

## I pesci nella valutazione dello stato ecologico dei sistemi acquatici

Lorenzo TANCIONI, Michele SCARDI e Stefano CATAUDELLA

*Laboratorio di Ecologia Sperimentale e Acquacoltura, Dipartimento di Biologia,  
Università degli Studi "Tor Vergata", Roma*

**Riassunto.** - In questa breve nota viene presentata una rassegna sintetica dei metodi basati sui pesci utilizzati nei monitoraggi degli ecosistemi acquatici. Vengono citati gli indici multimetrici, come l'indice di integrità biotica (IBI), originariamente elaborato per alcuni bacini idrografici degli USA e applicato, con gli opportuni adattamenti, in Europa ed in molti altri Paesi. Altri indici, non multimetrici, proposti ad esempio per l'Italia, sono l'indice ittologico (II) e l'indice dello stato ecologico delle comunità ittiche (ISECI). Per ampliare la rassegna delle impostazioni metodologiche, sono considerate quelle basate su modelli statistici e modelli empirici predittivi, mutuati dal campo dell'intelligenza artificiale. Infine viene proposta una impostazione metodologica innovativa per la valutazione dello stato ecologico dei sistemi lotici italiani. Seppur caratterizzati da elevata complessità, l'uso delle comunità ittiche come uno degli strumenti nella valutazione dello stato ecologico degli ecosistemi acquatici risulta promettente e richiede l'applicazione di metodiche di studio multidisciplinari.

*Parole chiave:* pesci, bioindicatori, indici biotici, IBI, modelli statistici, modelli predittivi, sistemi acquatici.

**Summary** (*Fish-based assessment methods for the ecological status of aquatic systems*). - A short overview of fish-based assessment methods for aquatic systems is presented. Multimetric indices, as, e.g., the index of biotic integrity (IBI), firstly developed in USA and later adapted for European river basins and other countries, are shortly described. Non-multimetric indices are also discussed, e.g. the ichthyological index (II) and the index of ecological status of fish communities (ISECI), both proposed for monitoring Italian rivers. Moreover, statistical and predicting methods based on machine learning techniques are described. Finally, a new approach for developing standardised fish-based methods useful to assess ecological status of Italian rivers is proposed. Although rather complex, the use of bony fish in biomonitoring is promising and requires a multidisciplinary approach to be adopted.

*Key words:* fish, bioindicators, biological index, IBI, statistical models, predicting models, aquatic systems.

### Introduzione

Negli ultimi decenni, tra i bioindicatori di nuova generazione, i pesci sono andati assumendo un crescente interesse per la valutazione della qualità ambientale in differenti ecosistemi acquatici continentali (fiumi, laghi e lagune salmastre) [1]. L'opportunità di utilizzare i pesci quali bioindicatori in programmi di monitoraggio ambientale, secondo procedure di classificazione e valutazione sistemica, è stata quindi evidenziata sia nella recente legislazione comunitaria relativa alla tutela delle risorse acquatiche [2] che in quella USA [3, 4] e di altri paesi industrializzati [5].

I pesci sono utili bioindicatori e possono rappresentare un "sistema di allarme precoce" di danni ambientali perché, ad esempio: integrano gli effetti di un'ampia varietà di disturbi ambientali, con risposte a

diversi livelli dell'organizzazione biologica, da quello molecolare a quello di comunità; evidenziano relazioni tra le risposte individuali di organismi esposti ad inquinanti e gli effetti a livello di popolazione; possono costituire un sistema di bioindicazione di potenziali rischi per la salute umana e un sistema di verifica dell'efficienza d'interventi di riqualificazione degli ambienti acquatici [6, 7].

Le popolazioni e comunità ittiche sono indicatori nella valutazione del degrado ambientale, anche perché integrano gli effetti di fattori di alterazione ambientale sulle altre componenti dell'ecosistema acquatico, in virtù della loro dipendenza da queste per la sopravvivenza, la crescita o la riproduzione. Inoltre, poiché molte specie hanno una vita relativamente lunga, lo studio a livello di popolazioni e comunità può costituire una documentazione a lungo termine dello stress ambientale.

Gli studi delle popolazioni e delle comunità ittiche di un fiume ricoprono quindi un ruolo fondamentale per la valutazione dello stato di integrità ecologica dei sistemi lotici, in quanto rappresentano delle componenti biotiche sensibili sia all'inquinamento delle acque che al degrado delle caratteristiche morfologiche, idrauliche ed idrodinamiche [6].

Le differenze o "dissimilarità" rilevabili tra le caratteristiche delle popolazioni e delle comunità (es. numero e frequenza delle specie, struttura demografica delle popolazioni) di specifici siti di campionamento e quelli attesi (condizioni di riferimento), possono essere interpretate come risposte a perturbazioni ambientali. Dal punto di vista applicativo, considerando quindi la possibilità di utilizzo delle comunità ittiche nel biomonitoraggio dei sistemi acquatici, dalla metà degli anni '80, sono stati sviluppati metodi basati sull'uso di taxa indicatori, di procedure di statistica multivariata e sull'uso diretto delle popolazioni e comunità ittiche come indicatori del degrado ambientale dei corsi d'acqua [8, 9].

### Indici multimetrici

Tra gli indici multimetrici, l'indice di integrità biotica basato sui pesci (IBI) che prende in considerazione diversi livelli dell'organizzazione biologica quali descrittori (dal livello individuale a quello di comunità ittica e di "paesaggio"), è stato messo a punto e adattato con le opportune modifiche in diversi stati del Nord America [3, 8, 10-12, 15] e più recentemente in Europa, ad esempio nel bacino della Senna in Francia [16] e in alcuni bacini nazionali, in provincia di Vicenza [17] e nella porzione umbra del bacino del Tevere [18].

La versione originale di questo indice è basata su 12 descrittori (attributi), raggruppabili in tre categorie, ricchezza in specie e composizione del popolamento, composizione in gruppi trofici, abbondanza e condizione dei pesci. A ciascun attributo viene assegnato un valore di 1, 3 o 5, a seconda del livello di deviazione dall'atteso (ad esempio 1: molto diverso, 3: moderatamente diverso, 5: poco diverso). La somma dei valori assegnati ai 12 attributi è quindi "categorizzata" in classi discrete, sulla base di giudizi esperti [6, 11, 15]. Come per altri metodi biologici di classificazione e valutazione dei sistemi acquatici, l'intensità dei disturbi antropici è, quindi, valutabile attraverso la verifica dello stato di integrità delle comunità ittiche, che può variare da una condizione ottimale attesa (minimamente disturbata) per un corso d'acqua della stessa dimensione, nella stessa ecoregione, ad una condizione fortemente disturbata, secondo gradienti di impatto antropico.

### Altri indici biotici

A livello europeo, approcci metodologici diversi da quello dell'IBI sono rappresentati, ad esempio, dal *multi-level concept for fish-based assessment of ecological integrity* (MuLFA) un metodo proposto per i fiumi austriaci [19], che prende in considerazione diversi livelli dell'organizzazione biologica dei pesci (dal livello individuale a quello di comunità) e specifiche tipologie fluviali, quali criteri di valutazione.

Anche per la valutazione degli effetti dell'inquinamento in corsi d'acqua del sud-ovest della Germania è stato proposto l'utilizzo di indicatori dello stato di salute nei pesci, a diversi livelli dell'organizzazione biologica [20].

In Italia, è stato proposto l'indice ittologico (II) per i corsi d'acqua "a ciprinidi" dell'area padana [21]. Questo indice prende in considerazione anche le strutture demografiche delle popolazioni ittiche. L'II viene calcolato moltiplicando la ricchezza di specie per una combinazione lineare di due fattori forniti dagli Autori, che considerano la struttura di popolazione (ad esempio, presenza di individui giovani, sub-adulti e adulti) e l'abbondanza della fauna ittica relativa alla ricchezza in specie. Il punteggio dell'indice può essere quindi "discretizzato" per esprimere delle valutazioni dell'integrità ecologica, secondo cinque classi di qualità.

Nell'ultimo anno sono stati proposti due nuovi indici: l'indice dello stato ecologico delle comunità ittiche (ISECI), applicabile agli ecosistemi lotici italiani [22], e un nuovo indice ittico (II) per il bacino occidentale del Po [23].

L'ISECI è stato sviluppato considerando in particolare la "naturalità" della comunità ittica, che nelle condizioni ottimali prevede l'assenza di taxa alloctoni, e la buona condizione delle popolazioni indigene [22]. Per il calcolo del valore dell'ISECI viene utilizzata una tabella a doppia entrata: un ingresso orizzontale che considera la struttura del popolamento ittico (specie indigene e aliene); un ingresso verticale che considera la "condizione biologica" delle popolazioni indigene. I valori dell'ISECI sono quindi discretizzati in 5 livelli di stato ecologico: 20-17 (elevato); 16-15 (buono); 14-13 (sufficiente); 12-11 (scadente);  $\leq 10$  (pessimo).

L'indice ittico da applicare ai corsi d'acqua naturali della porzione occidentale del fiume Po prende in considerazione lo stato di ciascuna popolazione ittica rilevata, valutandone: la consistenza; la struttura demografica; la distribuzione a diverse scale spaziali, da quella locale a quella europea, lo stato di conservazione. Per il calcolo dell'II è previsto l'utilizzo di un "semplice algoritmo" [23]. Anche in questo caso, dai valori dell'II è prevista l'identificazione di 5 "classi di qualità".

### Modelli statistici e modelli empirici predittivi

Nel corso degli ultimi anni, parallelamente alla diffusione ed all'affinamento dell'approccio basato sugli IBI ed altri indici biotici, sono stati sviluppati modelli statistici, come quelli basati su regressioni lineari multiple o logistiche. Questo approccio è stato applicato per sviluppare una serie di modelli probabilistici basati sulla regressione logistica per predire la presenza di 34 specie degli ambienti lotici della Francia [24]. Gli stessi Autori hanno quindi proposto questo metodo predittivo per una valutazione degli ambienti lotici basata sui pesci.

Infine, tra i criteri metodologici più recenti e promettenti per lo sviluppo di sistemi di valutazione di nuova generazione, sono stati elaborati modelli empirici predittivi sia per la struttura delle comunità ittiche sia per i parametri sintetici riferiti ad esse (ad esempio ricchezza in specie), basati sull'applicazione di tecniche di intelligenza artificiale, come ad esempio l'uso delle reti neurali artificiali.

In Italia, tale approccio è stato applicato per la previsione della composizione in specie dei popolamenti ittici di diversi bacini del Veneto [25, 26]. Il modello previsionale sviluppato è stato basato su 20 descrittori ambientali che hanno consentito di predire, con una affidabilità molto elevata (91,6% media delle previsioni corrette), la presenza di 32 specie ittiche. Per ottenere tali risultati, evidentemente incoraggianti per la messa a punto di metodologie di valutazione ambientale, sono stati utilizzati i dati di alcune Carte Ittiche provinciali, che rappresentano la principale sorgente di dati per implementazioni future, in ambito nazionale.

### Limiti e prospettive di sviluppo

L'utilizzo dei pesci quali bioindicatori per la valutazione della qualità ecologica degli ambienti acquatici ha trovato livelli di applicazione molto diversi nei programmi di monitoraggio nei diversi Paesi. Ad esempio, mentre negli USA, già a partire dagli anni '80, i pesci sono stati ampiamente utilizzati quali indicatori nei programmi di biomonitoraggio, in Europa soltanto con la recente Direttiva 2000/60 si è considerata la necessità di valutare lo stato ecologico dei sistemi acquatici anche attraverso l'analisi delle popolazioni e comunità ittiche.

A parte alcune proposte metodologiche sperimentali di gruppi di ricerca operanti nei singoli Stati comunitari, in gran parte basati sull'approccio IBI, come accennato in precedenza, quello che è evidente è la carenza di metodologie standardizzate per l'Europa ed in particolare per l'ecoregione mediterranea e l'Italia.

Per contribuire al superamento di tali limiti, nell'ambito del V programma quadro per la ricerca nell'Unione Europea sono state finanziati una serie di progetti di ricerca, tra i quali due sono stati finalizzati, pur con approcci molto diversi, alla identificazione di nuovi criteri metodologici per lo sviluppo di sistemi di valutazione dello stato ecologico dei sistemi lotici basati sui pesci.

Il progetto di ricerca "Development, evaluation & implementation of a standardised fish-based assessment method for the ecological status of european rivers (FAME) - A contribution to the water framework directive", basato sull'impostazione IBI, ha portato alla proposta dello *European fish index* (EFI) [27].

L'altra ricerca, dal titolo "Predicting aquatic ecosystem quality using artificial neuronal networks" (PAEQAAN), è stata invece imperniata sull'applicazione delle tecniche d'intelligenza artificiale, come le reti neurali, per lo sviluppo di metodiche di valutazione della qualità degli ambienti acquatici basate su modelli predittivi della fauna ittica e di altre componenti biotiche [25, 26].

La filosofia di quest'ultimo approccio è strettamente in linea con i principi che hanno informato la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/EC, in base ai quali la valutazione della qualità ambientale dovrebbe discendere dall'analisi della struttura delle comunità, piuttosto che dall'uso di indici e/o indicatori più o meno sintetici. Nel lungo termine, ciò dovrebbe escludere l'uso di indici biotici basati su un paradigma multimetrico o su approcci ancora più semplificati, anche se è verosimile che in molti casi tali metodi possano costituire uno strumento transitorio accettabile in virtù della larga base di utenti e dell'esperienza diffusa del loro uso.

In alternativa, una procedura di valutazione della qualità ambientale di nuova generazione può essere sintetizzata come segue:

- raccolta e analisi critica dell'informazione esistente;
- eventuale (e auspicabile) integrazione con nuovi dati di campo;
- modellizzazione della struttura del popolamento in rapporto alle condizioni biotiche e abiotiche al contorno;
- valutazione della deviazione della struttura osservata da quella prevista su base modellistica;
- formulazione di un giudizio di qualità.

Questa procedura generale si presta evidentemente a diverse forme di sviluppo. In particolare, la fase di modellizzazione può essere di tipo prettamente predittivo, laddove la qualità e la quantità dell'informazione disponibile lo consenta, o più semplicemente orientata all'identificazione di tipologie ricorrenti a cui sia possibile abbinare un giudizio di qualità su basi oggettive o soggettive.

In questo scenario l'uso di tecniche di analisi statistica tradizionale può essere efficacemente affiancato da quello di metodi mutuati dal campo

dell'intelligenza artificiale, ma il successo di qualsiasi proposta non può prescindere da un'ampia e rigorosa fase di validazione a cui partecipino tutti i soggetti realmente attivi nel campo del monitoraggio ambientale.

In generale, come più volte considerato, l'uso delle comunità ittiche nella valutazione dello stato ecologico dei sistemi acquatici apre stimolanti prospettive. Tuttavia, è necessario considerare che una impostazione ecologica e sistemica richiede appropriati strumenti conoscitivi ed esemplificazioni affidabili; infatti i pesci sono biologicamente complessi, generalmente mobili e soggetti nel tempo ad importanti manipolazioni umane.

Lavoro presentato su invito.  
Accettato il 3 ottobre 2005.

#### BIBLIOGRAFIA

- Whitfield AK. Fishes and the environmental status of South African estuaries. *Fisheries Manag Ecol* 1996;3:45-57.
- European Union. Parliament and Council Directive 2000/60/EC of 23rd October 2000. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. *Official Journal PE-CONS 3639/1/00 REV 1*, 2000. Brussels: European Union.
- Karr JR, Chu EW. *Restoring Life in Running Waters - Better Biological Monitoring*. Washington DC: Island Press; 1999. 206 p.
- Simon TP. *Biological response signatures - indicator patterns using aquatic communities*. Boca Raton: CRC Press; 2002. p. 576.
- Kurtz JA, Jackson LE, Fisher WS. Strategies for evaluating indicators based on guidelines from the Environmental Protection Agency's Office of Research and Development. *Ecol Indic* 2001;1:49-60.
- Tancioni L, Scardi M, Cataudella S. Riverine fish assemblages in temperate rivers. In: Ziglio G, Siligardi M, Flaim G (Ed.). *Biological monitoring of rivers: applications and perspectives*. London: Wiley, (in press).
- Scardi M, Tancioni L, Cataudella S. Monitoring methods based on fish. In: Ziglio G, Siligardi M, Flaim G (Ed.). *Biological monitoring of rivers: applications and perspectives*. London: Wiley; (in press).
- Karr JR. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 1981;(6):21-7.
- Fausch KD, Lyons J, Karr JR, Angermeier, PL. Fish communities as indicators of environmental degradation. *Am Fisheries Soc Symposium* 1990;8:123-44.
- Karr JR, Dudley DR. Ecological perspectives on water quality goals. *Environ Manag* 1981;(5):55-68.
- Karr JR, Fausch KD, Angermeier PL, Yant PR, Schlosser II. *Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale*. Champaign IL: Illinois Natural History Survey; 1986. (Illinois Natural History Survey, Special Publication, 5).
- Karr JR, Chu EW. Biological monitoring: essential foundation for ecological risk assessment. *Hum Ecol Risk Assessment* 1997;3:993-1004.
- Fausch, K.D., Karr J.R., Yant P.R. Regional application of an Index of Biotic Integrity based on stream fish communities. *Trans Am Fisheries Soc* 1984;113:39-55.
- Angermeier, P.L. and Karr, J.R. Applying an index of biotic integrity based on stream-fish communities: considerations in sampling and interpretation. *North Am Fisheries Manag* 1986;6: 418-29.
- Plafkin JL, Barbour MT, Porter KD, Gross SK, Hughes RM. *Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers. Benthic macroinvertebrates and fish*. US Environmental Protection Agency; 1989. (EPA 440/4-891001) 1989
- Oberdorff T, Hughes RM. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiologia* 1992;228:117-30.
- Maio G, Rigatti, Luchini S, Castaman D, Moretta A, Salviati S, Marconato E. Prima applicazione ed adeguamento dell'Index of Biotic Integrity (IBI) in Provincia di Vicenza. In: *Atti del VI Convegno Nazionale AIAD*. Varese Ligure (SP), 6-8 Giugno 1996.
- La Porta G, Lorenzoni M, Carosi A, Mearelli M. Definizione di un indice di integrità biologica per il bacino del Fiume Tevere. In: Falcucci M, Hull V (Ed.). *Atti del XI Congresso Nazionale della SITE*. Atti 25. Parco Nazionale del Circeo, Sabaudia, 12-14 settembre 2001.
- Schmutz S, Kaufmann M, Vogel B, Jungwirth M, Muhar S. A multi-level concept for fish-based, river-type-specific assessment of ecological integrity. *Hydrobiologia* 2000;422/423:279-89.
- Siligato S, Böhmer J. Using indicators of fish health at multiple levels of biological organization to assess effects of stream pollution in southwest Germany. *J Aquatic Ecosystem Stress Recovery* 2001;8:371-86.
- Badino G, Forneris G, Lodi E, Ostacoli G. Ichthyological Index, a new standard method for the river biological water quality assessment. *River water quality*. Commission of the European Communities: 1992. p. 729-30.
- Zerunian S. Proposta di un indice dello stato ecologico delle comunità ittiche viventi nelle acque interne italiane. *Biologia Ambientale* 2004;18(2):25-30.
- Forneris G, Merati F, Pascale M, Perosino GC. Proposta di un indice ittico (II) per il bacino occidentale del Po. In: *10° Congresso Nazionale AIAD*. Montesilvano (Pe), 2-3 Aprile 2004. book of abstracts: 31.
- Oberdorff T, Pont D, Huguény B, Chessel D. A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment. *Freshwater Biol* 2001;46:399-415.
- Scardi M, Cataudella S, Ciccotti E, Di Dato P, Maio G, Marconato E, Salviati S, Tancioni L, Turin P, Zanetti M. Previsione della composizione della fauna ittica mediante reti neurali artificiali. *Biologia Ambientale* 2004;18(1):1-8.
- Scardi M, Cataudella S, Ciccotti E, Di Dato P, Maio G, Marconato E, Salviati S, Tancioni L, Turin P, Zanetti M. Predicting fish assemblages in rivers: a neural network case study. In: Lek S, Scardi M, Descy JP, Park YS, Verdonschot P (Ed.). *Modelling community structure in freshwater ecosystems*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 2005. p. 114-1219.
- Project FAME - *Development, evaluation & implementation of a standardised fish-based assessment method for the ecological status of European rivers - A Contribution to the water framework directive* Contract n°: EVK1-CT-2001-00094. (www.fame.boku.ac).