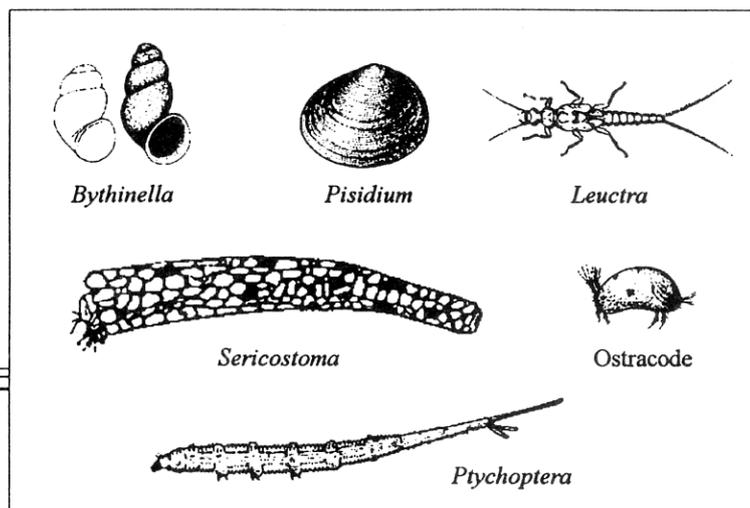


IGIENE AMBIENTALE



NUOVI CRITERI DI VALUTAZIONE, BASATI SULLA COMPONENTE BIOLOGICA, PER LE CAPTAZIONI DI ACQUE DESTINATE AL CONSUMO UMANO*

Marco Bodon** e Silvio Gaiter***

Introduzione

Gli organismi viventi tendono a colonizzare tutti gli ambienti che si rendono loro disponibili: tra questi le acque sorgive, sotterranee, le cavità ipogee naturali e artificiali e quindi le opere create dall'uomo per la captazione delle acque destinate all'approvvigionamento idrico. La biocenosi che si instaura dipende dall'interazione di molti fattori, sia abiotici che biotici (fig. 1), alcuni dei quali possono essere di notevole interesse per valutare aspetti rilevanti dal punto di vista igienico quali la falda di origine delle acque, il suo livello di compromissione e il suo grado di isolamento dal terreno superficiale o dall'ambiente esterno circostante.

La lettura attenta della biocenosi e l'analisi della sua tanatocenosi, in particolare della componente organica del sedimento delle vasche di decantazione dell'opera di presa, possono fornire utili elementi per

completare il quadro conoscitivo della risorsa idrica rilevato dagli esami ispettivi e dalle analisi fisico-chimiche e batteriologiche o per mettere in risalto, in tempi relativamente brevi, aspetti che richiedono approfondimenti analitici e/o idrogeologici. Nei piccoli acquedotti è frequente, ad esempio, il caso di captazioni da "false" sorgenti - nelle quali le acque che vengono a giorno consistono in riemergenze di acque superficiali- o persino di vecchi manufatti che mascherano attingimenti da ruscelli. In questi casi un'indagine biologica può dare subito importanti indizi per chiarire l'origine delle acque.

Il metodo che viene qui proposto in via preliminare - in quanto ancora in fase di sperimentazione ed elaborazione- si basa sull'esame del macrobenthos e della componente organica del sedimento. La procedura è stata messa a punto attraverso lo studio di alcune centinaia di sorgenti che si aprono su terreni permeabili per fratturazione, in rocce sedimentarie della Liguria orientale. Gli stessi criteri, previa taratura a livello locale, potrebbero essere applicati in molte altre regioni, con la parziale eccezione delle aree a

* Sintesi della relazione presentata al Seminario tenutosi a Torino il 30.10.1992 presso l'Assessorato alla Sanità della Regione Piemonte.

** Istituto di Zoologia dell'Università di Genova.

*** Presidio Multizonale di Prevenzione di Genova.

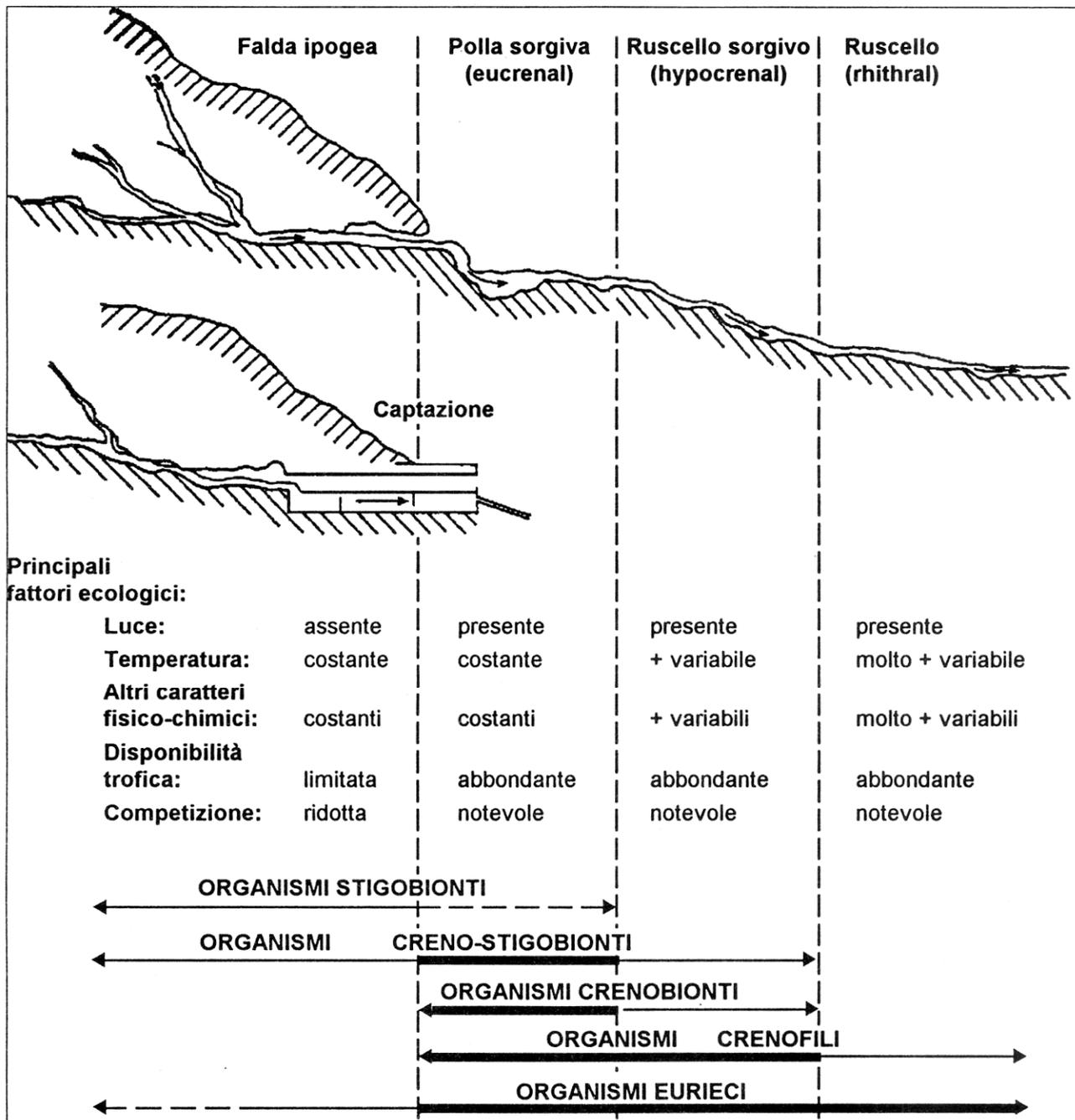


Fig. 1: Schematizzazione di una tipica seriazione degli ambienti che si presentano con l'affioramento di un'acqua sotterranea: principali fattori ecologici che caratterizzano i diversi tratti e distribuzione delle diverse associazioni di organismi. Il tratto spesso indica una maggiore consistenza del popolamento, il tratto sottile presenza più scarsa, il tratteggio presenza rara od occasionale.

L'ambiente creato da una captazione è paragonabile, a seconda delle caratteristiche, all'ultimo tratto della falda ipogea od al primo tratto dell'eucrenal. L'estensione dei diversi tratti dopo lo sbocco della falda è molto variabile a seconda delle caratteristiche ambientali. In primo luogo dipende dalla portata in quanto questa è in stretto rapporto con le variazioni delle caratteristiche fisico-chimiche che subisce il flusso idrico (per il potere omeostatico dell'acqua) allontanandosi progressivamente dal punto di emergenza: tratti più ampi si avranno con portate maggiori.

le, in quantità di 100-200 mL; viene quindi setacciato e lavato in laboratorio con reti a maglie decrescenti, fino a 500 µm, per separare le varie frazioni. Se è stato possibile raccogliere una maggiore quantità di sedimento e se questo è composto nella quasi totalità dalla frazione minerale, si procede alla concentrazione

ne della componente organica mediante separazione per densità con successivi lavaggi e decantazione. Oltre al quantitativo esaminato, vengono registrati i dati di massima relativi alla granulometria prevalente (ghiaia, sabbia o limo), alla tipologia (organica o minerale) ed al colore.

Tabella 2

ESAME DEL SEDIMENTO

Sorgente data			
Rif. FAS02 - CODICE			
Ambiente campionato			
Intensità di campionamento			
Volume (ml)			
Frazione prevalente			
Granulometria prevalente			
Colore			
Resti di origine vegetale:	Totale N.	Freq. (*)	
muschi			
alghe			
semi			
detrito di foglie			
detrito di radici			
detrito legnoso			
detrito decomposto			
detrito carbonizzato			
altro			
Resti di origine animale:	Taxa:	Tot. N.	Freq. (*)
resti artropodi terrestri			
fodori tricotteri			
fodori chironomidi			
gusci ostracodi			
nicchi molluschi acquatici:			
• creno-stigobionti			
• superficiali			
nicchi molluschi terrestri:			
• endogei			
• epigei			
resti vertebrati			
altro			
Note:			
.....			
.....			

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

In entrambe le schede viene riportato un giudizio di abbondanza. Per il macrobenthos il giudizio, articolato in quattro classi di frequenza, viene espresso in base al numero di esemplari riscontrati in relazione all'intensità di campionamento, fermo restando che il numero riferito a ciascun taxon viene approssimato se superiore alle dieci unità. Per il sedimento la stima quantitativa delle diverse componenti organiche viene effettuata in relazione al volume di substrato raccolto.

Sulla base dell'esperienza acquisita in questi anni è stato possibile elencare le principali componenti che solitamente si riscontrano nel sedimento; sono però previsti ulteriori spazi per approfondimenti, in particolare per i resti di origine animale.

Macrobenthos

Nelle acque sorgive indisturbate, alla fauna tipica di questo ambiente (crenobionti) sono associati altri elementi che vivono nel tratto a monte (nella vena idrica sotterranea: stigobionti) e nel tratto a valle (nel ruscello sorgivo: elementi del rhithral) (fig. 1). I tipici stigobionti compaiono generalmente ad opera del drift e non sopravvivono a lungo; al contrario, gli organismi di acque superficiali dominano nelle biocenosi di sorgente.

Le captazioni modificano drasticamente l'ambiente naturale, con la frequente distruzione del tratto epigeo. Lo scavo e le opere di protezione, che isolano la falda emergente dalla luce e dall'ambiente esterno, portano alla rarefazione e perfino alla scomparsa totale della fauna di acque superficiali. Gli organismi della falda sotterranea, trasportati dal drift, hanno invece buone possibilità di ricolonizzare la scaturigine (divenuta buia e protetta) o, comunque, di sopravvivere per un certo periodo ed essere quindi facilmente reperibili. È però da sottolineare che mentre la colonizzazione da parte degli organismi stigobionti può avvenire solo dalla vena interna -in quanto tali organismi rappresentano associazioni faunistiche relitte che non hanno possibilità di spostamento attraverso le

acque superficiali— gli organismi acquatici epigei presentano una più ampia possibilità di colonizzazione mediante i reticoli idrografici di superficie, ad esempio laddove la scaturigine presenta colamenti o fuoriuscite d'acqua per incompleta captazione o attraverso soluzioni di continuità dell'opera di presa: quest'ultima modalità è assai frequente per gli Insetti che, possedendo stadi adulti non acquatici, possono diffondersi velocemente negli ambienti adatti.

Il popolamento macrobentonico delle acque sotterranee si presenta di solito quantitativamente scarso a causa della mancanza della componente fotosintetica e quindi dell'esiguità di apporti trofici, che derivano per la quasi totalità dalla sostanza organica proveniente dall'esterno e veicolata dalle acque. Per avere un quadro completo della biocenosi esistente risulta quindi indispensabile campionare intensamente, prelevando in tutti i siti accessibili presenti all'interno della captazione.

Per gli aspetti relativi alla qualità delle acque è importante conoscere i livelli di tolleranza dei diversi organismi: nelle falde carsiche, ad esempio, un quadro faunistico dominato da Oligocheti o composto da organismi saprofiti di acque superficiali quali Tubificidi, Chironomidi e Asellidi è solitamente indizio di apporti inquinanti o comunque di un arricchimento di sostanze organiche.

Gli organismi stigobionti, generalmente stenoecci, sono solitamente considerati buoni indicatori di qualità, anche se mancano studi approfonditi in materia. Crostacei Anfipodi e Molluschi Hydrobiidae dominano in genere negli ambienti non contaminati. Lievi contaminazioni non sembrano comunque avere un effetto rilevabile sulla biocenosi data l'assenza nelle acque ipogee di organismi particolarmente esigenti, quali i Plecotteri.

Va notato che la mancanza di macrobenthos, oltre che da fattori antropici, può dipendere anche dal particolare chimismo della falda o da singolari situazioni ambientali o paleogeografiche. Ad esempio le sorgenti sulfuree —le cui acque sono prive di ossigeno— non ospitano generalmente organismi macrobentonici nella falda sotterranea; aree che hanno subito estesi fenomeni di glaciazione, emersione in tempi geologici recenti o che sono caratterizzate da particolari formazioni litologiche possono essere molto povere o addirittura prive di organismi stigobionti.

Un altro aspetto importante di valutazione concerne l'origine delle acque. Il popolamento delle acque superficiali differisce notevolmente per composizione e frequenza dei diversi taxa da quello delle acque sotterranee, essendo questi due ambienti differenti. In genere taxa affini occupano ambienti simili: qualche eccezione si verifica, ad esempio, tra i Crostacei Anfipodi del genere *Niphargus* (*N. elegans* è una specie diffusa nei corsi d'acqua, mentre le altre vivono in sorgenti o in ambienti sotterranei) o tra gli Isopodi del genere *Proasellus* (*P. coxalis* si trova nelle acque superficiali, mentre quasi tutte le altre specie di questo genere colonizzano gli ambienti sotterranei). In questi casi è importante riconoscere i diversi gruppi ecologici; spesso, come nell'ultimo esempio, ciò è piuttosto semplice osservando alcuni vistosi caratteri degli organismi ipogei: depigmentazione e anoftalmia.

La presenza di uno o più taxa di organismi tipicamente stigobionti indica un apporto di acque di provenienza sotterranea; in genere il popolamento è tanto più vario quanto più vasto e profondo è l'acquifero che alimenta la sorgente, ma esso si diversifica anche in relazione alla presenza di microhabitat diversi. Inoltre vi sono aree geografiche che presentano una maggiore o minore biodiversità; molti taxa sono endemici o diffusi in areali più o meno limitati. Comunque, anche se non sono intervenuti localmente fattori di particolare incidenza, il popolamento in territori non troppo lontani è solitamente costituito da specie affini, che occupano la stessa nicchia ecologica.

Il ritrovamento all'interno delle opere di presa di organismi di acque superficiali, quali Insetti allo stadio larvale, può essere posto in relazione con un'alimentazione prossima della falda da parte di corsi d'acqua epigei. La presenza di larve di Insetti all'interno delle captazioni può anche dipendere dalla migrazione degli organismi dall'esterno verso la parte interna della sorgente. Questo caso si può verificare se lo sbocco idrico ha fuoriuscite esterne o, più semplicemente, se presenta ambienti adiacenti in condizioni di luminosità tali da poter essere colonizzati. La colonizzazione può avvenire in seguito alla deposizione delle uova da parte degli stadi immaginali direttamente all'interno delle opere di presa, specie se in condizioni debolmente fotiche. Situazioni di luminosità e possibilità di penetrazione all'interno sono frequenti nelle opere captative attraverso i fori di aerazione, le tuba-

zioni di troppo pieno, le fessure lungo gli sportelli e i passi d'uomo. Sovente si possono osservare larve di Tricotteri e di Chironomidi all'interno dei bottini mentre la comparsa di Efemerotteri quali *Baëtis* ed *Habrophlebia* o di Plecotteri come *Leuctra* si verifica non di rado se la sorgente è alimentata da piccoli rivi che scorrono all'esterno. All'interno delle captazioni, comunque, questi Insetti si trovano in condizioni ambientali difficili e sopravvivono con pochi esemplari: la biocenosi è nel complesso quantitativamente scarsa. Un aumento della biomassa, sia da parte di organismi stigo-crenobionti che di organismi schiettamente superficiali, si può verificare se aumenta il detrito organico, ad esempio in presenza di un apporto proveniente da fogliame marcescente o da radici che penetrano all'interno dei manufatti o nell'ultimo tratto di scorrimento della vena idrica.

Sedimento

Il sedimento raccoglie e conserva molte tracce di organismi sia del comparto acquatico sia dell'ambiente ipogeo adiacente o di quello esterno se connesso direttamente con la falda. L'esame della componente organica del sedimento può quindi svelare eventuali contaminazioni in atto o pregresse.

Molti Invertebrati sono assai rari nelle acque sotterranee e possono perciò sfuggire alla cattura; se possiedono resti minerali o cornei di una certa consistenza (nicchi di Molluschi, foderi di Tricotteri, capsule ovigere di Oligocheti) la loro presenza può essere evidenziata più facilmente.

Un sedimento povero di detrito organico si presenta generalmente di colore chiaro; se ne è ricco assume colorazione più scura fino ad apparire nerastro (con odore di idrogeno solforato se in condizioni di anossia). L'esame della frazione detritica indecomposta può indicare l'origine e la provenienza del materiale organico: frammenti di foglie da apporti esterni (attraverso aperture del manufatto, da penetrazione delle acque per dilavamento del terreno o da scorrimenti superficiali esterni che alimentano la falda attraverso grosse fenditure), frammenti di radici dal terreno circostante lo sbocco sorgivo (opera di presa piuttosto superficiale).

Più in generale, la presenza di abbondante detrito vegetale è indice di vulnerabilità dell'ultimo tratto

della scaturigine per scarso isolamento del manufatto dall'ambiente esterno o non sufficiente approfondimento dell'opera fino a raggiungere la scaturigine geologica. Residui vegetali carbonizzati si riscontrano più frequentemente in terreni carsici, dove il materiale vegetale penetra e permane a lungo nelle cavità sotterranee. La presenza di abbondanti semi può svelare il passaggio di Insetti, ad esempio formiche, all'interno dei manufatti.

Le vasche delle captazioni spesso agiscono da vere trappole per i piccoli animali che vi passano in prossimità. In esse, inoltre, durante la decantazione delle acque si depositano i residui che provengono dalla falda idrica e quindi varie tracce di animali si conservano a lungo nei sedimenti. I resti di origine animale che più frequentemente si raccolgono comprendono le parti chitinose più ispessite, a lenta degradazione, di Insetti quali Coleotteri o Imenotteri o di altri Artropodi come Aracnidi, Diplopodi, Chilopodi che penetrano all'interno delle cavità o che vivono nel terreno circostante, gusci di uova o bozzoli (Molluschi, Oligocheti, Artropodi) o ossa di Vertebrati (Anfibi, Rettili, Roditori, Insettivori). Se le acque non sono aggressive generalmente si possono ottenere buone informazioni dallo studio delle conchiglie dei Molluschi, di composizione calcarea, che permangono a lungo inalterate.

Oltre alle informazioni derivanti dal ritrovamento di resti di specie acquatiche stigobionti, crenobionti o di acque superficiali, ulteriori dati possono ricavarsi dal ritrovamento di taxa tipici di ambiente sotterraneo, di ambiente endogeo o di lettiera. Anche Molluschi nudi come i Limacidae lasciano una piccola scaglia calcarea (la limacella, conchiglia regredita contenuta all'interno dell'animale) quando muoiono nei bottini: la presenza di questi resti può quindi indicare possibilità di contaminazioni provenienti dall'esterno.

L'esistenza o il passaggio di organismi può inoltre essere rilevata da altre tracce che si trovano fuori dall'acqua, all'interno delle captazioni: tele di ragni, escrementi di Invertebrati, scie di muco lasciate da Molluschi. Naturalmente è importante anche la ricerca diretta della fauna endogea; questa si incontra più frequentemente in prossimità delle aperture, lungo le pareti dei piccoli manufatti, sotto sassi o altri materiali, nei punti più umidi e dove è presente substrato adatto come terriccio o legname marcescente. Mollu-

schisti ed Artropodi possono prestarsi alle indagini; il loro studio permette di riconoscere varie associazioni faunistiche di diversa provenienza: fauna umicola dalla lettiera e dall'humus, endogea dall'interno del suolo, cavernicola dall'ambiente sotterraneo più profondo (in cavità e fessurazioni delle rocce carsificabili).

Le opere di presa ben isolate dall'ambiente esterno, anche quando non si spingono in profondità, risultano generalmente siti favorevoli alla colonizzazione da parte di faune cavernicole, date l'alta umidità e la temperatura costante che le caratterizzano, dovute alla presenza della falda affiorante. Nelle rocce non carsificabili la colonizzazione può avvenire ad opera della fauna endogea mentre una ricca colonizzazione parietale - formata da organismi esterni, igrofilo - compare sulle pareti interne della captazione quando le comunicazioni con l'ambiente circostante offrono buone garanzie di isolamento.

Una accurata lettura di tutte le tracce evidenziate può così permettere di ricavare utili informazioni sul grado di protezione della falda e di isolamento del manufatto, sulla possibilità di apporti esterni da parte di acque di ruscellamento perenni, di acque di dilavamento meteoriche, o su varie contaminazioni in atto.

Esempi pratici

Come guida all'interpretazione dei risultati delle indagini macrobentoniche e del sedimento in sorgenti captate e non captate, si riportano alcuni esempi relativi a scaturigini apertesi nella formazione dei calcari marnosi del M. Antola (lungo la fascia costiera a levante di Genova: esempi n. 2, 4, 5 e 8-13; nell'entroterra, in Valle Scrivia: esempi n. 3 e 14), in litotipi formati da argilliti, calcari e ofioliti nella parte interna del Chiavarese (esempi n. 1 e 7) e su formazioni calcaree nell'alta Val di Vara (esempio n. 6).

L'esempio n. 1 concerne una sorgente alimentata da una falda di origine sotterranea ma captata piuttosto superficialmente, con un'opera non ben isolata dal terreno circostante. L'origine ipogea delle acque è confermata dalla presenza di elementi creno-stigobionti (Anfipodi del genere *Niphargus* e Gasteropodi del genere *Bythinella*), mentre la fauna di acque superficiali è rappresentata solo da larve di Tricotteri Lepidostomatidae i cui adulti possono colonizzare

l'ambiente interno penetrando da piccole aperture dell'opera captativa; il bottino è infatti connesso con l'esterno attraverso fori di areazione protetti da griglie a maglie non molto fini. La possibilità di contaminazione da parte del terreno circostante, sospetta per la presenza di abbondante detrito legnoso parzialmente decomposto, è confermata dal ritrovamento di ossa e denti di micromammiferi e dalla presenza di resti di castagne che sono state trasportate da questi organismi nelle cavità del suolo.

L'esempio successivo, n. 2, riporta il caso di una captazione di un'acqua sorgiva proveniente da una falda sotterranea la cui opera di presa è rimasta aperta per lungo tempo e sulla quale non sono state svolte le normali opere di pulizia e manutenzione. Nel sedimento sono presenti, non più viventi, elementi stigobionti (Gasteropodi del genere *Avenionia*), rintracciabili solo attraverso i nicchi, mentre all'interno del bottino sussiste ancora un popolamento dominato da organismi di acque non sotterranee o da organismi eurici (Tubificidi, larve di Odonati e di Chironomidi) favoriti dall'abbondante detrito organico che si è accumulato all'interno.

Una situazione in cui la sorgente è alimentata da una falda sotterranea e la captazione offre discrete

Esempio n. 1

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza^(*)
<i>Bythinella</i>	S
<i>Niphargus</i>	A
LEPIDOSTOMATIDAE	F
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
muschi (Briofite)	R
semi (castagne)	F
detrito di foglie	R
detrito decomposto	A
detrito carbonizzato	S
resti di castagne	R
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
resti Artropodi terrestri	R
foderi Tricotteri	F
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Bythinella</i>	F
resti ossei Vertebrati	S
denti di Roditore	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Esempio n. 2

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza^(*)
TUBIFICIDAE	R
<i>Cordulegaster</i>	S
CHIRONOMIDAE	S
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
muschi	S
semi	S
detrito di foglie	A
detrito di radici	A
detrito legnoso	A
detrito decomposto	A
detrito carbonizzato	F
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
resti Artropodi terrestri	F
fodori Tricotteri: LIMNEPHILIDAE, SERICOSTOMATIDAE, BERAIDAE	F
fodori Chironomidi	R
gusci Ostracodi	A
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Avenionia</i>	A
• superficiali: <i>Lymnaea</i>	S
nicchi Molluschi terrestri:	
• endogei: <i>Oxychilus</i> ,	A
<i>Argna</i>	F
• epigei: <i>Toffolettia</i> , <i>Pomatias</i> ,	
<i>Vitrea</i> , <i>Xerosecta</i> , <i>Hygromia</i>	S

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Esempio n. 3

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza^(*)
<i>Bythinella</i>	S
OSTRACODA	F
<i>Niphargus</i>	S
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
detrito decomposto	R
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
resti Artropodi terrestri: COLEOPTERA	R
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Avenionia</i>	F
nicchi Molluschi terrestri:	
• endogei: <i>Argna</i>	R
• epigei: LIMACIDAE (limacella)	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

condizioni di isolamento dall'ambiente esterno è descritta nell'esempio n. 3. Il popolamento macrobentonico è presente solo con organismi creno-stigobionti (*Niphargus*, *Bythinella*) o ubiquisti (Ostracodi): nel sedimento vi è scarsità di detrito vegetale e di resti di origine animale.

Esempio n. 4

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza^(*)
ENCHYTRAEIDAE	R
<i>Avenionia</i>	S
<i>Bythinella</i>	F
OSTRACODA	R
<i>Niphargus</i>	F
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
detrito di radici	S
detrito legnoso	S
detrito decomposto	S
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
gusci Ostracodi	S
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Avenionia</i>	F
<i>Bythinella</i>	A

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Esempio n. 5

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza^(*)
<i>Avenionia</i>	R
<i>Bythinella</i>	S
OSTRACODA	R
<i>Niphargus</i>	S
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
muschi	R
detrito di radici	A
detrito legnoso	S
detrito decomposto	S
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
gusci Ostracodi	R
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Avenionia</i>	S
<i>Bythinella</i>	F
nicchi Molluschi terrestri:	
• endogei: <i>Argna</i>	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Anche gli esempi n. 4 e 5 riguardano situazioni di acque di provenienza sotterranea con captazioni in buone condizioni. Si tratta di due prese da polle limitrofe, caratterizzate dallo stesso complesso faunistico dominato da organismi creno-stigobionti e assoluta mancanza di larve di Insetti. L'unico elemento

che le diversifica è rappresentato, nella seconda scaturigine, dalla maggiore concentrazione di detrito vegetale, formato da radici più o meno decomposte, e da un frammento di Mollusco endogeo (*Argna*). Ciò può significare, per la seconda emergenza idrica, una minore protezione dal terreno nell'ultimo tratto di scorrimento.

Esempio n. 6

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza^(*)
LUMBRICIDAE	R
<i>Leuctra</i>	S
<i>Baëtis</i>	S
LEPIDOSTOMATIDAE	S
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
detrito di foglie	F
detrito legnoso	S
detrito decomposto	F
detrito carbonizzato	S
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
resti Artropodi terrestri	S
residui bozzoli Araneidi	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Nell'esempio n. 6 la captazione raccoglie le acque che vengono a giorno nell'alveo di un piccolo rivo. Il tratto soprastante è normalmente asciutto per circa 50-70 m, ma più a monte scorrono acque superficiali che si infiltrano nel materasso alluvionale e quindi alimentano la sorgente. L'esame macrobentonico conferma che non si tratta di un'acqua di origine sotterranea: i taxa riscontrati (larve di Plecotteri e di Efemerotteri dei generi *Leuctra* e *Baëtis*) sono del tutto estranei a tale ambiente e mancano gli organismi normalmente presenti nelle sorgenti della zona. Anche l'esame del sedimento conferma la provenienza superficiale delle acque in quanto risultano più frequenti, più o meno decomposti, frammenti di foglie che rappresentano una frazione organica solitamente dominante nel letto dei piccoli rivi che scorrono in aree boschive.

Esempio n. 7

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza^(*)
HAPLOTAXIDAE	R
LUMBRICULIDAE	S
<i>Avenionia</i>	S
OSTRACODA	R
<i>Niphargus</i>	F
<i>Proasellus</i> (sp. anoftalma)	F
<i>Leuctra</i>	R
PHILOPOTAMIDAE	S
CHIRONOMIDAE	R
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
detrito di radici	A
detrito carbonizzato	R
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
resti Artropodi terrestri	R
foderi Tricotteri	S
gusci Ostracodi	R
residui bozzoli Araneidi	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Esempio n. 8

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza^(*)
LUMBRICIDAE	R
<i>Niphargus</i>	F
DYTISCIDAE	R
CHIRONOMIDAE	A
CERATOPOGONIDAE	S
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
muschi	S
semi	F
detrito di foglie	A
detrito di radici	A
detrito decomposto	F
detrito carbonizzato	R
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
resti Artropodi terrestri (formiche)	F
foderi Chironomidi	A
gusci Ostracodi	R
nicchi Molluschi terrestri:	
• epigei: <i>Monacha</i>	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Una scaturigine alimentata sia da perdite di un ruscello perenne che da una ricca falda sotterranea è rappresentata dall'esempio n. 7. La posizione della sorgente, immediatamente sottostante ad una piccola ansa di un rivo che scorre in un alveo con depositi alluvionali, poteva lasciare il dubbio che si trattasse di una riemersione di acque superficiali. Una ricca fauna stigobionte (Crostacei dei generi *Niphargus*, *Proasellus* anofalmi) anche con elementi tipici di falde carsiche o di rocce permeabili per fratturazione (Molluschi del genere *Avenionia*) non lascia dubbi sull'esistenza di un'alimentazione sotterranea mentre alcuni elementi confermano anche l'infiltrazione di acque esterne (*Leuctra*, Philopotamidae, Chironomidae).

Simile è il caso rappresentato dall'esempio n. 8, dove le acque di un piccolo rivo che scorre in superficie si riversano direttamente nel bottino della sorgente. Oltre a *Niphargus*, Crostaceo tipico di acque sotterranee, sono stati raccolti vari elementi faunistici della biocenosi di ruscello quali Dytiscidae, Chironomidae, Ceratopogonidae. Inoltre compare in abbondanza il detrito vegetale, veicolato dall'esterno, ed è frequente anche il detrito proveniente dalla decomposizione di vari Artropodi terrestri che rimangono intrappolati e muoiono all'interno del manufatto.

L'esempio n. 9 rappresenta un caso analogo nel quale però la captazione attinge, per la quasi totalità della portata, direttamente da un rivo mentre la vena sorgiva è rappresentata solo da modesti stillicidi. Qui il popolamento è dominato da organismi di acque superficiali: il solo elemento creno-stigobionte (*Bythinella*) compare con rari individui. Il sedimento, presente in scarsa quantità perché dilavato sovente dalle piene del ruscello, è caratterizzato dal detrito di foglie.

Un'acqua proveniente da alcune polle sorgive, ma captata diversi metri più a valle, mediante un vespaio nell'alveo dove inizia a scorrere un piccolo rivo, è riportato nell'esempio n. 10. La fauna macrobentonica reperita all'interno della vasca di raccolta è piuttosto varia, con elementi crenofili (Tricotteri Limnephilidae e Irudinei del genere *Trocheta*) ed anche di acque sotterranee (*Niphargus*) che ancora sopravvivono nel primo tratto della scaturigine. Abbondante, nel sedimento, il detrito di foglie veicolato dall'esterno ed anche i resti di Artropodi terrestri.

Negli esempi n. 11, 12 e 13 sono riportati i risultati relativi all'indagine eseguita in tre sorgenti che si

Esempio n. 9

ESAME DEL MACROBENTHOS	Frequenza ^(*)
Taxa:	
<i>Bythinella</i>	R
<i>Lymnaea</i>	R
<i>Planorbis</i>	S
<i>Pisidium</i>	R
ACARI	S
<i>Baëtis</i>	S
<i>Habrophlebia</i>	F
<i>Caënis</i>	S
<i>Platycnemis</i>	R
DYTISCIDAE	R
CHIRONOMIDAE	S
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
detrito di foglie	A
detrito di radici	S
detrito legnoso	S
detrito decomposto	F
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Bythinella</i>	R

Esempio n. 10

ESAME DEL MACROBENTHOS	Frequenza ^(*)
Taxa:	
<i>Trocheta</i>	R
<i>Niphargus</i>	A
LIMNEPHILIDAE	S
CHIRONOMIDAE	F
TIPULIDAE	R
girino Urodelo	R
<i>Nota: Niphargus</i> è abbondante anche nel ruscello sorgivo, a monte della captazione.	
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza^(*)
muschi	S
detrito di foglie	A
detrito di radici	F
detrito legnoso	S
detrito decomposto	S
detrito carbonizzato	S
Resti di origine animale:	Frequenza^(*)
resti Artropodi terrestri	F
resti Artropodi acquatici (HELODIDAE)	R
foderi Chironomidi	S
uova Molluschi terrestri:	
• endogei: <i>Oxychilus</i>	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

aprono lungo la stessa valle, a quote decrescenti: la prima ha portata alquanto esigua, la seconda presenta un buon deflusso e la terza un portata ancora superiore. Tralasciando le considerazioni in merito alla vulnerabilità dei manufatti e alle possibili infiltrazioni di acque superficiali (tutti i bottini presentano scarsa protezione e sono attigui a ruscelli), è piuttosto evidente l'aumento del numero dei taxa creno-stigobionti in relazione alla maggiore estensione della falda sotterranea: un solo taxon nella prima (*Niphargus*), quattro nella seconda (*Niphargus*, *Proasellus* anoftalmo, *Bythinella*, *Avenionia*) e ben cinque nella terza (ai precedenti si aggiunge il Gasteropode del genere *Pezzolia*).

Un ultimo esempio, n. 14, concerne l'esame del macrobenthos di una sorgente alimentata da falda sotterranea ma inquinata da scarichi fognari e da una discarica di rifiuti situati nell'area di alimentazione. Il complesso faunistico denota l'assenza di organismi di falda sotterranea e la sola presenza di taxa di acque superficiali ed assai resistenti ai composti tossici. La

sorgente non è captata ed il complesso faunistico è tipico di acque superficiali, ma sono assenti tutti gli organismi più esigenti mentre il sedimento presenta vistose caratteristiche anossiche. In queste condizioni, dominano nella biocenosi gli Oligocheti Enchytraeidae, i Bivalvi (*Pisidium*) e i Ditteri Ptychopteridae. I soli elementi crenobionti, i Molluschi del genere *Bythinella*, compaiono esclusivamente con nicchi morti e calcinati, segno evidente che non vivono più da tempo nella sorgente.

Conclusioni

I modelli e le metodologie utilizzate, anche se ancora in fase sperimentale, sono già stati applicati con risultati incoraggianti alle captazioni di acque

Esempio n. 11

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza ^(*)
TUBIFICIDAE	S
OSTRACODA	S
<i>Niphargus</i>	R
<i>Leuctra</i>	R
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza ^(*)
muschi	R
semi	S
detrito di foglie	A
detrito di radici	A
detrito legnoso	A
detrito decomposto	A
detrito carbonizzato	F
Resti di origine animale:	Frequenza ^(*)
resti Artropodi terrestri	S
foderi Tricotteri: BERAEDIAE	S
gusci Ostracodi	S
nicchi Molluschi terrestri:	
• endogei: <i>Oxychilus</i>	R
• epigei: <i>Vitrea</i>	R
bozzoli ovigeri di Oligocheti	R
uova di Invertebrati	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Esempio n. 12

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza ^(*)
TUBIFICIDAE	F
<i>Avenionia</i>	S
<i>Bythinella</i>	R
<i>Pisidium</i>	S
OSTRACODA	S
<i>Niphargus</i>	F
<i>Proasellus</i> (sp. anoftalma)	S
HYDRAENIDAE	R
LIMNEPHILIDAE	R
CHIRONOMIDAE	S
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza ^(*)
semi	S
detrito di foglie	F
detrito di radici	A
detrito legnoso	F
detrito decomposto	F
detrito carbonizzato	F
Resti di origine animale:	Frequenza ^(*)
resti Artropodi terrestri	S
gusci Ostracodi	S
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Avenionia</i>	A
<i>Bythinella</i>	F
• superficiali: <i>Ancylus</i>	S
nicchi Molluschi terrestri:	
• endogei: <i>Oxychilus</i>	R
• epigei: <i>Carychium</i>	R

(*) R= raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

sorgive in alcune aree della Liguria. Considerata la notevole eterogeneità della realtà italiana, la loro estensione ad altre regioni richiede una prima fase di sperimentazione e di adattamento alla situazione locale. Ciò vale soprattutto nell'analisi della fauna macrobentonica che risulta, per quasi tutti i gruppi sistematici che vivono nelle acque sotterranee, alquanto diversificata da zona a zona in quanto la distribuzione geografica di molti taxa presenta ambiti territoriali assai ristretti. La mancanza di organismi indicatori diffusi in tutto il territorio nazionale è però compensata da una moltitudine di complessi faunistici che, sebbene differenti a livello locale, sono costituiti da un

numero relativamente limitato di taxa. Lo studio di questi, nell'ambito di un territorio ristretto, non presenta solitamente grosse difficoltà di determinazione sistematica a livello di genere: la maggiore difficoltà deriva dalla carenza di conoscenze in molte aree. Approfondimenti tassonomici sono necessari solo per quei taxa di maggior significato ecologico e la cui presenza ha importanza quale indicatore.

Le informazioni deducibili dall'osservazione della componente organica del sedimento appaiono più generalizzabili e potrebbero servire per apportare contributi non irrilevanti circa il grado di protezione della risorsa idrica.

Un interessante e possibile sviluppo delle ricerche sulle biocenosi di acque sotterranee è rappresentato dallo studio del macrobenthos, ma soprattutto del meiobenthos, negli acquiferi in terreni permeabili per porosità. Le indagini negli attingimenti idrici, ovvero nei pozzi, dovrebbero apportare originali contributi alla conoscenza delle falde. Purtroppo in Italia le ricerche nel campo dell'idrobiologia delle acque sotterranee sono ancora in fase iniziale e l'aspetto applicativo è ancor più carente; solo pochi ricercatori hanno svolto approfondimenti di un certo significato, generalmente su aree limitate e quasi esclusivamente in ambienti carsici o interstiziali.

A livello europeo è stata evidenziata la possibilità di poter utilizzare la fauna interstiziale quale indicatore ambientale delle acque iporreiche. Attualmente però

Esempio n. 13

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza ^(*)
<i>Avenionia</i>	R
OSTRACODA	A
<i>Niphargus</i>	S
<i>Proasellus</i> (sp. anoftalma)	S
<i>Leuctra</i>	R
<i>Protonemura</i>	R
HYDROPSYCHIDAE	R
CHIRONOMIDAE	A
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine vegetale:	Frequenza ^(*)
muschi	R
detrito di radici	A
detrito legnoso	F
detrito decomposto	F
detrito carbonizzato	F
Resti di origine animale:	Frequenza ^(*)
resti Artropodi terrestri (Ditteri)	R
foderi Tricotteri: BERAEDIAE	A
foderi Chironomidi	F
gusci Ostracodi	A
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Avenionia</i>	A
<i>Pezzolia</i>	F
<i>Bythinella</i>	A
nicchi Molluschi terrestri:	
• endogei: <i>Oxychilus</i>	F
<i>Testacella</i>	R
<i>Vitrea</i> (sp. endogea)	S
• epigei: <i>Pomatias</i>	S
<i>Limax</i> (limacella)	R
<i>Helicodonta</i>	S

(*) R=raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

Esempio n. 14

ESAME DEL MACROBENTHOS	
Taxa:	Frequenza ^(*)
ENCHYTRAEIDAE	S
<i>Ancylus</i>	R
<i>Pisidium</i>	S
PTYCHOPTERIDAE	F
ESAME DEL SEDIMENTO	
Resti di origine animale:	Frequenza ^(*)
nicchi Molluschi acquatici:	
• creno-stigobionti: <i>Bythinella</i>	S
• superficiali: <i>Ancylus</i>	S
<i>Pisidium</i>	S
<i>Lymnaea</i>	R
<u>Nota:</u> esame limitato ai resti di origine animale; sedimento di colore nero; <i>Bythinella</i> è presente con soli nicchi calcinati.	

(*) R=raro; S= scarso; F= frequente; A= abbondante

l'utilizzo di questa componente non ha ancora avuto risvolti pratici a causa della necessità di raggiungere un determinato grado di approfondimento sistematico e per il fatto di dover verificare e sperimentare preventivamente la tecnica, calibrandola a livello locale. La presenza di facili metodologie di indagine per le acque superficiali, come gli indici di qualità basati sul macrobenthos, lascia poco spazio per l'affermarsi di procedure biologiche per l'indagine delle falde, o acque di subalveo, direttamente connesse a questi corpi idrici, sebbene l'estensione della ricerca alle falde freatiche sia suscettibile di notevoli ricadute pratiche.

Uno dei campi di applicazione più interessanti riguarda i pozzi utilizzati per l'approvvigionamento

idrico. Notevoli progressi sono stati raggiunti negli ultimi anni in campo idrologico, chimico e ingegneristico nello studio delle falde degli acquiferi alluvionali. Sarebbe quindi utile una stretta collaborazione dei biologi con le altre professionalità interessate ad approfondire gli studi per la messa a punto e la taratura delle metodiche di indagine. Ne scaturirebbero molto probabilmente originali contributi di immediato risvolto pratico, utili soprattutto nella valutazione dei rischi igienico-ambientali: grado di protezione dei manufatti, accertamento dei fenomeni di inquinamento, caratterizzazione, vulnerabilità e delimitazione della falda, valutazione degli effetti di bonifica e/o ravvenamento, monitoraggio nel tempo.

