

Effetti delle asciutte sulle biocenosi macrobentoniche: confronto tra indici ecologici

Simone Rossi^{1*}, Silvia Montagna¹, Pietro Angelo Nardi¹, Vanessa Simone¹

¹ Università degli Studi di Pavia, Dip. di Biologia Animale, Laboratorio di Ecologia delle Acque Interne- piazza Botta, 9 - 27100 Pavia

* Autore referente per corrispondenza (e-mail: rossi.simo@tiscalinet.it)

Pervenuto il 14.7.2001; accettato il 20.11.2001

Riassunto

Il presente lavoro si propone di confrontare gli indici ecologici IBE, Shannon, Reciproco di Simpson e IQS al fine di valutarne le modalità di risposta nei confronti di precise tipologie di alterazione quali le asciutte controllate dei corsi d'acqua. Il corso d'acqua oggetto di studio è la Roggia Roggione che presenta, in periodi di ritenzione idrica, sia tratti soggetti ad asciutta completa (MON e MED) che parziale (VAL). Le comunità macrobentoniche della Roggia Roggione vengono confrontate con quelle di un corpo idrico di riferimento, la Roggia Rabica, caratterizzato da minori fluttuazioni di portata durante l'anno. I risultati ottenuti e le relative elaborazioni dimostrano che mentre l'IQS fornisce risposte analoghe e in alcuni casi originali rispetto a quelle ottenibili con l'IBE, gli indici di Shannon e Reciproco di Simpson appaiono viceversa scarsamente discriminanti ed eccessivamente contraddittori.

PAROLE CHIAVE: asciutte / corsi d'acqua / invertebrati acquatici / IBE / IQS / Shannon / Simpson.

Abstracts

Effect of reduction or absence of water to freshwater invertebrates: comparison among ecological indexes

The purpose of this work is to compare some ecological index (IBE, Shannon, Reciprocal of Simpson, IQS, IMS) used to evaluate the effects of reduction or absence of water to benthic invertebrates communities, into an irrigation channel in the Province of Milan called Roggione. We selected two stations (MON and MED) dry for a quite long time during the year and one (VAL) with, in the same periods, a flow equal to zero but non dry. The Roggione's stations are also related to that of Rabica, an irrigation stream with a constant flow. Results shown a relation between IBE and IQS and sometimes IQS also gives additional information. On the other hand Shannon and Reciprocal of Simpson give poor discrimination and often seem inconsistent.

KEY WORDS: dry streams / irrigation channel / freshwater invertebrates / IBE / IQS / Shannon / Simpson.

INTRODUZIONE

Le riduzioni artificiali di portata dei corsi d'acqua, effettuate per vari scopi (idroelettrici, irrigui, ecc.) producono conseguenze sulle comunità di organismi acquatici che si possono riassumere in generale con un impoverimento faunistico delle biocenosi, proporzionale all'intensità delle alterazioni indotte sull'ambiente fluviale e coinvolgente in modo particolare invertebrati e pesci (FORNERIS e PEROSINO, 1995). Più in dettaglio i corsi d'acqua soggetti a captazioni o a ritenzioni idri-

che possono essere suddivisi in due categorie. La prima categoria comprende corpi idrici che, pur sottoposti ad una drastica riduzione delle portate, continuano a presentare acqua all'interno del proprio alveo. I principali problemi che le comunità acquatiche sono costrette ad affrontare in questo caso sono determinati da aumenti nella concentrazione di sostanze inquinanti, da eccessive fluttuazioni dei valori di ossigeno disciolto, da anomale variazioni di temperatura nonché da

fenomeni di sovrappopolamento che possono determinare la progressiva riduzione delle Unità Tassonomiche più sensibili per l'instaurarsi di processi selettivi (PEROSINO, 1990). La seconda categoria di corsi d'acqua riguarda viceversa quegli ambienti soggetti ad asciutta completa, all'interno dei quali dovrebbe verificarsi, come conseguenza del prosciugamento, la scomparsa degli organismi incapaci di vivere al di fuori dell'ambiente acquatico. In situazioni del genere si possono riscontrare morie generalizzate di organismi poco mobili e non in grado di fronteggiare il drastico mutamento delle condizioni ambientali, nonché fenomeni di "migrazione" di quegli organismi in grado di compiere spostamenti più o meno marcati.

Il presente lavoro si propone di individuare quali tra gli indici ecologici utilizzati (IBE, Shannon, Simpson e IQS) siano in grado di rilevare differenze e alterazioni nelle comunità macrobentoniche sia nel caso di asciutte parziali che totali e di conseguenza quali forniscano informazioni utili a quantificare i danni derivanti da tali tipologie d'impatto ambientale.

MATERIALI E METODI

Inquadramento geografico

Il corso d'acqua ritenuto idoneo allo svolgimento della ricerca è la Roggia Roggione (rif. B6a4-Trezzano Sul Naviglio CTR Lombardia), che scorre in Provincia di Milano e che fa parte del gruppo di corpi idrici connesso al sistema dei Navigli Milanesi. I campionamenti svolti da Rossi (dati non pubblicati) sulla Roggia Roggione all'altezza di Cascina Boscaccio il 13 maggio 1998 hanno riscontrato un valore di IBE pari a 9. Viceversa i campionamenti effettuati l'11 settembre 1998 (PROVINCIA DI MILANO, 2000) hanno rilevato un IBE pari a 6.

La Roggia Roggione riceve le acque del Naviglio Grande in comune di Gaggiano ed è soggetta a due asciutte complete, una autunnale e una verso la fine del periodo invernale, rispettivamente della durata di due mesi e un mese circa. Il tratto individuato per lo svolgimento della ricerca è quello che scorre in prossimità del Lago Boscaccio in località Bonirola di Gaggiano.

Sono presenti nell'area in esame tre differenti situazioni cui corrispondono altrettante stazioni. La stazione più a monte (MON) in periodi di asciutta completa non presenta acqua all'interno dell'alveo. Viceversa quella più a valle (VAL), grazie probabilmente a fenomeni di filtrazione dell'acqua dal Lago Boscaccio attraverso il terreno, pur mantenendo portate prossime allo zero presenta sempre volumi di acqua all'interno dell'alveo. Nel tratto compreso tra le due stazioni è presente un salto artificiale che potrebbe ostacolare in

maniera considerevole la risalita degli organismi acquatici. La terza stazione individuata (MED), a valle del salto, è intermedia alle due sopra citate e comprende un tratto che, pur asciutto nei periodi di ritenzione idrica, non presenta ostacoli alla risalita degli organismi acquatici per cui potrebbe essere soggetto a fenomeni di ricolonizzazione contro corrente durante i periodi di rilascio.

È stata inoltre scelta una stazione di campionamento sulla Roggia Rabica, corpo idrico che, da osservazioni preliminari, a fronte di una situazione idroqualitativa migliore ma relativamente simile a quella della Roggia Roggione, presenta minori problemi connessi alle fluttuazioni di portata e dovrebbe quindi essere in grado di fungere da corpo idrico di riferimento per il confronto e la valutazione dei dati derivanti dai campionamenti effettuati sulla Roggia Roggione.

Il punto di campionamento (RAB) prescelto sulla Rabica è quello posto in prossimità della Cascina Lasso in comune di Morimondo (Rif. A7e1-Motta Visconti Nord CTR Lombardia). Il campionamento effettuato dalla Provincia nel gennaio 1986 nella medesima stazione ha rilevato un valore di IBE uguale a 10, corrispondente ad una prima classe di qualità (PROVINCIA DI MILANO, 1990). Viceversa il campionamento effettuato dalla stessa in data 14 ottobre 1998 a monte dell'immissione del Canale Nasino ha rilevato un valore pari a 8.

Durante il periodo di asciutta di fine inverno il tratto comprendente la stazione MON è stato quasi completamente alterato da interventi in alveo probabilmente funzionali ad attività agricole. Per ovviare al problema e nel contempo verificare gli effetti di un ulteriore intervento meccanico sul corpo idrico in questione, a partire dal primo campionamento seguente la restituzione primaverile di acqua l'area MON è stata suddivisa nelle stazioni MONA (non intaccata dalle attività di escavazione) e MONB.

Analisi delle comunità macrobentoniche

Ai fini di un'indagine qualitativa è stata seguita la procedura per il calcolo dell'Indice Biotico Estesio (GHETTI, 1997).

Relativamente alla metodica quantitativa, le operazioni di campionamento sono state effettuate con l'ausilio del Surber cilindrico (superficie campionabile pari a circa a 0,1 m²) e fanno riferimento al metodo di BOSCO IMBERT e STANFORD (1996) modificato da ROSSI (1999). Il numero di repliche previste, effettuate su substrato dominante, è pari a 3. Anche per l'analisi quantitativa la determinazione delle Unità Sistematiche è stata effettuata secondo le indicazioni IBE.

Gli indici quantitativi utilizzati, riferiti a 0,1 m² di superficie campionata, comprendono l'Indice Quantitativo di Sensibilità (I.Q.S.), già elaborato, applicato e

correlato ad un elevato numero di parametri chimici e fisici da ROSSI (1999) sui corsi d'acqua del bacino dello Stura di Lanzo.

$$I.Q.S. = \sum c_i^2 \cdot \ln(n_i+1)$$

- n_i = valori medi in termini di numerosità di ogni singola Unità Sistemica. Nel caso il valore medio di un gruppo tassonomico superi il valore di 100, occorre inserire nella formula tale punteggio e non la densità osservata.
- c_i = coefficienti di sensibilità, pari ai valori (divisi per 10) relativi alla procedura di calcolo del BMWP' (ALBA-TERCEDOR e SANCHEZ-ORTEGA, 1988).

Al fine di poter meglio interpretare i valori dell'indice IQS viene proposta in questa sede una tabella di conversione (Tab. I) che si basa su osservazioni empiriche dedotte dai risultati di lavori svolti dallo Studio Idrobiologico Lombardo dal 1998 ad oggi (Bacini di Stura di Lanzo, Dora Riparia, Dora Baltea, Stura di Demonte, Adda, Ticino). La corrispondenza tra i valori di IQS e le classi di qualità tiene conto del fatto che corsi d'acqua molto alterati presentano valori di IQS bassi con, a parità di situazione idroqualitativa, scarse fluttuazioni dei valori dell'indice. Viceversa corpi idrici senza particolari segni di alterazione ecosistemica forniscono valori di IQS elevati ma con fluttuazioni maggiori tra stazioni. Nei casi in cui il valore di IQS coincide con il valore di separazione tra due classi di qualità viene attribuita alla stazione campionata la classe di maggiore qualità.

Gli altri indici utilizzati sono l'indice di Shannon (SHANNON e WEAVER, 1949) e il reciproco dell'indice di Simpson (SIMPSON, 1949). Per l'indice di Shannon viene utilizzato il logaritmo decimale anziché quello a base due.

$$\text{Shannon: } -\sum n_i/N \cdot \log(n_i/N)$$

$$\text{Simpson}^{-1}: (\sum (n_i/N)^2)^{-1}$$

Analisi dei risultati di campo

Al fine di investigare quantitativamente l'eventuale prossimità tra le stazioni considerate in base ai valori di ciascuno degli indici ecologici calcolati, si è effettuata un'analisi di raggruppamento di tipo gerarchico (cluster analysis) applicata ai dati non standardizzati (FABBRIS, 1997). L'analisi di raggruppamento è stata effettuata ricorrendo alla radice della distanza euclidea tra gruppi come metrica per la matrice di prossimità ed è stata ripetuta per vari metodi di analisi, ossia per i metodi legame singolo, legame completo, centroide, mediana, media di gruppo e Ward.

Portate e volumi d'acqua

Durante il periodo di asciutta è stata misurata la profondità dell'acqua nelle stazioni MON, MED e VAL. Ogni stazione è stata campionata per un tratto pari a circa 10 volte la larghezza dell'alveo, suddiviso in 11 transetti equidistanti. All'interno di ogni transetto la profondità è stata misurata a distanze di 20 cm. Oltre alla profondità sono stati stimati anche velocità di corrente, larghezza dell'alveo bagnato e di conseguenza portata. I dati relativi alla portata della Roggia Roggione in periodi di rilascio idrico ($0,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), nonché della Roggia Rabica ($1,46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), fanno riferimento alla Carta delle Vocazioni Ittiche della PROVINCIA DI MILANO (2000).

Periodo di lavoro

Il periodo di lavoro ha previsto un primo campionamento in data 12 novembre 1999 corrispondente alla

Tab. I. Conversione dei valori di IQS in Classi di Qualità (CQ)

CQ	VALORE IQS	GIUDIZIO DI QUALITÀ'	COLORE
I	18-0-32,0	Ambiente non alterato in modo sensibile	azzurro
I/II	16-0-18,0	Ambiente non alterato in modo sensibile	azzurro/verde
II/I	14,0-16,0	Ambiente con moderati sintomi di alterazione	verde/azzurro
II	9,0-14,0	Ambiente con moderati sintomi di alterazione	verde
II/III	8,0-9,0	Ambiente con moderati sintomi di alterazione	verde/giallo
III/II	7,0-8,0	Ambiente alterato	giallo/verde
III	4,5-7,0	Ambiente alterato	giallo
III/IV	4,0-4,5	Ambiente alterato	giallo/arancione
IV/III	3,5-4,0	Ambiente molto alterato	arancione/giallo
IV	2,3-3,5	Ambiente molto alterato	arancione
IV/V	2,0-2,3	Ambiente molto alterato	arancione/rosso
V/IV	1,7-2,0	Ambiente fortemente alterato	rosso/arancione
V	0,0-1,7	Ambiente fortemente alterato	rosso

restituzione tardo autunnale dell'acqua alla Roggia Roggione dopo circa due mesi di asciutta. In seguito sono stati eseguiti rilevamenti con cadenza circa trisettimane. I campionamenti, interrotti durante il periodo di asciutta tardo invernale (durato circa un mese), sono ripresi il 25 marzo 2000 in concomitanza con il rilascio dell'acqua e sono proseguiti fino al 19 settembre. Durante il periodo primaverile ed estivo i rilevamenti sono stati effettuati ogni sei settimane circa.

Il 20 marzo 2000 sono stati raccolti i dati relativi a profondità media, velocità di corrente e larghezza dell'alveo bagnato all'interno delle stazioni situate sulla Roggia Roggione.

RISULTATI

Indici ecologici

In figura 1 sono riportati in veste grafica gli andamenti degli indici ecologici qualitativi e quantitativi.

- *Periodo novembre 1999-febbraio 2000*

L'IBE mette in luce, nelle stazioni soggette ad asciutta completa, un graduale miglioramento dalla IV classe di

qualità (subito dopo la restituzione dell'acqua) fino alla II. Nelle stazioni VAL e RAB viceversa l'andamento è relativamente costante e incentrato rispettivamente attorno alla II e I classe. Da notare come le comunità dei tratti asciutti impieghino circa tre mesi per raggiungere valori IBE analoghi a quelli della stazione VAL.

L'IQS evidenzia per i tratti MON e MED una tendenza al miglioramento delle biocenosi analoga a quella rilevata con il metodo IBE, con il passaggio dalla IV (o IV/III) classe di qualità iniziale fino alla III/II. Per RAB i valori dell'indice rientrano quasi sempre all'interno della II mentre per la stazione VAL è possibile osservare un graduale miglioramento da novembre a febbraio con il passaggio dalla III classe iniziale fino alla II. Le biocenosi delle stazioni asciutte, analizzate con questo indice, non riescono mai a raggiungere il livello della stazione VAL.

Gli indici di diversità di Shannon e Simpson⁻¹ presentano quasi sempre valori uguali o superiori nelle stazioni del Roggione rispetto a quella di riferimento e non risultano in grado di fornire informazioni utili circa la reale situazione idroqualitativa dei corsi d'acqua esaminati.

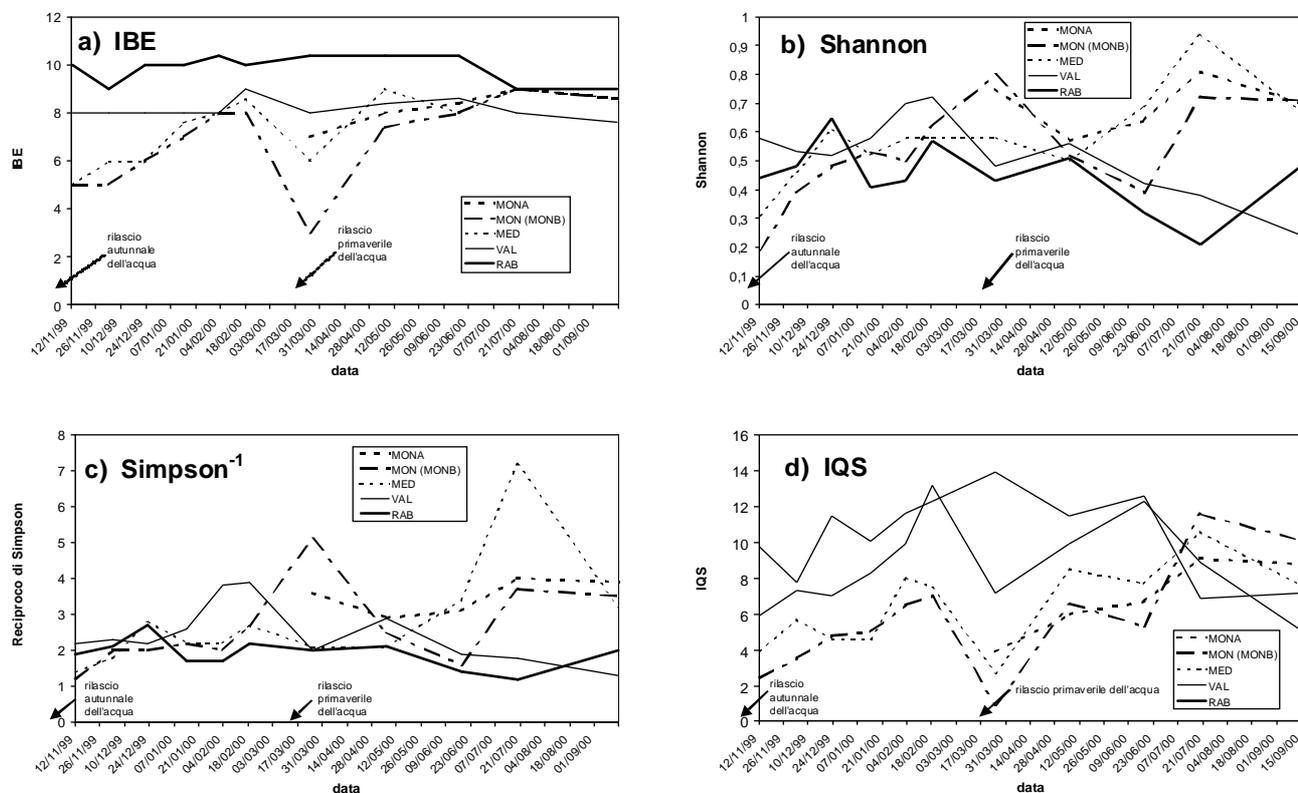


Fig. 1. Andamento degli indici ecologici qualitativi (IBE) e quantitativi (Shannon, Simpson⁻¹, IQS) nella roggia Rabica (RAB) e in quattro stazioni della roggia Roggione soggette ad asciutta totale (MONA, MONB, MED) o a semplice ristagno idrico (VAL). Per le abbreviazioni e le caratteristiche delle stazioni si veda il testo.

- *Periodo marzo-settembre 2000*

L'analisi IBE mostra, nelle stazioni in asciutta ma non soggette a disalveo, un passaggio dalla III alla II classe di qualità da fine marzo (data di rilascio dell'acqua) fino all'inizio di maggio. Viceversa MONB risulta inizialmente in V classe e impiega quasi tre mesi per raggiungere la II. In tutte le stazioni menzionate la situazione idroqualitativa tende ad assestarsi attorno a quest'ultimo valore. Il tratto di riferimento presenta, fino a metà giugno, valori dell'indice corrispondenti alla I classe mentre in seguito la qualità biologica cala e tende ad assestarsi sulla II CQ. La stazione VAL presenta valori dell'indice relativamente costanti e ascrivibili alla II classe. Fa eccezione il dato di settembre, che evidenzia un calo della qualità biologica al livello II/III.

I dati IQS mostrano per la stazione di riferimento un andamento costante all'interno della II classe fino a metà giugno. Dal mese di luglio si registra viceversa un brusco calo di qualità biologica (III). Le stazioni soggette ad asciutta mostrano un andamento analogo a quello del periodo invernale, con valori iniziali compresi tra la IV/III e la IV classe (V per MONB) e finali in II CQ. Fa eccezione l'ultimo dato di MED, che cade in III/II. La stazione VAL si presenta a fine marzo in III mentre a maggio e fino a luglio raggiunge e si mantiene in II. A settembre viceversa si assiste ad una forte diminuzione del valore dell'indice (III CQ) dovuto principalmente alla scomparsa del taxon Gammaridae, che costituiva fino a quel momento il gruppo numericamente più abbondante all'interno della biocenosi. Tale scomparsa (responsabile in parte anche del calo di qualità della stazione MED) potrebbe essere imputabile al probabile rilascio nel corpo idrico di composti tossici quali pesticidi e/o metalli pesanti, nei confronti dei quali questi crostacei sono particolarmente sensibili (ALABASTER e LLOYD, 1981; MANCE, 1987).

Gli indici di Shannon e di Simpson¹ non riescono a mettere in luce alterazioni quantitative del comparto idrico. Ciò è particolarmente evidente nel campionamento di fine marzo, in cui le stazioni che fino al giorno precedente erano completamente asciutte presentano valori degli indici superiori a quelli delle stazioni che viceversa hanno sempre mantenuto un alveo bagnato.

Portate e volumi d'acqua

Le misurazioni effettuate durante il periodo di ritenzione hanno evidenziato che mentre le stazioni MON e MED risultavano completamente prive d'acqua, VAL presentava una profondità media di 3,1 (sd= 1,6) cm, una larghezza media dell'alveo bagnato pari a 1,9 (sd= 0,5) m e una velocità di corrente nulla con conseguente portata pari a 0 m³ s⁻¹.

DISCUSSIONE

L'elaborazione mediante analisi di raggruppamento e la successiva interpretazione dei risultati permette di trarre alcune utili considerazioni.

Nel periodo invernale, caratterizzato da ridotta motilità degli organismi, gli indici IBE e IQS mostrano una differenza significativa di qualità tra il gruppo VAL-RAB e le stazioni soggette ad asciutta. Solo l'applicazione del metodo del legame singolo ai dati IBE unisce le stazioni del Roggione in un unico gruppo. Gli indici di Shannon e Simpson¹ viceversa non sono in grado di dare informazioni di rilievo, poiché contrappongono il gruppo VAL a quello costituito da tutte le altre stazioni.

Nel periodo primaverile ed estivo la situazione è più complessa, a seguito probabilmente delle interferenze dovute a fenomeni di inquinazione che hanno colpito più o meno pesantemente alcune unità tassonomiche nel periodo compreso tra fine luglio e settembre.

L'analisi dei dati IBE con i metodi del legame completo e della mediana mette in contrapposizione due gruppi, uno dei quali costituito solamente dalla stazione MONB soggetta a disalveo durante il periodo asciutto. Gli altri metodi mostrano il gruppo RAB da una parte e quello contenente tutte le stazioni del Roggione dall'altra. Con il solo metodo IBE sembrerebbe quindi che le differenze in termini di qualità delle biocenosi tra le stazioni del Roggione siano trascurabili o comunque poco importanti.

Tale risultato viene contraddetto dall'analisi dei valori IQS che, ad eccezione dei risultati derivanti dall'utilizzo del metodo del legame singolo, mette in netto contrasto i tratti soggetti ad asciutta con quelli che presentano sempre acqua all'interno dell'alveo.

L'elaborazione dei dati relativi agli indici di Shannon e Simpson¹ permette in apparenza di distinguere tra stazioni "asciutte" e "bagnate" ma l'attribuzione di un giudizio qualitativo migliore al gruppo che nei periodi di ritenzione presenta alveo privo d'acqua non sembra veritiera. Da notare che, in riferimento alle elaborazioni dei risultati di Simpson¹ con i metodi del legame completo, del centroide, della mediana e della media di gruppo vengono isolati da una parte un gruppo MED e dall'altra uno contenente tutte le altre stazioni campionate, il che appare privo di significato.

CONCLUSIONI

Il confronto tra indici ecologici in presenza di una ben precisa tipologia di alterazione degli ecosistemi fluviali evidenzia come le analisi quantitative che prevedono l'utilizzo dell'IQS diano, nel caso in esame, risultati comparabili e integrabili a quelli ottenibili mediante analisi IBE. In particolare il potere discriminante della metodica quantitativa IQS appare evidente nell'elaborazione dei dati relativi al periodo marzo-settem-

bre, in cui la semplice analisi qualitativa dei risultati non è sufficiente a rilevare differenze significative tra i tratti soggetti ad asciutta e gli altri. Tale capacità potrebbe risultare particolarmente utile, per esempio all'interno di procedure per la Valutazione d'Impatto Ambientale. A corollario di quanto detto si può osservare come a settembre, di fronte ad un evidente episodio di inquinamento a carico principalmente della popolazione di Gammaridae della Roggia Roggione, mentre il valore IBE subisce solo un lieve calo, il corrispettivo IQS risponde viceversa con una marcata flessione. In relazione agli indici di diversità di Shannon e

Simpson⁻¹ più volte nel corso del lavoro l'attenzione è caduta sullo scarso contenuto informativo nonché sui risultati contraddittori e difficilmente interpretabili che questi indici sono in grado di fornire.

RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento va alla Prof. Carla Viganotti dell'Istituto di Farmacologia dell'Università degli Studi di Pavia per i consigli relativi alle elaborazioni statistiche, allo Studio Idrobiologico Lombardo e in particolare al Dr. Mauro Luchelli per il supporto logistico e alle Cave Merlini per avere consentito l'accesso alla proprietà durante le fasi di campionamento.

BIBLIOGRAFIA

- ALABASTER J. S., LLOYD R., 1980. *Water quality criteria for freshwater fish*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Ed. Butterworths, London and Boston, 361 pp.
- ALBA-TERCEDOR J., SANCHEZ-ORTEGA A., 1988. Un metodo rapido y simple para evaluar la calidad biologica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnética*, **4**: 51-56.
- BOSCO IMBERT J., STANFORD J. A., 1996. An ecological study of a regulated prairie stream in Western Montana. *Regulated Rivers: Research & Management* **Vol. 12**: 597-615.
- FABBRIS L., 1997. *Statistica multivariata. Analisi esplorativa dei dati*. McGraw-Hill libri Italia, Milano, 437 pp..
- FORNERIS G., PEROSINO G. C., 1995. *Elementi di idrobiologia*. Edizioni EDA, Torino, 367 pp.
- GHETTI P. F., 1997. *Manuale di applicazione Indice Biotico Esteso (I.B.E.). I Macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti*. Provincia Autonoma di Trento, Agenzia Provinciale per la Protezione dell' Ambiente, 222 pp.
- MANCE G., 1987. *Pollution threat of heavy metals in aquatic environments*. Elsevier Applied Science Publishers, London and New York.
- PEROSINO G. C., 1990. Portate minime per la conservazione dell'idrofauna dei corsi d'acqua soggetti a prelievi idrici. Università degli Studi di Perugia, Istituto di Idrobiologia e Piscicoltura "G. B. Grassi". *Rivista di Idrobiologia* **Vol. XXIX**, Fasc. 1: 425-435.
- PROVINCIA DI MILANO, 1990. *Acque e pesci nella Provincia di Milano*, 129 pp.
- PROVINCIA DI MILANO, 2000. *Carta delle Vocazioni Ittiche*, 340 pp.
- ROSSI S., 1999. *Valutazione di qualità dei corsi d'acqua mediante utilizzo integrato di analisi chimico-fisiche ed ecologiche delle comunità di macroinvertebrati acquatici: esperienze di campo in Provincia di Torino*. Tesi di Laurea in Scienze Biologiche Università Degli studi di Pavia, 200 pp.
- SHANNON C. E., WEAVER W., 1949. *Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press.
- SIMPSON E. H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163:688.