

# Specie aliene nei corsi d'acqua della Liguria: influenza sui risultati degli indicatori biologici e proposta di un indice di alloctonia. Parte 1 - Presupposti e costruzione dell'indice

Marco Bodon<sup>1\*</sup>, Sara Costa<sup>2</sup>, Anna Maria Risso<sup>2</sup>, Federica Morchio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> c/o Museo di Storia Naturale, Sezione di Zoologia de "La Specola", SMA, Università di Firenze, Via Romana 17 – 50125 Firenze.

<sup>2</sup> Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure (ARPAL), Direzione Scientifica, Via Bombrini 8 – 16149 Genova.

\* Referente per la corrispondenza: e-mail bodonm0@gmail.com

Pervenuto il 19.2.2021; accettato il 15.5.2021

## Riassunto

La problematica relativa alle specie aliene nell'ambiente acquatico desta continue preoccupazioni, ma è ancora fortemente sottostimata nella valutazione della qualità biologica dei corsi d'acqua. Considerata la crescita esponenziale delle specie aliene nei corsi d'acqua, è ormai inevitabile considerare anche questa componente nelle valutazioni della qualità ambientale. Nel presente lavoro viene verificata l'influenza dei taxa alieni sulle comunità dei macroinvertebrati, diatomee, macrofite acquatiche e riparie, ittiofauna, in relazione allo stato di qualità che deriva dall'applicazione degli indici biologici del D.M. 260/2010 sui corpi idrici monitorati in Liguria. Si evidenzia una debole correlazione tra lo stato di qualità di alcuni Elementi di Qualità Biologica (EQB), in particolare per il macrobenthos e l'ittiofauna, e la presenza/abbondanza di specie alloctone, che spesso sono sintomo di una degradazione dell'ecosistema acquatico che ne favorisce la diffusione. Considerando che gli indici attualmente in uso non sono sufficienti per valutare questo aspetto, vengono proposti alcuni semplici algoritmi, derivati da indici applicati in articoli recenti, per la stima dell'impatto dei taxa alieni sulle comunità acquatiche, che permettono di integrare il giudizio di qualità ambientale con quello di alloctonia.

PAROLE CHIAVE: specie aliene / comunità biologiche dei corsi d'acqua / indici di qualità e di alloctonia / Liguria

## Alien species in the Ligurian watercourses: their influence over the biological quality indexes and proposal of an alien species index

The presence of alien species into the aquatic environments is a problem that continuously bring concern but it is still strongly underestimated during the evaluation of the biological quality of watercourses. Given the exponential growth of alien species number in watercourses, it is essential to consider even this component during environmental quality evaluations. In the present work the influence of alien taxa over freshwater communities (macroinvertebrates, diatoms, aquatic and riparian macrophytes and fish) is verified in the monitored Ligurian water bodies, related to the quality status coming from the application of the biological indexes of D.M. 260/2010. It is highlighted a weak correlation between the status of some Biological Quality Elements (BQE), especially for the macrobenthos and the fish community, and the presence/abundance of alien species, which are often a symptom of a water ecosystem degradation favouring their spread. Because the indexes currently used are not sufficient to evaluate this aspect, some simple algorithms (derived from indexes applied in recent articles) are proposed to estimate the impact of the alien species over the water communities. This will help to integrate the environmental quality judgment with aliens.

KEY WORDS: alien species / freshwater biological communities / biological quality and alien species indexes / Liguria

## INTRODUZIONE

La Direttiva 2000/60/CE, nota come Direttiva Quadro per le Acque, rappresenta il più importante atto legislativo comunitario sulla tutela degli ambienti acquatici. La Direttiva persegue obiettivi ambiziosi: prevenire il deterioramento qualitativo e quantitativo delle acque, migliorarne lo stato e assicurare un utilizzo sostenibile della risorsa. L'aspetto maggiormente innovativo consiste tuttavia nell'aver posto al centro dell'attenzione le comunità biologiche degli ecosistemi acquatici che vengono valutate attraverso la struttura (composizione e abbondanza). Gli Elementi di Qualità Biologica (EQB) assumono di fatto un ruolo fondamentale nella valutazione della qualità delle acque, mentre i parametri fisico-chimici (macrodescrittori e alcune sostanze chimiche), vengono considerati "a sostegno" degli elementi biologici nel giudizio di qualità per lo Stato Ecologico. Lo stato delle acque superficiali risulta quindi essere l'espressione complessiva della comunità, determinato, di fatto, dal valore peggiore delle diverse componenti biologiche.

In Italia, gli indici biologici previsti dalla normativa per la valutazione della qualità dei corpi idrici (D.Lgs. 152/1999 e D.M. 260/2010), in recepimento della Direttiva Quadro per le Acque, non prevedono (ad eccezione dell'ittiofauna) l'integrazione del parametro "alloctonia" ai fini del giudizio di qualità. Eppure un ambiente degradato, dove le specie aliene hanno un ruolo consistente o rilevante nella comunità, non dovrebbe essere valutato alla pari di un ambiente che ospita solo comunità autoctone. Il giudizio complessivo andrebbe quindi riconsiderato affiancando il giudizio di qualità con un indice di alloctonia (IA) del corpo idrico, basato sulla presenza e abbondanza di specie aliene.

L'introduzione e la diffusione di specie animali e vegetali alloctone rappresenta una delle principali minacce per la conservazione della biodiversità. In particolare, gli ambienti idrici sono tra gli ecosistemi più vulnerabili da parte di specie aliene che trovano, soprattutto in quelli più degradati, condizioni idonee ad una colonizzazione massiva. I corsi d'acqua della Liguria, soprattutto nei tratti inferiori e terminali, sono soggetti a molti fattori di degrado: inquinamento organico o chimico, alterazione idromorfologica per la costruzione di briglie, arginature o difese spondali, manutenzione irrazionale degli alvei con distruzione totale della vegetazione e continui rimaneggiamenti dei sedimenti, prelievi idrici eccessivi che portano a secche sempre più prolungate, dovute, negli ultimi anni, anche a un calo della piovosità a causa dei cambiamenti climatici. Tutto ciò ha favorito l'insediamento e la diffusione di specie alloctone invasive, molto adattabili, anche a seguito della forte antropizzazione del territorio e della mancanza di una legislazione e sorveglianza adeguata.

Numerose specie aliene sono presenti nella componente macrobentonica dei corsi d'acqua italiani (Gherardi *et al.*, 2008, 2010) e liguri (Costa *et al.*, 2017, 2019). Molte di queste sono comparse solo recentemente e hanno dato luogo, talvolta, a colonizzazioni massive; il problema non è molto percepito poiché la maggior parte delle specie sono di piccole dimensioni. Inoltre alcune di esse non sono adeguatamente conosciute nella loro frequenza e diffusione, a causa della difficile identificazione, mentre il livello standard di riconoscimento per l'applicazione degli indici richiesti dalla normativa si ferma a gruppi (Unità Sistematiche) di livello superiore.

Per le diatomee le specie ritenute alloctone sono sovente di difficile riconoscimento e passano inosservate, a parte *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt, 1899, che può assumere un aspetto invasivo contribuendo a formare feltri molto consistenti che ricoprono i substrati sommersi (Falasco e Bona, 2013).

Sulle macrofite il problema è stato sottovalutato. Mentre le specie acquatiche alloctone al momento presenti negli ambienti lotici della Liguria sono poche, anche perché gli habitat rhithrali, che caratterizzano la quasi totalità dei corsi d'acqua della regione, sono poveri di fanerogame acquatiche, al contrario le specie riparie alloctone sono numerose e consistenti, favorite dalla degradazione e dagli interventi sugli alvei fluviali (Celesti-Grappow *et al.*, 2010).

Per l'ittiofauna il problema è ancora più serio, anche se in Liguria le comunità ittiche non sono così alterate come in altre regioni del nord e centro Italia. Ciononostante, anche in Liguria sono ormai presenti numerose specie alloctone, a causa di irrazionali e continui ripopolamenti e di una gestione della pesca che non punta verso una tutela di questa componente ma verso uno sfruttamento turistico (Ciuffardi *et al.*, 2015; Baldaccini e Ercolini, 2016).

La diffusione di specie alloctone, in particolare di quelle invasive, può quindi alterare lo stato delle comunità e tale pressione deve essere valutata separatamente dallo stato di qualità ambientale (Cardoso e Free, 2008). Recentemente sono stati proposti alcuni indici per la valutazione della pressione biologica da parte delle specie aliene, ma parte di questi sono applicabili solo agli ambienti marini o valutano il rischio o l'impatto delle singole specie (Olein *et al.*, 2007; Çinar e Bakir, 2014; Ferrario *et al.*, 2017). Pochi altri lavorano sull'intera comunità e sono applicabili ai dati raccolti nell'ambito dei monitoraggi routinari in ambienti lotici. Tra questi, l'indice SBCI per il macrobenthos (Indice Sito-specifico di Biocontaminazione; Arbačiauskas *et al.*, 2008) e l'indice CIF per la fauna ittica (Coefficiente di Integrità Faunistica; Bianco, 1995), ancora di limitata applicazione in Italia (Bianco e Frezza, 2011; Bianco e Santoro, 2011; Paganelli *et al.*, 2018).

L'insediamento e la diffusione delle specie alloctone

sollevano i seguenti interrogativi:

- gli indici o i sub-indici attualmente utilizzati per la valutazione dello stato di qualità sono comunque sensibili alla presenza/abbondanza delle specie alloctone?
- la presenza/consistenza dei taxa alloctoni influenza gli indici in modo diretto, attraverso l'algoritmo di calcolo, o in modo indiretto, a causa del legame tra questi e la degradazione ambientale?
- lo scadimento di qualità dipende principalmente dalle specie alloctone, che insediandosi modificano la comunità a causa di una competizione tra le specie o per altre interferenze biologiche, o deriva semplicemente dall'associazione tra uno stato ambientale già degradato e la presenza/abbondanza di specie alloctone?

Scopo del presente lavoro è quello di tentare di valutare l'influenza delle specie alloctone nel giudizio di qualità dei corpi idrici, analizzando i valori degli indici e sub-indici degli EQB, di proporre semplici algoritmi per la valutazione della pressione da parte delle specie aliene e di verificarne la possibilità di utilizzo in relazione agli indici già sviluppati su questa tematica. Inoltre, nella seconda parte (di prossima pubblicazione), verranno riportati alcuni esempi di calcolo su diverse matrici e, per facilitare l'attribuzione delle Unità Sistematiche del macrobenthos alle rispettive categorie, verranno forniti un elenco aggiornato dei taxa segnalati in Italia, un elenco referenziato delle relative specie alloctone e alcune chiavi tassonomiche per la determinazione delle specie alloctone.

## MATERIALI E METODI

I dati relativi al macrobenthos, diatomee, macrofite e fauna ittica nei corsi d'acqua della Liguria sono stati raccolti in numerose campagne di monitoraggio, realizzate dal personale dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure (ARPAL) e da consulenti esterni dell'Osservatorio Ligure Pesca e Ambiente (OLPA), in base a specifiche convenzioni. Le campagne sono state effettuate a partire dal 2007 per il macrobenthos, dal 2008 per le diatomee, dal 2005 per le macrofite e dal 2014 per la fauna ittica; per queste componenti si dispone, rispettivamente, di 1193, 691, 564 e 50 campionamenti su 190, 184, 182 e 50 stazioni; i dati considerati includono tutti i campionamenti fino al 2018 per le diatomee e fino al 2019 per le altre componenti.

I campionamenti per il macrobenthos, finalizzati all'applicazione dell'indice STAR\_ICMi (Buffagni e Erba, 2007b), sono stati effettuati secondo il metodo multihabitat-proporzionale e la procedura standardizzata su una superficie di 1 m<sup>2</sup>, preferibilmente su raschio (Buffagni e Erba, 2007a, 2014; Buffagni *et al.*, 2014); i taxa, determinati a livello di unità sistematiche IBE (Ghetti, 1997) e raggruppati a livello di famiglia, sono

stati processati con il software MacrOper (Buffagni e Belfiore, 2013). Per i campionamenti e la preparazione dei vetrini per le diatomee sono state osservate le procedure stabilite dal protocollo ISPRA (Mancini *et al.*, 2014); per l'elaborazione dei dati e il calcolo degli indici è stato utilizzato il software OMNIDIA 2015 (versione 5.0) per i dati 2015-2018, mentre per i primi anni sono state usate versioni precedenti. Per le macrofite si è seguito il protocollo di campionamento ISPRA (Minciardi *et al.*, 2014), generalmente su un tratto di 100 m di lunghezza comprendente raschi e pozze; per il calcolo dell'IBMR (Hauray *et al.*, 2006) i dati sono stati caricati e processati da un software realizzato da ARPAL. Anche i campionamenti di fauna ittica sono stati realizzati con la metodica di base suggerita da ISPRA (Macchio e Rossi, 2014), anche se lievemente semplificata, su un tratto di ca. 500-1500 m<sup>2</sup>, mentre il calcolo dell'Indice Ittico NISECI (Macchio *et al.*, 2017) è stato effettuato mediante un software realizzato da OLPA.

La presenza e consistenza di specie aliene è stata valutata mediante semplici elaborazioni sui dati disponibili da parte dell'ARPAL. I parametri utilizzati per la verifica dell'impatto delle specie si basano sul numero e sul rapporto in percentuale, sia dei taxa, sia degli esemplari. In particolare, per ciascuna componente sono stati scelti quelli disponibili per ogni metodica di campionamento.

Parametri utilizzati per il macrobenthos:

- N° dei taxa alieni;
- N° di taxa alieni / N° totale di taxa presenti, in %;
- N° di esemplari alieni;
- N° esemplari alieni / N° esemplari totali, in %.

Alcuni taxa, determinati a livello di Unità Sistematiche (US) per l'IBE, in Liguria non comprendono solo specie autoctone o solo specie aliene ma entrambe, e quindi il numero di specie aliene o autoctone non corrisponde esattamente al numero delle US. Dal momento che non è stato sempre possibile determinare tutti questi campioni a livello specifico, è stata adottata la seguente approssimazione: le US che includono sia specie aliene che specie autoctone sono state considerate come aliene qualora accertata la presenza di almeno una specie aliena nell'ambito della US; se invece non sono state rilevate specie aliene o le US non sono state determinate a livello specifico, sono state considerate come autoctone.

Parametri utilizzati per le diatomee:

- N° di specie aliene;
- N° di specie aliene / N° totale delle specie presenti, in %;
- N° di valve delle specie aliene / N° totale di valve delle specie presenti, in %.

Non è stato considerato il solo numero delle valve delle specie aliene in quanto il campionamento delle diatomee non è quantitativo ma riferito sempre ad un

campione di ca. 400 valve.

Parametri utilizzati per le macrofite:

- N° dei taxa alieni acquatici;
- N° dei taxa alieni acquatici / N° totale dei taxa acquatici presenti, in %;
- Copertura assoluta dei taxa alieni acquatici;
- Copertura relativa in % dei taxa alieni acquatici (somma delle coperture relative dei taxa alieni);
- N° delle specie aliene dominanti di sponda;
- N° delle specie aliene dominanti di sponda / N° totale delle specie dominanti di sponda, in %;
- Copertura relativa in % dei taxa alieni nel corridoio fluviale (media della % sulle due rive).

Per le macrofite sono quindi disponibili sia i taxa (generi o specie) presenti in acqua (rilievo vero e proprio), sia le specie dominanti nel corridoio fluviale e quelle aliene nella sponda, rilievo accessorio, anche se sommario, previsto dalla metodica di campionamento (Minciardi *et al.*, 2014). Come specie alloctone sono state considerate anche le transfaunate in Liguria, secondo le liste di Celesti-Gradow (2010).

Parametri utilizzati per l'ittiofauna:

- gli stessi utilizzati per il macrobenthos, ma a livello di specie.

L'indice ittico NISECI (Macchio *et al.*, 2017), che rappresenta la versione migliorata e intercalibrata dell'I-SECI (Zerunian *et al.*, 2009), è stato adattato alle zone ittiche proprie della regione Liguria, in base a recenti contributi scientifici (Ciuffardi *et al.*, 2015). Per la lista dell'ittiofauna italiana, sia autoctona che alloctona, sono stati considerati i recenti aggiornamenti (Bianco, 2014; Fortini, 2016), mentre tra le specie alloctone sono state incluse anche le specie transfaunate comprese negli elenchi del NISECI (Macchio *et al.*, 2017).

Per ciascuna componente, i parametri sulle specie aliene sono stati calcolati tramite l'implementazione di apposite query dai data-base realizzati per l'archiviazione dei dati. I risultati di questi parametri sono stati messi in relazione con i valori degli indici biologici calcolati come previsto dal D.M. 260/2010. Nei casi in cui l'indice biologico risulta composto da due (diatomee) o più (macrobenthos, ittiofauna) sub-indici, anch'essi sono stati messi in relazione con i risultati dei parametri sulle specie alloctone. È stato considerato anche il parametro relativo alle dimensioni del bacino sotteso, secondo le classi stabilite dal D.M. 260/2010, considerando anche una classe (bacino molto piccolo) inferiore alle dimensioni minime (10 km<sup>2</sup>) generalmente stabilite per la tipizzazione.

La correlazione tra i diversi parametri e gli indici o sub-indici è stata evidenziata tramite regressione lineare (una linea di tendenza di altro tipo sarebbe troppo influenzata dal numero inferiore di dati per i livelli estremi dei range) e il livello di significatività  $p$  è stato verificato attraverso il coefficiente di determinazione

$R^2$  della regressione, mediante la formula seguente:

$$p = t \left( \sqrt{\frac{R^2 \cdot v}{(1 - R^2) \cdot v}} \right)$$

dove  $v$  denota il numero di gradi di libertà e dove  $t(x, v)$  denota il valore della distribuzione  $t$  a due code con  $v$  gradi di libertà calcolata in  $x$ .

Il valore di  $R^2$  è stato quindi utilizzato per comparare la forza della correlazione tra i diversi parametri.

Inoltre, sono state effettuate alcune verifiche sulla corrispondenza del livello di significatività attraverso il coefficiente di determinazione  $R^2$  della regressione e il coefficiente  $r$  di correlazione di Pearson, coadiuvato attraverso il  $t$  test.

La metrica qui utilizzata per la formulazione dell'Indice di Alloctonia (IA) deriva da quella proposta da Arbačiauskas *et al.* (2008) nella costruzione dell'indice sito-specifico di biocontaminazione (SBCI), applicato proprio per la valutazione della pressione dovuta alla presenza e abbondanza dei taxa alieni macrobentonici. L'indice SBCI si basa su una tabella a doppia entrata composta da due sub-indici: l'indice di abbondanza di contaminazione (ACI, calcolato in base alla percentuale di esemplari alloctoni sul totale degli esemplari) e l'indice di ricchezza di contaminazione (RCI, calcolato in base alla percentuale delle Unità Sistematiche aliene sul totale delle Unità Sistematiche). L'indice SBCI si ricava dal valore peggiore tra l'ACI e l'RCI ed è espresso come classe di qualità da 0 (assenza di biocontaminazione) a 4 (massima biocontaminazione). Allo scopo di confrontare i risultati delle metriche in esame con l'indice SBCI, quest'ultimo è stato calcolato, oltre che sulle classi proposte dall'autore (aumentate di una unità, in modo da ottenere un range da 1 a 5, anziché da 0 a 4, così immediatamente paragonabile alle classi di qualità utilizzate per gli altri EQB), anche su una scala continua di valori, prendendo sempre il valore peggiore tra i due sub-indici che lo compongono.

È stato effettuato anche un confronto con il Coefficiente di Integrità Faunistica (CIF) di Bianco (1995), indice utilizzato per la valutazione della componente ittica, che restituisce però il valore in sole tre classi di qualità, qui considerate come elevata + buona, moderata, scarsa + cattiva. Inoltre, per verificare l'incidenza dell'impatto dell'inquinamento organico sui diversi indici di qualità ambientale e di alloctonia, è stato utilizzato anche il LIMeco, indice del D.M. 260/2010 basato esclusivamente sui parametri fisico-chimici. Il LIMeco è stato calcolato per ciascuna stazione, sulla media delle medie triennali per il periodo 2009-2019, dato che i valori triennali presentano una sensibile variabilità dovuta al basso numero di campionamenti annui (generalmente 4)

previsti dalla normativa.

Per verificare la correlazione della scala dei valori tra un nuovo indice per la valutazione della componente aliena e i due indici SBCI e CIF è stata utilizzata la regressione lineare in modo ortogonale alla retta (minima distanza quadratica ortogonale tra i punti e la retta), al fine di svincolare la dipendenza di una variabile (IA) rispetto all'altra (SBCI o CIF).

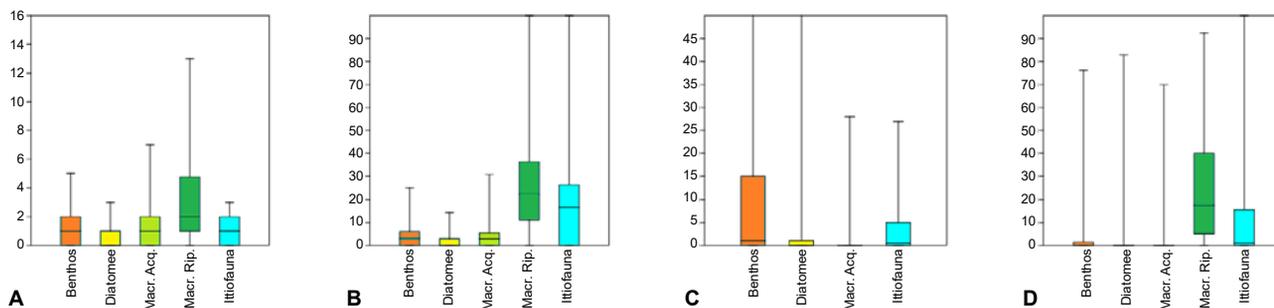
## RISULTATI: RELAZIONE TRA LA COMPONENTE ALLOCTONA E GLI INDICI BIOLOGICI DI QUALITÀ AMBIENTALE

### Macrobenthos

Diverse specie alloctone sono state accertate durante i monitoraggi macrobentonici nei corsi d'acqua della Liguria, almeno 13 sulle 21 specie segnalate negli ambienti acquatici della regione (Costa *et al.*, 2017). Alcuni taxa alloctoni sono relativamente semplici da individuare in base alle Unità Sistematiche (US) a livello di IBE, quando queste comprendono, in Italia o almeno in Liguria, solo specie alloctone, come i Tricladi del genere *Girardia*, gli Oligocheti Ocnerothricidae e Acanthodrilidae, gli Irudinei dei generi *Barbronia* e *Piscicola*, i Molluschi Physidae (in Liguria presenti solo con il genere *Physella*) e i Decapodi Cambaridae. Altre specie alloctone sono identificabili con maggiore difficoltà, perché richiedono un approfondimento delle US a livello di genere o di specie, come il genere *Branchiura* tra gli Oligocheti Tubificidae, la specie *Gyraulus chinensis* (Dunker, 1848) tra i Gasteropodi Planorbidae o il genere *Pacifastacus* tra i Decapodi Astacidae. Poiché manca una rassegna aggiornata dei taxa macrobentonici alloctoni (rispetto ai manuali di Sansoni, 1988; Campioli *et al.*, 1994, 1999; e la sintesi riportata in Gherardi *et al.*, 2008), nella seconda parte (in preparazione) verranno elencate le Unità Sistematiche delle acque interne contrassegnando quelle che presentano specie alloctone segnalate in Italia, con la letteratura relativa e con alcune chiavi di determinazione.

La componente alloctona macrobentonica non rappresenta, negli ambienti reofili della Liguria, una frazione rilevante della comunità, considerando che i corsi d'acqua, a carattere quasi sempre rithrale, hanno un popolamento dominato da larve di insetti, che non presenta taxa alieni. Tra le diverse espressioni prese in considerazione per la componente aliena, forse il numero di esemplari è quello che registra un peso maggiore, ma il numero di esemplari totali è decisamente alto per il macrobenthos, e quindi la percentuale di esemplari alieni mediamente è molto bassa (Fig. 1).

L'indice utilizzato per il macrobenthos, lo STAR\_ICMi (Buffagni e Erba, 2007b) non considera tra i parametri di valutazione dello stato di qualità l'autoctonia/alloctonia dei taxa appartenenti alle famiglie utilizzate per il calcolo dell'indice. Alcune Unità Sistematiche alloctone non vengono proprio considerate in quanto appartenenti a famiglie (Acanthodrilidae, Ocnerothricidae, Cambaridae) non comprese nella lista faunistica utilizzata dal software MacrOper per il calcolo dell'indice (Buffagni e Belfiore, 2013), mentre altri taxa alloctoni (*Girardia*, *Branchiura*, Tateidae, *Gyraulus chinensis*, *Sinanodonta*, *Pacifastacus*) sono inclusi entro unità sistematiche più ampie (rispettivamente Dugesidae, Planorbidae, Tubificidae, Hydrobioidea, Unionidae, Astacidae) e quindi non vengono distinti dai taxa autoctoni. Solo poche famiglie comprendenti unicamente specie alloctone (Piscicolidae, Safilidae, Physidae) sono considerate comunque per il loro valore come indicatore. L'indice STAR\_ICMi è composto da diverse metriche, assemblate tra loro con pesi differenti. Le metriche comprendono sei sub-indici: Average Score Per Taxon (ASPT-2), Log (Sel\_EPTD+1), 1-GOLD, Numero totale di famiglie, Numero di famiglie EPT, Indice di diversità di Shannon-Wiener (Shannon, 1948; Armitage *et al.*, 1983; Buffagni *et al.*, 2004; Pinto *et al.*, 2004; Buffagni e Erba, 2007b; Spitale, 2017). Il primo sub-indice viene indicato come metrica di tolleranza, il secondo e terzo come metriche di abbondanza/habitat, e i restanti come metriche di ricchezza/diversità (Buffagni e Erba, 2007b).

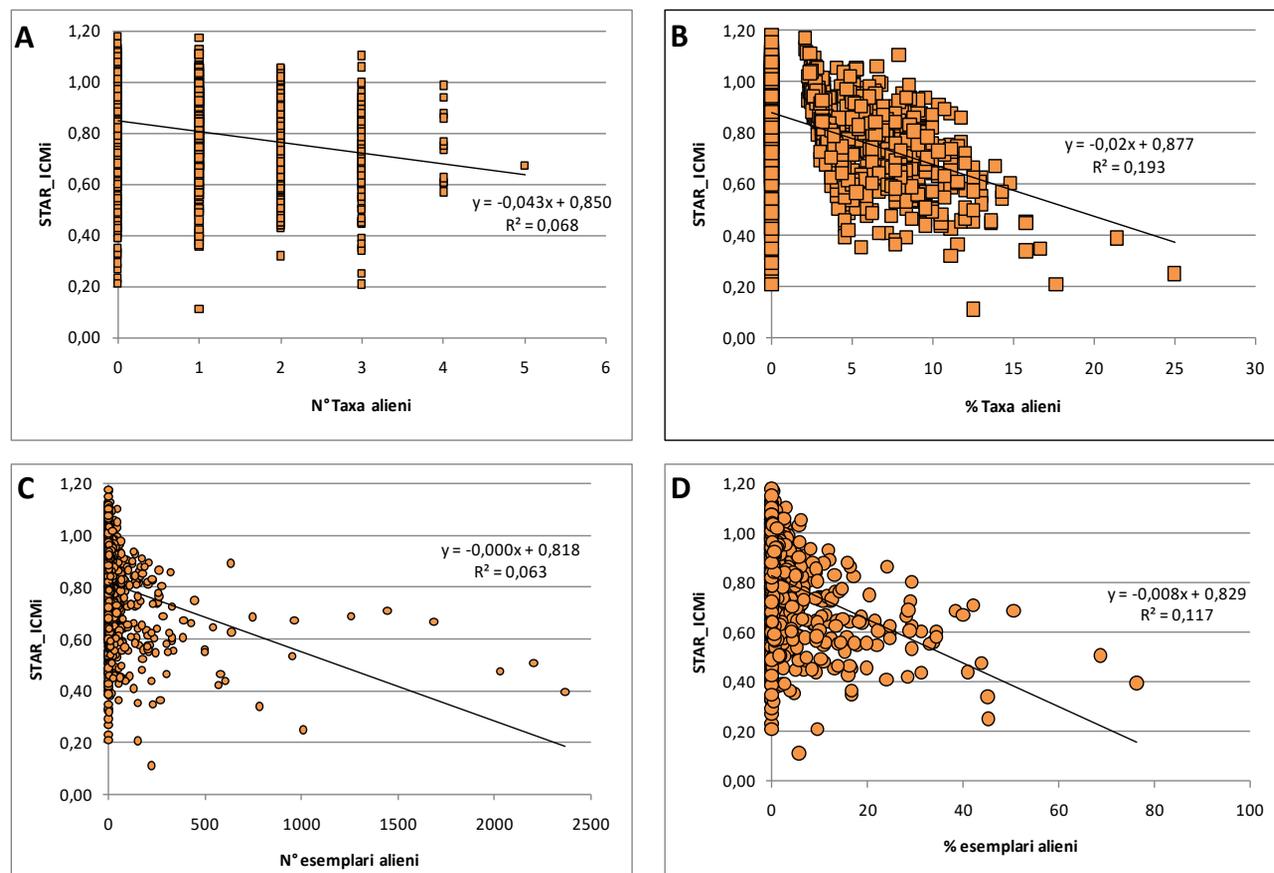


**Fig. 1.** Box-plot relativo alla componente aliena (valore mediano, 25° e 75° percentile, rappresentati dai rettangoli e range, visualizzato dalle linee) considerata in base al numero di taxa (A), alla percentuale di taxa (B), al numero di esemplari (numero di valve per le diatomee; copertura assoluta per le macrofite; C) e alla percentuale di esemplari (percentuale di valve per le diatomee; copertura relativa per le macrofite; D) per i comparti biologici considerati in base ai campionamenti nei corsi d'acqua della Liguria.

In realtà, a parte i sub-indici che valutano la diversità senza tenere conto del tipo di organismo (Numero totale di Famiglie e Indice di diversità di Shannon-Wiener), gli altri integrano fattori di ricchezza con sensibilità, in quanto basati sul numero di taxa in relazione alla

sensibilità (ASPT-2), sul numero/abbondanza dei taxa sensibili (Log (Sel\_EPTD+1) e sul numero di famiglie sensibili (EPT) o tolleranti (1-GOLD).

Analizzando i risultati sul macrobenthos tra i valori dell'indice STAR\_ICMi e la componente aliena, si os-



**Fig. 2.** Regressione lineare e coefficiente di determinazione  $R^2$  tra l'indice macrobentonico STAR\_ICMi e la componente aliena, considerata in base al numero di taxa (A), alla percentuale di taxa (B), al numero di esemplari (C) e alla percentuale di esemplari (D).

**Tab. I.** Significatività e forza della correlazione, espressa attraverso il valore del coefficiente di determinazione  $R^2$ , tra i diversi indici o sub-indici, applicati ai dati complessivi o parziali (Bmp+Bpi: bacini molto piccoli e piccoli; Bme+Bgr: bacini medi e grandi) e i parametri per la valutazione della componente alloctona sul macrobenthos. In nero valori altamente significativi ( $p < 0,01$ ); in blu significativi ( $p < 0,05$ ); in rosso non significativi ( $p > 0,05$ ). In grassetto i sub-indici influenzati, almeno parzialmente, dai taxa alloctoni; in campo bianco i sub-indici che lavorano solo sulla presenza/assenza; in campo grigio quelli che considerano anche i valori quantitativi.

BENTHOS	N° dati	N Taxa Alieni	% Taxa Alieni	N Es Alieni	% Es Alieni
STAR_ICMi	1193	<b>-0,0681</b>	<b>-0,1937</b>	<b>-0,0630</b>	<b>-0,1175</b>
STAR Bmp+Bpi	872	<b>-0,0638</b>	<b>-0,1758</b>	<b>-0,0665</b>	<b>-0,1322</b>
STAR Bme+Bgr	321	<b>-0,0598</b>	<b>-0,2095</b>	<b>-0,0530</b>	<b>-0,0862</b>
RQE_ASPT	1193	<b>-0,2337</b>	<b>-0,3691</b>	<b>-0,1188</b>	<b>-0,2052</b>
Log Sel	1193	<b>-0,1402</b>	<b>-0,2366</b>	<b>-0,0465</b>	<b>-0,1053</b>
<b>1-GOLD</b>	1193	<b>-0,0328</b>	<b>-0,0694</b>	<b>-0,0672</b>	<b>-0,0714</b>
N Tot Fam	1193	<b>0,0311</b>	<b>-0,0019</b>	<b>-0,0009</b>	<b>-0,0044</b>
N Fam EPT	1193	<b>-0,0553</b>	<b>-0,1588</b>	<b>-0,0504</b>	<b>-0,1049</b>
<b>ID Shannon</b>	1193	<b>0,0025</b>	<b>-0,0108</b>	<b>-0,0203</b>	<b>-0,0102</b>

serva una correlazione negativa (a valori più alti della componente aliena corrispondono valori più bassi, quindi peggiori, relativi allo stato ambientale), sempre altamente significativa ( $p\text{-value} < 0,01$ ) sia con il numero di taxa alieni, che con la % di questi, con il numero di esemplari alieni o con la % degli esemplari alieni (Fig. 2; Tab. I). Nonostante la marcata significatività, che è comunque influenzata positivamente dal numero molto alto di campioni analizzati, la dispersione dei punti è notevole, come rilevato dai valori decisamente bassi del coefficiente di determinazione  $R^2$ , un po' più alti, comunque, sulle componenti in percentuale. Si osserva anche un valore di  $R^2$  leggermente più alto per la % di taxa rispetto alla % degli esemplari, ma questo risultato è abbastanza ovvio dato che le metriche che compongono lo STAR\_ICMi lavorano poco sui dati quantitativi.

Separando i campionamenti sia in base alla tipologia che alla classe di qualità derivata dall'indice STAR\_ICMi e considerando la percentuale di taxa alloctoni o quella degli esemplari alloctoni, si osserva un sensibile aumento della componente alloctona in relazione a entrambi questi fattori (Fig. 3). È quindi evidente un maggiore insediamento dei taxa alieni sia nelle situazioni di alterazione delle acque sia nelle tipologie iporhithrali ed epipotamali; ciò è conforme alle aspettative dal momento che i taxa alloctoni sono maggiormente eurieci e tolleranti e la biocenosi dei tratti inferiori dei corsi d'acqua è maggiormente rappresentata da gruppi di macroinvertebrati non artropodi che comprendono diversi taxa alieni.

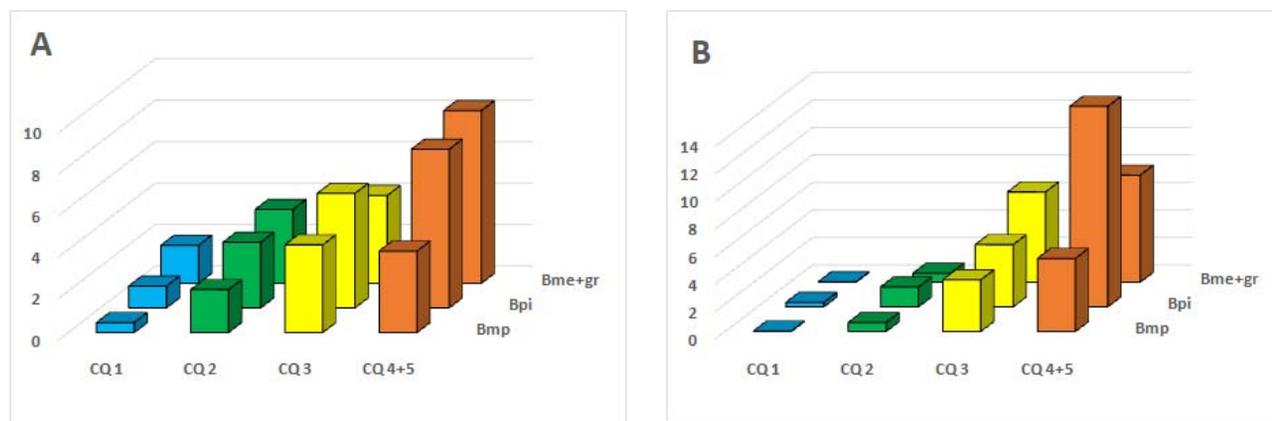
Il sub-indice dello STAR\_ICMi che si basa sulla tolleranza degli organismi, l'ASPT-2 (Armitage *et al.*, 1983) viene calcolato sommando il valore di sensibilità di ciascuna famiglia, riportato in un elenco, in rapporto al numero complessivo di taxa. Questo sub-indice lavora solo sulla presenza/assenza a livello di famiglia, non distinguendo precisamente la sensibilità delle specie

alloctone dalle altre e non considerando altresì il numero degli esemplari. Però dal momento che la tolleranza viene valutata in base alla sensibilità agli inquinanti organici, diversi taxa alloctoni, piuttosto tolleranti, hanno un valore di sensibilità basso. Ad esempio, *Girardia tigrina* (Gerard, 1850), *Branchiura sowerbyi* Beddard, 1892, e *Potamopyrgus antipodarum*, taxa campionati frequentemente in Liguria, sono considerati indicatori di livello  $\beta$ -mesosaprobico, mentre *Physella acuta* (Draparnaud, 1805), abbondante in situazioni molto alterate, di livello  $\alpha$ -mesosaprobico (Sladeček, 1973; Morpurgo, 1996) e hanno un punteggio molto basso, di 1 o 3 su una scala da 1 a 10 (Armitage *et al.*, 1983). Quindi, ovviamente, un moderato o elevato livello di inquinamento favorisce la proliferazione di queste specie alloctone. Il sub-indice ASPT-2 dovrebbe quindi essere influenzato dalla presenza (ma non dall'abbondanza) dei taxa alieni, in quanto questi appartengono a gruppi generalmente considerati come indicatori di basso livello.

Esaminando la correlazione tra questo sub-indice e i diversi parametri individuati per i taxa alloctoni, l'andamento tende a essere sempre negativo come per l'indice STAR\_ICMi, ma con forza della correlazione (rappresentata dai valori di  $R^2$ ) solo appena più alta (Tab. I), in particolare con la % di taxa alieni, secondo le aspettative, trattandosi di un indice che considera la presenza/assenza, ma non l'abbondanza, delle famiglie.

Quanto ai sub-indici che valutano abbondanza, ricchezza e diversità della comunità, questi possono subire un incremento se le specie alloctone si sommano ma non si sostituiscono a quelle indigene (innalzando così il numero di taxa presenti), mentre possono subire un decremento se il numero di individui appartenenti a pochi taxa alloctoni è molto alto rispetto a quello degli altri taxa. I risultati, comunque, mostrano una forza della correlazione quasi nulla (Tab. I).

Anche se non è possibile trarre indicazioni generali,



**Fig. 3.** Valore medio della componente alloctona macrobentonica (A: % di taxa alloctoni; B: % di esemplari alloctoni) in relazione alla classe di qualità dell'indice STAR\_ICMi (CQ) e alle dimensioni del bacino sotteso. Bmp= bacini molto piccoli; Bpi= bacini piccoli; Bme+gr= bacini medi e grandi.

in quanto la componente aliena macrobentonica nei corsi d'acqua liguri è nel complesso piuttosto scarsa, sembrerebbe che l'introduzione di questa componente porti a un incremento nel numero dei taxa (correlazione debolmente positiva tra il numero di taxa e il sub-indice Numero Totale Famiglie), mentre non avrebbe un effetto significativo sulla composizione della comunità, valutata attraverso l'indice di diversità di Shannon. La correlazione negativa con l'indice STAR\_ICMi sarebbe conseguenza degli altri sub-indici, sia di quelli che tengono in considerazione i taxa alieni come indicatori (ASPT), ma anche di quelli che si basano solo su altri taxa particolarmente esigenti (Log Sel e N Fam EPT). La risposta di questi ultimi riflette, quindi, una associazione tra la componente aliena e uno stato di degradazione delle acque. Comunque è evidente che, anche se l'indice STAR\_ICMi mostra una certa correlazione con la componente aliena, per la valutazione di quest'ultima è necessario utilizzare un indice più specifico. Dato che le correlazioni più significative sono quasi sempre quelle relative alla percentuale dei taxa alieni e alla percentuale del numero degli esemplari alieni, rispetto a quelle relative al solo numero dei taxa o degli esemplari, i primi due parametri risultano essere i migliori per la valutazione della componente aliena.

### Diatomee

Per quanto riguarda la comunità diatomica, l'unica specie sicuramente alloctona e invasiva, *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt, non ha mai assunto un ruolo consistente nella componente perifitica campionata in Liguria secondo la metodica in uso per questa comunità. Comunque la metodica prevede il campionamento nei raschi, dove *Didymosphenia* non è abbondante, mentre è più consistente in alcuni campionamenti della componente macrofitica, che comprendono il rilievo sia nei raschi che nelle pozze, anche se non è mai comparsa in fioriture massive come è accaduto in regioni limitrofe (Falasco e Bona, 2013; Falasco *et al.*, 2013).

Altre specie sono ritenute alloctone o comunque invasive (Coste ed Ector, 2000; Pérès *et al.*, 2012; Falasco *et al.*, 2013) ma, su queste, si conosce poco in quanto sono state descritte o riconosciute solo recentemente e non ci sono dati storici per affermare, con sicurezza, se si tratta realmente di taxa alloctoni. Tra queste, è stata registrata la presenza di dieci entità, ma solo *Reimeria uniseriata* Sala Guerrero e Ferrario e, subordinatamente, *Cymbella tropica* var. *tropica* Krammer sono state campionate con una certa ricorrenza anche se, mediamente, solo con poche valve. *Achnantidium delmontii* Peres, Le Cohue Barthes, una diatomea invasiva descritta recentemente, è stata trovata anche abbondantemente in alcuni siti; il suo riconoscimento è abbastanza difficile a causa della somiglianza con altre specie dello stesso genere.

Nel complesso, quindi, la componente diatomica alloctona è poco rilevante nella comunità perifitica campionata sui corsi d'acqua liguri (Fig. 1).

L'indice per la valutazione dello stato di qualità delle acque per la componente diatomica, l'ICMi (Mancini e Sollazzo, 2009), si basa sulla media tra due sub-indici, il sub-indice di sensibilità agli inquinanti IPS (valore da 1 a 5, secondo una scala crescente di sensibilità; CEMA-GREF, 1982) e il sub-indice trofico TI di Rott (valore da 0,3 a 3,9 secondo una scala crescente di alterazione; Rott *et al.*, 1999). Entrambi vengono elaborati tramite un coefficiente di sensibilità e un peso, che rappresenta un valore di affidabilità, variabile a seconda delle specie; inoltre viene considerata la frequenza delle specie, su scala semiquantitativa. I due sub-indici, entrambi tarati in base ai valori riscontrati nei siti di riferimento (DM 260/2010), concorrono ciascuno al 50% nel peso dell'indice complessivo. L'indice rileva impatti derivanti da inquinamento organico, di tipo saprobico e trofico.

Quasi tutte le specie alloctone campionate nelle stazioni liguri presentano un punteggio, per il sub-indice di sensibilità agli inquinanti IPS, variabile ma alto o molto alto per le quattro specie citate (valore del coefficiente di sensibilità pari a 4 o 5), quindi sono considerate specie indicatrici molto sensibili. Invece solo *D. geminata* presenta un punteggio e un peso anche per il sub-indice trofico TI di Rott; similmente, è considerata un indicatore di acque di buona qualità (valore del coefficiente di sensibilità basso, pari a 0,6, su una scala di sensibilità in ordine inverso) ma con un peso inferiore rispetto a quello del sub-indice IPS. È abbastanza strano che specie alloctone siano considerate buoni indicatori di sensibilità e trofia, ma è noto che i valori dei diversi indici diatomici sono sovente discordanti e necessitano di una taratura a livello locale (Besse-Lototskaya *et al.*, 2011). Quindi, di massima, l'indice ICMi dovrebbe essere influenzato in senso positivo dalla presenza di diatomee alloctone.

La correlazione tra le specie alloctone e l'indice di qualità diatomico ICMi è molto debole, anche in conseguenza del fatto che le specie alloctone sono poco diffuse nei campioni esaminati (a eccezione del numero di specie aliene, non si raggiunge un livello di significatività accettabile), ed è comunque negativa (Tab. II). Questo

**Tab. II.** Significatività e forza della correlazione, espressa attraverso il valore del coefficiente di determinazione  $R^2$ , tra i diversi indici o sub-indici e i parametri per la valutazione della componente alloctona sulle diatomee. In nero valori altamente significativi ( $p < 0,01$ ); in rosso non significativi ( $p > 0,05$ ).

DIATOMEE	N° dati	N. Taxa Alieni	% Taxa Alieni	% Valve Alieni
ICMi	691	-0,0224	-0,0034	-0,0010
IPS	691	-0,0212	-0,0036	-0,0029
TI	691	0,0024	0,0021	0,0000

significa che, nonostante che le diatomee alloctone influenzino positivamente l'indice di qualità, questa componente potrebbe essere associata ad un basso livello di qualità ambientale o, meno verosimilmente, potrebbe influenzare negativamente la comunità.

Separando i campionamenti in base alla classe di qualità derivata dall'indice diatamico ICMi e alle dimensioni del bacino sotteso, e considerando la percentuale di specie alloctone o quella delle valve alloctone, non si osserva un aumento della componente alloctona in relazione a questi fattori (Fig. 4). Se da un lato non vi è una correlazione con il livello di inquinamento delle acque, poiché queste diatomee alloctone sono abbastanza esigenti o comunque non indicano situazioni ambientali compromesse, non sembrerebbero nemmeno legate a determinate tipologie fluviali, almeno se valutate nel loro insieme.

Scomponendo l'indice diatamico nei due sub-indici, IPS e TI, si osserva una correlazione parimenti irrilevante o non significativa (Tab. II).

In definitiva, il lieve calo nei valori dell'indice dovuto alla presenza/consistenza di diatomee alloctone è sicuramente in relazione ad altri fattori, come una situazione già degradata che favorisce l'insediamento di queste, e non all'influenza diretta che hanno queste specie nell'algoritmo di calcolo. Chiaramente l'indice per la valutazione della qualità ambientale mediante la componente diatamica non ha nessuna rilevanza per valutare l'influenza della componente alloctona di questa comunità.

### Macrofite

Nel caso della comunità macrofittica, tra le alghe, che vengono determinate a livello di genere, solo la diatomea *Didymosphenia* rientra tra i taxa alloctoni ma, contrariamente a quanto si verifica per l'indice diatamico, non ha alcun valore come indicatore per questa comunità.

Altre macrofite acquatiche alloctone compaiono raramente nei corsi d'acqua della Liguria, a regime torrentizio e quindi poveri di fanerogame. Ad esempio, tra le idrofite è occasionale la presenza di *Lemna minuta* Kunth. Invece, tra le elofite, alcune ciperacee alloctone sono abbastanza frequenti, come *Cyperus eragrostis* Lamarck e *Cyperus glomeratus* Linnaeus e, tra le Poacee, *Paspalum distichum* Linnaeus.

Tra le specie macrofittiche di sponda, vi sono alloctone molto frequenti che, sovente, costituiscono una percentuale rilevante della comunità. Ad esempio *Robinia pseudoacacia* Linnaeus, *Arundo donax* Linnaeus, *Phyllostachys* sp., *Helianthus tuberosus* Linnaeus, e *Solidago gigantea* Aiton, colonizzano le rive, mentre *Ambrosia artemisiifolia* Linnaeus, *Artemisia verlotiorum* Lamotte, *Bidens frondosa* Linnaeus, *Xanthium orientale* ssp. *italicum* (Moretti) Greuter sono molto diffuse sul greto. Inoltre, si rinvengono molte altre entità introdotte, anche se meno frequentemente. Tra queste sono comparse recentemente anche essenze molto invasive, che potrebbero diventare veramente infestanti, come *Sicyos angulatus* Linnaeus o *Reynoutria japonica* Houttuyn.

Nel complesso, quindi, mentre le macrofite acquatiche alloctone sono poco consistenti nei corsi d'acqua liguri, quelle riparie sono nettamente impattanti e costituiscono una percentuale anche rilevante, sia come taxa che come copertura relativa (Fig. 1).

Tutte queste fanerogame non hanno alcun peso come specie indicatrici in quanto non considerate nell'algoritmo per il calcolo dell'indice macrofittico, indice che rileva esclusivamente lo stato trofico e che si applica alla sola comunità acquatica. L'indice macrofittico utilizzato in Italia, l'IBMR (Indice Biologique Macrophytique en Rivière; AFNOR, 2003) è un indice che combina la percentuale di ricoprimento delle macrofite con un punteggio specifico di oligotrofia e con un coefficiente di stenocia che rappresenta il peso indicatore di ogni

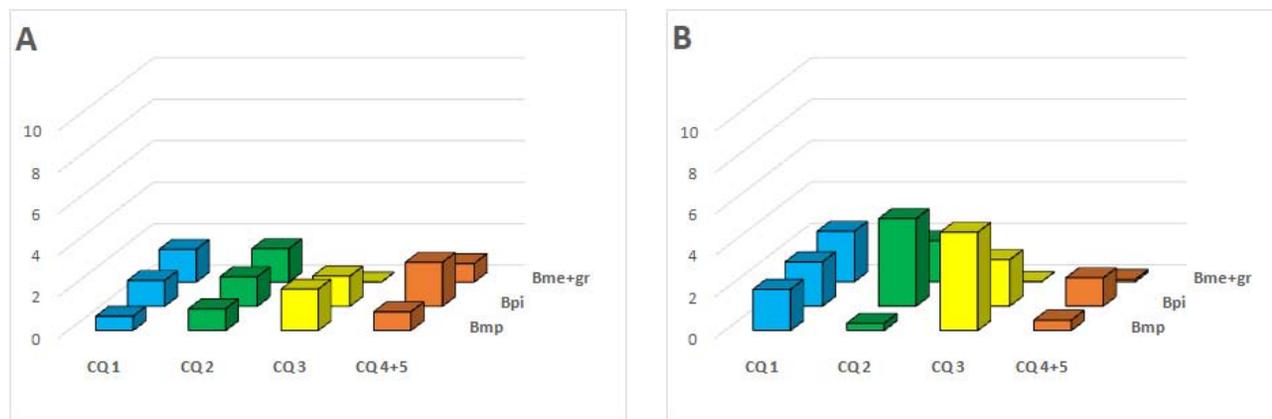


Fig. 4. Valore medio della componente alloctona diatamica (A: % di specie alloctone; B: % di valve alloctone) in relazione alla classe di qualità dell'indice diatamico ICMi e alle dimensioni del bacino sotteso. Bmp= bacini molto piccoli; Bpi= bacini piccoli; Bme+gr= bacini medi e grandi.

taxon considerato. L'RQE\_IBMR è l'indice normalizzato in base ai valori sui siti di riferimento.

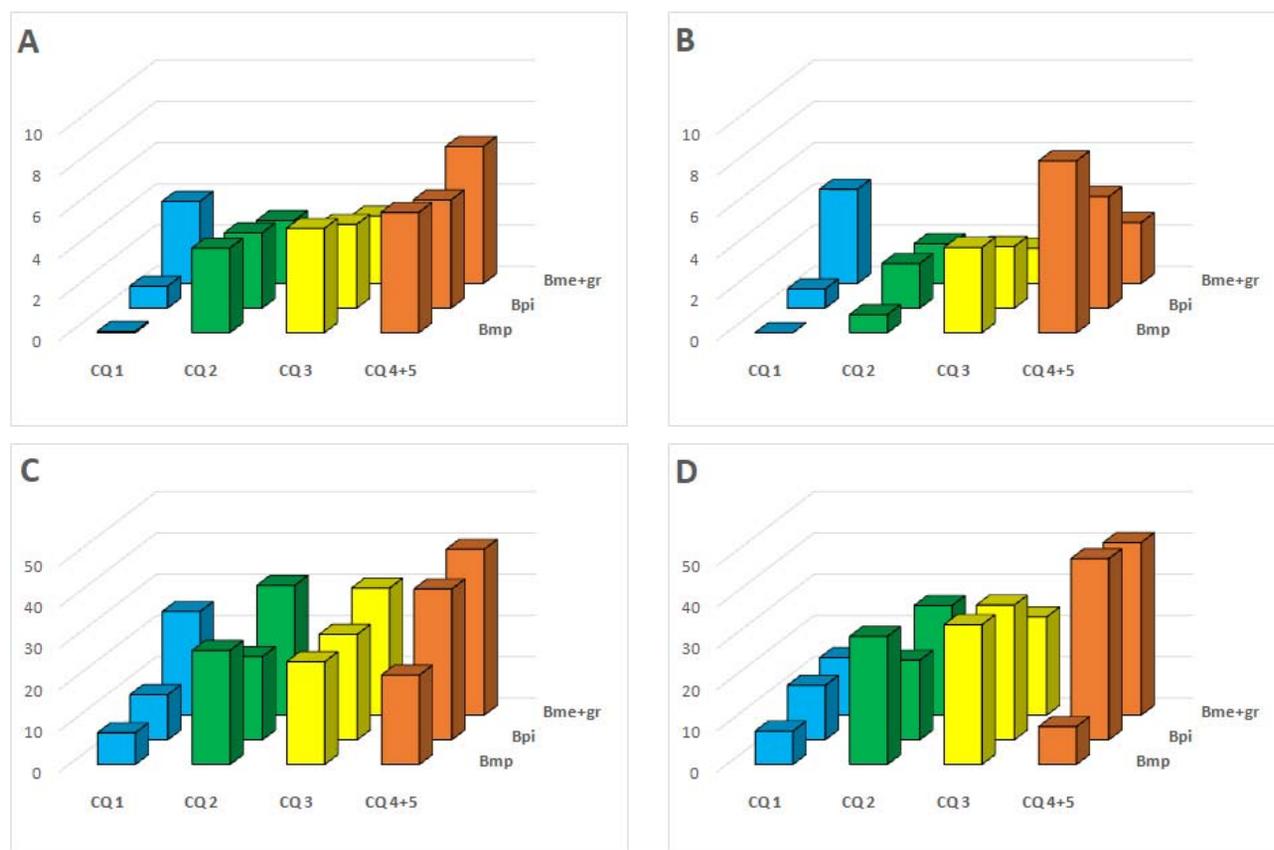
Per la comunità macrofita acquatica, la correlazione tra l'indice macrofitico RQE\_IBMR e i taxa alieni, considerati sia in base al numero, o alla percentuale sul numero di taxa, o alla percentuale di copertura assoluta o relativa, è quasi sempre altamente significativa, anche per la notevole mole di dati (Tab. III), anche se la forza della correlazione, in base ai valori di  $R^2$ , è alquanto bassa. Comunque si può notare, in tutti i casi, un andamento decrescente con il valore dell'indice. Quindi anche se i taxa alloctoni acquatici presenti in Liguria non hanno un valore indicatore per l'indice è indicativo il fatto che i taxa alloctoni sono maggiormente associati ad ambienti alterati o iporhithrali.

Separando i campionamenti in base alla classe di qualità derivata dall'indice macrofitico RQE\_IBMR e alle dimensioni del bacino sotteso e considerando la percentuale di taxa alloctoni o quella della copertura relativa da parte di questi, si osserva un moderato aumento della componente alloctona soprattutto in relazione ad una maggiore compromissione ambientale (Fig. 5). Solo in situazioni non compromesse (I CQ) è evidente un aumento della componente alloctona in relazione alle maggiori dimensioni del bacino sotteso. Tali relazioni sono però poco indicative, data la bassa incidenza della componente alloctona sulla biocenosi acquatica.

Esaminando le relazioni con la comunità macrofita riparia, si nota anche in questo caso una correlazione altamente significativa tra l'indice macrofitico RQE\_IBMR

**Tab. III.** Significatività e forza della correlazione, espressa attraverso il valore del coefficiente di determinazione  $R^2$ , tra l'indice macrofitico RQE\_IBMR sulla comunità acquatica e riparia e i parametri per la valutazione della componente alloctona sulle macrofite. In nero valori altamente significativi ( $p < 0,01$ ).

MACROFITE	N° dati	N Taxa Alieni	% Taxa Alieni	% copertura assoluta	% copertura relativa
RQE_IBMR Acq.	564	<b>-0,0654</b>	<b>-0,0741</b>	<b>-0,0219</b>	<b>-0,0135</b>
RQE_IBMR Rip.	564	<b>-0,1631</b>	<b>-0,1398</b>		<b>-0,1594</b>



**Fig. 5.** Valore medio della componente alloctona macrofita acquatica (A: % di taxa alloctoni; B: % di copertura relativa da parte dei taxa alloctoni) e riparia (C: % di taxa alloctoni; D: % di copertura relativa da parte dei taxa alloctoni) in relazione alla classe di qualità (CQ) dell'indice macrofitico RQE\_IBMR sulla componente acquatica e alle dimensioni del bacino sotteso. Bmp= bacini molto piccoli; Bpi= bacini piccoli; Bme+gr= bacini medi e grandi.

e i taxa alieni, espressi sia in base al numero, alla percentuale sul numero di taxa, o alla percentuale di copertura relativa (Tab. III). In questo caso la forza della correlazione è decisamente superiore ma l'andamento è sempre decrescente all'aumentare della consistenza delle specie aliene. Dato che la comunità ripariale non può influenzare il valore dell'indice (non presenta taxa indicatori e il rilievo della vegetazione spondale non interessa il calcolo dell'indice), la spiegazione è intuibile dal fatto che la comunità alloctona si insedia più facilmente negli ambienti degradati o iporhithrali e quindi la relazione tra l'indice e la presenza di entità alloctone è indiretta.

Separando i campionamenti in base alla classe di qualità derivata dell'indice macrofitico RQE\_IBMR sulla componente acquatica e alle dimensioni del bacino sotteso e considerando, per la componente riparia, la percentuale di taxa alloctoni o quella della copertura relativa da parte di questi, anche in questo caso si osserva un certo aumento della componente alloctona soprattutto in relazione ad una maggiore compromissione ambientale (Fig. 5). In situazioni non compromesse (ICQ) è visibile un lieve aumento della componente alloctona in relazione alle maggiori dimensioni del bacino sotteso. Data la sensibile incidenza della componente alloctona riparia rispetto a quella acquatica, tali risultati indicano un preferenziale insediamento della componente alloctona nelle tipologie iporhithrali o epipotamali e, solo quando il corso d'acqua subisce una certa compromissione trofica, questa tende a insediarsi più facilmente anche nei tratti epi- e mesorhithrali.

In conclusione, mentre i risultati sulle macrofite acquatiche nelle stazioni liguri sono poco indicativi per il basso numero e consistenza di specie aliene, per le macrofite riparie la componente alloctona è consistente ed è evidente una relazione con la qualità ambientale, rilevata attraverso l'indice macrofitico, anche se questo viene calcolato solo sulla componente acquatica ed è totalmente svincolato dalla presenza di macrofite riparie alloctone, e quindi non può essere utilizzato per valutare il peso della componente aliena.

### Ittiofauna

Nell'ambito degli indici previsti per la valutazione della qualità delle acque (D.Lgs. 152/1999 e D.M. 260/2010), gli indici ittici sono i soli dove l'algoritmo di calcolo comprende un sub-indice che valuta direttamente la presenza di specie alloctone, sia per l'ISECI (Zerunian *et al.*, 2009) che per la versione aggiornata recentemente proposta, il NISECI (Macchio *et al.*, 2017). In entrambi i casi, però, i sub-indici sull'alloctonia hanno un peso abbastanza limitato nel condizionare il giudizio finale.

Il calcolo dell'indice ittico NISECI sulle stazioni liguri ha presentato alcune difficoltà, in particolare in relazione alle comunità di riferimento, stabilite in

modo approssimativo o mancanti in certe aree, come per il versante tirrenico alpino. Questo problema è di fondamentale importanza per la regione, in quanto una parte significativa del territorio ricade al di fuori delle zone zoogeografico-ecologiche stabilite da Zerunian *et al.* (2009) e quindi necessita di una definizione (cfr. Zerunian, 2012). Oltre a ciò, la zonazione stabilita a livello nazionale è troppo grossolana per essere applicata ai corsi d'acqua del territorio ligure. Infatti, il calcolo dell'ISECI e del NISECI in base ai riferimenti di legge ha dato giudizi poco veritieri.

Una revisione delle zone ittiche e delle comunità attese per la Liguria è stata proposta da Ciuffardi *et al.* (2015), ma tale zonazione deve essere affinata e approvata a livello regionale e nazionale. Inoltre l'applicazione dell'ISECI presenta anche alcuni problemi dovuti alla mancanza di una lista di riferimento aggiornata sulla nomenclatura dell'ittiofauna d'acqua dolce, che ha subito notevoli variazioni negli ultimi anni, e al numero delle specie alloctone, in rapido incremento su tutto il territorio nazionale (Bianco, 2014; Fortini, 2016). A livello sperimentale il NISECI è stato calcolato in base alla nomenclatura recente (Fortini, 2016) e a una zonazione ittica di maggior dettaglio (NISECI RL), allineata, per il bacino padano, a quanto proposto da un gruppo di lavoro istituito da Regione Lombardia. Inoltre, tra le specie attese, sono state incluse solo quelle normalmente campionabili e di sicura autoctonia; per le specie transfaunate si è fatto però riferimento alla lista delle specie alloctone riportata nel NISECI. In questo modo il giudizio è risultato più affidabile.

Le specie alloctone presenti nei corsi d'acqua liguri sono abbastanza numerose (Ciuffardi *et al.*, 2015), ma nelle stazioni campionate ne sono state trovate relativamente poche. A parte *Salmo trutta* Linnaeus, 1758, che con il ceppo atlantico è stata ed è tuttora ampiamente immessa, compaiono sporadicamente o localmente *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), *Pseudorasbora parva* (Temminck-Schlegel, 1846) e *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758). Comunque sono numerose le specie transfaunate, soprattutto quelle introdotte dal distretto Padano-Veneto ai corsi d'acqua della Liguria tirrenica. Tra le specie transfaunate non sono state considerate *Barbus plebejus* Bonaparte, 1839 e *Squalius squalus* (Bonaparte, 1837) per la Liguria tirrenica dalla provincia di Imperia a quella di Genova, in quanto già diffuse in tempi storici.

Nel complesso, quindi, anche se il numero di specie alloctone campionate nei corsi d'acqua liguri è basso, il numero anche rilevante di questi esemplari e il numero limitato di taxa totali porta a una influenza marcata della componente alloctona (Fig. 1).

Per la componente ittica la correlazione tra il numero di specie o il numero di esemplari e il RQE\_NISECI, ovviamente negativa, è meno forte rispetto a quella

con le percentuali, che è quasi sempre altamente significativa, nonostante che la soglia di significatività sia particolarmente elevata dato il basso numero di campionamenti (Tab. IV).

Questo effetto è ovvio, considerando che il terzo sub-indice del NISECI, l' $X_3$ , valuta espressamente l'alloctonia della comunità (sebbene conti meno degli altri due sub-indici nel giudizio finale), e considera, oltre ai taxa, anche il peso relativo al numero di esemplari alloctoni.

Considerando i primi due sub-indici del NISECI, l' $X_1$ , che si basa sulla presenza/assenza di specie indigene attese e l' $X_2$ , che rappresenta la condizione biologica delle popolazioni delle specie autoctone, e correlandoli con le espressioni stabilite per gli alloctoni, si nota sempre un andamento negativo, ma molto debole (non significativo) con il numero di taxa o di esemplari, mentre la significatività è evidente con le percentuali. Questo risultato sembrerebbe indicare una interazione negativa dei taxa alloctoni sulla comunità autoctona, evidente sia a livello qualitativo ( $X_1$ , presenza/assenza delle singole specie) che quantitativo ( $X_2$ , condizione biologica delle popolazioni). Anche in questo caso, si evince nettamente l'importanza delle espressioni in percentuale nella valutazione di questa comunità.

In definitiva, nonostante che il NISECI valuti indubbiamente anche l'interazione della componente alloctona sia direttamente (attraverso il subindice  $X_3$ ), sia indirettamente (attraverso i subindici  $X_1$  e  $X_2$  sulla componente autoctona), anche questo non è un indice specifico di alloctonia e quindi per la valutazione di questa componente è necessario un indice più specifico.

## PROPOSTA DI UN INDICE PER VALUTARE LA PRESSIONE DA ALIENI

### Formulazione dell'Indice di Alloctonia

Dall'analisi finora esposta emerge con chiarezza che gli indici biologici in uso per rilevare la qualità delle acque non valutano adeguatamente la presenza/consistenza delle specie alloctone, a parte l'indice ittico dove un suo sub-indice valuta l'alloctonia ma il giudizio viene integrato in quello di qualità ambientale. L'alterazione dovuta alla componente alloctona è un elemento importante da considerare anche se,

comunque, è parzialmente in relazione con il livello di degrado ambientale. Un'alterazione della comunità ad opera delle specie alloctone dovrebbe essere sempre valutata; sarebbe quindi opportuno e importante integrare nel giudizio dell'indice biotico relativo al grado di inquinamento o compromissione ambientale un indice che rappresenta lo stato di naturalità della comunità. Questo fattore è rilevante in quanto la diffusione delle specie alloctone è ormai sempre più ampia, con il conseguente cambiamento delle comunità e modifica della rete trofica. Vengono quindi esaminati e proposti alcuni algoritmi che possono dare un'informazione sul grado di alterazione dovuto a questa pressione, molto semplici e basati su informazioni ottenibili per la quasi totalità dalle attività routinarie di monitoraggio sulle acque ai sensi del D.M. 260/2010 (solo per il macrobenthos sono necessari alcuni approfondimenti tassonomici, che verranno esposti nella seconda parte di questo articolo).

Dato che, in linea di massima, i risultati finora esposti hanno evidenziato un maggiore livello di correlazione dei rapporti, rispetto ai valori assoluti, sia per il numero di taxa e sia per il numero degli esemplari (Tabb. I-IV), si ritiene opportuno prendere in esame questi due rapporti nella costruzione dell'indice. D'altra parte il primo rapporto è già stato proposto da Bianco (1995) nell'Indice CIF per la fauna ittica (coefficiente di integrità faunistica: rapporto tra il numero di specie autoctone e il numero di specie totali; 1-CIF corrisponde al rapporto tra il numero di specie alloctone e il numero di specie totali), mentre entrambi sono stati scelti da Arbačiauskas *et al.* (2008) per il macrobenthos, rispettivamente come RCI (indice di ricchezza di contaminazione: rapporto tra il numero di taxa alloctoni e il numero di taxa totali) e ACI (indice di abbondanza di contaminazione: rapporto tra numero di esemplari alloctoni e numero di esemplari totali), nella formulazione dell'Indice sito-specifico di biocontaminazione SBCI, che si ottiene dal valore peggiore tra RCI e ACI. Bianco (1995) nella formulazione dell'indice CIF per la valutazione di integrità faunistica, considera solo il numero di taxa alloctoni e non alloctoni, mentre anche il numero di esemplari di queste due categorie sarebbe un fattore importante da prendere in considerazione.

Da quanto verificato per il macrobenthos, gli indici e

**Tab. IV.** Significatività e forza della correlazione, espressa attraverso il valore del coefficiente di determinazione  $R^2$ , tra l'indice ittico ROE\_NISECI o i suoi sub-indici e i parametri per la valutazione della componente alloctona sull'ittiofauna. In nero valori altamente significativi ( $p < 0,01$ ); in blu significativi ( $p < 0,05$ ); in rosso non significativi ( $p > 0,05$ ).

ITTIOFAUNA	N° dati	N Taxa Alieni	% Taxa Alieni	N° Esemplari Alieni	% Esemplari Alieni
NISECI RL	50	-0,0200	-0,3329	-0,0384	-0,4250
X1 NISECI RL	50	-0,0192	-0,3498	-0,0760	-0,2179
X2 NISECI RL	50	-0,0005	-0,1154	-0,0008	-0,2853
X3 NISECI RL	50	-0,1604	-0,5896	-0,2193	-0,7954

i sub-indici per la valutazione della qualità delle acque si correlano meglio con la percentuale di taxa rispetto alla percentuale di esemplari. Tale risultato è ovvio, considerando che la maggior parte delle metriche lavora sulla presenza/assenza anziché sul numero degli esemplari. Esaminando invece gli indici o i sub-indici che lavorano anche a livello quantitativo (1-GOLD e ID di Shannon), si osserva uno stesso livello di correlazione, in base al valore di  $R^2$ , con entrambe le percentuali. Un valore di  $R^2$  maggiore con la percentuale degli esemplari rispetto alla percentuale dei taxa, si osserva invece per l'indice NISECI o il suo sub-indice  $X_3$ , entrambi con un livello di correlazione molto alto, dal momento che i dati quantitativi hanno un peso rilevante nelle metriche per l'ittiofauna.

Si ritiene quindi che entrambi i rapporti, sui taxa e sugli esemplari, debbano essere utilizzati e, in linea di massima, debbano avere un peso equivalente nella valutazione della pressione da parte della componente alloctona. In questo modo si assume che la percentuale di specie (dato quali-quantitativo) e la percentuale di esemplari alieni (dato esclusivamente quantitativo) abbiano uguale rilevanza nel giudizio. Quindi, per

ciascuna comunità, un indice che valuti la presenza e consistenza delle specie aliene, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, può essere formulato in base al seguente algoritmo:

$$IA = (0,5 \times N^\circ \text{ taxa alieni} / N^\circ \text{ totale taxa}) + (0,5 \times N^\circ \text{ es. alieni} / N^\circ \text{ totale es.})$$

dove:

IA: indice di alloctonia;

$N^\circ$  taxa alieni /  $N^\circ$  totale taxa: numero di taxa (o specie) aliene sul totale dei taxa (o specie) presenti nel campionamento (taxa o specie a seconda del livello tassonomico richiesto dalla metodica per ogni comparto biologico;  $N^\circ$  es. alieni /  $N^\circ$  totale es.: numero degli esemplari alieni sul totale del numero degli esemplari campionati (per le macrofite si utilizza la percentuale di copertura relativa).

L'indice IA può variare da 0, quando sono assenti taxa alieni, a 1 quando l'intera comunità è composta solo da taxa alieni.

Rispetto all'indice SBCI di Arbačiauskas *et al.* (2008), l'indice IA si discosta per il fatto che vengono mediati i due sub-indici, anziché considerare solo il sub-indice (RCI o ACI) che ha il giudizio peggiore. La

**Tab. V.** Valori del coefficiente di determinazione  $R^2$  della regressione lineare e livello di significatività tra gli indici e sub-indici per la valutazione della qualità ambientale e gli indici e sub-indici di biocontaminazione (RCI = 1-CIF, ACI, SBCI, IA) per i diversi comparti biologici. In nero valori altamente significativi ( $p < 0,01$ ); in blu significativi ( $p < 0,05$ ); in rosso non significativi ( $p > 0,05$ ).

INDICI	RCI = 1-CIF	ACI	SBCI	IA
<b>MACROBENTHOS</b>				
STAR_ICMi	-0,1937	-0,1175	-0,1748	-0,1878
RQE_ASPT	-0,3691	-0,2052	-0,3088	-0,3405
Log Sel	-0,2366	-0,1053	-0,1764	-0,1929
1-GOLD	-0,0694	-0,0714	-0,0950	-0,0929
N Tot Fam	-0,0019	-0,0044	-0,0046	-0,0045
N Fam EPT	-0,1588	-0,1049	-0,1470	-0,1619
ID Shannon	-0,0108	-0,0102	-0,0207	-0,0137
<b>DIATOMEAE</b>				
Diatomee ICMi	-0,0034	-0,0001	-0,0006	-0,0005
Diatomee IPS	-0,0044	-0,0018	-0,0040	-0,0036
Diatomee TI	-0,0024	0,0001	0,0003	0,0002
<b>MACROFITE</b>				
Macr. acquatiche IBMR	-0,0741	-0,0136	-0,0340	-0,0436
Macr. riparie IBMR	-0,1398	-0,1594	-0,1814	-0,2024
<b>ITTIOFAUNA</b>				
NISECI RL	-0,3329	-0,4625	-0,4247	-0,4567
$X_1$ NISECI RL	-0,3498	-0,2179	-0,2642	-0,2984
$X_2$ NISECI RL	-0,1154	-0,2853	-0,1993	-0,2332
$X_3$ NISECI RL	-0,5896	-0,7954	-0,8202	-0,7939

significatività delle correlazioni tra l'IA e i diversi indici o sub-indici di qualità ha evidenziato quasi sempre un andamento significativo (ad eccezione degli indici diatomici, non correlabili con la qualità ambientale). Questo è evidente con l'RQE\_ASPT del macrobenthos, l'IBMR per le macrofite riparie, il NISECI e i suoi sub-indici, nello specifico l' $X_3$  (Tab. V). Il livello di correlazione tra l'IA e gli altri indici (SBCI) o i sub-indici di biocontaminazione (RCI e ACI) è invece assai elevato, più alto con la % degli esemplari (ACI) rispetto alla % dei taxa (RCI) e risulta particolarmente alto tra lo SBCI e l'IA, per tutti i comparti presi in esame (Tab. VI).

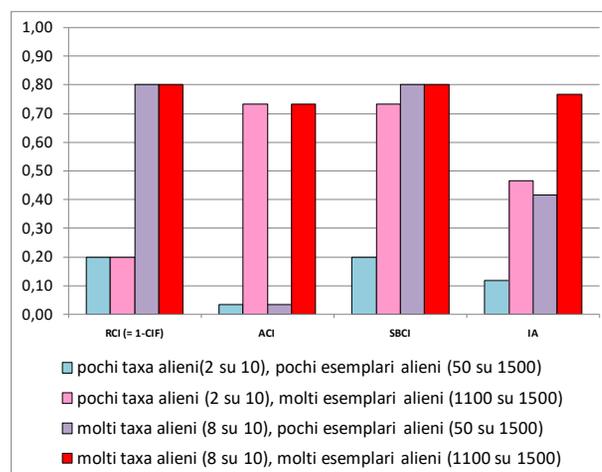
D'altra parte gli indici IA e SBCI portano a risultati simili in presenza di pochi taxa e pochi esemplari alloctoni o di molti taxa e molti esemplari alloctoni, mentre in presenza di pochi taxa alloctoni ma molti esemplari alloctoni o, viceversa, di molti taxa alloctoni ma pochi esemplari alloctoni, il giudizio si diversifica (Fig. 6). In pratica, per lo SBCI, una situazione con pochi taxa alloctoni ma molti esemplari alloctoni viene valutata analogamente ad una situazione con molti taxa alloctoni e molti esemplari alloctoni e, analogamente, nel caso di molti o pochi esemplari alloctoni con molti taxa alloctoni. Si ritiene quindi più logico considerare sempre sia i taxa che gli esemplari, assegnando a ciascuna di queste componenti ugual peso, pari al 50%. In questo modo queste due diverse situazioni vengono valutate diversamente, pesando entrambe le componenti anziché considerarne solo una.

#### Dal valore dell'indice alla classe di qualità

Arbačiauskas *et al.* (2008) propongono cinque classi di qualità per l'indice SBCI, analoghe alle cinque classi riportate per il macrobenthos e gli altri EQB (elevata, buona, moderata, scarsa, cattiva), mentre Bianco (1995) stabilisce tre classi di qualità per l'indice CIF (integra o scarsamente compromessa, mediamente compromessa, altamente compromessa). Assumendo che la classe "integrata o scarsamente compromessa" di Bianco (1995) rappresenti lo stato elevato + buono, quella "mediamente compromessa" rappresenti lo stato moderato e quella "altamente compromessa" lo stato scarso + cattivo, le soglie stabilite dagli autori si discostano sensibilmente, soprattutto sui punteggi intermedi dove, per uno stesso

valore dell'indice, la differenza può raggiungere un salto di una classe di qualità (Fig. 7).

Se da un lato si tratta di valutare due comunità biologiche molto diverse, dove la componente alloctona ha un peso differente, sicuramente più rilevante nel caso dell'ittiofauna, dall'altro è palese che non esistono criteri oggettivi per stabilire le soglie. È chiaro che il giudizio sarà sempre soggettivo, in quanto non può essere applicato il concetto di taratura della scala in base ai siti di riferimento come per gli altri EQB, in particolare per il macrobenthos, dove il valore soglia dell'indice STAR\_ICMi tra buono ed elevato è stato definito in base a un criterio matematico (25° percentile dei valori sui siti di riferimento e le altre soglie dividendo l'intervallo rimanente in parti uguali; Buffagni e Erba, 2007b). Infatti per la problematica in esame, i siti di riferimento dovrebbero essere del tutto integri da colonizzazioni da specie alloctone, e quindi dovrebbero avere un valore dell'indice sempre pari a zero; sarebbe quindi impossibile individuare un range per la prima



**Fig. 6.** Esempio di simulazione del risultato degli indici per la valutazione dei taxa alieni al variare del numero di taxa e del numero di esemplari alloctoni. Il sub-indice RCI di Arbačiauskas *et al.* (2008) è equivalente all'indice 1-CIF di Bianco (1995) e si basa sul numero di taxa, mentre l'indice ACI di Arbačiauskas *et al.* (2008) si basa sul numero di esemplari; l'indice complessivo SBCI di Arbačiauskas *et al.* (2008) considera il valore peggiore dei due sub-indici RCI e ACI, mentre l'indice IA qui proposto media i valori dei due sub-indici.

**Tab. VI.** Valori del coefficiente di determinazione  $R^2$  della regressione lineare tra l'indice di alloctonia IA e gli altri indici e sub-indici di biocontaminazione (RCI = 1-CIF, ACI, SBCI, IA) per i diversi comparti biologici. Tutti i valori sono altamente significativi ( $p < 0,01$ ).

INDICI	RCI = 1-CIF	ACI	SBCI
IA MACROBENTHOS	0,5871	0,8681	0,9578
IA DIATOMEAE	0,4242	0,9598	0,9879
IA MACROFITE ACQUATICHE	0,5026	0,8265	0,9496
IA MACROFITE RIPARIE	0,6676	0,8065	0,9383
IA ITTIOFAUNA	0,8408	0,9301	0,9615

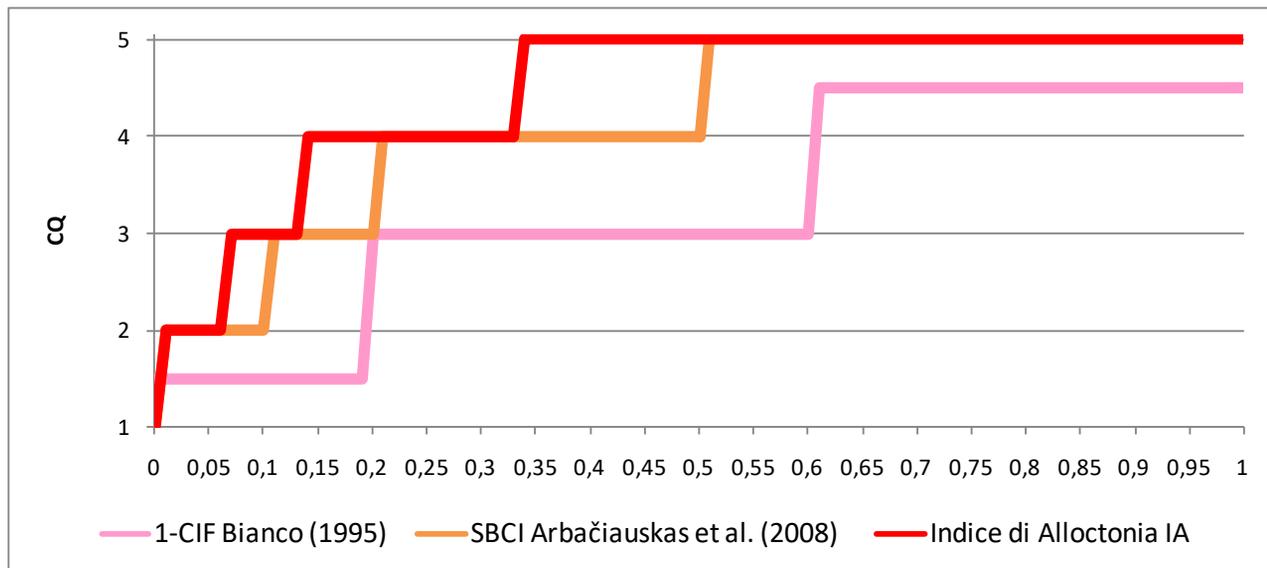


Fig. 7. Scala dei valori soglia degli indici per la valutazione dei taxa alieni, 1-CIF di Bianco (1995), SBCI di Arbačiauskas *et al.* (2008) e indice IA proposto in questo articolo, con le rispettive classi di qualità (per l'IA le soglie rappresentate corrispondono a quelle dello SBCI in base alla regressione lineare ortogonale).

classe, in base alla quale stabilire le soglie per le classi successive. La prima classe di qualità, comunque, dovrebbe includere solo le condizioni di assenza di elementi alloctoni, e quindi i valori dell'indice pari o vicini allo zero. Quindi, in primo luogo, è opportuno esaminare le soglie stabilite per l'indice SBCI.

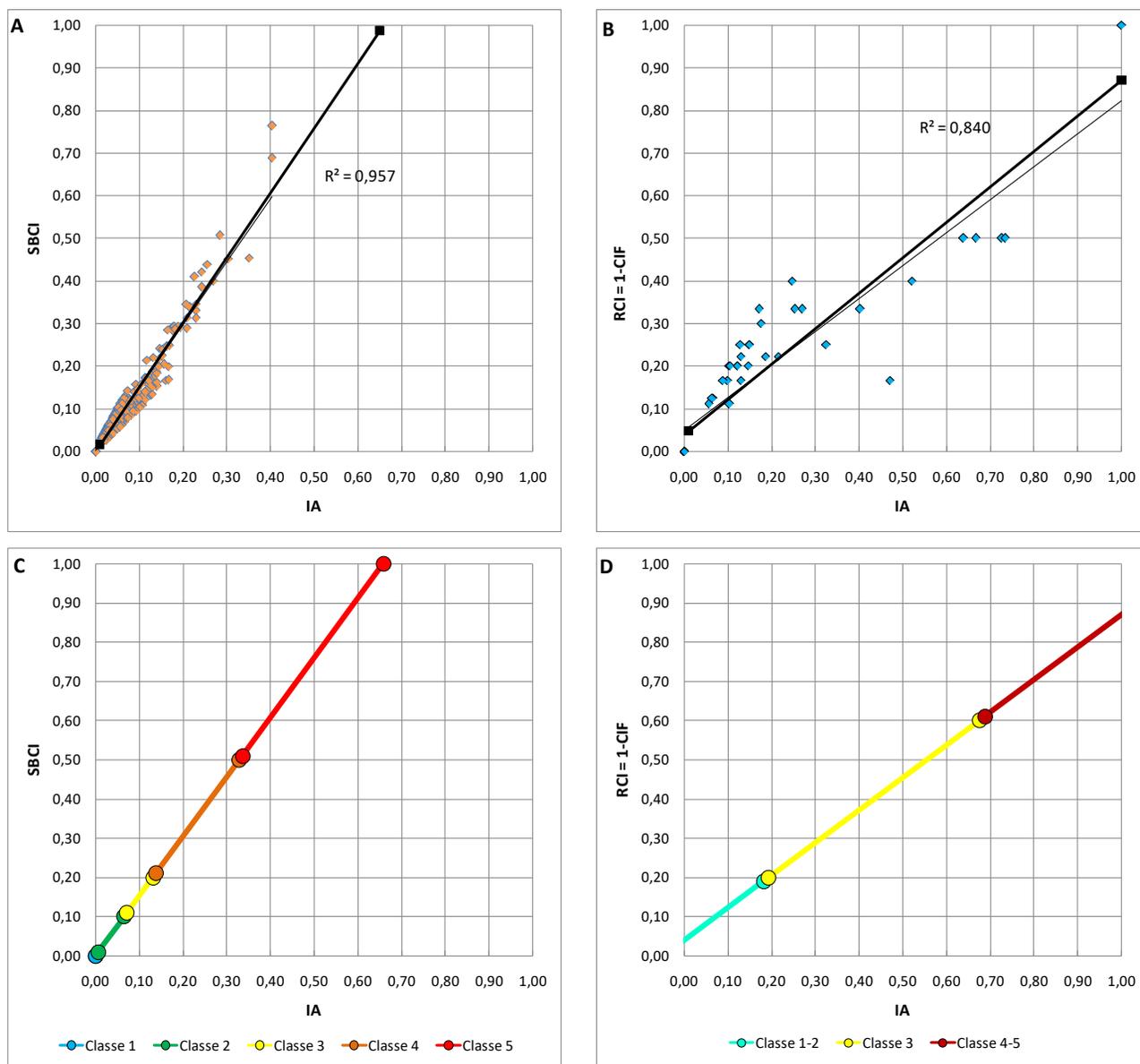
Dato l'ottimo livello di correlazione tra l'Indice di Alloctonia (IA) e lo SBCI per tutte le componenti biologiche (Tab. VI), è possibile verificare la corrispondenza con le soglie per le diverse classi di qualità, in base a quanto stabilito da Arbačiauskas *et al.* (2008) per il macrobenthos, e proporre le soglie per i valori dell'IA. D'altra parte, essendo molto alto anche il livello di correlazione tra l'IA e l'RCI (=1-CIF) è possibile anche un confronto con le soglie dell'indice

CIF dell'ittiofauna, anche se la scala stabilita da Bianco (1995) non è direttamente comparabile con le cinque classi di qualità. Nel far ciò si è proceduto al calcolo della regressione lineare in modo ortogonale alla retta (minima distanza quadratica ortogonale tra i punti e la retta), allo scopo di svincolare la dipendenza di una variabile (IA) rispetto all'altra (SBCI o RCI) e ottenere una precisa corrispondenza (Fig. 8).

Per il macrobenthos si evidenzia un valore delle soglie inferiore per l'IA rispetto a quello dello SBCI (un valore di 0,11 dello SBCI rappresenta il valore soglia tra la 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> classe, mentre il valore corrispondente per il macrobenthos è di 0,07). Ciò è logico considerando che entrambi i parametri (% taxa e % esemplari) sono valutati dai due indici, ma lo SBCI prende sempre il pa-

Tab. VII. Valori soglia (limite inferiore della rispettiva classe) dello SBCI e RCI e valori ricavati dalla correlazione tra lo SBCI e l'IA o tra l'RCI e l'IA, per i diversi comparti ambientali.

Indici	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Benthos SBCI	0,00	0,01	0,11	0,21	0,51
Benthos IA-SBCI	0,00	0,01	0,07	0,14	0,34
Diatomee IA-SBCI	0,00	0,01	0,06	0,12	0,29
Macrofite IA-SBCI	0,00	0,01	0,09	0,16	0,39
Ittiofauna IA-SBCI	0,00	0,01	0,07	0,15	0,40
Ittiofauna RCI	0,00		0,20	0,61	
Ittiofauna IA-RCI	0,00		0,19	0,69	
Media Bio IA-SBCI	0,00	0,01	0,07	0,14	0,35
<b>IA valore scelto</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,07</b>	<b>0,14</b>	<b>0,35</b>

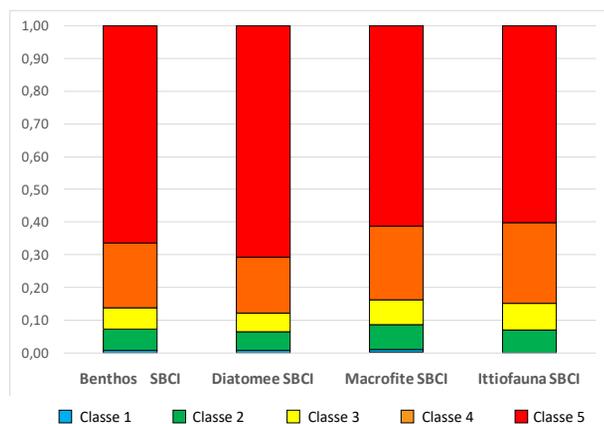


**Fig. 8.** A-B: regressione lineare (linea sottile) e lineare ortogonale (linea spessa) tra gli indici di biocontaminazione, SBCI per il macrobenthos (A) e RCI per l'ittiofauna (B), e l'indice di Alloctonia IA, applicato rispettivamente al macrobenthos e all'ittiofauna. C-D: regressione lineare ortogonale tra gli stessi indici di biocontaminazione e l'indice di Alloctonia, con l'indicazione della corrispondenza tra le classi di qualità in base alle soglie stabilite per l'indice SBCI (C) e a quelle stabilite per il CIF (D).

rametto peggiore anziché mediere tra i due, quindi porta generalmente a valori dell'indice un poco più alti (Tab. VII; Fig. 9). Viceversa, per l'ittiofauna, la correlazione evidenzia valori delle soglie principali (tra la 1°-2° e 3° classe e tra la 3° e la 4°-5° classe) più o meno analoghi. Comunque non è possibile un paragone preciso dato che le classi di qualità non sono state stabilite con lo stesso criterio. D'altra parte i risultati della correlazione qui esposti sull'ittiofauna sono solo indicativi per il basso numero di dati sulla componente ittica.

Tenendo presente, in particolare, le soglie stabilite

da Arbačiauskas *et al.* (2008), in quanto lo SBCI è l'indice più completo per la problematica in esame ed è quello che ha dato la maggiore significatività nella correlazione con l'IA, è possibile proporre i valori soglia per le classi e i giudizi relativi per ciascuna Classe di Alloctonia (CA) (Tab. VIII). I valori scelti sono stati ricavati dalla corrispondenza, in base alla regressione lineare ortogonale, con i valori soglia dello SBCI. Dato che i valori soglia così ricavati non si discostano sensibilmente nelle diverse componenti, si ritiene possibile, per un'applicazione più generale, proporre i valori medi



**Fig. 9.** Rappresentazione dei valori soglia dell'indice IA per le diverse classi di qualità ricavati dalla corrispondenza, in base alla regressione lineare ortogonale, tra l'IA e l'SBCI, sulla scala dell'indice SBCI, per i diversi comparti biologici.

in base alle diverse matrici biologiche. Questi valori, comunque, sono praticamente coincidenti con quelli ottenuti per il macrobenthos, la matrice sulla quale si dispone del maggior numero di dati.

Si ritiene quindi che una pressione dovuta alle specie aliene sia da considerarsi significativa già intorno a valori dell'IA superiori a 0,06. Ciò sembra in linea con quanto verificato per l'indice di qualità ambientale. Infatti nella correlazione tra le classi di qualità dello STAR\_ICMi e la percentuale di alieni, approssimativamente già un impatto dovuto a una percentuale di taxa alieni intorno al 7-8% o del numero esemplari alieni intorno all'11-12% corrisponde all'incirca un salto da una classe di qualità buona (2<sup>a</sup> CQ) ad una classe non buona (3<sup>a</sup> CQ).

Mentre per il macrobenthos il giudizio in base alla

pressione con le specie aliene è stato testato su una mole consistente di dati, per le altre componenti dovrà essere attentamente verificato; in particolare per le diatomee, le macrofite acquatiche e l'ittiofauna occorrono verifiche mediante ulteriori campionamenti in ambienti adatti, soprattutto in quelli con un livello di impatto elevato da parte di specie aliene.

### RELAZIONE TRA LA COMPONENTE ALLOCTONA E GLI INDICI FISICO-CHIMICI DI QUALITÀ AMBIENTALE E PRESSIONE DI QUESTA COMPONENTE SULLA COMUNITÀ

Tra gli indici previsti per la valutazione della qualità delle acque (D.Lgs. 152/1999 e D.M. 260/2010), è stato inserito anche il LIMeco, un indice fisico-chimico, elaborato in base all'ossigeno disciolto e ai nutrienti (azoto e fosforo) che contribuisce, anche se marginalmente, al giudizio finale di qualità ambientale. Nonostante che si tratti di un indice sullo stato trofico e che i reflui civili costituiscano il fattore principale di compromissione dei corsi d'acqua esaminati, il livello di correlazione tra il LIMeco e gli indici biologici di qualità ambientale, sebbene altamente significativo, non è molto elevato (Tab. IX). Il livello di correlazione è un po' superiore per le diatomee e le macrofite acquatiche (per le macrofite riparie non è previsto un indice analogo) rispetto a quello per il macrobenthos, ma ciò è logico dal momento che l'indice macrobentonico non è strettamente un indice saprobico/trofico come gli altri due. Invece l'indice ittico si correla negativamente con il LIMeco, sebbene la correlazione non sia significativa per il basso numero di dati. Questo comportamento è spiegabile tenendo conto che la componente ittica non è molto sensibile al livello di inquinamento delle acque, quanto al livello

**Tab. VIII.** Valore dell'Indice di Alloctonia IA e classe di Alloctonia CA corrispondente proposta.

IA	CA	Giudizio (pressione componente aliena)
0,00	1	Pressione assente o irrilevante
0,01 – 0,06	2	Pressione poco significativa
0,07 – 0,13	3	Pressione significativa
0,14 – 0,33	4	Pressione rilevante
0,35 – 1,00	5	Pressione eccessiva

**Tab. IX.** Significatività e forza della correlazione, espressa attraverso il valore del coefficiente di determinazione  $R^2$ , tra gli indici biologici di qualità ambientale (STAR\_ICMi per il macrobenthos, ICMi per le diatomee, IBMR per le macrofite acquatiche, e NISECI\_RL per l'ittiofauna), l'Indice di Biocontaminazione SBCI o l'Indice di Alloctonia IA e l'indice fisico-chimico LIMeco. In nero valori altamente significativi ( $p < 0,01$ ); in rosso non significativi ( $p > 0,05$ ).

Matrice	Benthos	Diatomee	Macr. Acq.	Macr. Rip.	Ittiofauna
LIMeco-Indice qualità	0,210	0,243	0,246		-0,038
LIMeco-SBCI	-0,082	0,011	-0,021	-0,060	0,064
LIMeco-IA	-0,098	0,011	-0,034	-0,056	0,050

di alterazione idromorfologica dell'habitat fluviale e alla gestione della pesca, e che le comunità più ricche di specie attese sono quelle nei tratti inferiori delle aste fluviali, nonostante subiscano le maggiori pressioni per gli scarichi civili o industriali.

Di conseguenza, quindi, anche il livello di correlazione tra gli indici di biocontaminazione o alloctonia e il LIMeco è piuttosto debole e con andamento inverso rispetto agli indici di qualità ambientale, dato che l'IA assume valori superiori per situazioni peggiori. Comunque il livello di correlazione è un po' più forte per il macrobenthos e per le macrofite riparie, che sono le componenti che hanno comunque un maggiore legame tra i taxa alloctoni e le situazioni di maggiore impatto organico.

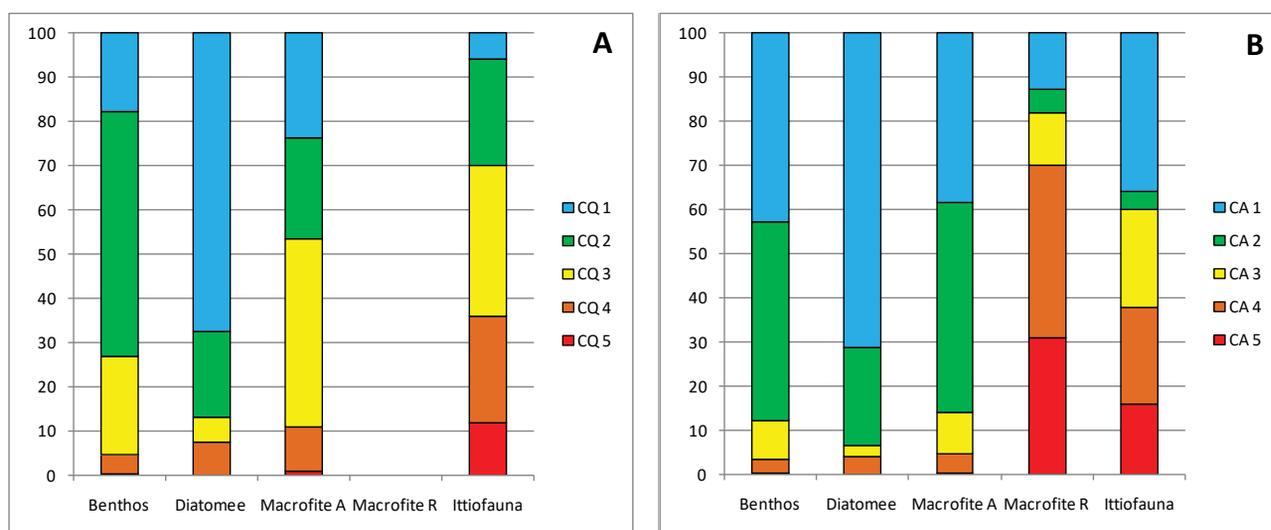
Accertata la relazione tra la presenza/consistenza di taxa alloctoni e la situazione di degrado, ci si domanda se è la situazione stessa di degrado che favorisce l'instaurarsi dei taxa alloctoni o se questi, insediandosi, contribuiscono ad aumentare il degrado della comunità. Concentrando l'attenzione sul macrobenthos, la comunità sulla quale si dispone del maggior numero di dati e tipologia di indicatori, è già stato rilevato che alcuni sub-indici (numero totale di famiglie, indice di diversità di Shannon), mostrino come la comunità non sembri subire un'alterazione sensibile in relazione alla presenza di alloctoni. La relazione tra lo STAR\_ICMi e il LIMeco mostra una chiara e netta correlazione ( $R^2 = 0,210$ ), come è logico aspettarsi, mentre quella tra l'indice di alloctonia IA e il LIMeco è meno marcata ( $R^2 = 0,098$ ), diversamente da quella tra lo STAR\_ICMi e l'IA, più forte ( $R^2 = 0,188$ ). Ciò significa che l'insediamento della componente alloctona non è poi così strettamente correlato con l'alterazione delle acque, anche se ne è

favorita, ma altri fattori ne provocano l'insediamento e lo sviluppo, come ad esempio, le attività antropiche che ne permettono e ne ampliano la diffusione.

## RISULTATI DELL'INDICE DI ALLOCTONIA (IA) SUI CAMPIONAMENTI IN LIGURIA

Dal confronto tra le classi di qualità in base agli EQB e tra le classi di alloctonia CA in base all'indice di alloctonia IA, sulle rispettive matrici biologiche campionate nei corsi d'acqua della Liguria, si nota una differente ripartizione per le diverse matrici, sia sotto l'aspetto ambientale, sia per l'alloctonia (Fig. 10).

La differenza tra le percentuali delle CQ ambientali tra le diverse componenti bentoniche, macrobenthos, diatomee e macrofite è ben nota e deriva dalla diversa risposta alle varie tipologie di impatto, ma anche dalla disomogeneità dei criteri di delimitazione tra le diverse classi di qualità (Bodon *et al.*, 2019). Si osserva quindi una prevalenza della 2<sup>a</sup> CQ per il macrobenthos, della 1<sup>a</sup> CQ per le diatomee e della 3<sup>a</sup> CQ per le macrofite, mentre per l'ittiofauna aumenta la consistenza delle classi peggiori. Riguardo l'alloctonia, per il macrobenthos, le diatomee e le macrofite acquatiche la consistenza dei taxa alloctoni è generalmente modesta e vi è una netta prevalenza della 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> CA, anche se non mancano situazioni compromesse. Per le Macrofite riparie, la consistenza della componente alloctona è invece assai rilevante, le 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> CA sono addirittura superiori del 50% rispetto alle altre classi. Una situazione sensibilmente compromessa si riscontra anche per l'ittiofauna; per questa comunità il 60% dei campionamenti ricade in classe di alloctonia non buona e più del 35% in 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> classe. Ciò è conforme alle aspettative, poiché una delle cause del degrado di questa comunità è proprio la forte presenza di specie alloctone.



**Fig. 10.** Ripartizione delle classi di qualità in base agli EQB (A) e in classi di alloctonia CA in base all'indice di alloctonia IA (B) sulle rispettive matrici biologiche campionate nei corsi d'acqua della Liguria.

## CONCLUSIONI

L'insediamento di fauna aliena è un processo dinamico, provocato inizialmente dall'ingresso casuale o intenzionale di queste specie in un nuovo ambiente. Le specie alloctone, una volta introdotte, possono sviluppare popolazioni rare o consistenti, che permangono e aumentano nel tempo o che, dopo un boom iniziale, possono regredire negli anni successivi a causa della competizione con le specie già presenti o poiché raggiungono l'equilibrio nel nuovo habitat. A partire da questi presupposti, è ovvio non rilevare una correlazione precisa tra la presenza/abbondanza di specie alloctone e la qualità ambientale; anche se le specie aliene si insediano più facilmente in ambienti inquinati, alterati o compromessi, la loro presenza inizia comunque da un evento per lo più casuale, a partire da un determinato momento. In Liguria molti corsi d'acqua, soprattutto nei loro tratti terminali, sono soggetti a eutrofizzazione a causa della presenza diffusa di scarichi civili e industriali a cui si aggiungono, periodicamente, pesanti lavori in alveo, con interventi di spianamento o artificializzazione delle sponde e del fondo, andando in questo modo a favorire l'insediamento delle specie alloctone.

I risultati dell'elaborazione effettuata mostrano chiaramente sia come sussista una certa relazione tra le specie alloctone e la qualità ambientale, sia come gli indici attualmente in uso non siano adatti a valutarne l'impatto; occorrono quindi, per questa componente, valutazioni specifiche da associare al giudizio di qualità.

## BIBLIOGRAFIA

- AFNOR, 2003. *Qualité de l'eau: détermination de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR)*. NF T 90-395: 28 pp.
- Arbačiauskas K., Semenchenko V., Grabowski M., Leuven R.S.E.W., Paunović M., Son M.O., Csányi B., Gumuliauskaitė S., Konopacka A., Nehring S., van der Velde G., Vezhnovetz V., Panov V.E., 2008. Assessment of biocontamination of benthic macroinvertebrate communities in European inland waterways. *Aquatic Invasions*, **3** (2): 211-230.
- Armitage P.D., Moss D., Wright J.F., Furse M.T., 1983. The performance of a new biological water quality score system based on a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, **17** (3): 333-347.
- Baldaccini G.N., Ercolini P., 2016. Gestione della fauna ittica alloctona: riflessioni sulla normativa di settore. *Biologia Ambientale*, **30**: 57-66.
- Besse-Lototskaya A., Verdonshot P.F.M., Coste M., Van de Vijver B., 2011. Evaluation of European diatom trophic indices. *Ecological Indicators*, **11**: 456-467.
- Bianco P.G., 1995. Introductions, chief elements of native freshwater fish degradation and use of indices and coefficients as in quantifying the situation in Italy. Protection of Aquatic Biodiversity. *Proceeding of the World Fisheries Congress*, Them 3. Philipp D.P. et al., eds., pp. 175-198, Oxford e IBH, New Delhi.
- Bianco P.G., 2014. An update on the status of native and exotic freshwater fishes of Italy. *Journal of Applied Ichthyology*, **30**: 62-77.
- Bianco P.G., Frezza V., 2011. La fauna ittica d'acqua dolce del Parco Regionale del Matese: stato di conservazione delle specie e indicazioni gestionali. In: Bianco P.G., de Filippo G. (eds.). *Contributo alla conoscenza della fauna ittica d'acqua dolce in aree protette d'Italia*. Res. Wildl. Conserv. 3. IGF Publ., USA: 45-68.
- Bianco P.G., Santoro E., 2011. *I pesci e i decapodi d'acqua dolce della Riserva Naturale Monterano: alterazioni prodotte, status degli autoctoni e indicazioni gestionali*. In: Bianco P.G., de Filippo G. (eds.). *Contributo alla conoscenza della fauna ittica d'acqua dolce in aree protette*. Res. Wildl. Conserv. 3. IGF Publ., USA: 1-23.
- Buffagni A., Belfiore C., 2013. *MacrOper. ICM software*, v. 1.0.5. CNR-IRSA & UniTuscia DEB, Roma.
- Buffagni A., Erba S., 2007a. Macroinvertebrati acquatici e Direttiva 2000/60/EC (WFD) - Parte A. Metodo di campionamento per i fiumi guadabili. *Notiziario dei Metodi Analitici IRSA-CNR*, **1**: 2-27.
- Buffagni A., Erba S., 2007b. Intercalibrazione e classificazione di qualità ecologica dei fiumi per la 2000/60/EC (WFD): l'indice STAR\_ICMi. *Notiziario dei Metodi Analitici IRSA-CNR*, **1**: 94-100.

L'indice proposto per la valutazione della componente alloctona (indice di alloctonia, IA) è di semplice applicazione e può dare un'informazione addizionale molto importante per un giudizio integrato sullo stato di salute dell'ecosistema acquatico. Inoltre può essere applicato facilmente su diverse matrici biologiche, con uno sforzo aggiuntivo minimo rispetto alle procedure di monitoraggio routinario (gli approfondimenti tassonomici richiesti e alcuni esempi di applicazione verranno esposti nella seconda parte, in preparazione).

L'indice potrà essere migliorato; al momento, infatti, non tiene in considerazione, se non indirettamente (attraverso l'effetto sul numero degli altri taxa e/o esemplari), della biologia ed ecologia delle specie aliene che, invece, ha grande importanza. Questo aspetto è stato espressamente considerato nell'Indice Ittico, attribuendo agli alieni un peso in base al loro grado di nocività; per molte componenti biologiche, al momento non sono disponibili sufficienti dati sulla nocività dei singoli taxa, ma sarebbe opportuno acquisirle e, in futuro, affinare così l'indice.

## Ringraziamenti

Si ringraziano tutto coloro che hanno partecipato alla raccolta dei dati biologici nei corsi d'acqua liguri e, in particolare, Maurizio Costa, Silvio Gaiter, Zaira Gennaro, Luigi Martella, Daniela Rocca, Fabio Romanello, Irene Pacini e Corinna Oliveri per i campionamenti di macrobenthos e diatomee, Elisa Falasco per le determinazioni relative alle diatomee, Laura Olivieri e Daniela Spada per i campionamenti di macrofite, Matteo Capurro e Luca Ciuffardi per i campionamenti ittici.

- Buffagni A., Erba S., 2014. Linee guida per la valutazione della componente macrobentonica ai sensi del DM 260/2010. *ISPRA, Manuali e Linee Guida*, **107**: 1-87.
- Buffagni A., Erba S., Cazzola M., Kemp J.L., 2004. The AQEM multimetric system for the southern Italian Apennines: assessing the impact of water quality and habitat degradation on pool macroinvertebrates in Mediterranean rivers. *Hydrobiologia*, **516**: 313-329.
- Buffagni A., Erba S., Genoni P., Lucchini D., Orlandi C., 2014. Protocollo di campionamento e analisi dei macroinvertebrati bentonici dei corsi d'acqua guadabili. *ISPRA, Manuali e Linee Guida*, **111**: 1-58.
- Campaioli S., Ghetti P.F., Minelli A., Ruffo S., 1994. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane. Vol. I*. Provincia Autonoma di Trento, 357 pp.
- Campaioli S., Ghetti P.F., Minelli A., Ruffo S., 1999. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane. Vol. II*. Prov. Aut. Trento: 358-484.
- Cardoso A.C., Free G., 2008. Incorporating invasive alien species into ecological assessment in the context of the Water Framework Directive. *Aquatic Invasions*, **3** (4): 361-366.
- Celesti-Grapow L., Pretto F., Carli E., Blasi C., 2010. *Flora vascolare alloctona e invasiva delle regioni d'Italia*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma, 207 pp.
- CEMAGREF, 1982. *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q.E. Lyon- A.F. Bassin Rhône- Méditerranée Corse. Lyon: CEMAGREF, 218 pp.
- Çinar M.E., Bakir K., 2014. ALien Biotic IndEX (ALEX) - A new index for assessing impacts of alien species on benthic communities. *Marine Pollution Bulletin*, **87**: 171-179.
- Ciuffardi L., Oneto F., Raineri V., 2015. L'ittiofauna delle acque interne della Liguria: aspetti filogeografici e distributivi rilevanti ai fini dell'applicazione della Direttiva 2000/60/CE. *Annali del Museo Civico di Storia Naturale "G. Doria", Genova*, **107**: 213-283.
- Costa S., Morchio F., Bodon M., 2017. Macrobenthos alieno in Liguria: stato attuale ed evoluzione del fenomeno. *Biologia Ambientale*, **31**: 183-190.
- Falasco E., Bona F., 2013. Recent findings regarding non-native or poorly known diatom taxa in north-western Italian rivers. *Journal of Limnology*, **72** (1): 35-51.
- Falasco E., Piano E., Bona F., 2013. Guida al riconoscimento e all'ecologia delle principali diatomee fluviali dell'Italia nord occidentale. *Biologia Ambientale*, **27** (1): 1-287.
- Ferrario J., Cardecchia A., Marchini A., Occhipinti-Ambrogi A., 2017. Invertebrati non indigeni in ambienti marini, di transizione e d'acqua dolce. *Biologia Ambientale*, **31**: 137-145.
- Fortini N., 2016. *Nuovo atlante dei pesci delle acque interne italiane. Guida completa ai pesci, ciclostomi, crostacei decapodi di acque dolci e salmastre*. Onorati ed., Canterano (RM), 693 pp.
- Gherardi F., Bertolino S., Bodon M., Casellato S., Cianfanelli S., Ferraguti M., Lori E., Mura G., Nocita A., Riccardi N., Rossetti G., Rota E., Scalerà R., Zerunian S., Tricarico E., 2008. Animal xenodiversity in Italian inland waters: distribution, modes of arrival, and pathways. *Biological Invasions*, **10**: 435-454.
- Gherardi F., Occhipinti-Ambrogi A., Savini D., Tricarico E., 2010. Xenodiversità animale nel bacino idrografico del Po. *Biologia Ambientale*, **24** (1): 129-134.
- Ghetti P.F., 1997. *Manuale di applicazione. Indice Biotico Esteso (I.B.E.). I macroinvertebrati nel controllo di qualità degli ambienti di acque correnti*. Provincia Autonoma di Trento, 222 pp.
- Haury J., Peltre M.-C., Trémolières M., Barbe J., Thiébaud G., Bernez I., Daniel H., Chatenet P., Haan-Archipof G., Muller S., Dutrange A., Laplace-Treytore C., Cazaubon A., Lambert-Servien E., 2006. A new method to assess water trophy and organic pollution - the Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR): its application to different types of river and pollution. *Hydrobiologia*, **570**: 153-158.
- Macchio S., Rossi G.L., 2014. Protocollo di campionamento e analisi della fauna ittica dei sistemi lotici guadabili. *ISPRA, Manuali e Linee Guida*, **111**: 1-20.
- Macchio S., Rossi G.L., Rossi G., De Bonis S., Balzamo S., Martone C., 2017. Nuovo Indice dello Stato Ecologico delle Comunità Ittiche (NISECI). *ISPRA, Manuali e Linee Guida*, **159**: 1-17.
- Mancini L., Puccinelli C., Marcheggiani S., Martone C., Balzamo S., 2014. Protocollo di campionamento ed analisi delle diatomee bentoniche dei corsi d'acqua. *ISPRA, Manuali e Linee Guida*, **111**: 1-25.
- Mancini L., Sollazzo C., 2009. Metodo per la valutazione dello stato ecologico delle acque correnti: comunità diatomiche. *Rapporti ISTISAN*, **09/19**: 1-32.
- Morpurgo M., 1996. Descrizione sintetica del saprobienindex. *Biologia Ambientale*, **10** (2-3): 16-29.
- Ofenböck T., Moog O., Gerritsen J., Barbour M., 2004. A stressor specific multimetric approach for monitoring running waters in Austria using benthic macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, **516**: 251-268.
- Olenin S., Minchin D., Daunys D., 2007. Assessment of biopollution in aquatic ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, **55**: 379-394.
- Paganelli D., Pandolfi A., Sconfiotti R., Marchini A., Vilizzi L., 2018. Potential invasiveness by non-indigenous macrozoobenthos in the secondary hydrographic system of a temperate-climate river catchment. *Ecological Indicators*, **88**: 274-281.
- Pinto P., Rosado J., Morais M., Antunes I., 2004. Assessment methodology for southern siliceous basins in Portugal. *Hydrobiologia*, **516**: 191-214.
- Rott E., Pfister P., van Dam H., Pipp E., Pall K., Binder N., Ortler K., 1999. *Indikationslisten für Aufwuchsalgen in Österreichischen Fließgewässern, Teil 2: Trophieindikation und ökologische Anmerkungen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wasserwirtschaftskataster*, Wien, 248 pp.
- Sansoni G., 1988. *Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani*. APR e B, Trento, 191 pp.
- Shannon C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, **27**: 379-423; 623-656.
- Spitale P., 2017. Performance of the STAR ICMi macroinvertebrate index and implications for classification and biomonitoring of rivers. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, **418**: 8 pp.
- Sladeček V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie-Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, **7**: 1-218.
- Zerunian S., 2012. L'Indice dello Stato Ecologico delle Comunità Ittiche: criticità e proposte operative. *Biologia Ambientale*, **26** (1): 55-58.
- Zerunian S., Goltara A., Schipani I., Boz B., 2009. Adeguamento dell'Indice dello Stato Ecologico delle Comunità Ittiche alla Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE. *Biologia Ambientale*, **23** (2): 15-30.