

GLI AMBIENTI ANCHIALINI

Giuseppe L. PESCE

Dipartimento di Scienze Ambientali
Università di L'Aquila – Via Vetoio – 67100 L'Aquila

ABSTRACT

The anchialine habitats

The anchialine habitats, together with their biodiversity, biogeography and different colonization models are presented. Among the Italian anchialine habitats, the "Zinzulusa" cave in south Italy is remarkable and it has been recently reviewed in the "Top ten list of World Endangered Karst Ecosystems" by the Karst Water Institute, Charles Town WV, U.S.A. Two maps with the World and Italian distribution of the anchialine aquifers are enclosed.

RIASSUNTO

Vengono descritte le principali caratteristiche degli ambienti anchialini, la loro biodiversità, i modelli biogeografici e di colonizzazione e le diverse ipotesi proposte riguardo la loro origine ed antichità. Una particolare attenzione è dedicata alle aree anchialine italiane, la più importante delle quali è la Grotta Zinzulusa (Otranto, Lecce), recentemente inserita nella "Top ten list of World Endangered Karst Ecosystems" dal Karst Water Institute, Charles Town WV, U.S.A. Due mappe illustrano rispettivamente la distribuzione delle aree anchialine mondiali ed italiane.

1. INTRODUZIONE

Gli ambienti acquatici di molte grotte costiere e continentali e di altri ambienti sotterranei litorali costituiscono particolari biotopi separati da quelli circostanti da forti gradienti ambientali. In questi habitat, definiti «anchialini», le particolari condizioni idrografiche, idrologiche e trofiche hanno favorito il diversificarsi di ricche biocenosi stigobionti e lo sviluppo di faune endemiche di rilevante interesse scientifico.

La loro scoperta si deve a Riedl (1966) che li denominò "Randhoehlen" o "marginal caves", limitandone, tuttavia, la definizione alle sole grotte marine. Successivamente Holthuis (1973), in occasione del rinvenimento di alcuni nuovi decapodi in ambienti sotterranei costieri indopacifici, ripropone il problema di questi interessanti ecosistemi attribuendo loro per la prima volta il nome di "anchialine pools" e definendoli come corpi idrici sotterranei senza connessioni superficiali con il mare,

caratterizzati da acque salate e salmastre fluttuanti con le maree ("*pools with no surface connection to the sea, containing brackish water, which fluctuates with the tides*"). In seguito nuovi termini sono stati introdotti, tuttavia non sempre in modo appropriato, per definire questi ambienti: "*inland marine caves*", "*sea waterflooded caves*", "*anchihaline cave waters*", "*anchihaline habitats*", "*metahaline anchihaline pools*", "*grottes de dissolution*" (Iliffe 1991; Juberthié & Decu, 1994; Stock, 1994; Sket, 1996).

Nel 1984, in occasione del Congresso Internazionale di Biologia delle grotte marine, tenutosi in Bermuda, si stabilì definitivamente che con il termine «ambienti anchialini» dovessero essere considerati quei corpi idrici a salinità variabile, poco esposti all'aria aperta, con più o meno estese comunicazioni sotterranee con il mare e con evidenti influenze marine e continentali ("*Anchialine habitats consist of bodies of haline waters, usually with a restricted exposure to open air, always with more or less extensive subterranean connections to the sea, and showing noticeable marine as well as terrestrial influences*").

In definitiva gli habitat anchialini sarebbero rappresentati da quei sistemi idrici sotterranei situati in prossimità di coste marine, ad esse strettamente collegati, le cui caratteristiche principali sarebbero: tipologia di habitat sotterraneo, basso input energetico, assenza di luce, acque mixoaline, ipossiche o addirittura anossiche, mancanza di connessioni superficiali con il mare, limitato accesso di fauna marina e presenza di caratteristici organismi stigobionti con scarso potenziale dispersivo. Inoltre, l'assenza di turbolenze in tali ambienti impedisce il rimescolamento delle acque marine e carsiche (dolci) con diversa densità le quali si stratificano, quindi, in livelli diversi, dando origine a gradienti verticali di temperatura, di salinità e di concentrazione dell'ossigeno disciolto. In molte grotte è possibile individuare un netto livello di separazione tra acque dolci e salate (alocline), influenzato dalla distanza dal mare, dalla piovosità e dalla geomorfologia del territorio. Associati con gli aloclini si riscontrano generalmente minimi decrementi di temperatura, pH ed ossigeno disciolto, correlabili rispettivamente con fenomeni fisici ed attività microbica. In alcuni casi, tuttavia, moto ondoso ed abbondante piovosità producono turbolenze locali che possono alterare temporaneamente la suddetta stratificazione, annullandone il relativo aloclino.

2. GLI AMBIENTI ANCHIALINI MONDIALI

Esiste una grande varietà di ambienti anchialini, distribuiti in quasi tutto il mondo: depressioni idriche sotterranee quali, ad esempio, le pozze anchialine che si rinvergono in terreni lavici molto porosi delle Hawaii; faglie tettoniche costiere in rocce calcaree (Pacífico centrale) o laviche (Galapagos) al di sotto del livello del mare; grotte calcaree parzialmente o totalmente sommerse (Caraibi, Bahamas, Bermuda, Mediterraneo); sistemi freatici costieri (pozzi) in substrati calcarei (Italia meridionale) (Pesce et al., 1978, Pesce & Pagliani, 1997) o lavici (Antille, Australia) (Humphreys, 1993).

Particolari manifestazioni anchialine sono quelle rappresentate dai sistemi idrici presenti all'interno di piccole fessure o fratture in rocce vulcaniche ("*lava tubes*") o calcaree (Isole Canarie, Galapagos, Hawaii, Samoa) (Humphreys, 1993; Iliffe, 2000); i cosiddetti "*blue holes*" delle Bahamas, consistenti in fratture sottomarine circolari sottoposte a forti correnti di marea che spingono ciclicamente le acque marine all'interno e

all'esterno delle cavità; i "sinkholes" dell'Australia e i "cenotes" della penisola dello Yucatan. Questi ultimi ambienti, molto ben rappresentati lungo le coste caraibiche del Messico, sono costituiti da cavità, anche lontane dalla costa, contenenti acqua marina e dolce, stratificate secondo forti gradienti di salinità: in questi ambienti, in cui la profondità dell'acqua varia complessivamente da 5 a 80 m, il livello superficiale di acqua dolce è di circa 5-20 m ed è seguito da un forte aloclino che porta al livello sottostante di acqua marina completamente salata.

La maggior parte delle biocenosi anchialine è caratterizzata da una elevata diversità biologica. I taxa maggiormente rappresentati sono i crostacei (Remipedia, Copepoda, Ostracoda, Thermosbaenacea, Amphipoda, Sincarida, Isopoda, Mictacea, Bochusacea, Cumacea, Tanaidacea, Misidacea, Decapoda), meno frequenti risultano Batteri, Alghe (azzurre), Protozoi, Idrozoi, Ctenofori, Poriferi, Archianellidi, Anellidi (Policheti ed Oligocheti), Molluschi, Acari Halacaridae, Echinodermi, Chetognati e Pesci. Alcuni gruppi di crostacei (Isopoda Atlantasellidae, Remipedia, Copepoda Speleothonidae, Mictacea) risultano esclusivi di questi ambienti. I copepodi ciclopidi, calanoidi, misofrioidi ed arpacticoidi, sembrano essere i più comuni colonizzatori dei sistemi anchialini dell'area Mediterranea e dell'Atlantico orientale.

A tutt'oggi oltre 300 nuove specie, 50 nuovi generi, almeno 10 nuove famiglie, due nuovi ordini ed una nuova classe di crostacei (Remipedia) sono stati descritti per questi ambienti, soprattutto in grotte insulari. Recentemente la scoperta dei copepodi Misophrioida in grotte anchialine delle Bermuda ha messo in evidenza la possibilità per i rappresentanti di questo gruppo di crostacei, un tempo ritenuti esclusivi di acque molto profonde, di colonizzare anche sistemi idrici costieri (Boxshall, 1989; Boxshall & Jaume, 2000).

La maggior parte dei taxa anchialini più specializzati esibiscono caratteristiche stigomorfie, quali la riduzione degli organi visivi, la depigmentazione, l'aumento della sensibilità tattile e chimica ed il rallentamento dello sviluppo, con produzione di pochissime uova. Una totale depigmentazione ed anoftalmia si riscontrano in forme molto primitive insediatesi da lungo tempo in ambiente sotterraneo (Anellida Polichaeta, Remipedia, Ostracoda, Copepoda Misophrioida, Isopoda Cirolanidae, Thermosbaenacea, Anfipodi ed alcuni pesci). Per le loro caratteristiche ancestrali, molti crostacei anchialini (Remipedia, Copepodi dei generi *Antrisocopia* e *Erebonectes*, Platycopioidea dei generi *Nanocopia* e *Antrisocopia*, Misophrioida) vengono considerati veri e propri "fossili viventi" (Iliffe, 2000).

Da un punto di vista biogeografico, molti taxa, a vario livello tassonomico, presentano ampie distribuzioni geografiche, in molti casi (Remipedia, Copepoda Misophrioida, Calanoida, Speleophriidae, Thermosbaenacea, Amphipoda Pardaliscidae, Misidacea, Ostracoda Thaumatoocypridae) fortemente disgiunte, che pongono il problema della relativa origine.

Una grande varietà di generi contiene specie a distribuzione anti-atlantica, cioè localizzate in grotte sulle opposte coste dell'Oceano Atlantico, e di origine Tetidiana (Remipedia, Amphipoda, Misidacea, Isopoda, Decapoda); altri generi, precedentemente conosciuti solo per grotte dell'area Caraibica, sono stati recentemente rinvenuti nelle Galapagos. Più complesse relazioni biogeografiche esistono per altri taxa anchialini, tra cui i decapodi del genere *Procaris* conosciuti per le Hawaii, le Bermuda, l'isola di

Ascension e l'area Caraibica. Sorprendenti sono, infine, i casi dei misophrioidi del genere *Expansophria* e dei misidacei del genere *Palaumysis*, con specie presenti rispettivamente alle Galapagos, Bahamas, Canarie, Palau, Filippine (Iliffe, 2000; Hanamura & Kase, 2002; Pesce & Iliffe, 2002). Taxa anchialini (Remipedia del genere *Lasionectes*, Copepoda Calanoida Epacteriscidae, Termosbaenacea del genere *Halosbaena*, Ostracoda del genere *Danielopolina* ed Amphipoda del genere *Liagoceradocus*), ritenuti limitati all'area atlantica e caraibica, sono stati recentemente scoperti in grotte e sistemi freatici dell'Australia nord-occidentale (Humphreys, 1993; Jaume & Humphreys, 2001).

Numerose e tuttora molto controverse sono le teorie e le ipotesi suggerite per interpretare i suddetti modelli distribuzionali e per spiegare la origine delle faune anchialine.

Una origine da acque profonde ("*deep-sea origin*") è stata invocata per numerosi gruppi di crostacei (Decapoda, Mictacea, Amphipoda Pardalascidae, Ostracoda del genere *Danielopolina*, Misophrioida) che si sarebbero evoluti a partire da antenati marini batiali tramite dispersione attraverso un "*continuum*" di sistemi crevicolari ("*crevicular habitats*") che avrebbero, appunto, costituito un *link* tra le acque più profonde ed i sistemi anchialini costieri (Iliffe et al., 1983; Korniker & Iliffe, 1985; Boxshall, 1989). Per quanto riguarda i Misophrioida, tuttavia, la loro recente scoperta in grotte anchialine su isole del Mediterraneo ha suggerito la possibilità di una loro duplice origine: da antenati marini batiali (Speleophriidae) o da antenati iperbentici più litorali (Misophriidae) (Boxshall & Jaume, 2000).

Una ipotesi di origine Tetidiana ("*Tethyan hypothesis*") è applicabile a taxa (Copepoda Stephidae e Pseudocyclopinidae, Speleophrioida, Termosbaenacea del genere *Halosbaena*, Remipedia dei generi *Lasionectes* e *Speleonectes*, Amphipoda dei generi *Salentinella* e *Bogidiella*, Isopoda Cirolanidae, Misidacea dei generi *Spelaeomysis* e *Stygiomysis*). Secondo questa ipotesi i modelli distribuzionali dei suddetti taxa porterebbero alla conclusione di considerarli relitti di una fauna calda tetidiana, un tempo molto più ampiamente distribuita: questa fauna avrebbe colonizzato gli habitat anchialini a partire da antenati bentici/iperbentici, grazie a tipici pre-adattamenti che Danielopol et al. (1996) definiscono "the darkness syndrome".

Le modalità con cui queste forme avrebbero colonizzato gli ambienti anchialini vengono sintetizzate nei modelli "*Regression Model*" (Stock, 1977, 1980, 1990; Boutin & Coineau, 1990), "*Active Migration Model*" e "*Passive Migration Model*" (Rouch & Danielopol, 1987). Il modello più comune (*Regression Model*) si basa sulla osservazione che i patterns distribuzionali di molti taxa risultano perfettamente correlabili con le linee di costa dei mari mesozoici e terziari. Per interpretare tali distribuzioni il "*Regression Model*" suggerisce che specie marine litorali eurialine avrebbero primariamente colonizzato habitat crevicolari ed interstiziali, quindi, a seguito delle regressioni marine, sarebbero rimasti "intrappolati" in acque limniche sotterranee. Tali migrazioni potrebbero essere avvenute sia tramite processi attivi (*Active Migration Model*) che passivi (*Passive Migration Model*) (Stock, 1986; Boxshall & Jaume, 2000). Alcuni elementi della attuale fauna anchialina si sarebbero originati in tempi molto più recenti, successivamente alla colonizzazione tetidiana. In definitiva i popolamenti anchialini rappresentano un insieme di taxa aventi differenti origini, risalenti a diversi episodi di colonizzazione, tutti comunque con prevalente "*facies*" tetidiana.

Un particolare scenario deve essere proposto per quanto riguarda l'origine dei

talasso-stigobionti mediterranei, in gran parte riconducibile alla cosiddetta «crisi di salinità messiniana» realizzatasi circa 5,5 milioni di anni fa allorché, in accordo con l'ipotesi di Hsu (1978), il Mediterraneo si sarebbe quasi completamente prosciugato con conseguente parziale scomparsa della relativa fauna. Recenti studi di Sket (1996) e Boxshall & Evstigneeva (1994) hanno, infatti, dimostrato che un gran numero di stigobionti mediterranei attuali (Copepoda Mysophriidae, Pseudocyclopiidae, Cyclopidae, Misidacea, Amphioda, Remipedia, Decapoda, Porifera), con geonemie disgiunte, presenti in habitat ipogei con salinità prossima a quella marina sarebbero derivati appunto da antenati marini sopravvissuti alla suddetta crisi grazie alla loro elevata eurialità.

In conclusione, la combinazione di un modello di distribuzione tetidiano con la loro localizzazione in ambienti ad elevata salinità rappresenta la dimostrazione evidente di come molti stigobionti anchialini sarebbero sopravvissuti *in situ* nel corso del Terziario, un periodo che vide, appunto, il Mediterraneo scenario di drammatici eventi ambientali che ne comportarono il quasi completo prosciugamento e la scomparsa di gran parte dei suoi biotopi e della relativa fauna.

Ambienti con caratteristiche anchialine sono attualmente noti per numerose località in quasi tutto il mondo, risultando particolarmente comuni nelle aree tropicali: Hawaii, Bermuda, Bahamas, Galapagos, Messico, Antille, Canarie, Pacifico centrale, Filippine, isole Fiji e Ryukyus, Sinai (Mar Rosso) Oceania, Australia, coste adriatiche della Croazia e Dalmazia, Grecia, Baleari, Italia.

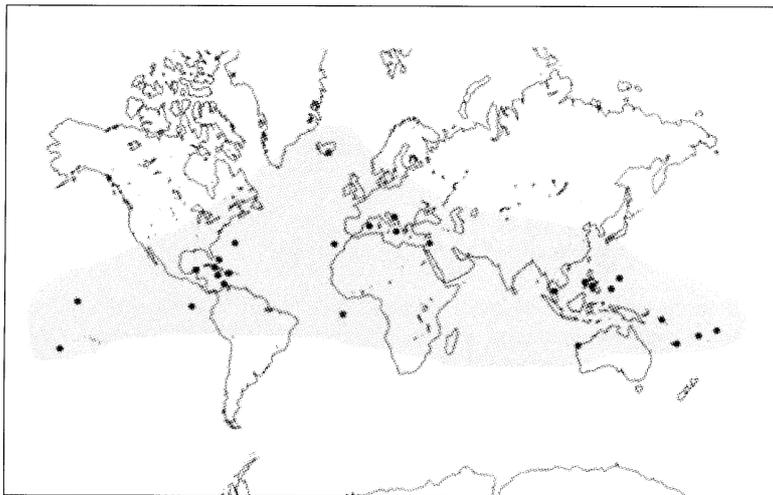


Fig. 1 - Mappa mondiale delle principali aree anchialine (da Iliffe, 2000, mod.).

L'importanza degli ambienti anchialini quali "rifugi" di antiche linee evolutive, spesso rappresentate da singole specie limitate ad una sola cavità, e la loro estrema "fragilità" ecologica richiederebbero adeguate misure di protezione e tutela al fine di evitare la possibile estinzione di specie o di interi gruppi animali di eccezionale valore scientifico.

2. GLI AMBIENTI ANCHIALINI ITALIANI

In Italia le principali manifestazioni anchialine sono localizzate lungo le coste della Toscana, Puglia, Campania, Sicilia e Sardegna, anche se non mancano segnalazioni di ambienti anchialini in zone costiere della Liguria, Venezia Giulia e Calabria.



Fig. 2 - Localizzazione delle principali aree anchialine in Italia (aree grigie):
1) Grotta Punta degli Stretti, 2) Golfo di Orosei, 3) Capo Caccia.

Da un punto di vista biologico, i sistemi anchialini italiani risultano densamente popolati, soprattutto da crostacei: anfipodi dei generi *Pseudoniphargus*, *Orniphargus*, *Salentinella*, *Metahadzia* e *Hadzia*; isopodi Asellidae del genere *Proasellus* e Microparasellidae del genere *Microcharon*; termosbenacei dei generi *Monodella* e *Tethysbaena*; misidacei dei generi *Spelaeomysis* e *Stygiomysis*; decapodi del genere *Typhlocaris*, sincaridi dei generi *Bathynella* e *Sardobathynella*, copepodi dei generi *Metacyclops*, *Diacyclops*, *Halicyclops*, *Neocyclops*, *Nitokra*, *Nitocrella*, *Parapseudoleptmesochra*, *Schizopera*, *Esola*, *Psyllocamptus*, *Expansophria*, *Robertsonia*; ostracodi (*Pseudolimnocythere hypogaea*, *Trapezicandona italica*), spugne (*Higginsia ciccaresei*), idrari (*Soldanellonix monardi*, *Lohmannella stammeri*), idrozoi, anellidi oligocheti (*Peloscolex pescei*), anellidi policheti, molluschi gasteropodi (*Ovatella myosotis*), turbellari.

Attualmente, abbastanza conosciuti risultano i popolamenti anchialini della Puglia (Gargano, Penisola Salentina) e della Sicilia, grazie ad una serie di intensive ricerche condotte dal Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di L'Aquila, con la

collaborazione di gruppi speleologici delle due regioni.

In Puglia gli ambienti anchialini risultano ben rappresentati sia all'interno delle grotte costiere della penisola Salentina che nei sistemi freatici litorali, situati a pochi metri di distanza dal mare, lungo i litorali adriatico e ionico.

L'Abisso (Castro Marina), una delle più importanti grotte costiere italiane, mostra tipiche caratteristiche di grotta anchialina, con acque debolmente illuminate e ossigenate, la cui salinità viene regolata dalle maree; in essa si rinvencono organismi con caratteristiche stigomorfe e forme marine, non specializzate. Al contrario, la Zinzulusa (Castro Marina) ed il Buco dei Diavoli (Porto Badisco) risultano costituite da due porzioni distinte: una prima parte che esibisce caratteristiche di grotta marina ("marginal cave"), la seconda, più interna ed isolata, con scarso input di energia esterna e di larve pelagiche, presenta tutte le caratteristiche di un habitat anchialino.

Da un punto di vista biologico, la grotta della Zinzulusa mostra una sorprendente diversità, ospitando 60 specie (22 appartenenti ai crostacei), la maggior parte delle quali stigobionti ed endemiche per la grotta o per il distretto salentino. Tra queste alcune appartengono a generi (*Spelaeomysis*, *Stygiomysis*, *Hadzia*) presenti anche nell'area Caraibica, altre a generi (*Metacyclops*, *Psyllocamptus*, *Esola*, *Parapseudoleptomesochra*, *Typhlocaris*, *Monodella*, *Salentinella*, *Lohmannella*, *Soldanellonix*, *Pseudolimnocythere*, *Trapezicandona*) con geonomie più limitate, alcune, infine, risultano endemiche per il territorio Salentino o per la Puglia. L'elemento, comunque, più sorprendente, recentemente scoperto all'interno della grotta, è la spugna troglobia *Higginsia ciccaresei*. Si tratta di uno dei rarissimi reperti di spugne in ambienti sotterranei, con elevate stigomorfie; a tutt'oggi, infatti, gli unici riferimenti a spugne ipogee, peraltro stigofile, erano quelli relativi a rinvenimenti in grotte marine del Mediterraneo (Vacelet & Boury-Esnault, 1995) e delle Bahamas (Van Soest & Sass, 1981; Iliffe, 2000). L'eccezionale diversità biologica e l'elevato tasso di endemismo della grotta Zinzulusa è ricollegabile a fattori storici diversi, tra i quali un ruolo determinante devono aver avuto le complesse vicissitudini paleogeografiche (regressioni e trasgressioni marine plio-pleistoceniche) che hanno ciclicamente alterato la composizione faunistica della Penisola Salentina e della Puglia.

Per il suo eccezionale interesse biologico la grotta Zinzulusa è l'unica grotta italiana inclusa nella "Top ten list of World Endangered Karst Ecosystems" dal Karst Water Institute, Charles Town WV, U.S.A., rappresentando la più importante manifestazione carsica anchialina dell'intero territorio italiano, come pure uno degli ecosistemi carsici italiani a più alto rischio e degno, pertanto, di particolare tutela.

Le grotte Buco dei Diavoli e L'Abisso sembrano essere caratterizzate da un minor numero di specie e da una minore biodiversità, comprendendo 11 e 12 taxa rispettivamente, la maggior parte dei quali presenti anche nella grotta Zinzulusa.

Gli ambienti freatici (pozzi) lungo le coste adriatica e ionica esibiscono per la maggior parte caratteristiche di ambienti anchialini aperti, più intimamente legati al mare. Si tratta, infatti, di pozzi molto prossimi alla costa, spesso in piena luce e con notevole apporto trofico, in cui risultano presenti componenti propriamente marine, di recente invasione, ed elementi più specializzati penetrati nei sistemi freatici pugliesi in epoca più antica (Pesce *et al.*, 1978). Tra questi ultimi si possono citare il misidaceo *Spelaeomysis bottazzii*, ampiamente distribuito, anche se con popolazioni ben caratteriz-

zate, in tutto il territorio pugliese, il termosbenaceo *Monodella stygicola*, il decapode *Typhlocaris salentina*, alcuni copepodi, sia ciclopoidi che arpacticoidi, anche questi ampiamente distribuiti nei diversi sistemi anchialini di tutta la Puglia, e l'ostracode *Trapezicandona italica* (Karanovic & Pesce, 2000). In questi ultimi ambienti, il maggior apporto trofico e la regolare illuminazione determinano una complessiva, elevata ricchezza in specie in cui prevalgono, tuttavia, forme da stigofile a stigossene, soprattutto tra i crostacei copepodi (*Halicyclops rotundipes*, *Halicyclops dalmatinus*, *Eucyclops serrulatus*, *Paracyclops fimbriatus*, *Megacyclops viridis*, *Diacyclops bicuspidatus*, *Diacyclops bicuspidatus lubbocki*), gli isopodi, gli oligocheti e gli ostracodi, che sembrano non essere particolarmente influenzati dalla presenza della luce. A quest'ultimo riguardo, Sket (1996), studiando gli stigobionti anchialini della costa adriatica croata e dalmata, ha ipotizzato una "neutrality" fisiologica nei riguardi della luce per gli organismi anchialini dell'Adriatico e, molto probabilmente, per molti altri stigobionti dei sistemi anchialini in generale. Da un punto di vista biogeografico, la fauna più propriamente stigobia dei pozzi risulta anch'essa sostanzialmente diversa e molto meno diversificata da quella presente nei sistemi anchialini di grotta. Essa presenta, infatti, accanto ad alcuni elementi endemici propri, quale l'isopode *Microcharon arganoi*, altre specie, a più ampia geonemia, presenti solo in questa parte della Puglia, tra cui gli anfipodi *Salentinella angelieri* e *Bogidiella* sp. ed il copepode ciclopoide *Diacyclops clandestinus*. D'altro canto, in questa parte del territorio pugliese, sembrano mancare, almeno a quanto ci è attualmente noto, relitti molto antichi, come pure alcuni dei più caratteristici stigobionti presenti nei sistemi cavernicoli e freatici della Penisola Salentina.

Da un punto di vista più generale, l'invasione dei diversi sistemi anchialini della regione pugliese deve essersi realizzata tramite diverse «ondate di colonizzazione», alcune molto antiche di cui sarebbero testimonianza i numerosi relitti tetidiani (*Higginsia ciccaresei*, *Monodella stygicola*, *Stygiomysis hydruntina*, *Typhlocaris salentina*), sopravvissuti in habitat criptici ed isolati e da lungo tempo infeodati nei sistemi sotterranei anchialini. Infatti l'ipotesi più «parsimoniosa», esplicativa della distribuzione dei suddetti taxa, sembra essere quella di considerarli appunto relitti di una fauna litorale molto antica (tardo Mesozoico), un tempo ampiamente distribuita in acque tropicali e subtropicali come dimostrato dalla perfetta coincidenza tra le loro attuali geonomie e le antiche linee di costa mesozoiche del Mediterraneo.

Alcune specie (*Hadzia minuta*, *Microcharon arganoi*) avrebbero colonizzato gli stessi sistemi in tempi più recenti, in occasione della «crisi di salinità» che caratterizzò il Mediterraneo durante il Miocene; altre, tra cui il misidaceo *Spelaeomysis bottazzii* e gli anfipodi *Salentinella angelieri* e *Salentinella gracillima*, avrebbero seguito gli spostamenti delle linee di costa del Mediterraneo nel corso delle regressioni plioceniche.

Alcuni copepodi arpacticoidi, quali *Esola spelaea*, *Psyllocamptus monachus*, *Schizopera clandestina*, *Schizopera cicolanii* e l'anfipode *Pseudoniphargus adriaticus*, rappresentano un particolare caso di forme marine immigrate, in tempi relativamente recenti, nelle acque sotterranee continentali dopo un lungo periodo di preadattamento nei sistemi carsici litorali, molto probabilmente in accordo con il «two-step model of colonization» suggerito da Boutin & Coineau (1990).

Per quanto riguarda la Sicilia le uniche informazioni attualmente disponibili si riferiscono ai sistemi anchialini dell'area carsica di Porto Palo. In questa zona numerosi

risultano i pozzi costieri all'interno dei quali è presente una stigofauna dalle evidenti caratteristiche anchialine, comprendente un elevato numero di specie di copepodi, ciclopidi (*Halicyclops troglodytes*, *Eucyclops ibleicus*, *Eucyclops longispinosus*, *Diacyclops clandestinus*, *Diacyclops crassicaudis trinacriae*, *Thermocyclops oblongatus*) ed arpacticoidi (*Nitocrella stammeri*, *Attheyella paranaphtalica*, *Elaphoidella elaphoides*, *Elaphoidella rossellae*, *Parastenocaris trinacriae*), anfipodi (*Niphargus longicaudatus*), ostracodi, acari alacaridi (*Soldanellonyx monardi*, *Porohalacarus alpinus*, *Lobohalacarus weberi*), sincaridi (*Bathynella* sp.), termosbenacei (*Tethysbaena siracusae*) isopodi asellidi (*Proasellus coxalis*), ostracodi, turbellari, gasteropodi ed anellidi (policheti, oligocheti). La fisionomia ecologica della stigofauna anchialina di questa parte della Sicilia risulta molto interessante. Accanto ad una bassa percentuale di elementi stigosseni, ad ampia adattabilità, figurano, infatti, numerosi rappresentanti più specializzati, alcuni propriamente stigobionti e di antico insediamento nelle biocenosi anchialine della regione (Pesce & Galassi, 1987), altri, "talassoidi", di più recente invasione nei biotopi sotterranei, che avrebbero colonizzato in concomitanza dei cicli geocratici del Mediterraneo durante il Mio-Pliocene, secondo il "Regression Model Evolution" suggerito da Stock (1977, 1980).

BIBLIOGRAFIA

- Boutin C. & Coineau N. 1990. "Regression Model", "Modèle biphasé" d'évolution et origine des micro-organismes stygobies interstitiels continentaux. *Rev. Micropaleontol.*, 33: 303-322.
- Boxshall G.A. 1989. Colonization of inland marine caves by misophrioid copepods. *J. Zool.*, 219: 521-526.
- Boxshall G.A. & Evstigneeva T.D. 1994. The evolution of species flocks of copepods in Lake Baikal a preliminary analysis. *Arch. Hydr. Balh. Limn.*, 44: 235-245.
- Boxshall G.A. & Jaume D. 2000. Discoveries of cave Misophrioids (Crustacea: Copepoda) shed new light on the origin of anchialine faunas. *Zool. Anz.*, 239: 1-19.
- Danielopol D.L., Baltanas A. & Bonaduce G. 1996. The darkness Syndrome in subsurface-shallow and deep-sea dwelling Ostracoda (Crustacea). In: Deep-sea and extreme shallow-water habitats: affinities and adaptations (Uiblein F., Ott J., & Stachowitsch M. Eds.). *Biosystematics and Ecology Series*, 11: 123-143.
- Hanamura Y. & Kase T. 2002. Marine cave mysids of the genus *Palaumysis* (Crustacea: Mysidacea), with a description of a new species from Philippines. *J. Nat. Hist.*, 36: 253-263.
- Holthuis L.B. 1973. Caridean shrimps found in land-locked saltwater pools at four Indo-West Pacific localities (Sinai Peninsula, Funafuti atoll, Maui and Hawaii islands), with the description of a new genus and four new species. *Zool. Verh.*, 128: 1-48.
- Hsu K.J. 1978. When the Black sea was drained. *Sci. Amer.*, 238 (5): 53-63.
- Humphreys W.F. 1993. Stygofauna in semi-arid tropical Western Australia: a Tethyan connection? *Mem. Biospeol.*, 20: 111-116.
- Iliffe T.M. 1991. Anchialine fauna of the Galapagos Islands. In: Galapagos Marine Invertebrates (James M.J. ed.), Plenum Press, New York: 209-211.

- Illife T.M. 2000. Anchialine cave ecology. In: Ecosystems of the World. 30. Subterranean Ecosystems (Wilkens H., Culver B.C. & Humphreys W.F. Eds.) Elsevier Science, Amsterdam: 59-76.
- Illife T.M., Hart C.W. & Manning R.B. 1983. Biogeography and the caves of Bermuda. *Nature*, 302: 141-142.
- Jaume, D. & Humphreys W.F. 2001. A new genus of epactericid calanoid copepod from an anchialine sinkhole on northwestern Australia. *Journal of Crustacean Biology*, Lawrence. 21(1): 157-169
- Juberthiè C. & Decu V. 1994. Structure et diversité du domain souterrain: particularités des habitats et adaptations des especès. In: Encyclopaedia Biospeleologica, Moulis-Bucarest: 5-22.
- Karanovic I. & G. L. Pesce. 2000. *Trapezicandona italica* n.sp. from the underground waters of southern Italy (Crustacea, Ostracoda). *Fragm. Entom.*, 32 (2): 212-224.
- Kornicker L.S. & Illife T.M. 1985. Deeveyinae, a new subfamily of Ostracoda (Halocyprididae) from a marine cave on the Turks and Caicos Islands. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 98: 476-493.
- Pesce G.L., Fusacchia G., Maggi G. & Tetè P. 1978. Ricerche faunistiche in acque freatiche del Salento. *Thalassia Salentina*, 8: 1-51.
- Pesce G.L. & Galassi D.P. 1987. Copepodi di acque sotterranee della Sicilia. *Animalia*, 14 (1/3): 193-235.
- Pesce G.L. & Illife T.M. 2002. New records of cave-dwelling mysids from the Bahamas and Mexico with description of *Palaumysis bahamaensis* n. sp. (Crustacea: Mysidacea). *J. nat. Hist.*, 36: 265-278.
- Pesce G.L. & Pagliani T.. 1997. Gli ambienti anchialini della Puglia e la loro fauna. *Thalassia Salentina*, suppl. v. 23: 89-102.
- Riedl R. 1966. Biologie der Meershoelen. Ed. Verlag P. Parey, Berlin: 1-23.
- Rouch R. & Danielopol D.L. 1987. L'origine de la faune aquatique souterraine, entre le paradigme du refuge et le modele de la colonisation active. *Stygologia*, 3: 345-372.
- Sket B. 1996. The ecology of anchialine caves. *Trends in Ecology and Evolution*, 11 (5): 221-224.
- Stock J.H. 1977. The taxonomy and zoogeography of the hadziid Amphipoda, with emphasis on the West Indian taxa. *Stud. Fauna Curacao*, 177: 1-130.
- Stock J.H. 1980. Regression model evolution as exemplified by the genus *Pseudoniphargus* (Amphipoda). *Bijdr. Dierk.*, 50: 105-144.
- Stock J.H. 1986. Deep sea origin of cave faunas, an unlikely supposition. *Stygologia*, 2: 105-111.
- Stock J.H. 1990. Insular groundwater biotas in the (sub) tropical Atlantic: a biogeographic synthesis. *Atti Conv. Lincei*, 85: 695-713.
- Stock J.H. 1994. Biogeographic synthesis of the insular groundwater faunas of the (sub) tropical Atlantic. *Hydrobiologia*, 287: 105-117.
- Vacelet J. & Boury-Esnault N. 1995. Carnivorous sponges. *Nature*, 373: 333-335.
- Van Soest R.W.M. & Sass D.B. 1981. Marine sponges from an island cave of San Salvador Island, Bahamas. *Bijdr. Dierk.*, 51: 332-344.

Ricevuto 16 maggio 2001; revisionato 31 luglio 2001; accettato 25 febbraio 2002.