

Valutazione dello stato di qualità ambientale del fiume Mincio con il metodo STRARIFLU modificato

Mario Vannuccini¹, Monica Pinardi*², Marco Bartoli²

¹ Eureco Studio Associato, Via Poggiolo e Tarole 8/A - 51100 Pistoia

² Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Parma, Viale G.P. Usberti 33/A - 43124 Parma

* Autore referente per la corrispondenza: monica.pinardi@nemo.unipr.it

Pervenuto il 18.12.2011; accettato il 3.1.2012

Riassunto

La qualità ambientale di un corso d'acqua può essere valutata con un approccio che integra gli indicatori tradizionali di qualità dell'acqua, tipici dei Piani di Tutela, con aspetti geomorfologici, biologici e idrologici, come previsto nella Direttiva 2000/60/CE. L'approccio STRARIFLU (Strategie di Riqualificazione Fluviale) prende in esame le caratteristiche principali del corso d'acqua attraverso un sistema gerarchico strutturato e pesato di indici, sub-indici (*Indice di Naturalità fisico-morfologica*, *Indice di Rilevanza naturalistica*, *Indice Salute*) e indicatori, che vengono aggregati in un giudizio sintetico di valore (*Valore Natura*). Questo approccio permette anche di quantificare, in relazione al sub-indice Salute, un *Gap Salute* che evidenzia gli aspetti maggiormente critici del sistema per ciascun tratto fluviale analizzato. Tali risultati potranno essere quindi recepiti nell'ambito della pianificazione territoriale, al fine di inserire prioritariamente i segmenti fluviali più critici in progetti di riqualificazione ambientale e quelli di maggior pregio in programmi di tutela e conservazione.

Nell'applicazione di STRARIFLU al fiume Mincio, date le particolarità del sistema fluviale, l'approccio è stato modificato per rendere lo strumento capace di cogliere le peculiarità di quelle sezioni (Valli del Mincio, Laghi di Mantova, Vallazza) che assumono le caratteristiche delle zone umide e dei bacini lacustri poco profondi. Sono stati pertanto inseriti indicatori relativi alle *comunità di macrofite acquatiche* e, per i sistemi lacustri, alla *qualità dei sedimenti superficiali*.

PAROLE CHIAVE: STRARIFLU / fiume Mincio / indici di qualità ambientale / indici di valore naturalistico

Assessment of the ecological quality of the Mincio River with a modified STRARIFLU approach

The ecological assessment of water bodies can be achieved through the integration of water quality, morphological, biological and hydrological criteria. The STRARIFLU (River Restoration Strategies) approach includes all the principal characteristics of a given river, with a weighted hierarchical system of indices. Three sub-indices (naturalistic and morphological integrity, ecological value and health status) are aggregated in a synthetic value, the so called Nature Index. The Health Gap can be assessed as a deviation from the pristine Health Status, which is one of the critical issues in the ecological assessment of rivers. The results of the STRARIFLU approach could be implemented into environmental management, including either restoration of unhealthy rivers or protection and nature conservation of well preserved water bodies. The STRARIFLU method was also modified to meet the local conditions of few segments of the Mincio river, where it becomes a lentic system which composes of riverine marshes and shallow lakes. These lentic conditions can be captured with the Macrophyte Index and the Surficial Sediment Quality Index.

KEY WORDS: STRARIFLU / Mincio River / water quality index / ecological quality index

INTRODUZIONE

La valutazione dello stato ecologico degli ecosistemi acquatici è espressamente richiesta dalla Direttiva Quadro sulle Acque (Dir. 2000/60/CE), recepita a livello nazionale con il D.lgs 152/06 e il recente DM 260/10 e s.m.i. Lo strumento conoscitivo e di pianificazione

denominato STRARIFLU (STRAtegia di RIqualificazione FLUviale, NARDINI e SANSONI, 2006) permette la valutazione integrata della naturalità e dello stato qualitativo di un corso d'acqua, del quale evidenzia l'eventuale zonizzazione, le criticità e il valore ambientale,

fornendo nel contempo indicazioni utili per interventi di riqualificazione o conservazione a supporto ed integrazione della pianificazione tradizionale. Il metodo STRARIFLU considera i carichi inquinanti, il regime idrologico, l'assetto geomorfologico e vegetazionale (WARD *et al.*, 2001; IRVINE, 2004; NARDINI e SANSONI, 2006; NARDINI *et al.*, 2008). Il metodo è costituito da un sistema gerarchico di indici (IMHOF *et al.*, 1996), sub-indici e indicatori, che nel loro complesso permettono di esprimere un giudizio sintetico di valore, denominato *Valore Natura*. Il *Valore Natura* fornisce un'indicazione dello scostamento del corso d'acqua dallo stato morfologico originario e da condizioni di integrità ecologica che sono definiti a priori. Su tale base vengono individuate le criticità e valutati i possibili margini di miglioramento che possono essere raggiunti in ciascun tratto del fiume, intervenendo sulle variabili geomorfologiche, idrologiche e biologiche.

Il metodo STRARIFLU è stato utilizzato nella realizzazione del Piano di Tutela e Uso delle Acque (P.T.U.A.) della REGIONE LOMBARDIA (2006). L'applicazione a scala regionale, utilizzando come indicatori dei macrodescrittori ricavabili da fonti bibliografiche, ha permesso di ottenere informazioni utili a livello di pianificazione di area vasta, ma prive del grado di accuratezza necessario al livello progettuale-locale (TELÒ *et al.*, 2007).

A livello locale, il progetto "Da Agenda 21 ad Azione 21: Progetto di riqualificazione integrata e partecipata del Fiume Mincio", rappresenta una delle prime esperienze applicative del metodo STRARIFLU. Il progetto, il cui obiettivo riguarda essenzialmente la predisposizione di un Piano di Azione condiviso e concertato per la riqualificazione integrata del bacino del Mincio, prevede come punto di partenza la valutazione dello stato di qualità ambientale del Mincio, applicando a scala locale la caratterizzazione integrata STRARIFLU. Un valore aggiunto di questo studio riguarda l'implementazione dell'approccio STRARIFLU, con l'introduzione nella matrice di valutazione di due indicatori relativi alle comunità delle macrofite acquatiche e alla qualità dei sedimenti superficiali, per rendere maggiormente sito-specifica la valutazione di quei tratti del fiume Mincio che sono bacinizati e assumono condizioni lentiche.

MATERIALI E METODI

Area di studio

Lo studio è stato condotto sul fiume Mincio che si origina dal Lago di Garda e, attraversando le colline moreniche e la media pianura mantovana, sfocia in Po a Governolo, nella bassa pianura a sud della città di Mantova (Fig. 1). L'asta fluviale ha una lunghezza di 75 km e può essere suddivisa in tre sezioni: l'alto

corso, la zona valliva-lacustre e il basso corso. Le portate del fiume Mincio sono regolate a monte allo sbarramento di Monzambano e più a valle da diversi manufatti di regolazione idraulica. L'alto corso del fiume presenta una naturalità diffusa, mentre nella media pianura è presente un eco-mosaico di notevole varietà ambientale e paesaggistica. Più a valle il corso del fiume cambia conformazione, e divagando forma un'ampia zona palustre di elevato pregio naturalistico (Valli del Mincio), seguita più a valle da tre bacini lacustri poco profondi che circondano la città di Mantova. A valle si trovano una vasta zona umida fortemente eutrofica (Vallazza) e il tratto canalizzato entro argini, profondo e navigabile per scopi commerciali e turistici.

Metodologia STRARIFLU

Nella formulazione originale del metodo STRARIFLU il *Valore Natura* è espresso tramite un indice quantitativo, l'*Indice Natura*, ottenuto dall'aggregazione di tre sub-indici: l'*Indice Salute* (che misura lo scostamento dallo stato di riferimento), l'*Indice di Naturalità fisico-morfologica* (che misura lo scostamento dall'assetto morfologico originario) e l'*Indice di Rilevanza naturalistica* (che misura le peculiarità bio-geo-morfologiche).

Ciascun sub-indice è articolato in un sistema di attributi quantificati per mezzo di indicatori, effettivamente misurabili o valutabili per lo meno in termini ordinali. Preliminarmente, l'asta fluviale deve essere suddivisa in tratti omogenei per caratteristiche geomorfologiche, idrologiche e biologiche, ciascuno dei quali deve essere caratterizzato per mezzo del sistema di indicatori riportati nella tabella I.

Data la complessità della struttura di indicatori, si rimanda al testo "*La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio*" (NARDINI e SANSONI, 2006) per i dettagli sugli indicatori utilizzati, mentre nei paragrafi successivi si riportano i dettagli metodologici relativi alle modifiche apportate rispetto alla formulazione originale del metodo.

Suddivisione del Mincio in tratti omogenei

L'asta fluviale del Mincio è stata suddivisa in 11 tratti omogenei (Tab. II), sulla base di fattori discriminanti quali, in primo luogo, il regime idrologico e le caratteristiche morfologiche del corso d'acqua. I tratti, delimitati dalle principali derivazioni del sistema fluviale, sono caratterizzati da portate costanti al loro interno. Ciascun tratto, inoltre, è caratterizzato da problematiche peculiari riassunte nella tabella II, individuate mediante analisi bibliografica e nel corso di campagne di rilievi (febbraio, marzo, agosto e novem-

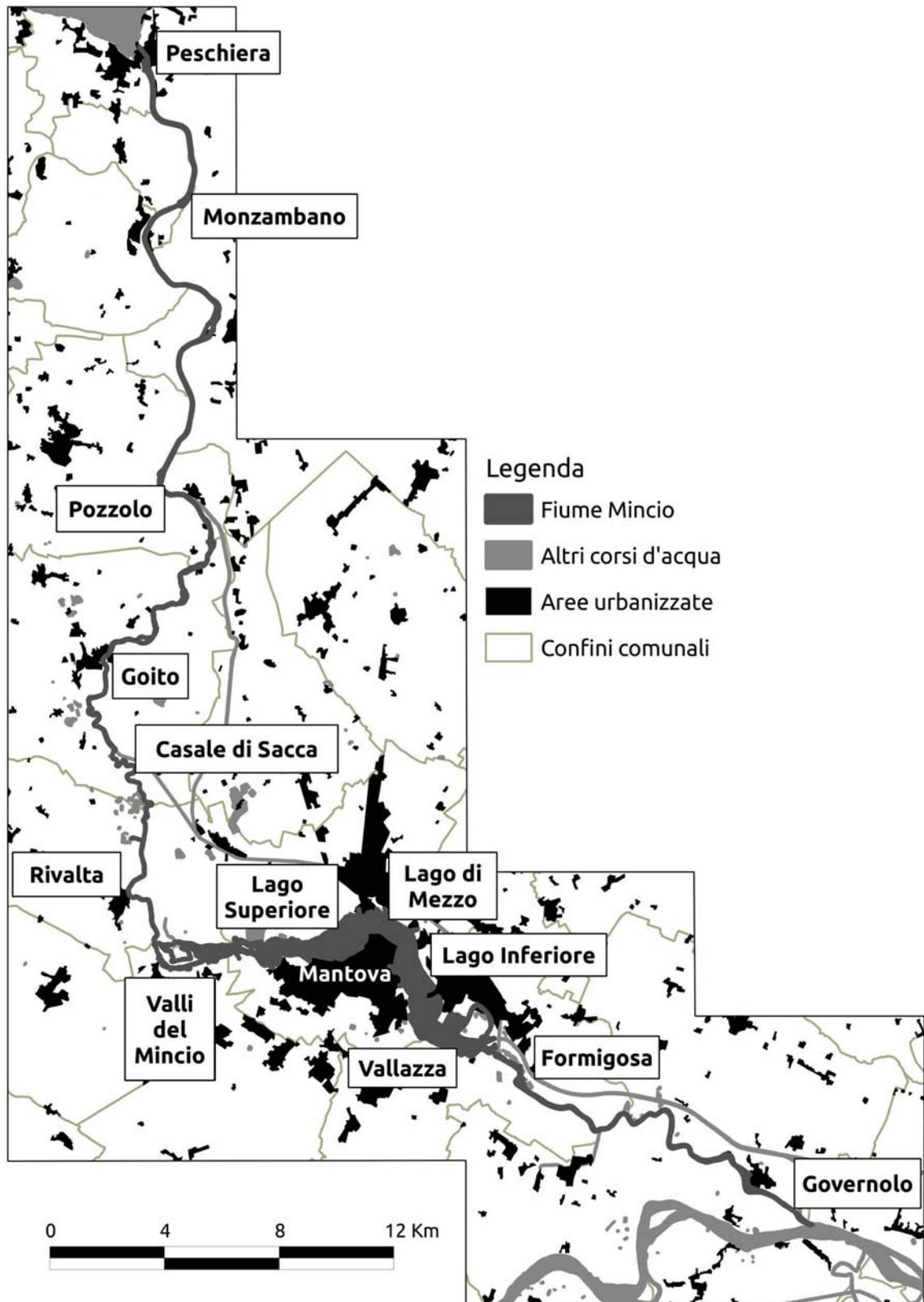


Fig. 1. Mappa di inquadramento del fiume Mincio.

bre 2006) finalizzati alla caratterizzazione idrochimica del fiume (TELÒ *et al.*, 2007).

Implementazione del metodo: Indice Salute

Rispetto alla versione applicata nel P.T.U.A. il metodo STRARIFLU è stato modificato in modo da poter valutare quei tratti fluviali che si connotano come zone

umide e/o per caratteristiche prevalentemente lentiche, che nel fiume Mincio corrispondono ai tratti da 6 a 10 (Tab. II). Pertanto, sono stati talvolta ridotti o modificati gli indicatori coinvolti nel calcolo di alcuni sub-indici, quando giudicati non significativi rispetto al contesto locale o ridondanti rispetto ad altri attributi.

È stato introdotto un *Indice Macrofitico* finalizzato

Tab. I. Struttura del sistema descrittivo previsto dal metodo STRARIFLU. Ciascun attributo è a sua volta quantificato per mezzo di uno o più indicatori.

Indice	Sub-indice	Attributo
Naturalità fisico-morfologica	Morfologia d’alveo	Tipo morfologico
	Non artificialità	Continuità longitudinale Continuità trasversale Stato del fondo
Salute	Equilibrio morfologico	Equilibrio morfologico
	Qualità dell’acqua	SECA
	Portate	Portata media nel periodo irriguo Portata media nel periodo non irriguo
	Vegetazione riparia	Vegetazione della fascia riparia Vegetazione del corridoio
	Ittiofauna	Composizione della comunità ittica Struttura della popolazione (specie guida)
	Macroinvertebrati	IBE
	Macrofite acquatiche	Conservazione e naturalità strutturale Distribuzione Continuità
	Qualità dei sedimenti	Porosità Densità Contenuto di sostanza organica
Rilevanza naturalistica	Rilevanza naturalistica	Rilevanza naturalistica

Tab. II. Suddivisione in tratti omogenei dell’asta fluviale del Mincio per la caratterizzazione STRARIFLU.

Macrosistema	Tratto omogeneo	Problematiche salienti
Alto corso del Mincio	1 Peschiera-Monzambano	Artificialità morfologica
	2 Monzambano-Pozzolo	Scarico depuratore Garda - Carica batterica - Portate
	3 Pozzolo-Goito	Moderata eutrofizzazione - Portate
	4 Goito-Sacca	Moderata eutrofizzazione - Portate
	5 Sacca-Rivalta	Eutrofizzazione - Portate
Valli del Mincio	6 Valli del Mincio	Eutrofizzazione - Portate - Interramento
Bacini Lacustri	7 Lago Superiore	Eutrofizzazione - Ricambio - Interramento
	8 Lago di Mezzo	Eutrofizzazione - Ricambio - Interramento
	9 Lago Inferiore	Microinquinanti - Eutrofizzazione - Ricambio - Interramento
Vallazza	10 Vallazza	Microinquinanti- Eutrofizzazione - Ricambio - Interramento
Basso corso del Mincio	11 Pietole-Governolo	Artificialità - Microinquinanti - Eutrofizzazione

a valutare la presenza e la qualità delle fitocenosi acquatiche. L'indice valuta qualitativamente le tipologie prevalenti delle comunità presenti (rizofite sommerse od emergenti, pleustofite liberamente natanti sul pelo dell'acqua o nello spazio infra-acquatico) in funzione del loro corteggio floristico, del valore biogeografico o conservazionistico delle specie presenti e del ruolo ecologico e funzionale svolto all'interno del corpo idrico.

Nei sistemi lentici delle Valli del Mincio, dei Laghi e della Vallazza non sono state considerate rilevanti le informazioni sulla macrofauna bentonica che si applicano ai sistemi lotici (Indice Biotico Esteso - IBE). In sedimenti soffici di ambienti acquatici a limitato idrodinamismo, infatti, la comunità macrobentonica è per sua natura estremamente povera per il carico organico e la carenza di ossigeno ed è quindi poco informativa del reale stato dell'ecosistema acquatico. È stato introdotto, invece, un *Indice di Qualità dei Sedimenti superficiali*: in queste sezioni, in cui l'ambiente fluviale è dominato da comunità macrofittiche, dati recenti evidenziano infatti la presenza e l'accumulo di sedimenti soffici a seguito di significativi processi di sedimentazione. L'indice considera aspetti chimico-fisici degli orizzonti superficiali (0-10 cm) del sedimento valutandone i tassi di accumulo, rigenerazione dei nutrienti e respirazione, a cui è legato il rischio di insorgenza di fenomeni di ipossia o anossia nella colonna d'acqua (SANTSCHI *et al.*, 1990; FENCHEL *et al.*, 1998; LEE e BUKAVECKAS, 2002), ed è quantificato in funzione di porosità, densità e contenuto in sostanza organica, determinati sperimentalmente in campagne di monitoraggio dei sedimenti effettuate nell'estate del 2006. I valori dei macrodescrittori sono stati suddivisi in classi con l'attribuzione di un giudizio di qualità con punteggio compreso tra 0 e 3 (Tab. III). La valutazione è stata svolta per confronto con ambienti che hanno caratteristiche simili (SOANA, 2005).

I sedimenti superficiali con densità simili a quelle dell'acqua e quindi elevata porosità sono indice di accumulo rapido di particelle (elevata sedimentazione) e quindi appartengono a ecosistemi con grande produzione fitoplanctonica. In questi sistemi l'accumulo di sostanza organica è maggiore della velocità di minera-

lizzazione e al netto il sistema trattiene ed accumula carbonio organico. Al contrario, sedimenti compatti meno organici, più densi e meno porosi sono indice di minore sedimentazione e minore accumulo di carbonio. In base alle considerazioni appena espresse, e alla parziale ridondanza degli attributi di porosità e densità, l'indice sedimentario è stato calcolato come:

$$Q_s = \frac{\sum w_i P_i}{3}$$

dove P_i = classe di qualità del parametro i , w_i = peso del parametro i (0,5 per sostanza organica, 0,25 per porosità e densità).

Il sub-indice relativo al regime idrologico è stato calcolato, diversamente da quanto previsto in NARDINI e SANSONI (2006) e NARDINI *et al.* (2008), in funzione delle portate medie nel periodo irriguo e nel periodo non irriguo, vista la rilevanza delle regolazioni lungo l'intera asta fluviale del Mincio. Le portate sono state calcolate in base alle erogazioni dallo sbarramento di Monzambano, ai prelievi delle utenze irrigue e industriali e alle restituzioni da parte delle stesse utenze e degli affluenti. Lo stato di riferimento è stato individuato nello scenario previsionale elaborato a partire dalla proposta di deflusso di MURACA (2001) che prevede, per garantire le esigenze di idrodinamismo delle Valli e dei laghi, un'erogazione minima da Casale di Sacca (Goito) di $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Lo scenario è stato ricostruito a partire da tale valore di portata nella sezione di Casale di Sacca in base alle portate medie concesse alle utenze irrigue e industriali e alle portate restituite da utenze e affluenti. Il valore degli indicatori è dato dal rapporto fra la portata media nella sezione per il periodo di riferimento e la portata allo stato di riferimento:

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{Ri}}$$

dove P_i = valore dell'attributo per il tratto i , Q_i = portata nella sezione i , Q_{Ri} = portata nella sezione i allo stato di riferimento.

Il sub-indice relativo alla comunità ittica presenta alcune limitazioni dovute alla scarsità dei dati a disposizione, che si riferiscono solo a due macro segmenti del fiume Mincio (PUZZI *et al.*, 2006). I dati disponibili

Tab. III. Classi di qualità dei sedimenti superficiali.

Attributo	Classi			
	Pessimo (0)	Scadente (1)	Buono (2)	Ottimo (3)
Densità (g/ml)	< 1,1	1,1 ÷ 1,4	1,4 ÷ 1,6	> 1,6
Porosità (ml H ₂ O/ml sedimento fresco)	> 0,85	0,70 ÷ 0,85	0,55 ÷ 0,70	< 0,55
Sostanza Organica (%)	> 30%	15 ÷ 30%	5 ÷ 15%	< 5%

hanno permesso di valutare esclusivamente l'abbondanza di ciascuna specie guida, valutata sulla base dei campionamenti effettuati per la realizzazione della Carta delle Vocazioni Ittiche della Provincia di Mantova (PUZZI *et al.*, 2006). Nel primo macro-tratto le specie guida sono rappresentate da pesci relativamente esigenti quali cavedano e barbo, mentre nel secondo sono state prescelte specie molto più tolleranti (carpa e tinca).

Implementazione del metodo:

Indice di Naturalità fisico-morfologica

L'*Indice di Naturalità fisico-morfologica* è stato notevolmente semplificato rispetto all'applicazione proposta nel P.T.U.A. della REGIONE LOMBARDIA (2006). È opportuno ricordare, inoltre, come tale indice sia stato sostanzialmente rivisto anche nella nuova formulazione del metodo (Fluvial Ecosystem Assessment - FLEA) (NARDINI e SANSONI, 2006; NARDINI *et al.*, 2008), con l'eliminazione di alcuni attributi originariamente previsti da STRARIFLU. In sintesi, l'*Indice di Naturalità fisico-morfologica* è stato caratterizzato per mezzo dei seguenti indicatori: eventuale variazione del tipo morfologico rispetto allo stato di riferimento (secondo la classificazione di ROSGEN, 1994), continuità longitudinale e trasversale (valutate in funzione della densità di opere di difesa e di regimazione che alterano la continuità fluviale in senso longitudinale o trasversale) e stato del fondo.

Implementazione del metodo:

Indice di Rilevanza naturalistica

L'*Indice di Rilevanza naturalistica* è stato calcolato con l'approccio proposto in STRARIFLU, fondato sulla presenza di aree a particolare regime di tutela, utilizzate come descrittori del valore naturalistico dell'area. Questo indice mette in evidenza la presenza di siti di particolare rilievo per la conservazione di ecosistemi, biocenosi o popolazioni, e l'importanza riconosciuta ai siti nella loro conservazione a scala internazio-

nale, nazionale, regionale e locale. Dopo aver attribuito un punteggio a ciascuna tipologia di area protetta presente (Tab. IV), a ogni tratto è stato assegnato un punteggio pari al valore di rilevanza naturalistica dell'area protetta a più elevato regime di protezione a cui è stato aggiunto, nel caso siano presenti altre aree protette nello stesso tratto, un valore ottenuto mediante combinazione lineare pesata dei valori di rilevanza naturalistica delle aree a più basso regime di protezione, secondo la formula seguente:

$$RN = rn_{i_{max}} + (1 - rn_{i_{max}})(w_i rn_i)$$

dove: $rn_{i_{max}}$ = valore massimo di rn nel tratto i ; rn_i = valori di rn per ciascuna area protetta presente nel tratto i ; w_i = pesi. Si noti che l'importanza delle aree protette a regime di protezione più basso aumenta al diminuire del valore di $rn_{i_{max}}$.

Procedure di standardizzazione e aggregazione di indici, sub-indici e attributi

Il metodo STRARIFLU prevede l'utilizzo di un elevato numero di indicatori, su ciascuno dei quali deve essere espresso un giudizio di valore in funzione dello scostamento dallo stato di riferimento e dallo stato originario. Tale giudizio di valore è espresso per mezzo di funzioni di valore che permettono di standardizzare i valori numerici degli indicatori su una scala continua compresa fra 0 (massimo scostamento dallo stato di riferimento) e 1 (quando il valore dell'indicatore è pari a quello previsto per lo stato di riferimento) (NARDINI e SANSONI, 2006). Gli indicatori standardizzati devono essere quindi aggregati nei sub-indici i quali, a loro volta, verranno aggregati nei tre indici principali e questi nell'*Indice Natura*. Ai vari livelli è possibile esprimere nei confronti dei singoli attributi coinvolti nel calcolo di un sub-indice o di un indice un giudizio di importanza relativa, mediante l'attribuzione di pesi. L'aggregazione di indicatori, sub-indici e indici avviene, in presenza di variabili *dummy*, mediante operatori logici di unione (OR) o di intersezione (AND), e per

Tab. IV. Valori di Rilevanza naturalistica e relativi pesi per le tipologie di aree protette presenti nell'area di studio.

Rilevanza	Tipo di area protetta	Valore	Pesi
Locale	Oasi naturalistiche, parchi periurbani, parchi fluviali	0,2	0,05
Regionale	Parchi Naturali Regionali	0,4	0,10
	Riserve Naturali Regionali	0,6	0,25
Nazionale	Parchi Nazionali, Riserve Naturali Statali, Altre Aree Protette Nazionali	0,6	-
Europea	Zone di Protezione Speciale (ZPS)	0,8	0,30
	Siti di Importanza Comunitaria (SIC)	0,8	0,30
Mondiale	Zone Umide di Importanza internazionale (Convenzione di Ramsar)	1	-

variabili continue, mediante combinazione lineare pesata (VOOGD, 1983):

$$I = \sum a_i w_i$$

dove I = indice (o sub-indice) aggregato, a_i = valore dell'attributo i , w_i = peso dell'attributo i .

Con questa procedura, i pesi indicano l'importanza relativa di ciascun attributo nella determinazione del valore aggregato dell'indice. I bassi valori di alcuni attributi possono essere compensati da alti valori di altri attributi, nella misura permessa dai rispettivi pesi.

L'*Indice Salute* è stato calcolato con la procedura generale appena esposta, separatamente per i tratti a morfologia tipicamente fluviale e per quelli fluvio-lacustri. I pesi sono stati assegnati agli attributi in considerazione del fatto che alcuni di questi sono indipendenti dai valori degli altri attributi, mentre per alcuni esiste un rapporto causale diretto con altri attributi. L'equilibrio geomorfologico, la qualità dell'acqua, il regime idrologico, la vegetazione riparia sono indipendenti dagli altri sub-indici, mentre l'ittiofauna, i macroinvertebrati, la vegetazione macrofittica dipendono da altri parametri. Di conseguenza, è stata attribuita un'importanza relativa più elevata alle variabili indipendenti e minore alle variabili che forniscono un'informazione almeno parzialmente ridondante rispetto alle altre. Inoltre, sono stati considerati parametri di particolare importanza la qualità dell'acqua, che dipende dai carichi in ingresso nel sistema, ed il regime idrologico; la vegetazione riparia può rappresentare un elemento di notevole importanza in relazione al ruolo che può svolgere nell'abbattimento dei carichi diffusi, mentre è stato considerato che azioni di ripristino di maggiori condizioni di naturalità fisico-morfologica, pur auspicabili, sarebbero di fatto irrealizzabili nel contesto di un sistema storicamente regolato e artificializzato come il Mincio.

Nel calcolo dell'*Indice Salute* nei tratti fluviali-lacustri l'attributo relativo ai macroinvertebrati è sostituito dalla qualità dei sedimenti; la qualità dell'acqua assume un'importanza maggiore rispetto al regime idrologico,

la cui funzione è essenzialmente quella di garantire un certo grado di idrodinamismo, volto a mantenere in condizioni di stabilità funzionale i bacini lenticci. La vegetazione macrofittica assume una notevole importanza, per il ruolo chiave svolto dalla produzione primaria e per le biomasse prodotte. Dall'insieme delle considerazioni appena esposte sono scaturiti i vettori di pesi riportati in tabella V.

Per l'aggregazione dei sub-indici relativi alla *Naturalità fisico-morfologica* i pesi sono stati attribuiti in funzione del valore del sub-indice di non artificialità. In sintesi, è stato assunto che nel caso di un sistema altamente artificializzato, il grado di artificialità debba risultare preponderante rispetto ad eventuali modificazioni della morfologia dell'alveo, dato che anche nel caso si sia verificata una alterazione della morfologia, in assenza di opere che alterino il *continuum* fluviale il fiume può presentare comunque alti livelli di integrità ecologica e funzionale. Al diminuire del grado di artificializzazione, le variazioni tipologiche rispetto allo stato di riferimento influenzano in misura maggiore il valore dell'indice. I pesi sono stati attribuiti come:

$$w_{na} = 1 - 0,7 * N_a \quad w_m = 1 - w_{na}$$

dove w_{na} = peso del sub-indice di non artificialità, N_a = valore dell'indice di non artificialità, w_m = peso del sub-indice morfologico. Nel complesso, w_{na} varia da 1 (per $N_a = 0$) a 0,3 (per $N_a = 1$).

I tre indici (*Salute*, *Naturalità fisico-morfologica*, *Rilevanza Naturalistica*) sono stati infine aggregati nel *Valore Natura* con pesi dipendenti dal valore dell'*Indice Salute*, che è stato considerato preponderante rispetto agli altri. L'*Indice Salute* comprende, infatti, l'informazione apportata da 7 macrodescrittori, alcuni dei quali possono essere considerati fattori chiave nell'ambito del sistema Mincio, non solo in considerazione della particolare importanza che assumono nella caratterizzazione ambientale del sistema, ma anche perché proprio su alcuni di questi (regime idrologico, qualità dell'acqua) sono ipotizzabili azioni di miglioramento. Il peso da attribuire all'*Indice Salute* è stato calcolato come:

$$w_s = 0,7 - 0,3 * S$$

dove w_s = peso dell'*Indice Salute* e S = valore dell'*Indice Salute*. Il complementare a 1 del peso dell'*Indice Salute* è stato ripartito in modo paritetico fra gli altri due indici (*Naturalità fisico-morfologica* e *Rilevanza naturalistica*).

Gap salute

Definita come *Gap Salute* la distanza fra l'*Indice Salute* del fiume allo stato attuale e l'*Indice Salute* allo stato di riferimento (pari a 1), è possibile per ogni

Tab. V. Pesì degli attributi dell'*Indice Salute*.

Sub-indice	Pesì	
	Tratti lotici	Tratti lenticci
Equilibrio morfologico	0,15	0,10
Qualità dell'acqua	0,20	0,25
Regime idrologico	0,20	0,20
Vegetazione riparia	0,15	0,10
Ittiofauna	0,10	0,10
Macroinvertebrati	0,10	-
Qualità dei sedimenti	-	0,10
Vegetazione macrofittica	0,10	0,15

tratto evidenziare quali sub-indici influiscono in misura maggiore sul *Gap Salute*. Il *Gap Salute* di ciascun sub-indice è calcolato come:

$$Gap_{ij} = \frac{(1 - a_{ij})w'_i}{1 - S_j}$$

dove Gap_{ij} = quota di *Gap Salute* del tratto j dovuta all'attributo i , a_{ij} = valore dell'attributo i nel tratto j , w'_i = peso dell'attributo i , S_j = valore dell'*Indice Salute* del tratto j , $1 - S_j$ = *Gap Salute* complessivo del tratto j .

RISULTATI

L'*Indice Salute* assume i valori più elevati in corrispondenza delle Valli del Mincio e del tratto fluviale compreso fra Pozzolo e Rivalta (Fig. 2). Il *Gap Salute* delle Valli del Mincio evidenzia come fattori critici nell'ordine: il regime idrologico, la qualità dell'acqua e la qualità dei sedimenti, indicatori che sinergicamente evidenziano lo stato di marcata eutrofia delle acque (Fig. 3 e 4). Anche negli altri tratti con valori relativamente più elevati dell'*Indice Salute* il regime idrologico emerge come fattore maggiormente caratterizzante il *Gap Salute* (25% nel tratto Casale-Rivalta, 29% nel tratto Goito-Casale e 38% nel tratto Pozzolo-Goito).

L'alto corso del Mincio, dal Garda fino a Pozzolo, registra valori dell'indice medio-bassi: sul *Gap Salute* incide significativamente il sub-indice di equilibrio morfologico, oltre alla qualità dell'acqua e al regime idrologico (Fig. 4). Nella porzione fluvio-lacustre del corso del Mincio l'*Indice Salute* presenta valori bassi e sostanzialmente costanti. In tutti i bacini, il *Gap Salute* è caratte-

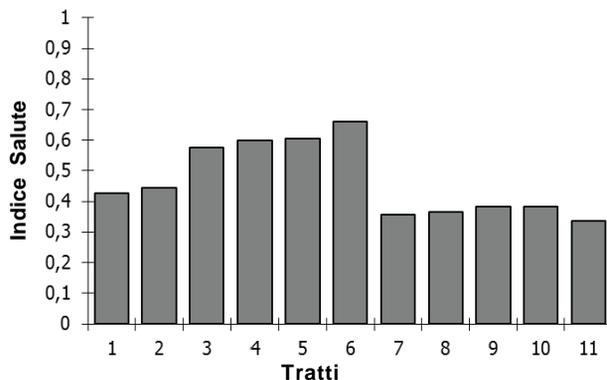


Fig. 2. Valore dell'*Indice Salute* nei diversi tratti del fiume Mincio (si veda tabella II).

rizzato dalla scadente qualità dell'acqua e, in misura minore, dal regime idrologico (Fig. 4); anche lo scadimento qualitativo della comunità delle macrofite incide significativamente sul valore dell'indice. I valori più bassi dell'*Indice Salute* si registrano per il basso corso del Mincio: sul *Gap Salute* incidono in modo rilevante soprattutto l'equilibrio morfologico, la qualità dell'acqua e la vegetazione macrofita. Come riportato nel grafico in figura 3, si evidenzia che i sub-indici maggiormente discriminanti i diversi tratti sono la qualità dell'acqua, la vegetazione macrofita e il regime idrologico. Anche la comunità di macroinvertebrati contribuisce in modo determinante ad evidenziare la maggiore integrità dei tratti 3-5 rispetto ai tratti a monte e a valle.

Il confronto dei dati relativi alle portate nel periodo 2002-2005 con lo scenario previsionale elaborato in base alla proposta di MURACA (2001) evidenzia uno

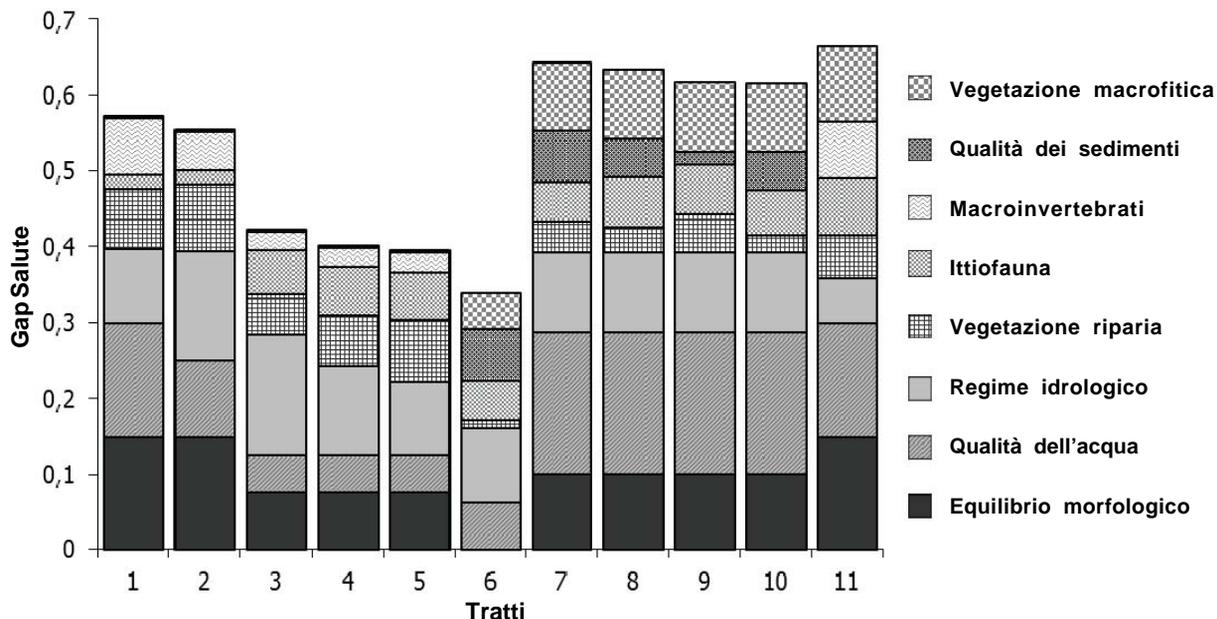


Fig. 3. Contributo dei singoli sub-indici al *Gap Salute* dei tratti del Mincio (si veda tabella II).

stato di marcata carenza idrica, soprattutto laddove le utenze irrigue e industriali hanno diritto a prelievi idrici più consistenti e dove la regimazione idraulica impone la deviazione di una parte delle portate del fiume (Scaricatore di Pozzolo, Diversivo Mincio) (Fig. 4). La qualità dell'acqua, sintetizzata dal SECA (Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua), dato dal livello peggiore tra l'indice LIM –Livello di Inquinamento da Macrodescriitori– e l'indice IBE, negli anni in cui è stato condotto lo studio, variava fra la classe IV nei tratti iniziale e terminale del corso del Mincio e nei bacini lacustri (compresa la Vallazza), e la classe II del tratto pedecollinare e delle Valli del Mincio (punteggi classi: I = 1; II = 0,75; III = 0,50; IV = 0,25).

L'indice relativo alla comunità ittica presenta un andamento tendenzialmente decrescente procedendo da monte verso valle, rispecchiando l'andamento della proporzione fra specie autoctone e specie alloctone rilevato da PUZZI *et al.* (2006) nell'aggiornamento della Carta delle Vocazioni Ittiche della Provincia di Mantova, i cui rilievi registrano un netto incremento di specie alloctone in corrispondenza dei laghi di Mantova. Inoltre, estremamente preoccupanti sembrano essere le condizioni di alcune specie autoctone caratteristiche dei tratti lentic del bacino come la tinca, l'alborella, il vairone, l'anguilla ed il luccio.

Il sub-indice vegetazione riparia assume valori molto elevati in corrispondenza delle Valli del Mincio e della Vallazza, grazie all'elevato grado di complessità strutturale, e a copertura e ampiezza della vegetazione riparia; negli altri tratti del corso del Mincio i valori sono piuttosto omogenei: nell'alto Mincio gli ampi tratti con vegetazione riparia assente sono compensati da una maggiore copertura del corridoio, mentre nel basso corso si ha l'effetto opposto, con una maggiore continuità della vegetazione in golenia che compensa la scarsità di vegetazione della piana adiacente.

L'indice relativo alle macrofite acquatiche caratte-

rizza tre macrosistemi. Il primo, dall'origine all'ingresso nelle Valli, si trova in una condizione prossima allo stato di riferimento, con presenza di estese formazioni sommerse: se storicamente le comunità più rappresentate erano dominate da macroalghe della famiglia delle *Characeae*, da specie riconducibili al *Parvopotamion*, e da formazioni ascrivibili al *Ranunculion fluitantis*, più di recente la relativa eutrofizzazione del corso d'acqua ha depresso le comunità a macroalghe e portato ad un incremento della presenza di specie maggiormente tolleranti ed esigenti in termini di disponibilità di nutrienti, per esempio *Vallisneria spiralis*. Nel sistema Valli-Laghi-Vallazza la presenza di profondità maggiori della colonna d'acqua e di substrati più soffici favorivano l'affermazione di comunità sommerse a dominanza di *Potamogeton* di grande taglia, di densi ammassi liberamente flottanti nello strato infra-acquatico a dominanza di *Ceratophyllum demersum* e di tappeti galleggianti a foglie laminari del *Nymphaeion albae*. L'avanzato stato di interrimento del sistema dei corpi idrici lentic e l'aumento del carico interno di nutrienti hanno determinato da un lato la proliferazione delle comunità elofitiche, e dall'altro l'affermazione di densi tappeti dominati da macrofite con apparati fotosintetici all'interfaccia acqua/aria, quali *Nelumbo nucifera*, specie invasiva alloctona, *Nuphar luteum*, *Trapa natans*, *Nymphaea alba* e *Nymphoides peltata*, con la conseguente scomparsa delle praterie sommerse. Questo tratto del Mincio mostra, conseguentemente, uno stato di conservazione scadente. Il tratto terminale del fiume è dominato da comunità fitoplanctoniche, nonostante il continuo afflusso di frammenti e propaguli di macrofite provenienti dai tratti posti a monte. La spinta torbidità delle acque e la significativa profondità delle stesse (≥ 5 m) limitano, infatti, l'insediamento e la proliferazione delle fanerogame. Solo in corrispondenza delle anse più ampie, dove la corrente rallenta, è stato verificato l'insediamento di comunità di macrofi-

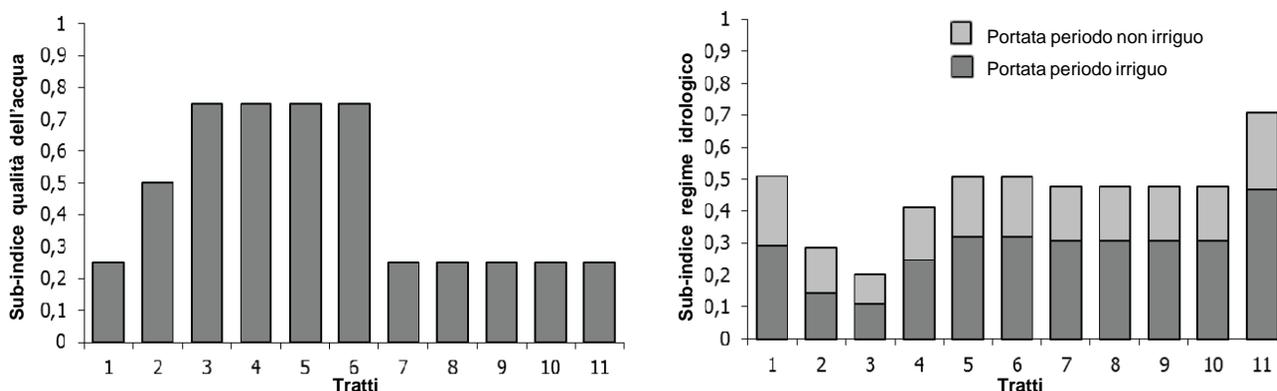


Fig. 4. Valori dei sub-indici relativi alla qualità dell'acqua (a sinistra) e al regime idrologico sommando i valori dati dalle portate in transito nel periodo irriguo e non irriguo (a destra) nei tratti del fiume Mincio (si veda tabella II).

te, prevalentemente dominate da *Nuphar luteum*. Il valore dell'indice macrofitico nel tratto terminale del fiume assume perciò un valore molto basso.

I valori dell'*Indice di Naturalità fisico-morfologica* (Tab. VI), pur notevolmente semplificato rispetto alla formulazione originaria, mostra i valori più elevati nell'ordine dalle Valli del Mincio, dal tratto compreso fra Pozzolo e Goito e da quelli immediatamente successivi fino a Rivalta. Valori bassi sono viceversa registrati in corrispondenza dell'alto corso, da Peschiera a Pozzolo, e soprattutto del tratto a valle di Mantova fino alla confluenza in Po.

Infine, l'*Indice di Rilevanza Naturalistica* assume valori massimi in corrispondenza delle sezioni interessate dalla Riserva Naturale "Valli del Mincio", la cui rilevanza per la protezione della natura a livello nazionale e internazionale è testimoniata dallo status di Sito di Importanza Comunitaria, Zona di Protezione Speciale e di Zona Umida di importanza internazionale ai sensi della Convenzione di Ramsar. L'indice assume valori molto elevati anche in corrispondenza della Riserva Naturale/SIC "Vallazza". I tratti restanti sono tutti compresi all'interno del Parco Regionale del Mincio (con l'eccezione delle porzioni venete del corso); i laghi di Mantova assumono un valore leggermente superiore per la presenza del parco periurbano⁽¹⁾, che ne evidenzia il maggior ruolo rispetto ad altri tratti del corso del fiume per quanto concerne fruizione e funzioni ricreative, associate all'intima connessione di questa porzione del fiume con il tessuto urbano di Mantova.

Tab. VI. Valori dell'*Indice di Naturalità fisico-morfologica*.

Tratto	Denominazione	Indice Naturalità fisico-morfologica
1	Peschiera-Monzambano	0,26
2	Monzambano-Pozzolo	0,26
3	Pozzolo-Goito	0,87
4	Goito-Casale di Sacca	0,77
5	Casale di Sacca-Rivalta	0,77
6	Valli del Mincio	1,00
7	Lago Superiore	0,49
8	Lago di Mezzo	0,49
9	Lago Inferiore	0,49
10	Vallazza	0,64
11	Formigosa-Po	0,17

I risultati finali dell'aggregazione degli indici nel *Valore Natura* sono riportati in figura 5. I valori più elevati corrispondono ai tratti interessati dal SIC/ZPS Valli del Mincio, dove ai valori più elevati dell'*Indice Salute* corrispondono anche i valori massimi di *Rilevanza naturalistica*. Un *Valore Natura* molto elevato si registra anche nel tratto compreso fra Pozzolo e Casale di Sacca, dove l'*Indice Salute* e l'*Indice di Naturalità fisico-morfologica* evidenziano sinergicamente le condizioni di relativa integrità dell'ecosistema fluviale. Anche la Vallazza ottiene un *Valore Natura* piuttosto elevato, sebbene caratterizzato da un valore decisamente inferiore dell'*Indice Salute*. I laghi di Mantova si attestano su valori medio-bassi: in particolare, è il contributo dell'*Indice Salute* ad essere determinante,

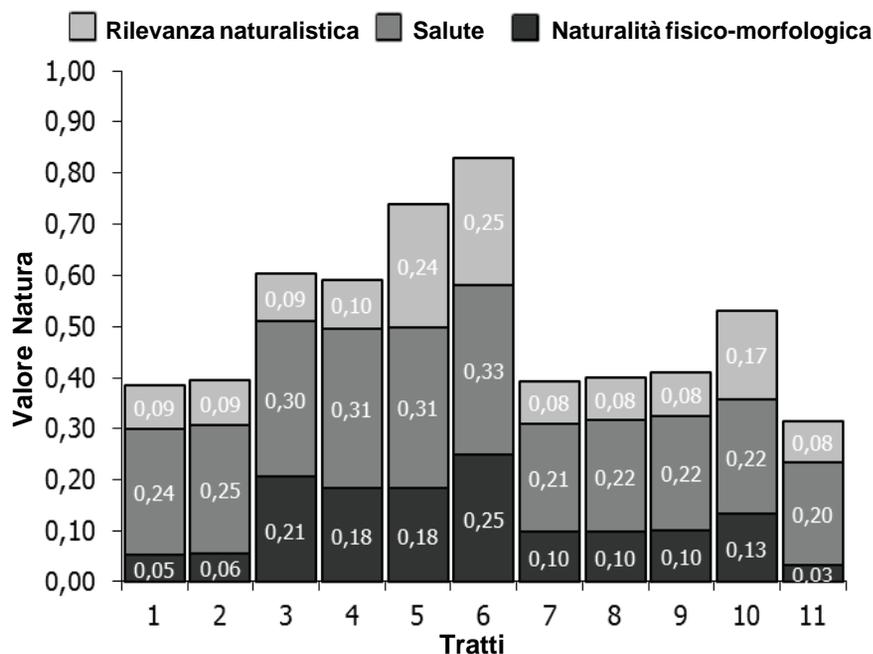


Fig. 5. *Valore Natura* e contributo pesato di ciascun indice per i diversi tratti del fiume Mincio (si veda tabella II).

con valori inferiori anche a quelli registrati per l'alto corso del Mincio.

DISCUSSIONE

Stato di qualità ambientale del fiume Mincio

Il risultato sintetico prodotto dal *Valore Natura* mette in evidenza come nel fiume Mincio siano presenti zone con uno stato di qualità ambientale da discreto (tratti da Pozzolo a Rivalta) a buono (Valli del Mincio). L'elemento critico in questi tratti è rappresentato dal regime idrologico (sub-indice dell'*Indice Salute*), infatti le portate in alveo sono scarse (mediamente 10-20 m³ s⁻¹), a causa della regolazione di monte allo sbarramento di Pozzolo che risponde a necessità irrigue e di difesa idraulica dei nuclei abitati a ridosso dell'alveo fluviale. Tali condizioni hanno definito nel tempo segmenti fluviali a bassa energia di trasporto solido.

I primi due tratti in cui è stato suddiviso il Mincio, dall'incile del Lago di Garda a Pozzolo, e il basso corso, dai laghi di Mantova alla confluenza in Po, si trovano in uno stato di qualità ambientale complessivo da sufficiente a scadente. I primi due tratti di monte presentano criticità legate all'*Indice di Naturalità fisico-morfologica* e al sub-indice equilibrio morfologico, infatti il fiume scorre entro arginature spesso rinforzate con massi, dove la continuità è spesso interrotta da sbarramenti e briglie. Altri fattori critici sono la qualità dell'acqua (classe IV e III del SECA per il tratto 1 e 2 rispettivamente) e il regime idrologico, in modo particolare nel tratto 2, dove a valle della diga di Monzambano le portate in alveo sono regolate in base agli usi irrigui e industriali, e determinano soprattutto nel periodo estivo, scarsità di flusso in alveo Mincio, che può non garantire una sufficiente diluizione delle acque reflue trattate del depuratore di Peschiera.

L'equilibrio morfologico è un fattore critico per il raggiungimento del massimo valore per l'*Indice Salute* anche nel tratto potamale del Mincio (tratto 11) che risulta canalizzato entro argini elevati (circa 10 m) e presenta diverse opere artificiali di regolazione delle acque a protezione della città di Mantova dai rigurgiti di piena del Po. Il tratto potamale e i tratti immediatamente a monte, i bacini lacustri mantovani, mostrano come aspetto di maggior criticità la qualità delle acque che risulta scadente. L'intero sistema fluviale appare gravato da un pesante inquinamento di origine diffusa e puntiforme, infatti nemmeno i tratti con *Valore Natura* più elevato presentano caratteristiche ottimali delle acque in termini di qualità idrochimica e microbiologica. L'apporto eutrofizzante inizia con l'origine del fiume, appena a valle dello sbarramento di Monzambano, con l'entrata in alveo delle acque reflue del depuratore di Peschiera, e prosegue verso valle con numerosi appor-

ti in termini di nutrienti e si solidi sospesi dovuti principalmente agli immissari in destra idrografica (Redone Superiore, Redone Inferiore, Goldone e Osone). Apparentemente la porzione settentrionale del Mincio, fino all'abitato di Goito, ha ancora una buona capacità autodepurativa legata alla trasparenza notevole, al fondale ciottoloso e alla presenza di macrofite sommerse, considerate elementi di pregio. In realtà studi di dettaglio effettuati nel corso del biennio 2006-2007 dal Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Parma (bilanci ingresso-uscita relativi al tratto Pozzolo-Goito) evidenziano come le quantità di nutrienti trasformati rispetto ai carichi in transito siano di scarsa entità e che la maggior parte del carico inquinante è semplicemente trasferito a valle (PINARDI, 2009). I processi sono essenzialmente di trasformazione: una quota del COD in ingresso è metabolizzata e convertita in composti minerali che alimentano un'elevata produzione primaria da parte delle idrofite. L'intera asta settentrionale del Mincio produce grandi quantità di sostanza organica, sotto forma di foglie che vengono trasportate a valle, presumibilmente fino a Rivalta, dove vengono intercettate dalla vegetazione emergente e determinano interramento. Tale fenomeno si registra anche nei laghi di Mantova, come testimoniato dal valore scadente del sub-indice qualità dei sedimenti.

Emerge pertanto la necessità di azioni finalizzate al miglioramento qualitativo delle acque del Mincio, soprattutto nei tratti di monte, per ridurre lo stato trofico e migliorare la circolazione delle acque, che porteranno ricadute significative sui tratti di valle specie quelli fluviali-lacustri, dove il rischio per il sistema di passare da uno stato ipertrofico ad uno distrofico è maggiore a causa della stagnazione delle acque nel periodo estivo, causato da uno scarso ricambio idrico, elevate temperature che accelerano i processi microbici e fenomeni di ipossia-anossia lungo la colonna d'acqua dei bacini lacustri poco profondi.

Da un punto di vista normativo, recentemente con il DM 260/10, gli indici SECA e IBE sono stati sostituiti da nuovi criteri di classificazione, in particolare l'indice SECA non viene più utilizzato come indice sintetico di qualità delle acque e l'indice IBE è stato sostituito dall'indice quantitativo STAR_ICMi (BUFFAGNI e ERBA, 2007). Queste considerazioni potrebbero sembrare un limite per il presente lavoro, ma questi indici sintetici in uso al momento dello svolgimento del presente lavoro e fino ad un recente passato, restano ancora oggi un valido strumento di analisi degli aspetti ambientali e biologici (macrofauna bentonica). Inoltre, i primi confronti fra i risultati della classificazione IBE e quella secondo lo STAR_ICMi hanno mostrato sostanziale coerenza (ARPA Lombardia, dati non pubblicati). Si ritiene utile integrare le variazioni apportate dalla nor-

mativa nazionale nella prossima revisione dell'approccio STRARIFLU.

L'*Indice Natura* permette, in definitiva, di individuare i segmenti fluviali e gli aspetti idromorfologici, idrochimici, biologici ecc., sui quali intervenire prioritariamente per migliorare lo stato di qualità ambientale del sistema (Peschiera-Pozzolo e Laghi di Mantova-Vallazza) e quelli da preservare (da Pozzolo alle Valli del Mincio) per rispondere agli obiettivi di qualità imposti dalla WFD.

Implementazione della metodologia STRARIFLU

I risultati dell'implementazione del metodo STRARIFLU sono nel complesso coerenti con quanto atteso sulla base di studi settoriali e in fase di caratterizzazione idrochimica dell'asta fluviale. In molti casi sono emerse difficoltà applicative che hanno spinto a modificare sostanzialmente e a semplificare la struttura degli indicatori necessari alla caratterizzazione di alcuni sub-indici: la disponibilità di dati è stata, in molti casi, la principale limitazione all'applicazione del metodo. Si tenga presente che gli Autori stessi propongono STRARIFLU non come un metodo scientifico di caratterizzazione, ma come uno strumento di supporto decisionale (tanto che la fase successiva alla caratterizzazione dovrebbe essere una vera e propria analisi SWOT) da applicare con costi contenuti: azioni di monitoraggio necessarie per una caratterizzazione più accurata possono essere uno dei risultati dell'analisi, laddove emergano fattori critici da approfondire per la predisposizione della strategia di riqualificazione (NARDINI e SANSONI, 2006). Nel caso specifico, tuttavia, alcune azioni conoscitive sono state semplicemente fondamentali come, ad esempio, la caratterizzazione dei sedimenti dei bacini lacustri e l'analisi delle comunità di macrofite, senza le quali l'analisi dei bacini sarebbe stata carente (non a caso nell'applicazione del metodo a scala regionale, il tratto compreso fra le Valli del Mincio e la Vallazza è stato trascurato; REGIONE LOMBARDIA, 2006).

Il regime idrologico è risultato uno dei fattori critici per lo stato ambientale del Mincio. Secondo NARDINI e SANSONI (2006) e NARDINI *et al.* (2008) la valutazione del regime idrologico dovrebbe contemplare numerosi parametri (medie mensili e annue di portata, durata del periodo di magra e portate di magra, durata del periodo di piena, ecc.) caratterizzati per mezzo di medie e rispettive deviazioni standard nel periodo di riferimento. Sebbene ineccepibile sotto il profilo della caratterizzazione idraulica, tale struttura di indicatori è risultata inapplicabile a causa della carenza di dati o della scarsa consistenza di dati provenienti da fonti diverse (TELÒ *et al.*, 2007), tanto che spesso anche sulla portata media annua emergono discrepanze consistenti fra le

diverse reti di rilevamento.

Inoltre, molte delle grandezze menzionate perdono di significatività nell'ambito di un sistema in cui i deflussi sono rigidamente regolati, sia all'origine (alla diga di Monzambano), sia lungo l'asta fluviale (partitore di Pozzolo, Diversivo Mincio, fornice di Formigosa). È stato pertanto ritenuto più opportuno considerare pochi parametri, purché attendibili e significativi in merito alle criticità emerse nel corso del lavoro. D'altronde, la qualità dell'informazione relative alle portate si era rivelata un fattore critico per l'applicazione del metodo anche a scala regionale (REGIONE LOMBARDIA, 2006).

Un nodo cruciale nella valutazione del sub-indice è rappresentato dallo stato di riferimento (KELLY-QUINN *et al.*, 2004), la cui definizione, peraltro non semplice in assoluto, è particolarmente difficoltosa in un sistema altamente artificializzato (e da tempi remoti) come il Mincio. In linea di massima, lo stato di riferimento potrebbe essere rappresentato dal Deflusso Minimo Vitale (DMV), la cui definizione, sebbene resa obbligatoria dal P.T.U.A., non è stata ancora elaborata in sedi ufficiali. I tentativi di definizione del DMV secondo le procedure definite dal P.T.U.A. e dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, oltre che difficoltosi sotto il profilo metodologico per le peculiari caratteristiche intrinseche del sistema Mincio, sono apparsi subito incompatibili con le esigenze di conservazione dei sistemi più sensibili, come le Valli del Mincio, e inadeguati a garantire l'idrodinamismo dei laghi di Mantova, come dimostrato anche dalle proposte di deflusso riportate in precedenti studi (DELLA LUNA *et al.*, 1990; MURACA, 2001). L'adozione come stato di riferimento dello scenario dedotto dalla proposta di MURACA (2001) ha consentito l'espressione di un giudizio di valore relativo agli attuali deflussi: tuttavia, non avendo riscontro in riferimenti normativi è oggettivamente un'istanza debole e potenzialmente soggetta a critiche, pur se ineccepibile in riferimento alle esigenze di sicurezza idraulica e conservazione dei sistemi biologici. Pertanto, il lavoro ha posto ancora una volta in risalto la necessità di una stima ufficiale del Deflusso Minimo Vitale per il Mincio, stima che dovrebbe tener conto anche dei livelli idrici stagionali necessari alla conservazione degli habitat naturali delle Valli del Mincio, dell'idrodinamismo delle Valli stesse e dei tempi di ricambio dei laghi di Mantova, il cui incremento innesca un circuito di retroazione positiva riguardo a interramento e incremento del carico di inquinanti.

Anche il sub-indice vegetazione presenta, così come formulato in STRARIFLU prima e FLEA poi, significativi limiti applicativi, relativi soprattutto all'informazione di base: un'applicazione rigorosa degli indicatori proposti richiederebbe una base conoscitiva esaustiva

riguardo alla vegetazione dell'intera asta fluviale, comprese le cenosi erbacee. Nel caso del Mincio, tale copertura informativa esisteva solo per le Valli del Mincio⁽²⁾, mentre per la parte restante del corso era disponibile solo una carta forestale che, per quanto concerne le formazioni riparie e quelle arbustive, riportava una categorizzazione della vegetazione alquanto sommaria. D'altro canto, STRARIFLU si propone soprattutto come uno strumento di valutazione di dati esistenti, la cui struttura deve necessariamente adattarsi, per poter essere applicato con costi ragionevoli, alla disponibilità di informazioni già strutturate.

Infine, una possibile carenza del metodo discende proprio dalla procedura di stima del *Valore Natura*: poiché questa coinvolge per lo meno 3 (talvolta 4) livelli di successiva aggregazione, è evidente che il metodo (o i metodi) di aggregazione degli attributi ai vari livelli sono semplicemente determinanti per il risultato finale. Di conseguenza, è necessario che le procedure logiche e matematiche seguite nell'aggregazione delle variabili siano preventivamente esplicitate: da queste, infatti, dipendono le possibilità di compensazione fra i diversi attributi e quindi la capacità del metodo di far emergere particolari criticità rispetto ad altre, e di ponderarle adeguatamente nel giudizio complessivo. Uno dei principali punti di debolezza del metodo riguarda proprio i sistemi di ponderazione: questi, nelle intenzioni degli Autori, dovrebbero discendere da un giudizio esperto espresso da specialisti settoriali, la cui presenza nel processo partecipativo non è tuttavia certa, soprattutto quando non sono previste azioni settoriali di studio o monitoraggio. In questo senso, ponendosi STRARIFLU proprio come metodologia di sintesi a costi contenuti che utilizza principalmente dati esistenti, è possibile cogliere un certa contraddizione interna.

CONCLUSIONE

La caratterizzazione integrata STRARIFLU è stata applicata a scala locale al fiume Mincio, al fine di valutare lo Stato di Qualità Ambientale del sistema fluviale-lacustre. L'implementazione della metodologia STRARIFLU (introduzione nella matrice di valutazione degli indici macrofitico e di qualità dei sedimenti superficiali), concepito in questo studio per rendere maggiormente sito-specifica la caratterizzazione dello stato

di qualità dei diversi tratti del Mincio, è certamente uno dei valori aggiunti di questo lavoro. Questa integrazione si è resa necessaria per rendere lo strumento più flessibile e predittivo, soprattutto in quelle sezioni (Valli del Mincio, Laghi di Mantova, Vallazza) che sono più propriamente zone di transizione tra un ambiente fluviale, un'area umida ed un bacino lacustre. Una delle principali limitazioni nell'applicazione del metodo, che ha determinato una modificazione e semplificazione della struttura degli indicatori, è stata spesso la scarsa disponibilità di dati. Si è evidenziato nel corso del lavoro che spesso le azioni conoscitive sono fondamentali per una caratterizzazione esaustiva di alcune componenti dello stato ambientale e non un risultato dell'analisi, come previsto nel metodo originale, laddove emergano fattori critici da approfondire per la predisposizione della strategia di riqualificazione.

In definitiva, nel caso di studio del fiume Mincio i risultati dell'applicazione dell'approccio STRARIFLU modificato hanno permesso di identificare i segmenti fluviali (tratto da Peschiera a Pozzolo, Laghi di Mantova e basso corso del Mincio) e gli aspetti più critici (qualità delle acque e regime idrologico) sui quali intervenire prioritariamente attraverso progetti di riqualificazione ambientale e quelli di maggior pregio (Valli del Mincio e il tratto da Pozzolo a Rivalta) da inserire in programmi di tutela e conservazione, che dovranno essere recepiti nell'ambito della pianificazione territoriale locale, per rispondere agli obiettivi di qualità previsti dalla Direttiva 2000/60/CE.

Ringraziamenti

Lo studio è stato finanziato dal Parco del Mincio e dalla Fondazione Cariplo con il Progetto "Da Agenda 21 ad Azione 21 – Progetto di Riqualificazione integrata per il fiume Mincio" (responsabile scientifico per il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Parma: prof. Pierluigi Viaroli).

Note

- 1 I laghi di Mantova sono stati inclusi nella ZPS IT20B0009 "Valli del Mincio" successivamente alla conclusione del lavoro descritto nel presente contributo.
- 2 Le lacune conoscitive riguardo ai Laghi di Mantova e alla Vallazza sono state successivamente colmate nell'ambito dell'elaborazione dei quadri conoscitivi dei Piani di Gestione di SIC e ZPS.

BIBLIOGRAFIA

BUFFAGNI A., ERBA A., 2007. Intercalibrazione e classificazione di qualità ecologica dei fiumi per la 2000/60/EC (WFD): L'indice STAR_ICMi. *Notiziario dei Metodi Analitici: Macroinvertebrati acquatici e direttiva 2000/60/EC (WFD)*. Istituto di Ricerca sulle Acque – CNR, **1**: 94-100.

DELLA LUNA G., FRANCHINI D.A., PERLINI S., 1990. *Definizione della portata minima vitale per il fiume Mincio*. Parco del Mincio.

FENCHEL T., KING G.M., BLACKBURN T.H., 1998. *Bacterial biogeochemistry: the ecophysiology of mineral cycling*.

- Academic press, pp. 305.
- IMHOF J.G., FITZGIBBON J., ANNABLE W.K., 1996. A hierarchical evaluation system for characterizing watershed ecosystems for fish habitat. *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, **53** (Suppl. 1): 312-326.
- IRVINE K., 2004. Classifying ecological status under the European Water Framework Directive: the need for monitoring to account for natural variability. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **14**: 107-112.
- KELLY-QUINN M., BAARS J.-R., BRADLEY C., DODKINS I., HARRINGTON T.J., NÍ CATHÁIN B., O'CONNOR M.M., RIPPEY B., TRIGG D., 2004. *Characterisation of reference conditions and testing of typology of rivers (RIVTYPE)*. Draft report to the EPA.
- LEE A.A., BUKAVECKAS P.A., 2002. Surface water nutrient concentration and litter decomposition rates in wetlands impacted by agriculture and mining activities. *Acquatic Botany*, **74**: 273-285.
- MURACA A., 2001. "Rapporto finale - Analisi del drenaggio urbano del bacino contribuente del Comune di Mantova: problematiche di gestione e di minimizzazione dell'impatto degli scarichi nel fiume Mincio e nei laghi di Mantova". Università degli Studi di Brescia.
- NARDINI A., SANSONI G. (a cura di), 2006. *La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio*. Mazzanti editore, Mestre, 832 pp.
- NARDINI A., SANSONI G., SCHIPANI I., CONTE G., GOLTARA A., BOZ B., BIZZI S., POLAZZO A., MONACI M., 2008. Problemi e limiti della Direttiva Quadro sulle Acque. Una proposta integrativa: FLEA (FLuvial Ecosystem Assessment). *Biologia Ambientale*, **22** (2): 3-18.
- PINARDI M., 2009. *Autotrofia ed eterotrofia in un sistema fluviale e lacustre eutrofico: bilanci di massa dei gas disciolti e dei nutrienti, ruolo della vegetazione macrofita sommersa ed elofita, del fitoplancton e dei tempi di residenza idraulica*. Tesi di Dottorato in Ecologia. Università degli Studi di Parma.
- PUZZI C.M., IPPOLITI A., TRASFORINI S., BARDAZZI M.A., 2006. *Carta delle Vocazioni Ittiche. Aggiornamento 2006*. Provincia di Mantova
- REGIONE LOMBARDIA, 2006. *Programma di Tutela e Uso delle Acque*. Sito internet: http://www.ors.regione.lombardia.it/cm/pagina.jhtml?param1_1=N11e3afc18be8ce5ad6f
- ROSGEN D.A., 1994. A stream classification system. *Catena*, **22**: 169-199.
- SANTSCHI P., HOHENER P., BENOIT G., BUCHHOLTZ-TEN BRINK M., 1990. Chemical processes at the sediment-water interface. *Marine Chemistry*, **30**: 269-315.
- SOANA E., 2005. *Valutazione dell'integrità ecologica di ambienti umidi periferiali: proposta di un indice sintetico basato sulla caratterizzazione dei sedimenti superficiali*. Tesi di Laurea in Scienze e tecnologie ambientali per il territorio e il sistema produttivo. Università degli Studi di Parma.
- TELÒ R., PINARDI M., BODINI A., BARTOLI M., RACCHETTI E., VIAROLI P., CUIZZI D., VANNUCCINI M., PREVIDI L., 2007. "Caratterizzazione dello stato ambientale del fiume Mincio e analisi della strategia di riqualificazione integrata e partecipata". Relazione finale del Progetto "da Agenda 21 ad Azione 21 per il Mincio - Progetto di riqualificazione integrata del fiume Mincio".
- VOOGD H., 1983. *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, Londres.
- WARD J.V., TOCKNER K., UEHLINGER U., MALARD F., 2001. Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. *Regulated Rivers: Research and Management*, **17**: 311-323.