

Specie ittiche chiave e tipo-specifiche nei laghi naturali dell'Ecoregione Alpina: approccio storico e proposta di metriche per l'analisi dello stato di qualità della fauna ittica ai sensi della Direttiva sulle Acque 2000/60/CE

Pietro VOLTA* & Alessandro OGGIONI

CNR-Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza, Italia

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: p.volta@ise.cnr.it

RIASSUNTO - *Specie ittiche chiave e tipo-specifiche nei laghi naturali dell'Ecoregione Alpina: approccio storico e proposta di metriche per l'analisi dello stato di qualità della fauna ittica ai sensi della Direttiva sulle Acque 2000/60/CE* - Sulla base della composizione "storica" delle comunità ittiche si propone una tipizzazione dei bacini lacustri naturali dell'Ecoregione Alpina. Per ognuno dei quattro tipi lacustri individuati è identificata una lista di specie ittiche chiave e tipo-specifiche la cui analisi, in termini di abbondanza e struttura, può essere utile ad una valutazione complessiva dello stato ecologico di un lago ai sensi della Direttiva Quadro 2000/60/CE. Viene proposto un indice multimetrico (Lake Fish Index - LFI), da validare mediante l'acquisizione di dati standardizzati in accordo con il "Protocollo di campionamento della fauna ittica nei laghi italiani" (APAT 2007). L'indice è composto da 5 metriche che considerano la composizione, l'abbondanza e la struttura della fauna ittica.

SUMMARY - *Key- and type- specific fish species in natural lakes of Italian Alpine Ecoregion reconstructed from historical data: a preliminary index to assess the quality status of fish fauna according to WFD 2000/60/CE* - Four typologies of lakes in the Italian Alpine Ecoregion were identified on the basis of an historical reconstruction of fish communities. For each lake type a list of key- and type- specific fish species was set. Their analysis, in terms of abundance and structure, consistent with the requests of WFD 2000/60/CE, can be useful for the assessment of the ecological status of lakes. A preliminary index (Lake Fish Index - LFI), composed by 5 metrics, is suggested. This index has to be validated in the future using standardized data achieved by sampling according to the "Protocol for fish sampling in Italian lakes" (APAT, 2007).

Parole chiave: condizioni di riferimento, fauna ittica, pressioni antropiche, pressioni idromorfologiche, lake fish index

Key words: reference conditions, WFD 2000/60/CE, fish fauna, anthropogenic pressures, hydromorphological pressures, lake fish index

1. INTRODUZIONE

Il principale strumento di indirizzo adottato dall'Unione Europea per prevenire il degrado degli ambienti acquatici è la Direttiva Quadro sulle Acque (WFD-Water Framework Directive 2000/60/CE); in accordo con la WFD tutte le nazioni europee dovranno implementare le misure di gestione a partire dal 2012 per raggiungere condizioni di "buono stato ecologico" dei corpi idrici nel 2015 o comunque per evitare un ulteriore degrado. La Direttiva Quadro sulle Acque richiede di valutare lo stato ecologico dei corpi idrici a partire dallo stato di qualità degli elementi biologici fitoplancton, macrobenthos e fitobenthos, macrofite e pesci (ANNEX V della WFD), con il supporto delle informazioni relative ai parametri chimici e fisici e idromorfologici. Per quanto riguarda i pesci la WFD stabilisce che debbano essere valutate la "composizione, l'abbondanza e la struttura di età" (Allegato V). I pesci, rispondendo alle perturbazioni ambientali anche su scala temporale relativamente lunga, sono considerati un buon indicatore dell'integrità ecologica di un ecosistema acquatico (Simon 1999).

La WFD richiede di valutare lo stato di qualità della fauna ittica mediante l'analisi dello scostamento tra le condizioni attuali e le condizioni di riferimento tipo-specifiche.

Per determinare le condizioni di riferimento la WFD raccomanda di confrontare la comunità di un certo corpo idrico con un'altra di un corpo idrico dello stesso tipo e regione prossima a condizioni di naturalità, ovvero di utilizzare dati storici, approcci modellistici o il giudizio esperto (Allegato II, 1.3). Il degrado dei corpi idrici è condizionato dal carico di nutrienti e inquinanti, dalle modificazioni degli habitat e dall'intenso uso del territorio dal parte dell'uomo. Ulteriori problemi sono legati ai cambiamenti climatici sia direttamente sia indirettamente attraverso l'interazione con altri fattori di pressione. Per queste e altre ragioni la definizione delle condizioni di riferimento per i corpi idrici risulta particolarmente difficoltosa. È diffusa opinione che le condizioni di riferimento per gli elementi di qualità biologica, compresi i pesci, sono relativamente rare a causa dell'impatto dell'uomo. Per questa ragione la ricostruzione storica delle condizioni di riferimento può rappresentare una valida alternativa e un approccio interessante da percorrere (Gassner & Wanzenböck 1999; Gassner *et al.* 2005). L'utilizzo dei dati storici per la ricostruzione delle comunità ittiche specifiche per ogni tipologia lacustre può incorporare una dose di incertezza, a causa della diversa qualità e quantità di dati ma, d'altra parte, i dati storici possono fornire importanti e spesso uniche informazioni circa la composizione e

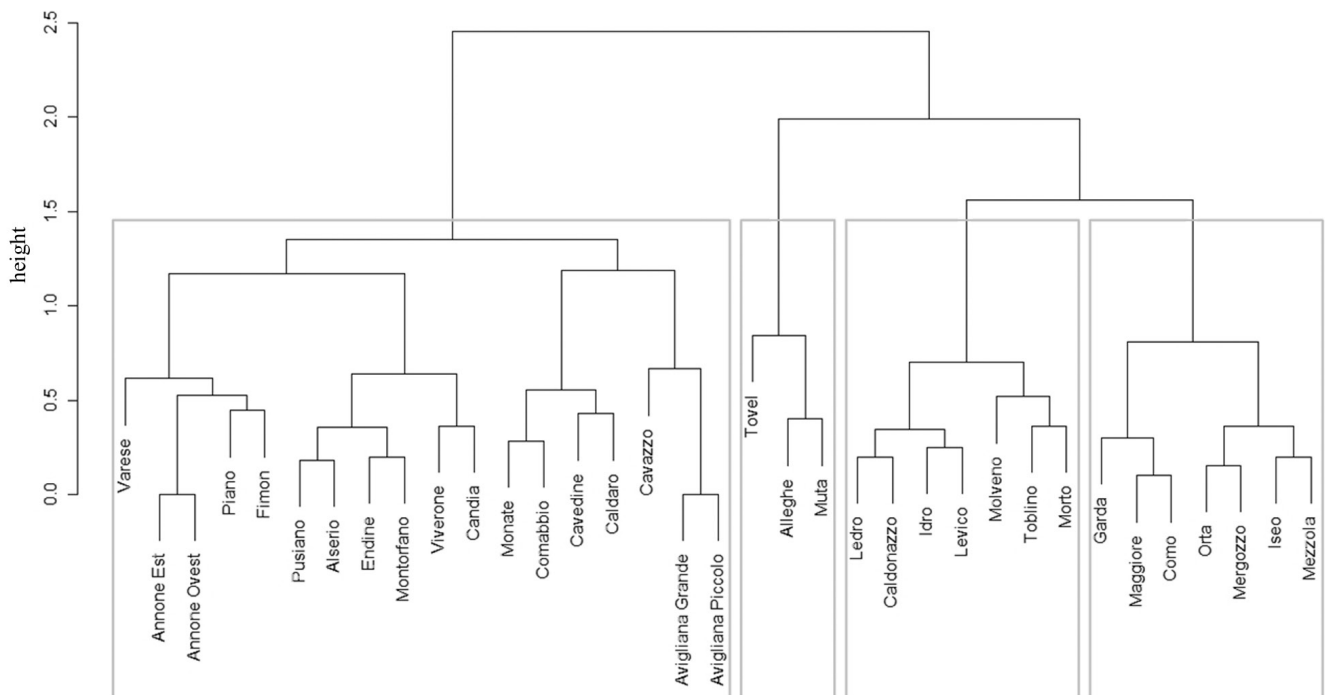


Fig. 1 - Dendrogramma che raggruppa i laghi naturali della Ecoregione Alpina sulla base della ricostruzione storica delle rispettive comunità ittiche. Sulle ordinate "height" rappresenta la dissimilarità tra i clusters: più il valore di "height" è elevato, maggiore è la dissimilarità tra i gruppi.

Fig. 1 - Dendrogram grouping the natural lakes of Italian Alpine Ecoregion based on the reconstructed fish community. "Y" axis "height" indicates the dissimilarity between groups.

struttura delle comunità (Steedmann *et al.* 1996).

Durante gli ultimi decenni sono stati sviluppati sistemi di valutazione della integrità ecologica di un ecosistema acquatico utilizzando la fauna ittica (Swingle 1950; Reynolds & Bapp 1978; Karr 1981; Minns *et al.* 1994; Appelberg 2000). Anche in Italia sono stati proposti diversi indici biotici e metodi affini (Bianco 1990; Lodi & Badino 1991; Maio *et al.* 1996; Zerunian 2004; Forneris *et al.* 2004; Scardi *et al.* 2006) sia basati su un approccio multimetrico ispirato all'IBI (Karr 1981) sia su altri approcci, privilegiando di volta in volta gli aspetti funzionali o gli aspetti faunistici, e prevalentemente applicati a sistemi lotici. L'indice IBI (Karr 1981) pur rappresentando una pietra miliare si è rivelato inefficace in acque lentiche a causa dello scarso numero di specie autoctone presenti naturalmente in queste acque (Nelson 1984; Gassner & Wanzenböck 1999). Il numero di specie ridotto rende infatti difficile sviluppare metriche basate sulla diversità in specie, la specializzazione trofica o strategia riproduttiva, elementi tipici dell'IBI. In questo frangente anche il giudizio esperto può diventare una parte integrante del sistema di valutazione (Scardi *et al.* 2006). Ciò nonostante, indici simili all'IBI sono attualmente in uso in alcuni paesi quali la Svezia (Holmgren K., com. pers.) basati però su dataset costituiti da una mole di dati notevole acquisiti mediante metodologie standard, da un numero consistente di ambienti di riferimento e da lunghe serie temporali.

Questo lavoro ha il duplice scopo di a) tipizzare i bacini lacustri naturali dell'Ecoregione Alpina sulla base della loro composizione "storica" in specie, evidenziando per ciascuno di essi le associazioni faunistiche di riferimento b) sulla base della tipizzazione, proporre (in Allegato) un indice, formato da 5 metriche, che possa essere utilizzato per la

valutazione dello stato di qualità della fauna ittica nei laghi e consenta di contribuire all'analisi dello stato ecologico degli stessi ai sensi della Direttiva sulle Acque 2000/60/CE.

Il presente lavoro dunque si sviluppa in due sezioni successive e complementari: la prima considera la tipizzazione e la definizione delle specie ittiche chiave e tipo-specifiche per ogni tipo lacustre e la seconda (Allegato I) presenta, con alcune note esplicative per ogni singola metrica, una proposta di indice, denominato Lake Fish Index (LFI), da utilizzare per la valutazione dello stato di qualità dell'Elemento di Qualità Biologica (BQE) "pesci".

Con questo lavoro dunque si intende fornire un contributo alla discussione sull'uso della fauna ittica per la valutazione dello stato ecologico dei bacini lacustri con particolare riferimento alle richieste della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Tipizzazione e definizione delle specie ittiche chiave e tipo-specifiche

In questo lavoro è stata considerata la sola porzione italiana dell'Ecoregione Alpina, localizzabile al nord del Fiume Po, in cui sono inclusi 34 laghi naturali con superficie > 0.5 km².

Le specie ittiche considerate sono quelle presenti prima del 1900. I dati relativi alla composizione in specie di ciascun lago sono stati tratti dalla letteratura (Bettoni 1887; Canestrini 1885; De Filippi 1844; Festa 1892; Garbini 1897; Largaiolli 1902; Monti 1846; Monti 1864; Monti 1903; Monti 1910; Monti 1929; Pavese 1871; Scot-

ti 1898; Zacchera 1948). Sono incluse le seguenti specie: *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758 - coregonide a veloce accrescimento) e *Salvelinus alpinus* (Linnaeus, 1758) considerati specie "parautoctone". Sono altresì incluse *Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758) e *Cottus gobio* (Linnaeus, 1758) perché, benché non strettamente specie di acque lentiche, possono in esse compiere l'intero ciclo biologico e costituire popolazioni stanziali. Sono state escluse invece le specie più tipicamente reofile, quali *Barbus plebejus* (Bonaparte 1839), *Lampetra planeri* (Bloch, 1784), *Thymallus thymallus* (Linnaeus, 1758), ed inoltre la forma migratrice (cheppia) di *Alosa fallax* (Lacepède, 1803), oltre a *Acipenser* spp. (Linnaeus, 1758) e *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). La nomenclatura utilizzata è in accordo con Gandolfi *et al.* (1991).

Per la tipizzazione è stata calcolata la dissimilarità tra le comunità ittiche dei diversi laghi utilizzando l'indice di Jaccard, considerato un valido indice per evidenziare gradienti ecologici (Faith *et al.* 1987). Per queste analisi sono stati utilizzati dati binari di presenza/assenza (1/0) riferiti ad ognuno dei 34 laghi naturali considerati. La matrice di dissimilarità è stata analizzata successivamente attraverso un metodo di raggruppamento in cluster (metodo agglomerativo di Ward). Le analisi numeriche sono state effettuate utilizzando il software R, versione 2.6.0 (R Development Core Team 2007) e Vegan Community Ecology Package, version 1.8-8 (Oksanen *et al.* 2007). È stato scelto il metodo di Ward in quanto è quello che ha ottenuto il miglior punteggio (0,83) nel confronto tra la dissimilarità osservata nei campioni e la dissimilarità espressa in forma grafica dal dendrogramma. Questa è stata calcolata con la funzione "cophenetic" nel software R (pacchetto Vegan) che permette di trovare la dissimilarità del dendrogramma tra tutte le coppie. Maggiore il valore e più è performante la tecnica.

Le specie chiave sono definite da una probabilità di comparsa pari a 1 in ogni tipo lacustre e da $X \leq 9$; X è definito come

$$(1) \quad X = (\sum p_i) * \text{range}$$

dove " p_i " = probabilità di comparsa di una specie in un tipo lacustre e "range" = numero totale di tipi lacustri in cui la specie è presente.

Le specie tipo-specifiche sono invece definite da una probabilità di comparsa $\geq 0,8$.

3. RISULTATI

L'analisi dei cluster ha permesso di identificare diversi gruppi di laghi. Si è scelto di considerare 4 gruppi (Fig. 1), poiché è stata massimizzata l'omogeneità intracluster e la disomogeneità intercluster. Le tipologie lacustri identificate sono caratterizzate da differenti parametri limnologici (Tab. 1) e differenti associazioni faunistiche specifiche (Tab. 2).

Gruppo 1 - Sono i grandi laghi profondi del bacino padano-veneto centro-occidentale e i laghi profondi ad essi connessi (L. Mergozzo e L. Mezzola). Sono caratterizzati naturalmente da acque povere di nutrienti e da profondità e superficie molto elevate. La grande estensione del pelago lacustre consente di sostenere ampi e strutturati popolamenti di taxa ittici zooplanctofagi (*Alosa fallax lacustris*, *Coregonus lavaretus*, *Alburnus alburnus alborella*); l'ossigenazione delle fredde acque ipolimniche rende possibile la presenza

Tab. 1 - Valori medi dei parametri limnologici (Deliverable n. 295 EUROLIMPACS, 2008) e del numero di specie per i gruppi di laghi evidenziati dalla analisi dei cluster.

Tab. 1 - Average values of limnological parameters (Deliverable n. 295 EUROLIMPACS, 2008) mean number of species in each lake type.

	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3	Gruppo 4
Superficie (km ²)	115,6	3,6	2,9	0,6
Altitudine (m s.l.m.)	189,4	460,6	252,2	1198,0
Profondità max (m)	238,0	62,6	20,3	24,5
Profondità media (m)	106,6	26,7	10,4	11,5
Volume (km ³)	16880,4	158,2	32,7	6,9
Tempo di rinnovo (anni)	7,8	1,4	2,6	0,2
P teorico (mg L ⁻¹)	3,6	4,3	6,5	5,3
Chl a teorica	0,7	1,0	1,4	1,1
Numero di specie	15,6	11	7,3	2,5

della bottatrice (*Lota lota*), specie stenoterma frigofila. L'eterogeneità di habitat favorisce una elevata ricchezza in specie.

Gruppo 2 - Laghi profondi del bacino padano-veneto centro-orientale. Le caratteristiche limnologiche intermedie tra i grandi laghi profondi e i laghi di pianura (profondità, area e volumi medi non eccessivamente elevati) li rendono, dal punto di vista della composizione in specie, una sorta di "ambiente di transizione". Sono infatti caratterizzati dalla presenza di specie più tipiche di ambienti lacustri poco profondi e naturalmente meso-eutrofici e cioè il luccio (*Esox lucius* Linnaeus 1758), la tinca (*Tinca tinca* Linnaeus 1758), la scardola (*Scardinius erythrophthalmus* Linnaeus 1758) a cui però si associa ancora la trota (*Salmo (trutta) trutta* Linnaeus 1758), specie stenoterma frigofila caratteristica di ambienti oligotrofici e con acque ben ossigenate. In questo gruppo di laghi è inoltre caratteristica la savetta (*Chondrostoma soetta* Linnaeus 1758), specie ittica di elevato interesse faunistico.

Gruppo 3 - Laghi poco profondi di pianura. Sono i laghi di piccole dimensioni della fascia morenica o pianeggiante subalpina. Corpi idrici tipicamente meso-eutrofici. Il numero di specie ittiche è ridotto, sono generalmente inadatti alla presenza dei salmonidi e, in generale, delle specie stenoterme di acque fredde.

Gruppo 4 - Laghi alpini. Sono i laghi posti ad altitudini elevate, caratterizzati da una bassissima ricchezza specifica e da specie ittiche stenoterme di acque fredde. La presenza della trota non può che essere vincolata alla disponibilità di immissari o emissari adatti alla riproduzione. In assenza di tributari o emissari il salmerino alpino è da considerarsi maggiormente indicativo.

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La struttura delle comunità ittiche dipende da una molteplicità di processi ecologici variabili su scala spaziale e temporale. Fattori importanti nello strutturare le comunità ittiche

Tab. 2 - Specie chiave e tipo-specifiche individuate per ogni tipo lacustre.
 Tab. 2 - Key- and type-specific fish species in each lake type.

	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3	Gruppo 4
Specie chiave	Agone (<i>Alosa fallax lacustris</i>)	Luccio (<i>Esox lucius</i>)	Luccio (<i>Esox lucius</i>)	
	Bottatrice (<i>Lota lota</i>)	Scardola (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	Scardola (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	Sanguinerola (<i>Phoxinus phoxinus</i>)
	Coregone lavarello (<i>Coregonus lavaretus</i>)	Tinca (<i>Tinca tinca</i>)	Tinca (<i>Tinca tinca</i>)	
Specie tipo-specifiche	Alborella (<i>Alburnus alburnus alborella</i>)			
	Cavedano (<i>Leuciscus cephalus</i>)			
	Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	Savetta (<i>Chondrostoma soetta</i>)		
	Luccio (<i>Esox lucius</i>)	Cavedano (<i>Leuciscus cephalus</i>)	Alborella (<i>Alburnus alburnus alborella</i>)	Salmerino (<i>Salvelinus alpinus</i>)
	Pesce persico (<i>Perca fluviatilis</i>)	Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)		Scazzone (<i>Cottus gobio</i>)
	Triotto (<i>Rutilus erythrophthalmus</i>)	Trota (<i>Salmo trutta</i>)	Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	Trota
	Scardola (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)			
	Tinca (<i>Tinca tinca</i>)			
	Trota (<i>Salmo trutta</i>)			

sono quelli fisico-chimici (Tomn & Magnusson 1982; Marshall & Ryan 1987; Gibson & Headrich 1988; Personn 1997) o morfologici quali profondità o area (Rahel 1986; Jackson & Hervey 1989). Studi ecologici di carattere generale riguardanti la composizione delle comunità ittiche sono piuttosto comuni (Eckmann 1995; Irz *et al.* 2004) anche in relazione alle variazioni su scala temporale dovute alle pressioni antropiche (Jeppesen *et al.* 2000; Tammi *et al.* 2003). Questi studi mostrano l'effetto dell'incremento della produttività primaria sulla comunità ittica, con il passaggio da una dominanza delle specie pelagiche a quella delle specie tipicamente litorali o più precisamente da una dominanza numerica dei salmonidi

(principalmente coregoni) ad una dominanza dei percidi e dei ciprinidi (Persson *et al.* 1991; Holmgren & Appelberg 2000; Mehner *et al.* 2005; Garcia *et al.* 2006). Altri studi invece individuano nelle variazioni di trofia e nelle pressioni idromorfologiche (variazioni di livello principalmente) alcune delle cause di alterazione di popolazioni tipicamente litorali o tipicamente fitofile, quali ad esempio il luccio o la tinca (Franklin & Smith 1963; Adelman & Smith 1970; Casselman 1978; Casselman & Lewis 1996; Perrow *et al.* 1996).

Il lavoro di tipizzazione dei laghi naturali italiani della Ecoregione Alpina ha permesso di attribuire ad ogni tipo lacustre taxa ittici "indicatori" con valenza faunistica ed eco-

Tab. 3 - Lake Fish Index (LFI) - Indice per la valutazione dello stato di qualità della fauna ittica nei bacini lacustri.
 Tab. 3 - Lake Fish Index (LFI) - Index for the assessment of the quality status of fish fauna in lakes

		PUNTEGGIO				
METRICA	4	6	8	10	12 - riferimento	
1	Abbondanza relativa delle specie chiave	non catturati né segnalati negli ultimi 5 anni da osservazioni o statistiche di pesca	non catturati nel monitoraggio ma segnalati da osservazioni e statistiche di pesca negli ultimi 5 anni	1-7	6-60	>60
2	Struttura di popolazione delle specie chiave	<25/>75		25-34/66-75 (8punti)		35-65
3	Successo riproduttivo delle specie chiave e tipo-specifiche	<25%	25-50%	51-65%	66-80%	>80%
4	Diminuzione di specie ittiche chiave e tipo-specifiche	>80%	66-80%	51-65%	25-50%	<25%
5	% specie aliene	>80%	61-80%	41-60%	21-40%	<20%
	PUNTEGGIO	<24	24-34	35-44	45-52	52-60
	STATO DI QUALITA'	BAD	POOR	MODERATE	GOOD	HIGH

logica. I salmonidi (bottatrice, coregoni, salmerino alpino, trota) o comunque specie sensibili (sanguinerola e scazzone) infatti sono caratteristici dei laghi profondi o comunque dei bacini lacustri con acque fredde e ben ossigenate. Specie più tolleranti invece sono tipiche di bacini lacustri naturalmente più ricchi di nutrienti o comunque poco profondi. Inoltre è da notare la presenza di specie ittiche (trota, savetta, coregone lavarello e luccio) sulle quali le pressioni idromorfologiche (fluttuazione delle acque, alterazione delle rive, sbarramenti) possono avere un impatto particolarmente negativo.

Il metodo utilizzato ha permesso di evidenziare associazioni faunistiche significative dal punto di vista ecologico, naturalistico e, indirettamente, funzionale. Non si deve dimenticare l'interazione necessaria tra la presente Direttiva e le altre Direttive Europee, in primo luogo la Direttiva Habitat (92/43/CEE). Ad avviso degli autori anche l'aspetto faunistico non deve essere trascurato all'interno della valutazione della qualità della fauna ittica in un bacino lacustre.

Il quadro sintetico dell'indice LFI con il punteggio finale associato al giudizio sullo stato ecologico è presentato nella tabella seguente (Tab. 3).

Il Lake Fish Index risponde alle richieste della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE in quanto (1) si basa su metodi di campionamento standardizzati in accordo con le norme ISO/CEN e (2) considera, nel suo sviluppo e applicazione, i seguenti elementi:

- la composizione delle comunità
 - le abbondanze
 - la struttura di età (attraverso l'analisi della distribuzione delle classi di taglia) delle specie maggiormente indicatrici (specie chiave)
 - il successo riproduttivo delle specie tipiche specifiche
- Nell'Allegato I si propone un indice multimetrico (Lake Fish Index - LFI) da utilizzare per la caratterizzazione dello stato dell'elemento di qualità biologica "pesci" in accordo con le richieste della Direttiva sulle Acque. Trattandosi di una proposta, si vuole sottolineare la necessità che il suddetto indice sia testato con dati di campo. Risulteranno particolarmente utili i dati che le Agenzie Regionali per l'Ambiente e Territorio, afferenti ad APAT (ora ISPRA), acquisiranno nella fase del monitoraggio della fauna ittica in adempimento alle richieste per l'implementazione della Direttiva sulle Acque 2000/60/CE. Attualmente tuttavia, l'assenza di dati ricavati da metodologie comuni e condivise non può che rallentare lo sviluppo di indici complessi e meno vincolati al "giudizio esperto"; per tale ragione, ad avviso degli autori, l'indice proposto può rappresentare, al momento, una soluzione ottimale, in attesa di informazioni quantitative che potranno giungere in futuro.

L'approccio storico utilizzato per la tipizzazione rappresenta innanzitutto una esplorazione metodologica, proponendosi la finalità di aprire la discussione circa l'analisi dello stato di qualità della fauna ittica nei laghi e il suo

utilizzo come indicatore di stato ecologico. I risultati del presente lavoro dunque non costituiscono che un primo passo verso una elaborazione più complessa che consenta di considerare in modo più stringente elementi quantitativi, parametri chimico-fisici e idromorfologici.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano la dott.ssa Caterina Sollazzo (MATTM), il Prof. Michele Scardi e dott. Lorenzo Tancioni (Uni Tor Vergata), il dott. Sergio Zerunian (Corpo Forestale dello Stato) e il Dr. Niels Jepsen (JRC) per i commenti costruttivi durante le prime fasi di elaborazione del LFI. Un sentito ringraziamento anche al Dott. Aldo Marchetto (ISE-CNR).

BIBLIOGRAFIA

- Adelman I.R. & Smith L.L., 1970 - Effect of hydrogen sulfide on northern pike eggs and sac fry. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 99: 501-509.
- Anderson R.O. & Neumann R.M., 1996 - Length, Weight, and Associated Structural indices. In: *Murphy & Willis Eds. Fisheries techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA. 447-482.
- APAT, 2007. *Metodi biologici per le acque*, Parte I. http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/metodi_bio_acque.html
- Bettoni L., 1887 - La Pesca sul Benaco. *Italia Agricola*. Tipografia degli Operai, Milano, 31 pp.
- Berg A. & Grimaldi E., 1965 - Biologia delle due forme di coregone (*Coregonus* sp.) nel Lago Maggiore. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 18: 25-196.
- Bianco P.G., 1990 - Proposta di impiego di indici e di coefficienti per la valutazione dello stato di degrado dell'ittiofauna autoctona delle acque dolci. *Rivista di idrobiologia*, 29/1: 130-149.
- Bianco P.G., 1998 - Freshwater fish transfers in Italy: history, local modification of fish composition, and a prediction on the future of native populations. In: *Stocking and Introductions of Fishes* (Cowx, J., ed). Oxford: Fishing News Books: 165-197.
- Bianco P.G. & Ketmaier V., 2001 - Anthropogenic changes in the freshwater fish fauna of Italy, with reference to the central region and *Barbus graellsii*, a newly established alien species of iberian origin. *J. Fish Biol.*, 59: 190-208.
- Cambray J.A., 2003 - Impact on indigenous species biodiversity caused by the globalisation of alien recreational freshwater fisheries. *Hydrobiologia*, 500: 217-230.
- Canestrini R., 1885 - I pesci del Trentino. *XII Annuario della Società degli Alpinisti trentini*. Tipografia Roveretana, Rovereto, 63 pp.
- Casselman J.M., 1978 - Effects of environmental factors on growth, survival, activity and exploitation of northern pike. *Am. Fish. Soc. Spec. Publ.* 11: 114-128.
- Casselman J.M. & Lewis C.A., 1994 - Habitat requirements of northern Pike (*Esox lucius*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 161-174.
- De Filippi, 1844 - Cenni sui pesci d'acqua dolce della Lombardia. *Notizie naturali e civili sulla Lombardia*, 1: 1-20.
- Delmastro G.B., 1986 - Problemi relativi all'introduzione di specie esotiche di pesci nelle acque italiane. *Atti 1° Conv. Ass.Itt. Acque dolci*, Reggio Emilia. *Riv. Limnol.*, 14: 85-96.
- Eckmann R., 1995 - Fish richness in lakes of the northeastern lowlands in Germany. *Ecol. Freshw. Fish*, 4: 62-69.
- Euro-Limpacs, 2008. Comparison of paleoreconstruction and empirical models to infer the reference condition of Italian Lakes. In: Project GOCE-CT-2003-505540, Integrated project to evaluate the impacts of global change in European Freshwater Ecosystems. Eurolimpacs, 17 pp.
- EU, 2000 - Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. Brussels: The European Parliament and the Council of the European Union, 72 pp.
- Faith D. P., Minchin P. R. & Belbin L., 1987 - Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. *Vegetatio* 69: 57-68.
- Festa E., 1892 - I Pesci del Piemonte. *Bollettino dei Musei di Zoologia ed Anatomia Comparata*. Università di Torino, 129/VII: 1-129.
- Forneris G., Merati F., Pascale M., Perosino G.C., 2005 - Proposta di un indice ittico (II) per il bacino occidentale del Po e prime applicazioni in Piemonte. *Riv. Piem. St. Nat.*, XXVI: 3-39.
- Franklin D.R. & Smith L.L. Jr, 1963 - Early life history of the northern pike, *Esox lucius*, with special reference to the factors influencing the numerical strength of year classes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 92: 91-110.
- Froese R. & Binohlan C., 2000 - Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. *J. Fish Biol.*, 56: 758-773.
- Gandolfi G., Zerunian S., Torricelli P. & Marconato A., 1991 - I Pesci delle acque interne italiane. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 617 pp.
- Garbini A., 1897 - Osservazioni e dati statistico economici sui pesci e sulla pesca del Benaco. *Serie Limnologica*, 18. Tipolitografia Franchini, Verona, 52 pp.
- Gassner H. & Wanzenbock J. 1999 - Fischökologische Leitbilder Fünf ausgewählter Salzkammergutseen, (Ecological base line states for fish communities of five Austrian Lakes). *Limnologica*, 29: 436-448.
- Gibson R.J. & Haedrich R.L., 1988 - The exceptional growth of juvenile atlantic salmon in the city waters of St. John's Newfoundland, Canada. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 35: 385-407.
- Goren M. & B.S. Galil, 2005 - A review of changes in the fish assemblages of Levantine inland and marine ecosystems following the introduction of non native fishes. *J. App. Ichthyol.*, 21: 364-370.
- Holmgren K. & Appelberg M., 2000 - Size structure of benthic freshwater fish communities in relation to environmental gradients. *J. Fish Biol.*, 57: 1312-1330.
- Irz P., Argillier C. & Oberdorff T., 2004. Native and introduced fish species richness in French lakes: local and regional influences. *Global ecology and Biogeography*, 13: 335-344.
- Largaiolli V., 1902 - Distribuzione dei pesci nei bacini idrografici del Trentino. *Tridentum* (I-II) Società Tipografica Editrice Trentina. Trento, 19 pp.
- Lodi E., Badino G., 1991 - Classificazione delle acque fluviali (zona dei Cipriniformi) mediante l'indice ittico. *Atti Acc. Sci. Torino*, Torino. Vol. 125 (5-6): 192-203.
- Jackson D.A. & Harvey H.H., 1989 - Biogeographic association in fish assemblages: local vs regional processes. *Ecology*, 70: 1472-1484.
- Jeppesen E., Jensen J.P., Søndergaard M., Lauridsen T. & Landkildehus F., 2000 - Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshw. Biol.*, 45: 201-218.
- Karr J.R., 1981 - Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6: 21-27.
- Karr J.R., Fausch K.D., Angermeier P.L., Yant P.R. & Schlosser I.J., 1986 - Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. *Illinois Natural History Survey Spe-*

- cial Publication, 5, 29 pp.
- Maio G., Rigatti Luchini S., Castaman D., Mojetta A., Salviati S., Marconato E., 1996 - Prima Applicazione ed adeguamento dell'Index of Biotic Integrity (IBI) in Provincia di Vicenza. *Atti del VI Conv. Naz. A.I.A.D.*, Varese Ligure (SP), 6-8 Giugno 1996.
- Marshall T.R. & Ryan P.A., 1987 - Abundance patterns and community attributes of fishes relative to environmental gradients. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44: 198-215.
- Mehner T., Diekmann M., Bramick U. & Lemcke R., 2005 - Composition of fish communities in german lakes as related to lake morphology, trophic state, shore structure and human use intensity. *Freshw. Biol.*, 50: 70-85.
- Monti M., 1864 - *Notizie dei pesci delle province di Como e Sondrio e del Canton Ticino*. Tip. Carlo Franchi (COMO), 106 pp.
- Monti R., 1910 - La vita negli alti laghi alpini. *Rivista mensile di Sci. Nat.* Vol.1.
- Monti R., 1903 - *Le condizioni favorevoli alla Piscicoltura nei Laghi Ossolani e Valdostani*. Premiata Tipografia Editrice Ostinelli, Como, 8 pp.
- Monti R., 1929 - Biologia dei Coregoni nei laghi Italiani. *Rivista di Biologia*, XI (III-IV)
- Oksanen J., Kindt., Legendre, O'Hara B. & Stevens M.H.H., 2007 - Vegan: Community Ecology Package. R package version 1.8-8. <http://cran.r-project.org/>, <http://r-forge.r-project.org/projects/vegan/>
- Pavesi P., 1871 - I pesci e la pesca nel Canton Ticino. Memorie del dr. Pietro Pavesi. Ed. Veladini, 150 pp.
- Perrow M.R., Jowitt A.J.D. & Johnson S.R., 1996 - Factors affecting the habitat selection of tench in a shallow eutrophic lake. *J. Fish Biol.*, 48: 859-870.
- Persson L., Diehl S., Johansson L., Anderson G. & Hamrin S.F., 1991 - Shifts in fish communities along the productivity gradient of temperate lakes - patterns and the importance of size structured interactions. *J.Fish. Biol.*, 38: 281-293.
- Persson L., 1997 - Competition, predation and environmental factors as structuring forces in freshwater fish communities: Sumari (1971) revisited. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54: 85-88.
- Rahel F.J., 1986 - Biogeographic influences on species composition of northern Wisconsin lakes with applications for lakes acidification studies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 124-134.
- R Development Core Team, 2007 - *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org>.
- Scardi M., Cataudella S., Ciccotti E., Di Dato P., Maio G., Marconato E., Salviati S., Tancioni L., Turin P. & Zanetti M., 2004 - Previsione della composizione della fauna ittica mediante reti neurali artificiali. *Biologia Ambientale*, 18: 1-8.
- Scotti L., 1898 - *La distribuzione dei Pesci d'acqua dolce in Italia*. Stabilimento Tipografico G. Civelli, ROMA, 47 pp.
- Simon T.P., 1999 - *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using Fish Communities*. CRC-Press Boca Raton, 671 pp.
- Steedman R. J., Whillans T. H., Behm A. P., Bray K.E., Cullis K. I., Holland M. M., Stoddart S. J. & White R. J., 1996 - Use of historical information for conservation and restoration of Great Lakes aquatic habitat. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53/1: 415-423.
- Tammi J., Appelberg M., Beier U., Hesthagen T., Lappalainen A. & Rask M., 2003 - Fish status survey of Nordic lakes: effects of acidification, eutrofikation and stocking activity on present fish species composition. *Ambio*, 32: 98-105.
- Tonn, W.M. & Magnusson J.J., 1982 - Patterns in the species composition and richness of fish assemblages in northern Wisconsin lakes. *Ecology*, 63: 1149-1166.
- Zacchera L., 1948 - *Principali laghi d'Italia, loro pescosità e contributo all'economia nazionale*. Tesi di Laurea. Università Commerciale Luigi Bocconi. Milano, 350 pp.
- Zerunian S., 2004 - Proposta di un indice dello stato ecologico delle comunità ittiche viventi nelle acque interne italiane. *Biologia Ambientale* 18/2: 25-30.
- Zick D., Gassner H., Rinnerthaler M., Jager P. & Patzner R.A., 2006 - Application of population size structure indices to Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.) in Alpine lakes in Austria. *Ecol. Freshw. Fish.*, 16/1: 54-63.

APPENDICE I - Lake Fish Index

a) Metodologia di campionamento

Il campionamento è un elemento fondamentale per poter ottenere dei dati quantitativi confrontabili nel tempo e tra ambienti differenti. La WFD sottolinea l'importanza di utilizzare dei metodi standardizzati in accordo con le norme ISO/CEN (Allegato V, punto 1.3.6).

APAT (ora ISPRA) ha proposto recentemente (2007) le linee guida per il campionamento della fauna ittica in ambiente lacustre. I metodi, basati su un approccio comune alla maggior parte dei Paesi Europei (Protocollo CEN), prevedono l'utilizzo di reti branchiali multimaglia e dell'elettropesca. Lo sforzo di campionamento (numero di reti) è standardizzato in relazione alla superficie e alla profondità del corpo d'acqua. Per una più estesa trattazione dell'argomento si rimanda al testo "Metodi biologici per le acque, Parte I" (APAT 2007; http://www.apat.gov.it/site/_files/Pubblicazioni/Metodi_bio_acque/Manuale_Indice.pdf)

b) Struttura del Lake Fish Index

Il LFI è composto da 5 metriche. Il valore finale del LFI è calcolato dalla somma dei valori assunti dalle singole metriche. Il punteggio attribuito ad ogni metrica può variare da un minimo di 4 ad un massimo di 12 punti.

Le metriche considerano:

1. l'abbondanza relativa (Numero Per Unità di Sforzo) delle specie chiave
2. la struttura di popolazione delle specie chiave
3. il successo riproduttivo delle specie chiave e tipo-specifiche
4. la diminuzione del numero di specie tipo-specifiche
5. la presenza di specie ittiche aliene

Metrica 1: abbondanza relativa delle specie chiave

Questa metrica considera il numero di individui delle specie chiave catturati durante il campionamento standard (considerato come una singola Unità di Sforzo) ma si

propone di valorizzare anche le informazioni provenienti dalle Carte Ittiche o da campagne di monitoraggio a fini gestionali effettuate negli ultimi 5 anni.

Se la popolazione della specie chiave è sostenuta da immissioni il punteggio deve essere scalato di una classe. La presenza di immissioni a scopo di ripopolamento indica una alterazione di una popolazione ittica rispetto a condizioni di equilibrio. Le immissioni in ambiente naturale infatti dovrebbero essere uno strumento gestionale utilizzato per sostenere e/o equilibrare una popolazione ittica qualora fattori di pressione ne abbiano alterato la struttura.

In presenza di più specie chiave, il punteggio della metrica 1 deve essere (a) calcolato come media aritmetica dei punteggi parziali di ciascuna specie (b) arrotondata alla categoria di punteggio superiore.

Metrica 2: struttura di popolazione

La struttura di una popolazione ittica è determinata dall'interazione tra le caratteristiche biologiche ed ecologiche della specie e fattori di pressione che possono essere di origine antropica (variazioni di trofia, inquinamento chimico, pressione di pesca, alterazione degli habitat) e di origine naturale (ad es. fattori climatici o idrologici, disponibilità di risorse alimentari). L'interazione tra questi elementi condiziona i tassi di natalità e mortalità delle singole classi di nascita e modella la distribuzione delle classi di età e di taglia in una popolazione.

La metrica proposta considera la struttura di taglia (e dunque di età) della popolazione delle specie ittiche chiave e ne valuta la struttura (equilibrata o non equilibrata) mediante l'indice di struttura PSD-Proportional Stock Density Index (Anderson & Neumann 1996; Zick *et al.* 2006).

Gli indici stock-density permettono di analizzare la struttura di una popolazione ittica a partire dalla distribuzione di frequenza delle classi di lunghezza, dalla lunghezza massima della specie e dalla lunghezza alla maturità (L_m).

PSD è definito come:

$$(1) PSD = (N_i \geq L_m) / (N_i \geq L_{stock}) * 100$$

N_i = numeri di individui

L_{stock} ossia la Lunghezza minima dello stock = $L_m -$

$$(L_{trophy} - L_m) / 3$$

L_m = Lunghezza minima di qualità = Lunghezza media alla maturità

$L_{trophy} = L_{tot} \geq 0,8 (L_{\infty})$ dove L_{tot} è la lunghezza totale

L_{∞} è la lunghezza massima teorica della specie in quella tipologia di ambiente in condizioni prossime a naturalità.

La L_m ossia la lunghezza media alla maturità può essere definita o da indagini di campo o mediante opportune equazioni presenti in letteratura (ad es. Froese & Binohlan 2000).

Il punteggio della metrica 2 varia in relazione al valore di PSD. Questo indice permette di attribuire un punteggio alla "qualità" (bilanciata-non bilanciata) della struttura di una popolazione conoscendo il solo parametro della lunghezza totale dei pesci campionati. Si presta pertanto ad essere applicato senza la determinazione dell'età dei pesci campionati.

Metrica 3: successo riproduttivo delle specie chiave e delle specie tipo-specifiche

Il successo riproduttivo è verificato se nel corso dei campionamenti standard sono catturati giovani dell'anno (0+) delle specie chiave e tipo-specifiche.

Metrica 4: diminuzione del numero di specie tipo-specifiche

Una diminuzione del numero delle specie tipo-specifiche è una indicazione di alterazione rispetto a condizioni di riferimento.

Metrica 5: presenza di specie aliene

La metrica 5 considera la presenza (%) di specie alloctone rispetto al numero totale di specie ittiche presenti. Sono considerate alloctone tutte le specie introdotte nei laghi dell'Ecoregione Alpina dopo il 1900. Sono incluse anche le specie oggetto di eventuale transfaunazione.

Devono essere conteggiate solo le specie alloctone i cui individui appartengono ad almeno due classi di età (quale indicatore di successo riproduttivo e dunque di potenziale capacità di adattamento al nuovo ambiente).

Negli ultimi decenni l'azione dell'uomo ha contribuito in misura determinante alla diffusione di specie ittiche alloctone. La presenza di specie ittiche alloctone è aumentata velocemente a partire dalla seconda metà del 1900 (Bianco 1998; Bianco & Ketmeier 2001; Gherardi *et al.* 2008) e attualmente è ritenuta uno dei principali e diffusi problemi relativi alla fauna ittica in Italia. La presenza massiva di specie alloctone non può essere identificata come una condizione "naturale". L'introduzione di specie aliene può avere profondi effetti sulle biocenosi ittiche (Cambray 2003; Goren & Galil 2005; Delmastro 1986) benchè spesso non sia facilmente quantificabile. Inoltre l'affermazione di nuove specie ittiche a danno di quelle autoctone può essere frequentemente imputabile ad un deterioramento degli habitat, a cui specie più tolleranti possono adattarsi facilmente (e dunque diventare invasive). In questo senso la presenza di popolazioni strutturate di specie alloctone può essere un segnale evidente di compromissione ambientale. D'altra parte la presenza di nuove specie ittiche in un ambiente lacustre non necessariamente si manifesta negativamente sulle popolazioni autoctone. Tuttavia anche nell'ottica di altre normative (ad esempio la Direttiva Habitat 92/43/CE) di cui la WFD chiede di tenere conto, sembra opportuno operare secondo un principio di precauzione assumendo a priori che l'impatto di specie aliene possa essere negativo e dunque contribuisca ad alterare lo stato di qualità della comunità ittica di un corpo idrico.