

Il ruolo e l'importanza della fauna nelle ricerche idrogeologiche

Vloga in pomen živalstva v hidrogeoloških raziskavah

ANTON BRANCEJ & NATAŠA MORI
Nacionalni Inštitut za Biologijo

6.1 Introduzione

Si illustrano le caratteristiche principali della fauna ipogea e l'importanza degli studi sugli animali ipogei per una migliore comprensione dei percorsi sotterranei delle acque carsiche. Un breve excursus sulle ricerche biologiche nell'area del Carso Classico svolte negli anni passati precede la descrizione dei metodi di campionamento. I dati raccolti nell'ambito del Progetto HIDROKARST sulla fauna ipogea consentono una comprensione più approfondita delle caratteristiche ambientali negli acquiferi carsici, specie di quelle chimiche e idrogeologiche, e favoriscono la conoscenza dei collegamenti sotterranei. Questo articolo presenta alcuni risultati della ricerca realizzata.

Le specie, ossia gli esemplari che le rappresentano, durante le lunghe ere geologiche si sono progressivamente adattate alle caratteristiche ambientali. L'ambiente infatti è composto da tutto ciò che circonda l'individuo: l'acqua, l'aria, la superficie, la temperatura, l'umidità, la luce, il cibo e i rappresentanti delle altre specie con i quali è necessario vivere un rapporto positivo (ad esempio le api che impollinano i fiori) o negativo (ad esempio un esemplare che costituisce l'alimento di un altro, come il lupo che si nutre delle pecore o il luccio che ingoia altri pesci di dimensioni minori). I rapporti tra gli esemplari di specie diverse sono quindi complessi e rappresentano la conseguenza di migliaia di anni di adattamenti all'ambiente e alle sue modificazioni.

La fauna cavernicola è "la fauna che vive nelle grotte" ed è con questa definizione che è nota alla maggior parte del pubblico (Camacho, 1992; White & Culver, 2012). L'espressione scientifica ha anche una

6.1 Uvod

Prispevek predstavlja osnovne značilnosti podzemlskega živalstva in pomen podatkov o podzemnih živalih za boljše razumevanje podzemlskih vodnih povezav. Predstavljena je zgodovina bioloških raziskav na območju klasičnega Krasa in različni načini vzorčenja podzemnega živalstva. Podatki o pojavljanju podzemnega živalstva omogočajo bolj poglobljeno razumevanje okoljskih, zlasti kemijskih in hidrogeoloških, razmer v kraških vodonosnikih in so lahko podpora pri razlagi podzemnih vodnih povezav. V prispevku je predstavljenih tudi nekaj rezultatov zadnjih raziskav.

Vrste, oz. njihovi osebki, so se v dolgih geoloških obdobjih prilagajali na razmere v svojem okolju. Okolje predstavlja vse, kar obdaja osebek: voda, zrak, podlaga, temperatura, vlaga, svetloba, hrana pa tudi predstavniki drugih vrst. Z njimi lahko živi v pozitivnih odnosih, npr. čebele oprahujejo cvetlice, lahko pa tudi v negativnih odnosih – en osebek predstavlja hrano drugemu (volk se hrani z ovčami ali pa ščuka z manjšimi ribami). Odnosi osebkov posameznih vrst do okolja so torej prepleteni in so posledica več stotisočletnih prilagajanj na okolje in spremembe v njem.

Jamske živali so »živali, ki živijo v jamah« (Camacho, 1992; White & Culver, 2012). Pod tem izrazom jih pozna večina ljudi. Strokovno se izraz uporablja tudi nekoliko širše in sicer kot »živali, ki živijo v podzemlju«, saj se s tem opredelijo še nekatera druga okolja, ki niso kraške jame, a imajo z njimi vrsto podobnosti in značilnosti. Tak primer so npr. prodišča. Pojem »jamske živali« obsega tako vrste, katerih predstavniki živijo na kopnem, kot tudi tiste, ki živijo v vodi. Izraz »jamske živali«



valenza più ampia e comprende tutti “gli animali che vivono sottoterra”. Tale definizione coinvolge anche altri ambienti che non sono le cavità carsiche, ma che condividono molte delle loro caratteristiche, quali ad esempio i ghiaietti. Il concetto di animale cavernicolo comprende sia le specie terrestri che quelle acquatiche. Dal punto di vista ecologico, il termine “animali cavernicoli” non rappresenta un gruppo unitario, poiché le singole specie si sono adattate all’ambiente delle grotte secondo modalità diverse. Non bisogna ritenere infatti che gli animali si siano spostati nelle grotte all’improvviso. Al contrario, il loro processo di adattamento all’ambiente ipogeo è stato lungo. Gli antenati di alcune specie si sono trasferiti sottoterra già alcuni milioni di anni fa, mentre alcuni altri ci stanno provando soltanto adesso. Le cause che possono indurre gli animali a spostarsi nelle cavità o, in senso più ampio, nell’ambiente ipogeo, sono diverse: le variazioni della temperatura in superficie, la carenza d’acqua, la modifica dei percorsi dei fiumi, la concorrenza di altre specie, ecc. Se le specie cavernicole terrestri sono entrate nelle grotte in modo diretto, attraverso il suolo o il terreno, gli ingressi delle grotte o le strette fessure, le modalità del passaggio degli animali acquatici alla vita cavernicola sono ancora più variegata. Alcune specie che oggi vivono nell’acqua dolce provengono direttamente dall’ambiente marino. Altre sono penetrate nel sottosuolo dopo che i movimenti eustatici avvenuti nelle ere geologiche passate hanno provocato la separazione di un golfo dal mare trasformandolo prima in un lago salmastro, poi in un lago di acqua dolce, poi magari in un’area asciutta. Durante queste fasi alcune specie si sono estinte, altre si sono trasferite sottoterra. Un altro gruppo è rappresentato dalle specie i cui antenati anticamente abitavano le acque superficiali che, sempre per cause geologiche o cambiamenti climatici, hanno cessato di esistere o sono defluite sottoterra. Un altro gruppo ancora è rappresentato dagli animali che sono stati trasportati sottoterra dalle acque correnti (pioggia, fiumi o ruscelli) e si sono adattati al nuovo ambiente.

La caratteristica dell’ambiente ipogeo, sia subacqueo che superficiale, è quello di essere privo di specie vegetali verdi a causa dell’assenza di luce e, conseguentemente, di offrire poco nutrimento. Negli ambienti sotterranei il cibo è scarso e distribuito in modo irregolare, poiché pro-

z ekološkega vidika ne predstavlja enotne skupine, saj so posamezne vrste različno prilagojene na jamsko okolje. Zmotno je namreč prepričanje, da so jamske živali kar naenkrat prešle v jame. Proces prilaganja na jamsko okolje je dolgotrajen. Predniki nekaterih vrst so prešli v podzemlje že pred nekaj milijoni let, nekateri pa to poskušajo šele sedaj. Razlogi, zakaj se živali premikajo v jamsko oz. širše podzemeljsko okolje, so različni: spreminjanje temperature na površini, pomanjkanje vode, spreminjanje rečnih tokov, konkurenca drugih vrst, ... Medtem ko za kopenske jamske živali velja, da so prehajale v jame neposredno, preko tal oz. prsti, preko večjih jamskih vhodov in manjših špranj, je prehajanje vodnih jamskih živali v podzemlje bolj pestro. Nekateri jamske vrste (danes sladkovodne!) izvirajo neposredno iz morskega okolja. Druge so prišle v podzemlje, potem ko se je morski zaliv zaradi geoloških premikov najprej ločil od morja in se spremenil v sladkovodno jezero, ki se je kasneje izsušilo. Nekateri vrste so pri tem propadle, druge pa so se umaknile v podzemlje. Tretja skupina so vrste, katerih predniki so v preteklosti naseljevali celinske vode, vendar so le-te zaradi geoloških premikov ali klimatskih sprememb presahnile oz. so se pomaknile v podzemlje. Take premike so npr. povzročile ledene dobe. Četrta skupina so živali, ki jih je tekoča voda, kot so reke ali potoki, s površine zanesla v podzemlje in so se tam prilagodile na novo okolje.

*Glede na stopnjo prilagojenosti na podzemno / jamsko okolje strokovnjaki ločijo v osnovi tri ekološke skupine živali, ki so povezane s podzemnimi vodami (Cuscito et. al., 1990; Camacho, 1992). V prvi skupini so vrste, ki jih sicer najdemo v okolici izvirov, med prodrom ali pod večjimi kamni v rekah, vendar lahko v jamskem okolju preživijo le kratek čas in se tam ne razmnožujejo. Navadno jih vodni tok zanese globlje v jame, le redko pa se same premaknejo tja. Strokovno se imenujejo **stigokseni** («tujci v jamah»). V to skupino pa ne spadajo povsem površinski organizmi, ki jih vodni tok slučajno zanese v podzemlje. V drugi skupini so živali, ki lahko ali celo morajo del življenja preživeti v podzemnih vodah in se tam celo razmnožujejo. Lahko pa živijo tudi v nekaterih površinskih življenjskih okoljih (habitatih). Imenujejo se **stigofili** («obiskovalci jam»). V tretji skupini so živali, ki so najbolj prilagojene na podzemeljsko okolje, v katerem preživijo celo življenje. Če jih vodni tok zanese na površje, tam zelo hitro*

viene prevalentemente dalla superficie. D'altra parte, le condizioni termiche nelle acque sono spesso molto più stabili che non in superficie. La temperatura normalmente ha variazioni relativamente scarse ed è pari alla temperatura media annua dei luoghi esterni vicini.

In base al grado di adattamento all'ambiente sotterraneo ossia a quello degli ambienti senza luce, gli esperti distinguono tre gruppi di animali legati alle acque sotterranee (Cuscito et. al., 1990; Camacho, 1992). Il primo comprende le specie che si trovano in prossimità delle sorgenti, che vivono nel letto dei fiumi fra le porosità delle alluvioni o sotto i massi, ma che nelle grotte sopravvivono solo per breve tempo e non vi si riproducono. Di solito queste specie non si muovono autonomamente per trasferirsi nelle cavità, bensì è la corrente a trascinarle. Il loro nome scientifico è **stigosseni** ("estranei alle grotte"). A questo gruppo non appartengono gli organismi che vivono esclusivamente in superficie e che vengono trascinati per caso sottoterra dalla corrente.

Un altro gruppo è composto dagli animali che possono (o addirittura devono) trascorrere una parte della loro vita nelle acque ipogee e vi si riproducono. Essi possono tuttavia vivere anche in alcuni habitat di superficie. Il loro nome è **stigofili** ("visitatori delle grotte").

Un terzo gruppo annovera quegli animali che si sono ben adattati all'ambiente sotterraneo, dove trascorrono tutta la vita. Se la corrente li trascina in superficie, muoiono rapidamente a causa della luce o diventano preda immediata di altri animali. Essi sono chiamati **stigobionti** ("abitanti delle grotte"). Il rappresentante più noto di questa categoria è il proteo, il cui nome scientifico è *Proteus anguinus* (Figura 6.1).

Le specie animali della terraferma che hanno rapporti con l'ambiente ipogeo sono definite con i termini scientifici di **troglosseni, troglotroglifili e troglobionti**. Tra i più noti troglotroglifili che vivono nelle nostre zone troviamo le cavallette ipogee (genere *Troglophilus*) ed alcune specie di pipistrelli (i rinolofidi o ferri di cavallo – genere *Rhinolophus*). Entrambi si trattengono nelle grotte soprattutto d'inverno e vi svernano in stato di ibernazione.

Gli stigobionti si distinguono dalle specie che vivono sulla superficie terrestre per il loro aspetto: la cute, priva di pigmenti, è trasparente, pallida o bianca. Sono contraddistinti inoltre da arti e antenne particolar-

poginejo zaradi svetlobe ali postanejo plen drugim živalim. Imenujejo se stigobionti («prebivalci v jamah»). Najbolj znan predstavnik skupine je človeška ribica ali močeril oz. strokovno Proteus anguinus (Slika 6.1). Kopenske živali, ki imajo podobne odnose do jamskega okolja, s strokovnimi izrazi označujemo kot troglokseni, troglotroglifili in troglobionti. Med najbolj znane troglotroglifile pri nas spadajo jamske kobilice (rod Troglophilus) in nekatere vrste netopirjev, npr. podkovernjaki (rod Rhinolophus). Oboji se v jamah zadržujejo zlasti pozimi, kjer prezimijo v otrplem stanju.

Značilnost jamskega vodnega, pa tudi kopnega okolja je, da zaradi pomanjkanja svetlobe v njem ni zelenih rastlin, s tem pa ne veliko hrane. Hrana v podzemlju je redka oz. neenakomerno razporejena, saj jo večina prispe s površja. So pa temperaturne razmere v podzemnih vodah veliko bolj enakomerne kot na površju. Temperatura razmeroma malo niha in je enaka povprečni letni temperaturi bližnjega kraja.

Stigobionti se od površinskih vrst ločijo že po videzu. So brez barvil, zato je njihova povrhnjica prozorna, bleda ali bela, imajo podaljšane noge in tipalke, oči pa so zelo majhne ali celo povsem zakrnele. Imajo zelo dobro razvita čutila za tip in vonj, da se lahko v popolni temi zanesljivo premikajo in lahko najdejo hrano.

Druga značilnost stigobiontov je njihova geografska razširjenost. Le malo jih je razširjenih na večjih površinah, kjer so posamezna znana na-



Figura 6.1
Il proteo (*Proteus anguinus*) è la specie di animale cavernicolo più nota.

Slika 6.1
Človeška ribica (*Proteus anguinus*) je najbolj znana jamska žival.

mente allungate e da occhi piccoli o addirittura atrofizzati. I loro organi sensoriali preposti al tatto e all'olfatto sono molto sviluppati e consentono a queste specie di muoversi in sicurezza e trovare il cibo necessario anche al buio totale.

Un'altra caratteristica degli stigobionti è la loro diffusione geografica. Pur non essendo numerosi sono diffusi su superfici ampie, sono stati rilevati in punti distanti anche alcune centinaia di chilometri l'uno dall'altro. Le più recenti ricerche molecolari e genetiche hanno rivelato tuttavia che in molti casi si tratta di più specie che si somigliano tanto da non essere distinguibili a occhio nudo, e perciò nel passato sono state catalogate come un'unica specie. Nella maggior parte dei casi, le specie di stigobionti sono comunque diffuse nel raggio di alcune decine di chilometri lungo i principali corsi d'acqua sotterranei. Esistono tuttavia anche delle specie registrate solo in alcuni singoli siti di rilevamento, a volte distanti solo alcuni chilometri l'uno dall'altro. Vi sono persino delle specie registrate finora in un unico sito (una grotta, una sorgente). Le specie a scarsa diffusione geografica sono chiamate endemiti. Un aggettivo o attributo di luogo li definisce in modo particolareggiato: si parla di endemita del fiume Reka/Timavo, di endemita del Carso Classico, endemita del Carso dinarico, ecc.

A causa della loro scarsa diffusione nei sistemi ipogei, le specie stigobie rappresentano un significativo rilevatore della rete idrica nel passato (paleoidrologia) (Sket & Bole, 1981). Alcune specie ipogee oggi vivono in aree in cui le acque appartengono a bacini idrografici diversi. Il caso più eclatante è quello del proteo, che si rinviene nelle cavità drenate dalla Sava e che poi finiscono nel Danubio e successivamente nel Mar Nero della gran parte della Slovenia meridionale e della Croazia nord-occidentale. Una piccola parte della sua popolazione vive in un'area in cui le acque defluiscono nel Vipacco e nell'Isonzo per sfociare poi nell'Adriatico, quale è quella sul confine estremo della area di ripartizione naturale a occidente, il Carso Classico. In Istria e Dalmazia il proteo si rinviene solo nei bacini idrografici dei fiumi che sfociano direttamente nell'Adriatico. In passato gli antenati del proteo vivevano in acque superficiali (fiumi, laghi, paludi) idrogeologicamente collegate tra di loro che, quindi, appartenevano al medesimo reticolo fluviale. Reticolo che,

hajališča med seboj oddaljena več kot nekaj 100 km. Najnovejše molekularne oz. genetske raziskave kažejo, da je v takih primerih več vrst, ki pa so si tako podobne, da jih na pogled ni možno razlikovati in so jih zato v preteklosti navajali kot eno vrsto. Najpogostejša razširjenost posameznih stigobiontskih vrst je tako v polmeru nekaj deset kilometrov oz. vzdolž glavnih podzemnih tokov. Obstajajo tudi vrste, ki so poznane le z nekaj najdišč, včasih zgolj nekaj kilometrov oddaljenih. Poznane pa so celo vrste, ki so doslej znane le iz enega samega najdišča (jame, izvira). Vrste z majhno geografsko razširjenostjo se imenujejo endemiti. S krajevnim pridevnikom pa se jih še podrobneje določijo, npr. endemiti reke Reke / Timave, endemiti klasičnega Krasa, endemiti dinarskega krasa, ipd.

Zaradi omejene razširjenosti v jamskih sistemih so zlasti stigobiontske vrste tudi pokazatelji vodnega omrežja v preteklosti (paleo-hidrologija) (Sket & Bole, 1981). Nekatere jamske vrste danes živijo na območjih, kjer vode odteka v različna povodja. Najbolj očiten primer je človeška ribica, ki je v večjem delu južne Slovenije in SZ delu Hrvaške razširjena po jamah, kjer vode tečejo v Savo, Donavo in naprej v Črno morje. Majhen del njene populacije na skrajnem robu njenega zahodnega območja razširjenosti pa živi na območju, kjer vode tečejo v Vipavo in Sočo in naprej v Jadransko morje. V Istri in Dalmaciji pa živi le v povodjih rek, ki se neposredno izlivajo v Jadransko morje. Predniki človeške ribice so v preteklosti živeli v površinskih vodah (rekah, jezerih, mlakah), ki so bili med seboj fizično povezane oz. so pripadale enotni rečni mreži. Ta se je kasneje, ko so se predniki že preselili v podzemlje, zaradi geoloških premikov spremenile in ločile, vrsta pa še nosi informacijo o svojem izvoru, čeprav se posamezne populacije med seboj že nekoliko ločijo po videzu.

Poznavanje razširjenosti posameznih vrst živali, ki živijo v kraških jamah, in njihov odnos do jamskega okolja (stigokseni, stigofili, stigobinti), lahko prispevajo pomembne podatke o podzemnih povezavah med posameznimi jamami oz. izviri (Sket & Bole, 1981). Živali vodni tok lahko prenaša od ene točke do druge (zlasti stigoksene), ali pa se le-ti aktivno premikajo po jamskih vodonosnikih (stigofili in stigobinti). Zlasti stigoksene vrste so lahko zanimiv in uporaben vir podatkov o podzemnih povezavah med ponori in izviri. Živali na ponorih voda odnese v podze-

dopo il trasferimento degli antenati del proteo negli ambienti ipogei, si è modificato nel tempo e diviso a causa delle vicissitudini geologiche della vasta area dinarica. La specie mantiene tuttavia ancora il dato relativo alla sua origine, anche se le singole popolazioni hanno già sviluppato un aspetto lievemente differente.

La conoscenza della diffusione delle singole specie animali presenti nelle grotte carsiche e del loro rapporto con l'ambiente ipogeo (stigoseni, stigofili, stigobionti) può fornire dati significativi sui collegamenti sotterranei tra le singole grotte e sorgenti (Sket & Bole, 1981). Gli animali (specie gli stigosseni) possono essere trasportati dalla corrente idrica da un punto all'altro, oppure possono spostarsi attivamente negli acquiferi (nel caso degli stigofili e degli stigobionti). Soprattutto le specie stigossene possono fornire dati interessanti e utili sui collegamenti ipogei tra gli inghiottitoi e le sorgenti. Gli animali presenti nei dintorni degli inghiottitoi vengono trascinati sottoterra, molti muoiono ma singoli esemplari possono sopravvivere a spostamenti ipogei più o meno brevi. La conoscenza della fauna locale favorisce quindi anche la conoscenza dei collegamenti ipogei.

6.2 Le ricerche sulle forme di vita negli ambienti acquei ipogei nel Carso Classico

Numerosissimi sono gli studi scientifici di ambito geologico, geo-morfologico, idrologico e botanico, in forma di articoli, capitoli in pubblicazioni e monografie dedicati all'area che si estende nell'entroterra del Golfo di Trieste cui si deve il termine "carso" (Cuscito et al., 1990; Kranjc et al., 1999). Molto minore è invece il numero delle ricerche sistematiche sulla fauna ipogea, specie su quella acquatica. La giustificazione è da ricercarsi nella difficile accessibilità: l'acqua si trova infatti a notevole profondità (anche 200-300 m sotto la superficie) ed è accessibile solo con la speciale attrezzatura speleologica che consente di accedere anche agli abissi profondi come la Kačna jama. Più accessibili sono il corso sotterraneo del fiume Reka/Timavo nelle grotte di San Canziano, le acque di fondo nell'Abisso di Trebiciano, le acque che sgorgano dalle Sorgenti

mlje, kjer jih veliko propade, posamezni osebki pa lahko preživijo daljša ali krajša podzemna potovanja. Na osnovi poznavanja lokalnega živalstva se tako lahko pridobijo tudi podatki o podzemnih povezavah.

6.2 Zgodovina raziskav življenja v podzemnem vodnem okolju na klasičnem Krasu

Pokrajina, ki leži v zaledju Tržaškega zaliva, je izvor za besedo »kras«, ki je splošno uveljavljen v strokovni literaturi za posebne površinske in podzemne oblike pokrajine oz. pojave. Temu je bilo z geološkega, geomorfološkega, hidrološkega, botaničnega in na splošno krasoslovnega proučevanja posvečeno veliko znanstvenih in strokovnih člankov, poglavij v knjigah in tudi monografij (Cuscito et al., 1990; Kranjc et al., 1999). Bistveno manj je bilo sistematičnih raziskovanj podzemeljske favne, še zlasti vodne. Glavni razlog je težka dostopnost, saj se voda nahaja 200-300 m pod površjem in je dostopna le s posebno jamarsko opremo, ki omogoča premagovanje tudi globokih brezen, na primer v Kačni jami. Lažje dostopni so le ponikalni del reke Reke v Škocjanskih jamah, turistična Labodnica / Abisso di Trebiciano ter izvirmi deli reke Timave. Zato ne preseneča, da sta bili doslej objavljeni le dve sistematični deli o podzemnem živalstvu v Krasu. Prvo je znanstveno delo Hans-Jürgen Stammerja iz leta 1932, kjer je zbral vse podatke o živalih, najdenih v reki Reki / Timavu do tega leta (Stammer, 1932). Drugo je poljudna knjiga o Reki / Timavu, ki jo je pripravila skupina avtorjev leta 1990, kjer je podatke o živalstvu zbral znanstveni biospeleolog Fabio Stoch (Cuscito et al., 1990).

Ostala raziskovanja so bila občasna ali omejena le na ozka območja, bodisi na slovenski ali italijanski strani klasičnega Krasa. Med pomembnejšimi raziskovalci podzemeljskega vodnega živalstva so bili tudi: Fulvio Gasparo, Stanko Karaman, Friedrich Kiefer, Boris Sket in Fabio Stoch (Stoch & Dolce, 1994; Gasparo, 1995). Navkljub težavam pri zbiranju podatkov, se jih je v okoli 100 letih nabralo kar nekaj. Doslej je bilo za sistem reke Reke / Timava ugotovljenih okoli 200 vrst (od stigoksenov do stigobiontov – podrobnejša analiza bo objavljena v znanstvenem članku) (Stammer, 1932, Botosaneanu, 1986).

Tabella 6.1

Elenco delle specie identificate per la prima volta e scientificamente descritte nell'area di studio del Progetto HYDROKARST.

Tabela 6.1

Seznam vrst, ki so bile prvič najdene in znanstveno opisane na raziskanem območju Projekta HYDROKARST.

Organismi / Vrsta	Località / Tipsko nahajališče	Stato / Država
Temnocephalida		
<i>Bubalocerus pretneri</i> Matjašič, 1958	Dolenca jama, Brestovica na Komnu	SI
<i>Troglocaridicola cervaria</i> Matjašič, 1958	Dolenca jama, Brestovica na Komnu	SI
<i>Troglocaridicola vilkae</i> Matjašič, 1990	Osapska jama, Osp	SI
Oligochaeta		
<i>Haber monfalconensis</i> (Hrabe, 1966)	Moschenizze, Monfalcone	IT
<i>Sketodrilus flabellisetosus</i> (Hrabe, 1966)	Grotta del Timavo, San Giovanni di Duino	IT
Cladocera		
<i>Alona sketi</i> Brancelj, 1992	Osapska jama, Osp	SI
Copepoda		
<i>Acanthocyclops hypogeus</i> (Kiefer, 1930)	Škocjanske jame (Tiha jama), Škocjan	SI
<i>Acanthocyclops venustus stammeri</i> (Kiefer, 1930)	Škocjanske jame (Hankejev kanal), Škocjan	SI
<i>Elaphoidella carstica</i> (Petkovski & Brancelj, 1985)	Škocjanske jame (Tiha jama), Škocjan	SI
<i>Metacyclops gasparoi</i> Stoch, 1987	Pozzo presso Jamiano, Jamiano	IT
<i>Morariopsis scotenophila</i> (Kiefer, 1930)	Škocjanske jame (Tominčeva jama), Škocjan	SI
<i>Nitocrella stochi</i> Pesce & Galassi, 1987	Timavo, San Giovanni di Duino	IT
<i>Speocyclops infernus</i> (Kiefer, 1930)	Škocjanske jame (Tiha jama), Škocjan	SI
Isopoda		
<i>Monolistra schottlaenderi</i> Stammer, 1930	Moschenizze, Monfalcone	IT
<i>Proasellus intermedius meridionalis</i> Stoch, 1989	Pozzo presso Jamiano, Jamiano	IT
Amphipoda		
<i>Hadzia fragilis stochi</i> G. Karaman, 1989	Grotta presso la Peschiera del Timavo, San Giovanni di Duino	IT
<i>Niphargus stochi</i> G. S. Karaman, 1994	Antro delle Sorgenti di Bagnoli, Bagnoli della Rosandra	IT
<i>Niphargus timavi</i> S. Karaman, 1954	Timavo, San Giovanni di Duino	IT

del Timavo. Non stupisce pertanto che finora siano state pubblicate solo due opere scientifiche sistematiche sulla fauna carsica sotterranea. La prima risale al 1932 e si deve a Hans-Jürgen Stammer, che ha raccolto tutti i dati sulla fauna reperiti nel fiume Reka / Timavo fino ad allora (Stammer, 1932). La seconda è un volume sul fiume Reka / Timavo destinato al vasto pubblico e realizzato da numerosi Autori nel 1990, nel quale i dati sulla fauna cavernicola ipogea sono stati raccolti e descritti dal noto biospeleologo Fabio Stoch (Cuscitio et al., 1990).

Altre ricerche hanno avuto carattere occasionale o limitato ad aree ristrette, sia sul versante sloveno che su quello italiano del Carso Clasico. Tra i ricercatori che si sono dedicati alla fauna ipogea vanno citati

Pri najnovjšem zbiranju podatkov v okviru Projekta HYDROKARST smo se osredotočili predvsem na stigobionte in strigofile, medtem ko smo površinske vrste omejili le na nekaj vrst, ki se v jamah pojavljajo bolj pogosto in služijo tudi za ugotavljanje podzemnih povezav s površjem. Od navedenih dvesto vrst, jih je bilo 18 prvič opisanih iz jam in izvirov, ki ležijo na obravnavanem območju (kraji se imenujejo tipsko nahajališče oz. locus typicus = loc. typ.) (Tabela 6.1). Te vrste so znane samo iz obravnavanega območja ali krajev, ki so v neposredni bližini. Še nadaljnjih 13 vrst pa je bilo prvič opisanih iz tipskih nahajališč blizu Krasa, vendar so bolj razširjene kot prejšnja skupina. Razširjenost nekaterih tipičnih podzemnih vrst je prikazana na Sliki 6.2.

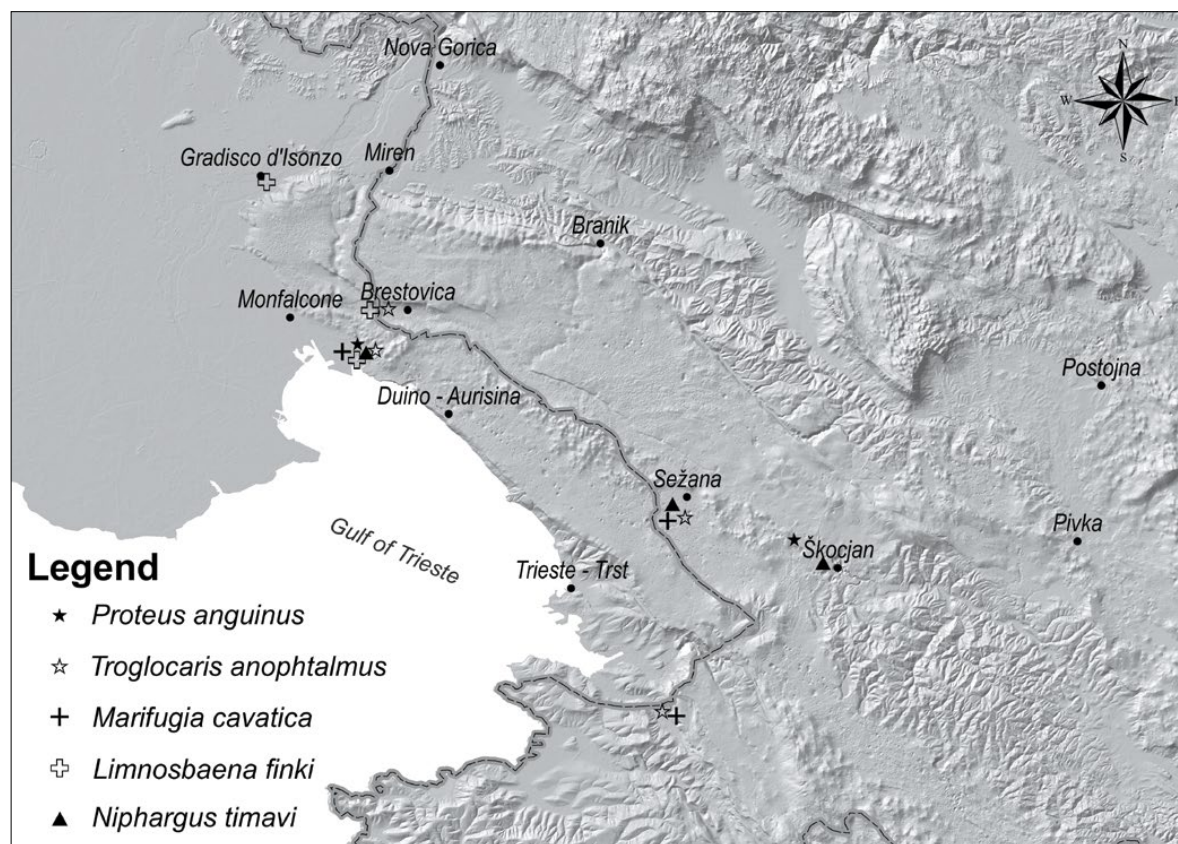


Figura 6.2
Mapa con l'ubicazione delle località in cui sono state rinvenute le più significative specie ipogee.

Slika 6.2
Karta z nahajališči nekaterih najbolj značilnih podzemnih vrst.

Fulvio Gasparo, Stanko Karaman, Friedrich Kiefer, Boris Sket e Fabio Stoch (Stoch & Dolce, 1994; Gasparo, 1995). Comunque sia, nonostante che la raccolta dei dati sia difficoltosa, durante l'ultimo secolo ne sono stati accumulati una mole non indifferente. Nel sistema fluviale del Reka/Timavo sono state identificate circa 200 specie, dagli stigosseni agli stigobionti (Stammer, 1932, Botosaneanu, 1986).

La recente raccolta triennale di dati effettuata nell'ambito del Progetto HYDROKARST si è focalizzata soprattutto sugli stigobionti e sugli stigofili. Per quanto riguarda lo studio delle specie superficiali che com-

6.3 Metodi za sledenje hidroloških povezav s pomočjo organizmov

Za ugotavljanje neposrednih hidroloških povezav med posameznimi ponori in izviri, so doslej velikokrat poleg klasičnih sledil, kot so različne soli (NaCl, LiCl), barvila (rodamin, uranin oz. fluorescin) ali delci (žaganje, polistirenske kroglice), uporabili tudi nekatera biološka sledila. Med njimi so prevladovali enocelični organizmi, kot so virusi oz. bakteriofagi (paraziti na bakterijah), različne bakterije, ki sicer ne



Figura 6.3
Campionamento della fauna sotterranea del fiume Reka/Timavo nell'Abisso di Trebiciano.

Slika 6.3
Vzorčenje podzemnega živalstva reke Reke / Timava v Labodnica / Abisso di Trebiciano.

paiono frequentemente nelle grotte e aiutano a comprendere le connessioni tra l'ambiente ipogeo e la superficie, nell'area in questione 21 delle 200 specie citate sono state riconosciute in grotte e sorgenti (tali luoghi sono definiti locus typicus = loc. typ.) e descritte per la prima volta (Tabella 6.1). Queste specie compaiono soltanto nell'area del Carso Classico o in località nelle immediate vicinanze. Altre 13 specie sono state descritte per la prima volta e rinvenute in luoghi tipici in prossimità del Carso, ma sono più diffuse rispetto a quelle del gruppo precedente. La prevalenza di alcune specie caratteristiche è presentata in Figura 6.2.

6.3 Metodi di tracciamento dei collegamenti idrologici per mezzo degli organismi

Per verificare l'esistenza di collegamenti idrologici diretti è possibile ricorrere, oltre che ai classici traccianti quali i vari tipi di sali (NaCl, LiCl), coloranti (rodamina, uranina o fluorescina) o particelle (segatura, palline di polistirolo), anche ad alcuni traccianti biologici. Tra questi in particolare prevalgono gli organismi monocellulari quali i virus o i batteriofagi (parassiti dei batteri), i vari batteri non patogeni per l'uomo o le spore di miceti. Questi esperimenti di tracciatura contemplano l'uso dei suddetti organismi per la dimostrazione diretta dei collegamenti tra gli inghiottitoi e le sorgenti in quanto non fanno parte della fauna naturale delle grotte e fungono solo da indicatori dei collegamenti. Uno degli indicatori dei collegamenti tra la superficie e le acque sotterranee è anche la presenza di batteri di origine fecale che segnalano la presenza di scarichi fognari (Sket & Velkavrh, 1980).

I metodi biologici più recenti includono le analisi delle comunità animali in singoli punti delle cavità, dei pozzi e delle sorgenti. Questo metodo richiede un'approfondita conoscenza delle singole specie animali e delle loro esigenze ecologiche, ma permette di acquisire importanti dati supplementari non ottenibili con altre prove di tracciamento. La frequenza delle singole specie animali, specie di quelle di superficie o degli stigosseni, è un indicatore della frequenza e dell'intensità dei collegamenti con le acque superficiali. Dal numero degli esemplari e dagli

povzročajo bolezni pri ljudeh, ali spore različnih gliv. Pri teh sledilnih poskusih so bili omenjeni organizmi uporabljeni za neposredno dokazovanje povezav med mesti ponorov in izvirov. Uporabljeni organizmi niso bili del naravne jamske združbe in so služili zgolj kot pokazatelj povezav. Med pokazatelje povezav med površjem in podzemnimi tokovi spada tudi prisotnost bakterij fekalnega izvora, kar nakazuje na izpuste iz greznic (Sket & Velkavrh, 1980).

Novjše biološke metode vsebujejo analize živalskih združb na posameznih mestih v jamah, vodnjakih in izvirov. Ta metoda zahteva sicer zelo dobro poznavanje posameznih vrst živali in njihove ekološke zahteve, vendar se pridobijo dodatni podatki, ki jih z drugimi sledilnimi poizkusi ne. Pogostost posameznih vrst živali, zlasti povsem površinskih ali pa stigoksenov, kaže na bližino in intenzivnost povezav s površinskimi vodami. Iz števila živali in ekotipov, ki jih vodni tok prinese skozi izvire ali pa ostanejo v jamah, se lahko delno sklepa celo na zgradbo zaledja (mirnejši tok ali brzice) ali velikost vodnih teles (prisotnost prostoplavajočih živali). Predhodne analize živalstva v jamah, izvirov ali vodnjakih lahko služijo za bolj učinkovito načrtovanje klasičnih sledilnih poskusov s sledili. Prednost analiz živalskih združb v podzemnih vodah je, da stigobionti odražajo dolgoročne razmere v podzemlju, medtem ko površinske vrste ali stigokseni lahko posredujejo tako podatke o bolj enkratnih oz. izjemnih dogodkih, kot tudi o stalnosti dotokov s površja.

Podatke za ugotavljanje hidroloških povezav med posameznimi lokacijami pridobivamo s pomočjo vzorčenj. V jamah se vzorči živalstvo, ki živi na dnu rek ali tolmunov. Taka združba živali se strokovno imenuje bentos. Z ročno mrežo se živali pobere z določene površine dna (Slika 6.3) in se jih prenese v laboratorij, kjer se jih določi do vrst. Druga metoda, ki je zlasti uporabna v izvirov, je lov plavja (strokovno: drifta). To so živi organizmi in tudi odmrli organski delci, ki jih vodni tok nosi s seboj iz podzemlja. V vodni tok tik za ustjem izvira se pritrdi nekoliko prirejena planktonska mreža in se jo običajno pusti v toku 24-ur (Slika 6.4). Tudi v tem primeru se vzorce prinese v laboratorij in določi ujele organizme. Za vzorčenje vodnjakov za črpanje vode in tudi opazovalnih vodnjakov (piezometrov) se lahko uporablja enaka planktonska

ecotipi che vengono trasportati dalla corrente attraverso le sorgenti o rimangono all'interno delle grotte è possibile dedurre persino la struttura dell'idrostruttura (corrente idrica lenta o veloce) o le dimensioni dei vani allagati (presenza di specie animali che nuotano liberamente). Le analisi preliminari della fauna presente nelle grotte, nelle sorgenti o nei pozzi possono essere di supporto a una pianificazione più efficace dei classici esperimenti con i traccianti. Il vantaggio dell'analisi delle comunità animali nelle acque sotterranee sta nel fatto che gli stigobionti rispecchiano le condizioni sotterranee a lungo termine, mentre le specie di superficie o gli stigosseni possono trasmettere sia dati relativi a fatti unici e straordinari, sia informazioni sulla presenza di afflussi costanti.

I dati che consentono di verificare l'esistenza di collegamenti idrologici tra le singole località vengono acquisiti per mezzo di campionamenti. Nelle grotte si prelevano campioni di specie che vivono sul fondo dei corsi d'acqua. Queste comunità sono note col termine scientifico di *bentos*. Gli animali vengono prelevati da una determinata superficie di fondo con una retina a mano (Figura 6.3); vengono poi portati in laboratorio dove vengono identificate le specie di appartenenza. Un altro metodo di campionamento particolarmente efficace nelle sorgenti è il cosiddetto *drift*, che consiste nella raccolta di organismi viventi e di particelle organiche morte trasportati dalla corrente. Nel corso d'acqua viene inserita una retina da plancton modificata e posizionata subito dopo la bocca della sorgente che viene lasciata in posizione per 24 ore (Figura 6.4). Anche in questo caso i campioni vengono trasportati in laboratorio per identificare gli organismi catturati.

Per la campionatura degli organismi nei pozzi per l'approvvigionamento idrico e nei pozzi piezometrici è possibile utilizzare una retina da plancton uguale a quella utilizzata nel *drifting* anche se di dimensioni minori (Figura 6.5). La profondità del pozzo non costituisce un impedimento, solo il lume della cavità deve essere libero per evitare che la rete si incastri. Per acquisire dati validi sui collegamenti è necessario effettuare più prelievi, il che richiede un notevole investimento in tempo e denaro, ma assicura sui risultati che vanno ad integrare quelli conseguiti con altre prove di tracciamento.

mreža kot za lov drifta, za piezometre pa se uporabljajo mreže manjših dimenzij (Slika 6.5). Globina vodnjaka ni ovira, le svetlina cevi mora biti prosta, da se mreža ne zatakne.

Za bolj natančne podatke o povezavah je potrebno opraviti več odvzemov vzorcev. To je sicer časovno in finančno zahtevna metoda, a rezultati lahko koristno dopolnjujejo rezultate drugih sledilnih poizkusov.



Figura 6.4
Campionamento della fauna sotterranea portata in superficie dalla corrente alla sorgente (drift)

Slika 6.4
Vzorčenje podzemnega živalstva, ki ga vodni tok prinese na površje v izvirih (plavje oziroma drift).

6.4 Conclusioni

Le analisi della fauna che si trova nelle acque sotterranee e che ha diverse modalità di relazione nei confronti dell'ambiente ipogeo possono offrire utili informazioni sui collegamenti idrologici tra le singole località e sulle condizioni esistenti in tale ambiente. Esse vanno quindi ad integrare le ricerche idrologiche classiche atte a risolvere i problemi relativi all'approvvigionamento idrico e all'inquinamento delle acque di falda.

6.4 Sklep

Analize živali, ki jih najdemo v podzemeljskih vodah in ki imajo različen odnos do podzemeljskega okolja, lahko ponudijo dodatne informacije o hidroloških povezavah med posameznimi lokacijami kot tudi o razmerah, ki vladajo v podzemlju. Zato so lahko koristna dopolnitev klasičnih hidroloških raziskav, ki rešujejo probleme, povezane z vodoskrbo, onesnaževanja ali celo gradbenimi posegi.



Figura 6.5
Prelievo di campioni
di fauna nel pozzo
di emungimento
dell'acquedotto di Klariči

Slika 6.5
Jemanje vzorcev
živalstva iz vodnjaka v
vodarni Klariči.



Le misure di portata.

Merjenje pretoka.