

**Commissione Nazionale Scuole di Speleologia
Regione Puglia**

C.R.S.- Stage di qualificazione per A.I. ed I.T.

Emanuela Rossi – Salvatore Inguscio

Biospeleologia

INDICE

Premessa

Cenni di sistematica e biologia

Storia della Biospeleologia

Introduzione alla Biospeleologia

Ambienti ipogei e loro caratteristiche

Ecologia delle grotte

- Fattori abiotici
- Fattori biotici
- Fattori storici e biogeografici

Classificazione ecologica e adattamenti degli animali ipogei

Evoluzione degli animali ipogei

Non solo animali

Biotopi sotterranei

Biospeleologia in Puglia

Glossario

PREMESSA

La Biospeleologia è la scienza che studia la vita presente in grotta; partendo da studi essenzialmente morfologici, si è recentemente sviluppata in senso sperimentale grazie alle ricostruzioni in laboratorio degli habitat ipogei.

Questo nuovo approccio consente di avere informazioni anche sull'alimentazione, la riproduzione ed il comportamento in natura di questi organismi.

Prima di inoltrarci nell'argomento richiameremo sinteticamente qualche concetto basilare di biologia e daremo alcune informazioni che, a nostro giudizio, ogni speleologo dovrebbe conoscere.

CENNI DI SISTEMATICA E BIOLOGIA

La Sistematica è la scienza che classifica gli esseri viventi, mettendone in risalto le affinità e le divergenze, ossia riunisce in gruppi o categorie tutti gli organismi sulla base di affinità naturali.

Categoria fondamentale nella classificazione degli organismi viventi è la SPECIE. La specie è definibile come un insieme di individui interfecondi, nello stadio di maturità sessuale, che si incrociano fra loro in natura e che danno prole fertile.

Sono ritenuti come appartenenti a specie distinte:

1) individui che si incrociano senza dare discendenza o che danno prole non fertile;

2) individui in grado di dare prole fertile se indotti artificialmente a incrociarsi, mentre in natura non si accoppierebbero per l'esistenza di barriere riproduttive (diversa stagione di riproduzione, diverso comportamento nelle fasi preliminari dell'accoppiamento, barriere geografiche insormontabili).

La specie è un'entità naturale non statica, in evoluzione, potenzialmente in grado di dare origine ad altre specie; pertanto, in retrospettiva, le diverse specie sono ritenute più o meno imparentate fra loro e con reciproche affinità naturali ereditate da antenati comuni.

La specie è indicata usando la nomenclatura binomia istituita da Linneo (1758),

ad es. *Italodytes stammeri* Müller
nome generico nome specifico nome del 1° descrittore

Le categorie principali della sistematica sono:

TIPO - SOTTOTIPO - CLASSE - ORDINE - FAMIGLIA - GENERE - SPECIE

Supponiamo di trovare un animale e di volerlo classificare.

Osserviamo prima di tutto le sue caratteristiche generali e la struttura; vediamo che ha un esoscheletro: per questa caratteristica possiamo inserirlo nel TIPO (PHYLUM) degli artropodi. Passando dal generale al particolare notiamo che l'animale possiede delle mandibole e che quindi il SOTTOTIPO è quello dei mandibolati. Si procede in questo modo fino a definire la CLASSE (Insetti), l'ORDINE (Coleotteri), la FAMIGLIA (Carabidi), il GENERE (*Italodytes*) e la SPECIE (*Italodytes stammeri* Müller).

Ricapitolando e schematizzando:

TIPO	SOTTOTIPO	CLASSE	ORDINE	FAMIGLIA	GENERE	SPECIE
Artropodi	Mandibolati	Insetti	Coleotteri	Carabidi	<i>Italodytes</i>	<i>Italodytes stammeri</i> Müller

Anche l'uomo, come appartenente al regno degli animali, può essere classificato:

TIPO	SOTTOTIPO	CLASSE	ORDINE	FAMIGLIA	GENERE	SPECIE
Cordata	-	Mammalia	Primates	Ominidi	<i>Homo</i>	<i>Homo sapiens</i>

STORIA DELLA BIOSPELEOLOGIA

L'esistenza di forme di vita sotterranee oggi è accettata da tutti, o comunque accettabile se vengono date le premesse necessarie come la presenza di aria, acqua e cibo nel sottosuolo.

Ma non è sempre stato così.

Nel 1831 a Postumia (Slovenia) fu scoperto il primo insetto descritto scientificamente con il nome di *Leptodirus hochenwarti*.

In Venezuela nel 1799 uno studioso europeo trovò il guacharo, già noto agli indios locali e lo descrisse con il nome di *Steatornis caripensis*; si tratta di un grande uccello erbivoro dall'apertura alare di circa 1m che frequenta abitualmente le caverne per allevare i piccoli e che secondo recenti scoperte pare abbia un sistema di ecolocazione analogo a quello di pipistrelli e cetacei.

La prima notizia scritta sul proteo risale al 1689, ad opera del naturalista Valvasor. Oltre questi animali di grossa taglia, all'epoca, si pensava che non ci fosse nulla di animato.

I primi naturalisti erano convinti che il mondo ipogeo non potesse accogliere la vita, infatti, fino al medioevo si riteneva che le grotte fossero un mondo inospitale; l'unica citazione intermedia risale alla metà del 1500 quando un letterato vicentino prese nota della presenza in grotta di pipistrelli e piccoli "gambarelli" che solo nel 1925 si conquistarono un nome: *Niphargus stygius*.

Gli antichi Romani ritenevano buone solo le grotte attraversate da acqua e le consideravano dimora di divinità positive come le ninfe.

Nella Grecia antica le grotte erano considerate le porte dell'Ade ed erano descritte in modo spaventoso, come il luogo dove venivano sepolti gli eroi o in cui vivevano esseri immortali.

Per gli Sciiti, Indiani e Cinesi erano luoghi stregati, sede di forze malefiche.

30.000 anni fa, nel Paleolitico superiore, quelli che noi chiamiamo uomini primitivi (*Homo sapiens fossilis*) conoscevano invece bene la piccola fauna ipogea tanto da realizzare incisioni che descrivevano in tutti i particolari alcuni animali, come nel graffito francese di un insetto ortottero tuttora frequentatore nelle grotte appartenente al genere *Troglophilus*.

La Biospeleologia ha quindi due padri: il primo uomo preistorico che ha osservato l'insetto e poi lo ha descritto con un'incisione ed il conte Von Hohenwart, che invece catturò in tempi moderni il "primo" coleottero descritto scientificamente.

Dal *Leptodirus hochenwarti* in poi molti altri animali videro la luce, ragni, crostacei, pesci ed altri insetti.

Dopo le descrizioni degli organismi ipogei, nel 1907 furono definiti anche i criteri ecologici, quindi i fattori biotici e abiotici dell'ambiente cavernicolo e le categorie in cui si usa ancora oggi suddividere gli animali in base ai loro adattamenti (troglobio, troglofilo e troglosseno) e si iniziò a studiarne l'origine ed i rapporti con la fauna esterna.

Gli studi proseguirono individuando nuovi campi di applicazione della biospeleologia; oltre alla conoscenza dei gruppi animali si possono anche studiare la filogenesi e la paleogeografia, ossia i rapporti di parentela tra tutti gli animali e la ricostruzione della distribuzione delle terre emerse nel passato.

Le ricerche poterono evolversi successivamente con l'istituzione di laboratori sotterranei; il primo, a Postumia, allora Italia, fu distrutto dai bombardamenti della seconda guerra mondiale. La Francia, gli Stati Uniti, la Romania, l'Ungheria ed il Belgio si attrezzarono successivamente.

Oggi in Italia ci sono diversi laboratori attivi: Bossea (CN), Verona e Trieste.

Oltre ai laboratori dove si studia in ambiente - naturale o ricostruito - gli organismi ipogei, esistono istituti di ricerca, come il Museo di Castellana Grotte (BA) e l'Università dell'Aquila, che promuovono la ricerca e offrono strumenti adatti allo studio di questi animali ed una ricca bibliografia.

INTRODUZIONE ALLA BIOSPELEOLOGIA

Tra i campi di interesse della Biospeleologia, attualmente, troviamo lo studio della morfologia, della fisiologia, dell'ecologia, della distribuzione e dell'evoluzione degli organismi ipogei.

L'approccio nello studio è al massimo diretto, in grotte o laboratori, per osservarli dal vivo nel loro ambiente. Infatti, la specializzazione di questi organismi è a tal punto spinta che è difficile mantenerli in vita al di fuori delle grotte.

A questo proposito è bene sottolineare la differenza tra un biospeleologo ed un collezionista: il biospeleologo scende in grotta e raccoglie campioni di animali per studiarne la biologia, come fa uno zoologo di superficie, mentre il collezionista scende - o paga altri per scendere - e poi come il cacciatore fa con la testa del leone o la pelle della zebra, mette in mostra scatole piene di insetti o altro allineati e spillati a far bella mostra di sé.

Per quanto riguarda i singoli aspetti, la Biospeleologia ha già dato molte risposte, ad esempio confermando ipotesi evoluzionistiche che altrove non potevano essere provate.

Pensiamo al mondo superficiale o esterno, illuminato e caldo. Gli organismi che lo popolano sono tipicamente dotati di occhi e di una colorazione, per quanto varia. Durante l'esplorazione di una grotta in Messico, alcuni ricercatori hanno incontrato lungo il loro percorso diverse vaschette allagate ed isolate tra loro. Ognuna di esse conteneva dei pesci ma mano a mano che gli speleologi penetravano nella grotta lasciandosi alle spalle la luce, osservavano come i pesci fossero diversi, sempre più chiari e con gli occhi progressivamente più piccoli, fino ad arrivare al massimo dell'adattamento all'interno, nel buio assoluto, dove erano completamente ciechi e depigmentati.

I legami di parentela esistenti tra tutte le forme viventi talvolta sono solo ipotizzabili. Oggi con la ricerca genetica si stanno dando risposte a vari interrogativi e si sta rivedendo la sistematica classica.

La Biospeleologia contribuisce agli studi di filogenesi in quanto si occupa di relitti e fossili viventi.

I relitti sono specie i cui parenti esterni sono ancora viventi ed il loro studio consente l'approfondimento dei singoli adattamenti che gli animali ipogei hanno sviluppato scendendo dalla superficie nelle grotte e la loro distribuzione, pregressa e attuale; i fossili viventi sono invece quelle specie che hanno abbandonato la superficie ritirandosi in grotta ma che non hanno parenti esterni viventi.

Il proteo ad esempio è sempre stato considerato un fossile vivente in quanto non si conosceva nulla di simile per il mondo epigeo. Recenti ricerche hanno invece individuato un anfibio urodelo molto simile al proteo ma con due splendidi occhi azzurri ed una colorazione scura su tutto il corpo. Si potrebbe trattare di un parente esterno relitto di un'antica fauna oggi scomparsa (e allora il nostro proteo sarebbe un relitto ipogeo), oppure potrebbe trattarsi di un'evoluzione del proteo stesso e quindi un ritorno alla superficie. Le ricerche sono tuttora in corso ed il capitolo rimane aperto.

In questo senso la biospeleologia cerca risposte anche in ambito paleoclimatico e paleogeografico.

Esistono alcuni generi di crostacei conosciuti in Europa solo per l'ambiente ipogeo mentre in zone tropicali sono noti loro parenti che vivono esclusivamente in acque superficiali (*Speocyclops*, *Graeteriella*, *Elaphoidella*).

Durante il terziario (65-1.8 milioni di anni fa) l'intero gruppo aveva un'ampia distribuzione nelle acque dolci superficiali. Alla fine di quest'era, nel Pliocene (7-1.8 milioni di anni fa), in alcune parti del mondo le condizioni ambientali cambiarono e la temperatura diminuì notevolmente (glaciazioni); solo in queste aree i nostri crostacei si rifugiarono nelle acque sotterranee. Nelle aree tropicali continuarono invece a vivere in superficie. Questi sono altri esempi di relitti viventi.

Alcune specie di crostacei appartenenti all'ordine dei Misidacei attualmente vivono in acque ipogee ma hanno un'origine marina, come documentano altri Misidacei, che tuttora vivono in mare, e la loro alta tolleranza alle variazioni di salinità; la colonizzazione di questo nuovo ambiente è avvenuto durante trasgressioni e regressioni marine. L'areale di distribuzione di questi organismi individua dunque aree un tempo parzialmente sommerse dal mare.

In campo ecologico la grande sensibilità agli inquinanti da parte di molti animali ipogei li rende in generale ottimi indicatori biologici e cioè parametro indispensabile per monitorare la qualità dell'ambiente e le sue variazioni rispetto alle attività umane.

AMBIENTI IPOGEI E LORO CARATTERISTICHE

Con il termine "ipogeo" si indica tutto ciò che si trova sotto la superficie del suolo; ad esso si contrappone tutto ciò che sta invece al di sopra ed è "epigeo". Esistono poi le situazioni di passaggio.

L'ambiente ipogeo non è tutto uguale ma consiste di molti spazi con caratteristiche differenti: c'è l'ambiente accessibile all'uomo e quello inaccessibile, quello originatosi per dissoluzione del calcare o per frana, quello prodotto dall'azione animale e quello artificiale, creato dall'uomo (v. tabella 1). Tutti questi ambienti non sono separati gli uni dagli altri, tutt'altro, basti pensare al grande elemento di contatto e comunicazione che è l'acqua.

IL MONDO SOTTERRANEO	TIPOLOGIA
Ambiente cavernicolo	Cavità naturali accessibili all'uomo
Ambiente delle fessure o freatico terrestre	Fessure calcaree inaccessibili all'uomo, in diretta comunicazione con l'ambiente cavernicolo
Ambiente endogeo	Compreso tra il limite inferiore del detrito vegetale ed il limite inferiore delle radici

	arboree
Ambiente delle microcaverne	Nidi e tane sotterranee di vertebrati
Ambiente dei formicai e dei termitai	Nidi e tane sotterranee di formiche e termiti
Ambiente interstiziale	Ambiente acquatico sotterraneo che si realizza negli interstizi del sottosuolo delle coste marine, dei fiumi, dei laghi e nelle falde freatiche
Ambiente delle cavità artificiali	Miniere, catacombe, sotterranei

Tabella 1

I singoli ambienti sono distinguibili in base a specifici criteri; il principale è lo spazio vitale, minimo negli ambienti interstiziale ed endogeo, massimo in quello cavernicolo.

Tutti gli altri criteri non sono così discriminanti in quanto interessano gli organismi viventi in modo meno assoluto: le differenze di luce, umidità e temperatura subiscono variazioni meno drastiche.

In funzione dello spazio disponibile la colonizzazione interesserà specie con morfologia e dimensioni diverse e con particolari adattamenti a livello di arti e appendici, mentre le variazioni degli altri parametri influenzeranno la presenza di specie più o meno sensibili.

Caratteristiche degli ambienti ipogei sono assenza totale di luce, temperatura costante, alta percentuale di umidità relativa, semplicità nella costituzione dei popolamenti animali, semplicità nei rapporti sinecologici ed elevato grado d'isolamento rispetto agli ecosistemi contigui.

ECOLOGIA DELLE GROTTI

Lo studio degli organismi ipogei non può prescindere dall'analisi di alcuni fattori: abiotici, biotici, storici e biogeografici.

FATTORI ABIOTICI

Con questo termine si intendono tutti quei fattori fisici che influenzano la vita degli organismi: luce, temperatura, umidità relativa, composizione chimica dell'aria, acqua, litologia.

La tolleranza o meno al variare dei fattori abiotici si indica con i prefissi euri- e steno.

Luce

La presenza di luce nel mondo sotterraneo dipende dai rarissimi fenomeni di bioluminescenza presentata da alcuni organismi; tranne questi fenomeni episodici il mondo delle grotte è buio. Ne consegue l'impossibilità di fotosintetizzare, quindi non ci sono piante; la produzione primaria è scarsissima e legata all'azione batterica.

L'ambiente ipogeo nella maggior parte dei casi è troficamente dipendente dagli ecosistemi di superficie e caratterizzato dall'assenza totale di specie esclusivamente fitofaghe.

Gli organismi che popolano questi ambienti inoltre hanno modificato il loro metabolismo; nei vertebrati in particolare assistiamo ad un comportamento atipico del sistema endocrino.

Alcuni organismi sono altamente sensibili alla luce e se esposti all'irradiazione luminosa muoiono (le planarie troglobie si disgregano completamente), altri invece non ne risultano disturbati come nel caso del *Proteus*.

In base alla diminuzione di luce che si ha entrando in grotta, sia per ingressi verticali che orizzontali, sono stati individuati alcune zone:

Zone luminare: zona di piena luce (limite delle fanerogame) – ≥ 1 lumen

Zone liminare: relativa alla soglia di ingresso (limite delle felci) – 1-1/500 lumen

Zone subliminare: propria della fascia intermedia (limite di muschi ed epatiche) – 1/500-1/1000

Zone interna: dove può arrivare ancora un riflesso di luce (limite delle alghe) – 1/1000-1/2000

Zona buia: totale oscurità (presenza solo di eventuali funghi e batteri) – $< 1/2000$

Alcuni muschi hanno delle cellule speciali, dette "diafane", capaci di sfruttare al massimo le radiazioni luminose, tanto che anche in zone per noi buie riescono a fare fotosintesi.

Temperatura

Solitamente la temperatura interna di una grotta carsica presenta una marcata stabilità, se paragonata alle variazioni diurne e stagionali subite dall'atmosfera esterna della zona e della regione in cui la grotta si apre.

Possiamo dire che, nelle grotte, la temperatura è determinata dall'aria che circola ed è approssimativamente pari alla media annuale della temperatura esterna presso gli ingressi. Dipende quindi dalla latitudine e dall'altitudine di questi.

Gli organismi ipogei generalmente non subiscono danni da ampie variazioni, anche artificiali, di questo parametro, per questo sono detti euritermi.

Abbiamo visto che l'aria interna ha una temperatura quasi costante, ma quella esterna no: quando l'aria interna risulta più calda di quella esterna (in inverno per esempio) le masse d'aria all'interno della grotta tendono a salire così l'aria esce dagli ingressi alti e ne richiama altra da quelli bassi, mentre d'estate, quando l'interno risulta più freddo dell'esterno, l'aria interna non riesce più a "galleggiare" e cade, facendo sì che gli ingressi alti richiamino aria e quelli bassi la soffino fuori.

Generalmente, scendendo verso il centro della terra, si ha un aumento di temperatura di circa 1°C ogni 100 m; in grotta questo non accade perché la grotta è attraversata di continuo da correnti d'aria e da acqua che ne abbassano la temperatura tanto che, scendendo in grotta, non ci accorgiamo di questo gradiente naturale anzi ci sembra che il gradiente sia invertito.

Nelle miniere invece la temperatura cresce assai rapidamente con la profondità. Ad aggiungere caldo al caldo ci pensa lo scavo delle gallerie che può mettere in contatto l'aria con minerali che reagiscono con l'ossigeno producendo calore, ad esempio i solfuri.

Umidità relativa

L'umidità relativa in grotta è compresa tra il 95 e il 100%; questo permette a certi animali come il *Proteus anguinus* di vivere perennemente all'esterno delle pozze d'acqua e consente ad animali strettamente terragnoli come alcuni crostacei ed insetti (collemboli, tisanuri e coleotteri), di condurre vita anfibia o a crostacei strettamente acquatici di vivere anche all'esterno dell'acqua. La necessità di un ambiente a costante e forte umidità è caratteristica saliente degli animali ipogei, detti per questo stenoigri.

Aria

La composizione chimica dell'aria all'interno delle grotte sostanzialmente coincide con quella esterna; fanno eccezione certi cunicoli, le appendici cieche e il fondo dei pozzi dove la percentuale di anidride carbonica è maggiore e si possono verificare fenomeni come lo spegnimento delle lampade o segni di malessere.

Alcuni ragni sopportano tuttavia forti percentuali di anidride carbonica, fino al 15%, entrando in crisi fisiologica - comunque reversibile - al 25%.

Acqua

La maggior parte degli organismi di grotta è adattata a condizioni di acque calme o ferme (reofobi); amanti della corrente (reofili) sono invece alcuni vertebrati come il *Proteus* ed alcuni crostacei anfipodi. In particolare certi crostacei Misidacei sono reotattici positivi, ossia tendono a spostarsi controcorrente.

La quantità di ossigeno delle acque sotterranee è di norma superiore a quella delle acque marine e salmastre mentre risulta inferiore a quella dei fiumi e torrenti; il pH è leggermente alcalino, di poco superiore a 7.

Per la forte concentrazione di carbonato di calcio tali acque sono dure.

La salinità è bassa. A questo proposito va ricordata l'ipotesi dell'origine marina di molti organismi di grotta che, nonostante vivano in condizioni di bassa salinità, non sono disturbati da un aumento notevole di questo parametro (eurialini).

Fattori litologici

Solo le grotte che si sviluppano su roccia calcarea ospitano ricchi popolamenti animali, grazie al gran numero di fessure che la roccia calcarea presenta e quindi al grande numero di ambienti possibili.

FATTORI BIOTICI

Si tratta dell'insieme di complesse interrelazioni che regolano l'equilibrio delle comunità animali.

Risorse trofiche

Le condizioni trofiche sono estremamente differenti da grotta a grotta. La loro stabilità e quantità gioca un ruolo fondamentale nella distribuzione e nell'evoluzione degli animali ipogei.

Come già detto, mancano in grotta specie fitofaghe a meno che queste non mutino il proprio regime alimentare, con eventuali cambiamenti eto-fisiologici, o lo amplino.

Alcuni insetti, pur avendo degli adattamenti morfologici tipici di animali ipogei, non sono mai stati rinvenuti in grotta in quanto il loro regime alimentare è esclusivamente vegetariano.

La polifagia, infatti, risulta più conveniente rispetto alla monofagia.

I confini tra i due principali livelli trofici riscontrabili in grotta (saprofagia e predazione) sono meno netti che in superficie; solo i guanobi sono strettamente legati alla loro specifica risorsa alimentare.

Le risorse alimentari disponibili in grotta possono essere esogene o endogene. Quelle che provengono dall'esterno sono la porzione più cospicua e dipendono dal vento (batteri, spore fungine, pollini), dall'acqua (materiale organico che può penetrare fino in profondità come legno e foglie), da animali (acari e pulci parassiti di pipistrelli, pipistrelli -guano-, ortotteri -migrazioni alimentari-, zanzare -diapausa invernale-) o entrano per gravità attraverso pozzi o voragini.

Caratteristica di tutte le grotte, anche di quelle azoiche, è la forte presenza di batteri autotrofi ed eterotrofi, nell'aria, nell'acqua ma soprattutto nel suolo. Alcuni fissano l'azoto atmosferico formando sostanza organica (*Azotobacter*, eterotrofo aerobio; *Clostridium*, eterotrofo anaerobio), altri ottengono N₂ da materiale in decomposizione.

Le proprietà nutritive delle argille e dei limi ipogei (limo trofico) è quindi spiegata dalla produzione primaria dei batteri nonché dalla presenza stessa di batteri, protozoi e piccoli metazoi batteriofagi.

Il limo trofico è a tal punto importante che, ad esempio, alcuni *Niphargus* se durante la fase di accrescimento non hanno a disposizione un substrato composto da argilla e limo muoiono.

La produzione di materiale organico da parte dei batteri (vitamine e aminoacidi), può a tutti gli effetti essere considerata il primo anello della catena trofica.

Esiste un caso particolare in cui una grotta (Movile - Romania) è stata riconosciuta come totalmente indipendente dall'esterno. I solfobatteri rappresentano la base della piramide alimentare, ricavando energia da zolfo e azoto disciolti in acqua; seguono protozoi ciliati e funghi che si nutrono di questi batteri, una volta morti. Il terzo gradino è rappresentato da collemboli e vermi; per ultimi i crostacei, le planarie, gli eterotteri ed i ragni che predano gli altri animali.

In base al comportamento alimentare gli animali ipogei possono essere classificati come:

- Produttori (batteri chemiosintetici: ferrobatteri, tiobatteri e nitrobatteri)
- Decompositori (la maggior parte delle comunità acquatiche e i batteri eterotrofi): si nutrono di materia organica esogena o endogena
- Batteriofagi (protozoi: amebini, flagellati e ciliati)
- Limivori o geofagi (isopodi, nematodi, anfipodi, oligocheti, molluschi e crostacei)
- Detritivori (diplopodi)
- Guanobi (acari, alcuni pseudoscorpioni)
- Saprofagi (isopodi)
- Carnivori (chilopodi)

Relazioni interspecifiche

Tra gli individui appartenenti a specie differenti possono stabilirsi relazioni di vario tipo come la predazione, il parassitismo e, specialmente in grotte con poche risorse, la competizione alimentare. Questo tipo di competizione è maggiore quando le specie coinvolte sono ecologicamente affini, quando condividono la stessa nicchia ecologica, in sostanza quando hanno lo stesso cibo. Data la scarsità di risorse in grotta i rapporti interspecifici sono spesso complicati dalla polifagia, dal fatto cioè che gli individui si adattano a mangiare ciò che hanno a disposizione, al di là di ciò che mangerebbero in un mondo più ricco e allettante.

La catena alimentare, ossia il flusso di energia alimentare, in grotta è molto semplificata, infatti, poiché ogni passaggio consuma circa l'85% dell'energia disponibile, tanto più corta è la catena tanto maggiore è la disponibilità di energia.

FATTORI STORICI E BIOGEOGRAFICI

Gli organismi che vivono oggi in grotta parte della loro esistenza o l'intero ciclo vitale un tempo erano, probabilmente, abitanti del mondo epigeo. Dobbiamo immaginare che si siano verificate condizioni climatiche tali da indurre i "preadatti" a spostarsi da un ambiente di superficie verso l'interno delle grotte.

La maggior parte delle popolazioni ipogee sono distribuite, infatti, nell'Europa meridionale, in Asia Minore e negli Stati Uniti orientali, solo parzialmente interessate dall'estensione dei ghiacciai sviluppatasi in seguito ai mutamenti climatici della fine del Terziario e Quaternario; le aree che furono coperte per lungo tempo dai ghiacciai presentano una scarsa fauna specializzata alle condizioni di grotta.

Nelle grotte costiere i popolamenti animali sono ricchi di elementi di origine marina mentre quelli di origine terrestri sono pressoché assenti.

Classificazione ecologica e adattamenti degli animali ipogei

Gli animali che popolano le grotte sono spesso molto diversi dai consimili che vivono sulla superficie, in quanto adattati a vivere in ambienti con caratteristiche peculiari.

Il grado di adattamento ai vari ambienti e alle loro specificità è rivelato dal grado di somiglianza con le specie epigee filogeneticamente più vicine: più un animale di grotta è diverso dal suo parente più stretto che vive alla luce del sole e più forte è il suo adattamento, ad esempio, al buio.

Le categorie ecologiche in cui si distinguono gli animali che frequentano l'ambiente ipogeo sono tre:

- Trogllosseni (ospiti accidentali; possono riprodursi in grotta ma in linea di massima sono destinati a soccombere).
- Troglotili (animali che presentano parziali adattamenti. Sono distinguibili ulteriormente in subtroglotili - ospiti in periodi particolari, in cerca di determinate condizioni ambientali specifiche o di organismi da parassitare; non vi si riproducono - ed eutroglotili - prediligono le grotte per svolgerci l'intero ciclo vitale, riproduzione compresa, ma possono vivere anche all'esterno in condizioni simili -
- Troglobi (organismi adattati totalmente al mondo ipogeo, che vi nascono, crescono, si riproducono e muoiono senza mai uscirne; fuori dal mondo a cui sono adattati muoiono entro breve tempo)

ADATTAMENTI ALL'AMBIENTE IPOGEO DEI TROGLOBI

- depigmentazione: non ha significato in un mondo buio la presenza di colori che generalmente servono per comunicare o nascondersi;
- riduzione o scomparsa degli organi visivi: la vista è strettamente connessa alla presenza di luce, quindi il loro sviluppo manca o è inibito;
- allungamento delle appendici: determinante per muoversi in un ambiente dove il tatto sostituisce la vista;
- sviluppo di organi di senso particolari come setole tattili per gli stimoli fisici e sensorie per gli stimoli chimici: per ampliare la conoscenza del territorio attraversato;
- corpo schiacciato in senso dorso-ventrale o lateralmente: per colonizzare anche fessure e spazi ridotti;
- allungamento del corpo negli organismi acquatici: per colonizzare gli ambienti interstiziali;

- sviluppo di organi adesivi negli organismi acquatici sul corpo e sulle uova: per resistere alle correnti;
- spiccato tigmotattismo negli organismi acquatici: tendenza a muoversi a stretto contatto con il substrato come punto di riferimento;
- negli insetti perdita delle ali membranose: perché nel buio assoluto è impossibile volare;
- negli insetti le trachee sono molto ridotte o quasi assenti: spesso la loro respirazione è affidata unicamente a scambi cutanei ed il loro consumo d'aria è estremamente ridotto a causa del rallentamento dei processi biochimici dell'organismo e del metabolismo respiratorio;
- perdita dei cicli circadiani e nictemerali: perché questi sono influenzati dalle variazioni di luce e delle condizioni ambientali che nel dominio ipogeo sono costanti;
- metabolismo rallentato: conseguenza dell'assenza di ritmi circadiani e nictemerali, oltre che del regime alimentare irregolare;
- ciclo vitale più lungo: per assenza di fattori ambientali mutevoli;
- diminuzione del numero di uova: per garantire la massima cura e probabilità di sopravvivenza;
- uova grandi ricche di vitellio: perché tutta la disponibilità di risorse è concentrata in quell'unico uovo;
- sviluppo larvale ridotto o soppresso per gli organismi acquatici: per ridurre il periodo di maggior rischio della vita di un organismo;
- perdita della periodicità riproduttiva rispetto alle stagioni dell'anno: in quanto non percepite;
- falsa fisogastria ovvero sviluppo di una camera situata tra le elitre e l'addome: per immagazzinare aria umida necessaria alla respirazione in zone secche.

ADATTAMENTI ALL'AMBIENTE IPOGEO DEI TROGLOFILI

- microftalmia;
- parziale depigmentazione;
- parziale allungamento delle appendici.

EVOLUZIONE DEGLI ANIMALI IPOGEI

Per EVOLUZIONE si intende una trasformazione lenta delle cose (da semplici a composte).

Il fenomeno della SPECIAZIONE, cioè della formazione di specie distinte da un comune parente ancestrale, si ha quando alcuni individui di una specie rimangono separati da altri individui della stessa specie e ciascuno dei due gruppi segue un'evoluzione indipendente da quella dell'altro gruppo. Pian piano, se i due gruppi rimangono sempre separati, possono insorgere delle differenze per cui se successivamente si riaccoppiano non sono più interfecondi.

La speciazione può essere geografica: cioè una popolazione viene divisa da un fiume o da una montagna. Le popolazioni isolate divergono poi l'una dall'altra nell'evoluzione a causa dell'inevitabile differenza degli ambienti in cui vengono a trovarsi. Il fenomeno della speciazione è favorito nell'ambiente sotterraneo: l'isolamento di due grotte provoca un'interruzione del flusso genetico tra le popolazioni.

La perdita degli occhi e del pigmento è stato il centro delle teorie evoluzionistiche applicate al mondo sotterraneo; queste teorie fanno capo ai principi classici dell'evoluzionismo e si distinguono tre correnti:

Lamarckiana: spiega tali perdite come conseguenza del disuso.

Ortogenetica: le differenze rispetto agli organismi di superficie secondo alcuni sono precedenti alla discesa in grotta, secondo altri sono lo stadio finale di ogni linea filetica, quindi questi animali sono giunti alle ultime mutazioni possibili.

Darwiniana: fonda ogni ipotesi sul principio della selezione naturale. La teoria della compensazione materiale in particolare ipotizza che l'embrione e tutte le parti che lo compongono all'inizio del suo sviluppo richiedano una quota di energia per portare a terminare il proprio accrescimento. Siccome l'energia disponibile è limitata, si suppone esista una sorta di competizione da parte di ogni componente embrionale per avere il massimo di energia possibile per il proprio accrescimento. Le parti che si sviluppano maggiormente hanno ottenuto più energia di quelle meno o per nulla sviluppate.

È l'ambiente che modula il genotipo e produce un fenotipo specifico.

A dimostrazione di questa teoria si porta l'esempio di alcuni coleotteri catopidi messicani (*Ptomaphagus*): una specie ipogea vive in una grotta povera di risorse trofiche situata in quota, caratterizzata da temperature basse; un'altra specie vive in grotte tropicali calde situate a bassa quota e ricche di nutrimento; una terza specie vive in superficie nel continente europeo.

L'osservazione ha evidenziato che vi sono notevoli differenze tra il primo ed il secondo mentre sono scarse le differenze tra il secondo ed il terzo, a sottolineare come la pressione evolutiva sul primo lo abbia indotto a specializzarsi più degli altri due. Il suo habitat è quello a più basso valore energetico. Questo parametro quindi ha influenzato l'evoluzione della specie in esame.

Vero è che anche le mutazioni possono portare a variazioni significative, anche se molte evidenze in questo campo riguardano solo caratteri degenerativi.

Si pensa quindi che i caratteri conseguenti ai fenomeni di evoluzione regressiva (riduzioni strutturali) siano il risultato di una selezione diretta al risparmio energetico o di una selezione indiretta tramite mutazioni neutrali, mentre le nuove acquisizioni (sviluppo di setole, allungamento degli arti, etc) sarebbero dovute ad un processo evolutivo costruttivo.

NON SOLO ANIMALI

I FUNGHI

Non essendo autotrofi come le piante ma eterotrofi come gli animali anche i funghi possono vivere e riprodursi nel mondo ipogeo.

Questi organismi si procurano il nutrimento per parassitismo o assorbimento.

Tra le specie presenti troviamo gli ascomiceti Laboulbeniales (Laboulbenia, Rhacomyses: saprofiti) e i ficomiceti Entomophthoraceae (endoparassiti di coleotteri).

Esistono popolazioni ipogee di Aspergillales e Mucorales; notevole è il loro grado di adattamento alla grotta.

I BATTERI

I batteri sono essenzialmente distinguibili in base al loro trofismo: ci sono batteri autotrofi e batteri eterotrofi.

Quelli autotrofi costituiscono il primo livello della catena alimentare ipogea.

LE PIANTE

Anche se in realtà non esistono specie vegetali di grotta intorno agli ingressi è facile osservare specie più o meno sciafile.

A seconda della quantità di luce presente, come già specificato, possiamo distinguere alcune "zone di luce" e i corrispondenti popolamenti.

Ma, poiché la temperatura nelle aree circostanti gli ingressi è soggetta a variazioni in base al mutare delle stagioni e quindi delle correnti d'aria tra interno ed esterno, talora si verificano migrazioni e quindi sconfinamenti tra individui di due fasce confinanti.

BIOTOPi SOTTERRANEI

La grotta dal punto di vista chimico-fisico-biologico, può essere divisa in diversi biotopi (ambienti); i principali sono:

- Ingressi ad associazione parietale (negli ingressi vivono ancora le piante e costituiscono una zona di transizione tra ambiente esterno ed interno; in essi possiamo trovare muschi e detriti che si accumulano, presenza di trogllosseni e trogllofilo);
- Ambiente endogeo (animali viventi sotto i sassi e nel miscuglio di sassi e argilla che si può trovare ovunque in grotta; sono trogllosseni, trogllofilo e trogllobi);
- Guano e guanofagi (oltre ai guanobi e guanofilo, l'associazione comprende un gran numero di carnivori alcuni dei quali penetrano in grotta solo se vi sono ammassi di guano);
- Pareti stalagmitiche, fessure (questo biotopo è caratteristico perché i cavernicoli non sono ugualmente distribuiti all'interno di una grotta, ma sono concentrati nei luoghi con maggiore quantità di cibo e caratteristiche biologiche stabili, in particolare umidità elevata e pareti ricoperte d'acqua);
- Ambiente liquido (le pozze, i laghi e i torrenti ospitano una fauna spesso molto ricca di specie; alla superficie delle piccole pozze possiamo trovare Collemboli, nelle pozze Crostacei; alcuni come il *Proteo* preferiscono le acque correnti, altre come il *Niphargus* le acque più calme);
- Ambiente interstiziale (è in contatto con l'intera falda freatica ed è caratterizzato da strati di suolo costantemente impregnati di acqua e ospitanti una numerosa e caratteristica fauna: per lo più esseri piccoli, piatti o allungati).
- Ambiente anchialino (sistemi idrici sotterranei situati in prossimità di coste marine, ad esse strettamente collegati, le cui caratteristiche principali sono: tipologia di habitat sotterraneo, basso input energetico, assenza di luce, acque mixoaline, ipossiche o addirittura anossiche, mancanza di connessioni superficiale con il mare, limitato accesso di fauna marina e presenza di caratteristici organismi stigobionti con scarso potenziale dispersivo).

BIOSPELEOLOGIA IN PUGLIA

La storia delle esplorazioni faunistiche delle grotte pugliesi è densa di scoperte sensazionali. Nel corso delle primissime esplorazioni (1923-1924), furono catturate nella grotta Zinzulusa (Castro Marina - LE) due interessanti specie di crostacei trogllobi: il Decapode *Typhlocaris salentina* e lo *Spelaeomisys bottazzii*, un rappresentante dell'ordine dei Misidacei.

Nel 1937, lo zoologo tedesco H.J. Stammer condusse una lunga campagna di ricerche che portò ad importanti scoperte:

- alcuni crostacei, ostracodi e copepodi endemici della Puglia;
- il crostaceo anfipode *Salentinella gracillima* (Abisso di Castro Marina);
- l'acaro *Lohmanella stammeri* (Abisso di Castro Marina) finora non recuperato altrove;
- il diplopode *Glomeris stammeri* (Abisso di Castro Marina);
- due chilopodi tutti e tre endemici;
- il coleottero carabide *Italodytes stammeri*.

Dopo la scoperta delle Grotte di Castellana (1938), il Prof. Anelli raccolse nuovo materiale zoologico tra cui alcuni Ragni e Crostacei troglobi.

Negli anni 48/50 numerose vennero scoperte altre specie troglobie ed endemiche dal Prof. Ruffo:

- il crostaceo termosbenaceo *Monodella stygicola* (Abisso di Castro Marina);
- uno pseudoscorpione troglobio (Grotta Zinzulusa);
- il ragno *Zangherella apuliae* (Grotta Zinzulusa);
- il crostaceo isopode *Trichoniscus ruffoi* (Grotta Zinzulusa);
- il collembolo *Troglopedetes ruffoi* (Abisso di Castro Marina).

Negli anni 70-80 Pesce fece nuove ricerche in tutta la regione; negli anni 90-00 Inguscio proseguì le indagini scoprendo nuove specie.

GLOSSARIO

Adattamento: in biologia una particolare struttura, un processo fisiologico e un comportamento che rende un organismo più adatto a sopravvivere e a riprodursi

Aerobio: organismo che utilizza ossigeno per i processi respiratori

Afotico: dicesi di luogo buio dove non arriva la radiazione elettromagnetica visiva

Anaerobio: organismo che non utilizza ossigeno per i processi respiratori

Anoftalmia: assenza degli occhi tipica di molti troglobi

Areale di distribuzione: territorio proprio di una certa specie o popolazione

Autotrofia: capacità da parte di un organismo di elaborare i composti organici necessari alla sua nutrizione partendo da semplici composti minerali. L'energia necessaria alla sintesi viene tratta o dalla fotosintesi clorofilliana o dalla ossidazione di composti minerali

Azoico: privo di vita

Batteriofago: che si nutre di batteri

Biocenosi: associazione animale o vegetale caratteristica di un determinato ambiente e retta da un equilibrio biologico dinamico

Biogeografia: ramo della geografia che studia la distribuzione degli esseri viventi sulla superficie terrestre ed i rapporti di questi con l'ambiente fisico

Biospeleologia: la scienza che studia le forme di vita presenti in grotta

Catena trofica: catena alimentare

Circadiane: relativo al giorno

Depigmentazione: mancanza di pigmento

Detritivoro: che si nutre di detriti

Diafano: detto di corpo parzialmente trasparente

Diapausa: periodo di riposo durante il quale la crescita e lo sviluppo sono momentaneamente sospesi ad uno stadio qualsiasi del ciclo vitale di una specie

Ecolocazione: individuazione di oggetti tramite emissione e percezione di ultrasuoni

Ecosistema: ambiente più o meno circoscritto risultante dalle reciproche influenze tra fattori chimico-fisici, biologici e geologici

Edafico: relativo al complesso di organismi animali e vegetali che vivono nel terreno

Embrione: stadio della vita prima della nascita

Endemismo: presenza di razze, specie, generi, famiglie, in una regione circoscritta

Eterotrofia: dipendenza da parte di un organismo per il proprio fabbisogno energetico di sostanze organiche preformate

Endocrino: relativo alle ghiandole

Endogeno: relativo a qualcosa che si sviluppa all'interno di altre strutture

Esogeno: relativo a qualcosa che si sviluppa all'esterno di altre strutture

Euritermia: capacità da parte di un organismo di vivere entro intervalli molto ampi di temperatura

Fenotipo: Insieme delle caratteristiche morfologiche e fisiologiche di un organismo derivanti dall'iterazione del suo corredo genetico con l'ambiente

Filogenesi: i rapporti di parentela tra tutti gli animali

Fitofago: che si nutre di organismi vegetali

Genotipo: il patrimonio genetico di un organismo

Geofago: che si nutre di sostanza organica presente nel terreno

Glaciazione: brusca diminuzione della temperatura e abbassamento conseguente del livello del mare e aumento della superficie coperta dai ghiacciai

Guanobio: che vive e si nutre di guano

Habitat: insieme delle condizioni ambientali che favoriscono la vita di determinate specie animali e vegetali

Limivoro: che si nutre di sostanza organica presente nel limo

Lumen: unità di misura dell'intensità luminosa

Metabolismo: insieme dei processi chimici che avvengono in un organismo vivente

Microftalmia: riduzione degli occhi

Monofagia: detto di organismi che si nutrono di una sola categoria alimentare

Nictemerale: relativo alla notte

Paleoclimatico: relativo al clima in epoche passate

Parassita: organismo vivente che vive a spese di altri esseri viventi

Polifagia: detto di organismi che si nutrono di più categorie alimentari

Preadattamento: insieme di caratteristiche di una specie che benché non siano di utilità determinante nell'ambiente da essa occupato, rendono la specie stessa capace di conquistare un'ambiente diverso nel corso dell'evoluzione

Regressione marina: abbassamento del livello del mare

Saprofagia: detto di organismi viventi che si nutrono di residui di altri organismi

Sciafile: amante dell'oscurità

Stigobionte: dicesi di organismo che compie l'intero ciclo vitale esclusivamente in acque sotterranee

Tigmotattismo tendenza a muoversi a stretto contatto con il substrato come riferimento

Trasgressione marina: innalzamento del livello del mare

Trofico: relativo alla nutrizione

Vitellio: sostanza nutritiva di cui si nutre l'embrione