

Estensione a scala di bacino del calcolo del Deflusso Minimo Vitale su base biologica: l'esempio del Bacino dell'Arno

Annamaria NOCITA^{1*}, Alessandro MASSOLO², Gabriele PINI³ & Marta POGGESI¹

¹ Museo di Storia Naturale, Sezione di Zoologia "La Specola", Università di Firenze, Via Romana 17, 50125 Firenze, Italia

² Dipartimento di Biologia animale, Università degli Studi di Pavia, Piazza Botta 9, 27100 Pavia, Italia

³ Geologo, libero professionista, Loc. Bagnoro 34/A, 52100 Arezzo, Italia

* E-mail dell'Autore per la corrispondenza: nocita@unifi.it

RIASSUNTO - *Estensione a scala di bacino del calcolo del Deflusso Minimo Vitale su base biologica: l'esempio del Bacino dell'Arno* - Il calcolo del Deflusso Minimo Vitale (DMV) con l'Instream Flow Incremental Methodology è sicuramente uno dei metodi più indicati quando si consideri la componente biologica di primaria importanza per la conservazione dell'habitat. L'Autorità di Bacino del Fiume Arno ha voluto estendere l'esperienza realizzata sul Fiume Sieve all'intera superficie di competenza: è nata quindi la necessità di individuare, per ogni tronco fluviale, la vocazione ittica e le specie target ad essa correlate. A questo fine è stato realizzato un modello statistico che rende possibile l'identificazione delle Vocazioni Ittiofaunistiche per ogni corso d'acqua, o parte di esso, e che è in definitiva un modello di ricerca di idoneità ambientale. I tratti con campionamenti di fauna sono stati utilizzati per validare il modello. La capacità discriminante per le quattro classi di Vocazione è risultata più che sufficiente e il Bacino dell'Arno appare soprattutto idoneo ad ospitare Ciprinidi reofili e Salmonidi allo stato adulto, mentre sono estremamente ridotte le aree che presentano le condizioni adeguate per la riproduzione della Trota. Il modello statistico può essere utilizzato anche quando vi è necessità di zonizzazione di un reticolo idrografico per fini gestionali, ossia come output di una carta ittica provinciale.

SUMMARY - *The extension of Minimum Sustainable Flow to basin scale: the case of Arno Basin* - The use of the Instream Flow Incremental Methodology is one of the most used techniques to determine the assessment of minimum sustainable flow (MSF), particularly when the biotic component is taken into account for conservation purposes. Arno River Basin Authority was demanding the application of existing models and procedures set up in the Sieve river, Arno basin, to evaluate MSF for the whole Arno basin. For each river branch we then formulated a statistical model to estimate the Fish Faunal Zones and the corresponding indicator species. Punctual data regarding the presence of fish species were used to validate the model. The discriminant model was able to correctly classify the four classes of Fish Faunal Zones and the basin is resulted suitable for Reophil Cyprinid and for adult Salmonids. Suitable areas for the reproduction of brown trout are very limited in space. The statistical model could be used for fish management purposes, when some hydrographic basins must be divided into Faunal Zones as, for example, in a local Fish Management Plan.

Parole chiave: vocazioni ittiche, Deflusso Minimo Vitale, IFIM, bacino dell'Arno

Key words: fish faunal zones, minimum sustainable flow, IFIM, Arno river basin

1. INTRODUZIONE

Il Metodo dei Microhabitat, IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) (Bovee *et al.* 1998), nasce come risposta alle problematiche ambientali legate alla gestione ed allo sfruttamento della risorsa idrica ad opera del Fish & Wildlife Service (USA) nei primi anni '80. Il metodo è focalizzato sull'habitat, quale elemento decisionale in merito allo stato di sopravvivenza degli organismi acquatici, con specifico riferimento all'ittiofauna. In particolare sono valutate le modificazioni e gli impatti dovuti alle variazioni di portata.

Il metodo IFIM, nella sostanza, mette in relazione i valori di microhabitat riscontrati in ciascuna cella con i dati di idoneità ambientale, in modo da ottenere una stima dell'area disponibile con caratteristiche compatibili con

le esigenze dell'organismo acquatico studiato. Per applicare il metodo occorre operare su tronchi fluviali entro cui vengono rilevati un gran numero di parametri. Il metodo presenta in questo senso il grosso limite di non poter essere esteso a un intero bacino fluviale, dato che mancano soprattutto le informazioni relative alla presenza/assenza delle specie target a questa scala. Per poter rendere disponibile il calcolo del DMV su base biologica a tutto il Bacino idrografico è stato elaborato un Atlante delle Vocazioni Ittiche: si tratta di un modello statistico di vocazione ittica che si applica al preesistente modello idrico dell'Autorità di Bacino. Quest'ultimo permette per ogni tratto (definito come la parte di corso che si estende da un'intersezione all'altra nel reticolo idrografico) di ottenere in automatico le caratteristiche necessarie all'applicazione dell'IFIM e di procedere al calcolo in ogni punto del bacino indagato.

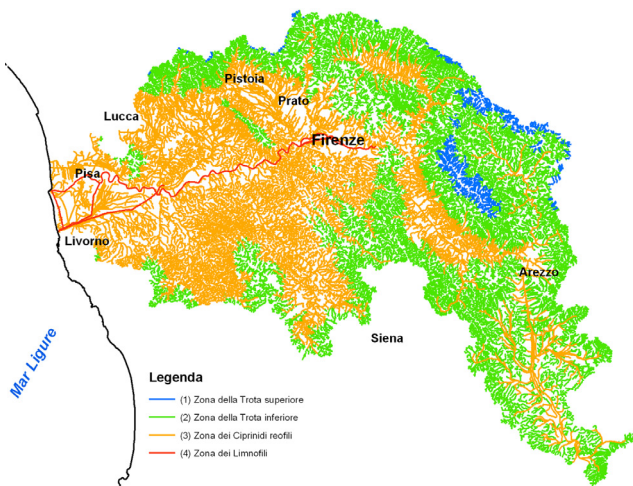


Fig. 1 - Plot dell'Atlante delle Vocazioni Ittiche del Bacino del fiume Arno.

Fig. 1 - Fish Faunal Zones plot of River Arno Basin.

L'ADP del metodo IFIM calcolata a livello di stazione diventa quindi estendibile a livello di bacino idrografico.

L'Atlante è stato realizzato grazie a un modello di regressione logistica dicotomica, che rappresenta unicamente una delle possibili soluzioni per la determinazione delle Vocazioni Ittiche all'interno di un bacino idrografico, mentre la sua applicazione per l'estensione dell'IFIM a macrohabitat rivela una sua enorme importanza pratica.

2. MATERIALI E METODI

Il metodo IFIM prevede il calcolo dell'Area Disponibile Ponderata (ADP) ossia l'habitat all'interno del quale esistono le condizioni adeguate per la vita di determinate specie. L'ADP è un valore che viene prodotto direttamente dal PHABSIM (Waddle 2001), il software dedicato al Metodo dei Microhabitat. L'ADP calcolata è in pratica solo un indice, e quando viene espresso in percentuale del suo valore massimo, in funzione della portata, può essere utilizzato per definire il deflusso minimo vitale (García de Jalón 2003). Per calcolare l'ADP occorrono i parametri morfologici del tronco fluviale considerato, dati idrici e alcune specie di riferimento con le loro relative curve di idoneità, ossia l'espressione delle loro preferenze in termini di velocità, profondità e granulometria del fondo. Se otteniamo, attraverso modello statistico, la distribuzione della fauna ittica dell'area considerata, espressa in termini di Vocazione Ittica e di specie target per ogni classe di vocazione, e adattiamo quest'informazione al modello idrico Bacino idrografico (quest'ultimo è un database che possiede, tratto per tratto, le informazioni geometriche e idriche necessarie per il metodo IFIM) è possibile ricostruire il DMV su base biologica per tutti i 24.000 km del reticolo idrografico (oltre 63.000 tronchi fluviali).

Il modello statistico che ha reso realizzabile l'Atlante delle Vocazioni Ittiche è in definitiva un modello di ricerca di idoneità ambientale: date determinate necessità o preferenze di alcune specie considerate sensibili alle variazioni di portata, si procede all'individuazione delle

aree, in questo caso sono identificabili nei corsi d'acqua, in cui le condizioni idonee per quell'entità faunistica si realizzano.

Questo modo di procedere permette di estendere ad un'area vasta, quale può essere appunto un bacino idrografico oppure un territorio provinciale, una serie di esperienze puntuali e di considerazioni sulla distribuzione delle specie ittiche che hanno un loro fondamento basato prevalentemente sul giudizio di esperti ma che con questo tipo di analisi assumono anche un inquadramento logico e statistico.

Per la formulazione è stato utilizzato il modello di regressione logistica dicotomica (Hosmer & Lemeshow 1989; Massolo & Meriggi 1998). L'analisi di regressione logistica nasce come uno strumento per stimare la probabilità di un evento (nel caso specifico, la classe di Vocazione Ittica) sulla base di un insieme di variabili predittive che caratterizzano ciascuna unità statistica (le Unità Campione, che nel nostro caso coincidono con i tratti fluviali) secondo il seguente modello:

$$(1) p(x) = \frac{e^{b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_i x_i}}{1 + e^{b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_i x_i}}$$

dove

$p(x)$ = probabilità che l'evento (idoneità) accada.

x_i = i -esima variabile indipendente (caratteristica ambientale)

b_i = coefficiente parziale di variazione unitario

come si può notare, una trasformazione denominata "logit" data dal logaritmo naturale del rapporto tra la probabilità che l'evento accada e il suo complementare (questo rapporto è definito *odds*) e indicata con $g(x)$ può essere rappresentata da un'equazione analoga al modello lineare:

$$(2) g(x) = \ln \frac{P(Y=1|x)}{P(Y=0|x)} = B_{k0} + B_{k1}x_1 + \dots + B_{kp}x_p$$

Per l'individuazione della variabile dipendente (Vocazione Ittica), mancando un dato preciso rilevabile sul campo per individuarne la classe per ciascun tratto di fiume soggetto a campionamento, sono state indicate le classi di vocazione ittica di ciascuna specie indicatrice. Sulla base di queste classi di appartenenza, una volta riscontrata la presenza/assenza di ciascuna specie per ciascun tratto di fiume campionato, si è stimato quindi un grado di probabilità di ciascun tratto di appartenere all'una o all'altra classe di vocazione (Tab. 1).

Il processo di classificazione è consistito quindi in due fasi successive (*2-steps classification*): in una prima fase si sono distinti le due macro-classi di vocazioni, mentre in una seconda fase sono stati formulati i modelli per distinguere la classe 1 dalla 2 e la 3 dalla 4.

Le variabili utilizzate sono: quota media, area sottesa, ordine di Strahler, lunghezza sottesa, $Q_{7/10}$, pendenza media ponderata, direzione di flusso.

Con questa tecnica si riescono a stimare i coefficienti del modello di regressione logistica, e quindi, una volta misurati i parametri ambientali (le variabili indipendenti, x_i), è possibile stimare, per ciascun tratto fluviale, le probabilità di appartenenza a ciascuna classe di vocazione ittica.

I modelli formulati sono stati successivamente verificati statisticamente utilizzando test di confronto di verosimiglianza (*likelihood*), mentre le variabili selezionate

Tab. 1 - Specie indicatrici con i relativi valori assegnati per classi di Vocazione Ittica, tradotte in probabilità di appartenenza a ciascuna classe.
 Tab. 1 - Target species with relative values of Fish Faunal Zone, transformed in the probability to belong at each class.

Nome comune	Classe di vocazione ittica				Probabilità di appartenenza a ciascuna classe di vocazione			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Anguilla	1	1	1	1	0.25	0.25	0.25	0.25
Barbo canino	0	0	2	1	0.00	0.00	0.67	0.33
Barbo europeo	0	0	2	1	0.00	0.00	0.67	0.33
Barbo padano	0	0	2	1	0.00	0.00	0.67	0.33
Barbo tiberino	0	0	2	1	0.00	0.00	0.67	0.33
Carpa	0	0	1	2	0.00	0.00	0.33	0.67
Cavedano	0	0	1	1	0.00	0.00	0.50	0.50
Cavedano etrusco	0	0	1	1	0.00	0.00	0.50	0.50
Ghiozzo dell'Arno	0	1	2	1	0.00	0.25	0.50	0.25
Ghiozzo padano	0	1	2	1	0.00	0.25	0.50	0.25
Gobione	0	1	2	1	0.00	0.25	0.50	0.25
Luccio	0	0	1	2	0.00	0.00	0.33	0.67
Rovella	0	0	2	1	0.00	0.00	0.67	0.33
Scazzone	3	1	0	0	0.75	0.25	0.00	0.00
Tinca	0	0	0	3	0.00	0.00	0.00	1.00
Vairone	1	3	0	0	0.25	0.75	0.00	0.00

e inserite nel modello sono state verificate mediante test basati sul rapporto fra valore stimato ed errore standard della stima (*t* test), o mediante rapporti di varianze (statistica di Wald o F di Fisher).

I modelli sono stati testati sulla base della loro capacità di classificare correttamente i casi originari di presenza/assenza. Questi sono stati ricavati da un database relativo agli ultimi dieci anni di campionamenti all'interno dell'area di studio.

Le analisi sono state condotte utilizzando il programma Statistical Package for Social Sciences SPSS for Windows 12.01 (SPSS Inc.[®]).

3. RISULTATI

Sono state modellizzate quattro classi: la Trota Superiore (1), la Trota inferiore (2), i Ciprinidi Reofili (3) e i Ciprinidi limnofili (4), mentre la quinta, la zona ad Acque Salmastre non viene classificata da questo modello in quanto è stata definita in base al solo chimismo delle acque (salinità superiore al 5 per mille). Tali aree di Vocazione Ittica sono previste nella Carta Ittica Regionale (Auteri *et al.* 1995). È stato inoltre posto un filtro che ha evitato che un tratto a monte possa avere classe inferiore al tratto subito a valle e con questo accorgimento si è ridotta enormemente l'area classificata a Trota Superiore. Il 45,3% e il 47,1% del reticolo idrografico, secondo il

modello elaborato, sono da attribuire rispettivamente alla seconda e terza delle classi di Vocazione Ittica. La prima classe, ossia dove esisterebbero condizioni idonee alla riproduzione della Trota, costituisce il 6,7% del reticolo ed è localizzata nell'area del Casentino, mentre alla quarta classe appartiene unicamente il tratto del Fiume Arno a valle di Firenze (Fig. 1).

In totale, sono stati quindi formulati e applicati 3 modelli differenti come di seguito descritti.

Complessivamente sono stati rilevati i parametri ecologici su 63.689 tratti fluviali (o Tratti campione, TC); su 197 di questi (ca lo 0,3%) tratti è stata rilevata la presenza delle specie indicatrici.

Dei 197 TC, solo per 119 è stato possibile attribuire una delle 4 classi di vocazione con una certa ragionevolezza: 11 sono risultati in classe 1, 29 in classe 2, 69 in classe 3 e 10 in classe 4. Al contrario, è risultato più facile classificarli nelle 2 macro-classi di vocazione (1+2 vs 3+4): 44 in classe 1+2 e 153 in classe 3+4.

Il modello che ha permesso di distinguere i tratti appartenenti alle 2 macro-classi è stato formulato selezionando come variabili predittive l'area e la quota.

Il modello ha mostrato un comportamento ambivalente in fase di verifica, nonostante una classificazione complessiva ottima (85,8%) e una buona percentuale delle classificazioni dei TC di classe 3+4 (143/153; 93,5%), ha evidenziato un livello di classificazioni corrette piuttosto basso per la classe 1+2 (18/44; 59,1%).

Il modello tende quindi a sovrastimare la presenza di tratti fluviali in classe 3+4. Entrambe le variabili predittive sembrano indicare un effetto negativo sulla probabilità che un TC appartenga alla classe 1+2.

La selezione delle variabili ambientali da inserire nel modello è stata effettuata mediante una procedura di selezione *stepwise* basata su una procedura di massimizzazione della funzione di verosimiglianza (*likelihood*).

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il bilancio idrico, previsto dal Decreto 28 luglio 2004, di cui il deflusso minimo vitale costituisce il perno, non è elaborabile a livello di bacino idrografico se non attraverso un approccio idrologico: la soglia minima a cui fare riferimento è necessariamente una portata caratteristica che nel caso del bacino dell'Arno è stata individuata nella $Q_{7/2}$. Risulta al momento un traguardo irraggiungibile una formula in grado di condensare il DMV idrologico e quello biologico poichè essi operano, come già esposto, a due scale diverse. Quello che invece è possibile fare per ognuno degli oltre 63000 tratti del modello idrico, è di confrontare la portata caratteristica fissata come soglia minima del DMV con il risultato del Metodo dei Microhabitat: tale valutazione serve a correggere il dato idrologico – la $Q_{7/2}$ – a livello di singolo tratto in modo da tenere conto del fattore biologico. Normalmente da tale confronto scaturisce un DMV più conservativo, in termini di portata, rispetto a quanto stabilito a scala di bacino.

Si tratta di una delle prime esperienze in questo senso, per quel che è dato sapere, e può rappresentare quindi un avanzamento non solo da un punto di vista gestionale, per ciò che comporta avere uno strumento solido, facilmente integrabile e aggiornabile, ma si tratta soprattutto di un nuovo apporto metodologico dato che, se pur le due metodologie IFIM e ricerca di idoneità ambientale

esistevano da molto tempo, non erano mai state utilizzate insieme come strumento di regionalizzazione del calcolo del deflusso minimo vitale. L'esperienza è ovviamente utilizzabile anche in altri campi quali la ricerca di Vocazioni Ittiche per la realizzazione di carte ittiche e quindi per la gestione della fauna ittica.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano l'Autorità di bacino del Fiume Arno, la Provincia di Firenze e il Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze per aver finanziato il progetto BioDeMiV.

BIBLIOGRAFIA

- Auteri R., Abella A., Baino R., Righini P., Serena F., Silvestri R., Voliani A. & Zucchi A., 1995 - *Gestione della fauna ittica. Carta ittica regionale*. I.S.T.I.P., Prov. Livorno e Regione Toscana, vol. VII, 147 pp.
- Bovee, K.D., B.L. Lamb, J.M. Bartholow, C.B. Stalnaker, J. Taylor & J. Henriksen, 1998 - *Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*. Information and Technology Report USGS/BRD/ITR-1998-0004. Fort Collins, CO: U.S. Geological Survey-BRD, 130 pp.
- Garcia de Jalón D., 2003 - The Spanish Experience in Determining Minimum Flow Regimes in Regular Streams. *Can.n Wat. res. J.*, 28/2: 185-198.
- Hosmer D. W. & Lemeshow S., 1989 - *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons, New York.
- Massolo A. & Meriggi A., 1998 - Factors affecting habitat occupancy by wolves in northern Apennines (Northern Italy): a model of habitat suitability. *Ecography*, 21: 97-107.
- Waddle T.J., 2001 - *PHABSIM for Windows: User's Manual and Exercis.*: Fort Collins, CO, U.S. Geological Survey, 288 pp.