousands of visitors may induce significant variation of environmental conditions. Therefore, the aim of this work is to detect the effect of human presence on cave temperatures, and, consequently, to assess how the human presence may influence the environmental and ecological conditions in which subterranean animal species live. In conclusion, this work is aimed to give a contribute to the issue of the conservation of cave species and to clear the human effect on this extremely sensitive environment.

Materials and methods

The work is based on one year hourly environmental temperature monitoring. We collected data on temperature variations in both touristic and inner, undisturbed zones. We tested a very cheap but effective method that could be used for monitoring caves on large scale. In particular, in Bue Marino cave we placed four sensors (iButton of Dallas Maxim: two type of sensors - the DS1922L sensibility 0.0625°C - the DS1921Z with resolution 0.125°C). These sensors were able to detect and record the temperature every hour for the whole year of study. Three of them were placed along the tourist path (T1,T2,T3). The remaining sensor (T4), with higher sensitivity, was placed in the sector of the cave that is not open to tourists. Given that the memory of i-Button was limited due to oversampling, we downloaded data from T1-T4 every 85 days.

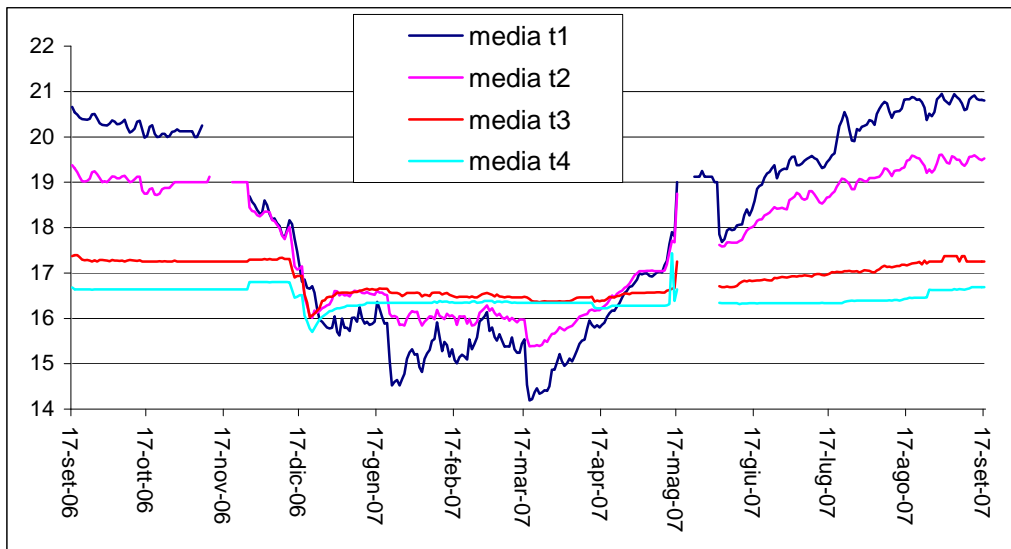
Moreover, other measurements were made in fixed periods to evaluate the in-depth temperature profile of the cave. Punctual measurements along the in-depth profile has provided with a BabucM Instrument, a portable datalogger able to collect instantaneous and high-precision measurement of temperature and humidity.

Finally, micrometeorological data as well as the tourist flow has been collected and statistically correlated (Spearman correlation coefficient).

Results and Discussion

Daily temperature fluctuation.

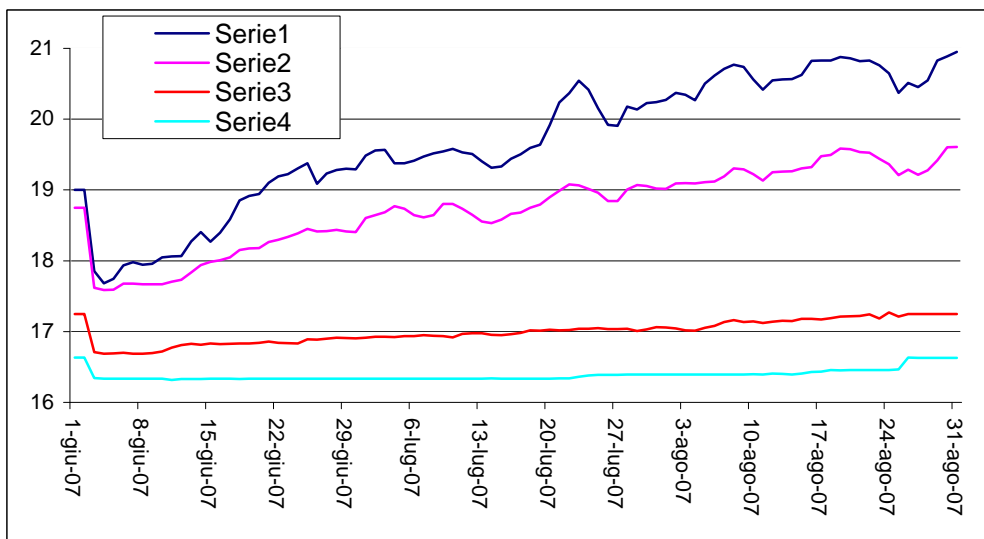
Temperature profile showed an annual temperature variation of about 5°C , from about 14°C in winter up to about 21°C in summer. Temperature variability was accentuated in winter, as a consequence of the marked atmospheric instability of this season (Figure 1).



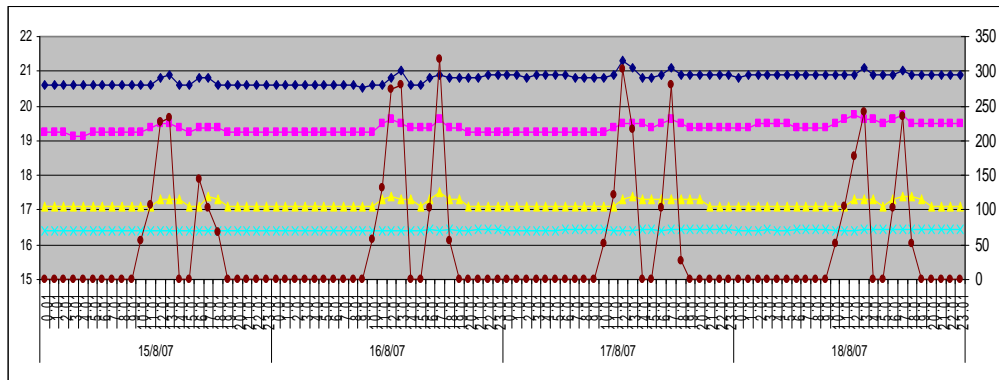
(Figure 8) Annual temperature fluctuation recorded in the Bue Marino Cave, Sardinia. (data from T1-T4 recording stations)

Temperatures recorded during the human flow

The summer temperature variability recorded during the period with higher human flow (temperature variation range about 3°C, ranging from 17°C to 20°C) was reported on (Fig.2).



(Figure 2) Detail of touristic period



(Figure 3) Relation between temperature variations (T1-T4) and tourist flow (red lines).

The T1, T2 and T3 sensors shows an increase of 0.5°C during the tourist presence. T4, 200 m behind the tourist path, on the contrary is stable shown only fluctuations of 0.05°C. In any case, the T4 sensor was far from the touristic path: however, despite that, a small fluctuation of temperature was yet recorded by the T4 sensor (Figure 3).

The in-depth temperature profile measured in the end of summer 2008 confirmed the IButton measurements, highlighting a decreasing trend of temperature from about 20°C (in the entrance) to about 16°C in the depth part of the cave. The relativity humidity measurement show an increasing trend along the tourist path, with air saturation (100% HR) in the final touristic hall. After this point a decreasing humidity trend is observed till 94% HR.

The preliminary results show that the tourist flows may affect significantly the temperature inside the cave. There is a direct correlation between the temperature recorded in T1, T2, T3 sensors and the human presence in the cave. Despite the fact that the T4 sensor is so far from the area where humans are allowed, a small fluctuation of temperature recorded by T4 was recorded (even if not statistically significant). The statistical analyses (correlation between human flow and temperatures) confirmed how was strong the effect of human presence on temperature fluctuation recorded by T1, T2, and T3 recording station (Figure 4).

		T1	T2	T3	T4
Spearman's rho	Flusso	+0,244(**)	+0,303(**)	+0,459(**)	-0,028
	Correlation Coefficient				
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,495
	N	611	611	611	611

(Figure 4) Correlation between human flow and temperatures

The data highlighted that during the summer time (i.e., when up to 2000 tourists may have access to the cave in a single day) the T4 sensor recorded a slight but not statistically significant increase of temperature. This datum is important and crucial, because it shows how a surplus of tourists could be able in the future to influence the temperature in a sector of the cave 200 meters far away from the tourist path. So, in conclusion, these results should be used for conservation purposes. As a matter of fact, if the human presence increased (in terms of number of visitors per day), the temperature in the deepest part of the Bue Marino cave will be affected with unknown consequences on the biology of subterranean fauna. Further researches (e.g., on CO₂ concentration) are needed in order to clear the effect of human impact on cave environment and, consequently, to plan management programs aimed to preserve such sensitive environment and its fauna.

References

BADINO G., 2004. *Clouds in Cave*. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 2 (2).

CASALE A., 1972. **Visione d'insieme del complesso ecologico e faunistico della grotta del Bue Marino (Gala Gonone, Dorgali, NU)**. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 10: 3-28.

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C., STOCH F., 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna**. Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007), Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia, Bologna (S. II) XXI: 197-209.

COSSU Q. A., BADINO G., MURGIA F., SANNA L., 2007 **Micrometeorology of the Colostrargiu cave (Sardinia, Italy) and its interactions with karst geomorphology**. European Geosciences Union 2007. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9.

MARCIA P., COSSU Q. A., CASALE A., 2008. **Fluctuations of air temperature in show caves in order to assess the anthropogenic impact on subterranean animal species** (in prep.)

Paper VII

SARDULUS SACERENSIS CASALE & MARCIA, NUOVA SPECIE IPOGEA DI COLEOTTERI ISTERIDI DELLA SARDEGNA NORD-OCCIDENTALE E SUA MORFOLOGIA LARVALE (Coleoptera, Histeridae) (*)

ACHILLE CASALE (**), PAOLO MARCIA (**), IVO MANCA (**)
E GIUSEPPE GRAFITTI (***)

--*Fragmenta entomologica*, Roma, 38 (2): 201-217 (2006)--

(*) Ricerche eseguite in parte con contributo INTERREG 3 e con fondi dell'Università di Sassari (ex 60% e COFIN MIUR 2004, coord. Università "Roma Tre").

(**) Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Università di Sassari, Via Muroni, 25 - 07100 Sassari.

(***) Gruppo Speleologico Sassarese, Via dei Navigatori, 7 - 07100 Sassari.

Fragmenta entomologica, Roma, 38 (2): 201-217 (2006)

**SARDULUS SACERENSIS CASALE & MARCIA, NUOVA SPECIE
IPOGEA DI COLEOTTERI ISTERIDI DELLA SARDEGNA NORD-
OCCIDENTALE E SUA MORFOLOGIA LARVALE
(Coleoptera, Histeridae) (*)**

ACHILLE CASALE (**), PAOLO MARCIA (**), IVO MANCA (**)
e GIUSEPPE GRAFITTI (***)

PREMESSA

Poche specie di Histeridae sono note attualmente dell'ambiente sotterraneo. Alcune presentano caratteri troglomorfi (depigmentazione, microftalmia o anoftalmia) più o meno sviluppati, e sono note esclusivamente di ambiente ipogeo; altre penetrano regolarmente in grotta come elementi troglotrofici o guanofili (Vomero 1998).

Nella regione paleartica, gli Isteridi ipogei appartengono tutti alle sottofamiglie Abraeinae e Dendrophilinae (Vomero 1982). Quest'ultima, in Italia, include attualmente quattro specie anoftalme a costumi sotterranei: due specie appenniniche, endogee, attribuite al genere *Neobacanius* Müller, 1925 (nel senso nuovo di Magrini 2005), e due specie attribuite al genere *Sardulus* Patrizi, 1955, endemiche di Sardegna e note esclusivamente di grotta (Patrizi 1955; Magrini & Vomero 2003).

Per quanto riguarda la fauna di Sardegna, è ancora da citare la specie *Gnathoncus cerberus* Auzat, 1923, un Saprino guanofilo descritto della Grotta dell'Inferno presso Sassari (Vienna 1980; Cassola 1982) e segnalato pure di altre regioni italiane (Marche: Complesso Grotta del Fiume-Vento, Frasassi) (Bertolani et al. 1994) e di Bulgaria (Thomas & Secq 2000).

Scopo del presente contributo è la descrizione di una terza specie attribuibile, per lo stato dei caratteri, al genere *Sardulus* (nel sen-

(*) Ricerche eseguite in parte con contributo INTERREG 3 e con fondi dell'Università di Sassari (ex 60% e COFIN MIUR 2004, coord. Università "Roma Tre").

(**) Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Università di Sassari, Via Muroni, 25 - 07100 Sassari.

(***) Gruppo Speleologico Sassarese, Via dei Navigatori, 7 - 07100 Sassari.

so di Vienna 1980; Vomero 1982; Magrini & Fancello 2005). I primi tre esemplari della nuova specie sono stati raccolti da Stefano Pinna del Gruppo Speleo Ambientale Sassari, durante l'esplorazione di una cavità apertasi nel gennaio 2004 durante i lavori di costruzione di una strada a grande scorrimento negli immediati dintorni di Sassari (Sardegna nord-occidentale) (Pinna et al. 2004). Ulteriori esemplari, e una larva, sono stati poi raccolti da alcuni degli autori (A.C., P.M.) e da Enrico Lana in visite successive, nel corso di prospezioni continuative sulla fauna ipogea dell'area che proseguono da molti anni.

Il grande interesse del reperto, che estende alla Sardegna nord-occidentale la distribuzione di un genere noto fino ad oggi esclusivamente dell'area centro-orientale dell'isola, sarà evidenziato oltre, nelle note conclusive.

MATERIALI E METODI

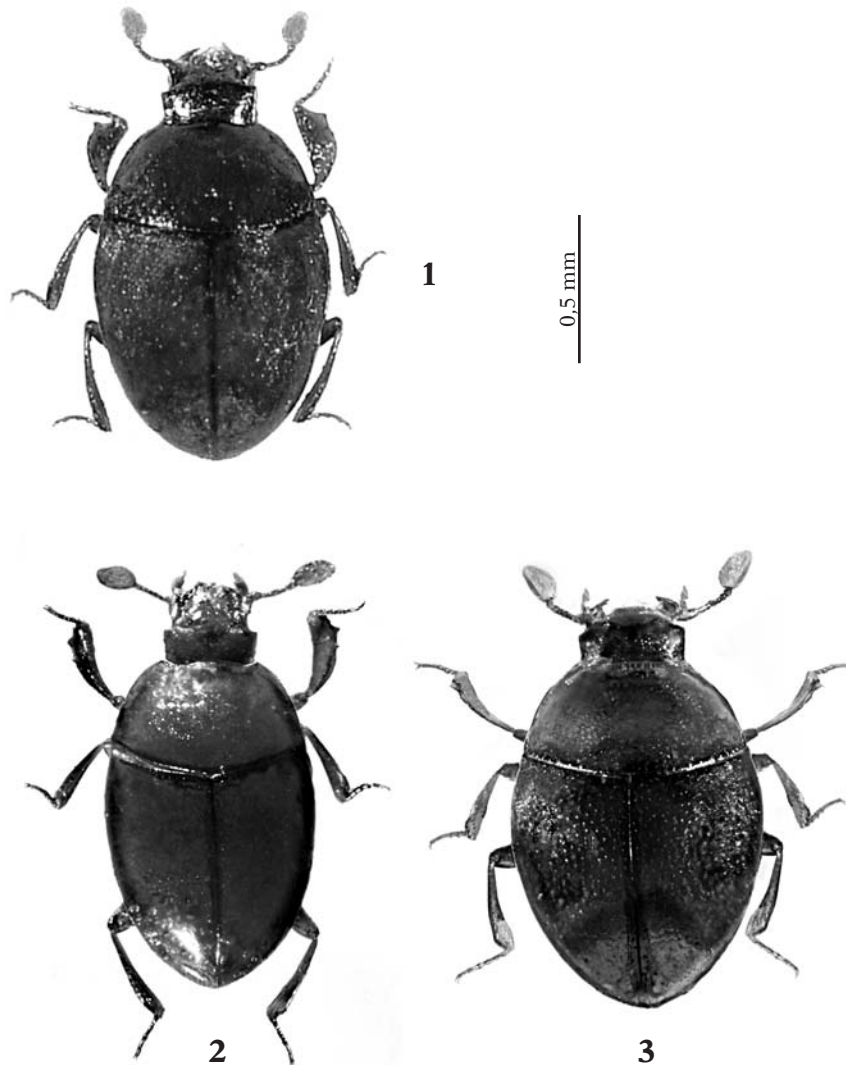
Gli esemplari oggetto del presente studio sono preparati a secco su cartellino, o montati in preparato per microscopia. I genitali, trattati secondo procedure standard (diafanizzati in KOH e disidratati in Etanolo), sono montati in balsamo del Canada su vetrino allegato all'esemplare.

Le macrofotografie sono state eseguite da Paolo Magrini (Firenze) mediante camera digitale Nikon D1, applicata su microscopio ottico Nikon Labophot II, con obiettivi diaframmati. Le misure e i rapporti micrometrici sono stati eseguiti mediante stereomicroscopio Wild M5 con camera lucida, e mediante microscopi ottici Leitz DMRB e Zeiss Orthoplan con camera lucida.

ACRONIMI: MSNG: Museo Civico di Storia Naturale "G. Doria", Genova; MZUR: Museo di Zoologia, Università di Roma "La Sapienza"; DZS: Dipartimento di Zoologia, Università di Sassari; CM: Coll. P. Magrini, Firenze; CV: Coll. V. Vomero, Roma).

Sardulus sacerensis Casale & Marcia n. sp.

DIAGNOSI. Un Coleottero Isteride attribuibile al genere *Sardulus* Patrizi, 1955, per la peculiare combinazione dei caratteri morfologici evidenziati: anoftalmo e depigmentato, di piccolissime dimensioni



Figg. 1-3 – *Sardulus* spp, habitus: *S. sacerensis* n. sp., paratypus ♂ (1), *S. spelaeus* Patrizi, 1955, della Grotta Pisanu (2), *S. incrassatus* Magrini e Fancello, 2005, holotypus ♂ (3) (foto P. Magrini).

(mm 1,3-1,5), di colore bruno ferrugineo, con corpo ovalare relativamente ampio e tegumenti glabri e punteggiati; lobo prosternale grande, linea suturale fra prosterno e lobo prosternale assente; elitre prive di stria subomerale, saldate lungo la sutura; ali completamente atro-

fiche. Edeago composto da due scleriti circa della medesima lunghezza, articolati lungo un anello membranoso.

La nuova specie è agevolmente distinguibile da *S. spelaeus* Patrizi, 1955, per le dimensioni mediamente maggiori e per l'habitus nettamente più tozzo e dilatato (figg. 1, 2) (cfr. anche rapporti lunghezza/larghezza di pronoto ed elitre in Magrini & Fancello 2005), per gli angoli anteriori del pronoto assai meno prominenti, per la punteggiatura di pronoto ed elitre molto più fine e superficiale, e per la conformazione nettamente diversa dell'edeago (figg. 4-9). Molto più simile nella morfologia esterna risulta a *S. incrassatus* Magrini & Fancello, 2005 (specie nota su un singolo esemplare trovato morto, e su resti) (figg. 1, 3). Le dimensioni in *S. sacerensis* n. sp. risultano mediamente maggiori rispetto a quelle (mm 1,26) dell'olotipo di *S. incrassatus*, e il margine anteriore del pronoto è lievemente arcuato e prominente (subrettilineo in *S. incrassatus*); l'edeago inoltre si presenta assai differente (figg. 4-9).

LOCALITÀ TIPICA. Sardegna nord-occidentale, Sassari (loc. Bancaleddu): Grotta di Lu Gardu 2936 Sa/SS.

MATERIALE ESAMINATO. Holotypus ♂: Sardegna nord-occidentale, Sassari, Grotta di Lu Gardu, 30.IV.2004, A. Casale & P. Marcia leg. (MSNG). Paratypi: 1 ♂, 2 ♀♀, stessa località dell'olotipo, 6.I.2004, S. Pinna leg.; 2 ♂♂, 2 ♀♀, 1 larva, stessa località dell'olotipo, 15.IV.2004, P. Marcia leg.; 6 ♂♂, 7 ♀♀, 30.IV.2004, A. Casale & P. Marcia leg. (DZS, MZUR, CM, CV).

DERIVATIO NOMINIS. Il nome deriva dall'antico termine medievale "Sacer", con cui si soleva indicare la città di Sassari. Il termine *sacerensis*, che compare ancora nel sigillo dell'Ateneo sassarese fondato nel 1562, letteralmente sta a significare "sassarese".

DESCRIZIONE. Corpo ovalare relativamente tozzo (fig. 1), di colore bruno ferrugineo uniforme; dimensioni molto piccole (nell'olotipo, lunghezza totale, dal margine anteriore del capo all'apice delle elitre, mm 1,55; dal margine anteriore del pronoto all'apice delle elitre mm 1,26); tegumenti lucidi, glabri e punteggiati. Capo anoftalmo, squadrato e angoloso, retrattile nel protorace (larghezza massima, nell'olotipo, 0,29 mm); un solco laterale netto delimita la regione occipitale, retrattile, da quella frontale; epistoma rettangolare, con angoli anteriori arrotondati; mandibole robuste, ar-

cuate, ciascuna provvista di due denti preapicali lungo il margine interno; palpi mascellari con articolo terminale conico, palpi labiali con articolo terminale subcilindrico e troncato all'apice; antenne di nove articoli, inserite in una fossetta frontale, con scapo peduncolato e ingrossato distalmente, secondo articolo appena più lungo che largo, articoli dal 3° all'8° più piccoli e più sottili del 2°, 8° più grande e trasverso dei precedenti, 9° (clava) molto grande e appiattito, pubescente.

Pronoto molto ampio, trasverso, moderatamente convesso, di forma sub-trapezoidale, finemente ribordato ai lati, densamente punteggiato sul disco. Angoli anteriori ottusi ma salienti; margine anteriore arcuato e prominente al centro; margine basale lungamente e regolarmente arcuato. Lunghezza massima misurata lungo la linea mediana mm 0,43 (olotipo), larghezza massima mm 0,82 (olotipo), rapporto massima larghezza/lunghezza 1,90.

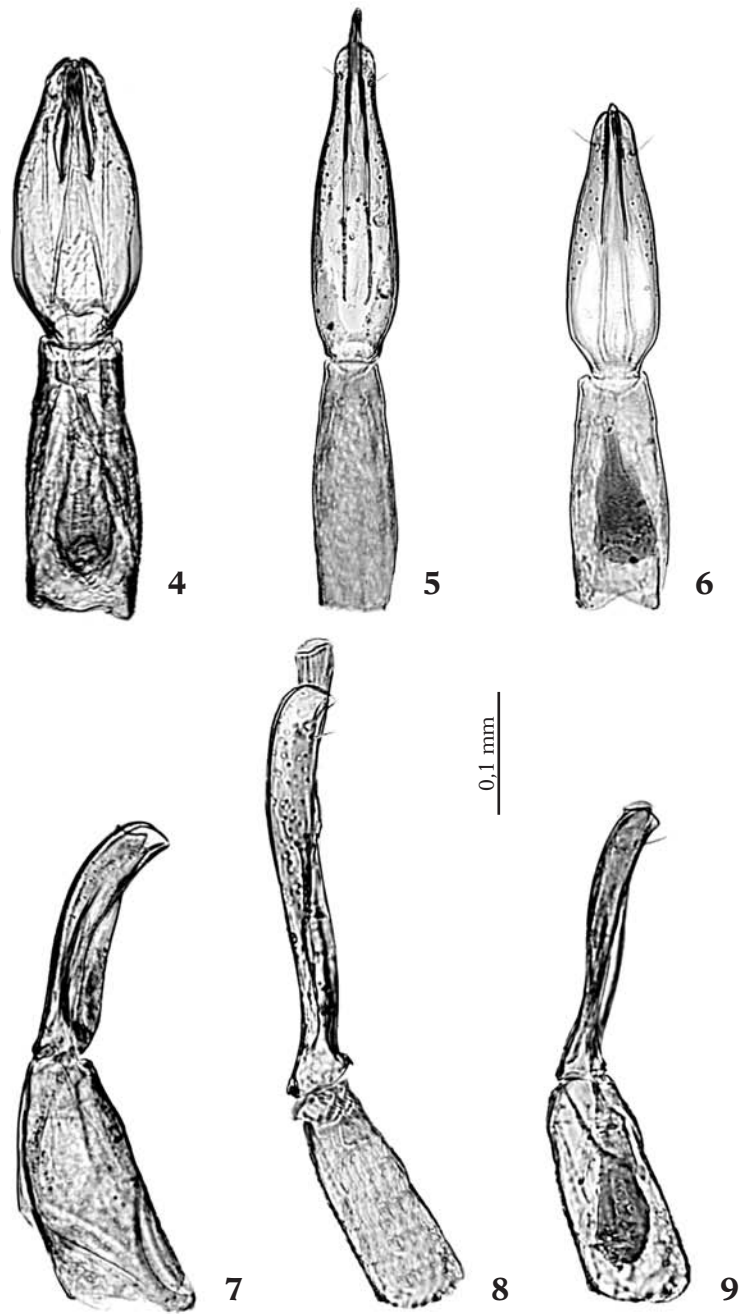
Elitre ampie, subdeprese, lungamente arcuate ai lati, saldate lungo la sutura, uniformemente e superficialmente punteggiate, ricoprenti totalmente l'addome; epipleure lisce; area omerale depressa, stria subomerale assente. Lunghezza delle elitre (olotipo) mm 0,95, larghezza massima 0,82, rapporto massima lunghezza/massima larghezza 1,15.

Scutello non visibile. Prosterno ampio, munito di un lobo anteriore ("mentoniera") grande, con margine anteriore lungamente arcuato ai lati, subrettilineo al centro; linea suturale tra prosterno e lobo prosternale assente. Mesosterno superficialmente punteggiato, marginato ai lati; metasterno punteggiato, senza solchi longitudinali ai lati.

Addome con cinque urosterniti visibili. Urite pigidiale fortemente flesso ventralmente, punteggiato.

Protibie molto dilatate, arcuate e laminari, dentate in posizione preapicale esterna. Mesotibie e metatibie simili fra loro, provviste di una serie di brevi setole allineate lungo la metà apicale del margine interno e di alcune setole brevi e robuste sul margine esterno, in posizione distale. Tarsi pentameri, con lunghe setole sulla superficie ventrale; unghie sottili, lisce.

Apparato copulatore maschile costituito, come di norma nel genere, da due parti sclerificate, unite da un anello articolare membranoso (figg. 4, 7), nel complesso più simile morfologicamente a quello di *S. spelaeus*, specie più vicina geograficamente, rispetto a quello di



Figg. 4-9 – *Sardulus* spp., genitali maschili in visione dorsale e laterale: *S. sacerensis* (4, 7), *S. spelaeus* (5, 8), *S. incrassatus* (6, 9) (foto P. Magrini).

S. incrassatus (figg. 4-9). In visione laterale lo sclerite apicale si presenta tozzo, ispessito, lungamente arcuato, angoloso distalmente sul lato ventrale. In visione ventrale, si presenta in forma di ovale breve, largo, bruscamente rastremato alla base e all'apice. Ventralmente sono inserite presso l'apice due piccole e robuste setole. Dotto eiaculatore, come nelle altre specie del genere, sostenuto da due bande sclerificate ben visibili attraverso le pareti dell'edeago.

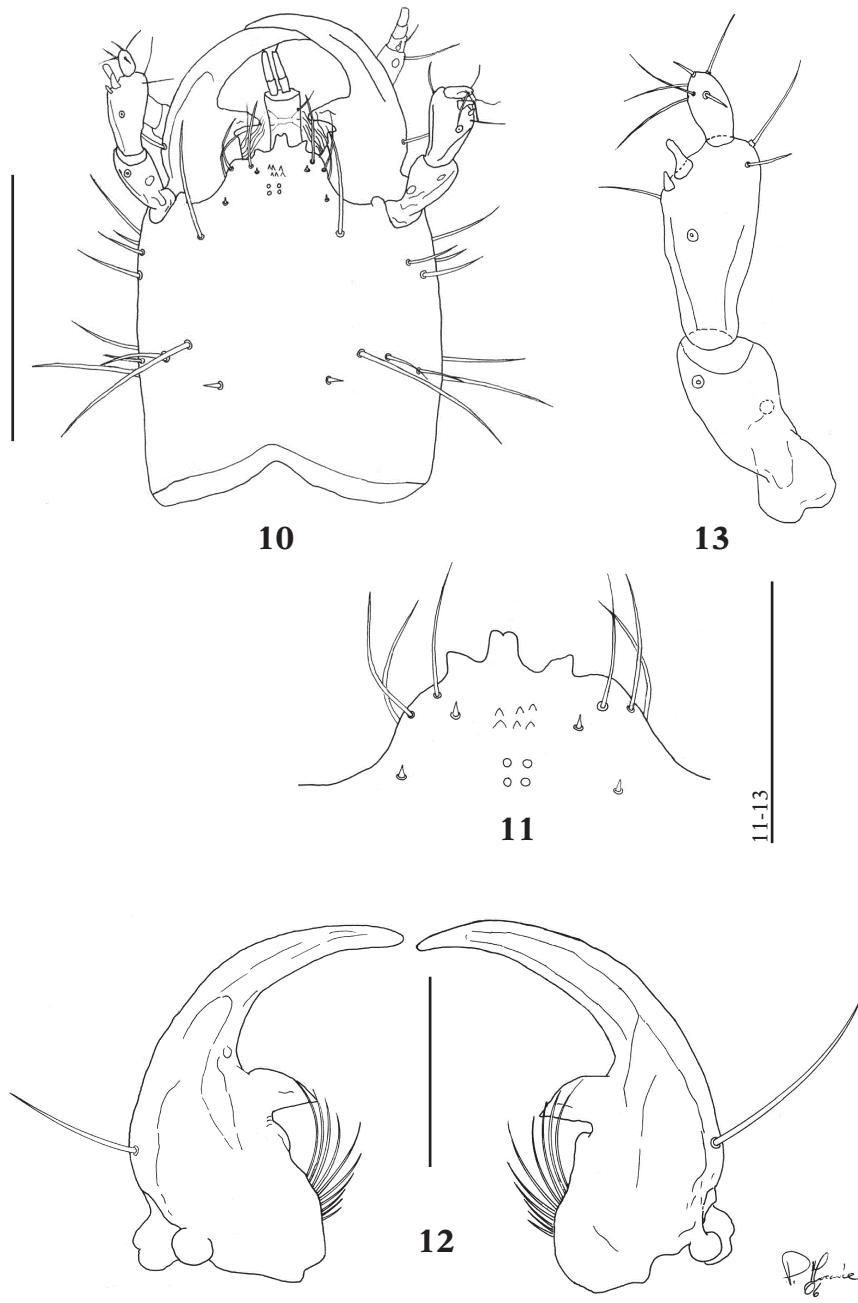
Genitali femminili e ovopositore di sostituzione conformi alla morfologia generale illustrata da Vienna (1980) e da Magrini (2005). Gli stili, di piccole dimensioni ma ben sclerificati, sono bilobi all'apice e portano cinque-sei setole preapicali.

VARIABILITÀ. Dimorfismo sessuale assente. La variabilità individuale è scarsa e riguarda esclusivamente (seppure molto moderatamente) le dimensioni: in un paratypus ♀ si riscontrano (come in altri esemplari) misure lievemente inferiori rispetto a quelle misurate sull'olotipo: lunghezza dal margine anteriore del pronoto all'apice delle elitre 1,07 mm; pronoto, lunghezza lungo la linea mediana 0,37 mm, larghezza massima 0,81 mm; elitre, lunghezza lungo la sutura 0,95 mm, larghezza massima 0,81 mm.

MORFOLOGIA LARVALE. Riteniamo utile e interessante fornire la descrizione della larva della specie qui descritta, date le conoscenze praticamente nulle sulla morfologia larvale di Histeridae ipogei. La larva è stata identificata *ex societate imaginis*, vagante frammista agli adulti, e la sua identificazione risulta certa, non essendo presenti nella grotta altre specie di Histeridae. Si tratta con ogni probabilità di una larva matura, date le dimensioni cospicue rispetto agli adulti.

Caratteri generali conformi a quelli illustrati da Vienna (1980). Larva campodeiforme, stretta e allungata, depressa e di colore biancastro, con capo e appendici giallastri per la maggiore sclerificazione del tegumento. Lunghezza totale, dal margine anteriore dell'epistoma all'apice del IX segmento addominale: 2,95 mm.

Capo (fig. 10) prognato, più lungo che largo (lunghezza 0,43 mm, larghezza massima 0,29 mm), anoftalmo, con appendici boccali ben sviluppate e fortemente sclerificate. Fronte ed epistoma completamente fusi. Margine anteriore dell'epistoma (fig. 11) di forma subtrapezoidale, provvisto di tre denticolazioni, due laterali e una mediana bifida, fortemente asimmetriche (come si rileva in altre larve di



Figg. 10-13 – *Sardulus sacerensis* n. sp., morfologia larvale: capo in visione dorsale (10), margine anteriore dell'epistoma (11), mandibole (12), antenna sinistra (13). Scala: 0,25mm (10); 0,1 mm (11-13).

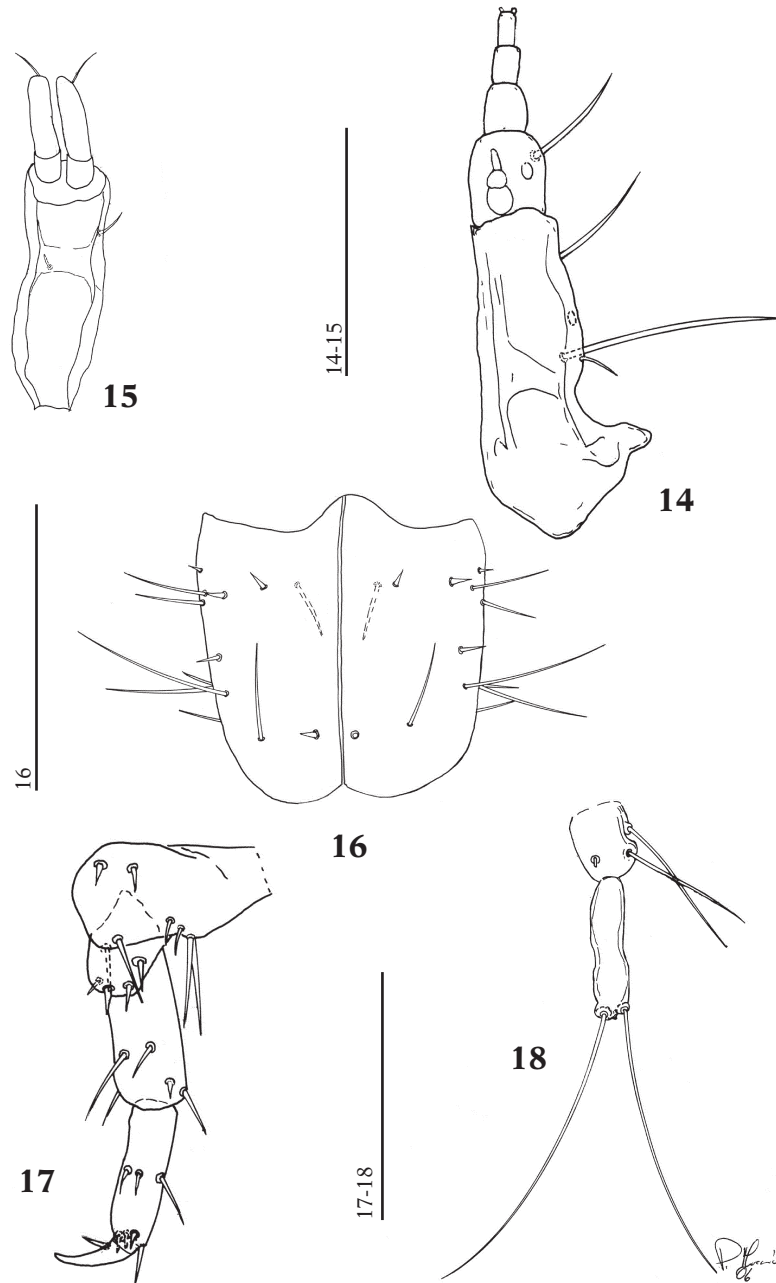
Histeridae: cfr. Vienna, 1980, fig. 18 c); chetotassi dell'epistoma come da figura: sono presenti due paia di setole marginali dorsali, un paio di setole marginali ventrali; sono presenti inoltre due paia di piccolissimi sensilli conici marginali dorsali. Cranio con chetotassi come da figura: sono presenti due lunghe setole dorsali, inserite posteriormente all'inserzione delle antenne, due paia per lato in posizione submarginale dorsale e due paia in posizione marginale ventrale, e in posizione più arretrata due lunghe setole mediane latero-dorsali, due paia dorsali sub-marginali, due paia sub-marginali ventrali. Sono inoltre presenti due sensilli conici dorsali in posizione più arretrata. Antenne (fig.13) di tre articoli inserite alla base delle mandibole; primo antennumero subcilindrico; secondo di forma troncoconica, di poco più breve e più sottile rispetto al primo e obliquo all'apice, dove sono localizzati due sensilli conici di diversa dimensione; terzo antennumero piccolo e breve, ovoidale, provvisto di alcuni pori recanti setole di diversa lunghezza.

Mandibole (fig.12) grandi, simmetriche, falciformi, provviste ciascuna di un grosso dente mediano (retinacolo), di una lunga setola dorso-laterale, e di una frangia (penicillo) di circa dieci setole di diversa lunghezza in posizione basale interna. Mascelle (fig.14) di cinque articoli, con cardine e stipite fusi insieme ("stipo"). Questa parte basale della mascella reca sul margine esterno tre setole, due maggiori e una più breve. La galea presenta all'apice una lunga setola. Lacinia assente. Palpi mascellari di tre articoli, l'ultimo dei quali molto stretto e allungato. Labium (fig.15) formato da mentum e submentum fusi in un unico articolo subcilindrico, al cui apice si inseriscono due palpi labiali ciascuno di due articoli, il primo molto breve e il secondo allungato, molto più lungo del primo, recante all'apice una cheta sensoriale.

Pronoto (fig. 16) appena trasverso (lunghezza massima 0,22 mm, larghezza massima 0,29 mm, rapporto largh./lungh.: 1,31), appena ristretto posteriormente, con solco mediano molto marcato e margini arrotondati. Chetotassi come da figura. Mesonoto con evidente solco longitudinale mediano.

Zampe (fig. 17) brevi, tutte circa della medesima lunghezza, ciascuna formata da cinque articoli provvisti di lunghe setole spiniformi; il segmento tarsale, brevissimo, porta una singola unghia provvista di una setola spiniforme in posizione basale.

Addome formato da nove segmenti; il IX porta urogonfi (fig.18)



Figg. 14-18 – *Sardulus sacerensis* n. sp., morfologia larvale: mascella sinistra in visione ventrale (14), labbro inferiore (15), pronoto (16), zampa mesotoracica sinistra (17), urogonfo sinistro (18). Scala: 0,1mm (14-15, 17-18); 0,3 mm (16).

lunghi, composti da due articoli subcilindrici, sclerificati: il primo è corto e ingrossato, con tre pori setigeri; il secondo è più lungo, ristretto in posizione mediana, e porta all'apice due lunghe setole.

DISTRIBUZIONE, ECOLOGIA. *Sardulus sacerensis* n. sp. è nota fino ad ora esclusivamente nella località tipica, la Grotta di Lu Gardu (2936 Sa/SS, Località Bancaleddu, Sassari, I.G.M. serie 25 - P459 - IV - La Crucca, Coordinate Lat. N 40°44'27" - Long. W 8°28'59", quota: 102 m s.l.m., sviluppo 763 m, dislivello 18 m, +4 m; rilievo: Gruppo Speleo Ambientale Sassari, 2004). La grotta si apre pochi km a Ovest di Sassari, a circa 50 metri dalla Strada Vicinale Santa Maria di Lu Gardu che conduce all'omonima chiesetta, unica testimonianza di un borgo medievale denominato *Ardo*, come contrazione del nome *Cardum* attribuito, secondo alcuni autori, alla importante carrauca-ria romana. Ferma restando l'origine romana del toponimo *Gardu*, tale termine è più correttamente riferibile alla centuriazione, utilizzata per la suddivisione e organizzazione dell'agro, che vedeva indicare con *Cardo* una delle linee fondamentali dello schema urbanistico adottato da Roma. La cavità è impostata lungo un interstrato nei calcari, molto friabili e abbondantemente fossiliferi, del Burdigaliano, e rappresenta un segmento del reticolo freatico antico, ormai privo di scorrimento, anche se piccoli apporti di acqua si registrano in periodi differenti e in rapporto alle precipitazioni meteoriche. La grotta è organizzata in ambienti sub-orizzontali costituiti da una galleria principale, che segue una direttrice strutturale orientata NE-SW, e da una serie di piccole condotte laterali a sezione circolare. Il reticolo di vuoti risulta molto superficiale: si stima uno spessore di roccia di circa 6 metri in corrispondenza della piattaforma stradale e di una quindicina sotto il livello topografico di campagna, localizzazione che giustifica la temperatura relativamente alta misurata all'interno delle condotte (16°-17° C). Fatto eccezionale nelle formazioni carbonatiche mioceniche del Sassarese, la grotta risulta riccamente concrezionata. Il suolo della cavità risulta cosparso di parti scheletriche di piccoli mammiferi. L'analisi preliminare dei campioni raccolti, prelevati dal livello superficiale di terreno senza alterarne la stratigrafia, ha portato all'identificazione di un'abbondante componente a *Prolagus sardus* (Wagner, 1829), piccolo roditore ootonide endemico sardo-corso oggi estinto, dominante rispetto ai più scarsi reperti di altri roditori con cui è in associazione. Sono stati inoltre rilevati i resti disarticolati di

cervidi. Pur trattandosi di una cavità fossile, relativamente arida, calda e dotata di scarse risorse alimentari, la Grotta di Lu Gardu ha rivelato un interesse biospeleologico notevole. *Sardulus sacerensis* n. sp. qui descritta è risultata presente solo su una radice, in parte marcescente, che attraverso una frattura della roccia penetra in profondità a circa 40 m dall'ingresso e per un piccolo tratto risulta aerea.

La fauna associata nella grotta comprende Diplopodi specializzati delle famiglie Blaniulidae e Polydesmidae, Chilopodi (*Lithobius* sp.), Sinfili (*Scutigereilla* sp.), Pseudoscorpioni delle famiglie Neobisiidae e Chthoniidae, Opilioni (*Scotolemon* sp.), Isopodi Trichoniscidae,

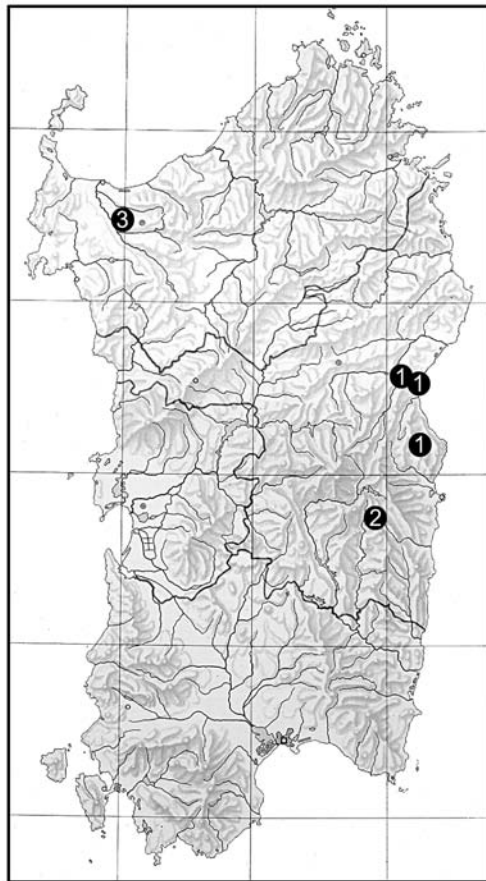


Fig. 19 – Distribuzione attualmente nota del genere *Sardulus*: *S. spelaeus* (1), *S. incrasatus* (2), *S. sacerensis* (3).

Gasteropodi pulmonati (*Cecilioides acicula* [O.F. Müller, 1774]). L'associazione parietale è rappresentata da abbondanti Ditteri Limoniidi.

La conservazione della grotta, successivamente alla sua scoperta e alla sua esplorazione, ha creato alcuni problemi. Come si è detto nell'introduzione, l'accesso alla cavità si è aperto (in occasione delle intense precipitazioni avvenute nell'inverno 2004), alla base della scarpata di una strada a grande scorrimento (figg. 20-21), a circa 20 metri di distanza da un'iniezione di calcestruzzo che ha tamponato, durante i lavori di realizzazione della trincea, lo sprofondamento del piano stradale. Attualmente l'ingresso alla Grotta di Lu Gardu è garantito grazie ad un accordo con l'ANAS, che ha concesso di proteggere la cavità con il posizionamento di un cancello che renda possibile una frequentazione mirata all'esplorazione e allo studio. Non è tuttavia risolta la questione in merito alla sicurezza stradale connessa con l'apertura al traffico, avvenuta successivamente all'esplorazione della grotta, che rende comunque problematico l'accesso alla medesima.

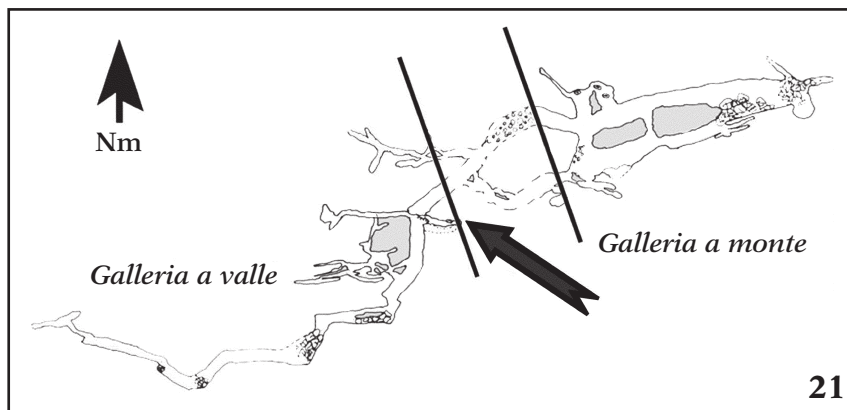
OSSERVAZIONI E CONCLUSIONI. La nuova specie qui descritta è nettamente distinta dalle altre due note del genere, *Sardulus spelaeus* e *S. incrassatus*, per i caratteri evidenziati in precedenza.

Per mezzo secolo il genere *Sardulus* è rimasto noto nella letteratura entomologica sulla base della serie tipica (cinque esemplari più una pupa) dell'unica specie ad esso attribuita, *S. spelaeus* Patrizi, 1955, descritta della Grotta di Toddeitto N° 89 Sa/NU (detta anche Grotta Nuova o dell'Arciprete), posta a sud di Dorgali e prossima alla ben più nota Grotta del Bue Marino (Patrizi 1955; Vomero 1973, 1998; Vienna 1980; Cassola 1982). Nel 1970, la specie fu ricercata invano da uno degli autori della presente nota (A.C.), e solo in anni recenti fu ritrovata nella località tipica dall'aracnologo Fulvio Gasparo (alcuni esemplari e una larva: Gasparo, com. pers.).

Solo recentemente la specie è stata segnalata di una seconda cavità, la Grotta Pisanu (o Gurenoro) N° 215 Sa/NU (Magrini & Vomero 2003), grotta peraltro molte volte visitata in passato anche da uno degli scriventi (A.C.), e ben nota per la presenza di altri elementi endemici della Sardegna centro-orientale, quali i Coleotteri Carabidi *Typhloreicheia henroti* Jeannel, 1957, *Speomolops sardous* Patrizi, 1955, *Laemostenus (Actenipus) pippiai* (Fiori, 1961).

Nel presente lavoro, grazie a reperti di Carlo Onnis del 25.IV.2006

(2 MM, 2FF) e di Paolo Marcia e Carlo Onnis del 28.V.2006 (1 M, 3 FF), siamo in grado di segnalare la presenza di *S. spelaeus* in una terza cavità in territorio di Baunei: la Grotta di Istirzili o di Stirzili N° 50 Sa/NU (loc. Bacu Istirzili o Stirzili, 507 m s.l.m.). Si tratta di un'ampia cavità riccamente concrezionata, con debole scorrimento di acqua sul fondo nei periodi invernali di massime precipitazioni, con sviluppo di 205 m e dislivello di 17 m (De Waele et al. 1995). Gli esem-



Figg. 20-21 – Grotta di Lu Gardu, particolari topografici: posizione della grotta in rapporto al piano stradale in località Bancaleddu (Sassari) con particolare dell'ingresso (20) (foto P. Marcia), planimetria (21) (rilievo L. Sanna).

plari di *S. spelaeus* sono stati reperiti a vista sul pavimento del salone terminale, in prossimità di detrito organico e pozzette di stillicidio. La presenza della specie in questa terza grotta amplia la distribuzione della specie nell'area dei supramonti "costieri" del Golfo di Orosei, e si aggiunge a quella di altri elementi ipogei specializzati tipici dell'area (cfr. Casale 2004).

Una seconda specie del genere, *Sardulus incrassatus* Magrini & Fancello, 2005, è stata descritta recentemente su un singolo esemplare completo e su resti di una cavità dell'Ogliastra (Risorgente Cabudu Abba N° 718 Sa/NU), situata presso Gairo (Nuoro) (Magrini & Fancello 2005), già nota nella letteratura biospeleologica come una delle due località in cui è presente il Carabide Scaritino *Typhloreicheia onnisi* Casale & Magrini, 2004 (cfr. Casale & Magrini 2004). Tale grotta è situata a circa 20 km in linea d'aria a Sud delle grotte sopra nominate. Di grande interesse risulta pertanto il ritrovamento di una terza specie del genere, qui descritta, in una cavità della Sardegna nord-occidentale, in un contesto geologico-ambientale e faunistico molto diverso da quello tipico dei "supramonti" e dei "tacchi" della Sardegna centro-orientale. Tuttavia, il reperto è meno sorprendente di quanto potrebbe apparire ad una prima analisi. Infatti, la specie si aggiunge a quel contingente di elementi ritenuti per lungo tempo esclusivi dei settori calcarei mesozoici centro-orientali dell'isola, che in anni più recenti si sono rivelati presenti anche in sistemi ipogei scavati in calcari terziari della Sardegna nord-occidentale. Esempi classici da citare sono due specie di Coleotteri Cholevidae Leptodirini specializzati, *Ovobathysciola graffitii* Rampini & Sbordoni, 1980 e *Patriziella nuragica* Rampini & Zoia, 1990, note ciascuna di singole grotte nei territori di Pozzomaggiore e di Cossoine, rispettivamente.

Si tratta, anche nel caso di *S. sacerensis*, di un'ulteriore interessantissima testimonianza di colonizzazioni eterocroniche dell'ambiente sotterraneo profondo, in settori disgiunti, da parte di rappresentanti di gruppi molto diversi di organismi del suolo, differenziatisi poi in loco per vicarianza da comuni progenitori diffusi un tempo in gran parte dell'isola.

La distribuzione complessiva attualmente nota del genere è illustrata in fig.19.

La difficoltà oggettiva di reperimento di esemplari di Histeridae ipogei di piccolissime dimensioni, quali sono i rappresentanti del gen. *Sardulus*, e i nuovi reperti che si sono aggiunti negli anni recenti

grazie a ricerche attente e mirate, permettono di ipotizzare che nuove località di specie conosciute, o la scoperta di ulteriori specie ancora inedite, possano aggiungersi in futuro a quelle note attualmente.

RINGRAZIAMENTI. Gli autori sono molto grati al caro amico Stefano Pinna del Gruppo Speleo Ambientale Sassari, attivo e infaticabile cercatore di grotte e di fauna ipogea, che ha messo a disposizione i primi esemplari della nuova specie di *Sardulus* qui descritta, raccolti durante le prime esplorazioni nella Grotta di Lu Gardu scoperta da lui stesso agli inizi del 2004.

Un vivo ringraziamento è rivolto a Paolo Magrini (Firenze), che ci ha messo a disposizione alcuni esemplari di *Sardulus spelaeus* raccolti nella Grotta Gurenoro e ha realizzato le macrofotografie di habitus e degli ekeagi, a Vincenzo Vomero (Roma) per le preziose informazioni sulla tassonomia e sulla filogenesi degli Histeridae Dendrophilinae, a Sergio Pillai dell'Unione Speleologica Cagliariitana, che ci ha segnalato l'interesse biospeleologico della Grotta di Istirzili, a Carlo Onnis dell'Unione Speleologica Cagliariitana, che nella stessa grotta ha raccolto i primi esemplari di *Sardulus spelaeus* qui segnalati, all'attivo aracnologo e speleologo triestino Fulvio Gasparo, che ci ha segnalato il reperto recente di *Sardulus spelaeus* da lui effettuato nella località tipica, e a Enrico Lana (G.S.P. CAI-UGET, Torino), che ci ha accompagnato alla Grotta di Lu Gardu per realizzare una documentazione fotografica della fauna presente.

Si ringrazia inoltre il Prof. Giuseppe Manganelli, dell'Università di Siena, per l'identificazione del Gasteropode *Cecilioides acicula*.

SUMMARY

Sardulus sacerensis Casale & Marcia, a new subterranean species of Histeridae from north-western Sardinia, and its larval morphology (Coleoptera, Histeridae).

Sardulus sacerensis Casale & Marcia, new species of subterranean Histeridae from the Lu Gardu cave (Sassari, north-western Sardinia), is described and compared with the two *Sardulus* species known so far from central-eastern Sardinia, *S. spelaeus* Patrizi, 1955, and *S. incrassatus* Magrini & Fancello, 2005. External morphological features and male genitalia of the three species are illustrated. Furthermore, the larval morphology of a species belonging to this genus is described for the first time.

S. spelaeus, known so far from two caves in the Dorgali territory, is reported from a third locality: the Istirzili (or Stirzili) cave, in the Baunei territory.

RIASSUNTO

Sardulus sacerensis Casale & Marcia, nuova specie di Histeridae ipogei della Grotta di Lu Gardu (Sassari, Sardegna nord-occidentale) è descritta e comparata con le due specie note in precedenza della Sardegna centro-orientale, *S. spelaeus* Patrizi, 1955, e *S. incrassatus* Magrini & Fancello, 2005. Le caratteristiche morfologiche esterne e i genitali maschili delle tre specie sono raffigurati. Inoltre, è fornita per la prima volta la descrizione della morfologia larvale di una specie di questo genere.

S. spelaeus, specie nota fino ad ora di due grotte in territorio di Dorgali, è segnalata di una terza località: la Grotta di Istirzili o Stirzili, nel territorio di Baunei.

BIBLIOGRAFIA

- BERTOLANI, R., G. MANICARDI & L. REBECCHI. 1994. Faunistic study in the karst complex of Frasassi (Genga, Italy). *Intern. J. Spel.*, 23 (1-2): 61-77.
- CASALE, A. 2004. Due nuovi Coleotteri ipogei di Sardegna, *Sardaphaenops adelphus* n. sp. (Coleoptera Carabidae) e *Patriziella muceddai* n. sp. (Coleoptera Cholevidae), e loro significato biogeografico. *Boll. Soc. entomol. ital.* 136 (1): 3-31.
- CASALE, A. & P. MAGRINI. 2004. Una nuova specie di *Typhloreicheia* del "Gruppo *elegans*" della Sardegna centro-orientale, con note sulla tassonomia, sulla filogenesi e sulla distribuzione del genere in Sardegna (Coleoptera Carabidae Scaritinae). *Redia*, 86 (2003): 47-52.
- CASSOLA, F. 1982. Il popolamento cavernicolo della Sardegna. *Lav. Soc. ital. Biogeogr. (N.S.)*, 7 (1978): 615-755, 3 Tavv. f.t.
- DE WAELE, J., G. GRAFITTI, C. LOCCHI, C. PISANO, M. SPIGA & R. SPIGA. 1995. Attuali conoscenze speleologiche nel Supramonte di Baunei. *Monografia Anthèò (Cagliari)*, 4, 88 pp.
- MAGRINI, P. 2005. Un nuovo *Neobacanius* anoftalmo del Lazio (Insecta, Coleoptera: Histeridae). *Aldrovandia*, 1: 55-62.
- MAGRINI, P. & L. FANCELLO. 2005. Un nuovo *Sardulus* dell'Ogliastra (Sardegna) (Insecta Coleoptera Histeridae). *Quad. Studi nat. Romagna*, 20: 101-108.
- MAGRINI, P. & V. VOMERO. 2003. Una nuova stazione di *Sardulus spelaeus* nel territorio di Dorgali (Sardegna) (Coleoptera Histeridae). *Fragm. entomol. (Roma)*, 35 (1): 51-58.
- PATRIZI, S. 1955. *Sardulus spelaeus* n. gen. n. sp. (Coleoptera Histeridae). *Fragm. entomol. (Roma)*, 2 (6): 47-53.
- SANNA, L., S. PINNA & P. MARCIA. 2004. Cavità carsiche intercettate da scavi per la rete viaria: l'esempio della grotta di Lu Gardu. *Atti Simposio "Le grotte di Miniera: tra economia mineraria ed economia turistica" (Iglesias)*, Mem. Istituto Italiano di Speleologia, (S. 2) XVII: 123-132.
- THOMAS, H. & M. SECO. 2000. *Gnathoncus cerberus* Auzat, 1923: une espèce nouvelle pour la faune Bulgare (Coléoptère Histeridae). *Bull. Soc. linn. Bordeaux*, 28 (4): 207-208.
- VIENNA, P. 1980. Coleoptera, Histeridae. *Fauna d'Italia*, 16. Calderini, Bologna, 386 pp.
- VOMERO, V. 1982. Gli Histeridae ipogei della Regione Palearctica (Coleoptera). *Lav. Soc. ital. Biogeogr.*, 7 (1978): 249-251.
- VOMERO, V. 1998. Coleoptera Histeridae, pp. 1131-1138. In: C. Juberthie & V. Decu (eds.), *Encyclopaedia Biospeologica*, II, Moulis-Bucarest.

4. ADDITIONAL RESULTS

During the development of this research, other results, new discoveries and descriptions of new species have been carried out. These additional data (or “collateral effects” of the research) have to be stressed. In fact, they greatly increase our knowledge of the diversity of life in Sardinian caves, the conservation of which is the main aim of the thesis.

Among others:

A new specialized troglobitic beetle, *Sardulus sacerensis* Casale & Marcia, 2006 (Histeridae) with its larva, has been discovered and described from Lu Gardu cave near Sassari (Casale et al. 2006) (see paper 5). Furthermore, some specimens of *Sardulus spelaeus* Patrizi have been sampled in Istirzili (or Stirzili) cave near Baunei (50 Sa/OG). This is a new, third record of this rare species. (Tab. II, fig.7)

Additionally, during our field activities in caves, some taxa not yet described, or not previously cited in these localities, have been sampled. In particular:

- One Turbellaria *Dendrocoelum* sp., collected in Monte Majore cave; this is the first record of the Genus *Dendrocoelum* in a cave of Sardinia. (Tab. II, fig.1)

- Two Turbellaria species, in Su Peltusu cave near Cossoine, have revealed the presence of two flatworms in this cave, one depigmented belonging to the family Dendrocoelidae, one pigmented belonging to family Dugesidae. This discovery represents the first record of a Dugesidae species in caves of Sardinia. Concerning Dendrocoelidae, it is the second record for the island (see above) (Tab. II, fig.2).

- In Cuccuru Tiria Cave (Iglesias) two depigmented specimens of Turbellaria Planariidae have been sampled (Tab. II, fig.3).

- *Tacheocampylaea carotii* (Mollusca, Gastropoda), a rare and localised species of Pulmonata, endemic to Eastern Sardinia in karst environments, has been sampled on the Corrasi mountain (Oliena).

- *Eukoenenia* sp.: one specimen of this Eukoeneniidae palpigrad has been collected in Is Zuddas show cave (Santadi, 763 Sa/CI). Probably new species.

- *Roncus turritanus*, various specimens in Lu Gardu cave near Sassari has been collected. This is a new record of this endemic species.

- *Cybaeodes* sp., a spider belonging to family Liocranidae, probably new species, (F.Gasparo, pers. comm.), has been sampled in Is Zuddas show cave (Santadi, 763 Sa/CI).

- *Sardostalita patrizii*, a troglobitic spider belonging to family Dysderidae, has been sampled in Istirzili or Stirzili cave (50 Sa/OG). It is a new record of this rare, endemic species in Baunei territory.

- Diplopoda Polyxenidae, several individuals of a probably new species have been sampled in Fruncu 'e Oche cave, Mt. Albo (NU). This family of Diplopoda is very scarcely represented in Sardinia, and was previously known from one only cave in a far and different karst area (Baunei) (Tab. II fig.5).

- *Sardaphaenops supramontanus supramontanus*, sampled in the Nurra 'e Pradu cave (Oliena), and *Sardaphaenops supramontanus grafittii* sampled in the Mesu-Monte cave (Baunei), are new records of this very specialized, troglobitic carabid beetle.

- *Sardaphaenops adelphus*, sampled in Lovettecannas cave (Baunei), is a new record of this troglobitic, recently described carabid beetle.

- *Typhloreicheia*. new spp., from Bue Marino cave (Dorgali) and Nurra 'e Pradu cave (Oliena), respectively. These are two new species of scaritine carabid beetles, presently in description. The genus include many endogean and cave dweller representatives in Sardinia, all endemic to the island. (Tab II fig.4)

- *Ovobathysciola gestroi* , the first larva specimen of this species has been sampled in Su Marmuri show Cave (55 Sa / NU). *O. gestroi* is the first cave dweller insect discovered in Sardinia in 1871 by Raffaello Gestro. Su Marmori cave is the type locality of the taxon.

- *Patriziella sardoa*, sampled in Nurra 'e Pradu cave (Mt. Corراسi, Oliena). This is the second locality known so far of this troglobitic species, endemic to Mt. Corراسi.

- *Ptenidium turgidum*, a beetles of the family Ptiliidae, sampled in San Francesco cave (Orani, Sa/NU). First record for Sardinia of this species.

- *Amaurorhinus* sp, a microphthalmous beetle of family Curculionidae (M. Meregalli det.) from Bue Marino cave. New for the cave and probably new species (Tab II fig.5).

- *Tapinoma* sp. (Hymenoptera, Formicidae), sampled in Nurra 'e Mesu Monte cave (Baunei). Probably new species (Verdinelli, pers. comm.).

- *Stenomma striatulum* (Hymenoptera, Formicidae), sampled in Mesu 'e Monte cave (Baunei) (Verdinelli det.). The species was previously reported for Sardinia by Mei (1992), from Asinara island only.

- *Lasius (Chthonolasius) bicornis* (Hymenoptera, Formicidae), sampled in Sas Venas cave (Orgosolo) (Verdinelli det.). A widely spread species throughout Europe, never abundant and never previously reported from Sardinia.

References

CASALE A., MARCIA P., MANCA I., GRAFITTI G., 2006 *Sardulus sacerensis* CASALE & MARCIA, **nuova specie ipogea di Coleotteri Isteridi della Sardegna nord-occidentale e sua morfologia larvale (Coleoptera Histeridae)**. *Fragmenta entomologica*, Roma, 38 (2): 201-217.

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C., STOCH F. 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna**. *Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007)*, *Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia*, Bologna (S. II) XXI: 197-209.

4.1. PUBLICATIONS AND RESEARCHES IN PROGRESS

This thesis is based on the following publications and manuscripts:

ABSTRACT IN NATIONAL AND INTERNATIONAL CONGRESSES

CASALE A., MARCIA P., MANCA I., GRAFITTI G., MUCEDDA M. **Conservation Biology in Sardinian Caves: Vertebrate Species as “Umbrella Species” on Troglotic Endemic Fauna.** 18 International Symposium of Biospeleology , Cluj-Napoca, Romania, 10-15 July 2006.

STOCCHINO G., CORSO G., CARCUPINO M., BIAGI F., RASSU C., MANCA I., MARCIA P., CASALE A. **Aspetti morfofunzionali della gonade maschile e del deferente di *Carabus (Macrothorax) morbillosus* Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae).** 67° Congresso Unione Zoologica Italiana - Napoli 12-15 settembre 2006.

DELOGU V., CAMPUS P., MARCIA P., CURINI-GALLETTI M. **Nuovi dati sul meibenthos delle grotte marine: i Platelmini del lago La Marmora (Grotte di Nettuno, Capo Caccia).** 67° Congresso Unione Zoologica Italiana - Napoli 12-15 settembre 2006.

SANNA L., MARCIA P. **L’altopiano Carsico di Saint Augustin (Tuléar - Madagascar Sud Occidentale): Ricognizione.** Relazione per il convegno: L’evoluzione della speleologia e dell’attività dei suoi operatori 1976-2006. Cagliari 23-24 settembre 2006.

DE WAELE J., MARCIA P., CORONGIU C. **‘Su Colostrargiu, un fiume di passione’** - (DVD) Proiezione DVD per il convegno: L’evoluzione della speleologia e dell’attività dei suoi operatori 1976-2006. Cagliari 23-24 settembre 2006.

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C., STOCH F. **Biospeleologia alla Grotta del Bue Marino, mezzo secolo dopo.** XX Congresso Nazionale di Speleologia. Iglesias 27-30 aprile 2007 .

CASALE A., MARCIA P. **Un anno di ricerche sulla fauna ipogea della Sardegna e sulla sua conservazione.** XX Congresso Nazionale di Speleologia. Iglesias 27-30 aprile 2007.

STOCH F., MARCIA P., CASALE A., VAN MERLO R. **Il Catasto Biospeleologico, Tavola rotonda.** XX Congresso Nazionale di Speleologia. Iglesias 27-30 aprile 2007.

STOCCHINO G., MARCIA P., GRAFITTI G., MANCONI R., CORSO G., CASU S., PALA M. **Tricladi cavernicoli di Sardegna.** XX Congresso Nazionale di Speleologia. Iglesias 27-30 aprile 2007.

MARCIA P., CASALE A. **Recent investigations on subterranean animal species in Sardinia, and on their conservation.** 19th International Symposium of Subterranean Biology, Fremantle, Western Australia. 21-26 September 2008.

PAPERS IN INTERNATIONAL AND NATIONAL JOURNALS, CHAPTERS OF BOOKS

CASALE A., MARCIA P., MANCA I., GRAFITTI G., 2006. *Sardulus sacerensis* CASALE & MARCIA, **nuova specie ipogea di Coleotteri Isteridi della Sardegna nord-occidentale e sua morfologia larvale (Coleoptera Histeridae).** Fragmenta entomologica, Roma, 38 (2): 201-217.

CASALE A., MARCIA P., GRAFITTI G., MUCEDDA M., MANCA I. **Conservation biology in Sardinian caves.** Encyclopaedia Biospeologica, Moulis-Bucarest (in press).

CASALE A., GRAFITTI G., LANA E., MARCIA P., MOLINU A., MUCEDDA M., ONNIS C., STOCH F., 2008. **La Grotta del Bue Marino: cinquanta anni di ricerche biospeleologiche in Sardegna.** Atti XX Congresso Nazionale di Speleologia (Iglesias, 2007), Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia, Bologna (S. II) XXI: 197-209.

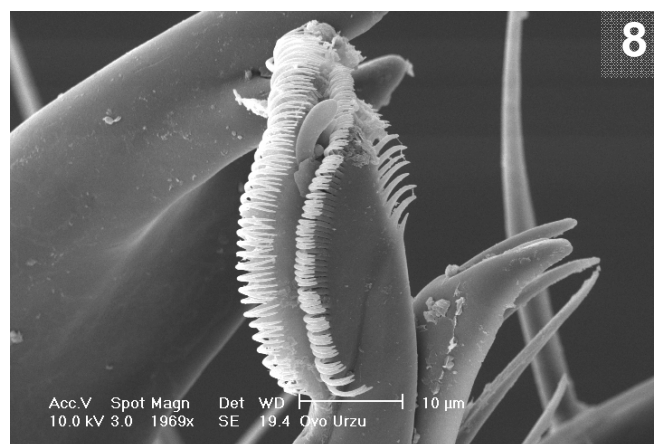
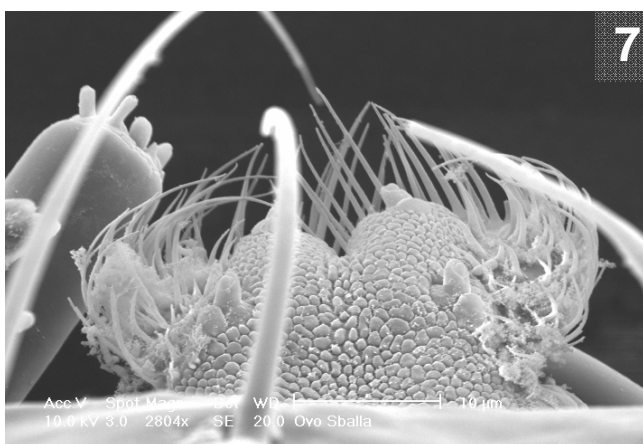
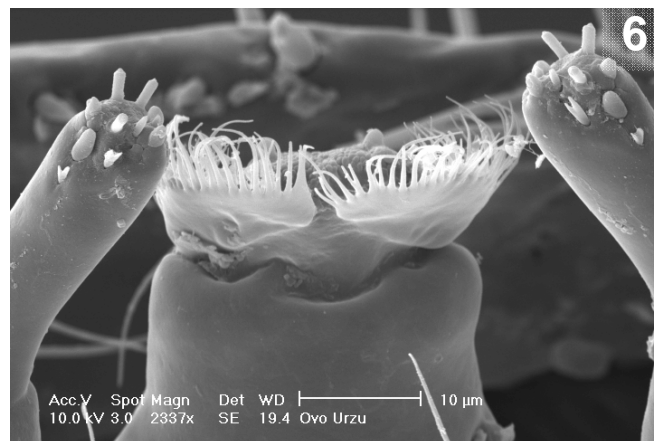
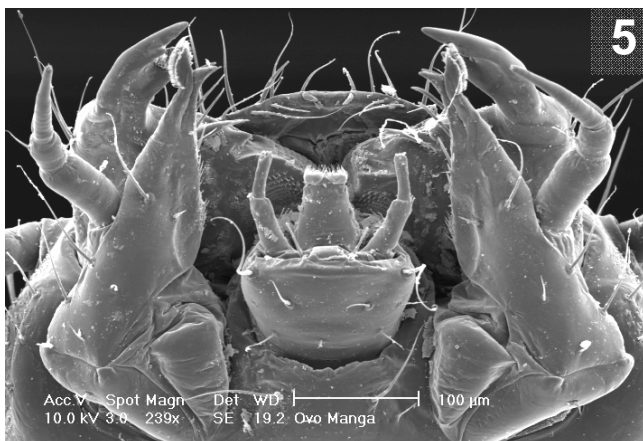
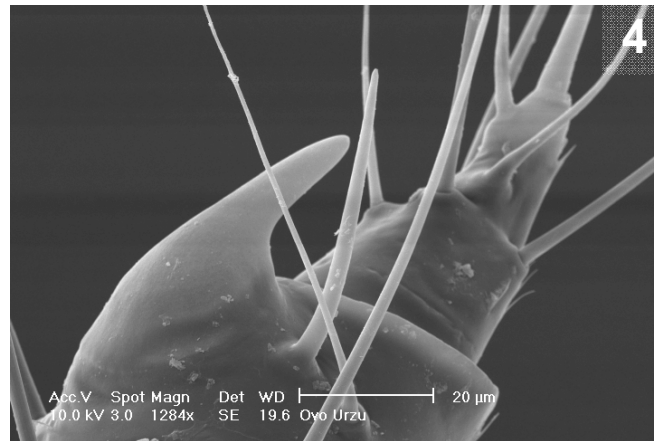
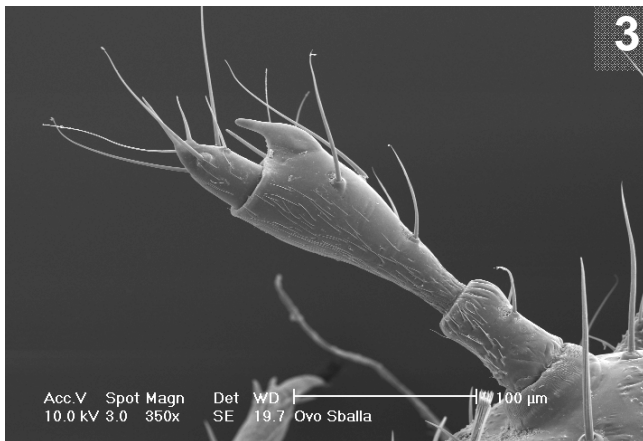
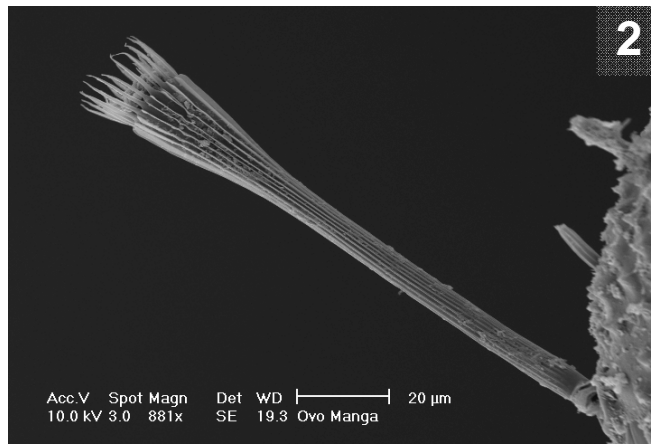
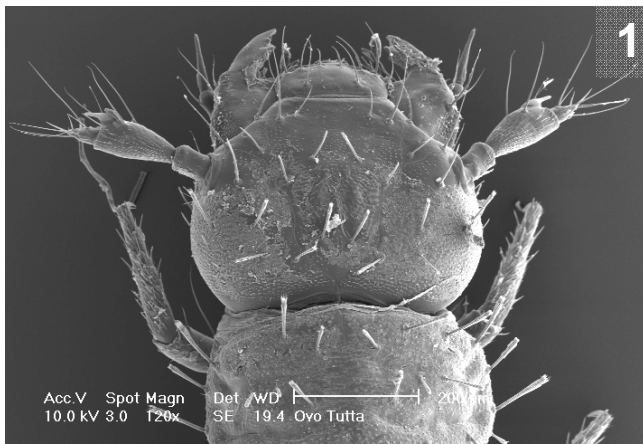
CASALE A., MARCIA P., 2007. **Larval morphology of *Sardaphaenops adelphus* Casale, 2004, an ultra-specialized troglotic beetle of Sardinia (Coleoptera: Carabidae).** Subterranean Biology, 5: 35-42.

CASALE A., DI GIULIO A., MARCIA P., MOLINU A. **Larval morphology of *Speomolops sardous* Patrizi, 1955, a troglotic molopine carabid beetle endemic to Sardinia, and notes about its way of life (Coleoptera, Carabidae).** Italian Journal of Zoology (2008, submitted).

CADEDDU B., CASALE A., MARCIA P., STOCCHINO A.G., **Morphology of reproductive male and female apparatus in *Speomolops sardous* (Coleoptera, Carabidae)** (in preparation).

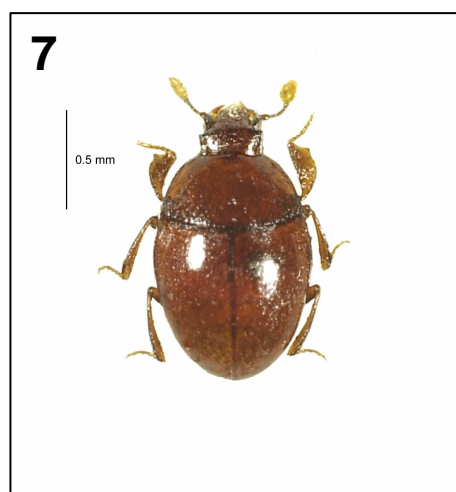
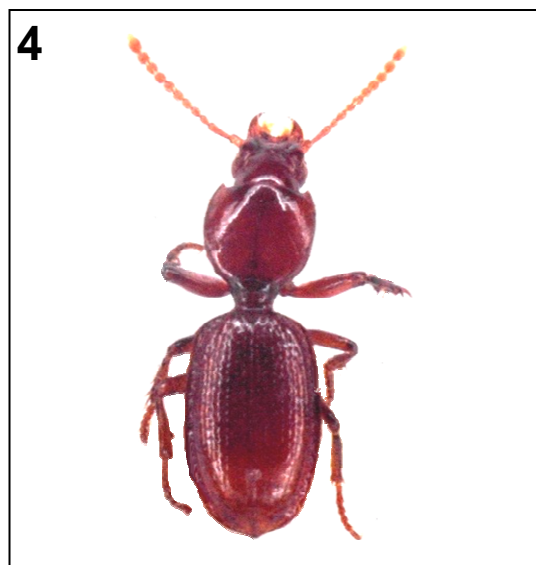
MARCIA P., COSSU Q. A., CASALE A., **Fluctuations of air temperature in show caves in order to assess the anthropogenic impact on subterranean animal species,** (in preparation).

4.2.TABLES



(Tab. I)

Ovobathysciola majori: head, dorsal aspect (1); sensilla (2); left antenna dorsal aspect (3); particular of antenna (4); head, ventral aspect (5); Prementum particular (6- 7); Lacinia (8)



(Tab. II)

ADDITIONAL RESULTS: *Dendrocoelum* sp 1); *Dugesia* sp. 2); Turbellaria Planariidae 3); *Typhloreicheia* new spp., 4); Diplopoda Polyxenidae 5); *Amaurorhinus* sp. 6) *Sardulus sacerensis* 7)

5. CONCLUSIONS

This research had as main goal the investigation of new strategies able to conserve the very rich and diverse subterranean Sardinian fauna, highly important from both the biogeographical and biospeleological points of view.

Several new, unexpected discoveries showed how our knowledge of the underground biodiversity is still scarce in the island, compared with the real potential of the Sardinian karst.

In particular:

1. How many endemic invertebrate species can be protected with the help of only one genus of endemic Amphibians, as “umbrella species”.
2. The interest and the importance, for the conservation strategies of troglobitic insects, of the knowledge of their biological cycles, natural history, and in particular of the larval stages, which seem to be much more vulnerable to the anthropogenic impact than adults.
3. The importance of constant monitoring programmes to check any variation in environmental parameters in show caves.
4. Furthermore, the development of this thesis in the field showed how many unknown subterranean species are still unknown in Sardinia, even in apparently well-known caves like the famous Bue Marino cave, object of several investigations in the last fifty years.

ACKNOWLEDGEMENTS

For the invaluable support in preparation of this thesis, I'm particularly indebted to:

-My parents Mario and Rina, my tutor Achille Casale and my supervisor Marco Apollonio.

-For the important contribution to my English and the development of this thesis: Barbara Cadeddu, Ivana Casu, Simone Ciuti, Renata Manconi, Giacinta Stocchino and Sonia Testoni.

-For the logistic, in the Bue Marino Cave, Fabio Sagheddu and the staff of Atlatika (Cala Gonone).

-For the tedious hours of waiting in the caves during my sampling, Virginia Denanni and Federica Riu.

-For the very important and fundamental help in fieldtrips, Michele Fois and Pierfrancesco Sechi.

-For the hospitality in laboratories of the Department of Biology, University Roma 3, a particular acknowledgements to Marco Bologna, Andrea di Giulio, Monica Pitzalis and Daniele Salvi.

-For precious and fundamental help on different topics: Jo de Waele, Giuseppe Grafitti, Enrico Lana, Alessandro Molinu and Carlo Onnis.

-A friendly acknowledgement to Antonello Cossu of S.A.R, Pier Mauro Giachino, Ivo Manca and Mauro Mucedda.

-For the identification of some taxa: Giulio Gardini, Fulvio Gasparo, Massimo Meregalli, Marcello Verdinelli and Marzio Zapparoli.

-For pleasant journeys in the field: Roberto Argano, Marco Bodon, Alessandro Campanaro, Riccardo Consorti, Augusto Di Giovanni, Paolo Magrini, Jos Notenboom, Beatrice Sambugar, Fabio Stoch, Stefano Taiti, Gianfranco Tomasin,

-Finally, all my colleagues and friends of Gruppo Speleo Ambientale Sassari in particular, Laura Iacolina, Stefano Pinna, Anna Pipia and Laura Sanna.