

Verso una valutazione integrata delle condizioni del corridoio fluviale: confronto tra l'Indice di Qualità Morfologica e tre indici biotici

Bruno Golfieri^{1*}, Nicola Surian¹, Sönke Hardersen²

¹ Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, Via Gradenigo 6 - 35131 Padova

² Corpo Forestale dello Stato, Centro Nazionale per lo Studio e la Conservazione della Biodiversità Forestale "Bosco Fontana", Strada Mantova 29 - 46045 Marmirolo (MN)

* Referente per la corrispondenza: bruno.golfieri@unipd.it

Pervenuto il 24.2.2017; accettato il 27.3.2017

Riassunto

La gestione dei corsi d'acqua richiede un'analisi dettagliata delle loro condizioni ecologiche ed idromorfologiche. Tuttavia la maggior parte degli indici che sono stati sviluppati nell'ambito dell'implementazione della Direttiva Quadro Acque 2000/60 sono caratterizzati da limitate scale spaziali e temporali di applicazione. Inoltre, secondo diversi studi, gli indici basati sugli Elementi di Qualità Biologica risultano sensibili alla degradazione della qualità delle acque, ma non alle alterazioni idromorfologiche. Per superare questi limiti, sono stati recentemente sviluppati nuovi strumenti di valutazione, biotici ed idromorfologici. In questo studio vengono confrontati i risultati dell'applicazione dell'Indice di Qualità Morfologica (IQM) e di tre indici biotici basati su Odonati (ORI), diatomee (ICMi) e macroinvertebrati bentonici (STAR_ICMi) in quindici tratti di studio localizzati lungo sette fiumi dell'Italia settentrionale. IQM e ORI sono risultati significativamente correlati mentre non è stata osservata alcuna relazione tra IQM e gli altri indici biotici. La correlazione tra IQM ed ORI può essere spiegata con la corrispondenza della scala spaziale di applicazione: entrambi gli indici operano infatti una valutazione dell'intero corridoio fluviale considerando tratti morfologicamente omogenei della lunghezza di alcuni chilometri. Al contrario, la mancata correlazione tra IQM e gli indici ICMi e STAR_ICMi è probabilmente dovuta al fatto che questi ultimi operano una valutazione ad una scala spaziale più limitata, cioè quella di sito. I risultati di questo studio sottolineano l'importanza di considerare la dimensione laterale del corridoio fluviale e la necessità di applicare anche indici alla scala di tratto per ottenere una valutazione completa delle condizioni dei corsi d'acqua.

PAROLE CHIAVE: idromorfologia / Odonata / Elementi di Qualità Biologica / Direttiva Quadro Acque / gestione dei corsi d'acqua

Towards a more comprehensive assessment of river corridor conditions: a comparison between the Morphological Quality Index and three biotic indices

River management requires detailed analysis of stream ecological and hydromorphological conditions. However, most indices that have been developed for implementing the European Water Framework Directive (WFD) are characterized by limited spatial and temporal scales of application. Moreover, the indices based on the Biological Quality Elements defined by the WFD result to be sensitive to water quality but not to hydromorphological alterations. To overcome these limitations, alternative hydromorphological and biotic indices have recently been developed.

In this study we compared the results obtained by applying the Morphological Quality Index (MQI) to those of three biotic indices based on dragonflies (ORI), diatoms (ICMi) and benthic macroinvertebrates (STAR_ICMi). Fifteen study reaches have been considered in seven rivers of northern Italy. MQI and ORI resulted highly and significantly correlated while no significant relationships were found between the MQI and the other biotic indices. The significant correlation between MQI and ORI can be explained by the correspondence of the spatial scale of application: both indices assess the whole river corridor in morphologically homogeneous river reaches. In contrast, the lack of correlation between MQI and both ICMi and STAR_ICMi can probably be attributed to the fact that these biotic indices work at a smaller spatial scale (i.e. the site scale).

The results of this study underline the importance of considering the lateral dimension of the river corridor and the need to apply reach-scale indices to achieve a comprehensive evaluation of river conditions.

KEY WORDS: hydromorphology / Odonata / Biological Quality Elements / Water Framework Directive / river management

INTRODUZIONE

La valutazione delle condizioni ecologiche dei corsi d'acqua è un elemento fondamentale per pianificare adeguate misure di gestione e progetti di riqualificazione fluviale. La Direttiva Quadro Acque 2000/60 (Water Framework Directive o WFD), definisce lo stato ecologico dei corsi d'acqua sulla base della valutazione di elementi biologici, chimico-fisici ed idromorfologici. Con il termine idromorfologia, si indica la recente disciplina che unisce idrologia e geomorfologia fluviale. Le condizioni idromorfologiche dei corsi d'acqua europei sono generalmente valutate attraverso l'utilizzo di indici derivanti dal River Habitat Survey (RHS; Raven *et al.*, 1997). Questi indici consistono nel rilievo, caratterizzazione e classificazione degli elementi fisici degli habitat fluviali, e si concentrano principalmente sulle condizioni (forme e microhabitat) dell'alveo bagnato. Tali metodi presentano però una serie di limitazioni (Belletti *et al.*, 2015). In primo luogo le scale spaziali e temporali indagate, ovvero le condizioni attuali di tratti fluviali con una lunghezza di alcune centinaia di metri, non permettono una accurata diagnosi e comprensione delle alterazioni morfologiche che derivano frequentemente da processi che agiscono su scale spaziali più ampie (a scala di tratto o di bacino) o che hanno avuto luogo in passato (estrazione di sedimenti, costruzione di difese di sponda) (Fryirs *et al.*, 2008). In secondo luogo, i metodi per il rilievo degli habitat fisici sono caratterizzati da un uso limitato di strumenti, quali ad esempio il telerilevamento e le analisi GIS, che permettono di considerare scale spaziali e temporali più ampie. Per superare queste criticità sono stati recentemente sviluppati diversi metodi, tra cui ricordiamo il River Style Framework (Brierley e Fryirs, 2005) e l'Indice di Qualità Morfologica (IQM; Rinaldi *et al.*, 2013), che si distinguono dai rilievi degli habitat fluviali per un approccio geomorfologico più approfondito e per il fatto che prendono in considerazione i processi oltre che le forme fluviali. Tali metodi operano ad una scala spaziale più grande, ovvero quella del tratto fluviale (definito sulla base di caratteristiche morfologiche e condizioni al contorno omogenee, ed avente lunghezza dell'ordine di alcuni km), e integrano la valutazione delle variazioni morfologiche registrate dai corsi d'acqua negli ultimi decenni, attraverso l'utilizzo di cartografia e fotografie aeree storiche.

Per quanto riguarda gli aspetti biologici, la WFD richiede la valutazione di diversi bioindicatori (macroinvertebrati bentonici, diatomee bentoniche, macrofite acquatiche e pesci), i cosiddetti "elementi di qualità biologica" (EQB), per definire lo stato ecologico dei corsi d'acqua. Recenti studi hanno dimostrato che gli indici basati sugli EQB sono sensibili alla degradazione della qualità delle acque (inquinamento

organico, eutrofizzazione e acidificazione), mentre la loro risposta alle alterazioni idromorfologiche è generalmente debole o assente (Dahm *et al.*, 2013; Friberg, 2014). Un ulteriore limite di questi indici è legato al fatto che i campionamenti vengono effettuati esclusivamente lungo il canale principale dei corsi d'acqua, mentre canali secondari e siti lentici (pozze e stagni) localizzati nella piana inondabile non sono considerati. È evidente quindi che l'utilizzo esclusivo degli indici basati sugli EQB non può consentire una valutazione completa delle condizioni ecologiche dell'intero corridoio fluviale, costituito dall'alveo e dall'adiacente piana inondabile, specialmente nei tratti con morfologia transizionale o a canali intrecciati, in cui l'alveo bagnato occupa una porzione limitata del corridoio stesso.

Accanto agli EQB, altri bioindicatori sono stati utilizzati per valutare la condizione del corridoio fluviale, e tra questi possiamo ricordare la vegetazione ripariale ed i coleotteri carabidi (Boscaini *et al.*, 2000; Gumiero *et al.*, 2015). Gli Odonati (libellule) sono un altro gruppo tassonomico che è stato utilizzato per la valutazione degli ecosistemi acquatici (Simaika e Samways, 2009; Chovanec *et al.*, 2015); grazie al loro ciclo di vita anfibio, che consiste in stadi larvali acquatici e adulti volatori, forniscono informazioni sull'integrità ecologica dei siti acquatici di riproduzione e delle zone terrestri circostanti. Più in dettaglio, l'analisi delle comunità di Odonati offre indicazioni riguardo le condizioni della vegetazione (acquatica e ripariale) ed il regime idrologico dei siti riproduttivi (Chovanec *et al.*, 2004; Hardersen, 2008). Un indice basato sugli Odonati (Odonate River Index, ORI) è stato recentemente sviluppato (Golfieri *et al.*, 2016) per valutare l'integrità ecologica dell'intero corridoio fluviale, grazie al campionamento di siti lentici e lotici, nel contesto geografico dell'Italia settentrionale.

Lo scopo di questa ricerca è valutare la correlazione tra IQM e tre indici biotici, due dei quali basati sugli "elementi di qualità biologica" (ICMi per le diatomee e STAR_ICMi per i macroinvertebrati bentonici) e ORI ed identificare quali sono le alterazioni idromorfologiche che influenzano maggiormente gli indici biotici considerati.

MATERIALI E METODI

La presente ricerca ha riguardato sette fiumi italiani: tre di essi (Chiese, Sesia e Stura di Demonte) hanno origine nelle Alpi centro-occidentali, mentre gli altri (Adige, Brenta, Meduna e Tagliamento) nelle Alpi orientali (Fig. 1).

I corsi d'acqua sono stati selezionati perché presentano condizioni morfologiche, ecologiche e di impatto umano ben differenziate (Tab. I): il fiume Tagliamento e la Stura di Demonte sono caratterizzati da un elevato livello di

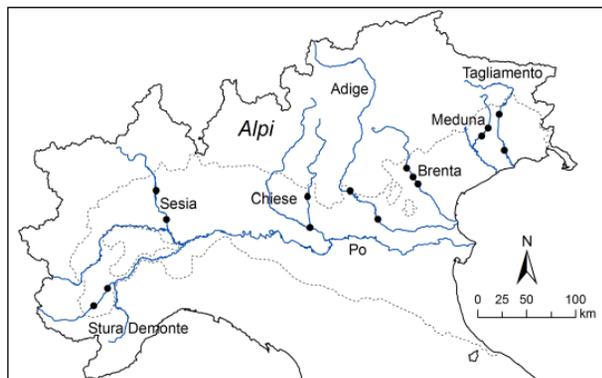


Fig. 1. Localizzazione geografica dei corsi d'acqua e dei tratti di studio, questi ultimi indicati con un cerchio nero.

naturalità (CIPRA, 1992; Tockner *et al.*, 2003), mentre Adige e Chiese presentano condizioni alterate a causa delle alterazioni del regime idrologico e di interventi diffusi di canalizzazione (Comiti, 2012; Nardini e Pavan, 2012). I fiumi Brenta, Meduna e Sesia sono caratterizzati invece da un livello intermedio di impatto umano. Complessivamente sono stati esaminati 15 tratti di studio: 3 tratti per il fiume Brenta e 2 per tutti gli altri corsi d'acqua. Tutti i tratti di studio sono localizzati nell'ambito fisiografico di pianura. Poiché i parametri fisico-chimici a sostegno della definizione dello stato ecologico dei corpi idrici indagati sono risultati in classe "elevato" o "buono" secondo l'applicazione dell'indice LIM_{eco} da parte delle Agenzie Ambientali (ARPA) delle regioni interessate, e non sono state identificate altre pressioni significative (ad es. hydropeaking o derivazioni), le alterazioni idromorfologiche possono essere ragionevolmente considerate come il maggiore impatto antropico.

I valori dell'Indice di Qualità Morfologica (IQM) e dell'indice ORI sono stati calcolati in tutti i tratti di studio. L'IQM valuta principalmente elementi e processi alla scala di tratto, includendo l'intero corridoio fluviale (alveo, piana inondabile e terrazzi recenti). Vengono

comunque considerati anche elementi alla scala di bacino (ad es. alterazioni delle portate solide e liquide da monte) e a quella di sito (ad es. condizione del substrato). L'indice è composto da 28 indicatori raggruppati in tre categorie: funzionalità geomorfologica, artificialità e variazioni morfologiche. I diversi indicatori vengono valutati sulla base di analisi di dati telerilevati e/o rilievi sul campo. Oltre al valore sintetico dell'IQM, è possibile calcolare 11 sub-indici, che esprimono la condizione di elementi specifici (ad es. artificialità, continuità longitudinale e laterale, vegetazione) e possono essere utili per identificare le principali alterazioni presenti in un tratto fluviale.

Anche l'indice ORI viene applicato a scala di tratto e richiede il campionamento di 4 siti, scelti per rappresentare la diversità degli habitat acquatici presenti nel corridoio fluviale, lungo un gradiente di connettività idrologica che va dal canale principale a pozze e stagni nella pianura alluvionale (Golfieri *et al.*, 2016). Il calcolo dell'indice ORI si basa sulle specie di Odonati considerate riproduttive nei siti di campionamento. Ogni tratto di studio è stato campionato quattro volte nel periodo compreso tra maggio e ottobre e tutti i siti di campionamento all'interno di un tratto sono stati sempre campionati nello stesso giorno. I rilievi degli Odonati sono consistiti nell'osservazione di adulti e nella raccolta di exuvie (la cuticola abbandonata dalle larve dopo la metamorfosi). Entrambi i metodi di campionamento sono stati standardizzati, dedicando a ciascuno di essi 30 minuti per ogni sito di campionamento.

I valori degli indici STAR_ICMi (Buffagni e Erba, 2007) e ICMi (Mancini e Sollazzo, 2009) sono stati forniti dalle ARPA delle regioni interessate. Sono stati considerati solamente i valori degli indici misurati in stazioni di campionamento localizzate all'interno dei tratti di studio o che si trovavano entro i 5 chilometri dai loro limiti, ovvero la lunghezza media di un tratto delimitato secondo i criteri per l'applicazione dell'IQM. Inoltre,

Tab. I. Caratteristiche fisiografiche, idrologiche e morfologiche dei fiumi di studio. Configurazione morfologica: CI: a canali intrecciati; TR: transizionale; SI: sinuosa; M: meandriforme. Substrato dominante: G: ghiaia; S: sabbia.

Fiume	Lunghezza (km)	Area bacino (km ²)	Precipitazioni medie bacino (mm/anno)	Portata media (m ³ /s)	Numero tratti di studio	Configurazione morfologica	Substrato dominante
Tagliamento	172	2580	2150	109	2	CI / M	G / S
Meduna	85	1044	1850	35	2	CI / SI	G / G
Brenta	160	1787	1386	71	3	CI / SI / M	G / S / S
Adige	410	11954	933	220	2	M / SI	G / S
Chiese	147	1523	1244	36	2	M / M	G / S
Sesia	138	3075	1234	76	2	CI / M	G / S
Stura Demonte	111	1480	1079	47	2	CI / TR	G / G

sono stati esclusi dalle analisi i valori degli indici delle stazioni di campionamento che presentano significative discontinuità di origine antropica o naturale tra la stazione stessa ed il tratto di studio, quali ad esempio dighe, traverse, confluenze e derivazioni di grande portata, scarichi di depuratori o attività produttive e variazioni nella morfologia, pendenza o substrato dominante del corso d'acqua. Per questo motivo, solamente undici valori di STAR_ICMi e nove di ICMi hanno potuto essere attribuiti ai relativi tratti di studio.

Il coefficiente di correlazione r non parametrico di Spearman è stato utilizzato per valutare le relazioni tra i tre indici biotici (ORI, STAR_ICMi ed ICMi), l'indice IQM ed i suoi sub-indici.

RISULTATI

I valori dell'IQM sono risultati compresi tra 0,46 (tratto Verona - fiume Adige), corrispondente alla classe "scadente", e 0,88 (tratto Ronchi - fiume Stura di Demonte), corrispondente ad uno stato morfologico elevato (Tab. II).

La maggior parte dei tratti di studio (10 su 15) presenta condizioni morfologiche moderate ($0,5 \leq IQM < 0,7$), mentre i restanti tre tratti analizzati sono caratterizzati da buone condizioni morfologiche ($0,7 \leq IQM < 0,85$). Le alterazioni morfologiche che influiscono maggiormente nella valutazione dei tratti di studio sono la riduzione della piana inondabile, la presenza di argini e difese spondali, il taglio della vegetazione nel corridoio fluviale e l'alterazione del trasporto solido nel bacino a monte.

I valori dell'indice ORI risultano compresi tra 0 e 1, coprendo tutte le classi di qualità con l'eccezione della

classe "scadente" ($0,2 \leq ORI < 0,4$) (Tab. II). Sei tratti hanno raggiunto uno stato "elevato" ($0,8 \leq ORI \leq 1$) o "buono" ($0,6 \leq ORI < 0,8$). Sette tratti sono caratterizzati da uno stato ecologico moderato ($0,4 \leq ORI < 0,6$), ed i due tratti rimanenti (tratto Verona - fiume Adige; tratto Montichiari - fiume Chiese) sono stati attribuiti alla classe "pessimo" ($0 \leq ORI < 0,2$). IQM e ORI presentano un'elevata e significativa correlazione ($r = 0,71$; $p = 0,003$).

I valori dell'indice STAR_ICMi sono compresi tra 0,54 (tratto Friola - fiume Brenta), corrispondente alla classe "moderato", e 0,97 (tratto Verona - fiume Adige; tratto Cervere - fiume Stura di Demonte), corrispondente alla classe "elevato" (Tab. II). La maggior parte dei tratti di studio (8 su 11), sono stati classificati come "moderato", mentre gli altri presentano condizioni ecologiche buone o elevate. Non sono state riscontrate relazioni significative tra STAR_ICMi e IQM ($r = 0,28$; $p = 0,407$), e tra STAR_ICMi e ORI ($r = 0,38$; $p = 0,251$). I valori dell'indice ICMi sono risultati compresi tra 0,84 (tratto Caresana - fiume Sesia) e 1,40 (tratto San Martino - fiume Brenta), e tutti i tratti vengono valutati in condizioni ecologiche elevate (Tab. II). L'indice ICMi non risulta correlato né con l'IQM ($r = -0,20$; $p = 0,615$), né con l'indice ORI ($r = 0,18$; $p = 0,634$).

L'indice ORI è inoltre positivamente correlato con 6 degli 11 sub-indici IQM (Tab. III). Le correlazioni più intense riguardano il sub-indice di continuità ($r = 0,76$; $p = 0,001$) e di continuità longitudinale ($r = 0,65$; $p = 0,008$). Le ulteriori correlazioni riguardano i sub-indici relativi a continuità laterale ($r = 0,54$; $p = 0,040$), funzionalità fluviale ($r = 0,56$; $p = 0,032$), artificialità ($r = 0,55$; $p = 0,033$) e vegetazione ($r =$

Tab. II. Valori dell'Indice di Qualità Morfologica e degli indici biotici ORI, STAR_ICMi e ICMi nei tratti di studio. Tra parentesi è indicata la classe di qualità: I: classe "elevato"; II: classe "buono"; III: classe "moderato"; IV: classe "scadente"; V: classe "pessimo"; ND: valore non disponibile.

Fiume	Tratto	IQM	ORI	STAR_ICMi	ICMi
Tagliamento	Carpacco	0,83 (II)	0,8 (II)	0,68 (III)	1,06 (I)
Tagliamento	Latisana	0,68 (III)	0,7 (II)	0,58 (III)	1,20 (I)
Meduna	Cordenons	0,69 (III)	0,5 (III)	0,64 (III)	0,85 (I)
Meduna	Pasch	0,65 (III)	0,7 (II)	0,68 (III)	1,39 (I)
Brenta	Friola	0,63 (III)	0,4 (III)	0,54 (III)	1,26 (I)
Brenta	San Martino	0,65 (III)	0,6 (III)	ND	1,40 (I)
Brenta	Curtarolo	0,73 (II)	0,5 (III)	ND	ND
Adige	Verona	0,46 (IV)	0 (V)	0,97 (I)	1,04 (I)
Adige	Legnago	0,58 (III)	0,5 (III)	ND	ND
Chiese	Montichiari	0,52 (III)	0,1 (V)	0,58 (III)	ND
Chiese	Acquanegra	0,65 (III)	0,6 (III)	0,65 (III)	ND
Sesia	Arborio	0,76 (II)	0,7 (II)	0,75 (II)	ND
Sesia	Caresana	0,65 (III)	0,6 (III)	0,64 (III)	0,84 (I)
Stura Demonte	Ronchi	0,88 (I)	0,7 (II)	ND	ND
Stura Demonte	Cervere	0,69 (III)	1 (I)	0,97 (I)	1,08 (I)

Tab. III. Valori del coefficiente di correlazione r di Spearman tra sub-indici IQM e gli indici biotici ORI, STAR_ICMi e ICMi. Le correlazioni statisticamente significative ($p < 0,05$) sono evidenziate in grassetto.

Sub-indice IQM	ORI		STAR_ICMi		ICMi	
	r	p	r	p	r	p
Funzionalità	0,56	0,032	0,21	0,545	-0,05	0,904
Artificialità	0,55	0,033	-0,09	0,788	0,17	0,666
Variazioni morfologiche	0,06	0,827	0,37	0,263	-0,56	0,127
Continuità	0,76	0,001	0,05	0,888	0,23	0,540
Continuità longitudinale	0,65	0,008	-0,10	0,777	-0,07	0,867
Continuità laterale	0,54	0,040	0,15	0,663	0,51	0,163
Morfologia	0,44	0,097	0,22	0,515	-0,38	0,313
Configurazione morfologica	0,35	0,204	0,10	0,770	-0,47	0,204
Configurazione della sezione	0,39	0,154	0,56	0,072	-0,71	0,038
Substrato	0,17	0,545	-0,31	0,360	0,27	0,474
Vegetazione	0,52	0,048	0,08	0,805	-0,03	0,947

0,48; $p = 0,048$). L'indice ICMi è risultato significativamente correlato, ma in maniera negativa, soltanto con il sub-indice IQM relativo alla configurazione della sezione ($r = -0,71$; $p = 0,038$), mentre l'indice STAR_ICMi non è correlato significativamente con alcun sub-indice IQM.

DISCUSSIONE

I risultati di questo studio evidenziano un'elevata correlazione tra le condizioni morfologiche (IQM) e quelle ecologiche derivanti dall'applicazione dell'indice basato sugli Odonati (ORI). Al contrario, nessuna relazione è presente tra l'IQM e gli indici basati sugli "elementi di qualità biologica" previsti dalla WFD (STAR_ICMi e ICMi). La correlazione tra IQM e ORI può essere spiegata per la corrispondenza della scala spaziale di applicazione, il tratto fluviale, e la considerazione dell'intero corridoio fluviale in entrambi gli indici. L'indice ORI prevede il campionamento di siti lotici e lentici (canale principale, canali secondari e stagni) disposti lungo un gradiente laterale, per rappresentare la variabilità degli ambienti acquatici presenti. Allo stesso modo, le condizioni della fascia perfluviale sono valutate attraverso il calcolo di alcuni indicatori IQM quali ad esempio la presenza della piana inondabile e di vegetazione nel corridoio fluviale. L'alterazione della continuità laterale, oltreché longitudinale, risulta inoltre una delle alterazioni che influiscono maggiormente sulle comunità di Odonati dei corsi d'acqua, a causa della riduzione degli habitat laterali (canali secondari e pozze) fondamentali per la loro riproduzione.

L'assenza di correlazione tra gli indici basati sugli "elementi di qualità biologica" previsti dalla WFD e le condizioni idromorfologiche dei tratti esaminati può essere probabilmente attribuita al fatto che gli indici biotici (STAR_ICMi e ICMi) e l'IQM operano ad una diversa scala spaziale: i primi alla scala di sito, IQM

alla scala di tratto. Inoltre i siti di campionamento degli indici STAR_ICMi e ICMi sono localizzati esclusivamente lungo il canale principale del corso d'acqua, mentre l'IQM, come indicato precedentemente, valuta l'intero corridoio fluviale. Un'ulteriore motivazione per la mancata correlazione può derivare dal fatto che gli indici basati sugli "elementi di qualità biologica" sono stati originariamente sviluppati per valutare una degradazione della qualità delle acque, e quindi la loro sensibilità ad altri impatti, come ad esempio l'alterazione idromorfologica, è limitata (Friberg *et al.*, 2011; Friberg, 2014). Inoltre diversi studi hanno dimostrato la tendenza dell'indice diatomico ICMi a sovrastimare le condizioni ecologiche dei corsi d'acqua (Falasco *et al.*, 2012; Orlandi *et al.*, 2012); i risultati presentati confermano i sopraddetti studi poiché tutti i tratti esaminati sono stati valutati in classe "elevato" secondo l'applicazione dell'indice ICMi. Ulteriori analisi, da svolgersi su un numero più consistente di tratti fluviali, sono però auspicabili per verificare le sopraddette ipotesi riguardanti la mancata correlazione tra gli indici basati sugli EQB e l'indice IQM.

Sulla base di questi risultati si sottolinea quindi la necessità di utilizzare indici adeguati, in termini di scale spaziali, temporali, e di sensibilità, rispetto alle diverse pressioni antropiche che devono essere rilevate. Si ritiene che solamente l'integrazione degli EQB con indici che operano alla scala di tratto, considerando l'intero corridoio fluviale, come IQM ed ORI, possa consentire una valutazione complessiva ed adeguata delle condizioni ecologiche dei corsi d'acqua, necessaria per definire appropriate misure di gestione e di riqualificazione fluviale.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Claudia Orlandi per gli utili suggerimenti che hanno permesso di migliorare il manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- Belletti B., Rinaldi M., Buijse A.D., Gurnell A.M., Mosselman E., 2015. A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences*, **73**: 2079-2100.
- Boscaini A., Franceschini A., Maiolini B., 2000. River ecotones: carabid beetles as a tool for quality assessment. *Hydrobiologia* **422/423**: 173-181.
- Brierley G.J., Fryirs K.A., 2005. *Geomorphology and river management: applications of the river style framework*. Blackwell, Oxford, 398 pp.
- Buffagni A., Erba S., 2007. Intercalibrazione e classificazione di qualità ecologica dei fiumi per la 2000/60/EC (WFD): l'indice STAR_ICMi. *Notiziario dei Metodi Analitici* **1**: 94-100.
- CIPRA, 1992. *Gli ultimi fiumi naturali delle Alpi*. Cipra, Vaduz, 71 pp.
- Chovanec A., Waringer J., Raab R., Laister G., 2004. Lateral connectivity of a fragmented large river system: assessment on a macroscale by dragonfly surveys (Insecta: Odonata). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **14**: 163-178.
- Chovanec A., Schindler M., Waringer J., Wimmer R., 2015. The Dragonfly Association Index (Insecta: Odonata) – A tool for type-specific assessment of lowlands rivers. *River Research and Applications* **31**: 627-638.
- Comiti F., 2012. How natural are Alpine mountain rivers? Evidence from the Italian Alps. *Earth Surface Processes and Landforms* **37**: 693-707.
- Dahm V., Hering D., Nemitz D., Graf W., Schmidt-Kloiber A., Leitner P., Melcher A., Feld C.K., 2013. Effects of physico-chemistry, land use and hydromorphology on three riverine organism groups: a comparative analysis with monitoring data from Germany and Austria. *Hydrobiologia* **704**: 389-415.
- Falasco E., Mobili L., Risso A.M., Bona F., 2012. Considerazioni sull'applicazione dell'indice diatomo ICMi (Intercalibration Common Metric index) nell'Italia nordoccidentale. *Biologia Ambientale* **26**: 21-28.
- Friberg N., 2014. Impacts and indicators of change in lotic ecosystems. *WIREs Water* **1**, 513-531.
- Friberg N., Bonada N., Bradley D.C., Dunbar M.J., Edwards F.K., Grey J., Hayes, R.B., Hildrew, A.G., Lamouroux, N., Trimmer, M., Woodward, G., 2011. Biomonitoring of human impacts in natural ecosystems: the good, the bad, and the ugly. *Advances in Ecological Research* **44**: 2-49.
- Fryirs K.A., Arthington A., Grove J., 2008. Principles of river condition assessment. In: Brierley G., Fryirs K.A. (eds.), *River futures. An integrative scientific approach to river repair*. Island Press, Washington: 100-124.
- Golfieri B., Hardersen S., Maiolini B., Surian N., 2016. Odonates as indicators of the ecological integrity of the river corridor: development and application of the Odonate River Index (ORI) in northern Italy. *Ecological Indicators* **61**: 234-247.
- Gumiero B., Rinaldi M., Belletti B., Lenzi D., Puppi G., 2015. Riparian vegetation as indicator of channel adjustments and environmental conditions: the case of the Panaro River (Northern Italy). *Aquatic Sciences* **77**: 563-582.
- Hardersen S., 2008. Dragonfly (Odonata) communities at three lotic sites with different hydrological characteristics. *Italian Journal of Zoology* **75**: 271-283.
- Mancini L., Sollazzo C., 2009. *Metodo per la valutazione dello stato ecologico delle acque correnti: comunità diatomoiche*. Istituto Superiore di Sanità (Rapporti ISTISAN 09/19), Roma, 32 pp.
- Nardini A., Pavan S., 2012. What river morphology after restoration? The methodology VALURI. *International Journal of River Basin Management* **10**: 29-47.
- Orlandi C., Favrin G., Skert N., Codarin A., Macor A., Meloni C., Pavan A., Piazza G., Rancati E., Sinesi A., Virgilio D., Zanut E., Zorza R., 2012. Considerazioni sull'applicazione degli indici per la valutazione dello stato ecologico delle acque superficiali interne del Friuli Venezia Giulia. *Biologia Ambientale* **26**: 15-20.
- Raven P.J., Fox P.J.A., Everard M., Holmes N.T.H., Dawson F.H., 1997. River habitat survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality. In: Boon P.J., Howell D.L., (eds.), *Freshwater Quality: Defining the Indefinable?* Scottish Natural Heritage, The Stationery Office, Edinburgh: 215-234.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M., 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology* **180-181**: 96-108.
- Simaika J.P., Samways M.J., 2009. An easy-to-use index of ecological integrity for prioritizing freshwater sites and for assessing habitat quality. *Biodiversity and Conservation* **18**: 1171-1185.
- Tockner K., Ward J.V., Arscott D.B., Edwards P.J., Kollmann J., Gurnell A.M., Petts G.E., Maiolini B., 2003. The Tagliamento River: a model ecosystem of European importance. *Aquatic Sciences* **65**: 239-253.