



## Biospeleologia

LEONARDO LATELLA · FABIO STOCH

53

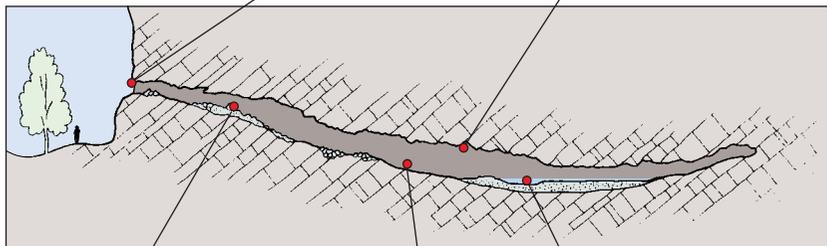
### ■ La biospeleologia in Italia

**Le origini.** Per ritrovare i primi cenni dell'interesse per la fauna ipogea in Italia si deve risalire molto indietro nel tempo: è della seconda metà del cinquecento la lettera che il vicentino Gian Giacomo Trissino scrisse a Fra Leandro Alberti descrivendo alcuni "gamberetti picciolini" sui Monti Berici (si trattava di crostacei anfipodi, l'odierno *Niphargus costozzae*). Ma si tratta di pura curiosità, non di ricerche scientifiche. Bisogna infatti aspettare il 1689 per avere nuovamente notizie di animali cavernicoli: in tale anno il barone Johan Weichard Valvasor parla infatti di un "piccolo di drago" rinvenuto in una sorgente nella Carniola. Nel secolo successivo (1768) Joseph Nicolaus Laurenti descrive il "piccolo drago" dandogli il nome di *Proteus anguinus* ed inquadrandolo nel gruppo che oggi chiamiamo degli anfibi urodeli, pur non riconoscendolo come vero animale troglobio. La prima descrizione scientifica di un animale realmente raccolto all'interno di una grotta è quella effettuata da Ferdinand Schmidt che, nel 1831, descrisse *Leptodirus hochenwarti*, insetto troglobio raccolto nella Grotta di Postumia. È forse da quella data che possiamo ritenere che la scienza fa il suo ingresso ufficiale nelle caverne.

Da quella data infatti prese il via una lunga serie di ricerche zoologiche mirate alla conoscenza degli animali cavernicoli e proprio le grotte di Postumia, in quegli anni aperte per la prima volta ai visitatori, possono essere considerate il primo fulcro intorno al quale cominciò a ruotare la moderna biospeleologia. Nella prima metà del novecento vennero pubblicati, in Italia, i primi lavori scientifici sulle faune troglobie; tra queste opere pionieristiche vanno ricordati i lavori di Ruffo sulla fauna cavernicola della regione Veronese del 1938 ed il lavoro di Denis sui collemboli di caverne italiane, datato 1931. Ma accanto ad esse comincia a fiorire una ricca letteratura, dovuta principalmente a contributi di tassonomi che scoprono l'incredibile varietà della fauna sotterranea. Dopo quasi un decennio di stasi, dovuto in buona parte alla seconda Guerra Mondiale, gli studi riprendono con rinnovato entusiasmo; sono infatti degli anni cinquanta i lavori di Patrizi e Cerruti sulla fauna cavernicola del Lazio e delle regioni limitrofe (1950) e sulla fauna cavernicola del Lazio e Sardegna (1953), di Conci sulla fauna cavernicola della Venezia Tridentina (1951), di Ruffo sulla fauna cavernicola della Puglia (1955) e di Franciscolo sulla fauna cavernicola

*Sphaeromides virei*

La distribuzione di trogllosseni, troglafilii e trogllobi in una cavità è condizionata dalla variazione della luce, dall'accessibilità e dai microambienti presenti



del Savonese (1955), per citare solo alcuni dei più importanti contributi di interesse generale. Negli ultimi quarant'anni il numero degli zoologi italiani che si occupano di problemi riguardanti la biospeleologia e le acque sotterranee diviene numeroso; ma questa è storia recente e la biospeleologia ha ormai assunto il rango di Scienza.

La biospeleologia sta avendo nel corso dell'ultimo decennio nuovo impulso ad opera di numerosi ricercatori italiani, che hanno rivolto i loro interessi essenzialmente verso tre grandi tematiche: tassonomia (scoperta e descrizione di nuove specie cavernicole), evoluzione e biogeografia (anche con l'ausilio di tecniche di biologia molecolare), ed in minor misura ecologia. Dopo i pionieristici inizi e la consacrazione a disciplina a sé stante, le varie branche della biospeleologia si avviano ad essere integrate nelle più ampie tematiche dell'ecologia generale e della teoria dell'evoluzione, e l'ambiente sotterraneo sta perdendo quella qualifica di "ambiente speciale" che aveva fascinosamente conservato sino a qual-

che decennio orsono. Si è infatti visto che molti paradigmi, che volevano raffigurare la specializzazione alla vita nelle grotte come un vicolo cieco nell'evoluzione, i cavernicoli come sparuti relitti indotti a colonizzare l'ambiente sotterraneo perché spinti da condizioni ambientali avverse e l'ambiente sotterraneo come povero di specie, sono scarsamente supportati dalle osservazioni. Le grotte cioè sono da considerarsi ambienti governati dalle stesse regole degli ambienti di superficie ove dominano pochi fattori limitanti (in questo caso assenza di luce e ridotta disponibilità di risorse). Ciò tuttavia non sminuisce l'interesse per le grotte che, per la semplicità delle loro comunità, vengono considerate ottimi "modelli" su cui mettere alla prova teorie di interesse generale.

### ■ Classificazione degli ambienti sotterranei e della fauna cavernicola

**Gli ambienti sotterranei terrestri.** Per ecosistema cavernicolo si è inteso, per lungo tempo, principalmente la parte di sottosuolo accessibile all'uomo. Nelle ultime decine di anni si è però compreso che le cavità intese in senso "speleologico" non sono gli unici ambienti dove si svolge la vita animale. Gli ambienti cavernicoli terrestri possono essere sommariamente divisi in tre grandi gruppi: le cavità naturali propriamente dette, cioè accessibili all'uomo; l'ambiente sotterraneo superficiale (MSS per gli autori francesi) e le cavità artificiali create dall'uomo.

Le prime sono costituite da aree con spazi, a volte molto ampi, che possono ospitare quindi anche animali di più grandi dimensioni come pipistrelli e anfibi. All'interno di questi spazi i diversi fattori ecologici influenzano l'ambiente e di conseguenza la distribuzione degli animali che vi abitano. È quindi possibile individuare, in molte grotte, la presenza di diverse associazioni faunistiche ben evidenti. Nella zona di ingresso si possono incontrare, a seconda del periodo dell'anno e della quota (questo settore risente molto delle variazioni stagionali del clima), diversi animali che trovano rifugio in questa parte umida e protetta: comuni sono alcuni uccelli come il piccione, lo scricciolo ed il gracchio comune (quest'ultimo prevalentemente in grotte verticali d'alta quota), che nidificano spesso presso gli ingressi delle grotte o alcuni mammiferi come il ghio, anfibi caudati ed anuri, molluschi, insetti ed altri artropodi come isopodi e diplopodi. Dalla zona di penombra fino alla parte iniziale della zona oscura si incontra, sulle pareti della grotta, un insieme di individui appartenenti a diversi gruppi tassonomici che costituiscono la cosiddetta associazione parietale. Si tratta di una comunità piuttosto eterogenea che occupa normalmente le pareti e la volta delle cavità ed è composta da elementi che abitano abitualmente le grotte, anche nelle zone più interne (troglafilii) e da elementi che solo saltuariamente visitano le cavità (trogllosseni) o che le utilizzano come sito di estivazione o ibernazione. Tra questi sono comuni ditteri, lepidotteri, ortotteri rafidoforidi e

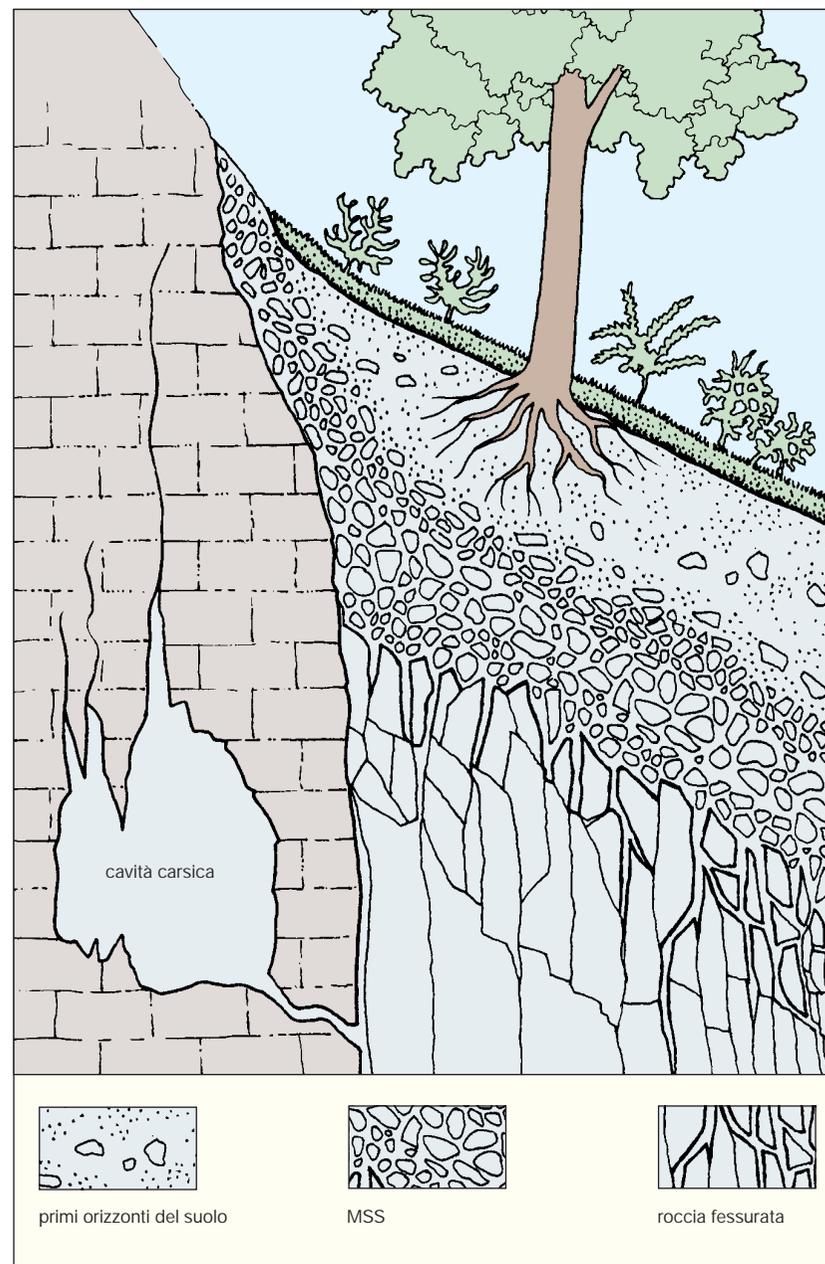


Sala concrezionata nella Grotta Nuova di Villanova (Friuli)

grillidi, tricotteri, ragni ed opilioni. Anche la composizione dell'associazione parietale, in maniera minore rispetto a quella degli ingressi, è condizionata da diversi fattori, come la struttura della grotta, la quota a cui si apre, le variazioni climatiche stagionali. Le zone interne delle grotte possono essere utilizzate dalle colonie di pipistrelli che, con le loro deiezioni ricche di sostanze nutritive, formano il cosiddetto guano che rappresenta una importante fonte di cibo per moltissime specie (guanobi). I guanobi si possono incontrare intorno o sopra i depositi che si formano al di sotto delle colonie, ed i più comuni sono oligocheti, acari, collemboli, coleotteri, ditteri, microlepidotteri e molluschi.

Come per i componenti dell'associazione parietale, anche gli elementi che costituiscono questa associazione guanobia possono appartenere a differenti categorie ecologiche, che convivono attorno ad una fonte alimentare di eccezionale importanza in un ambiente altrimenti povero di risorse. Il popolamento del guano si modifica in funzione degli spostamenti dei pipistrelli, ai quali è ovviamente strettamente legato; infatti, a seconda della freschezza e della quantità di guano, variano gli animali che vi si possono incontrare.

Nelle zone più profonde delle grotte, dove la temperatura è costante, l'umidità è elevata ed il buio totale, si incontrano i veri cavernicoli terrestri. Gli animali che abitano questo ambiente si trovano tra il terriccio e sotto i sassi sul pavimento delle cavità, sulle colate stalagmitiche o nei pressi di detriti organici, vegetali o animali. Questi animali, di solito di piccole dimensioni, spesso si spostano anche nell'ambiente sotterraneo superficiale, il secondo degli ambienti sotterranei menzionati in precedenza, formato dall'insieme di microfessure nella roccia frantumata situato sotto l'ultimo orizzonte del suolo e che spesso mette in collegamento le grotte con il resto del reticolo carsico che a noi non è possibile percorrere. Recenti studi hanno dimostrato che alcune specie di coleotteri troglobi passano diversi periodi dell'anno in questo ambiente, frequentando le grotte solo in determinate stagioni. L'ambiente sotterraneo superficiale non è però sempre in continuità con quello delle grotte; più spesso si trova in aree dove non sono note cavità, consentendo comunque la vita a molte specie animali.



Rappresentazione schematica degli ambienti sotterranei terrestri

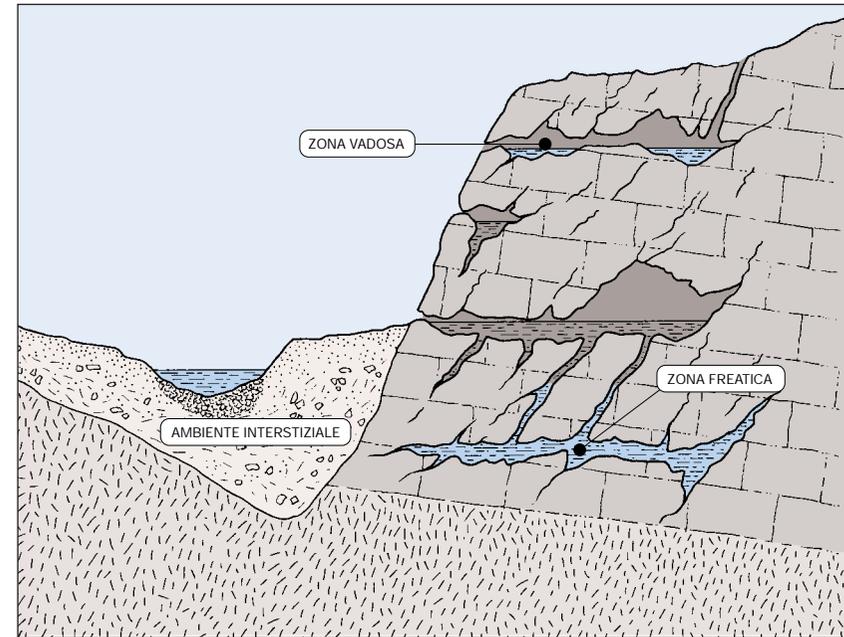
L'ultimo degli ambienti sotterranei citati è quello creato dalle cavità artificiali. Gli studi sul popolamento di questi ambienti non sono ancora così approfonditi come per le cavità naturali. Numerosi studi faunistici sono stati comunque condotti su questi particolari ambienti a partire dal XIX secolo. Diverse nuove specie sono state descritte su materiali raccolti in cavità artificiali; tra questi l'ortottero rafidoforide *Dolichopoda geniculata*, raccolta per la prima volta in un sotterraneo di Napoli nel 1833 e descritta da Costa nel 1860. Studiando gli individui raccolti nei sotterranei del castello di Brescia è stata effettuata la descrizione del coleottero leptodirino *Boldoria ghidinii*. I sotterranei della Certosa di Pesio, scavati in rocce carbonatiche, sono stati scelti da Sella come località tipica del coleottero trechino *Duvalius caranti*. Nel 1977 Karaman e Ruffo descrissero un nuovo anfipode delle catacombe in provincia di Siracusa, chiamato appunto *Echinogammarus catacumbae* (oggi *Tyrhenogammarus catacumbae*). Molti altri sarebbero gli esempi che testimoniano l'interesse di questi ambienti per gli studi di biospeleologia; tra questi non si può non ricordare la particolare importanza delle cavità artificiali scavate in rocce carbonatiche poco carsificabili (cave, cantine, gallerie di guerra, ecc.) che permettono di aprire una "finestra" su ambienti altrimenti impercorribili dall'uomo.

**Gli ambienti sotterranei acquatici.** Da un punto di vista dell'ecologia gli ambienti delle acque sotterranee possono essere ascritti a due grandi categorie: le acque che circolano in mezzi porosi (terreni alluvionali) e quelle che circolano in masse rocciose fratturate o carsificate. A queste due distinte categorie corrispondono faune distinte (solo lungo gli ecotoni troviamo commistioni di elementi faunistici) e adattamenti molto diversi degli organismi che vi abitano.

Delle acque che circolano nei terreni alluvionali non ci occuperemo, ma ci limiteremo a ricordare che costituiscono un affascinante ambiente in cui gli organismi che vi abitano (e che prendono il nome di freatobi quando vi sono esclusivi) sono ancora imperfettamente conosciuti e presentano vistose modificazioni corporee atte a renderli idonei alla vita negli spazi tra i granelli di ghiaia o sabbia (ambiente interstiziale).

Prenderemo invece in considerazione le acque che circolano nelle masse rocciose, circolazione che può avvenire sia in seguito a permeabilità per fratturazione (nelle rocce non carbonatiche, quali arenarie, oppure nelle rocce ignee o metamorfiche) che per carsismo (e pertanto circolazione in microfessure o condotte carsiche). Nell'ambito della circolazione idrica carsica rivestono notevole interesse per l'ecologia le tre zone distinte dagli idrogeologi.

Nella zona vadosa (ove prevale lo scorrimento verticale delle acque di percolazione) vive una fauna adattata alla vita nelle microfessure, che può essere occasionalmente raccolta nelle vaschette di stillicidio (i "gours" degli autori



Classificazione degli ambienti sotterranei acquatici

francesi). In questi ambienti troviamo organismi in genere minuti (anche pochi decimi di mm), dal corpo allungato o appiattito in relazione allo stile di vita (nematodi, oligocheti, e soprattutto crostacei copepodi, sincaridi ed anfipodi); ma non mancano specie di dimensioni superiori, come alcuni *Niphargus* che possono superare i 2 cm di lunghezza. L'isolamento geografico delle aree carsiche "fossili" in cui troviamo la sola zona vadosa è elevato, e questo ha favorito i fenomeni di speciazione; si tratta di una fauna ricca di elementi endemici. Le zone epifreatica e freatica invece, in cui prevale lo scorrimento orizzontale, ospitano in genere un numero più elevato di specie, alcune delle quali adatte alla vita in ampi spazi di acque libere; è questo il regno dei grossi crostacei (isopodi, anfipodi e decapodi) e del proteo. Ma non mancano in quest'area anche organismi di minori dimensioni, siano essi bentonici (cioè viventi sul fondo) che, sebbene più raramente, planctonici (ossia viventi in sospensione nelle acque).

**Classificazione degli organismi cavernicoli.** Non tutti gli organismi che frequentano gli ambienti ipogei presentano gli stessi adattamenti alla vita in questi particolari habitat. Per questo motivo sono state create categorie ecologiche che tengono conto delle caratteristiche adattative di ciascuna specie.



Classificazione degli organismi presenti nelle cavità naturali: trogllossen (rana), troglifilo (pipistrello), troglobio (proteo)

Per gli organismi che vivono nelle grotte si utilizza una classificazione proposta da Schiner nel 1854, adottata da Racovitza, Pavan ed altri e poi riveduta da Ruffo nel 1955. I cavernicoli vengono dunque suddivisi in quattro categorie fondamentali. Gli animali che si trovano in grotta solo accidentalmente, come quelli fluitati dalle acque o caduti all'interno dei pozzi nelle grotte verticali, sono detti trogllossen; quelli presenti con maggiore regolarità nelle grotte prendono invece il nome di troglifili, categoria composita che comprende in realtà due distinti gruppi di animali. Quelli che si trovano in grotta solo in alcuni periodi della loro vita e non presentano particolari adattamenti a questo ambiente sono i subtroglofilo; esempi di animali appartenenti a questa categoria ecologica sono forniti da alcuni ditteri (culicidi, limonidi) o dai pipistrelli, che abitano le grotte solo in alcuni periodi dell'anno o del giorno. Eutroglofilo sono chiamati invece quegli animali che, pur manifestando una spiccata preferenza per gli ambienti sotterranei e mostrando particolari adattamenti morfologici e fisiologici, possono però vivere e in alcuni casi riprodursi anche all'esterno; tra questi ad esempio le cavallette cavernicole (ortotteri rafidoforidi). Infine, i troglobi mostrano gli adattamenti più spinti per la vita cavernicola: nascono, si

riproducono e muoiono solo all'interno delle grotte o degli ambienti simili, come l'ambiente sotterraneo superficiale; sono i cavernicoli per eccellenza.

Gli organismi esclusivi delle acque sotterranee prendono invece il nome di stigobi (e, per analogia con i troglobi, vengono usati i termini stigofili - ed anche eustigofili - e stigossen). Questi termini, molto affascinanti in quanto evocanti il mitico Stige, il fiume che bisognava attraversare per entrare nell'Oltretomba della mitologia greca, sono ormai entrati nell'uso corrente; tuttavia non si riferiscono esclusivamente alla fauna delle grotte. Sono pertanto stigobi anche i freatobi, che vivono nell'ambiente interstiziale iporreico e nelle falde freatiche dei terreni alluvionali. È pertanto sempre opportuno, usando il termine stigobio che implica una serie di specializzazioni all'ambiente sotterraneo analoghe a quelle dei troglobi, specificare se si tratta di organismi cavernicoli o meno.

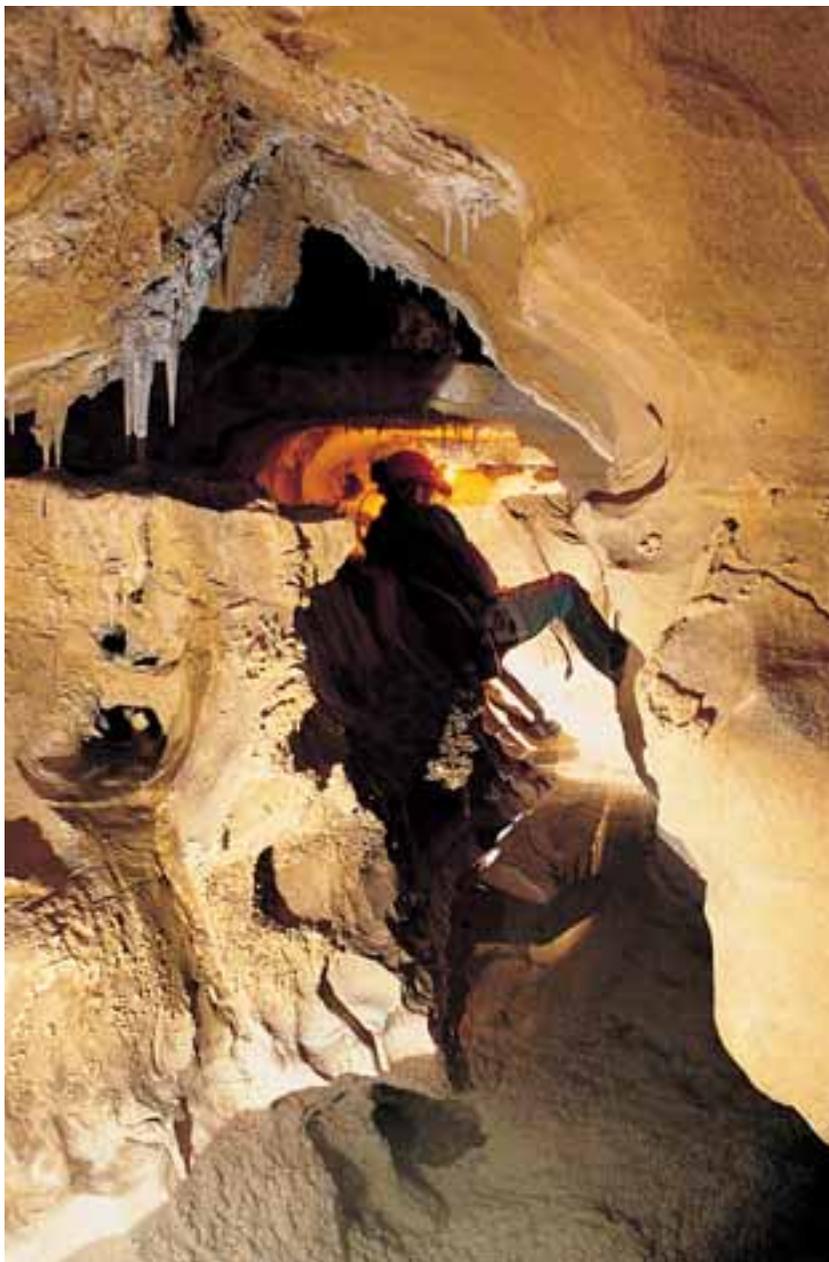
Attribuire tutti gli organismi cavernicoli a queste categorie non è sempre così facile come potrebbe sembrare; esistono infatti numerosi casi che si pongono in situazioni intermedie tra le diverse categorie. Si tratta però di una classificazione di grande valore pratico, e che consente di applicare ed interpretare schemi largamente adottati negli studi di biospeleologia.

#### ■ Metodi di studio degli organismi dell'ambiente ipogeo

##### Studi faunistici.

- Fauna terrestre. Le raccolte di organismi cavernicoli possono essere effettuate per conoscere quali sono le specie che popolano una determinata cavità (studi faunistici) o per il prelievo di individui di una o più specie al fine di effettuare poi degli studi in laboratorio. Raccolte di questo tipo possono essere effettuate mediante la "ricerca diretta" utilizzando delle pinzette entomologiche (particolari pinzette molto morbide che consentono di non rovinare gli esemplari), un aspiratore per gli organismi più piccoli e veloci, ed un pennellino per quelli ancora più minuti e delicati. Nel caso di specie difficilmente rinvenibili con la ricerca diretta si possono usare delle esche che, poste in alcuni punti della grotta e riparate sotto delle pietre, attireranno diversi animali, nonché i loro predatori. Ottimi attrattivi si sono rivelati la carne, il pesce, il formaggio forte e la frutta marcescente, lasciate in loco non meno di una settimana. Sono sicuramente da sconsigliare, tranne nel caso di particolari e giustificate ricerche scientifiche, le trappole a caduta che, se lasciate in loco per lungo tempo, possono provocare morie di massa ed un conseguente notevole impoverimento della fauna di una cavità, con conseguenti squilibri della comunità cavernicola.

Per la raccolta di animali che si nascondono nel terriccio e nel guano si può utilizzare in laboratorio il selettore Berlese. Questo apparecchio è formato da un setaccio, con maglie 0.2-0.3 cm, su cui vengono posti la terra o il guano



Risorgiva dello Star Cedat (Valli del Natisone, Friuli)



Misurazione di una cavalletta cavernicola prima del rilascio nel suo ambiente

raccolti e che a sua volta è posto sopra un imbuto sorretto da un treppiede o da un sostegno di altro tipo. Alla base dell'imbuto sarà posto un barattolo con dell'alcool o altro liquido conservante. A mano a mano che gli strati superficiali di terra o di guano si seccano, gli animali, seguendo la loro spiccata igrofilia, tendono a scendere verso gli strati ancora umidi fino a cadere nell'imbuto, attraverso le maglie del setaccio, e quindi nel liquido conservante.

Per la conservazione ed il trasporto degli animali è sufficiente una provetta

di alcool a 70° (che non deve però essere denaturato, per evitare un eccessivo indurimento degli esemplari) ed eventualmente un barattolo con dei trucioli di sughero, spruzzati di etere acetico (etile acetato), per i coleotteri.

È fondamentale che sia utilizzata una provetta per ciascuna grotta e che al suo interno venga inserito sempre un cartellino, scritto a matita, o meglio a china, affinché non sbiadisca, sul quale devono essere indicate la regione dove si apre la cavità, il comune e la località più vicina, il nome della grotta e, se conosciuto, il numero di catasto, la data della raccolta ed il nome di chi l'ha effettuata.

Un altro motivo per cui si possono effettuare delle raccolte in grotta è lo studio ecologico delle comunità cavernicole. Esempi di questo tipo di ricerche sono gli studi sulla dinamica di determinate popolazioni durante certi periodi o le analisi sulle modalità di utilizzo della grotta da parte di una o più specie nel tempo e le interazioni tra di esse. Per queste raccolte quantitative si possono utilizzare alcuni degli strumenti a cui abbiamo accennato prima, come i selettori Berlese e le trappole a caduta. La condizione fondamentale, per questo tipo di studi, è che i prelievi siano standardizzati e quindi ripetibili nel tempo e comparabili tra loro. Non sempre però è necessario prelevare gli organismi per effettuare questi studi. Spesso è infatti possibile effettuare dei conteggi e dei marcaggi direttamente in grotta e senza arrecare un eccessivo disturbo agli animali.

Accanto agli studi che si possono effettuare utilizzando animali conservati o direttamente sul campo su animali liberi, vi sono numerose ricerche che possono essere condotte su animali tenuti in allevamento. Si tratta per lo più di studi di etologia e fisiologia che per essere compiuti richiedono la disponibilità di strutture complesse come i laboratori di biospeleologia.

- Fauna acquatica. La fauna delle acque carsiche sotterranee può venir raccolta con metodiche specialistiche e differenti a seconda che l'indagine

riguardi le acque vadose, epifreatiche o freatiche. Ogni raccolta dovrebbe essere sempre corredata dal rilevamento dei parametri chimico-fisici principali (almeno la temperatura e, se possibile, la conduttività) e da opportune annotazioni sulla tipologia ambientale campionata. Ricordiamo ancora una volta che una raccolta priva dell'esatta etichetta di data e località (sempre accompagnata, se esistente, dal numero di catasto della cavità) è completamente inutilizzabile per lo studio e pertanto inutile.

In grotta si usano tre metodiche principali per la raccolta della fauna acquatica: caccia a vista, filtraggio dell'acqua e trappolamenti.

- **Raccolta a vista.** È senz'altro l'unico metodo efficace per la cattura degli esemplari di maggiori dimensioni, che possono essere raccolti con le pinzette o con piccoli retini da acquario. Il metodo però fornisce solo le specie più grandi e trascura la frazione più importante della fauna, costituita da organismi di piccole dimensioni molto difficili da individuare ad occhio nudo.

- **Filtraggio dell'acqua.** Strumento indispensabile per raccogliere gli animali più minuti è il retino da plancton, modificato per l'uso in grotta. Si tratta di un retino in tessuto di nylon a maglie molto fitte (0.07-0.1 mm), munito di bicchierino terminale in cui si raccolgono i detriti e gli organismi quando l'acqua viene filtrata. Il retino in uso nelle grotte è spesso immanicato, più corto dei retini tradizionali (per impedire che si impigli nelle anfrattuosità degli angusti vani sotterranei), con bocca a semicerchio (diametro di circa 20 cm) e con telaio rinforzato ed angoli rivestiti da tela robusta o lamine metalliche; altrimenti lo strumento in grotta ha breve durata.

Nella zona vadosa si usa filtrare l'acqua delle pozzette di stillicidio o dei rivoletti di percolazione con il retino raccogliendola con una piccola pompa a mano o con una peretta di gomma. Nei ruscelli e torrenti in cui la portata lo consente si dispone il retino con la bocca controcorrente e si rimuove il detrito a monte, raccogliendo il sedimento che viene trascinato dalla corrente. Nei sifoni e laghetti infine si procede come nelle raccolte d'acqua di superficie, filtrando l'acqua con il retino immanicato ma avendo sempre cura di smuovere il detrito di fondo e raschiare le pareti. Considerata la bassa densità di individui nelle acque sot-



Raccolta di campioni di fauna acquatica mediante retino di plancton

terranee e la rarità di alcune specie, è opportuno eseguire i prelievi molto a lungo e ripeterli in diverse condizioni idrologiche.

Talora, negli spessi depositi ghiaiosi dei torrenti di alcune cavità è opportuno usare le tecniche che si adoperano per le acque interstiziali iporreiche dei fiumi di superficie (pompaggio Bou-Rouch o tecnica Karaman-Chappuis), che si ritrovano nei manuali specializzati. Per raccogliere i nicchi di molluschi in questi ambienti è necessario prelevare sufficienti quantità di sedimento che verranno poi esaminate in laboratorio.

- **Trappolaggio.** Le trappole più comuni consistono di semplici barattoli di conserva, senza tappo, in cui si pone l'esca, in genere un pezzetto di carne fresca (ottimo il fegato, ma anche salame, prosciutto e formaggio sono stati sperimentati con successo). Il metodo attira per lo più grossi crostacei isopodi, anfipodi e decapodi, talora in gran numero; per questo motivo è necessario lasciare aperti i barattoli ed evitare l'uso di nasse che, se dimenticate, analogamente alle trappole a caduta per la fauna terrestre, potrebbero causare morie di massa di specie rare e localizzate.

**Etica della ricerca biospeleologica.** Prelievi occasionali di fauna ad invertebrati in una cavità indubbiamente non arrecano alcun danno alle comunità ipogee, poiché la grotta è soltanto una finestra su un vastissimo sistema di microfessure e gli organismi che vi possiamo raccogliere sono solo una piccolissima frazione di quelli esistenti. Si pensi ad esempio che durante le piene possono venir trascinati all'aperto, e destinati a morte certa, migliaia di organismi per ogni metro cubo di acqua che fuoriesce da una risorgenza carsica; un prelievo manuale raramente fornisce più di qualche decina di esemplari, e il suo impatto sull'ecosistema cavernicolo è pertanto insignificante.

Ben altra cosa sono invece i trappolamenti o i campionamenti ripetitivi in uno stesso sito. È noto che le trappole attirano organismi anche da notevoli distanze e possono causare morie di specie rare che potrebbero incidere negativamente sulla consistenza numerica di popolazioni esigue; queste metodiche vanno pertanto utilizzate con estrema oculatezza e sempre sotto la supervisione di persone esperte.

Un discorso diverso meritano ovviamente i vertebrati, per i quali esistono precise norme di legge (dalla Direttiva Habitat, che trova il suo regolamento applicativo nel DPR 8 settembre 1997, n. 357, alla Convenzione di Berna e a varie normative regionali) che ne vietano la raccolta, l'uccisione, la detenzione e commercializzazione, nonché il danneggiamento dei siti di sosta e riproduzione. Queste normative impongono il totale rispetto di tutti i vertebrati cavernicoli italiani, con particolare riguardo al proteo, ai geotritoni ed ai pipistrelli, nonché del loro ambiente. Per questi animali le tecniche di studio utilizzabili, da parte esclusivamente di persone esperte e con importanti finalità scientifi-

che, possono riguardare solamente il censimento, la fotografia e le osservazioni sul comportamento e l'alimentazione, ricerche che comunque è opportuno condurre nei momenti meno delicati del ciclo vitale (si pensi ad esempio alla necessità di non disturbare le nursery dei pipistrelli).

La necessità di condurre le ricerche con ocularità, evitando, oltre all'eccessivo o inopportuno prelievo, anche tecniche che possano alterare l'ambiente fisico (quali scavi o manomissioni eccessive dei siti), trova la sua motivazione, oltre che nelle ovvie esigenze di tutela, anche in quell'etica della ricerca che ogni biospeleologo o semplice appassionato dovrebbe seguire nel rispetto dell'ambiente e degli organismi che studia.

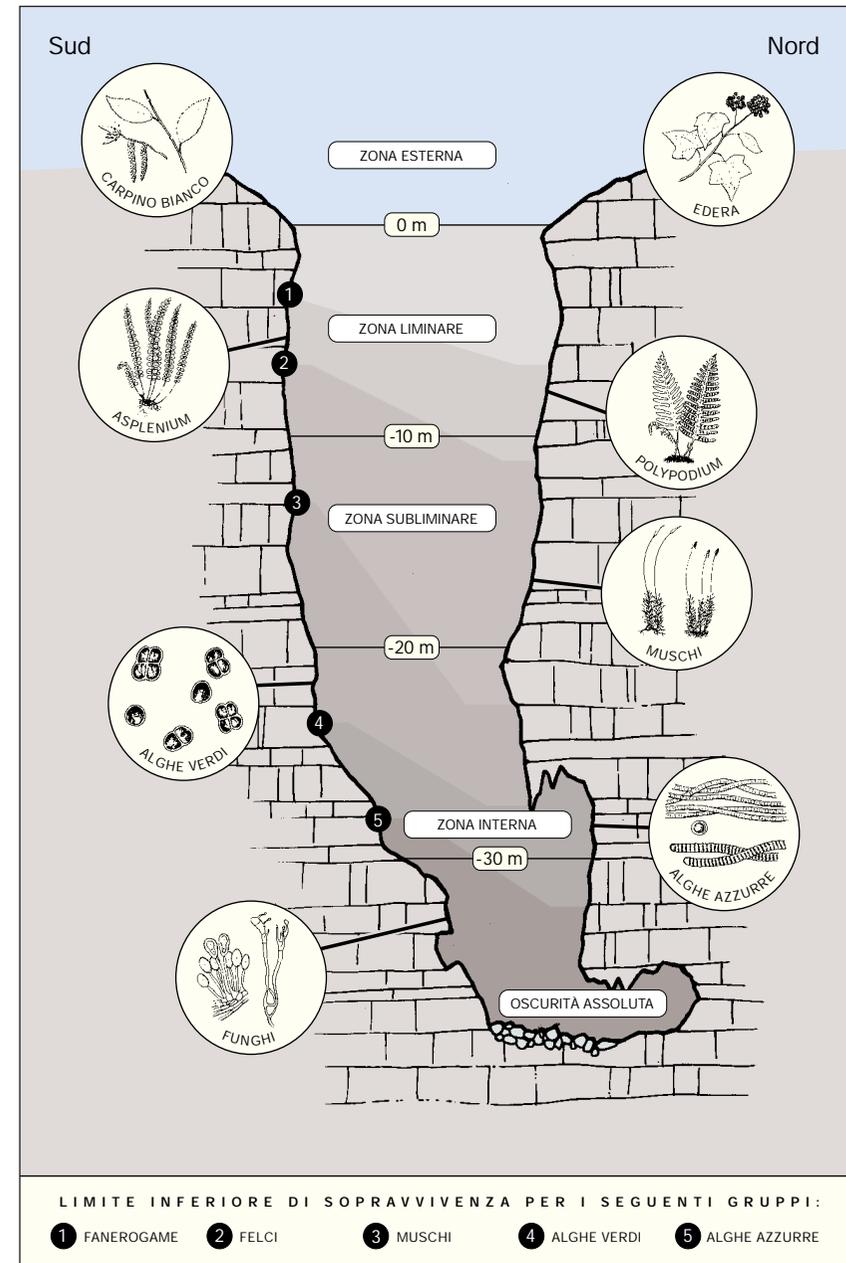
### ■ La vegetazione delle grotte

**Seriazione vegetazionale all'entrata delle grotte.** Le voragini e le doline presentano una vegetazione piuttosto particolare; la rapida variazione delle condizioni ambientali dà origine al ben noto fenomeno di "stratificazione inversa" della flora. La dolina può infatti essere paragonata ad una montagna capovolta la cui sommità corrisponda al fondo dell'imbuto. Esempio classico di questo fenomeno è la grande dolina del Carso sloveno, profonda 90 metri, denominata Grande Paradana. Le pareti di questo gigantesco imbuto presentano una distribuzione della flora simile a quella che si può osservare risalendo i pendii di un'alta montagna: nei primi 50 metri di discesa è presente un bosco di abeti rossi; dai 50 ai 70 metri gli abeti hanno uno sviluppo ridotto e sono contorti mentre si incontrano rododendri, tipiche piante alpine, ed abbondano le felci; fino agli 80 metri prosperano i salici nani ed i muschi; dagli 80 ai 90 metri si incontrano solo muschi, simili a quelli presenti all'interno delle cavità, ed infine solo ghiaccio.

L'imboccatura di grotte e voragini può considerarsi come una fascia di transizione tra l'ambiente di superficie e quello sotterraneo (ecotono).

In relazione all'intensità degli stimoli luminosi le grotte sono state distinte dai botanici in tre diverse zone: la zona dell'ingresso (a sua volta suddivisa in settore esterno ed interno) dove vivono ancora le fanerogame, con una intensità luminosa ridotta fino a 1/500 di quella esterna; la zona di transizione, anch'essa suddivisa in un settore esterno, caratterizzato dalla presenza di crittogame (muschi e felci), con intensità luminosa ridotta fino ad 1/1000 ed un settore interno, dove si spingono alcune alghe ed i funghi, che si estende dalla zona con luce molto bassa fino all'inizio della zona profonda; quest'ultima infine è caratterizzata dalla completa oscurità.

Questa seriazione vegetazionale, particolarmente evidente nel caso dei pozzi verticali, è stata correlata dal botanico triestino Livio Poldini con i meccanismi riproduttivi dei vegetali che compongono le diverse fasce vegetazionali, met-



Seriazione della vegetazione lungo le pareti di un pozzo carsico

tendo in evidenza un aspetto particolare del problema, con notevoli risvolti didattici. La riproduzione delle alghe, sia sessuata (cioè che si compie mediante fusione di cellule sessuali, o gameti, maschili e femminili) sia asessuata (mediante spore o semplici divisioni cellulari) presenta complessi cicli tutti indissolubilmente legati alla presenza di acqua. Con i muschi la fase sessuale prevale su quella asessuale; la piantina di muschio con le foglioline (gametofito) produce i gameti, legati all'acqua per la fecondazione; le spore invece sono portate in un'urna da un piccolo filamento (sporofito) che spunta dal gametofito. Le spore, che daranno origine a nuove piantine di gametofito, possono venir veicolate dal vento e pertanto sono slegate dall'acqua: ne consegue che i muschi dipendono dall'acqua per la sola riproduzione sessuale. Nelle felci la fronda che noi osserviamo è invece lo sporofito, che reca le spore nella pagina inferiore; la fase sessuata, legata all'acqua, è ridottissima. Nelle fanerogame infine il ciclo riproduttivo sessuale, legato ai fiori, non dipende più dalla presenza dell'acqua. Poiché la sequenza alghe - muschi - felci - fanerogame ricalca la sequenza dell'evoluzione delle piante, è possibile cogliere un parallelismo tra quanto avvenuto nel corso dell'evoluzione e la seriazione vegetazionale che incontriamo nei pozzi carsici. Risalendo dal fondo di una voragine verso la superficie, ripercorriamo idealmente le tappe dell'evoluzione delle piante, che hanno colonizzato le terre emerse affrancandosi progressivamente dalla presenza dell'acqua.

**La "flora" delle grotte.** La stretta dipendenza dei vegetali dalla presenza di stimoli luminosi ne condiziona fortemente la distribuzione nell'ambiente ipogeo. È per questo motivo che, ad eccezione di alcuni funghi e batteri (tradizionalmente inclusi nelle flore anche se non si tratta di vegetali), non si può parlare di una flora realmente troglobia, anche se alcune specie mostrano una spiccata preferenza per alcune zone delle cavità.

Nelle grotte turistiche e nelle cavità artificiali, illuminate artificialmente con lampade ad incandescenza o luci al neon, si può osservare, nelle vicinanze delle sorgenti luminose, una flora composta da specie esterne come diatomee, alghe azzurre e verdi, muschi ed alcune felci. Particolari lampade a luce "fredda", che i gestori di alcune grotte turistiche stanno utilizzando negli ultimi anni, consentono di prevenire l'insediamento di questi vegetali.

Esaminiamo ora brevemente gli organismi procarioti e vegetali che si possono incontrare inoltrandosi all'interno di una cavità naturale.

Per quanto riguarda i batteri, forse i più numerosi tra gli organismi che abitano il mondo sotterraneo ma anche i meno conosciuti, sono stati studiati alcuni ferrobatteri che intervengono nella deposizione del ferro sotto forma di idrossido ed i solfobatteri che fissano lo zolfo per ossidazione dell'idrogeno solforato prodotto dalla putrefazione delle sostanze organiche o di altri composti



I funghi crescono in assenza di luce su substrati organici marcescenti

dello zolfo presenti nelle acque termo-minerali. Recenti ricerche sulle formazioni sedimentarie hanno confermato inoltre la presenza di batteri specifici dell'ambiente sotterraneo. Batteri fotosintetici, infine, sono le alghe azzurre, o cianoficee, presenti nelle zone di ingresso. Da segnalare la presenza in Italia di *Geitleria calcarea*, cianoficea cavernicola presente in alcune grotte del centro e del meridione, che non sopravvive se esposta alla luce solare.

Alcuni autori tendono a considerare alcuni funghi laboulbeniali, parassiti del tegumento di insetti che vivono in ambienti con elevato tasso di umidità, come elementi cavernicoli. In realtà questa qualifica non è del tutto corretta, in quanto le specie di laboulbeniali che vivono sugli animali cavernicoli non presentano differenze morfologiche ed adattative evidenti rispetto a quelle che parassitano specie esterne. Nelle grotte italiane sono presenti i generi *Rhachomyces* e *Laboulbenia*, parassiti di alcuni coleotteri carabidi; il genere *Troglomyces*, parassita di un diplopode ed il genere *Arthrorhynchus* che si può incontrare su alcuni ditteri nictiribidi parassiti dei pipistrelli.

Altri funghi, come i basidiomiceti le cui spore sono facilmente trasportate dall'aria, sono frequenti nelle cavità su tronchi marcescenti, mentre sul guano dei

pipistrelli si possono facilmente osservare i bianchi cuscinetti formati dallo zigomicete *Mucor mucedo*.

Anche le alghe verdi si possono incontrare dalle zone di ingresso, dove formano estese macchie verde scuro, fino alle parti più interne di alcune grotte dove si trovano poche specie assieme a qualche xantoficea. Dei licheni si può dire poco; la maggior parte di essi sono infatti legati alle aree esterne alle grotte ed alla zona di ingresso. Il motivo della loro scarsa affezione per questi ambienti è da ricercare nel loro bisogno di energia luminosa (si tratta



Epatia (*Marchantia polymorpha*)



Phyllitis scolopendrium



Polypodium interjectum



Asplenium trichomanes



Asplenium ruta-muraria

di una simbiosi tra alghe e funghi) e di ambienti non eccessivamente umidi.

Di gran lunga più numerose sono invece le briofite, a cui appartengono i muschi e le epatiche. Insieme alle alghe verdi, dalle quali si sono evolute, le briofite sono i vegetali più diffusi all'interno delle cavità naturali. È possibile incontrare muschi fino al limite del settore esterno della zona di transizione, dove l'intensità luminosa è ridotta ad 1/1000 di quella esterna. Le epatiche sono presenti all'imbocco di molte grotte; tra i generi più diffusi nelle cavità italiane possiamo citare *Lophocolea*, *Marchantia* e *Plagiochila*. I muschi, più numerosi delle epatiche, si incontrano molto spesso nella zona esterna ed in quella di transizione. Alle nostre latitudini si possono incontrare, nella zona di ingresso, diverse specie appartenenti ai generi *Homalothecium*, *Ctenidium* e *Plagiothecium*, abitanti quasi obbligati di questa parte delle grotte; nella zona di transizione si incontrano *Thamnobryum* (*Thamnium*) *alopocurum* le cui fronde si riducono di dimensione e diventano meno ramificate all'inoltrarsi all'interno della cavità, *Isopterygium depressum* che è stato osservato in zone con luminosità ridotta a 1/2380, le diverse specie del genere *Fissidens* e *Mnium* e quello che da molti autori è considerato il muschio di grotta per eccellenza: *Schistostega pennata* (= *S. osmundacea*). Questa particolare briofita, che si sviluppa sulle rocce in grotte non calcaree, presenta particolari cellule lenticolari sferiche che le consentono di concentrare sui cloroplasti la pochissima luce proveniente dall'esterno; tali cellule funzionano come dei catari-frangenti dando alla minuscola pianta un aspetto luminescente.

Le felci (pteridofite), vegetali nettamente igrofilo, sono rappresentate nell'ambiente sotterraneo dall'asplenio (*Asplenium trichomanes*), che produce spore anche in condizioni di illuminazione ridottissima e si spinge anche molto all'interno

con individui sterili, dalla ruta muraria (*Asplenium ruta-muraria*), che si spinge meno all'interno e si trova di preferenza nelle grotte con l'apertura esposta a sud e da altre felci comuni nei nostri climi come il capelvenere (*Adiantum capillus-veneris*), la lingua cervina (*Phyllitis scolopendrium*) ed il polipodio (*Polypodium vulgare*, *P. interjectum* e altri).

Le fanerogame, piante a fiore, avendo bisogno di una quantità di luce piuttosto elevata per la fotosintesi, non possono addentrarsi molto all'interno delle grotte. Tra le pochissime piante verdi superiori che si spingono fino al settore interno della zona di ingresso si possono citare *Geranium robertianum*, che fiorisce in zone con luminosità ridotta, e *Mycelis muralis*. Altre fanerogame che si trovano nella zona di ingresso delle nostre cavità sono l'acetosella (*Oxalis acetosella*), il tarassaco (*Taraxacum officinale*) e la parietaria (*Parietaria officinalis*).

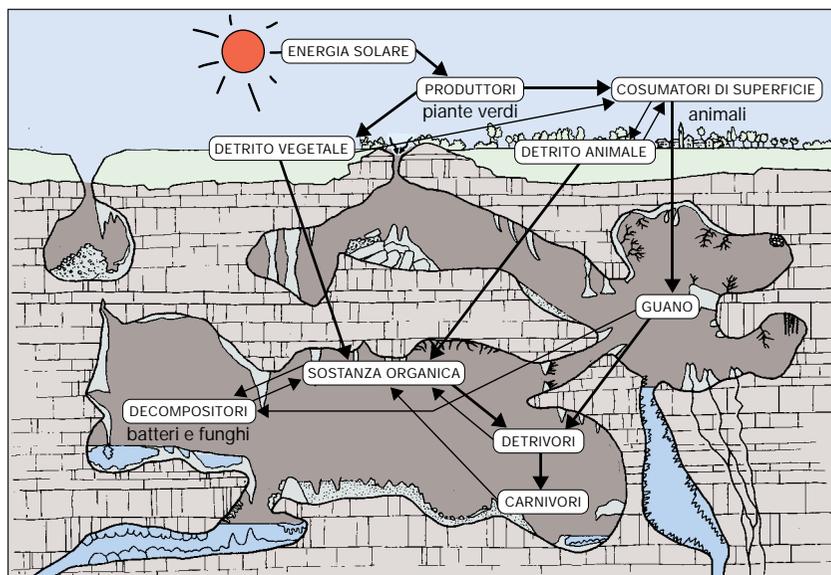
Le particolari condizioni climatiche che si creano all'interno delle cavità - umidità elevata, temperatura costante, scarsità di luce - hanno contribuito a fare delle grotte delle "zone di rifugio" per alcune specie ormai scomparse all'esterno ma che presentavano, in epoche in cui le condizioni climatiche erano più favorevoli, una più ampia distribuzione geografica. Esempi di tale fenomeno sono la felce subtropicale *Gymnogramme leptophylla* che si può rinvenire in alcune cavità delle valli centroalpine e *Pinguicula alpina*, presente sulle Alpi intorno ai 2000 metri e raccolta in una forra a 500 metri di altitudine nei pressi delle colline torinesi.

### Ecologia e adattamento.

- Componenti abiotiche, biotiche e rete alimentare. In ogni ecosistema, e pertanto anche in quello sotterraneo, si possono distinguere due grandi componenti: quelle abiotiche, cioè i parametri ambientali (siano essi morfologici o fisico-chimici) e quelle biotiche (legate cioè agli esseri viventi).

Dei fattori climatici si è parlato nel capitolo precedente, e pertanto verranno ora illustrate solo le influenze dei parametri ambientali sulla distribuzione ed ecologia degli organismi cavernicoli.

- Luce. Per quanto attiene la luce, è già stata esaminata la sua importanza nella zonazione della vegetazione all'imboccatura delle grotte e dei pozzi. Molte specie cavernicole presentano una particolare avversione nei confronti della luce, spesso non sopportandone l'esposizione diretta per lunghi periodi; per alcune specie, però, la luce non rappresenta sempre un fattore limitante. Già all'inizio del secolo era noto, ad esempio, che alcuni stigobi (*Monolista*, *Niphargus*) si potevano raccogliere con regolarità nelle sorgenti carsiche all'esterno delle bocche sorgentizie e che non sempre si trattava di trasporto passivo. Indagini mirate hanno fatto scoprire nel genere *Niphargus* vere e proprie migrazioni dall'ambiente sotterraneo a quello di superficie a scopo

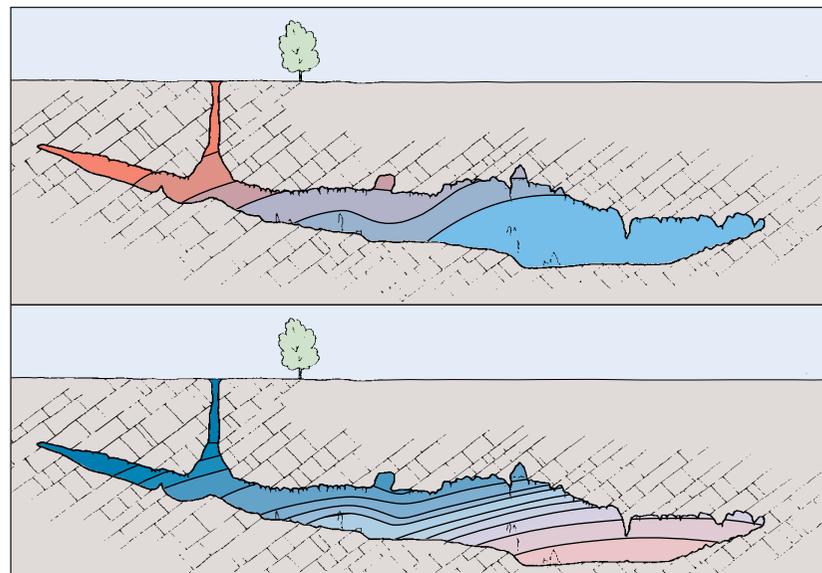


Rete alimentare dell'ambiente di grotta

trofico, cioè per trovare una più sicura ed abbondante fonte di nutrimento, ovviamente di preferenza nelle ore notturne (ma nei ruscelli di sottobosco anche durante il giorno). Questo comportamento è stato di recente documentato anche nel proteo.

- **Temperatura.** Normalmente la temperatura di una grotta corrisponde alla media annua della temperatura esterna. È quindi un parametro strettamente legato alla latitudine ed all'altitudine alla quale si apre la cavità. Anche la morfologia interna, l'andamento prevalentemente verticale od orizzontale e la presenza di più ingressi o di corsi d'acqua influenzano la temperatura interna di una determinata grotta.

Il ruolo della temperatura come fattore limitante per gli organismi cavernicoli è stato a lungo discusso. Si è infatti notato che anche animali con un elevato livello di specializzazione sopportano in laboratorio variazioni di temperatura anche di 20-25°. È noto, ad esempio, che alcune specie di *Niphargus*, pur avendo un optimum di temperatura tra 8 e 14°, tollerano variazioni comprese tra -0.5° e +24.5° e che lo sviluppo dei giovani è regolare tra 5 e 18°. Parametri simili sono stati riscontrati anche in alcuni coleotteri leptodirini, che presentano dei limiti letali compresi tra -5 e 25°, con limiti di attività compresi tra 0 e 20°. È ovvio che l'optimum termico varia nelle diverse specie di cavernicoli, che possono abitare sia grotte fredde d'alta quota, sia grotte calde dell'area mediterranea,



Differente distribuzione della temperatura in una grotta in estate (sopra) e in inverno (sotto)

ne, e che i limiti letali sono meno ampi negli animali più strettamente legati agli ambienti ipogei; è stato infatti dimostrato sperimentalmente che alcune cavallette della specie *Troglophilus andreinii*, che abitano grotte con temperature attorno ai 16° e presentano abitudini prettamente troglifile (non totalmente legate all'ambiente di grotta), tollerano anche temperature intorno ai 40°.

Alla luce di questi e di numerosi altri risultati ottenuti dalle ricerche effettuate, la temperatura, pur assumendo forse una rilevanza minore rispetto agli altri fattori abiotici come la luce e l'umidità, può essere comunque considerata un fattore condizionante la vita negli ambienti sotterranei.

- **Umidità.** Nelle grotte l'umidità è spesso prossima ai valori di saturazione e questo sembra essere uno dei fattori limitanti più importanti per i troglobi terrestri, molti dei quali trovano il loro intervallo di tolleranza in valori piuttosto elevati di umidità relativa (95-100%). È ben noto infatti ai biospeleologi come i tratti più secchi delle grotte, ove vi sono ad esempio correnti d'aria, siano quelli più poveri di fauna troglobia. L'umidità relativa agisce sul metabolismo generale, sulla respirazione e sull'assorbimento di acqua attraverso la cuticola. Sebbene appaia ovvio che gli organismi stigobi siano legati esclusivamente alla presenza di acqua allo stato liquido, non è raro raccogliere ad esempio i crostacei del genere *Niphargus* sotto le pietre o osservarli deambulare sul terreno umido anche ad alcuni metri di distanza dal bacino d'acqua. Si tratta pertanto



Il sole illumina il tratto iniziale di una cavità naturale

di una notevole tolleranza alla scarsità d'acqua, fenomeno che appare verosimilmente più sviluppato nelle specie che popolano la zona vadosa ed epifreatica delle cavità, dove le variazioni di livello dell'acqua sono notevoli; è noto che queste specie possono sopravvivere anche mesi in piccole loggette nell'argilla ove sia presente solo un velo d'acqua, comunque indispensabile per la respirazione. Il ruolo della possibilità di queste specie di spostarsi fuori dall'acqua come meccanismo di colonizzazione di nuove aree o nella ricerca di fonti alimentari permane inesplorato e dischiude affascinanti possibilità di indagine.

• Fattori biotici. Per quanto riguarda la componente biotica, negli ambienti di superficie vi sono due distinte categorie di esseri viventi: gli autotrofi (comprendente i produttori, essenzialmente le piante verdi) e gli eterotrofi (comprendente i consumatori, cioè gli animali, ma anche funghi e molti batteri). Nelle grotte la componente autotrofa è, come abbiamo visto, molto limitata, e la sua distribuzione è relegata in genere ai primi metri dall'entrata delle cavità (caverne e pozzi carsici), dove la luce penetra in maniera sufficiente a consentire lo sviluppo almeno delle alghe (verdi e azzurre); nell'ambiente sotterraneo vero e proprio questa componente è del tutto assente e le catene alimentari si reggono unicamente sul nutrimento proveniente dall'esterno. Il nutrimento viene veicolato all'interno delle cavità spesso sotto forma di solo detrito organico, e pertanto alla base delle piramidi alimentari delle grotte si pongono i detritivori, consumatori primari di sostanze animali e vegetali in decomposizione. Questo detrito è presente sia nel terreno, sia nell'acqua dove può trovarsi in sospensione o depositato sul fondo. Gli anelli successivi della catena alimentare includono invece essenzialmente i predatori. Si tratta pertanto di una rete alimentare semplificata, mancando i produttori e tutti i fitofagi, e dominata da detritivori e carnivori.

Recenti studi sono stati rivolti a quantificare il ruolo delle interazioni biotiche (principalmente predazione e competizione) nella strutturazione delle semplici comunità ipogee; tale ruolo sembra dimostrato con esperienze di laboratorio ed indagini in grotta, ma la sua importanza nell'ambiente naturale è dubbia e controversa. La vecchia ipotesi secondo la quale la presenza di due o più specie congeneriche in una stessa cavità è fenomeno rarissimo e incompatibile con il principio dell'esclusione competitiva è stata almeno in parte demolita. Recenti indagini hanno dimostrato che tale possibilità è funzione della complessità strutturale dell'habitat e della presenza di estese interconnessioni con altre cavità; riscontrare anche 5-6 specie congeneriche (come nel genere *Niphargus*) in una stessa grotta, anche se di modesta estensione, è fatto infrequente ma non rarissimo. Le osservazioni, di campagna e di laboratorio, su queste comunità cavernicole più complesse sono fortemente carenti, ed in Italia del tutto assenti; il campo d'indagine delle interazioni competitive nelle grotte temperate è in pratica inesplorato.

**Fattori ecologici che regolano la biodiversità.** Oltre che alla storia dell'area carsica, la biodiversità nelle grotte dipende da fattori ecologici che interagiscono in modo complesso. Tra questi, oltre all'effetto limitante di luce, temperatura ed umidità, vengono brevemente esaminati quelli che assumono particolare rilievo.

- **Eterogeneità dell'habitat.** La complessità strutturale dell'habitat, con la conseguente diversificazione dell'ambiente (presenza di fessure di diverse dimensioni e di aree a diversa circolazione idrica), crea la disponibilità di numerose nicchie spaziali che possono venir occupate dalle diverse specie e pertanto è direttamente proporzionale alla biodiversità di una grotta. Recenti ricerche sui diversi microhabitat di estesi sistemi carsici condotte anche nell'Italia nord-orientale hanno infatti dimostrato che i diversi microambienti ospitano faunule spesso completamente diverse, e che la distribuzione delle specie nell'area carsica è fortemente disomogenea.

- **Area.** L'estensione delle aree carsiche è importante, poiché aree più estese ospitano ovviamente un maggior numero di specie che possono arricchire anche le comunità locali; in sostanza, grotte situate in aree carsiche più estese possono essere più ricche di specie di grotte di pari dimensioni ma situate in aree carsiche più piccole. Questo fatto dimostra inoltre che in una grotta vi possono essere nicchie ecologiche libere, che vengono occupate solo in determinate aree geografiche.

- **Stabilità.** Gli ambienti cavernicoli sono in genere ritenuti stabili, con piccole fluttuazioni nei parametri ambientali, di gran lunga inferiori a quelle che avvengono in ambienti di superficie. Si riteneva un tempo che gli ambienti stabili fossero quelli più ricchi di specie, ma si è visto che in realtà non è così; l'instabilità ambientale diversifica le nicchie ecologiche e causa una netta successione di comunità diverse nel corso dell'anno, e per questo motivo spesso gli ambienti instabili sono più ricchi di specie di quelli stabili, come le grotte.

- **Produttività e disponibilità di risorse.** Ambienti ricchi di risorse ospitano in genere faune più ricche, anche se il numero di specie tende a diminuire, superata una certa soglia (negli ambienti troppo ricchi di risorse, cioè eutrofici). Le grotte sono in genere povere di risorse, anche se non mancano accumuli localizzati (detriti alla base dei pozzi, depositi di guano, ecc.) che possono arricchire le comunità; in questi casi tuttavia si assiste spesso ad un aumento dei troglodili e trogllosseni più che non dei troglobi. È noto che grotte molto povere (oligotrofiche) ospitano faune più povere; sembra pertanto che la disponibilità delle risorse alimentari giuochi un ruolo fondamentale nella regolazione della biodiversità.

**L'adattamento negli organismi cavernicoli.** Lo studio degli adattamenti degli animali che vivono nell'ambiente cavernicolo si può effettuare analizzan-



Gasteropode del genere *Oxychilus* che predica un lepidottero adulto (*Scoliopteryx libatrix*)

do le risposte adattative, molto spesso simili per gruppi animali anche molto diversi tra loro, che rappresentano interessanti esempi di convergenza evolutiva e che si manifestano a livello morfologico, fisiologico, eco-etologico e della struttura genetica delle popolazioni. Analizzando gli adattamenti morfologici dei cavernicoli si nota innanzitutto che vi sono strutture che subiscono un forte incremento ed altre per le quali si osserva una riduzione o rudimentazione. L'allungamento degli

arti e delle appendici è uno degli adattamenti più evidenti all'ambiente cavernicolo. L'aumento della lunghezza delle antenne negli artropodi troglobi permette loro di svolgere un importante ruolo tattile in un ambiente dove l'oscurità è totale; un ruolo analogo è svolto dalle seconde zampe di alcuni acari ed opilioni cavernicoli. L'allungamento delle antenne è seguito anche dallo sviluppo degli organi di senso in esse localizzati (chemiocettori, igrocettori, tattocettori, ecc.). L'aumento della lunghezza delle zampe consente di isolare il corpo dal terreno, con i suoi organi sensoriali laterali, e soprattutto amplia la possibilità di percepire l'ambiente circostante. L'allungamento delle setole tattili è anch'esso collegato con la percezione dell'ambiente in cui l'organismo si muove (l'acqua per alcuni crostacei, l'aria per altri artropodi terrestri). Una serie di esperimenti condotti su alcuni coleotteri colevidi ha dimostrato l'importanza dello sviluppo, negli animali cavernicoli, degli organi antennali collegati alla percezione del grado di umidità del terreno ed alla chemiorecezione. Uno di questi in particolare, detto organo di Hamann, consente agli animali di valutare il tasso di umidità presente evitando di avventurarsi in zone troppo secche, dove non sopravviverebbero a lungo. Un altro caratteristico adattamento, correlato al bisogno di ambienti umidi per i troglobi, è lo sviluppo inconsueto della superficie addominale e delle elitre che, soprattutto in alcuni coleotteri (trechini e leptodirini) più specializzati, assumono un aspetto globoso. Tale modificazione è detta "falsa fisogastrìa" ed è da mettere in relazione con la respirazione ed il bisogno di aria umida in questi coleotteri. In tali insetti si nota infatti una riduzione degli apparati respiratori (stigma e trachee) e la respirazione avviene così direttamente tramite la superficie tergale dell'addome, ridotta ad una sottile membrana, che si viene a trovare nella camera respiratoria formata dalle elitre rigonfie. In questo modo l'insetto può immagazzinare aria umida al di sotto delle elitre ed utilizzarla per la respirazione durante gli spostamenti in zone più secche.



Il proteo, unico vertebrato troglobio della fauna italiana

Le modificazioni fisiologiche che si osservano più frequentemente sono il metabolismo ridotto, la riduzione del ritmo circadiano, la bassa fecondità e l'aumento del volume delle uova. Il metabolismo ridotto consente, tra l'altro, di vivere utilizzando una minore quantità di cibo, che nelle grotte temperate normalmente non è molto abbondante. Esperimenti effettuati confrontando il consumo di ossigeno in specie esterne e cavernicole di anfipodi, isopodi, ragni, pesci ed altri gruppi animali hanno dimostrato il consumo ridotto di questo gas nelle specie che vivono in grotta. Sempre effettuando comparazioni tra gli organismi epigei e quelli ipogei, si è notata, in questi ultimi, la diminuzione della fecondità, l'aumento del volume delle uova e delle riserve vitelline, l'allungamento dello sviluppo embrionale e della fase adulta. Altra modificazione legata all'adattamento alla vita cavernicola è la perdita dei ritmi circadiani e della stagionalità, anche se quest'ultima non viene abbandonata in tutti i cavernicoli e diversi troglobi mostrano una stagionalità legata ai lievi cambiamenti climatici che si possono riscontrare in alcune grotte o alla variazione dell'apporto di sostanze alimentari provenienti dall'esterno.

Studi condotti sui pesci ciechi americani del genere *Amblyopsis* ci mostrano come la struttura encefalica risponda alle modificazioni morfologiche e sia sottoposta a modificazioni adattative. Infatti la grandezza dei lobi ottici, in questi pesci, diminuisce nelle specie cavernicole cieche rispetto a quelle che vivono fuori dalle grotte e si può notare un aumento della taglia del telencefalo, del cervelletto e dei canali semicirculari, recettori del movimento, degli otoliti che svolgono il ruolo di recettori dell'equilibrio e delle strutture legate all'interpretazione dei segnali provenienti dai tattocettori e della linea laterale.

Anche la genetica di popolazione consente di studiare le strategie adattative; ciò è evidente se si tiene presente che i geni sono i principali responsabili delle caratteristiche morfologiche, fisiologiche e comportamentali. I numerosi studi condotti da Sbordoni e collaboratori su specie cavernicole italiane e non, hanno confermato l'ipotesi di una maggiore variabilità genetica delle specie

troglobie rispetto a quelle epigee e dimostrato come questa variabilità tenda ad aumentare nei troglobi adattati da lungo tempo all'ambiente cavernicolo rispetto ai colonizzatori più recenti. Le cause di questa differenza vanno ricercate nella riduzione delle dimensioni della popolazione al momento dell'interazione del flusso genico con quella esterna; il livello normale di variabilità verrà poi recuperato con il passare delle generazioni e l'aumento della dimensione della popolazione.

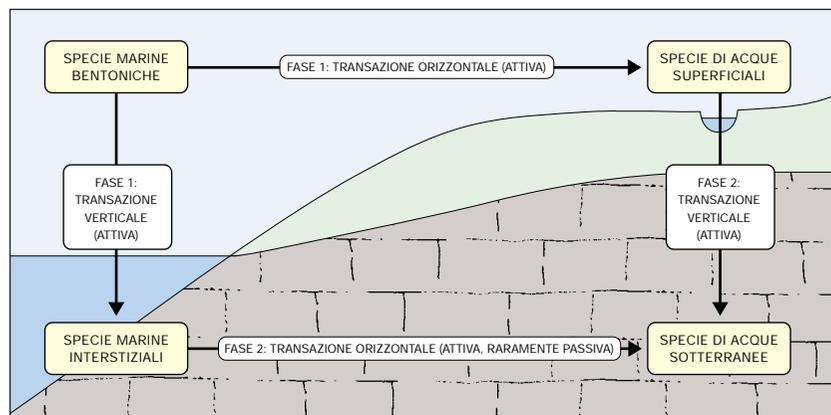
Insieme alla genetica, anche l'ecologia di popolazione offre interessanti informazioni per comprendere le strategie adattative; parametri come la dimensione di popolazione, la distribuzione spaziale e la struttura in classi di età sono infatti facilmente misurabili nelle popolazioni cavernicole. Sono ormai numerosi i dati raccolti, in grotte italiane, sull'ecologia di ortotteri rafidoforidi e coleotteri leptodirini.

Infine va ricordato che da circa vent'anni vengono condotti numerosi studi sul comportamento degli animali troglobi (etologia), in particolare sulle modalità di accoppiamento, la ricerca del cibo, la comunicazione inter- ed intraspecifica. Anche da queste ricerche vengono delle indicazioni, in alcuni casi ancora da interpretare, sulle strategie attuate dagli animali che hanno colonizzato l'ambiente sotterraneo.

#### ■ Origine, evoluzione e distribuzione dei troglobi

**Relitti o colonizzatori attivi?** Molto è stato scritto, e molto si è di recente dibattuto in simposi e riviste scientifiche, sull'origine della fauna cavernicola. Sostanzialmente vi sono due grandi teorie a confronto; la prima, che è stata sviluppata da numerosi autori classici e sintetizzata nel 1991 da Botosaneanu e Holsinger, si basa principalmente sul concetto di "relitti" e di "rifugio"; la seconda, espressa nella sua forma definitiva da Rouch e Danielopol nel 1987, parla di "colonizzazione attiva". La maggior parte dei modelli che spiegano l'origine degli organismi troglobi e stigobi parte dall'idea che l'ambiente sotterraneo sia un ambiente di rifugio. Questo concetto deriva in buona parte dallo studio delle grotte delle zone temperate, che avrebbero avuto la funzione di rifugi in cui gli antenati dei troglobi si sarebbero avventurati per sottrarsi alle vicissitudini climatiche del Pleistocene, ed in particolare alle glaciazioni ed ai periodi di siccità. Contrasta infatti con la ricchezza dei troglobi delle zone temperate una certa povertà faunistica delle grotte tropicali, dove ovviamente il fenomeno delle glaciazioni si è fatto sentire in misura ridotta. Questa interpretazione riassume in particolare le idee di due importanti autori, Jeannel (negli anni dal 1923 al 1956) e Vandel (1964).

Jeannel, noto studioso francese di coleotteri cavernicoli, pensava che i troglobi appartenessero a delle linee filogeneticamente antiche e molto specializza-



Vie di colonizzazione delle acque dolci sotterranee

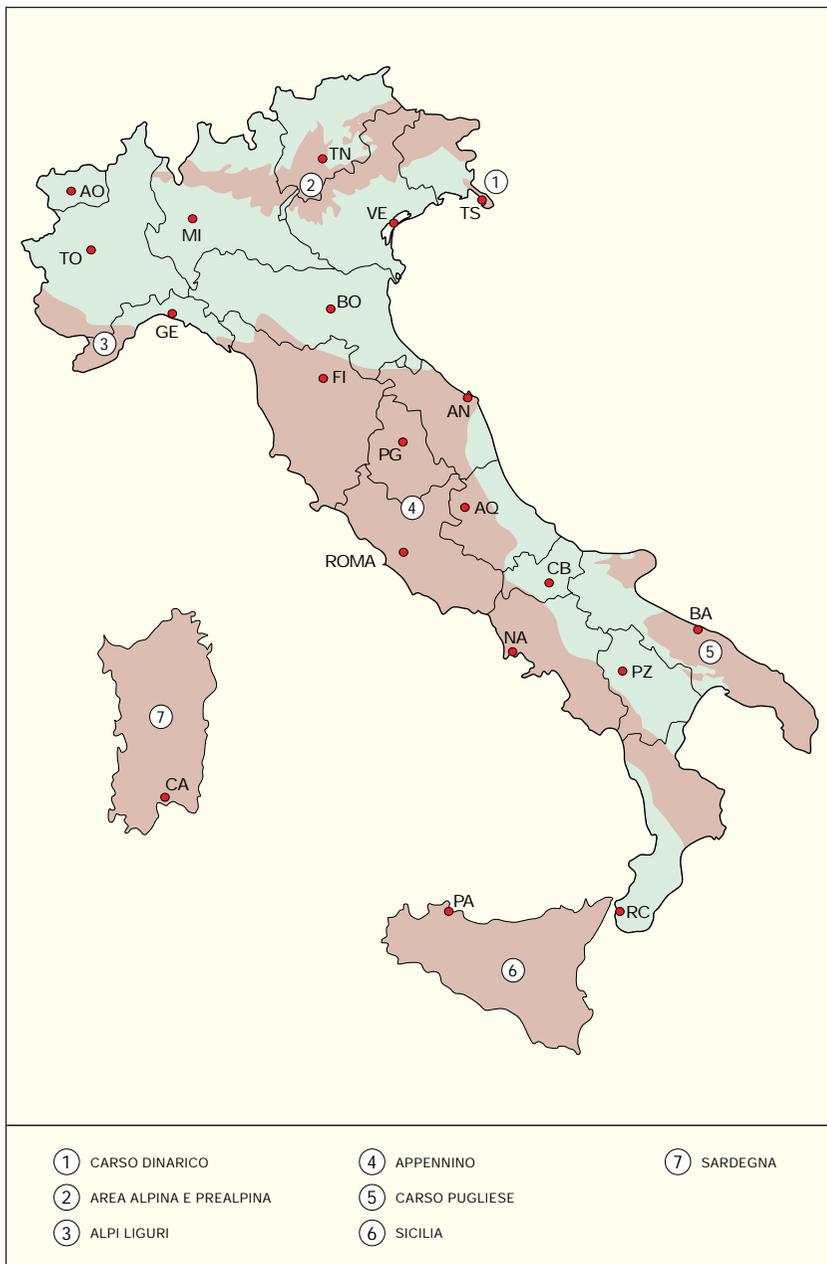
te, che avrebbero trovato rifugio nel sottosuolo nei periodi di maggiore siccità, quando non sarebbero potuti sopravvivere in superficie. Anche Vandel, in un noto trattato di biospeleologia, ha espresso l'opinione che i cavernicoli derivino da linee filetiche senescenti, incapaci di migrare o affrontare i cambiamenti climatici e pertanto costrette a rifugiarsi nel sottosuolo. I cavernicoli sarebbero, per questi autori, veri relitti di specie di superficie oggi scomparse, e sarebbero pertanto dei veri "fossili viventi" come recita il titolo di un noto libro di Jeannel. Anche per la fauna acquatica esistono modelli che propongono il concetto di rifugio, come il modello evolutivo collegato alle regressioni marine dell'olandese Stock, in base al quale nel corso del ritiro del mare alcuni organismi avrebbero potuto rimanere per così dire "incagliati" nelle acque costiere sotterranee. Tuttavia questi modelli sono stati recentemente confutati dai ricercatori Rouch e Danielopol, che hanno portato numerose critiche a queste ipotesi affascinanti ma, per certi versi, ingenui. Per prima cosa, recenti ricerche in aree tropicali (in Africa, Asia e Brasile) hanno dimostrato l'esistenza di troglobi altamente specializzati anche in queste regioni; secondo, il modello del rifugio non spiega perché sia anche oggi in atto un processo di colonizzazione degli ambienti sotterranei, con popolazioni parzialmente depigmentate e microftalme, in assenza di eventi climatici sfavorevoli; ultima e più importante obiezione, il modello di rifugio implica una causa esterna per il processo di colonizzazione, una sorta di "spinta" verso il sottosuolo che non ha alcuna necessità scientifica di essere invocata. Al modello di rifugio, Rouch e Danielopol hanno sostituito il modello della colonizzazione attiva, che propone uno scenario unico e generale per la colonizzazione del sottosuolo, indipendente dagli eventi climatici, e pone l'ambiente sotterraneo alla stessa stregua degli altri ambienti, togliendogli quelle caratteristiche di "ambiente speciale" e "ostile". Assista-

mo a questo proposito a vere e proprie "radiazioni adattative" di alcuni taxa, che nel sottosuolo danno origine a vere e proprie esplosioni numeriche del numero di specie (teoria della zona adattativa di Stoch): si pensi alle centinaia di specie di anfipodi del genere *Niphargus*, in confronto alle poche specie di anfipodi di superficie che popolano le stesse aree geografiche. Accanto a radiazioni adattative nel sottosuolo volte ad occupare le nicchie libere, si assiste a ripetuti fenomeni di colonizzazione ed invasione del sottosuolo (teoria delle colonizzazioni multiple), tuttora in atto, da parte delle specie di superficie.

**Isolamento e speciazione.** Alla fase di colonizzazione del dominio ipogeo segue la fase di speciazione; questa non è una conseguenza diretta e obbligatoria. Affinché la speciazione avvenga serve un isolamento del massiccio carsico con interruzione del flusso genico verso gli ambienti di superficie o i massicci carsici contigui. La presenza di numerosi troglofili e stigofili indica che tale processo avviene solo in alcuni casi. La speciazione nelle grotte è sempre "allopatrica", dovuta cioè ad isolamento; non si hanno evidenze di eventi di speciazione di tipo diverso.

La speciazione nei cavernicoli è stata studiata in numerosi taxa e con metodi di biologia molecolare, ma un semplice sguardo alla tassonomia dei gruppi che includono cavernicoli ed alla loro distribuzione è sufficiente per rivelarci l'incredibile successo di alcuni di essi nell'originare nuove specie e nello specializzarsi all'ambiente sotterraneo. L'isolamento porta come conseguenza la formazione di numerose specie endemiche, la cui distribuzione è cioè limitata ad una ristretta area geografica, spesso un solo massiccio carsico, talvolta una singola grotta. Questa tendenza all'endemizzazione contribuisce a fare della fauna cavernicola una delle componenti più importanti della fauna italiana; importanza sancita addirittura dalla legge, quando si pensi che uno dei criteri della Direttiva Habitat della Comunità Europea per la scelta delle specie e degli habitat da sottoporre a tutela è proprio quello dell'endemicità.

**Biogeografia della fauna cavernicola italiana.** Suddividere il territorio carsico italiano in aree che presentino una certa omogeneità nel loro popolamento di troglobi è certamente operazione ardua. Infatti, la frammentazione dei generi in numerose specie e sottospecie troglobie endemiche fa sì che in realtà ogni massiccio carsico possa essere considerato un qualcosa di unico ed irripetibile, culla di specie che non esistono in nessun altro posto sulla Terra. Tuttavia, analizzando con attenzione le parentele tra le specie e la loro distribuzione sul territorio e correlando queste osservazioni con le vicissitudini paleogeografiche che hanno plasmato il nostro Paese, è possibile tentare di individuare alcune aree carsiche ben caratterizzate da un punto di vista faunistico, che esamineremo brevemente.



Province biogeografiche delle aree carsiche

• Carso dinarico. Sicuramente una delle aree note da più tempo agli speleologi ed ai biospeleologi, il Carso dinarico ha una sua interessante propaggine nell'Italia nordorientale con il Carso triestino ed isontino, il cosiddetto "Carso classico". Si tratta di un territorio poco esteso entro i confini politici italiani (l'area non supera i 200 km<sup>2</sup>), compreso tra il Fiume Isonzo, il mare ed il confine italo-sloveno; la sua fauna presenta affinità indubbie con quella del Carso sloveno, dell'Istria e della Dalmazia. Vi prevalgono specie endemiche o a distribuzione illirica o illirico-balcanica, che vedono spesso nel Fiume Isonzo il limite occidentale del loro areale. Tra gli elementi faunistici che (con rarissime eccezioni) non hanno superato l'Isonzo, vanno annoverati interi generi di gasteropodi (*Plagygyeria*), crostacei (*Sphaeromides*), aracnidi (*Stalita*), coleotteri (*Leptodirus*) ed il noto proteo (*Proteus anguinus*).

• Area alpina e prealpina. Le Prealpi sicuramente costituiscono una delle aree più esplorate dai biospeleologi, che ben sanno come ogni massiccio prealpino (dal Piemonte sino al confine italo-sloveno) costituisca un piccolo mondo ricco di specie endemiche. Tra la fauna terrestre sono tipici rappresentanti i carabidi dei generi *Orotrechus* ed *Anophthalmus*, accanto ad elementi endemici altamente specializzati (*Italaphaenops*, *Lessinodytes*); nella fauna acquatica sono caratteristici di quest'area gli isopodi del genere *Monolistra*, le numerose specie endemiche di anfipodi del genere *Niphargus*, i copepodi del genere *Lessinocamptus*. Si tratta sempre di specie ad affinità balcaniche o con l'Europa orientale, che hanno colonizzato l'area in un periodo sicuramente pre-glaciale. Il Carso alpino in senso stretto, cioè quello delle grotte poste nei massicci interni delle Alpi e sovente a quote elevate, è invece ancora imperfettamente esplorato. Si tratta di un'area impoverita dall'effetto delle glaciazioni quaternarie e, per questo motivo, ritenuta dai biospeleologi priva di grande interesse. Opinione errata, poiché recenti ricerche sulla fauna terrestre hanno dimostrato la presenza di specie endemiche di carabidi (*Anophthalmus*), colevidi (*Pseudoboldoria*) ed opilioni (*Ischyropsalis*). Le indagini sulla fauna acquatica hanno inoltre rivelato un popolamento di notevole interesse biogeografico: troviamo infatti esclusivamente in quest'area alcune specie di crostacei anfipodi del genere *Niphargus* (quali *N. strouhali*, esclusivo di aree carsiche situate a quote elevate, anche oltre i 2000 m s.l.m.), accanto a specie sia di provenienza settentrionale, sia affini a quelle che popolano l'area prealpina. Mentre alcuni elementi ad ampia distribuzione a nord delle Alpi (quali il copepode *Eucyclops graeteri* o l'anfipode *Niphargus foreli*), tipici di climi freddi, hanno colonizzato l'area seguendo il ritiro dei grandi ghiacciai quaternari, la maggior parte delle specie ha forse ricolonizzato le grotte alpine da aree prealpine marginali, oppure a partire da falde freatiche profonde o da massicci di rifugio (varie specie di *Elaphoidella*, *Lessinocamptus*, *Speocyclops*, *Niphargus*): in quest'ultimo caso si tratta sempre di specie endemiche.

• Alpi Liguri. Il carso dell'estrema propaggine occidentale delle Alpi presenta affinità faunistiche con la Francia meridionale (ad esempio fra gli isopodi: *Proasellus* del gruppo *cavaticus*) e con l'area alpina da una parte e quella appenninica e tirrenica dall'altra. Biogeograficamente pertanto si tratta di un'area di transizione che ha ben pochi elementi comuni con il carso alpino e prealpino; vi troviamo una ricca fauna ad eucavernicoli, con numerose specie endemiche appartenenti ad esempio a vari generi di isopodi (*Proasellus*), diplopodi (*Glomeris*, *Spelaeoglomeris*), coleotteri carabidi (*Duvalius*, *Agostinia*) e catopidi (*Parabathyscia*).

• Appennino. Le grotte del carso appenninico hanno una fauna troglobia in genere più povera e monotona di quelle dell'area prealpina, anche se in alcune regioni ciò potrebbe essere dovuto a carenza di indagini. Non mancano aree con presenza di specie endemiche (per la fauna acquatica in particolare Appennino Ligure, Monti Alburni, Massiccio del Gran Sasso, per quella terrestre Preappennino Laziale-Campano), accanto però ad altre dove gli endemiti sono, con poche eccezioni, quasi assenti (Alpi Apuane, Calabria). La monotonia faunistica che si può rilevare tra la Liguria e la Campania potrebbe essere posta in relazione alla minore antichità del carsismo in queste aree e forse all'"effetto penisola" che ha sicuramente ostacolato la colonizzazione dell'Appennino; ma la spiegazione definitiva ancora sfugge. Le novità emerse nel corso delle ricerche condotte negli ultimi vent'anni non hanno modificato sostanzialmente questo quadro, pur aggiungendo alla fauna dell'area nuove specie di troglobi o di eutroglofili appartenenti a generi ampiamente diffusi in Italia, quali pseudoscorpioni (*Neobisium*), carabidi (*Duvalius*), colevidi (*Bathysciola*); la fauna acquatica ha rivelato interessanti eccezioni nel Gran Sasso e negli Alburni, con la scoperta di probabili relitti marini miocenici (crostacei copepodi del genere *Pseudoectinosoma*).

Interessanti si sono rivelate le recenti ricerche condotte nelle grotte dei gessi dell'Appennino Emiliano e Bolognese; la fauna terrestre è costituita per lo più da pochi elementi eutroglofili, mentre la fauna acquatica è ricca di elementi stigobi (copepodi e anfipodi), nessuno però esclusivo delle grotte (sono cioè presenti anche nell'ambiente interstiziale), a rimarcare una colonizzazione recente di queste cavità. Negli ultimi anni sono state condotte ricerche biospeleologiche anche nei gessi (evaporiti del Messiniano) della Calabria, in provincia di Crotone; anche in questo caso, pur non mancando elementi interessanti (ad esempio una nuova specie del genere *Niphargus*), l'incidenza dei troglobi è piuttosto bassa.

La povertà di troglobi può essere dovuta ad una concomitanza di fattori sfavorevoli, quali la maggiore compattezza delle formazioni gessose rispetto a quelle carbonatiche (e pertanto un minor grado di fessurazione) e la giovanilità e rapida evoluzione dei fenomeni pseudocarsici.

• Carso pugliese. nettamente distinto dal carso appenninico, il carso pugliese è invece ricco di endemiti e con una fauna cavernicola molto specializzata; della trentina di specie troglobie note, una ventina sono esclusive della Puglia, alcune delle quali anche a livello di genere o famiglia. Nella fauna acquatica, ancora incompletamente studiata, sono qui presenti eccezionali elementi endemici, quali il porifero *Higginsia ciccaresei*, i misidacei dei generi *Speleomysis* e *Stygiomysis*, il decapode *Typhlocaris salentina* e numerosi copepodi, isopodi e anfipodi altamente specializzati. È in quest'area che si ritrova-



L'ingresso della Grotta Zinzulusa lungo la costa Salentina (Puglia)

no anche alcuni degli elementi più eccezionali ed enigmatici della fauna italiana, come l'anfipode *Metaingolfiella mirabilis*. Tra i troglobi terrestri, spiccano i generi di isopodi *Murgeoniscus* e *Castellanethes* ed il carabide *Italodytes stammeri*, di probabile antico insediamento, accanto a colonizzatori forse più recenti (*Aegonethes*, *Pseudanapis*).

La ricchezza di elementi endemici e specializzati è in relazione, oltre che con l'estensione ed antichità dei fenomeni carsici, anche con la storia geologica dell'area, considerata dai paleogeografi come parte dell'Egeide o comunque appartenente ad una microzolla di origine distinta da quelle che hanno dato origine alla restante porzione della penisola italiana.

• Sicilia. Biogeograficamente composita, la fauna cavernicola della Sicilia è ancora poco nota, in particolare nella sua componente acquatica. Nella Sicilia troviamo sia grotte dovute a carsismo sia grotte di lava, dovute al vulcanesimo. Proprio in questo tipo di cavità sono state condotte diverse ricerche faunistiche che non hanno però portato alla scoperta di elementi cavernicoli di particolare interesse; questo è dovuto alla relativa "giovinezza" delle grotte di lava ed alla struttura di quest'ultima, che non consente la creazione dell'indispensabile sistema di microfessure utilizzabile dai troglobi. Diversi elementi endemici interessanti sono invece conosciuti per le cavità che si aprono in rocce carbonatiche; tra questi citiamo lo pseudoscorpione *Roncus siculus*, l'anfipode *Tyrrhenogammarus catacumbae*, gli isopodi del genere *Spelaeoniscus*; endemiche di quest'isola sono anche alcune specie di coleotteri trechini del genere *Duvalius*.

• Sardegna. Il territorio carsico sardo è un mondo a sé stante, ricco di specie cavernicole (oltre 300 sinora segnalate), numerose delle quali endemiche, e ad affinità faunistiche con l'area provenzale e pirenaica da una parte, la Corsica e la fauna toscana dall'altra. Questa originalità faunistica deriva dalle vicissitudini paleogeografiche dell'isola, che faceva anticamente parte, con le terre citate, di un paleocontinente, la Tirrenide. In seguito alla sua frammentazione, a partire dall'Oligocene, la Sardegna e la Corsica si sono staccate dall'area provenzale e sono migrate verso l'Italia con un lento movimento di rotazione in senso antiorario. Come grandi zattere alla deriva, hanno recato con sé elementi antichi della fauna della Tirrenide, detti appunto paleotirrenici.

Classici esempi sono forniti dai generi a chiara affinità pirenaica (*Scotoniscus*, *Catalauniscus*, *Typhloblaniulus*) o catalano provenzale (*Spelyngochthonius*, *Stygioglomeris*, *Oritoniscus*), con la Spagna orientale e le Baleari (*Parablothrus*, *Syniulus*, *Speomolops*, *Ovobathysciola*, *Patriziella*), la Francia meridionale e la costa toscana (*Stenasellus*), accanto a generi con specie endemiche (*Sardostalita*, *Sardaphaenops*). Accanto a questi troviamo anche elementi a più ampia distribuzione nella penisola italiana, che possono testimoniare fasi di colonizzazione più recenti.



*Higginsia ciccaresei*

**Poriferi.** I poriferi o spugne sono metazoi primitivi, per lo più marini, con pochi rappresentanti nelle acque dolci (famiglia spongillidi); alcune specie sono state segnalate nelle acque sotterranee, in genere come stigossene o stigofile, eccezionalmente come stigobie. In Italia sono state rinvenute spugne cavernicole in alcune grotte costiere; tra queste ricordiamo *Petrosia pulitzeri* del Golfo di Napoli, Sicilia e Mar Adriatico, *Myrmekioderma spelaea* della Puglia, *Petrobiona incrustans* della Grotta del Presepe a S. Maria di Leuca; è probabile tuttavia si tratti di specie eustigofile. Il più recente ed eccezionale rinvenimento è quello di *Higginsia ciccaresei* raccolta da speleosub nella grotta Zinzulusa (Puglia), a circa 250 m dall'entrata della cavità e a 12 m di profondità, in totale oscurità, che per le sue caratteristiche morfologiche e l'ambiente di raccolta è da considerarsi specie stigobia.

**Idrozoi.** Gli idrozoi cavernicoli sono estremamente rari. Nei sifoni di alcune

risorgive e inghiottitoi possono essere rinvenute specie del genere *Hydra*, polipi solitari che mancano della generazione medusoide tipica di questa classe di cnidari; sull'ecologia di queste popolazioni si sa poco o nulla. L'unico idrozoo considerato stigobio e cavernicolo è *Velkovrhia enigmatica*, diffuso in grotte del Carso dinarico, dalla Slovenia all'Erzegovina; la sua presenza, peraltro possibile, in territorio italiano non è però ancora stata accertata.

**Tricladi.** I tricladi, o planarie, comprendono numerose specie diffuse in acque marine e dolci, nonché nel suolo umido; alcune si rinvencono con frequenza nell'ambiente interstiziale e nelle sorgenti carsiche (generi *Dugesia*,



Triclade troglifilo del genere *Dugesia*

*Dendrocoelum*, *Polycelis*). Le specie stigobie sono caratterizzate, oltre che dalla depigmentazione (che si riscontra però anche in talune popolazioni epigee), dalla riduzione o scomparsa degli organi visivi, dalla lentezza del ciclo riproduttivo

e dei processi respiratori, nonché da un elevato numero di cromosomi. In Italia sono note alcune specie cavernicole, poco frequenti e localizzate; tra quelle sicuramente stigobie ricordiamo *Dendrocoelum collinii* delle Prealpi Giulie (segnalata dubitativamente anche in altre parti d'Italia), *D. italicum* delle Prealpi Lombarde, *Atrioplanaria morisii* del Cuneese, *A. racovitzai* di Sardegna e Italia centro-meridionale, *Polycelis benazzii* della Liguria.

**Temnocefali.** Si tratta di un taxon, solitamente ascritto ai turbellari, comprendente nelle nostre grotte specie ectoparassite di crostacei troglobi dei generi *Niphargus* (anfipodi) e *Troglocaris* (decapodi) di cui succhiano l'emolinfa. Si tratta di organismi di piccole dimensioni (inferiori ai 2 mm), dotati di tentacoli e dischi adesivi con cui si attaccano in genere alle branchie dell'ospite. In Italia sono sinora segnalati esclusivamente per le acque di base del Carso goriziano e triestino, ove sono talora abbondanti sui gamberetti del genere *Troglocaris*; ne sono stati riportati tre generi (*Bubalocerus*, *Scutariella* e *Troglocaridicola*), ma la tassonomia dell'intero gruppo è controversa; di recente è stata intrapresa una ricerca sugli spermatozoi delle specie italiane con l'intento di ricostruirne le affinità filogenetiche.

**Nematodi.** Si tratta di un phylum molto diversificato (oltre 100 000 specie), che conta rappresentanti nel bentos sia delle acque dolci che marine, nel suolo, o specie parassite di altri vertebrati o invertebrati. A causa del numero di individui talora molto elevato, anche nelle grotte, il loro ruolo dovrebbe essere fondamentale nel funzionamento degli ecosistemi cavernicoli italiani, ma sinora non sono stati fatti studi in proposito.

Le difficoltà tassonomiche connesse con lo studio di questi organismi hanno finora costituito un impedimento alla redazione di liste faunistiche esaustive per le grotte italiane; nel corso di uno studio intrapreso di recente nell'Italia settentrionale, e tuttora in svolgimento, sono state identificate numerose specie rinvenute in pozzette di stillicidio e nei ruscelli sotterranei, appartenenti ai generi *Aphanolaimus*, *Dorylaimus*, *Eudorylaimus*, *Paractinolaimus*, *Trypila*. Le nostre conoscenze sono ancora troppo approssimative per sapere se alcune delle specie rinvenute possano essere considerate troglobie.



Gordiacei

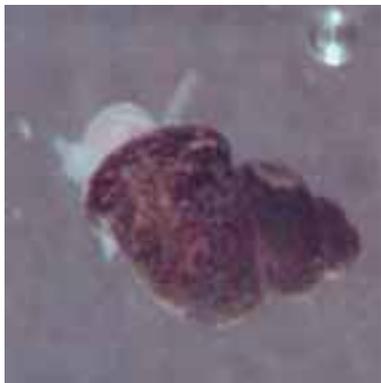
**Nematomorfi.** I nematomorfi o gordiacei costituiscono un piccolo taxon affine ai nematodi. Gli adulti vivono in genere in ruscelli a lento decorso, pozze e abbeveratoi; hanno l'aspetto di filamenti lunghi una decina di cm e spessi solamente circa 1 mm. Tali filamenti sono talora raggomitolati a formare un intrico che ricorda il nodo gordiano, da cui deriva il nome. Le larve sono invece endoparassite di vari artropodi. Nei ruscelli delle grotte dell'Italia settentrionale si rinvencono

occasionalmente; è tuttavia presumibile si tratti di specie stigossene o forse stigofile. Manca completamente uno studio sui gordiacei cavernicoli italiani.

**Molluschi.** Tra i molluschi, solamente i gasteropodi ed i bivalvi hanno colonizzato gli ambienti ipogei e le acque sotterranee. Talvolta potrebbe tuttavia capitare di ritrovare in grotta accumuli di detriti e fango frammistati a nicchi di molte specie di molluschi. Si tratta però di materiale fluitato, proveniente dall'ambiente epigeo attraverso la circolazione e percolazione delle acque. In realtà le specie troglobie vere e proprie sono rappresentate solo dal genere *Zospeum*. Talvolta anche un altro ellobiide, appartenente al genere *Carychium*, che normalmente vive in altri habitat di ambiente esterno, come lettiera molto umida, compare in ambiente ipogeo con esemplari isolati, mentre propriamente stigofili sono molti zonitidi. Le acque sotterranee sono colonizzate soprattutto dai prosobranchi idrobiidi; i bivalvi sono rappresentati dal solo genere *Pisidium*. Anche i molluschi troglobi hanno subito delle trasformazioni a causa della vita sotterranea: il nicchio è bianco, trasparente, mentre l'animale, diafano, non presenta macchie oculari. La conchiglia nelle varie specie di *Zospeum* (vedi disegno) è sempre di piccole dimensioni, raggiungendo al massimo un paio di millimetri. Vivono nelle zone più umide, anche all'interno di fessure, raschiando le pareti. Per quel che riguarda l'aspetto del nicchio c'è molta variabilità tra esemplari di stazioni diverse e anche nell'ambito della stessa popolazione.

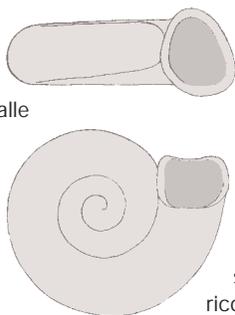


L'interesse per queste specie è nato relativamente tardi, a partire dalla seconda metà dell'800. Essendo difficili da individuare, date le dimensioni, il Pollonera, insigne studioso che tra i primi si occupò di queste specie, consigliava agli esploratori di allora di passare le pareti delle grotte con delle spazzoline, tenendo al di sotto delle scatole, o di cercarli nelle posature dei fiumi provenienti da aree carsiche. Sono state così descritte molte entità, tra specie e sottospecie, in Italia, in Austria e nei Balcani occidentali, dalla Slovenia all'Erzegovina. Recentemente sono stati trovati anche nei Pirenei. Analogamente ad una revisione del genere *Zospeum* effettuata negli anni settanta per la Slovenia, recentemente, attraverso un meticoloso censimento di tutti i siti e reperti raccolti, è stata proposta un'interpretazione delle varie forme finora descritte in letteratura dal bresciano al bacino dell'Isonzo. Dalla verifica del materiale emergerebbe che tutte le popolazioni di *Zospeum* più occidentali, fino al massiccio del Monte Grappa, presentano una sola plica parietale, mentre ad oriente predominano le forme con due pliche. Il nicchio presenta in questi ultimi talvolta anche costolature. Le conclusioni porterebbero a far rientrare le specie più occidentali in un raggruppamento riferibile a *Zospeum globosum*, mentre i gruppi più orientali comprenderebbero *Z. isselianum* e *Z. spelaeum*, che è diffuso anche in Slovenia. *Z. alpestre* sarebbe invece presente quasi esclusivamente in territorio sloveno, anche se recentemente è stato probabilmente individuato in Italia in alcune grotte della



*Plagigeyeria stochi*

catena del Monte Musi (Prealpi Giulie). Tra i molluschi troglifili predatori il genere *Oxychilus* è molto diffuso. *O. draparnaudi* è presente in quasi tutta Italia, mentre altre specie sono più localizzate in alcune regioni. Al genere *Aegopis* appartiene *A. gemonensis*, altra entità troglifila frequente nelle grotte delle Prealpi centro-orientali. Talvolta anche il genere *Argna*, con la specie *A. biplicata*, tipica soprattutto dell'ambiente endogeo, compare in habitat di caverna. Tra i gasteropodi d'acqua dolce e salmastra, la famiglia idrobiidi è la più numerosa, in quanto a numero di generi e specie. Si rinvencono soprattutto in sorgenti o in acque sotterranee carsiche e interstiziali. Alcune specie, in particolare quelle riferibili al genere *Iglica*, sono a tutt'oggi conosciute solamente dalla morfologia della conchiglia, in quanto dalle acque iporreiche fuoriescono nicchi già vuoti che fanno presupporre per queste entità habitat sotterranei più profondi e poco accessibili, anche molto



distanti dai luoghi in cui si rinvencono. L'aspetto della conchiglia negli idrobiidi è molto varia; prevalgono le forme a spira elevata, ma esistono generi a spira depressa, come *Hauffenia*, *Hadziella* (vedi disegno) o *Islamia*. Le dimensioni sono sempre ridottissime.

Alcune specie stigofile presentano areali abbastanza ampi, come *Graziana pupula* nel settore alpino-orientale, *G. alpestris* in quello centro-occidentale e *Bythinella schmidtii* che si estende dalle Alpi agli Appennini fino alla Campania. La maggior parte delle specie strettamente stigobionti possiede distribuzioni più localizzate, come molte specie dei generi *Alzoniella*, *Pseudavenionia*, *Iglica*, *Paladilhiopsis*, *Phreatica* e *Hauffenia* nella regione alpina; *Avenionia*, *Fissuria*, *Pezzolia* e *Islamia* in quella appenninica settentrionale, *Moitessieria*, *Sardhoratia* e *Sardopaladilhia* in Sardegna.

Per alcune di esse, come *Istriana mirnae* nelle aree flyschoidi della Venezia Giulia e Istria, e *Plagigeyeria stochi* del Timavo sotterraneo, la distribuzione nota è ridotta a poche stazioni.

**Policheti.** I policheti sono anellidi essenzialmente marini; alcune specie colonizzano le grotte lungo le coste, mentre molto rare sono le specie adattate alle acque dolci continentali. In Italia è presente, nelle acque di base delle grotte del Carso goriziano e triestino, la specie stigobia *Marifugia cavatica*. Si tratta di un anellide diafano, depigmentato ed anoftalmo, che vive in un tubo più o meno calcificato, lungo anche oltre 1 cm. Forma estese colonie che tappezzano le pareti delle grandi gallerie del Timavo sotterraneo presso Trieste; una ricca microfauna, costituita da

protozoi, gasteropodi, oligocheti e crostacei abita negli spazi tra i tubuli o all'interno dei tubuli abbandonati.

*M. cavatica* è distribuita dal fiume Isonzo sino ai confini con l'Albania; è stato ipotizzato trattarsi di un relitto di origine marina molto antico, presumibilmente miocenico.

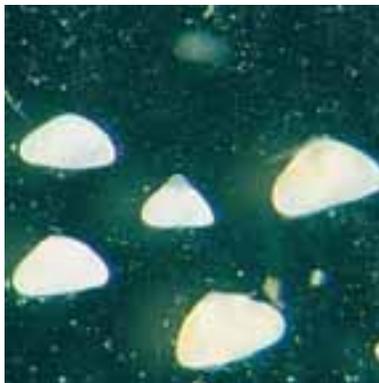
**Oligocheti.** Si tratta di anellidi dal corpo allungato, costituito da una successione di metameri privi di appendici, ma recanti file di setole trasversali, la cui forma e disposizione ha valore sistematico; includono principalmente specie detritivore o microfaghe. Nelle grotte sono frequenti alcune famiglie acquatiche (lumbriculidi, naididi, tubificidi), o semiacquatiche e terrestri (enchitroidi, lumbricidi).

Generalmente le specie terrestri, molto comuni nel terreno umido e nei depositi di materia organica alla base dei pozzi carsici, sono ritenute troglosseni regolari o semplici endogeni (ad esempio *Allolobophora rosea*, *Octolasion cyaneum*, *Dendrobaena cognettii*); alcune specie acquatiche tuttavia, rivelando affinità esclusivamente con generi marini o essendo state sinora raccolte solamente nelle acque carsiche sotterranee, sono da considerare veri elementi stigobi. Tra le specie sinora note solo per le grotte vanno ricordate *Haber monfalconensis*, delle Bocche del Timavo nel Carso triestino; *Rhyacodrilus gasparoi* di una grotta delle Prealpi Giulie; *R. dolcei* di piccole pozzette di stillicidio di una grotta del Carso triestino; *Tubifex pescei*, noto da acque freatiche delle Marche e dell'Umbria e da una grotta slovena; *Abyssidrilus cuspis*, raccolto in acque freatiche dell'Umbria e in grotte della Liguria e del Friuli - Venezia Giulia, specie stigobia appartenente ad un genere che conta rappresentanti marini.

**Irudinei.** Gli irudinei o sanguisughe sono poco frequenti nelle acque sotterranee italiane, ove si rinvencono per lo più come stigosseni; solamente la specie *Dina krasensis*, che popola le sorgenti su terreni marnoso-arenacei nelle estreme propaggini orientali delle Prealpi Giulie e nei dintorni di Trieste, penetra nelle grotte ove si rinviene talora con regolarità e localmente abbondante, e può venir considerata come un elemento stigofilo. Specie troglobie sono state segnalate in grotte dell'Erzegovina, Montenegro e Turchia, ma non in Italia. Le specie delle nostre grotte non sono ematofaghe, come verrebbe spontaneamente da pensare, ma si tratta di predatori di altri invertebrati acquatici.

**Tardigradi.** Sono animali di piccole dimensioni (superano di rado il mm), trasparenti, dotati solitamente di quattro paia di zampe, non articolate; si conoscono specie marine, d'acqua dolce e terricole. Sono numerosi soprattutto nei muschi, ove sono stati segnalati oltre 2 milioni di individui per metro quadrato. I tardigradi sono attivi solo quando è presente un velo d'acqua (ad esempio in seguito a pioggia o rugiada); altrimenti entrano in uno stadio di immobilità (criptobiosi) che può durare anche molti anni. I dati sui tardigradi cavernicoli sono molto scarsi; secondo recenti ricerche, tuttora in corso di svolgimento, le specie più comuni in questo ambiente sono *Macrobotus cf. richtersi* e *Diphascos nobilei*, talora abbondanti nelle piccole pozzette di stillicidio nell'argilla; si tratta però di specie rinvenute anche in lettiera e nei muschi.

**Ostracodi.** Si tratta di crostacei dall'aspetto inconfondibile, per il corpo racchiuso in un carapace bivalve solitamente di forma ovoidale, a fagiolo o trapezoidale, talora ornato da tubercoli o



Ostracodi troglobi del genere *Pseudocandona*

fossette. Sono organismi di piccole dimensioni (la maggior parte delle specie stigobie non supera il mm di lunghezza), diffusi in tutte le tipologie di acque dolci o marine, dalle piccole pozzette che si formano nei cavi degli alberi (tree-holes), alle pozzanghere, agli stagni, ai laghi, ove sono in genere bentonici o interstiziali, molto raramente planctonici. Si tratta di un gruppo purtroppo ancora molto poco studiato nelle acque carsiche sotterranee italiane, ove tuttavia è diffusissimo nei ruscelli e nei sifoni delle grotte. Recenti raccolte intraprese in questi ambienti hanno rivelato una fauna ricca e diversificata, che consta di numerose specie nuove per la scienza, cieche e depigmentate: tra queste la maggior parte appartiene alla vasta famiglia candonidi. Una nuova specie (*Cypria cavernae*) è stata di recente descritta per grotte del Carso goriziano e triestino; si tratta dell'unica specie stigobia del genere, ed è comune nelle acque tranquille della zona freatica. Una specie molto particolare, che merita di essere ricordata per il suo stile di vita, è *Sphaeromicola stammeri*. Si tratta di un commensale che vive esclusivamente su varie specie di crostacei isopodi stigobi del genere *Monolista*, ove è talora

abbondante e si rinviene aggrappato alle appendici dell'ospite. Il suo areale di distribuzione ricalca quello delle specie ospiti, e va pertanto dall'Erzegovina alla Lombardia. Una specie affine (*S. sphaeromicola*) vive invece sui grossi cirolanidi cavernicoli del genere *Sphaeromides* recentemente rinvenuti anche in territorio italiano.

**Cladoceri.** Si tratta di crostacei comunissimi nelle acque dolci di superficie, ove popolano pozze temporanee, stagni, laghi e corsi d'acqua a lento decorso; in Italia sono note oltre un centinaio di specie. Sono stati raccolti frequentemente nelle acque di grotte italiane, ove tuttavia sono generalmente presenti come elementi stigosseni. La scarsità di reperti in acque sotterranee si deve presumibilmente all'alimentazione (molte sono le specie legate alla presenza di fitoplancton e vegetazione sommersa) e alla spiccata tendenza per le acque eutrofiche. Tuttavia di recente sono state descritte due specie stigobie (*Alona stochi* e *A. sketi*), cieche e diafane, di piccole dimensioni (0.5 mm), rinvenute in grotte slovene a breve distanza dal confine di stato (*A. sketi* è stata raccolta in una risorgiva situata a poche centinaia di metri dal confine italo-sloveno). La loro presenza in Italia è pertanto probabile.

**Copepodi.** I copepodi sono crostacei mediamente di piccole dimensioni (0.2-5.0 mm), ampiamente distribuiti sia in ambiente marino che dulcacquicolo. Nelle acque continentali italiane sono componenti essenziali dello zooplancton lacustre, del bentos lotico e lentico, ed elementi spesso dominanti nelle comunità acquatiche sotterranee. In Italia sono presenti alcune centinaia di specie, e dei 10 ordini complessivamente noti solo tre (calanoidi, arpatticoidi e ciclopidi) contano rappresentanti



Ciclopidi troglobi del genere *Diacyclops*

troglobi ampiamente diffusi nelle acque vadose e freatiche delle nostre grotte.

- Calanoidi: sono copepodi planctonici, presenti nei laghi e corsi d'acqua a lento decorso. L'unica specie stigobia - e francamente troglobia - italiana, *Troglo diaptomus sketi*, vive nelle grotte del Carso goriziano e triestino, nonché in Slovenia e Croazia. È comune nei sifoni di grotte e pozzi carsici legati al corso del Timavo sotterraneo.
- Ciclopidi: diffusissimi nelle acque di superficie, comprendono numerose specie stigobie per lo più bentoniche ed interstiziali, rinvenute in tutte le regioni italiane, molte delle quali ancora in attesa di descrizione. In base all'ecologia possiamo attribuire i ciclopidi delle grotte italiane a tre distinte categorie ecologiche: specie prevalentemente planctoniche (ad esempio il genere *Metacyclops*, segnalato in Italia nelle grotte della Venezia Giulia, della Puglia e della Sardegna); specie bentoniche esclusive della zona freatica, o talora interstiziali (ad esempio le specie stigobie dei generi *Eucyclops*, *Diacyclops* e *Acanthocyclops*); specie legate alla zona vadosa, ove abitano il reticolo di microfessure nelle rocce carbonatiche (numerose specie di *Speocyclops*).

I ciclopidi più diffusi nelle acque sotterranee appartengono al gruppo *languidoides* del genere *Diacyclops*; si tratta di un complesso di specie, molte delle quali non ancora descritte, che popola sia le aree carsiche che i terreni alluvionali. Tra le altre specie di ciclopidi, l'area nordorientale ospita alcune specie endemiche italiane (quali *Metacyclops gasparoi*) o a ristretta distribuzione giuliano-slovena (tra cui comuni *Diacyclops charon*, *Metacyclops postojnae*, *Speocyclops infernus*) o illirico-balcanica (ad esempio *Acanthocyclops troglophilus* e *Acanthocyclops gordanii*); l'area prealpina ed alpina ospitano in genere specie più ampiamente distribuite nei sistemi carsici (e non) dell'Europa meridionale (quali *Eucyclops graeteri*, *Acanthocyclops kieferi*, *Graeteriella unisetigera*); la fauna cavernicola appenninica è invece molto meno conosciuta. Degna di nota è la presenza di *Acanthocyclops agamus*, eccezionale specie endemica della grotta di Castelcivita (Massiccio degli Alburni). La fauna delle grotte insulari è ancora scarsamente studiata; qualche specie è legata alle grotte anchialine, come *Muceddina multispinosa*, recentemente descritta per grotte della Sardegna (ma segnalata anche per le Baleari e le Canarie). Non dobbiamo dimenticare che accanto alle specie stigobie sono ampiamente diffusi in acque sotterranee italiane elementi substigofili o stigosseni, che nelle grotte possono essere presenti con un elevato numero di individui (*Eucyclops serrulatus*, *Paracyclops fimbriatus*, *P. imminutus*).

- Arpatticoidi: l'ordine comprende numerose specie bentoniche ed interstiziali, molto comuni nelle grotte. Tra le specie stigofile vanno annoverati i rappresentanti dei generi *Bryocamptus* e *Attheyella*, tra cui però non mancano

elementi eustigofili (*B. typhlops*) o stigobi (*B. balcanicus*, *A. paranaphthalica*). Tra le specie stigobie vanno ricordati numerosi elementi endemici di ristrette aree carsiche, appartenenti ai generi *Nitocrella*, *Elaphoidella*, *Lessinocamptus*, *Moraria*, *Morariopsis*, *Paramorariopsis*, *Ceuthonectes* e *Parastenocaris*. Numerose sono in questi generi le specie di recente scoperta o in corso di descrizione, talora note solo di una singola cavità; si tratta in genere di specie che popolano le microfessure del calcare e le piccole vaschette di stillicidio o i rivoletti di percolazione delle grotte. La natura di questi habitat, che funzionano in un certo senso da isole all'interno di un dato sistema carsico, e l'isolamento dei diversi massicci carbonatici in seguito al progredire del carsismo hanno presumibilmente favorito i meccanismi di speciazione che hanno dato origine ad un numero così elevato di specie endemiche.

Generi quali *Elaphoidella* e *Lessinocamptus* avrebbero colonizzato le acque sotterranee a partire dai corpi idrici superficiali o da ambienti semiterrestri attraverso "corridoi" quali ad esempio l'ambiente iporreico. Membri dei generi *Nitocrella* e *Parapseudoleptomesochra* hanno invece presumibilmente colonizzato le acque sotterranee continentali a partire da progenitori marini. Di recente sono state rinvenute nei sistemi carsici interni dell'Italia centro-meridionale (Massiccio del Gran Sasso, Abruzzo e Massiccio degli Alburni, Campania) due diverse specie appartenenti al genere *Pseudectinosoma*, che annoverava sinora un sola specie marina atlantica. Questo rinvenimento assume una importanza ancor più rilevante se si considera che il genere è sconosciuto per l'intero bacino mediterraneo e che queste specie stigobie d'acqua dolce

potrebbero essere rappresentanti di una antica fauna del Mediterraneo scomparsa dall'ambiente marino di origine durante la crisi di salinità.



Isopodi acquatici del genere *Monolistra*

**Isopodi.** Si tratta di un ordine di crostacei malacostraci che ha raggiunto un eccezionale grado di radiazione adattativa, con oltre 10000 specie diffuse in ambienti terrestri, d'acqua dolce e marini, o che si sono adattate alla vita parassitaria. Si suppone che gli isopodi abbiano colonizzato le grotte italiane a partire dal mare (durante le regressioni mioceniche e plioceniche: cirolanidi, microparasellidi, forse sfermatidi - ma si veda la scheda per un approfondimento di questa controversa ipotesi), dalle acque dolci superficiali (aselloti) o dal suolo e dalla lettiera (oniscoidei). La varietà degli adattamenti, degli stili di vita e della storia evolutiva delle diverse famiglie di isopodi è tale che ognuna di esse costituisce un microcosmo del tutto peculiare.

- Sfermatidi: sono presenti in territorio italiano con il genere *Monolistra*, distribuito con numerose specie nelle grotte della fascia prealpina dal confine italo-sloveno al Lago di Como. Ogni specie o sottospecie è da ritenersi endemica di un ristretto massiccio carsico. *M. (Microlistra) schottlaenderi*,

esclusiva di alcune sorgenti del Carso isontino, ed una specie in corso di studio, rinvenuta nell'estrema propaggine orientale della Venezia Giulia, sono i rappresentanti italiani del sottogenere *Microlistra*, diffuso in Slovenia e Croazia. Tutte le specie di questo sottogenere presentano vistosi tubercoli dorsali, talora prolungati in lunghe spine, interpretabili come efficaci strutture difensive, in particolare quando l'animale si appallottola per proteggersi dai predatori o per farsi trasportare dalla corrente. *M. (Monolistra) coeca julia* è invece l'unico rappresentante italiano del sottogenere *Monolistra* ed è endemica delle Prealpi Giulie; le restanti specie e sottospecie italiane appartengono al sottogenere *Typhlosphaeroma* (o forse a più sottogeneri affini) e sono presenti nel Carso triestino e goriziano, nelle Prealpi carniche, venete (Monti Lessini, Massiccio del Brenta e Colli Berici) e lombarde.

- Cirolanidi: famiglia comprendente per lo più specie marine, scoperta solo di recente nelle acque sotterranee italiane. *Typhlocirolana* aff. *moraguesi* (distinta con tecniche di biologia molecolare da *T. moraguesi* dell'Isola di Maiorca), rinvenuta in pozzi artificiali lungo la costa nei pressi di Siracusa, ha presumibilmente colonizzato le acque sotterranee nel corso delle regressioni marine plioceniche, come sembrano confermare le datazioni ottenute su base molecolare. *Sphaeromides virei*, presente in grotte del Carso goriziano e triestino, Istria e Dalmazia, è un predatore di dimensioni considerevoli (supera i 3 cm di lunghezza), che si pone ai vertici delle catene alimentari dei semplici ecosistemi sotterranei cavernicoli; il suo areale di distribuzione segue la linea di costa della Dalmazia (distribuzione illirica); la sua frammentazione in numerose sottospecie endemiche depone a favore di un antico

insediamento nelle acque sotterranee del Carso dinarico.

- Microparasellidi: isopodi di piccole dimensioni (pochi mm), in genere da considerarsi interstiziali; si tratta di specie di origine marina, la cui distribuzione ricalca antiche linee di costa dei mari terziari. Si conoscono sei specie italiane del genere *Microcharon*, ma nessuna di queste è stata sinora raccolta in grotta.
- Asellidi: famiglia comprendente numerose specie dulcacquicole, presenti sia nelle acque superficiali che in quelle sotterranee, con forme specializzate alla vita in ambiente sia freatico che cavernicolo. La famiglia è presente in Eurasia, Nord Africa e America settentrionale e centrale, ma le sue affinità con altre famiglie di isopodi marini permangono dubbie: le acque sotterranee sono state colonizzate sicuramente a partire dai corpi idrici di superficie. Sono state anche rinvenute nelle grotte popolazioni di specie epigee, depigmentate e ad occhi ridotti (microftalme), che denotano una fase di colonizzazione attiva del dominio ipogeo ancora in corso. Quasi tutte le specie stigobie sono endemiche italiane e presentano ristretti areali di distribuzione. Nell'ambito del genere *Asellus* è presente in Italia *Asellus cavernicolus*, che vive nel bacino del Fiume Timavo in provincia di



*Proasellus franciscocoli*

Tra gli stigobi meglio studiati da un punto di vista tassonomico ed evolutivo si distinguono senza dubbio due generi di crostacei isopodi (*Monolistra* e *Coecosphaeroma*) appartenenti alla famiglia sfermatidi. Hanno concorso a focalizzare su di essi l'interesse dei biogeografi alcuni importanti aspetti:

- i loro parenti più stretti sono tutti rigorosamente marini (il genere *Sphaeroma*, che raggruppa specie molto comuni nelle lagune e lungo le spiagge ciottolose), a testimonianza della loro origine;

non esistono generi affini nelle acque dolci di superficie

- la distribuzione geografica dei generi ricalca fedelmente i limiti dei mari terziari, come già ipotizzato da vari ricercatori all'inizio del secolo

- le loro dimensioni e la facilità di rinvenimento hanno consentito di effettuare accurate analisi a livello molecolare (elettroforesi), che hanno permesso di datare l'origine del genere *Monolistra* e di alcune delle sue specie: questa datazione coincide con estrema precisione con la crisi di salinità del Mediterraneo che aveva portato al quasi totale prosciugamento del bacino nel corso del Messiniano (Miocene superiore).

Questi fatti rendono i monolistrini degli egregi "modelli" di studio per formulare e testare ipotesi sull'origine ed evoluzione degli organismi cavernicoli. Anche in questo caso tuttavia non mancano le controversie, che partono sostanzialmente dalla seguente ipotesi: l'origine marina e la distribuzione del gruppo

sembrano congruenti con il "regression model evolution", che presuppone che questi organismi siano relict adattatisi all'ambiente sotterraneo in seguito alla regressione marina del Miocene. La colonizzazione avrebbe pertanto seguito una via diretta dal mare alle acque carsiche sotterranee e probabilmente in modo indipendente per i due generi (*Monolistra*, di origine mediterranea, e *Coecosphaeroma*, di origine atlantica). Questa teoria tuttavia è stata di recente criticata, contenendo in sé un

certo finalismo (gli animali sarebbero stati "spinti" a colonizzare le acque sotterranee dalle avverse condizioni ambientali, cioè dall'incremento della salinità). Recenti ricerche, ancora inedite, e la scoperta di innumerevoli fossili di sfermatidi terziari in ruscelli e torrenti di superficie hanno portato ad una nuova, più moderna ipotesi:

- le specie marine del genere *Sphaeroma* avrebbero colonizzato liberamente le acque dolci di superficie occupando le nicchie disponibili

- la crisi di salinità messiniana avrebbe interrotto il flusso genico con le popolazioni marine dando avvio al processo di speciazione

- l'incarsimento del territorio avrebbe favorito la colonizzazione

attiva delle acque sotterranee, ove vi era disponibilità di nicchie vuote e minore pressione competitiva, mancando gli insetti

- il progredire dell'incarsimento avrebbe isolato i diversi massicci carsici e favorito i processi di speciazione allopatrica; attualmente ogni bacino idrogra-

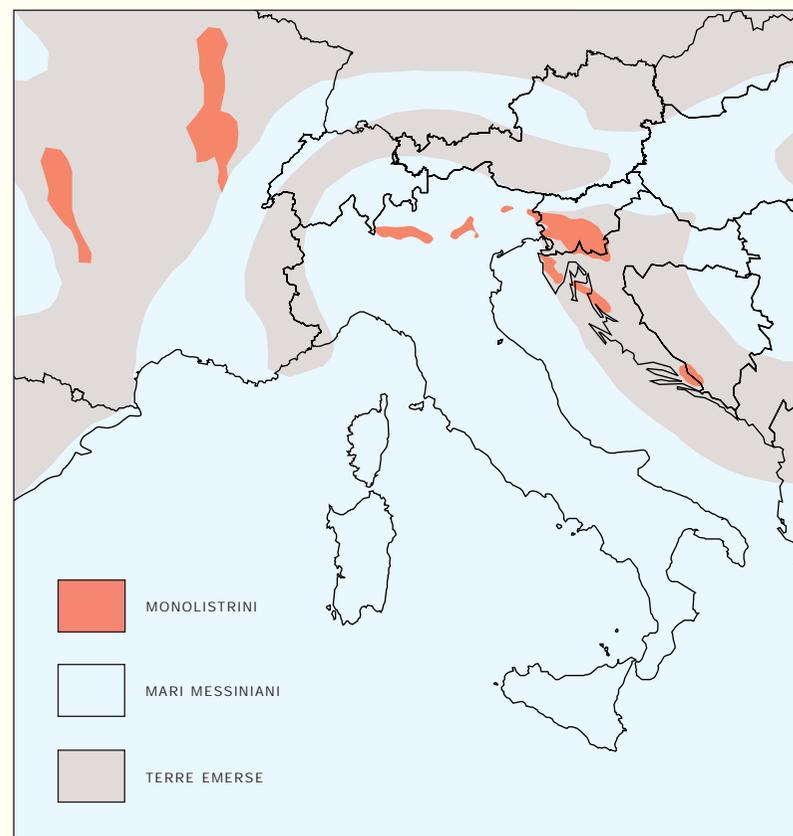


co ha infatti la sua specie o sottospecie di *Monolistra*

- variazioni climatiche o altri processi avrebbero infine causato la scomparsa delle specie di superficie.

I nostri monolistrini hanno sviluppato talora meccanismi di difesa eccezionali, in particolare nel genere *Monolistra*, con la presenza di acuminata e lunghe spine o di tubercoli; i loro nemici naturali sono principalmente i grossi anfipodi del

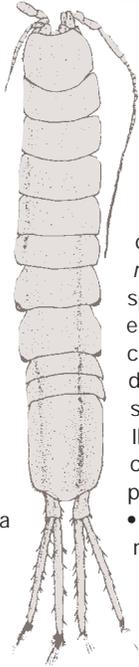
genere *Niphargus* o il proteo. Un altro meccanismo di difesa è la volvazione: possono appallottolarsi nascondendo totalmente ai predatori le appendici e la parte ventrale del corpo. Recenti studi hanno avvalorato l'ipotesi che in realtà la volvazione non sia solo un meccanismo di difesa, ma anche un mezzo per farsi trasportare più rapidamente dalle acque correnti, rotolando tra i ciottoli del fondale.



Distribuzione attuale dei monolistrini, sovrapposta alla paleogeografia dei mari messiniani

Trieste ed è stato recentemente studiato a livello molecolare da un'équipe slovena; si tratta presumibilmente del relitto di una colonizzazione pre-glaciale dell'area carsica giuliana e slovena da parte dell'affine specie epigea *A. aquaticus*. Al genere *Chthonasellus* è ascritta l'unica specie *C. bodoni*, endemica italiana (Provincia di Cuneo); presenta affinità solo col genere francese *Gallasellus* e con specie americane, a testimonianza di un'origine forse molto antica. Molto più numerosi sono invece i rappresentanti del genere *Proasellus*, presenti con numerose specie stigobie, cavernicole ed interstiziali, in tutta Italia; alcune di queste sono ancora in attesa di venir descritte. Tra le specie cavernicole endemiche più interessanti ricordiamo *P. ligusticus*, della Liguria e delle Alpi Apuane, *P. pavani* di una grotta nei pressi di Brescia, *P. cavaticus* del Piemonte occidentale, Liguria e Francia, *P. franciscocoli* di grotte della Liguria e del Cuneese, accanto a numerose specie, non ancora definite con esattezza, note finora con il nome collettivo di *P. patrizii*, esclusive di grotte della Sardegna. Anche per le specie stigobie del genere *Proasellus*, che conta in Italia anche specie di superficie, sono state formulate svariate ipotesi relativamente all'origine come relitti, cioè derivati da popolazioni che hanno trovato rifugio nelle acque sotterranee in seguito all'instabilità dei reticoli idrografici superficiali, oppure come attivi colonizzatori delle acque sotterranee.

- Stenasellidi: famiglia ad ampia distribuzione, include esclusivamente specie stigobie di origine molto antica. Il numero di specie italiane non è noto con



esattezza, poiché il raffinarsi delle tecniche di studio a livello molecolare sta portando ad uno sconvolgimento della sistematica tradizionale. Nel nostro Paese la distribuzione della famiglia è limitata a Toscana e Sardegna; la specie più nota è *Stenasellus racovitzai* (vedi disegno), di grotte della Toscana, mentre la fauna sarda è in corso di revisione. Utilizzando tecniche biochimiche, è stato possibile individuare in Sardegna almeno sei diverse specie endemiche. Due di queste (sinora attribuite a *S. racovitzai*) mostrano affinità con specie francesi, altre due (*S. nuragicus* e *S. assorgial*) rivelano invece affinità con specie dell'Europa orientale; infine due specie, individuate nel Nuorese, sono affini a quelle della Penisola Iberica, a testimonianza delle complesse vicissitudini paleogeografiche di quest'isola.

- Microcerberidi: è presente in Italia nelle acque dolci continentali con la sola specie stigobia *Microcerberus ruffoi*, della falda freatica dell'Adige, mai rinvenuto però in grotte; altre specie sono invece marine litorali.
- Oniscoidei: gli isopodi terrestri contano numerose famiglie con rappresentanti troglobi in Italia (stiloniscidi, triconiscidi, buddelundiellidi, trachelipidi, speleoniscidi e armadillidi); si tratta infatti di organismi dotati in genere di bassa capacità di dispersione e pertanto le specie endemiche sono frequenti; la loro distribuzione è molto interessante per il biogeografo, poiché testimonia le vicissitudini paleogeografiche del territorio italiano. Nell'Italia nordoccidentale troviamo ad esempio elementi che presentano popolazioni anche nelle Alpi Marittime francesi (e talora troglofile in una parte dell'areale e troglobie in un'altra); ricordiamo come caratteristici di



*Titanethes dahli*

quest'area *Trichoniscus volta* e *Alpioniscus feneriensis*; interessante inoltre la concentrazione di specie endemiche del genere *Buddelundiella* nelle Alpi Marittime e in Liguria. Procedendo da occidentale verso oriente lungo l'arco alpino, la casistica si fa più complessa e la tassonomia intricata; vi prevalgono specie afferenti al sottogenere *Dentigeroniscus* del genere *Androniscus*, con prevalenza della specie *A. dentiger*, presumibilmente eutroglofila. Nella Venezia Giulia infine troviamo specie troglobie ad affinità illiriche: *Titanethes dahli*, *Androniscus stygius* e *Alpioniscus (Illyrionethes) strasseri*. L'Italia appenninica presenta un numero di specie più limitato (ricordiamo *Miktoniscus patrizii* del Lazio e *Trichoniscus callorii* dei Monti Lepini), con l'eccezione della Puglia, dove si rinvengono interessanti elementi endemici (*Castellanethes sanfillipoi*, *Murgeniscus anelli*) o transadriatici quali *Aegonethes cervinus*. In Sicilia troviamo invece specie si endemiche, ma appartenenti a generi che contano per lo più rappresentanti epigei, quali *Armadillium lagrecai*; infine la Sardegna offre forse uno dei quadri faunistici più interessanti per il biogeografo, per la presenza di elementi paleotirrenici; ricordiamo *Scotoniscus janas*, *Catalauniscus hirundinella* e *C. puddui*.

**Anfipodi.** Come gli isopodi, anche gli anfipodi si presentano nel nostro Paese come un ordine ricco di specie marine, d'acqua dolce e, in piccolissimo numero, subterrestri. Gli anfipodi hanno colonizzato le acque sotterranee dal mare o dalle acque dolci di superficie ove si sono differenziati in un numero molto elevato di specie, mostrando in alcuni casi (si pensi al genere *Niphargus*) splendidi esempi di radiazione adattativa. Sono presenti in Italia quasi un centinaio di specie di acque sotterranee, gran parte delle quali cavernicole, altre infeudate negli ambienti interstiziali delle pianure alluvionali, negli interstrati delle rocce marnoso-arenacee o addirittura nelle fratture delle rocce ignee e metamorfiche. Di questa gran varietà verranno prese in considerazione le principali famiglie che contano rappresentanti stigobi.

- Bogidiellidi: si tratta di anfipodi comprendenti specie in gran parte interstiziali, talora litorali (eurialine o francamente marine), raramente raccolte nelle grotte (ad esempio *Bogidiella calicali* della Grotta del Fico, nell'Isola di San Pietro).
- Gammaridi: comprende per lo più specie di acque dolci superficiali o marine, piuttosto frequenti nelle grotte, in particolare nei tratti illuminati dei torrenti sotterranei nelle risorgive e negli inghiottitoi, come stigosseni (*Gammarus*, *Echinogammarus*). Sono stati trovati in grotte anchialine e sorgenti carsiche costiere specie dei generi *Rhipidogammarus* e *Tyrrenogammarus*. L'unica specie italiana francamente stigobia è *Ilvanella inexpectata*, di sistemi freatici e carsici dell'Isola d'Elba e della Toscana.
- Hadziidi: le specie del genere *Hadzia*, presumibile relitto tetideo, sono per lo più legate all'ambiente interstiziale e marino litorale. Tuttavia non mancano le specie cavernicole, quali *Hadzia fragilis stochi*,

sottospecie endemica, recentemente scoperta alle Bocche del Timavo ed in alcune grotte del Carso isontino; si tratta di un elemento francamente troglobio, con appendici molto allungate e delicate, che denotano una specializzazione all'habitat costituito dalle acque di base delle condotte carsiche. Altre specie italiane sono *Hadzia minuta*, di grotte e pozzi del Salento, e *H. adriatica* di pozzi pugliesi.

- Metacrangonictidi: famiglia di recentissima scoperta in Italia, annovera specie freatobie e cavernicole del bacino del Mediterraneo, del Marocco e di Fuerteventura. Da noi è presente solo *Metacrangonyx ilvanus*, endemico dell'Isola d'Elba, ove è stato rinvenuto in un solo pozzo, situato però in terreni alluvionali.



*Niphargus* del gruppo *speziae*

- Nifargidi: la sistematica del genere *Niphargus* (oltre 250 specie note, con rarissime eccezioni tutte stigobie) è molto intricata e controversa, e rappresenta forse per i tassonomi uno dei gruppi più "difficili" della nostra fauna. Sono note in Italia oltre una sessantina di specie (ma numerose altre sono in corso di descrizione), le cui differenze sono spesso basate su minuti dettagli morfologici. Il genere *Niphargus* presenta una distribuzione di tipo

europeo-meridionale, con estensione verso oriente sino all'Iraq, mentre ad occidente interessa solo marginalmente la Penisola Iberica; il genere è assente in Nord Africa. Il limite settentrionale è chiaramente segnato dalla massima espansione delle calotte glaciali würmiane, con rari esempi di ricolonizzazione di aree glacializzate da parte di specie ad ampia distribuzione. In base alle caratteristiche dell'areale di distribuzione è stato supposto che il genere abbia colonizzato le acque dolci europee a partire dai bacini della Paratetide terziaria, anche se recentemente è stata postulata un'origine ancora più antica.

La regione alpina è quella a più elevata biodiversità in Italia; vi sono presenti numerose specie endemiche di *Niphargus* da riportare ai gruppi *stygius* (a gravitazione europeo-orientale) e *longicaudatus* (a distribuzione più meridionale). Le specie del gruppo *stygius* si spingono sino all'Italia centrale lungo la dorsale appenninica e alle isole dell'Arcipelago Toscano, ove si trovano specie affini a *Niphargus speziae* della Liguria. L'Italia meridionale, la Sicilia e la Sardegna sono invece molto più povere di specie e vi predomina il gruppo *longicaudatus*. Un altro interessante gruppo, il gruppo *orcinus*, comprende grosse specie diffuse in Italia meridionale, nei Balcani e in Medio Oriente; in territorio italiano alcune specie penetrano dai Balcani nel Carso triestino ed isontino. Nelle grotte italiane si riscontrano ancora rappresentanti di altri gruppi di specie, a tassonomia intricata, tutti ad ampia distribuzione in Europa (gruppi *aquilex*, *kochianus*, *bajuvaricus*, *puteanus*) o specie endemiche ad affinità incerte (quali *Niphargus stefanellii*, noto di grotte dell'Italia centro-meridionale, che ha affinità solo con una specie dell'Istria e Dalmazia).



*Niphargus julius*

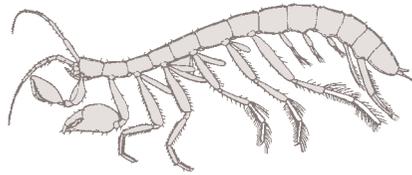
Da un punto di vista ecologico i rappresentanti del genere *Niphargus*, presenti pressoché in tutte le grotte ove vi sia una seppur minima attività idrica, rivestono un ruolo importante nell'ambito degli ecosistemi sotterranei, dove fungono da predatori o detritivori; possono raggiungere dimensioni notevoli (sino a 4 cm di lunghezza) e collocarsi pertanto al vertice delle piramidi alimentari di questi ambienti. Occupano tutte le nicchie disponibili, dall'ambiente interstiziale alle microfessure nelle rocce carbonatiche e non, ai corsi d'acqua, laghetti e sifoni sotterranei, sino alle condotte carsiche di maggiori dimensioni; alcune specie sono molto resistenti al disseccamento dei bacini ove abitano e possono sopravvivere in cellette nel suolo umido. A questa grande varietà di microhabitat corrisponde una notevole varietà nelle dimensioni (che vanno dai 2 ai 40 mm) e nella forma del corpo, che può essere "globuliforme", come nelle specie che presentano tendenza alla volvazione, o allungata, talora "vermiforme" (nelle specie interstiziali); la struttura può essere massiccia e tozza, come nelle specie del gruppo *orcinus*, con grossi arti anteriori conformati a pinza (gnatopodi), oppure esile e allungata, con gnatopodi piccoli, come in talune specie del gruppo *longicaudatus*.

- Pseudonifargidi: si tratta di una famiglia che non presenta uno stretto grado di parentela con i nifargidi, come potrebbe suggerire ingannevolmente il nome, ma che come quest'ultima ha prodotto una straordinaria radiazione adattativa nelle acque sotterranee. Ad esempio nella maggior parte della Penisola Iberica le specie di *Pseudoniphargus* sostituiscono quelle del genere *Niphargus* nelle grotte occupandone le stesse nicchie ecologiche. In Italia sono note quattro specie (di cui la più comune è *P. adriaticus*), presenti sia in ambiente interstiziale che in grotte non lontane dalla linea di costa.

- Salentinellidi: il genere *Salentinella* ha un'ampia distribuzione nelle regioni che si affacciano sul Mediterraneo, ed è stato supposto trattarsi di un elemento antico (forse paleomediterraneo); include solo specie stigobie. La colonizzazione delle acque sotterranee è probabilmente avvenuta ad opera di ignoti progenitori marini, forse a più riprese sin dal Miocene medio, considerando che la distribuzione del genere ricalca antiche linee di costa. La tassonomia delle specie di *Salentinella* italiane necessita di una revisione; la specie più comune, *Salentinella angelieri*, tipicamente interstiziale e frequente in acque debolmente salmastre non lontano dalla linea di costa, è riportata anche per grotte di massicci carsici isolati, in ambiente tipicamente montano; è presumibile che in queste aree carsificate siano presenti entità tassonomiche distinte ed endemiche, già descritte in precedenza come buone specie. Una specie sicuramente distinta ed endemica, *S. gracillima*, popola invece grotte e pozzi freatici della Puglia.

- Ingolfiellidi: si tratta di piccoli anfipodi stigobi dal corpo allungato, diffusi prevalentemente nell'ambiente interstiziale, sia marino che d'acqua dolce. Una sola specie è stata sinora

rinvenuta in Italia in acque francamente dolci; si tratta di *Ingolfiella (Tyrrenidiella) cottarellii*, rinvenuta solamente in una grotta dell'Isola di Tavolara (Sardegna).



- **Metaingolfiellidi:** *Metaingolfiella mirabilis* (vedi disegno) rappresenta uno degli animali più eccezionali della fauna cavernicola italiana. La specie è stata raccolta una sola volta (ma in numero elevato di esemplari) nell'acqua pompata da un pozzo del Salento, che attinge ad una falda carsica profonda, e descritta da Ruffo nel 1969; da allora le numerose ricerche biospeleologiche condotte nel Carso pugliese non hanno consentito di raccogliere ulteriori esemplari di questo endemita, da considerarsi rarissimo. Questo crostaceo è probabilmente uno dei più antichi elementi dell'intera fauna italiana.

**Batinellacei.** Sono note oltre 200 specie di questi crostacei, tutte stigobie. È stata formulata da alcuni ricercatori l'ipotesi che si tratti di un gruppo di origine molto antica, forse già ben diversificato nel Paleozoico. A quel tempo i batinellacei sarebbero stati diffusi nelle acque costiere litorali, nelle lagune e negli estuari della Laurasia, da dove avrebbero colonizzato il Gondwana nel Permo-Triassico, prima della frammentazione della Pangea, diffondendosi poi nelle acque sotterranee continentali. Questa affascinante ipotesi, seppure non ancora suffragata da prove oggettive, lega indissolubilmente lo studio della tassonomia di questi organismi con i

grandi eventi paleogeografici del nostro pianeta. In Italia la fauna a syncaridi è stata sinora poco studiata; sono stati riscontrati i generi *Bathynella*, *Anthrobathynella*, *Meridiobathynella*, *Sardobathynella* e *Hexabathynella*, comprendenti per lo più specie interstiziali. Tuttavia è recente il rinvenimento di ricche popolazioni di syncaridi, appartenenti a più specie in corso di studio del genere *Bathynella*, in pozzette di stillicidio di grotte dei Monti Lessini, delle Prealpi Giulie e del Carso goriziano e triestino, ove popolano presumibilmente le microfessure nei massicci carbonatici. Poiché questa scoperta è dovuta all'applicazione di nuove metodiche di campionamento in questi ambienti peculiari, è presumibile che i syncaridi siano molto più diffusi nelle grotte italiane di quanto sinora supposto.

**Termosbenacei.** Anche in questo caso, come per i batinellacei, ci troviamo in presenza di un ordine di origine molto antica, diffuso con oltre una trentina di specie stigobie nei cinque continenti. Anche la storia evolutiva di questi crostacei è legata, come per i batinellacei, alle regressioni marine tetidee, e ne ha seguito le vicissitudini. In Italia sono presenti nelle acque carsiche sotterranee (raramente in ambiente interstiziale) le seguenti specie: *Limnosbaena finki*, di grotte del Carso goriziano e triestino (nota anche della Bosnia); *Monodella stygicola*, endemica di grotte e pozzi della Puglia; *Tethysbaena argentarii*, endemica di una grotta del Monte Argentario (Toscana), e *T. siracusae*, endemica di pozzi della Sicilia.

**Misidacei.** I misidacei comprendono attualmente oltre 800 specie, per lo più marine o di acque salmastre, mentre pochi sono i rappresentanti presenti nelle



*Spelaeomysis bottazzii*

acque dolci e nelle acque sotterranee. La maggior parte delle stazioni di raccolta delle specie stigobie sono localizzate lungo la costa, a testimonianza di una origine presumibilmente recente da progenitori marini. In Italia sono note due specie stigobie presenti in grotte e pozzi con acque freatiche della Puglia: *Spelaeomysis bottazzii* e *Stygiomysis hydruntina*. Entrambe le specie, che possono convivere, sono endemiche italiane. Se l'adattamento di queste specie alle acque sotterranee, come suggeriscono recenti ricerche elettroforetiche, può essere ritenuto un evento piuttosto recente (pliocenico), l'ampia distribuzione geografica dei generi (che abbraccia le aree mediterranea, americana ed indo-pacifica) testimonia invece una notevole antichità dei misidacei delle acque continentali ed una presumibile origine tetidee.

**Decapodi.** I decapodi sono rappresentati nelle acque sotterranee del globo da oltre 170 specie stigobie; in Italia sono conosciuti i generi cavernicoli *Troglocaris* (presente nel Carso isontino e triestino) e *Typhlocaris* (presente in Salento). Esistono in Italia tre specie di gamberetti del genere *Troglocaris* appartenenti al gruppo *anophthalmus*; si tratta tuttavia di "sibling species", cioè specie indistinguibili morfologicamente, ma

nettamente separabili con metodi di biologia molecolare. In base alla ricostruzione paleogeografica ed alla datazione approssimativa dei tempi di divergenza mediante l'orologio molecolare, si è postulato che la speciazione delle tre specie sia avvenuta tra 700 000 e 1 700 000 anni fa in seguito al formarsi di barriere idrogeologiche tra le acque sotterranee del Carso isontino (legato al bacino dell'Isontino), del Carso triestino (legato al bacino del Timavo) e dei piccoli bacini locali del Carso istriano, di cui esiste in Italia un piccolo lembo. Attualmente queste barriere idrogeologiche in parte non sussistono più, ed è per questo motivo che in alcune località due delle tre specie di *Troglocaris* convivono senza incrociarsi. L'altra specie italiana, *Typhlocaris salentina*, è invece endemica di grotte della Puglia; le altre due specie



*Typhlocaris salentina*

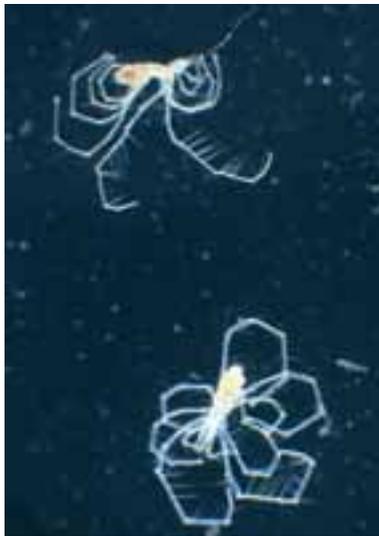


*Troglocaris* gruppo *anophthalmus*

conosciute del genere *Typhlocaris* vivono in acque sotterranee di Israele e Libia.

**Acari.** Si tratta di aracnidi di piccole o piccolissime dimensioni (da 3 cm a 0,1 mm), per la maggior parte terrestri anche se si contano diverse specie d'acqua dolce e pochissime specie marine. Sono presenti praticamente in tutti gli ambienti e possono essere predatori, necrofagi, fitofagi, commensali di mammiferi ed uccelli - nutrendosi di peli, penne, pelle desquamata, secrezioni grasse - ed infine parassiti di altri animali, sia invertebrati che vertebrati.

Gli acari terrestri che frequentano le grotte sono numerosi; si possono incontrare sui depositi di guano o nei pressi di altro materiale organico, sul terreno o nelle fessure della roccia. Pochi di essi sono legati a questo ambiente e possono quindi essere considerati cavernicoli. Nelle grotte italiane si incontrano i rappresentanti di diverse famiglie tra cui citiamo a titolo di



Acari specializzati del genere *Rhagidia*

esempio: macrochelidi, con *Geholaspis mandibularis*; parasitidi, con *Pergamasus quisquiliarum*, ampiamente distribuito nelle grotte di tutta Italia e delle isole; poliaspinidi con *Uroseius sorrentinus*, specie legata alle grotte dell'Italia centro meridionale; ragidiidi, con numerose specie tra cui ricordiamo *Troglocheles strasseri*, elemento apparentemente molto legato agli ambienti cavernicoli del nord Italia, Francia, Svizzera, Austria ed ex Jugoslavia. Vi sono poi diverse specie, legate al suolo ed al guano, dell'ordine oribatidi che si possono incontrare nelle grotte italiane. Molto interessante e discussa la posizione di un parassita di pipistrelli, *Ixodes vespertilionis* (famiglia ixodidi): molti autori lo considerano infatti come un elemento troglobio, essendo stato trovato spesso all'interno delle grotte senza il proprio ospite ed in tutti gli stadi di sviluppo, mentre altri studiosi lo considerano invece come cavernicolo occasionale legato alla presenza dei chiroterteri.

**Palpigradi.** Questi piccoli aracnidi ciechi, caratterizzati dalla presenza di un lungo flagello all'estremità dell'addome, sono senza dubbio gli abitanti delle grotte meno conosciuti dagli zoologi. Il fatto che tutti i palpigradi siano depigmentati e privi di apparato visivo, sia che vivano in grotta che fuori, e la scarsità di dati ecologici riguardanti quest'ordine di artropodi, rende molto difficile inquadrare le specie trovate in grotta in una delle categorie ecologiche normalmente usate per i cavernicoli. Si nutrono preferibilmente di collemboli ed altri piccoli artropodi che predano alla base delle stalagmiti o sotto i sassi sul suolo. Nelle grotte italiane sono state ritrovate dieci specie, tutte appartenenti al genere *Eukoeneria*. Sette di queste sono state raccolte solo in grotta. Di particolare



Palpigra del genere *Eukoeneria*

interesse *E. gasparoi* della Venezia Giulia, *E. brignolii* della Puglia, *E. patrizii* ed *E. graffittii* della Sardegna che sembrano presentare particolari tratti adattativi per la vita in ambienti ipogei. Altre specie sono note di alcune cavità dell'arco alpino.

**Pseudoscorpioni.** Gli pseudoscorpioni, piccoli aracnidi simili agli scorpioni ma privi della famosa "coda" e di aculeo velenifero, costituiscono un ordine molto ben rappresentato nelle grotte italiane e in quelle di molte aree in Europa, in Asia e nelle Americhe. Presentano degli adattamenti, a volte molto accentuati, per la vita in ambienti ipogei. Le loro dimensioni variano dai 2 mm delle forme epigee, che si trovano sotto le foglie morte nel sottobosco, sotto le cortecce o sotto le pietre profondamente interrate, fino ai 7-8 mm delle forme cavernicole più specializzate. In grotta si possono incontrare sotto le pietre o sul pavimento mentre attendono i piccoli invertebrati di cui si nutrono e che catturano con le chele poste sui pedipalpi, particolarmente allungati nelle specie troglodie.

Su circa 210 specie sinora note del territorio italiano, 124 sono state citate di

grotta e 80 di queste si possono considerare dei veri cavernicoli. Le grotte che hanno fornito reperti di pseudoscorpioni sono oltre 440 e le regioni meglio conosciute riguardo gli stessi sono la Liguria, il Veneto, il Friuli-Venezia Giulia e la Sardegna; poco o nulla si sa invece della Val d'Aosta, delle Marche, dell'Umbria e del Molise.

Gli pseudoscorpioni cavernicoli italiani appartengono a tre distinte famiglie. Agli ctoniidi appartengono i generi *Chthonius*, *Spelyngochthonius* e *Troglochthonius*, di cui gli ultimi due sono considerati elementi relitti di un popolamento molto antico risalente al prequaternario. Tra i neobisiidi ricordiamo: il genere *Neobisium*, distribuito in tutta la penisola con numerose specie epigee e con poche specie dei sottogeneri *Blothrus* e *Ommatoblothrus* rispettivamente nelle grotte del Veneto e Friuli-Venezia Giulia e dell'Italia centro-meridionale; il genere *Roncus*, generalmente meno legato del



*Neobisium lulense*

precedente alle grotte nell'Italia centro meridionale, è rappresentato da specie troglobie in numerose cavità dell'arco alpino e dell'Appennino settentrionale; il genere *Acanthocreagris*, di cui sono attualmente conosciute, per l'Italia, tre specie troglobie trovate in grotte dell'Italia settentrionale e della Sardegna; ed infine il genere *Balkanoroncus* con *B. boldorii* delle Prealpi lombarde e venete. Ai siarinidi afferiscono i generi *Hadoblothrus*, rappresentato nelle nostre grotte unicamente in Puglia da *H. gigas*, e *Pseudoblothrus*, con *P. ellingseni* di grotte del Piemonte: le specie di questi ultimi due generi, relitti di antichi popolamenti, sono estremamente modificate in relazione all'ambiente sotterraneo.



Opilione del genere *Ischyropsalis*

**Opilioni.** Aracnidi noti per le loro lunghe zampe, vengono facilmente confusi con i ragni: gli osservatori più attenti potranno però osservare come l'addome degli opilioni non sia attaccato al resto del corpo tramite un sottile peduncolo, come nei ragni, ma saldato ad esso in tutta la sua larghezza. Sono per lo più attivi predatori ma non disdegnano, in alcuni casi, anche animali morti. Numerose sono le specie di opilioni che frequentano le nostre grotte, ma solo alcune di queste possono essere considerate realmente troglobie o

comunque eucavernicole. Tra quelle che mostrano un legame più stretto con l'ambiente di grotta, possiamo citare la famiglia travuniidi con *Buemarinoa patrizii* che abita alcune grotte in provincia di Nuoro. Sempre nelle grotte della Sardegna, possiamo incontrare *Mitostoma patrizii* che, insieme a *Mitostoma anophthalmum* delle Prealpi lombarde, sono i rappresentanti troglobi della famiglia nemastomatidi. Un'altra famiglia, che comprende diverse specie cavernicole, è quella degli ischiropsalididi; a questa appartengono, tra le numerose altre, *Ischyropsalis ravasinii*, conosciuto di alcune grotte del Veneto e Friuli, *I. muellneri*, presente nelle Alpi e Prealpi Giulie e *Ischyropsalis strandi*, del Monte Baldo e della Lessinia; vi sono poi altre specie di questo genere, non propriamente troglobie, ma comunque fortemente legate agli ambienti ipogei, come *I. adamii* delle grotte appenniniche, probabile colonizzatore recente di questi ambienti. Tutte le specie cavernicole di *Ischyropsalis* preferiscono ambienti con temperature piuttosto basse; si cibano abitualmente di chiocciole che catturano con i possenti cheliceri.

**Ragni.** Si tratta dell'ordine di aracnidi meglio conosciuto, di cui sono segnalate in Italia oltre 1400 specie, 200 delle quali sono state rinvenute nelle grotte, anche se solo una parte di esse può essere considerata cavernicola; numerose specie di superficie, infatti, sono molto mobili e penetrano con facilità (volontariamente o accidentalmente) nei tratti iniziali delle cavità sotterranee, dove costituiscono una rilevante frazione della fauna trogllossena. Questi formidabili predatori colonizzano l'ambiente sotterraneo in tutte le sue parti, dagli ingressi, ove sono presenti forme igrofile e lucifughe che tessono



*Nesticus eremita*

tele (anche di grandi dimensioni) alle pareti o fra i sassi del fondo, ai settori più interni, abitati da elementi più specializzati, che cacciano costruendo la tela oppure vagando nel detrito o sulle concrezioni calcitiche.

I ragni possiedono normalmente otto o sei occhi semplici che, nelle specie cavernicole, tendono a ridursi fino a scomparire del tutto. Tale riduzione non avviene però casualmente; gli occhi mediani sono i primi a scomparire, mentre quelli laterali sono assenti solo nelle forme più specializzate. Parallelamente alla scomparsa degli occhi si nota lo sviluppo dei tricobotri, lunghe setole che permettono di percepire gli spostamenti dell'aria e l'ambiente circostante.

All'interno di una grotta sono molte le zone dove si possono incontrare dei ragni; le specie cavernicole presentano



*Stalita taenaria*

spesso strette parentele con quelle che vivono in ambienti umidi come la lettiera dei boschi, in zone rocciose con poca vegetazione o sotto le pietre infossate nel terreno.

Ricordiamo le principali famiglie rappresentate nell'ambiente di grotta:

- Disderidi: vi appartengono gli elementi troglobi più specializzati, tutti predatori vaganti; sono rappresentati in Italia da *Stalita nocturna* e *Stalita taenaria* della Venezia Giulia e da *Sardostalita patrizii* della Sardegna centro-orientale.
- Leptonetidi: appartengono a questa famiglia cinque specie troglofile del genere *Leptoneta*, che si possono trovare nelle grotte della Liguria e della Sardegna, e la troglobia *Leptoneta baccettii* dell'Isola d'Elba, unica specie cieca. *Paraleptoneta spinimana* è un elemento troglifilo diffuso nel versante tirrenico della penisola, in Sicilia ed in Sardegna. I leptonetidi catturano le loro prede utilizzando una piccola ragnatela che viene tesa tra i sassi sul suolo o nelle anfrattuosità delle pareti.
- Folcidi: comprende specie di modeste dimensioni ma con zampe notevolmente allungate; l'unico elemento legato in parte all'ambiente di grotta è il troglifilo *Pholcus phalangioides*, diffuso in moltissime grotte italiane dove caccia le sue prede costruendo ragnatele irregolari; è specie sinantropa, diffusa anche nelle cantine e nelle abitazioni.
- Tetragnatidi: è presente nelle nostre cavità con tre specie cavernicole appartenenti alla fauna parietale: *Metellina meriana*, frequentissima in tutto il paese; *Meta menardi*, più grande della precedente e presente solo nell'Italia peninsulare e *Meta bourneti*, anch'essa di grandi dimensioni e presente in alcune aree della penisola e nelle isole.
- Linifiidi: vi appartengono piccoli ragni che costruiscono tele orizzontali; sono i

più diffusi in Italia e presentano il numero più elevato di specie cavernicole. Tra esse le numerose specie di *Troglohyphantes* presenti nelle grotte dell'arco alpino e in una dell'Appennino ligure; a questo genere appartengono una trentina di specie, per lo più non particolarmente specializzate, ma con alcuni elementi che possono essere considerati troglobi, come *T. konradi* del Piemonte, *T. bolognai* e *T. bonzanoi* della Liguria, *T. caporiaccoi*, *T. cavadinii* e *T. regalini* della Lombardia, *T. exul* del Veneto e *T. juris* e *T. scientificus* del Friuli. Sempre a questa famiglia appartengono i generi *Porrhomma*, non particolarmente legato ad ambienti ipogei, il cui rappresentante più conosciuto e ad ampia diffusione è *P. convexum*; *Lepthyphantes*, rappresentato da specie troglofile e presente in tutta Italia; e *Centromerus*, composto da ragni di piccole dimensioni, il cui unico elemento troglobio italiano è il minuscolo *C. cottarellii* noto di una grotta ligure.

- Nesticidi: annovera in Italia sette specie del genere *Nesticus*, tutte cavernicole. In due casi si tratta di troglofili poco specializzati: *N. eremita*, presente nell'Europa mediterranea e comunissimo nelle grotte italiane (fatta eccezione per la Sardegna), e *N. cellulanus*, ampiamente diffuso nell'Europa centro-settentrionale ed occidentale, che si rinviene in Italia solo nella regione alpina. Le rimanenti cinque specie, presenti in aree limitate e caratterizzate in varia misura da riduzione oculare, sono da considerarsi troglobie o troglofile specializzate; si tratta di *N. idriacus*, presente in Friuli e in poche stazioni del Veneto, *N. morisii* di una cavità artificiale del Piemonte, *N. menozzii* della Liguria, *N. speluncarum*, rinvenuto in una ristretta area a cavallo di Liguria, Emilia e Toscana, e *N. sbordonii* di una grotta del Lazio.

- Agelenidi: è rappresentata dai generi

*Tegenaria*, non particolarmente specializzato, di cui è facile vedere in grotta le caratteristiche tele ad imbuto e *Histopona*, che presenta l'unico agelenide italiano particolarmente specializzato, *H. palaeolithica* della Liguria.

- Liocranidi: è da segnalare la presenza, in due grotte della Sicilia, di *Cybaeodes molaris*, specie microftalma esclusiva dell'isola.



Litobiide del genere *Eupolybothrus*

**Chilopodi.** I chilopodi (centogambe o centopiedi) sono facilmente riconoscibili osservando il numero di zampe presenti su ciascuno dei segmenti corporei: ognuno di essi reca sempre un unico paio di zampe (15 o più paia negli adulti). Molti chilopodi sono legati ad ambienti umidi o sub-lapidicoli, molto simili agli ambienti cavernicoli che spesso colonizzano.

Nelle grotte italiane sono presenti una settantina di specie di centopiedi e la maggior parte di esse appartiene alla famiglia litobiidi con i generi *Lithobius*, *Eupolybothrus* e *Harpolithobius*.

Sebbene questi veloci predatori siano frequenti negli ambienti ipogei, solo pochissimi di loro sono stati ritrovati

unicamente all'interno di cavità naturali, tra questi: *Lithobius scotophilus* presente in alcune grotte delle Alpi Liguri e Alpi Marittime; *Lithobius doderoi* che si incontra solo nelle cavità della Sardegna in provincia di Nuoro e *Lithobius electrinus*, della Grotta Tomba del Polacco nelle Prealpi bergamasche, rinvenuto però anche in sede epigea nel Comasco. Tra tutte quelle presenti in Italia, solo due specie possono essere considerate realmente troglobie; una è *Lithobius sbordonii*, litobiide cieco, depigmentato e con antenne fortemente allungate che vive in alcune grotte della porzione orientale della Sardegna, e l'altra è *Eupolybothrus obrovensis*, specie presente nelle grotte della Slovenia e solo recentemente rinvenuta anche sul Carso triestino. Tra gli scolopendromorfi si possono incontrare i rappresentanti della famiglia criptopidi, tutti ciechi ma in genere non troglobi; all'interno delle cavità si incontrano infatti solo alcune specie appartenenti al genere *Cryptops* che, pur essendo piuttosto comuni nelle nostre grotte, non presentano caratteri adattativi particolarmente evidenti.

**Diplopodi.** I diplopodi (o millepiedi) si distinguono immediatamente dai chilopodi (centopiedi) poiché possiedono due paia di zampe per ogni segmento del corpo. Sono animali molto legati agli ambienti umidi e per questo motivo frequenti sia nell'ambiente endogeo che all'interno delle grotte: spesso non è pertanto facile stabilire il grado di fedeltà delle specie all'ambiente sotterraneo. I diplopodi che possono essere considerati veri troglobi presentano i classici adattamenti morfologici alla vita di caverna; sono infatti depigmentati, ciechi e con antenne allungate. La maggior parte di essi si ciba di resti vegetali e, occasionalmente, di animali in

decomposizione. I diplopodi si possono osservare, all'interno delle cavità, nei pressi di resti di legno o foglie marcescenti, sotto i sassi o vaganti sulle pareti nelle zone più umide. Per l'Italia sono conosciute circa 150 specie che hanno, a diverso titolo, rapporti con l'ambiente cavernicolo.

- Glomeridi e trachisferidi: sono caratterizzati dalla presenza di un



*Polydesmus troglobius*



*Chersoiulus sphinx*

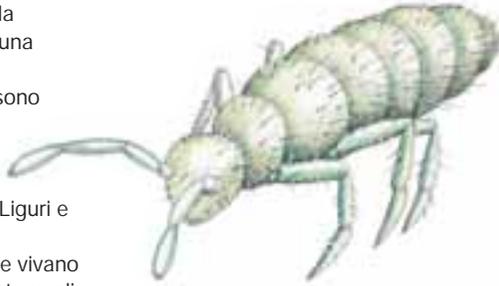


*Plectogona sanfilippoi bosseae*

numero ridotto di segmenti e dalla capacità di arrotolarsi formando una piccola palla (volvazione, comportamento per il quale possono essere superficialmente confusi con alcuni isopodi oniscoidi); i generi italiani più interessanti sono *Spelaeoglomeris* delle Alpi Liguri e Marittime e *Trachysphaera*.

- Polidesmidi: tutti ciechi, sia che vivano in grotta che in superficie, presentano gli anelli spesso carenati e sono ampiamente rappresentati nelle nostre grotte dai generi *Polydesmus*, *Serradium*, *Mastigonodesmus*, *Sardodesmus* e *Schedoleiodesmus*.
- Craspedosomatidi: famiglia ampiamente diffusa in tutta Italia e Sardegna con diversi generi e numerose specie; queste presentano spesso dei processi laterali su ciascuno dei segmenti del corpo e posseggono un paio di filiere preposte alla secrezione di seta.
- Callipodidae: anch'essi provvisti di filiere, hanno un regime alimentare carnivoro e sono presenti in Italia con il genere *Callipus*, diffuso in tutta la penisola ed in Sardegna, ed il genere *Sardopus*, endemico di quest'isola. Nonostante la loro predilezione per gli ambienti sotterranei, questi diplopodi non mostrano particolari adattamenti morfologici alla vita nelle grotte.
- Julidi: sono presenti nelle nostre cavità con diverse specie appartenenti ai generi *Trogloius* dell'Italia settentrionale e *Typhloius* con alcune specie dell'Italia settentrionale ed una del Lazio e *Syniulus*, endemico della Sardegna.

**Collemboli.** Questa classe costituisce il più antico gruppo di esapodi conosciuto. I collemboli sono tutti di piccole dimensioni (in genere 1-2 mm) e sono forse gli artropodi più numerosi presenti nelle grotte. Nonostante ciò, si tratta di un gruppo ancora poco studiato.



Collembolo del genere *Pseudosinella*

Nei collemboli la depigmentazione e la riduzione o la scomparsa degli occhi non è una caratteristica esclusiva delle specie troglobie; in queste ultime è stato però notato un allungamento delle unghie, probabilmente per facilitare gli spostamenti su substrati umidi e ricoperti da un film di acqua, nonché altri adattamenti tipici dei troglobi (rallentamento del metabolismo, riduzione della prolificità, diminuzione della capacità di ritenzione idrica e maggiore resistenza al digiuno).

Per l'Italia è conosciuta una cinquantina di specie ritrovata unicamente o con una certa frequenza in grotta; della maggior parte non è possibile stabilire il grado di affezione per l'ambiente cavernicolo. Queste specie appartengono a numerose famiglie: ipogastruridi, come *Bonetogastrura cavicola* della Puglia e *B. subterranea*, entrambe probabili colonizzatrici recenti dell'ambiente sotterraneo, e diverse specie di *Mesogastrura*; onichiuridi con diverse specie del genere *Onychiurus*; isotomidi, a cui appartiene *Isotomurus subterraneus* delle grotte del Trentino; entomobriidi, con specie maggiormente specializzate, che presentano un maggiore allungamento degli arti e delle unghie, delle antenne e dell'organo sensorio ad esse associato; tra le specie più interessanti ricordiamo *Pseudosinella*

*alpina*, *P. insubrica* e *P. concii* presenti nell'arco alpino dal Piemonte al Veneto. Di notevole interesse è sicuramente il tomoceride *Troglopedetes ruffoi* presente in Puglia nella Grotta l'Abisso, nei pressi di Castro Marina. Infine bisogna ricordare la famiglia arropalitidi, con alcune specie del genere *Arrhopalites*, e la famiglia sminturidi a cui appartiene *Disparrrhopalites patrizii* presente in grotte della penisola ed in Sicilia.



Dipluro campodeide

**Dipluri.** A questa classe di esapodi appartengono complessivamente circa 800 specie che, per la maggior parte, prediligono aree con climi caldi e temperati. I dipluri sono prevalentemente depigmentati e forniti di lunghe antenne. Delle cinque famiglie italiane, solo due presentano specie legate all'ambiente cavernicolo.

- Campodeidi: sono provvisti di lunghe antenne e dall'ultimo segmento addominale si dipartono due lunghi cerci multiarticolati. Di tutte le aree del mondo, l'Europa centrale e meridionale sono le zone più ricche di campodeidi cavernicoli; in Italia sono presenti alcune specie dei generi *Campodea*, in massima parte nel centro-sud ed in Sardegna e,

nelle grotte appenniniche, *Plusiocampa*. A quest'ultimo genere appartiene il numero più elevato di campodeidi cavernicoli (quasi 40 specie in Europa). Di particolare interesse la presenza in Sardegna dell'endemica *Patrizicampa sarda*, elemento troglobio che presenta un elevato livello di specializzazione.

- Japigidi: nei rappresentanti di questa famiglia i cerci sono formati da un unico articolo e sono trasformati in una sorta di pinza con la quale si difendono ma soprattutto catturano le loro prede, rappresentate da acari ed altri piccoli artropodi. Meno diffusi dei campodeidi e legati ad ambienti con umidità relativa molto elevata, non sembrano avere particolari adattamenti alla vita cavernicola sebbene siano abbastanza presenti nelle grotte. Per l'Italia sono da segnalare *Metajapyx moroderi patrizianus* della Sardegna, sottospecie endemica di una specie nota solo di poche altre grotte della Spagna, e *Metajapyx peanoi*, cavernicola dell'Italia settentrionale, che presenta un allungamento delle antenne particolarmente pronunciato.

**Ortotteri.** Gli ortotteri o saltatori comprendono i grilli e le cavallette. Si tratta di insetti fitofagi (che si nutrono cioè di vegetali), saprofiti (che si nutrono cioè di sostanze organiche in decomposizione) o predatori; le specie cavernicole sono in genere saprofiti, ma sono stati osservati casi di predazione e cannibalismo. Altri adattamenti negli ortotteri cavernicoli sono la classica riduzione della pigmentazione, l'allungamento dei palpi, la riduzione o scomparsa delle ali. Gli ortotteri sono rappresentati, nelle cavità naturali ed artificiali italiane, dalle famiglie rafidoforidi e grillidi, cui afferiscono specie più o meno troglofile.

- Rafidoforidi: vi appartengono i generi *Dolichopoda* e *Troglophilus*; il primo è

*Dolichopoda calabra**Troglophilus neglectus**Gryllomorpha dalmatina*

presente in Italia con una decina di specie tra cui degne di nota *Dolichopoda ligustica* della Liguria, Piemonte e Lombardia; *Dolichopoda laetitiae* dell'Italia centro settentrionale; *Dolichopoda schiavazzii* del litorale toscano e dell'Isola d'Elba; *Dolichopoda geniculata* presente dal Lazio alla Puglia e *Dolichopoda calabra* della Calabria. In Sicilia è stata descritta, nel 1776, *D. palpata* da un autore tedesco al quale erano stati inviati alcuni esemplari di una grotta vicino a Siracusa, dove non è stata mai più ritrovata. Interessante il ritrovamento di una consistente popolazione di *Dolichopoda* in una grotta del Veneto (Grotta della Poscola, sui Lessini vicentini) che pare essere stata introdotta accidentalmente dall'uomo. Il genere *Troglophilus* è invece presente in Italia con tre specie: *Troglophilus neglectus* del Friuli-Venezia Giulia, Veneto e Trentino Alto Adige; *Troglophilus cavicola* il cui areale si estende fino alla Lombardia; *Troglophilus andreinii* è invece presente, con due sottospecie, unicamente in Puglia, testimone di un antico popolamento anteriore alla separazione di questa regione dalla vicina penisola balcanica.

- Grillidi: vi appartengono *Gryllomorpha dalmatina*, ad ampia distribuzione in Italia, e *Gryllomorphella uclensis*, che frequentano abitualmente le cavità artificiali e naturali, zone umide e cantine; *Petaloptila andreinii*, specie tipica delle lettieri dei boschi ma presente in diverse cavità appenniniche (questa specie è di colore marrone scuro ed ha due piccole ali squamiformi). *Acroneuroptila puddui* e *A. sardoa* sono ortoteri alquanto caratteristici perché, pur essendo specie esclusivamente cavernicole, hanno anch'esse conservato delle cortissime ali squamiformi, ma evidenziano una marcata depigmentazione. Il genere sembra essere esclusivo della Sardegna.

*Stenophylax mitis*

**Tricotteri.** Questi insetti, alati da adulti, sono acquatici allo stadio larvale. Si rinvencono comunemente in grotta allo stadio adulto come subtroglifili, mentre le larve con i loro caratteristici astucci (dette portalegna o portasassi) si possono incontrare nelle zone d'ingresso di grotte con corsi d'acqua interni. Nelle cavità italiane i tricotteri sono presenti da febbraio a novembre, con un massimo di presenze in primavera ed estate, e possono rappresentare una componente piuttosto importante della fauna parietale. Una quindicina di specie di stenofilacini sono presenti nelle grotte italiane come elementi subtroglifili; tra queste ricordiamo *Stenophylax permistus*, il più grande stenofilacino cavernicolo, la specie più ampiamente diffusa nelle cavità dell'Italia continentale, peninsulare e Sardegna; *S. vibex*, specie piuttosto rara in Italia, conosciuta di alcune grotte dell'Appennino centro settentrionale; *S. mucronatus*, *S. crossotus* e *S. mitis*. Passando al genere *Micropterna* incontriamo *M. lateralis* dell'Italia settentrionale, *M. nycterobia* che sembra prediligere le grotte di alta quota situate tra i 1000 ed i 2500 metri di altitudine, *M. sequax*, *M. malatesta*, *M. testacea* e *M. fissa* che è la specie di tricottero più numerosa nelle grotte italiane e per la quale sono stati osservati accoppiamenti da marzo a settembre. Al

genere *Mesophylax* appartengono tre specie cavernicole: *Mesophylax aspersus* è distribuito dall'Italia settentrionale fino alla Puglia ed è l'unica specie attualmente segnalata di Sicilia; *M. sardous* è una specie endemica della Sardegna presente in diverse grotte dell'isola; *M. impunctatus* è una specie riportata per poche grotte dell'Italia settentrionale.

*Scoliopteryx libatrix*

**Lepidotteri.** Le grotte rappresentano, per molte farfalle, un rifugio stabile nello spazio e nel tempo. Alcune di esse trascorrono sulle pareti delle grotte il periodo invernale, altre vi si trovano nelle stagioni calde ed altre ancora le utilizzano durante il giorno o la notte ed in caso di cattivo tempo. Sebbene nessuna specie possa essere realmente considerata troglobia, molti lepidotteri sono ospiti costanti delle grotte e alcuni microlepidotteri, legati al guano, trascorrono tutta la loro vita nelle cavità dove vi siano ammassi di escrementi di pipistrelli; i loro bruchi vivono sul guano cibandosi di funghi, del guano stesso ed occasionalmente predando piccoli invertebrati. I lepidotteri rappresentano una importante fonte di nutrimento per numerosi animali troglobi, sia come cibo per i saprofagi una volta morti sia come prede per diversi ragni o per i

gasteropodi del genere *Oxychilus*, adattatisi a cibarsi di artropodi come le farfalle del genere *Scoliopteryx* su cui è stata più volte osservata una predazione attiva.

In Italia sono state ritrovate, con una certa frequenza all'interno di cavità, una quindicina di specie appartenenti a diverse famiglie.

- Psichidi: vi appartiene *Psyche casta*, piccola farfalla notturna le cui femmine, come tutte quelle ascritte a questo genere, non posseggono ali ed aspettano il maschio all'interno di un astuccio fatto di frammenti vegetali, dove hanno trascorso il periodo larvale; all'interno delle grotte è stata osservata solo in Italia.
- Tineidi: conosciuti ai più per i danni che alcuni rappresentanti di questa famiglia possono arrecare ai vestiti ed altri tessuti, incontriamo *Monopis rusticella*, nota anche di diverse grotte dell'Europa centro-orientale.
- Acrolepidi: è rappresentata nella nostra penisola da *Digitivalva (Inuliphila) granitella*, presente spesso in gran numero nei pressi degli ingressi delle cavità.
- Alucitidi: è presente il genere *Alucita*, caratteristico per le ali piumose, che presenta in diversi paesi europei numerose specie subtroglifile.
- Geometridi: vi appartengono *Triphosa dubitata*, i cui adulti volano in estate e si possono incontrare di giorno in questo periodo o ibernanti durante i mesi freddi, e *T. sabaudiana*, che si può incontrare estivante o ibernante nelle nostre grotte ed in quelle di tutta Europa.
- Arctiidi: sono state recentemente studiate delle popolazioni appenniniche di *Nudaria mundana*, specie presente in tutta l'Italia peninsulare, che in alcune grotte del Gran Sasso d'Italia sono state rinvenute costantemente all'interno ed in tutte le fasi del ciclo biologico.

- Nottuidi: vi appartengono la maggior parte dei lepidotteri che frequentano le nostre grotte; tra questi ricordiamo *Rhyacia simulans* e *Apopestes spectrum* molto diffusi nelle grotte di tutta l'Italia; *Scoliopteryx libatrix*, che trascorre l'inverno nelle grotte da dove esce nel periodo primaverile; *Autophila dilucida* e *Hypena obsitalis*, ritrovata in grotte italiane, slovene e croate.
- Ninfalidi: tra questi lepidotteri diurni si incontrano con una certa frequenza *Inachis io* e *Aglais urticae*, che possono trascorrere l'inverno all'interno delle grotte.

**Ditteri.** Dei ditteri, provvisti notoriamente di un solo paio di ali (il secondo è ridottissimo e trasformato in organi di equilibrio, i bilancieri), esistono circa 100 000 specie conosciute, delle quali circa un centinaio è stato rinvenuto, con una certa frequenza, nelle cavità naturali ed artificiali delle zone temperate. Nelle nostre grotte si incontrano diverse specie, più o meno legate all'ambiente sotterraneo. La specie più diffusa è *Limonia nubeculosa* (famiglia limoniidi),



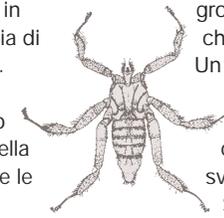
*Limonia nubeculosa*

subtroglifila, comunissima nelle grotte dove si trova spesso sulle pareti nelle zone di ingresso o più raramente all'interno. Questa specie è abbondante soprattutto durante il periodo estivo,

quando si possono contare, in alcune cavità, anche centinaia di individui per metro quadrato. Durante il periodo invernale, sulle pareti delle grotte fanno la loro comparsa le specie della famiglia culicidi, in particolare le femmine di *Culex pipiens*, la nostra zanzara comune.

L'elemento più interessante, forse unico vero troglobio tra i ditteri italiani, è *Allopnixia patrizii* (sciariidi). Questa specie, conosciuta solo di una grotta vicino a Roma, presenta un maschio di dimensioni molto ridotte (meno di un millimetro) e con le ali molto piccole (ma provvisto di bilancieri ed ocelli); la femmina invece è di dimensioni molto più grandi, circa due millimetri e mezzo, senza ali e bilancieri. Anche gli ocelli, nella femmina, sono assenti e l'addome è enormemente sviluppato, tanto da superare di quasi tre volte la lunghezza del resto del corpo. Entrambi i sessi sono depigmentati ed anche gli occhi sono molto ridotti (8 ommatidi nel maschio e 4 nella femmina). La larva di questa specie è ancora sconosciuta.

Nelle grotte fredde di alta quota si incontrano frequentemente i tipulidi del genere *Chionea*, elementi criofili, atteri ma apparentemente non particolarmente legati all'ambiente di grotta che usano per lo più come rifugio. Gli eleomizidi cavernicoli comprendono la cosiddetta "mosca del guano", *Theleia atricornis*, dittero troglifilo legato soprattutto alla presenza di accumuli di guano, ma anche di altri escrementi di mammiferi e piccoli cadaveri; si può incontrare in grotta tutto l'anno in diversi stadi del ciclo biologico. Per i foridi, nelle nostre grotte si incontrano alcune specie del genere *Triphleba*, presenti nelle cavità naturali ed artificiali, spesso legate alla presenza di guano. Altre famiglie riscontrate, regolarmente o occasionalmente, nelle



grotte italiane sono: micetofilidi, chironomidi, psicodidi e foridi. Un discorso a parte meritano i nictერიბიდი (vedi disegno), ectoparassiti dei pipistrelli, atteri, ciechi e con zampe ed unghie sviluppate, atte alla presa sull'ospite. Solo le femmine prima della deposizione ed i giovani in cerca del

loro primo ospite lasciano il pipistrello. Anche gli streblidi sono parassiti dei chiroterteri ma posseggono ali e sono meno strettamente legati all'ospite.

### Coleotteri.

- Carabidi: i carabidi rappresentano una delle più grandi famiglie di coleotteri; comprendono infatti più di 40 000 specie in tutto il mondo, in massima parte predatrici (pur potendo utilizzare anche altre risorse alimentari). Centinaia di specie di carabidi sono state descritte in diversi ambienti sotterranei del mondo; gli adattamenti morfologici e fisiologici sono spesso molto evidenti, dall'allungamento degli arti ed antenne, allo sviluppo di setole sensoriali sulle elitre e di chemiocettori e organi olfattivi, fino alla scomparsa dei ritmi circadiani, al rallentamento del metabolismo ed alla riduzione del numero di uova deposte. Insieme ai colevidi, rappresentano il gruppo più studiato e maggiormente rappresentato della fauna cavernicola italiana. Si possono infatti osservare nelle varie specie di questa famiglia tutti i termini di passaggio verso la conquista dell'ambiente ipogeo, dalle specie con caratteristiche tipiche degli endogei, passando attraverso diversi gradi di adattamento, fino alle numerose specie troglodie cosiddette "ultraevolutive". I carabidi cavernicoli italiani appartengono a quattro tribù: clivinini, trechini, sfodrinini e molopini. Tra i clivinini incontriamo solo il troglobio *Italodytes stammeri*, endemico della

Puglia, dove si può incontrare nelle grotte delle Murge e del Salento. I più numerosi sono senz'altro i trechini che rappresentano la maggioranza dei carabidi cavernicoli, con undici generi attualmente conosciuti in Italia, di antica origine paleoegeica o paleomediterranea. *Typhlotrechus bilimeki*, eutroglofilo, è specie nota di grotte del Carso Triestino e più comune in Slovenia e Croazia. Il



*Orotrechus muellerianus*



*Italaphaenops dimaioi*



*Duvalius apuanus*

genere *Orotrechus* comprende più di una trentina di specie, di cui almeno una ventina eucavernicole e le altre endogee, diffuse dai Lessini veronesi fino all'Austria, alla Slovenia ed alla Croazia. La maggior parte delle specie di questo genere è endemica delle Alpi e Prealpi orientali italiane e molte di esse presentano una sovrapposizione di areali. Sulle Alpi occidentali si incontra invece il genere endemico *Doderotrechus*, a cui appartengono tre specie: *D. ghilianii* presente in ambienti endogei e di grotta, *D. crissolensis* che si trova spesso nelle stesse località della precedente e *D. casalei* più strettamente cavernicola. Strette affinità con *Doderotrechus* sono evidenti nel genere *Boldoriella* delle Alpi centrali a cui appartiene un gruppo di specie che frequentano l'ambiente endogeo e non frequenti, o addirittura mai ritrovate, all'interno delle grotte accanto ad un altro gruppo più strettamente cavernicolo che presenta anche un grado di specializzazione morfologica più elevato. Insieme alle specie cavernicole di *Boldoriella* si incontrano spesso quelle del genere *Allegrettia*, elementi troglobi distribuiti nelle prealpi bresciane e bergamasche. *Italaphaenops dimaioi*, endemico dei Lessini veronesi, ritrovato la prima volta durante una delle esplorazioni all'interno della Spluga della Preta, è il più grande trechino cavernicolo del mondo. La colonizzazione delle grotte da parte di questo troglobio può essere fatta risalire ad un'epoca anteriore alle ultime glaciazioni. Altri elementi troglobi di estremo interesse sono le tre specie attualmente conosciute di *Lessinodytes*, endemiche dei Lessini veronesi e delle Prealpi bresciane ed anch'esse sistematicamente isolate dagli altri trechini cavernicoli; la difficoltà nel reperimento degli individui di questo

genere, nelle grotte per le quali sono conosciuti, lascia supporre che l'ambiente di elezione di questi animali non sia rappresentato dalle cavità vere e proprie, bensì dall'ambiente sotterraneo superficiale circostante. Il genere più numeroso di trechini cavernicoli italiani, *Duvalius*, è rappresentato da più di sessanta specie, riunite in diversi gruppi. Questo genere è ampiamente distribuito sulle Alpi, sull'Appennino, in Sicilia ed in Sardegna. Alcune specie sembrano appartenere ad un popolamento di più antica origine e sono maggiormente specializzate ed isolate geograficamente, altre sono di origine più recente. *Agostinia launoi*, unica specie del genere in Italia, è endemica del Monte Marguareis nelle Alpi Liguri dove abita le grotte più fredde e convive con alcune specie di *Duvalius*. Il genere *Anophthalmus* comprende invece numerose specie, cavernicole ed endogee, a diverso grado di adattamento alla vita cavernicola. L'areale di questo genere è compreso tra la Croazia, la Slovenia ed a nord fino alla Drava; in Italia è presente con una decina di specie, anch'esse a diversi livelli di specializzazione, sulle Alpi orientali. Ultimo nell'elenco dei trechini è *Sardaphaenops supramontanus*, elemento estremamente specializzato ad affinità betico - pirenaiche. È endemico della Sardegna orientale dove si trova in varie cavità del Supramonte di Orgosolo, di Oliena e dei monti di Urzulei. Alla tribù sfodrini appartengono la maggior parte dei carabidi eutroglofilo; non sono infatti conosciuti, sul territorio nazionale, sfodrini troglobi. A questa tribù appartiene *Sphodropsis ghilianii*, endemico delle Alpi occidentali dove è noto di numerose cavità e, in alcune stazioni di alta quota, è stato ritrovato in ambienti epigei ed in tane di marmotta.

Anche il genere *Laemostenus* appartiene alla tribù degli sfodrini. Esso è suddiviso in due sottogeneri (fino a qualche tempo addietro considerati come generi): *Antisphodrus* che popola le grotte delle Alpi centro orientali e *Actenipus* che si incontra nelle cavità delle Alpi occidentali, dell'Appennino centro meridionale e della Sardegna. Alla tribù dei molopini appartengono diverse specie endogee ma anche una troglobia di particolare importanza: *Speomolops sardous* endemico della Sardegna, dove abita poche grotte nel Nuorese. Le sue affinità sistematiche con altri generi delle Baleari e della Spagna lo fanno rientrare in quella categoria di animali che testimoniano i rapporti delle faune sarde con quelle tirrenico-occidentali.



*Sphodropsis ghilianii*

- Colevidi: questa famiglia di coleotteri ha probabilmente avuto origine nel Giurassico (e forse anche in epoca anteriore) nelle foreste che ricoprivano la parte meridionale dell'unico continente allora esistente, la Pangea. La frantumazione di quest'ultima e il successivo allontanamento delle zolle continentali che ne derivarono portarono all'attuale disposizione delle terre emerse che rende in parte conto dell'odierna distribuzione degli organismi animali originari di quell'antico unico continente. Da quei primi antenati degli attuali

colevidi si sono evolute, seguendo gli spostamenti dei continenti, le otto sottofamiglie di questi coleotteri che attualmente popolano gran parte delle terre emerse del nostro pianeta. La maggioranza delle specie vive al suolo e una buona parte di esse è legata ai diversi ambienti sotterranei terrestri, dalle grotte vere e proprie, alla rete di fessure e microclasi inaccessibili all'uomo, dall'ambiente sotterraneo superficiale alle cavità artificiali. Tutti i colevidi presentano costumi alimentari di tipo saprobiotico; si nutrono infatti di materia organica in decomposizione. Insieme ai carabidi, presentano i più straordinari e studiati esempi di adattamento alla vita in ambienti ipogei. L'aspetto più evidente riguarda la regressione degli occhi, già molto avanzata nelle specie endogee ma portata al massimo nelle specie troglobie per le quali è stata osservata in alcuni casi anche la totale scomparsa dei centri ottici gangliari; la scomparsa del pigmento e delle ali membranose e l'allungamento degli arti sono altre ben note forme di adattamento presenti anche in questi insetti. Diversi colevidi leptodirini e carabidi trechini presentano anche una particolare forma globosa delle elitre definita come "falsa fisogastrìa", adattamento legato al bisogno di mantenere un alto tasso di umidità per la respirazione attraverso la superficie dorsale dell'addome; l'argomento è stato discusso nel capitolo dedicato agli adattamenti dei troglobi. Numerosi studi, condotti sull'ecologia e l'etologia dei leptodirini, hanno permesso di evidenziare diverse strategie adattative; tra queste, di particolare rilevanza sono la riduzione del numero di uova, la scomparsa dei ritmi circadiani, l'abbassamento del metabolismo e l'utilizzo di particolari feromoni di aggregazione in risposta alla scarsità di cibo e alle particolari condizioni di vita

all'interno delle cavità terrestri. Delle otto sottofamiglie in cui sono suddivisi i colevidi, solo cinque sono presenti in Italia e non tutte presentano la stessa affezione per l'ambiente sotterraneo. La sottofamiglia dei nemadini, infatti, pur comprendendo alcune specie cavernicole dell'Anatolia, dell'Afghanistan, del Pakistan e dell'Arizona, non è rappresentata nelle nostre grotte da alcun elemento legato a questo particolare ambiente; lo stesso si può dire degli ptomafagini, di cui sono conosciute numerose specie eutroglofile e troglobie in diverse parti del mondo, ma ritrovati solo molto raramente all'interno delle grotte italiane e mai con specie esclusive di questo ambiente. Anche per gli anemadini vale lo stesso discorso mentre fra i colevidi si possono incontrare alcuni elementi che, seppure non strettamente cavernicoli, si riscontrano frequentemente all'interno delle grotte italiane; fra questi *Catops speluncarum* delle grotte sarde, tre specie appartenenti al genere *Choleva*, presenti in diverse grotte della penisola e *Apocatops monguzzii* dell'Italia settentrionale. I leptodirini, infine, rappresentano circa la metà delle specie di colevidi conosciute nel mondo e sono quelli più strettamente legati all'ambiente ipogeo; fra essi troviamo gli esempi più eclatanti e studiati di strategie adattative che si



Colevidi leptodirini in accoppiamento

manifestano sia a livello organismico che popolazionale.

Nelle grotte della Liguria si incontrano numerose specie, troglobie ed endogee, del genere *Parabathyscia*; rappresentanti di questo genere si incontrano anche nelle Alpi Marittime francesi, in Corsica e in Inghilterra, oltre che in Piemonte e nell'Italia peninsulare (alcune stazioni in Toscana, Lazio, Campania e Calabria), dove però non si trovano all'interno delle grotte ma solo in ambiente endogeo. In Piemonte, sul versante orientale dell'arco alpino, si incontrano due specie del genere *Dellabeffaella*: *D. olmii*, che vive nell'ambiente sotterraneo superficiale nelle Alpi Cozie e *D. roccai* delle grotte delle Alpi Graie. Altre tre specie si rinvenivano nelle grotte e nell'ambiente sotterraneo superficiale del Piemonte: *Canavesiella lanai*, *C. casalei* e *Archeoboldoria doderoana*. In Lombardia sono presenti il genere *Insubriella* con una sola specie (*I. paradoxa*) dell'ambiente sotterraneo superficiale del bresciano, numerose specie di *Pseudoboldoria*, tre specie troglobie e una endogea di *Viallia* del bergamasco e le numerose specie del genere *Boldoria*, delle quali molte troglobie, che estendono il loro areale fino al Monte Baldo in Veneto.

Nelle Alpi orientali, il cui confine con quelle occidentali è nettamente segnato, per quanto riguarda i leptodirini, dalla valle dell'Adige, la situazione è sicuramente più complessa e variegata. Sono infatti presenti numerosi generi a diverso grado di specializzazione e con differenti affinità filetiche. Citiamo *Monguzziella grottolo*, appartenente alla serie filetica delle *Boldoria*, unico elemento dell'arco alpino orientale che mostra delle affinità con i generi occidentali; *Neobathyscia* comprende diverse specie concentrate in massima parte nelle grotte dei Monti Lessini in

Veneto che presentano una interessante distribuzione altitudinale compresa tra i 500 ed i 1100 metri di quota. Due specie di *Lessiniella* sono presenti in provincia di Vicenza e due specie appartenenti al genere troglobio *Cansiliella* vivono rispettivamente in una grotta del Cansiglio e in una del Monte Ciaurlec (Friuli), dove si ritrovano per lo più vaganti sul velo d'acqua che ricopre le concrezioni. Nelle cavità delle Prealpi Tridentine, dei Lessini e dell'Altopiano dei Sette Comuni in Veneto si trovano, generalmente in grotte d'alta quota, le cinque specie conosciute del genere *Halbherria*; nelle cavità delle Prealpi venete e friulane si possono incontrare le specie del genere *Orostygia*, elementi prevalentemente troglobi che, in particolari condizioni ambientali di umidità elevata e stabile, come avviene ad esempio nel bosco del Cansiglio, si possono trovare in ambienti endogei; interessante anche il genere *Oryotus*, delle prealpi dal Veneto alla Slovenia: nelle zone orientali dell'areale si ritrova anche in grotte d'alta quota con ghiaccio. Delle tre specie e ben quindici sottospecie appartenenti al genere *Aphaobius*, solo una arriva in Italia, *A. milleri forojulensis* del Friuli, mentre le altre sono distribuite in Slovenia e Croazia; questo genere è strettamente imparentato con i due precedenti e con *Cansiliella*. Il genere di leptodirini italiano



*Leptodirus hohenwarthi reticulatus*

che presenta il maggior grado di modificazione morfologica in funzione adattativa all'ambiente sotterraneo è senza dubbio *Leptodirus*. Questo genere monospecifico è presente in Italia in una grotta del Carso triestino con la sottospecie *L. hohenwarthi reticulatus*, mentre il suo areale è maggiormente esteso in Slovenia e Croazia; è stato questo, come si è già ricordato, il primo insetto scoperto all'interno di una grotta. Sugli Appennini si incontrano, oltre alle già citate *Parabathyscia*, le specie del genere *Bathysciola*, presenti anche in Piemonte, Liguria, Veneto e Sicilia. Queste sono però per la maggior parte endogee e solo alcune specie sono troglobie; esempi interessanti di specie cavernicole, come *Bathysciola sisernica*, *B. sbordonii* e *B. delayi*, si incontrano nel Preappennino laziale e campano. Altri interessanti esempi di leptodirini troglobi si ritrovano in Sardegna: i generi endemici *Ovobathysciola* e *Patriziella* e il genere *Speonomus*, comune anche ai Pirenei, dove è più largamente diffuso. La distribuzione di quest'ultimo genere è testimone delle vicende paleogeografiche dell'isola.

- **Stafilinidi:** famiglia di coleotteri facilmente riconoscibili per il corpo allungato e le elitre fortemente ridotte, conta pochi rappresentanti nell'ambiente cavernicolo: tra questi le specie troglifile *Atheta spelaea* e *Quedius mesomelinus* sono elementi tipici dell'associazione guanobia; *Lathrobium alzonai* è specie endemica delle grotte dei Colli Berici. Vengono oggi ascritti agli stafilinidi anche gli pselafidi (sottofamiglia pselafini). Si tratta di coleotteri di piccola taglia, (inferiore ai 2.5 mm), lucifughi ed igrofilii. All'esterno delle grotte si trovano nell'ambiente endogeo, nei formicai, nei termitai, nella lettiera, nei detriti vegetali in decomposizione e nel legno marcio. Sono tutti predatori, per lo più di collemboli. In

Italia sono presenti una decina di specie eucavernicole, altre sono invece presenti in grotta solo occasionalmente. Le specie francamente cavernicole appartengono ai generi *Tychobythinus*, con specie presenti nelle cavità dell'Italia peninsulare e della Sardegna; *Bryaxis*, con specie note per alcune grotte dell'Italia nordorientale; *Machaerites*, a cui appartiene *M. ravasini* del Carso triestino e della Slovenia, una delle specie della fauna italiana più specializzate per la vita in grotta; *Bythoxenus*, con *B. italicus* segnalato solo per una grotta in provincia di Udine e *Gasparobythus* del Carso triestino.

- **Isteridi:** questi coleotteri, per lo più di forma globosa od ovale, vivono nello sterco, nei cadaveri, sotto le cortecce degli alberi morti o deperienti e nel legno fradicio, nei funghi marcescenti ed in altri materiali in decomposizione, così come in nidi di uccelli e tane di mammiferi, nonché associati a formiche di diverse specie. Sono tutti predatori di altri artropodi sia allo stadio larvale che allo stadio immaginale. Pochi isteridi hanno colonizzato l'ambiente cavernicolo; in Italia sono attualmente conosciute solo cinque specie troglobie: *Spelaeabraeus agazzii* (con ben tre sottospecie), *S. georgii*, *S. infidus* e *S. tormenei*, presenti solo in alcune grotte dell'Italia nordorientale, e *Sardulus spelaeus*, endemica di una grotta in provincia di Nuoro (Sardegna). Tutte queste specie mostrano una totale regressione degli occhi, l'assenza di ali e la fusione delle elitre, oltre ad un parziale allungamento delle zampe. Occasionalmente nelle grotte, ma più frequentemente nelle vicinanze dell'ingresso, si rinvenivano anche altri isteridi, soprattutto specie del genere *Gnathoncus*, che però non presentano alcuno degli adattamenti morfologici caratteristici della vita cavernicola e pertanto non possono essere considerate troglobie.



Curculionidi del genere *Otiorhynchus* in accoppiamento

- **Curculionidi:** sono coleotteri facilmente riconoscibili per l'inconfondibile allungamento del capo che conferisce loro una forma a rostro più o meno allungata. Questa caratteristica ha fatto guadagnare a questi insetti il nome comune di "punteruoli". Tutti i rappresentanti di questa famiglia sono fitofagi; molti di loro sono altamente specializzati per questo tipo di alimentazione, tanto da essere legati unicamente ad alcune parti di specifiche piante. Proprio questa loro caratteristica alimentare ha impedito ai curculionidi di colonizzare massivamente l'ambiente di grotta. Le specie che si incontrano più frequentemente all'interno delle grotte sono quelle che si cibano di radici e di legno e che sono, quindi, più legate al suolo ed all'ambiente endogeo. La maggior parte di queste specie appartiene al genere *Otiorhynchus* (sottogeneri *Troglogryhynchus* e *Lixorhynchus*) e sono frequenti (od esclusive) dell'ambiente cavernicolo dell'Italia centro-settentrionale. Sono tuttavia presenti anche nell'Italia meridionale con *O. (L.) monteoni* dell'inghiottitoio di Campo Braca e con una seconda specie, sempre di *Lixorhynchus*, ancora inedita di una grotta dei Monti Alburni. In Sardegna *O. (L.) doderoi* è stata rinvenuta nella grotta di Sos Turritas (Golfo Aranci).

Quest'ultima tuttavia è stata raccolta numerosa anche all'esterno al vaglio in ambiente di macchia mediterranea. Altri generi rappresentati nelle grotte italiane sono *Absoloniella*, con *A. reitteri* di due grotte del Carso triestino; *Amaurorhinus caoduroi* e *Pselactus caoduroi*, di due grotte in Puglia e *Pararaymondynimus mingazzinii* dell'Emilia Romagna.

**Ambi.** Escludendo le specie trogllossene, che talora (come *Salamandra salamandra*, la salamandra pezzata), possono riprodursi con successo nei ruscelli delle grotte, sono da considerarsi cavernicole le specie appartenenti ai pletodontidi ed ai proteidi.



*Speleomantes*

- **Pletodontidi:** si tratta di una famiglia di urodeli privi di polmoni, con una distribuzione molto particolare. Sono infatti presenti in America con 250 specie ed in Europa con almeno 7 entità relitte diffuse in Italia (Alpi Liguri, Appennino centro-settentrionale e Sardegna) e in Francia sud-orientale. Le specie del genere *Speleomantes* (geotritoni), in gran parte legate al territorio italiano, rappresentano una delle più importanti emergenze naturalistiche del nostro paese. Esse vivono in habitat rupestri molto diversi, ma tutti caratterizzati da ridotta insolazione diretta, grande umidità

relativa, e sono sempre legati ad interstizi fra le rocce oppure alle cavità ipogee, dalle quali raramente si allontanano. Per quanto nel corso della notte oppure nelle giornate più umide si possano talora rinvenire anche in ambiente epigeo, è più facile osservarli all'interno di cavità carsiche, ove possono essere particolarmente numerosi anche su pareti rocciose verticali, subverticali o aggettanti. Su queste superfici umide e sovente sottoposte a intenso stillicidio i geotritoni si spostano lentamente sfruttando sia la tensione di interfaccia aria-acqua, sia la capacità adesiva di particolari espansioni digitali. Questi animali sono piuttosto opportunisti dal punto di vista alimentare. Anche nella più totale oscurità essi catturano invertebrati di diversi gruppi tassonomici, utilizzando la lingua vischiosa e fungiforme che può essere rapidamente rovesciata all'esterno della bocca. Nelle cavità italiane possono essere facilmente osservate le seguenti specie: *Speleomantes ambrosii* (province di La



*Speleomantes strinatii*

Spezia e Massa Carrara, meno le porzioni nord-occidentali dove si rinviene la specie seguente); *Speleomantes strinatii* (Piemonte sud-occidentale e Liguria, nelle province di Savona, Genova e Imperia); *Speleomantes italicus* (Garfagnana, Alpi Apuane, province di Reggio Emilia, Lucca, Pesaro e Pescara, introdotto nel Senese); *Speleomantes flavus* (provincia di Nuoro); *Speleomantes*

*genei* (Sulcis-Iglesiente, provincia di Cagliari); *Speleomantes imperialis* (province di Nuoro, Oristano e Cagliari); *Speleomantes supramontis* (Oliena, provincia di Nuoro).

I geotritoni sono protetti dalla convenzione di Berna e risultano inclusi nella Direttiva Habitat promulgata dalla Comunità Europea. La loro limitata distribuzione areale, talora circoscritta a ridotti sistemi di cavità ipogee, li rende vulnerabili, dato che in queste condizioni essi non sono in grado di sopravvivere a radicali trasformazioni dell'habitat. Per questo motivo alcuni geotritoni sono anche inclusi nelle liste rosse dell'IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura).

- Proteidi: l'unico rappresentante europeo di questa famiglia, e l'unico anfibio troglobio della fauna italiana, è *Proteus anguinus*, il proteo. L'altro genere della famiglia, *Necturus*, è americano e vive in superficie nei fiumi e nei laghi. Il proteo è sicuramente uno degli organismi cavernicoli più noti al grande pubblico, e la storia della sua scoperta risale addirittura al 1689, anno in cui il Valvasor lo segnalò come un "pétit dragon" delle grotte di Postumia (attualmente in Slovenia), mentre la prima esatta descrizione scientifica è stata fornita dal Laurenti nel 1768.

I protei hanno il corpo anguilliforme e gli occhi, negli individui adulti, sono atrofici e nascosti sotto la pelle; gli arti anteriori possiedono tre dita, i posteriori due. Il colore è di solito biancastro, talora rosato, ma si è osservato che l'esposizione alla luce induce una debole e labile pigmentazione. Tra le caratteristiche che rendono il proteo una specie eccezionale della nostra fauna vi è senza dubbio il fenomeno della neotenia. Vengono indicati come neotenic quelli animali che raggiungono la maturità sessuale e si riproducono pur



*Proteus anguinus*

mantenendo morfologicamente dei caratteri larvali. Il fenomeno è frequente in alcuni urodeli, come i tritoni, che talora conservano da adulti le branchie esterne proprie dello stadio larvale. Tuttavia, se nei tritoni la metamorfosi può essere indotta da stimoli naturali o in laboratorio, nel proteo si tratta di una neotenia obbligatoria ed irreversibile. La riproduzione del proteo è rimasta a lungo un mistero ed un tempo vi erano opposte teorie che hanno fatto nascere una controversia tra coloro che sostenevano trattarsi di una specie vivipara e quelli che invece la ritenevano ovipara. In realtà il proteo è una specie ovipara; le uova vengono deposte in natura una alla volta nell'arco di circa un mese, in numero di 20-80. Normalmente sono attaccate le une alle altre sulle rocce e sotto le pietre e la nascita delle larve avviene a temperatura ambiente dopo 13-20 settimane. E qui sta la sorpresa: le larve, grigiastre, possiedono occhi ben distinti sino all'età di circa due mesi. Le larve, che alla nascita misurano circa 16-22 mm, crescono lentamente e fino a 3 mesi si nutrono esclusivamente delle riserve vitelline: solo successivamente divengono predatrici. In natura la riproduzione avviene raramente prima del decimo anno di età (11-14 anni nei maschi, 15-18 nelle femmine). Tutti i protei adulti sono

predatori e si cibano prevalentemente di oligocheti e crostacei acquatici; sono stati osservati anche in Italia casi di protei che nel corso della notte escono in superficie a predare piccoli artropodi. Anche l'origine del proteo e l'antichità della colonizzazione delle acque sotterranee è spesso dibattuta. Dall'esame di resti fossili (*Hylaeobatrachus croyi*) trovati a Bernissart in Belgio assieme a quelli degli iguanodonti e risalenti al Cretaceo inferiore, è noto che i proteidi vivevano in quel periodo nelle acque di superficie. La teoria in passato più accreditata sosteneva che le popolazioni epigee di proteidi siano persistite nelle acque superficiali europee almeno sino alla metà del Miocene, quando le aree ove il proteo attualmente vive erano in fase precarsica ed esisteva ancora un esteso reticolo idrografico epigeo. Con il progredire del carsismo nel Pliocene è presumibile che il proteo abbia attivamente colonizzato le acque sotterranee del Carso dinarico. Tuttavia questa teoria è stata di recente confutata dai ricercatori sloveni, dopo la scoperta di una nuova sottospecie (*Proteus anguinus parkelj*, descritta nel 1994), dal muso più schiacciato, oculata e pigmentata, nel Carso della Bela Krajina, che le analisi genetiche hanno dimostrato molto affine alle popolazioni troglobie della stessa area; è stata pertanto postulata una colonizzazione del dominio ipogeo molto più recente. Tuttavia recenti indagini hanno messo in evidenza come in realtà potrebbe esistere più di una specie di proteo nell'area dinarica (nel 1850 ne erano state descritte addirittura 7 sottospecie in base al numero di vertebre), riproponendo pertanto la possibilità di una colonizzazione pre-quaternaria delle acque sotterranee. La distanza genetica tra le popolazioni della Bela Krajina e

quelle di *Postumia* sembra datare le divergenze addirittura al Miocene superiore, riproponendo la validità della vecchia ipotesi. La distribuzione del proteo va dal fiume Isonzo, in provincia di Gorizia, sino al Montenegro spingendosi nell'entroterra di Slovenia, Croazia e Bosnia. In Italia la specie è nota di numerose grotte del Carso isontino e triestino dove, pur minacciata da recenti eventi inquinanti e dalla compromissione dell'habitat, è fortunatamente ancora comune; una colonia isolata esiste inoltre nella Grotta Parolini ad Ollero (Valstagna, provincia di Vicenza). Si sa comunque con certezza che questa popolazione deriva da una immissione, avvenuta nel 1850, di alcuni esemplari sloveni che si sono ben acclimatati. Il proteo, per la sua eccezionalità ed il ristretto areale che occupa nel territorio attuale della Comunità Europea, è protetto da varie normative internazionali, ed in particolare è specie inclusa nell'allegato II della Direttiva Habitat e nell'IUCN Red List.

**Chiroteri.** Per quanto i pipistrelli non siano sempre strettamente associati alle grotte, l'immaginario collettivo attribuisce loro uno speciale legame con le cavità ipogee. Si tratta nel complesso di quasi un migliaio di specie volatrici di aspetto, taglia e abitudini molto varie. Oltre alla capacità di volare utilizzando un ampio patagio teso fra le falangi delle mani, le zampe posteriori e la coda, la più spettacolare caratteristica dei pipistrelli è l'ecolocazione. Molti altri mammiferi si servono di emissioni ultrasoniche per comunicare con i conspecifici, per localizzare la preda o farsi un'idea della topografia dell'ambiente in cui vivono (cetacei, toporagni, ecc.), ma nei microchiroteri insettivori questa capacità sembra essere particolarmente raffinata, poiché essi la utilizzano costantemente,



*Plecotus auritus*

anche nel corso dei più rapidi scarti ed evoluzioni aeree. Nelle più diverse condizioni di attività essi emettono rapide sequenze di click ultrasonici e si servono dei loro echi di ritorno sia per localizzare in volo le prede di cui si nutrono, sia per catturarle, sia per orientarsi in assenza di luce ed evitare gli ostacoli. Per questo motivo non sono in grado di cacciare quando piove e di regola si rifugiano nei loro nascondigli parecchi minuti prima che abbiano inizio le precipitazioni. I microchiroteri europei sono per lo più caratterizzati da limitate capacità di termoregolazione. Questa condizione, nota come omeotermia imperfetta, è abbastanza diffusa tra i mammiferi di climi temperati (ricci, ghiri, marmotte, pochi carnivori, ecc.) e consente di limitare il dispendio metabolico sia nei periodi di riposo diurno, sia nel corso dell'inverno, quando l'ambiente è particolarmente avaro di risorse. In questo periodo gli animali si ritirano in letargo all'interno di un ibernacolo dotato di temperatura e umidità costanti, nel quale fra l'altro si possono accoppiare. I luoghi scelti per l'ibernazione sono per lo più cavità rupestri o arboree, crepe o fessure di soffitte, infissi sconnessi, fabbricati diruti, e hanno caratteristiche



*Myotis myotis*

diverse nelle varie specie. Anche se alcune di esse amano cavità fredde e ventilate (barbastello), in generale le cavità scelte per l'ibernazione sono profonde, umide e termostate, con una temperatura che si mantiene piuttosto costante anche nel corso della cattiva stagione. All'interno di queste celle di ibernazione i pipistrelli gregari si possono radunare in gran numero, fino a raggiungere impressionanti concentrazioni di animali. I pipistrelli nani (*Pipistrellus pipistrellus*), ad esempio, si radunano in ibernacoli particolarmente affollati, talora popolati da centinaia o migliaia di animali disordinatamente ammucchiati l'uno sull'altro. In una grotta rumena uno di questi assembramenti letargali era addirittura costituito da 100 000 individui. L'ibernazione di questi animali è comunque tutt'altro che continua. In caso di disturbo o di eccessivi abbassamenti della temperatura gli animali si possono risvegliare, cercando attivamente nuovi ibernacoli. Questi spostamenti invernali possono essere molto spettacolari, talora coinvolgendo centinaia di animali in cerca di una nuova cella di ibernazione. Il ciclo riproduttivo di questi mammiferi è pure molto peculiare. Il periodo degli



*Myotis myotis* in letargo

accoppiamenti ha inizio con la dispersione delle femmine mature dalla nursery, tra la fine di agosto e l'autunno successivo. Esso può durare tutto l'inverno e includere gran parte della primavera, ma gli accoppiamenti in molti casi avvengono all'interno degli ibernacoli (*Myotis*). In varie specie del genere *Nyctalus* e *Pipistrellus*, comunque, i maschi difendono attivamente veri e propri harem riproduttivi di 2-5 femmine, che si costituiscono all'inizio del periodo degli accoppiamenti e per diversi anni sono difesi dallo stesso maschio. I parti si verificano verso la metà di giugno, quando le femmine pregne hanno già costituito cospicui assembramenti riproduttivi (nurseries), talora costituiti da centinaia o migliaia di gestanti e ridotte quantità di maschi. Lo stato delle conoscenze sui pipistrelli italiani è tuttora particolarmente lacunoso. Nel nostro paese non esiste una specifica tradizione di studi chiroterologici, anche se dalla fine degli anni '80 l'attenzione del mondo della ricerca si è destato anche attorno a questi animali. In Italia ci sono una trentina di specie di chiroteri, ma soltanto alcuni di essi sono fortemente legati alle cavità ipogee (rinolofi, miniotteri, barbastelli e diverse



Colonia di chiroterri

specie del genere *Myotis*). Alcune di queste specie, del resto, non di rado utilizzano strutture edilizie di varia natura o cavità arboree in diversi momenti del loro ciclo biologico. Tracciare i confini fra entità troglifile, antropofile e forestali è quindi in realtà molto difficile, soprattutto considerando che per gran parte delle specie antropofile gli edifici costituiscono veri e propri surrogati di habitat rupestri altrimenti piuttosto localizzati. Per fare soltanto un esempio, il grande successo biologico del pipistrello di Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) si deve proprio alla sua capacità di utilizzare costruzioni urbane e suburbane particolarmente ben diffuse sul territorio, ove può costituire nurseries affollate e raggiungere elevate densità di popolazione.

Nel corso di un'escursione speleologica è facile rintracciare segni della presenza di chiroterri. Si tratta in molti casi di ridotti accumuli di deiezioni posti sotto ai più frequentati posatoi. Non è sempre possibile stabilire un contatto visivo con gli animali, talora perché essi sono nascosti all'interno di strette fessure, talora perché le tracce sono soltanto un ricordo di loro trascorse attività. In molti casi questo accade anche localizzando i più spettacolari accumuli di guano. I maggiori depositi di guano di pipistrello, infatti, sono invariabilmente connessi ai loro assembramenti riproduttivi tardo primaverili-estivi. Al di fuori del ridotto

periodo riproduttivo le stesse cavità non vengono utilizzate e sono per lo più deserte.

All'interno delle cavità ipogee italiane nei mesi estivi è abbastanza facile localizzare le nurseries di varie specie troglifile. Le specie più comuni nelle nostre cavità sono:

*Miniopterus schreibersii* (gruppi di migliaia di esemplari aggrappati con le quattro zampe, spesso in due-tre strati di esemplari, sovente associati a varie specie del genere *Myotis* o *Rhinolophus*); *Myotis myotis*; *Myotis blythii* (gruppi di decine di animali appesi con le zampe posteriori, talora anche all'interno di costruzioni, a stretto contatto reciproco); *Myotis emarginatus* (gruppi di decine di animali appesi con le zampe posteriori, talora anche all'interno di costruzioni, a stretto contatto reciproco); *Myotis daubentonii* (gruppi di decine di animali appesi con le zampe posteriori, talora anche all'interno di costruzioni, vicino all'acqua, a stretto contatto reciproco); *Rhinolophus hipposideros*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *Rhinolophus euryale* (gruppi di decine di animali appesi con le zampe posteriori, ammantati nel proprio patagio alare con aspetto a "goccia", non a contatto reciproco).

Nei mesi invernali, invece, è possibile stabilire il contatto visivo con le più diverse specie ibernanti. Non necessariamente si tratta di entità spiccatamente troglifile. A parte le nottole (genere *Nyctalus*), infatti, gran parte dei pipistrelli europei possono utilizzare ibernacoli ipogei. Si tratta di assembramenti riproduttivi o di aggregazioni per letargo, questi animali richiedono una grande tranquillità. Anche nel caso che sia necessario eseguire dei rilievi è bene comunque non imporre la propria presenza per più di cinque minuti continuativi.



*Rhinolophus hipposideros*

L'unico vertebrato europeo perennemente legato alle cavità ipogee inondate è, come abbiamo visto, la sottospecie nominale del proteo. In Italia e in alcune cavità francesi vivono alcuni anfibi urodeli pure molto legati all'ambiente fresco e umido delle grotte, i geotritoni del genere *Speleomantes*.

Essi però non sono rigidamente legati al buio delle grotte e all'imbrunire si possono talora incontrare anche in superficie, ove frequentano habitat rupestri fortemente fessurati, freschi, ombrosi, umidi e soggetti a stillicidio. Anche i pipistrelli frequentano cavità ipogee, ma si tratta di fatti temporanei, per lo più legati alla sosta diurna, all'epoca riproduttiva oppure all'ibernazione di alcune specie. Alcuni strigiformi (allocco), columbiformi (piccioni selvatici), roditori (ghiro, topo selvatico e ratto nero) e carnivori (gatto selvatico, volpe, tasso, orso e faina) sono pure talora

legati al vestibolo delle maggiori cavità, ma anche in questo caso si tratta di fatti episodici, quasi sempre connessi al loro riposo diurno oppure ad eventi riproduttivi. Tutte queste specie si definiscono troglofile e la loro attività in grotta, pur frequente, non è mai esclusiva. Nel corso di una visita in grotta è facile rilevare la loro presenza. Si può a volte trattare

di incontri diretti, ma più spesso accade di imbattersi in tracce delle loro attività, oppure nelle loro spoglie mortali. Anche la presenza di accumuli di escrementi rivela la loro recente attività ipogea e in certi casi stupisce il luogo di deposizione delle deiezioni, talora anche

molto distante dall'ingresso delle grotte (ghiro, topo selvatico, ratto nero, faina). La spiegazione in questi casi dev'essere ricercata nella presenza di ridotti accessi alle stesse cavità, talora ignoti e molto distanti da quelli ufficialmente noti e percorsi dagli speleologi.

Tuttavia, se un accumulo di escrementi e ossa nel vestibolo di una grotta può facilmente essere riferito all'attività predatoria di un troglifilo (ossa di micromammiferi rigurgitate da strigiformi, escrementi di ghiro, ratto nero e faina, resti di prede di volpe), l'incontro con una rana di Lataste, una rana agile, una rana verde, un tritone o una salamandra pezzata, tutte di superficie, dev'essere spiega-

to in altro modo. Il più tipico meccanismo attraverso il quale questi animali finiscono involontariamente in grotta è la fluitazione dei loro stadi larvali o adulti. Tutti questi organismi troglifili vengono per lo più a trovarsi in grotta in seguito ad eventi straordinari, quali piene improvvise, accidentali cadute in pozzi subverticali, ecc. Talora anche i serpenti restano imprigionati in questo modo in cavità ipogee, ma più spesso

ciò si deve alla spontanea ricerca di ibernacoli adatti a trascorrere l'inverno.

All'interno delle cavità si possono inoltre rinvenire ossami di incerta origine ed attribuzione.

Sovente sono resti fossilizzati o subfossili, ma non di rado essi sembrano molto recenti. Quando si tratta di veri e propri resti fossili essi hanno un peso specifico particolarmente elevato. La loro intima struttura è spesso del tutto mineralizzata, se vengono esposti a una fiamma viva non carbonizzano e non emettono l'odore di ossa bruciate tipico delle ossa fresche o subfossili. In certi casi essi costituiscono il ricordo della trascorsa attività ipogea di specie troglofile ormai estinte (*Ursus spelaeus*). Ma non è detto che gli accumuli di ossa che si rinvenivano all'interno delle cavità si debbano al loro trascorso utilizzo da parte di specie troglofile, intrusive o litoclasifile. Isabelle Pathou, una studiosa francese che ha cercato di stabilire l'origine dei giacimenti di ossa subfossili di marmotte di alcune cavità dei Pirenei, è giunta ad esempio alla conclusione che in verità in questo caso si tratta dei resti del pasto di antiche popolazioni di cacciatori-raccoglitori. Esaminando attentamente la superficie delle ossa di questi giacimenti, infatti, la studiosa ha potuto in gran parte dei casi rilevare la presenza di graffi, incisioni acute ed abrasioni non parallele, certamente dovute all'azione di primitivi ma affilati strumenti litici. La più frequente origine dei giacimenti di ossa che si rinvenivano presso il vestibolo delle maggiori cavità ipogee è infatti ancor oggi antropogena. In molti



Orso speleo

casi si tratta di accumuli recenti di resti di animali domestici, per lo più cani, ma anche ovini, capre, bovini e suini, che vengono lasciati cadere in pozzi, foibe e inghiottitoi subverticali. In alcune zone del Carso triestino e goriziano, ma anche in Sardegna, Sicilia e in diverse zone degli Appennini centro-meridionali questa abitudine è molto radicata presso le popolazioni rurali, che in questo modo si liberano rapidamente di rifiuti biologici ingombranti. Questo rapido sistema di smaltimento di rifiuti speciali era (ed è) anche utilizzato in diverse zone prealpine da cacciatori e braccanieri, tanto che nelle cavità delle Prealpi Giulie e del Carso non è raro rinvenire resti di camoscio, capriolo e cinghiale. Recentemente in una piccola foiba sita nei pressi di Doberdò del Lago (Gorizia) è stato addirittura possibile recuperare lo scheletro di uno sciacallo dorato (*Canis aureus*) abbattuto illegalmente da braccanieri. Esso troneggiava su un vero e proprio "giacimento" di scheletri di cani, muti testimoni di un lungo utilizzo dell'inghiottitoio.

Presso alcune popolazioni questa tradizione è talmente radicata che l'eliminazione in foiba o inghiottitoio carsico subverticale è stato purtroppo ampiamente utilizzato anche in recenti tempi di guerra come estrema forma di spreco per i condannati a morte.



Allocco