

TIZIANA DI LORENZO, PAOLA DE LAURENTIIS,
DIANA M. P. GALASSI

Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di L'Aquila, Via Vetoio, Coppito, 67100 L'Aquila

L'INFERENZA BIOLOGICA NELLA VALUTAZIONE DEL GRADO DI PROTEZIONE NATURALE DI SORGENTI CARSICHE CAPTATE

SUMMARY

This research focused on an interdisciplinary approach to determine the isolation degree of karstic springs used for drinking purposes by integrating chemical and physical criteria, as well as biological and ecological ones which may act as indicators of infiltration vulnerability. The survey was carried out on three basal karstic springs in Central Apennine (Abruzzo, Central Italy). In particular, the main topic of the work was to assess the informative power of the "biological inference" as to the evaluation of the infiltration vulnerability of karstic aquifers. A taxocenotic analysis through copepod assemblages (Crustacea: Copepoda) was used instead of a biocenotic one to evaluate ratios among the different ecological categories (stygiobionts, stygophiles, stygoxenes) which supply more accurate information on the isolation degree of the aquifer system. The stigoxene copepods were used as markers of the presence, density and dimension of the preferential paths of fast infiltration representing the karstic aquifers main risk, which, otherwise, would not be stated only through chemical, physical and microbiological criteria.

INTRODUZIONE

In Europa, la domanda di risorse idropotabili è sensibilmente aumentata negli ultimi decenni proporzionalmente allo sviluppo economico dei paesi comunitari, conducendo ad un sensibile depauperamento delle falde idriche e ad un sovrasfruttamento di pozzi e sorgenti. La gestione sostenibile delle sorgenti captate ad uso potabile, ed in particolare di quelle carsiche, è un problema di non semplice soluzione, a causa dell'elevato grado di vulnerabilità per infiltrazione e della difficoltà di monitorare con esattezza l'alimentazione, il deflusso e lo svuotamento degli acquiferi carsici come anche la propagazione di eventuali agenti contaminanti (CIVITA, 1988). Su scala locale, la tutela delle risorse idriche destinate al consumo umano (sorgenti, pozzi e acque superficiali) si basa sulla delimitazione di aree di salvaguardia distinte in una zona di tutela assoluta (ZT), una zona di rispetto (ZR) e una zona di protezione (ZP) (D.L. 152/99). La determinazione della idonea estensione della zona a rischio più elevato, la ZR, è un obiettivo prioritario nella pratica di gestione delle sorgenti captate e solitamente viene effettuata in base a strategie di protezione statica mediante l'applicazione di criteri geometrico-temporali, o di protezione dinamica che fa uso di criteri più puntuali di tipo idrogeologico. I criteri di protezione statica, più economici, sono tuttavia inadeguati alla salvaguardia di sorgenti carsiche captate per uso potabile, in quanto non prevedono il rilevamento delle vie di infiltrazione efficace che costituiscono i principali e più importanti fattori di vulnerabilità.

In tale contesto si vuole enfatizzare la potenzialità informativa dell'inferenza biologica in

merito all'individuazione di idonee strategie di tutela di sorgenti carsiche captate ad uso potabile. Nello specifico, l'incidenza percentuale delle tre categorie ecologiche di stigosseni-stigofili-stigobionti ed il livello di integrità biocenotica vengono proposti quali indicatori del grado di protezione naturale di tali sorgenti.

MATERIALI E METODI

Viene formulato in questa sede un preciso protocollo di campionamento per garantire la riproducibilità dei dati e la confrontabilità dei risultati ottenuti in sistemi carsici diversi. Il numero di campionamenti previsti su scala annuale è almeno pari a tre, coincidenti con gli eventi di piena, morbida e magra dell'acquifero. Qualora possibile, sarebbe necessario effettuare ulteriori campionamenti in concomitanza ad eventi di precipitazione piovosa di particolare intensità. La cadenza di campionamento comunque non dovrebbe essere inferiore ai sessanta giorni onde limitare alterazioni significative della biocenosi sotterranea. Per il calcolo della percentuale di fauna stigossena e dell'indice R, vengono considerati i dati faunistici cumulativi relativi ai tre (o sei) campionamenti che vanno raccolti con retino a maglie di 60 µm e in modalità epi/inbentonica, lungo la galleria o, in assenza di questa, dragando il fondo delle vasche di decantazione. In laboratorio, previo smistamento, la componente faunistica viene conservata in alcool etilico al 70% ed ulteriormente processata onde pervenire all'identificazione a livello specifico.

L'inferenza biologica

In quanto ambienti ecotonali, le sorgenti albergano comunità animali composte da organismi acquatici sotterranei *sensu stricto* (stigobionti), da organismi che attivamente o accidentalmente penetrano negli ambienti ipogei (stigofili e stigosseni) e da organismi di superficie che vivono permanentemente o temporaneamente in acque sorgive (crenobionti, crenofili, crenosseni). La captazione, isolando il punto di emergenza dall'ambiente esterno, determina la perdita di ogni caratteristica ecotonale, con la conseguente alterazione della composizione biocenotica che, in seguito all'inevitabile scomparsa delle componenti crenobionte, crenofila e crenossena, tende ad assumere una struttura tipicamente ipogea. Data la costanza, su varia scala, dei parametri chimico-fisici, le sorgenti captate rappresentano recapiti esclusivi per specie rare e/o endemiche, spesso testimonianza di vicissitudini paleoecologiche e paleogeografiche delle aree indagate (GALASSI, 2001). D'altra parte, all'elevato livello di endemismo di questi ambienti si associa spesso una caduta delle abbondanze relative ed assolute, conseguenza della scarsa disponibilità trofica delle acque sotterranee e dell'*A-selection* (GREENSLADE, 1983) spesso invocata nel rendere ragione delle curve di crescita demografica delle popolazioni stigobionti.

La biodiversità, come elemento di integrazione di fattori storici ed ecologici, sia in scala spaziale che temporale (WILLIAMS, 1991; GALASSI *et al.*, 2001) è stata recentemente convalidata quale strumento di biomonitoraggio di sistemi sotterranei. In particolare, lo studio della invertebratofauna raccolta in ambiente sorgivo captato fornisce informazioni puntuali sul grado di isolamento naturale della sorgente e quindi sulla sua vulnerabilità per infiltrazione (DI LORENZO e GALASSI, 2001). In accordo con vari autori (MALARD *et al.*, 1996; MÖSSLACHER *et al.*, 2001) gli invertebrati stigosseni, ubiquitari e numericamente abbondanti in ambiente superficiale, possono essere impiegati quali *markers* di vie preferenziali di infiltrazione efficace. Infiltrandosi con l'acqua di precipitazione, essi raggiungono il recapito dell'acquifero in tempi dipendenti dall'entità dell'evento piovoso, dalla densità delle vie pre-

ferenziali di infiltrazione efficace e dalla distanza di queste dalla sorgente e sfuggendo all'effetto di diluizione-dispersione-depurazione del mezzo acquifero, superano talvolta l'efficienza degli indicatori abiotici. La probabilità che gli stigosseni colonizzino stabilmente gli habitat eucarsici propri degli stigobionti è minima sia per la marcata oligotrofia dell'ambiente ipogeo, sia per il minor successo adattativo degli stigosseni in ambiente sotterraneo, a meno che il loro ingresso sia continuo e consistente, nel qual caso essi competeranno con gli autoctoni per le risorse e, possedendo cicli ontogenetici più brevi e tassi di fecondità più elevati, li potranno sostituire progressivamente nella struttura biocenotica. Pertanto, il rinvenimento di fauna stigossena all'interno dell'opera di presa è da porsi sempre in relazione con reti di alimentazione superficiale (BODON e GAITER, 1995) che inficiano l'isolamento naturale della sorgente elevando il suo livello di rischio.

Una stima dei rapporti numerici tra stigobionti, stigofili e stigosseni, oltre a testimoniare la presenza o meno di intensi scambi idrici tra il sistema ipogeo e quello epigeo (MÖSSLACHER *et al.*, 2001), risulta informativo del quantitativo di acqua infiltrata e della magnitudo dell'evento di contaminazione, nonché dell'inizio del recupero ecosistemico, che nessuna analisi chimica sarebbe in grado di individuare.

L'indice **R** quantifica il grado di alterazione della biocenosi ipogea. L'entità di tale variazione strutturale è parametrizzata nella seguente formula analitica in cui

$R = \sum_i p_i / (\sum_z p_z + \sum_x p_x)$ dove:

p_i = n. individui della specie stigossena "i", per $i = 1, \dots, n$.

p_z = n. individui della specie stigobionte "z", per $z = 1, \dots, m$.

p_x = n. individui della specie stigofila "x", per $x = 1, \dots, q$.

Poiché i campioni faunistici vanno prelevati in ambiente sorgivo captato e isolato dalle acque superficiali, vale l'ipotesi nulla che

$\sum_z p_z + \sum_x p_x \neq 0$ (biocenosi ipogea).

L'indicatore **R** può assumere pertanto i seguenti valori:

$0 < R < 1$

se $\sum_i p_i < \sum_z p_z + \sum_x p_x$;

$R = 0$

se $\sum_i p_i = 0$;

$R = 1$

se $\sum_i p_i = \sum_z p_z + \sum_x p_x$ e

$R > 1$

se $\sum_i p_i > \sum_z p_z + \sum_x p_x$

Area di studio

Allo scopo di verificare il potere informativo degli indicatori biologici precedentemente discussi e la loro correlazione con il livello di rischio delle sorgenti, si è proceduto allo studio di tre sorgenti carsiche captate a scopo potabile della provincia di L'Aquila (Abruzzo): Pettorano sul Gizio, Bugnara e Prezza.

La sorgente di Pettorano sul Gizio (lat. 41° 58' 07"; long. 13° 57' 19"; 620 m s.l.m.), con una portata media di circa 450 l/sec, rappresenta il recapito principale della subunità idrogeologica M. Genzana. L'idrogramma della sorgente presenta scarse oscillazioni che lasciano intuire una trascurabile sensibilità alle variazioni climatiche stagionali (SALVATI, 1996). L'area immediatamente a monte della captazione della sorgente rientra nel territorio della riserva naturale guidata "Monte Genzana e Alto Gizio". Di incerta attribuzione è un gruppo di sorgenti minori situate al confine settentrionale della subunità del M. Genzana, indicate come Gruppo Capolaia a cui probabilmente appartengono le sorgenti di Bugnara e Prezza (lat. 42° 01' 10"; long 13° 51' 36"; 618 m s.l.m.). Esse vengono interpretate da CELICO (1981) quali

recapiti di un'aliquota delle acque del M. Genzana perse attraverso l'intercalare che tampona la struttura a settentrione, ma potrebbero anche essere considerate emergenze in parte alimentate dalle coltri detritiche addossate al versante settentrionale del massiccio (SALVATI, 1996). Le sorgenti Prezza e Bugnara distano circa 25 m in linea d'aria; la portata media complessiva è di circa 20 l/s e vengono attualmente sfruttate per l'approvvigionamento idrico dei comuni di Prezza e Bugnara.

RISULTATI

Per le sorgenti oggetto di indagine si è potuto sostituire ad un approccio biocenotico un taxocenotico basato sul gruppo focale dei copepodi (Crustacea: Copepoda) presenti con un'incidenza superiore all'80% in tutte le sorgenti indagate. Il numero di specie di copepodi stigosseni nella sorgente di Bugnara è nettamente superiore al numero di specie stigobionti che non compaiono in due campionamenti consecutivi (Fig. 1).

La dominanza di stigosseni-stigofili e la scarsa abbondanza degli stigobionti sono ulteriormente messe in evidenza dalla distribuzione delle abbondanze relative nel tempo (Fig. 2). $0 < R < 1$ indica un'alterazione significativa e recente su scala temporale della taxocenosi e lascia supporre che il grado di protezione naturale della sorgente di Bugnara sia mediocre.

Nella sorgente di Prezza non sono state raccolte specie stigobionti durante l'intera campagna di campionamento mentre dominano gli stigosseni sia in termini di ricchezza di specie (Fig. 3) che di abbondanze relative (Fig. 4).

L'indice $R > 1$ denota una forte alterazione della taxocenosi sotterranea e suggerisce che le vie di infiltrazione efficace siano numerose e/o che esse siano ubicate in prossimità della sorgente, in modo da consentire un'infiltrazione continua di stigosseni e sostanza organica in ambiente sotterraneo. La sorgente di Pettorano sul Gizio ospita una biocenosi prettamente stigobionte (Figg. 5-6), se si eccettua la comparsa di un solo esemplare di *Bryocamptus (R.) zschokkei* (stigosseno) nel campionamen-

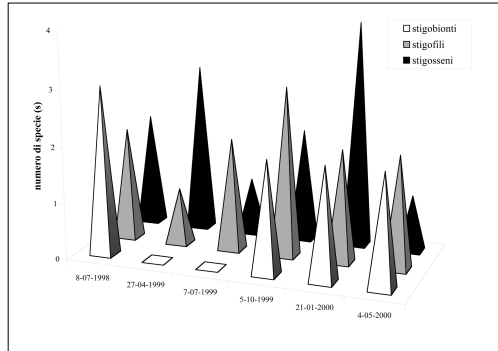


Fig. 1 - Sorgente Bugnara: distribuzione temporale del numero di specie della taxocenosi a copepodi per categoria ecologica.

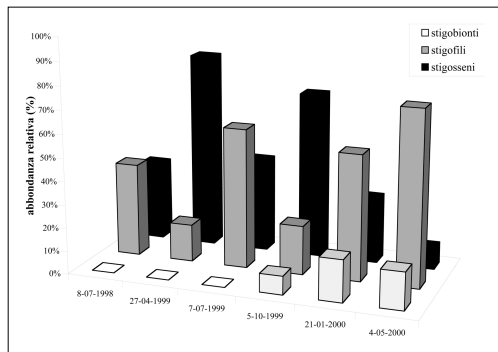


Fig. 2 - Sorgente Bugnara: andamento temporale delle abbondanze relative della taxocenosi a copepodi per categoria ecologica.

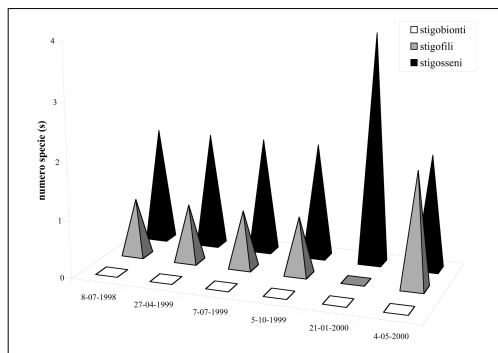


Fig. 3 - Sorgente Prezza: distribuzione temporale del numero di specie della taxocenosi a copepodi per categoria ecologica.

to epibentonico del settembre 1999 (Tab. 1) e di un esemplare di *Bryocamptus (R.) pygmaeus* (stigosseno) rinvenuto nel drift del mese di aprile 2001. Nella computazione dell'indice R tali presenze non sono state considerate in quanto ritenute occasionali e non rappresentative dell'idrodinamica dell'acquifero, pertanto $R=0$. La sorgente di Pettorano sul Gizio è inoltre caratterizzata dalla presenza di un elevato numero di endemismi e precisamente: *Pseudectinosoma* sp., *Nitocrella* sp. e *Parastenocaris* sp., specie ancora in corso di descrizione e, allo stato attuale delle conoscenze, endemiche di detta sorgente (Tab. 1).

Degna di considerazione è anche la consistente dispersione tassonomica della diversità, legata alla distribuzione degli endemismi in categorie distinte nello spazio tassonomico (WILLIAMS e HUMPHRIES, 1996). La fauna endemica della sorgente, infatti, consiste sia di elementi di antica origine dulciacquicola che marina, alcuni dei quali sono da considerarsi fossili viventi, relitti distribuzionali e/o filetici di una fauna oggi scomparsa dagli habitat plesiotipici e/o a distribuzione disgiunta nelle acque sotterranee continentali. Enigmatica è la stretta affinità della nuova specie *Pseudectinosoma* sp. con *Pseudectinosoma kunzi* Galassi, 1997 nota dell'acquifero di Castelcivita (Massiccio degli Alburni). Tali popolazioni avrebbero conservato un'estrema similarità morfologica quale conseguenza della stabilità su scala geologica dell'ambiente sotterraneo e potrebbero essersi disgiunte a seguito di un evento basale di vicarianza databile nel Terziario (GALASSI *et al.*, 1999; GALASSI, 2001). L'alto livello di endemismo e la notevole antichità di alcuni elementi (paleoendemismi) della taxocenosi conferiscono a questa sorgente particolare rilevanza, oltre che in termini idropotabili, anche in termini conservazionistici.

CONCLUSIONI

La qualità di un sistema sorgivo captato è attualmente stabilita solo in base a criteri di potabilità

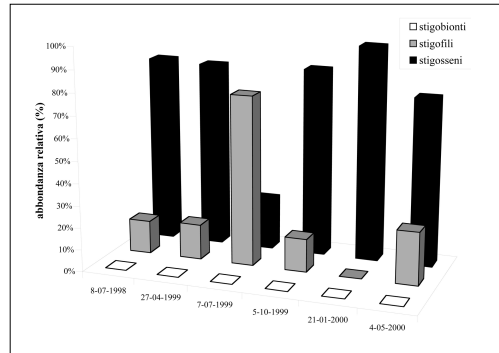


Fig. 4 - Sorgente Prezsa: andamento temporale delle abbondanze relative della taxocenosi a copepodi per categoria ecologica.

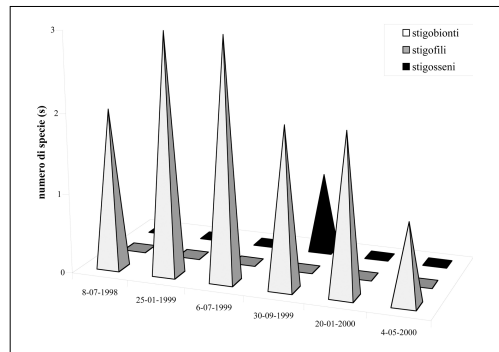


Fig. 5 - Sorgente Pettorano sul Gizio: distribuzione temporale del numero di specie della taxocenosi a copepodi per categoria ecologica.

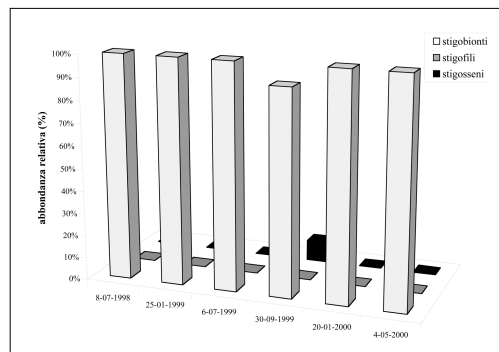


Fig. 6 - Sorgente Pettorano sul Gizio: andamento temporale delle abbondanze relative della taxocenosi a copepodi per categoria ecologica.

BUGNARA

Stigosseni

- Paracyclops fimbriatus* (Fisher, 1853)
Attheyella (*Attheyella*) *crassa* (Sars, 1889)
Bryocamptus (*Rheocamptus*) *pygmaeus* (Sars, 1863)
Bryocamptus (*Rheocamptus*) *zschokkei zschokkei* (Schmeil, 1893)

Stigofili

- Bryocamptus* (*Rheocamptus*) *typhlops* (Mrázek, 1893)
Bryocamptus (*Limocamptus*) (Mrázek, 1893)

Stigobionti

- Diacyclops paralanguidoides* Pesce & Galassi, 1987
Elaphoidella elaphoides (Chappuis, 1923/24)
Moraria stankovitchi Chappuis, 1923/24

PREZZA

Stigosseni

- Attheyella* (*Attheyella*) *crassa* (Sars, 1889)
Bryocamptus (*Rheocamptus*) *pygmaeus* (Sars, 1863)
Bryocamptus (*Rheocamptus*) *zschokkei* (Schmeil, 1893)
Moraria (*Moraria*) *poppei* (Mrázek, 1893)

Stigofili

- Attheyella* (*Brehmiella*) *paranaphtalica* Pesce & Galassi, 1988
Bryocamptus (*Limocamptus*) *echinatus* (Mrázek, 1893)

PETTORANO SUL GIZIO

Stigosseni

- Bryocamptus* (*Rheocamptus*) *pygmaeus* (Sars, 1863)
Bryocamptus (*Rheocamptus*) *zschokkei* (Schmeil, 1893)

Stigobionti

- Diacyclops paolae* Pesce & Galassi, 1987
Acanthocyclops agamus Kiefer, 1938
Pseudectinosoma sp.
Nitocrella kunzi Galassi & De Laurentiis, 1997
Nitocrella sp.
Moraria stankovitchi Chappuis, 1923/24
Parastenocaris crenobia Galassi, 1997
Parastenocaris sp.

Tab. 1 - Elenco delle specie raccolte (Crustacea: Copepoda).

e di sfruttamento della risorsa e la contaminazione delle acque sotterranee è ancora considerato un problema esclusivamente socioeconomico. La totale esclusione del biota, sia dalle finalità di salvaguardia che dall'impiego quale indicatore della qualità delle acque sotterranee, costituisce una grave carenza della normativa vigente, tanto più se si considera che le indagini sul biota sono invece obbligatorie per gli ambienti idrici superficiali. L'inferenza biologica, largamente utilizzata negli ambienti acquatici epigei (E.B.I., monitoraggio di bioaccumulo ed ecotossicologico), è stata considerata solo di recente nella valutazione della qualità degli ambienti sotterranei. Se l'adeguamento delle metodologie ecotossicologiche, già in uso in ambienti superficiali, ha avuto scarsissimo successo in ambienti sotterranei poiché i taxa ipogei non rispondono alle caratteristiche di buoni indicatori (tassonomia chiara, nota autoecologia e sinecologia, ampia distribuzione, buona predisposizione all'allevamento in laboratorio, etc.), d'altra parte, l'analisi dell'intera struttura biocenotica è da considerarsi un promettente ed efficace strumento di biomonitoraggio degli ambienti di acqua sotterranea (POULSON, 1992; NOTENBOOM *et al.*, 1994; MALARD *et al.*, 1994; GALASSI *et al.*, 2001).

In particolare, in questo studio si è voluto mettere in evidenza che un'elevata biodiversità, misurata come ricchezza specifica, evenness e dispersione tassonomica, è indice di qualità ambientale, e che un alto livello di endemismo e la presenza di paleoendemismi siano propri di acquiferi isolati e strutturalmente ben diversificati nonché conservativi. Per tali motivi, l'inferenza biologica permette di dedurre una stima sia del grado di isolamento naturale degli acquiferi che della loro integrità ecosistemica e assume particolare importanza per la salvaguardia degli stessi sia in termini idropotabili che di conservazione faunistica. Pertanto è auspicabile l'applicazione di un approccio multidisciplinare che comprenda anche lo studio della composizione della biocenosi ipogea, in modo da colmare le lacune del D.L. 152/99, e migliorare l'efficienza degli attuali approcci basati esclusivamente su parametri quantitativi e chimici.

RINGRAZIAMENTI

La presente ricerca è stata co-finanziata dal Mi.U.R. (ex 40%) e dal CLUSTER 11-B. Si ringrazia l'A.S.L. Sulmona-Avezzano per aver messo a nostra disposizione i dati microbiologici e per il supporto logistico. Si ringraziano inoltre il Comune di Bugnara ed il Consorzio Acquedottistico Marsicano per aver consentito e guidato l'accesso alle sorgenti.

BIBLIOGRAFIA

- BODON M., GAITER S., 1995 – Nuovi criteri di valutazione, basati sulla componente biologica, per le captazioni di acque destinate al consumo umano. *Biologia Ambientale*, 1: 5-17.
- CELICO P., 1981 - Studi idrogeologici sui massicci carsici dell'Appennino centro-meridionale. *Notiziario C.A.I. Sez. Napoli*: 30 pp.
- CIVITA M., 1988 – Una metodologia per la definizione e il dimensionamento delle aree di salvaguardia delle opere di presa delle sorgenti normali. *Boll. Ass. Mineraria Subalpina*, 25 (4): 423-440.
- DI LORENZO T., GALASSI D.M.P., 2001 – Approccio interdisciplinare alla valutazione della vulnerabilità di sorgenti carsiche: l'inferenza biologica. *Atti del 62° Congresso Internazionale U.Z.I. San Remo*: 85.
- GALASSI D.M.P., DOLE-OLIVIER M.-J., DE LAURENTIIS P., 1999 – Phylogeny and biogeography of the genus *Pseudectinosoma*, and description of *P. janineae* sp. n. (Crustacea: Copepoda: *Ectinosomatidae*). *Zool. Scr.*, 28: 289 - 303.

- GALASSI D.M.P., 2001 – Groundwater copepods: diversity patterns over ecological and evolutionary scales. *Hydrobiologia*: 227-253.
- GALASSI D.M.P., DE LAURENTIIS P., PETITTA M., MARINELLI G., FIASCA B., 2001 – Influenza dei fattori storici ed ecologici sulla biodiversità animale: la copepodofauna (Crustacea: Copepoda) delle sorgenti di Presciano (Fiume Tirino, L'Aquila, Abruzzo). *Monitoraggio Biologico del Gran Sasso* (B. Cicolani ed.), Andromeda Editrice, Vol. 2.: 159 - 182.
- GREENSLADE P.J.M., 1983 – Adversity selection and the habitat templet. *Ann. Nat.* 122 (3): 352 - 365.
- MALARD F., REYGROBELLET J-L., MATHIEU J., LAFONT M., 1994 – The use of invertebrate communities to describe groundwater flow and contaminant transport in a fractured rock aquifer. *Arch. Hydrobiol.*, 131: 93 - 110.
- MALARD F., MATHIEU J., REYGROBELLET J-L., LAFONT M., 1996 – Biomonitoring groundwater contamination: Application to a karst area in Southern France. *Aquatic Sciences*, 58 (2): 158-187.
- MÖSSLACHER F., GRIEBLER C., NOTENBOOM J., 2001 – Biomonitoring of groundwater system: Methods, Applications and Possible Indicators among the Groundwater Biota. Griebler C., Danielopol D.L., Gibert J., Natchnebel H.P., Notenboom J. (eds.), *Groundwater ecology – A tool for management of water resources*. Austrian Academy of Sciences, Institute of Limnology Vienna-Mondsee: 183-196.
- NOTENBOOM J., PLÉNET S., TURQUIN M.-J., 1994 – Groundwater Contamination and Its Impact on Groundwater animals and Ecosystems. *Groundwater ecology* (J. Gibert, D.L. Danielopol, J.A. Stanford eds.), Academic Press, San Diego: 477-504.
- POULSON T.L., 1992 – Assessing groundwater quality in caves using indices of biological integrity. *Proceedings of the Third Conference on Hydrogeology, Ecology, Monitoring and Management of Ground Water in Karst Terranes*. U.S. EPA and the Association of Ground Water Scientists and Engineers, Nashville, Tennessee: 495 - 511.
- REPUBBLICA ITALIANA, 1999 – Disposizioni sulla tutela delle acque da inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. D.L. 29 maggio 1999, n. 152, in G.U. del 29 maggio 1999, n. 124 S.O., Roma.
- SALVATI R., 1996 – Idrogeologia strutturale ed idrogeologia quantitativa del margine della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza": 129 pp.
- WILLIAMS D. D., 1991 – The springs as an interface between groundwater and lotic faunas and as a tool in assessing groundwater quality. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24: 1621 - 1624.
- WILLIAMS P. H., HUMPHRIES C., 1996 – Comparing characters diversity among biotas. In: *Biodiversity* (Kevin J. Gaston Ed.), Blackwell Science, 3: 54 - 76.