

## IL CALCOLO DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE SU BASE BIOLOGICA MEDIANTE L'UTILIZZO DI UN MODELLO IDRAULICO MONODIMENSIONALE

Giovanni Menduni<sup>1</sup>, Marcello Brugioni<sup>1</sup>, Michele Ceddia<sup>1</sup>, Annamaria Nocita<sup>2</sup>

(1) Autorità di Bacino del Fiume Arno – Firenze (IT)

e-mail: [g.menduni@arno.autoritadibacino.it](mailto:g.menduni@arno.autoritadibacino.it), [m.ceddia@arno.autoritadibacino.it](mailto:m.ceddia@arno.autoritadibacino.it)

(2) Museo di Storia Naturale Sezione di Zoologia “La Specola”, Università degli Studi di Firenze – Firenze (IT)

Parole chiave: gestione delle risorse idriche, fiume, simulazione numerica, DMV.

### SOMMARIO

*Il presente lavoro illustra una metodologia per la stima del Deflusso Minimo Vitale alla scala di bacino mediante l'applicazione di un'indagine sperimentale su base biologica. Ad esclusione dei metodi basati esclusivamente su criteri idrologico-idraulici e morfologici, i quali risultano facilmente applicabili per il reticolo idrografico di comprensori vasti, una valutazione del DMV basata su dati rilevati in situ risente della limitazione di applicabilità spaziale dovuta ai tempi e ai costi delle campagne di misura. Applicando un modello idraulico per la valutazione delle variabili idrauliche e utilizzando informazioni spazialmente distribuite relative all'ittiofauna, elemento principe del metodo utilizzato, quanto proposto consente di ottenere la stima della portata ottimale per le aste fluviali indagate. Tale valore è stato quindi oggetto di un confronto con i dati di  $Q_{7,2}$ , primo valore di riferimento, mediante un'opportuna funzione, per l'individuazione del Deflusso Minimo Vitale.*

### 1 INTRODUZIONE

Nell'ambito dello studio del bilancio idrico per il Bacino del Fiume Arno, volto alla messa a punto di un piano per la gestione della risorsa idrica, è stato condotto uno studio pilota per la valutazione del Deflusso Minimo Vitale alla scala di alcuni sottobacini. Come ormai noto, l'analisi di tale elemento non può essere ricondotta ad una metodologia universalmente riconosciuta ma occorre fare riferimento a diversi approcci i quali prendono in considerazione diversi fattori, non tutti legati alle peculiarità idrologiche o idrauliche del corso d'acqua e del bacino da esso drenato. In aggiunta a ciò, con un occhio alla modellistica idrologico-idraulica, si deve evidenziare come i modelli numerici disponibili, nei loro diversi gradi di complessità, esulano dalla mera applicazione per fini esclusivamente dedicati allo studio e alla progettazione di opere idrauliche, fornendo un valido contributo alle applicazioni che, con un approccio trasversale, coinvolgono in senso lato il bacino idrografico. La sintesi sinergica di una metodologia avanzata per la stima del Deflusso Minimo Vitale su base biologica e di un modello idraulico affidabile e robusto consentono quindi di condurre, in modo sistematico e in tempi ragionevoli, un tale studio alla scala di un bacino idrografico delle dimensioni di diverse migliaia di chilometri quadrati integrando, ove è necessario dati storici o derivanti da apposite campagne di misura.

### 2 METODOLOGIE PER LA STIMA DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE

Le conseguenze, sul regime di un corpo idrico, di una modificazione delle portate naturali sono oggetto di studio da parte del mondo scientifico da diversi anni. Ciò ha portato all'elaborazione di alcune metodologie di calcolo del Deflusso Minimo Vitale e sulla portata ottimale, per studio dello stato attuale e la messa a punto di sistemi e previsionali/gestionali, basati su vari approcci e caratterizzati da difficoltà ap-

plicativa di diverso grado. Il dibattito scientifico ha fatto sì che all'interno degli istituti di ricerca che si occupano della materia siano stati costituiti gruppi di studio *ad hoc* tra cui, il più famoso è senz'altro il Cooperative Instream Flow Service Group - Fish and Wildlife Service – Department of the Interior degli Stati Uniti d'America. I metodi attualmente sviluppati possono essere raggruppati in due principali categorie:

**i metodi orientativi o tradizionali**, secondo i quali il deflusso minimo o ottimale non viene ricavato da studi sperimentali specifici per il singolo corso d'acqua bensì viene individuato a partire da un valore, definito a priori, di variabili come la portata media o la superficie drenata relativa alla sezione di riferimento senza prendere in considerazione alcuna caratteristica biologica;

**i metodi sperimentali**, basati su misure di campagna, che fanno riferimento a specifici obiettivi di tutela ambientale. Questi metodi correlano, in generale mediante un apposito legame funzionale, il comportamento delle variabili ambientali di stato con una variabile idraulica del corso d'acqua (portata, velocità, ecc.). Il grado di complessità di questi metodi varia con il numero di variabili considerate e con il legame funzionale utilizzato. Diversamente dai precedenti, questi metodi permettono di valutare la portata ottimale oltre a quella minima vitale.

Di conseguenza fanno parte del primo gruppo i modelli che necessitano di poche variabili in ingresso, generalmente idrologiche o idrauliche, mentre al secondo gruppo sono associati i modelli che utilizzano, oltre alle variabili idrologiche e idrauliche, anche quelle di tipo biologico, in modo da ottenere un'informazione sulla qualità ambientale del corso d'acqua. Tra questi ultimi si possono individuare tre ulteriori classi. Una prima riferita a modelli secondo i quali lo stato biologico del corso d'acqua è messo in relazione principalmente alla superficie bagnata; necessitano di una buona conoscenza della relazione esistente tra la variabile idraulica e quella rappresentativa dello ambientale. La seconda aggrega i modelli che utilizzano un indice bidimensionale quale funzione della portata. I dati necessari per poter operare con questi modelli sono molti e tutti derivanti da rilevazioni delle caratteristiche fisiche e biologiche del fiume stesso. Ad una terza classe appartengono i modelli che usano esclusivamente dati chimico-fisici, idraulici e biologici derivanti da misure di campo. Questi dati vengono poi elaborati mediante metodi di analisi statistica multivariata e utilizzati per la sintesi di indici di riferimento.

Come si può comprendere per ottenere una previsione completa e puntuale degli effetti finali sugli ecosistemi acquatici occorrerebbe fare ricorso ai modelli basati su dati analitici, anche storici; e su informazioni relative alle specie; in tal modo si renderebbe possibile la costruzione, per un determinato corso d'acqua, di un modello previsionale valido.

Un'ulteriore distinzione in classi può essere applicata in funzione delle grandezze assunte come variabili indipendenti del sistema. In particolare per i metodi tradizionali si ha quanto segue:

**metodi con variabili morfologiche**, basati sulla definizione di un contributo specifico (portata per unità di area drenata); la variabile indipendente è la superficie del bacino. Spesso, per la massima semplificazione, il valore del contributo unitario minimo è assunto costante in un ambito territoriale abbastanza esteso; data però l'impossibilità di rappresentare in tal modo talune situazioni particolari, sono stati introdotti vari fattori correttivi;

**metodi con variabili idrologiche semplici**: in questi metodi la portata minima vitale è funzione - di solito mediante leggi di diretta proporzionalità - di alcuni valori caratteristici del deflusso nella sezione considerata (per esempio: della portata media mensile, portata media annua, ecc.);

**metodi con variabili idrologiche e morfologiche**: questi metodi esprimono una equazione di regressione tra la portata minima vitale ed alcune variabili idrologiche e morfologiche del bacino, come ad esempio la portata media;

**metodi con variabili statistiche**: sono i metodi basati sull'individuazione di particolari valori di frequenza o di durata dei deflussi. Un esempio semplice è quello basato sulla minima portata media di 7 giorni (media mobile) con tempo di ritorno 10 anni ( $Q_{7,10}$ ); altri sono basati sulla portata media giornaliera di durata 335 giorni in un anno ( $Q_{335}$ ) ovvero, come prevede la normativa svizzera, su una funzione della portata di durata 347 giorni ( $Q_{347}$ ).

Mentre per i metodi sperimentali si ha:

**metodi sperimentali semplici**, in cui il DMV è correlato al contorno bagnato o alla larghezza della sezione utile per lo sviluppo della specie considerata, assumendo un criterio semplice per valutare l'idoneità di alcuni parametri ambientali;

**metodi sperimentali complessi**, nei quali si utilizzano particolari funzioni continue per valutare gli ambiti di idoneità dei parametri ambientali; per esempio, con il modo dei "microhabitat", viene determinata una curva che correla l'area disponibile ponderata (funzione della portata media, della velocità media e della natura del substrato) alla portata del corso d'acqua; in corrispondenza del massimo di tale curva si può individuare il valore ottimale del DVM.

In quest'ultima classe si colloca il metodo applicato nel presente studio.

### 3 IL DEFLUSSO MINIMO VITALE SU BASE BIOLOGICA PER IL BACINO DEL FIUME ARNO

Il processo seguito dall'Autorità di Bacino per la valutazione del Deflusso Minimo Vitale con l'utilizzo della metodologia descritta in questa sede trae origine da un primo studio per la valutazione del DMV su base biologica condotto in collaborazione con l'Università di Firenze sul bacino del Fiume Sieve (*Università degli Studi di Firenze*, 2005). A seguito delle evidenze di tale studio è stato costruito un modello *ad hoc* che facendo leva sull'applicazione di un modello idraulico monodimensionale e sui parametri della popolazione ittica di riferimento per ogni tratto ha permesso di valutare in maniera speditiva il valore di portata ottimale su diversi tratti fluviali del bacino del Fiume Arno. Di seguito si dà illustrazione del metodo sperimentale complesso, che conduce alla stima della portata ottimale, del modello idraulico applicato e del loro accorpamento.

#### 3.1 Il metodo dei Microhabitat (o IFIM)

Il metodo IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) è nato come risposta alle problematiche ambientali legate alla gestione ed allo sfruttamento della risorsa idrica ed è stato sviluppato da una équipe interdisciplinare di esperti sotto la responsabilità del United States Fish & Wild-Life Service (Department of the Interior).

IFIM è una complessa struttura analitica e concettuale, creata allo scopo di comprendere e gestire problematiche legate alla variazione dei regimi fluviali dovuta all'azione antropica, con particolare riferimento alle portate dei corsi d'acqua (*Stalnaker et al.*, 1995). Può essere quindi considerato come un mezzo per dare una risposta ai problemi legati alla distribuzione della risorsa idrica, per vari usi, in relazione agli organismi appartenenti all'ecosistema acquatico (*Bovee et al.*, 1998).

La scelta dell'habitat quale variabile decisionale dello stato di sopravvivenza degli organismi acquatici, con particolare riferimento alle specie ittiche, è dovuta al fatto che IFIM è stato appositamente creato per quantificare gli impatti sull'ambiente e che le modificazioni dell'habitat sono senza dubbio le più evidenti manifestazioni di tali variazioni di portata, sicuramente le più facilmente misurabili (*Stalnaker et al.*, 1995). Tra le componenti di un sistema fluviale le quattro che risultano fondamentali nella determinazione della produttività di organismi acquatici sono il regime di portata, la struttura fisica dell'habitat (forma del letto fluviale e distribuzione del substrato), la qualità dell'acqua (percentuale di O<sub>2</sub> disciolto nell'acqua, temperatura, etc), l'apporto di nutrienti e materia organica dal bacino idrografico del corso d'acqua preso in esame. La complessa interazione di tutte queste componenti determina la produzione primaria, quella secondaria e lo stato ecologico delle popolazioni ittiche nell'ambito del sistema fluviale.

Attraverso l'analisi combinata di più variabili ambientali IFIM consente di predire la modificazione subita da un habitat al variare delle condizioni idrauliche di un corso d'acqua. Per una corretta applicazione di IFIM è stato necessario creare una classificazione gerarchica dell'intero habitat fluviale: si possono distinguere infatti tre principali livelli di habitat: *Macro*, *Meso* e *Microhabitat*.

Si parla di *Macrohabitat* in relazione a porzioni longitudinali del corso d'acqua all'interno delle quali le condizioni chimiche o fisiche influenzano l'idoneità dell'intero segmento di fiume per tutti gli organismi acquatici. Al *Macrohabitat* appartengono i bacini di drenaggio, i sottobacini e le sezioni che sono le più piccole unità usate in IFIM. Per *Mesohabitat* si intende una porzione di fiume definita dalla geometria del letto fluviale con caratteristiche simili quali pendenza, larghezza, profondità, substrato. Tali unità geomorfologiche del corso d'acqua sono comunemente definite dai termini *pool*, *run*, *riffle*. Con il termine *pool* viene definita una zona con profondità variabile (> 0,50 m), velocità di corrente ridotta, priva di onde o increspature superficiali; velocità inferiore a 0,3 m/s; *run* identifica una porzione fluviale nella quale

si ha profondità media, poca o nulla turbolenza superficiale, velocità elevata o media; con *riffle* si identifica una zona di rapida con innalzamento del fondo, basso tirante, superficie increspata, substrato più grossolano, parzialmente sommerso, velocità media superiore a 0,3-0,4 m/s. La larghezza del *Mesohabitat* è identificabile principalmente con la larghezza del letto fluviale inteso come superficie bagnata. Il *Microhabitat*, infine, si riferisce a piccole e localizzate aree all'interno del *Mesohabitat*, utilizzate dagli organismi acquatici durante le varie fasi della loro esistenza, come il periodo riproduttivo. Il *Microhabitat* è identificato come l'area del corso d'acqua dove si riscontrano condizioni omogenee di profondità, velocità, substrato e copertura di fondo (questi ultimi due sono definiti *Channel Index*). Tali aree con caratteristiche omogenee, definite celle, devono essere considerate come l'unità di base nell'ambito del calcolo del deflusso minimo vitale su base biologica.

L'utilizzazione dei dati relativi alle diverse categorie di habitat e soprattutto la loro interazione sono legate al tipo di studio che si intraprende. E' possibile infatti utilizzare la metodologia IFIM per mettere in relazione le variabili ambientali del *Microhabitat* con quelle del *Macrohabitat* (ad esempio composizione chimica e/o temperatura dell'acqua) in modo da analizzare le possibili interazioni tra l'habitat totale e il flusso di corrente del tratto fluviale preso in esame, ed in particolare considerare le popolazioni ittiche oggetto di studio, così come la loro biomassa, piuttosto che gli invertebrati presenti, come funzione delle quattro componenti ambientali sopra descritte (profondità, velocità, substrato e copertura di fondo), che operano su scale di valori temporali e spaziali diverse.

Fondamentale nelle analisi effettuate con il metodo IFIM risulta la calibrazione dei parametri ambientali utilizzati, in maniera da operare una previsione in maniera il più verosimile possibile dei cambiamenti subiti dall'ecosistema ad opera delle modificazioni ambientali e, in particolare, quelle di portata.

Le limitazioni indotte su di una popolazione ittica o di invertebrati sono legate alla quantità ed alla qualità dell'habitat disponibile per le medesime popolazioni, soprattutto durante gli stadi vitali più critici (stadio giovanile e riproduttivo), e una riduzione di tale habitat, specie per periodi lunghi in seguito a drastiche diminuzioni di portata, può causare notevoli diminuzioni di produttività delle popolazioni di vertebrati ed invertebrati del sistema fluviale.

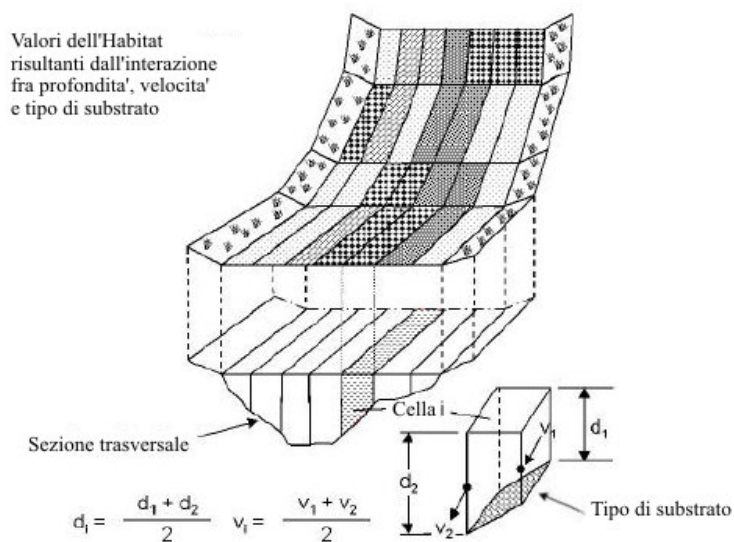
### 3.1.1 Schematizzazione dell'alveo fluviale

Nell'applicazione del metodo IFIM viene considerata una schematizzazione del letto fluviale in segmenti omogenei per ognuno dei quali è possibile definire una serie di variabili idrauliche e geometriche in ingresso al modello e, di conseguenza, un indice sintetico a descrizione dello stato del sistema relativo al segmento.

Una prima parte di informazioni comprende tutte le caratteristiche geometriche del corso d'acqua, quali, ad esempio, le dimensioni e la configurazione delle sezioni del letto fluviale e le caratteristiche e la distribuzione del substrato che vengono trattate come invarianti con il flusso di corrente.

Dalla misura sperimentale o, come in questo caso, dalla simulazione idraulica derivano componenti idrauliche, come la profondità, la velocità, il perimetro della superficie bagnata e gli altri parametri direttamente o indirettamente funzioni della portata transitante in alveo.

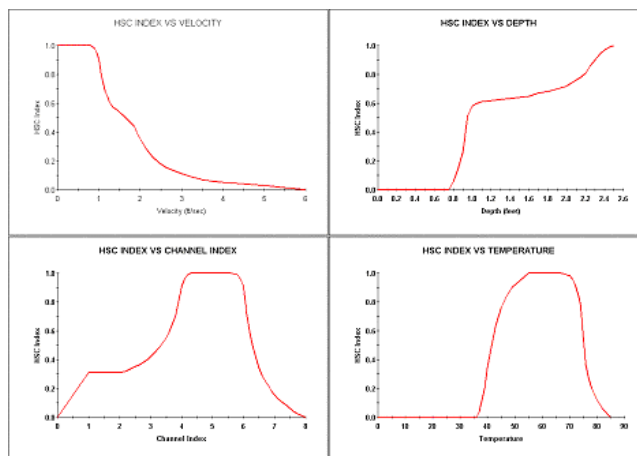
La schematizzazione in tratti omogenei conduce ad una ulteriore discretizzazione da cui risulta una mappa di caratteristiche porzioni di fiume rappresentate come un mosaico di "celle" tridimensionali (Figura 1). Per ogni portata simulata ciascuna delle celle, presenta un'unica combinazione di profondità e velocità, lasciando inalterati substrato e copertura del fondo (*Channel Index*). Ad ogni cella viene quindi applicata l'informazione relativa alle caratteristiche della specie ittica (idoneità ambientale) di riferimento in modo da giungere alla stima del microhabitat disponibile e quindi agli effetti sulla specie stessa. I valori di idoneità ( $S_i$ ) moltiplicati per la superficie della cella ( $A_i$ ) forniscono un valore che, sommato ai valori ottenuti per le altre celle del tratto omogeneo, determina l'Area Disponibile Ponderata (*ADP*) riferita ad un fissato valore portata in alveo.



**Figura 1.** Suddivisione di un tratto di fiume in celle e calcolo delle variabili del microhabitat (in questo caso velocità della corrente e profondità) per ogni singola cella.

### 3.1.2 Curve di idoneità

Le curve di idoneità sono l'elemento fondamentale nella stima dell'habitat favorevole alla sopravvivenza ed alla riproduzione della specie ittica presa in esame. Tali curve consentono di ottenere la stima dell'area necessaria affinché l'ecosistema acquatico, nella fattispecie la fauna ittica, possa svolgere le sue funzioni vitali. Le curve d'idoneità sono rappresentate in un sistema cartesiano nel quale l'ascissa e l'ordinata riportano rispettivamente la variabile ambientale e il grado di idoneità, riferito ad un intervallo compreso fra 0 e 1.(Figura 2)



**Figura 2.** Esempio di curve di idoneità. Sono presi in considerazione parametri quali velocità, profondità, Channel Index ed anche temperatura (unico parametro non appartenente al microhabitat). Da Waddle, T.J., 2001

Generalmente le curve di idoneità presentano un andamento a campana, la cui ampiezza è pari all'ambito dei valori compatibili con lo sviluppo dell'organismo e il cui picco indica la zona di condizioni ottimali.

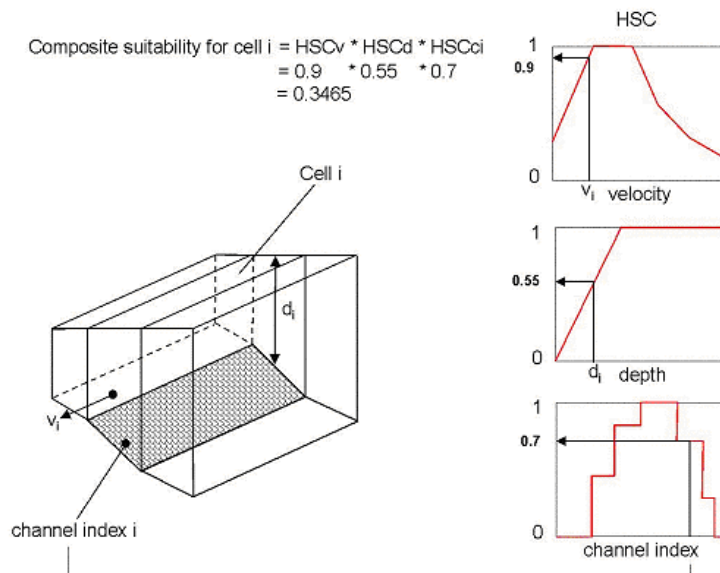
Il grado di idoneità del parametro utilizzato nella costruzione della curva è solitamente identificabile secondo tre diversi intervalli (Thomas & Bovee, 1993):

- intervallo ottimale: intervallo di idoneità con valori maggiori o uguali a 0.7;
- intervallo utilizzabile: si tratta di un intervallo di idoneità non ottimale ma comunque gradito e corrisponde ad un intervallo di preferenza compreso fra 0.2 e 0.7.

L'intervallo comprendente l'habitat ottimale e quello utilizzabile (osservazioni di ittiofauna fino al 95% oppure con preferenza maggiore o uguale 0.2) è definito idoneo. I valori di idoneità inferiori a 0.2 costituiscono l'intervallo non utilizzabile o non idoneo.

I criteri biologici per la costruzione delle curve di preferenza sono primariamente indirizzati a quei parametri dell'ambiente acquatico legati alla distribuzione della fauna ittica e sono direttamente collegati al flusso della corrente e alla morfologia dell'alveo: profondità, velocità, temperatura e Channel Index (copertura di fondo e substrato) (Figura 3); quest'ultimo parametro è solo indirettamente collegato al flusso di corrente, ma riveste notevole importanza nell'ecologia delle varie specie. Possono essere considerati anche altri parametri ambientali sempre legati alle caratteristiche dell'ambiente fluviale analizzato quali ossigeno disciolto, pH, salinità etc.

L'assunzione di base è che l'abbondanza, così come la distribuzione di ciascuna specie non sono influenzate dai singoli parametri del corso d'acqua indipendentemente tra loro ma, in misura diversa, dal loro insieme e soprattutto dalla loro interazione. I singoli individui di ciascuna specie tenderanno a selezionare le migliori condizioni per la loro sopravvivenza all'interno dell'ecosistema acquatico, ma sfrutteranno anche zone con condizioni meno favorevoli con utilizzo decrescente delle medesime zone con il peggiorare delle condizioni ambientali. Grazie quindi alla trasformazione dell'informazione legata all'assetto idraulico in parametri biologici determinati (densità, produzione, successo riproduttivo, strutture di popolazione, riproduzione etc.) è possibile ottenere una rappresentazione grafica del grado di preferenza di una certa specie ittica per uno o più parametri ambientali già descritti in precedenza.



**Figura 3.** Relazione esistente tra cella e curve di idoneità. Da Waddle, T.J., 2001

Attenzione va posta alla scelta delle curve di idoneità. Infatti nel caso in cui vengano utilizzati modelli di idoneità ambientale elaborati per corsi d'acqua diversi da quello in studio, sarà importante apportare

modifiche su tali modelli perché le differenti caratteristiche dei corsi d'acqua e le differenti abitudini ecologiche delle specie ittiche considerate, possono indurre in errori di valutazione, tali da compromettere la validità dello studio effettuato ([Raleigh, 1986](#)), ([Thomas & Bovee, 1993](#)), ([Vismara et al., 2001](#)).

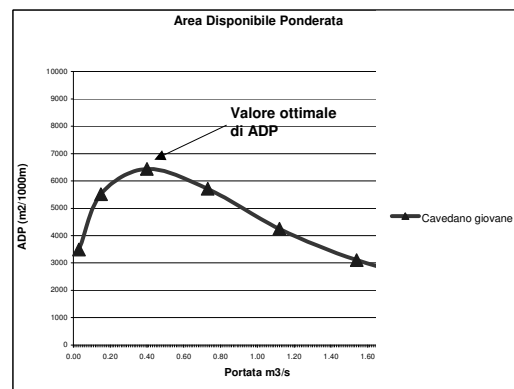
Non avendo a disposizione una gamma esaustiva di tali curve elaborate su base sperimentale soprattutto in riferimento alle specie caratterizzanti i corsi d'acqua della nostra penisola sono state utilizzate curve costruite su base teorica, utilizzando dati in parte bibliografici o ottenuti sul campo, in parte elaborati sulla base dell'esperienza professionale. In particolare si sono prese a riferimento le informazioni contenute in [Lamouroux et al. \(2002\)](#), [La Porta et al.](#) (anno sconosciuto), [Raleigh et al. \(1986\)](#), [Rambaldi et al. \(1997\)](#), [Strakosh et al. \(2003\)](#).

### 3.1.3 Area Disponibile Ponderata

L'habitat favorevole si traduce in Area Disponibile Ponderata (*ADP*) della parte di sezione bagnata considerata (cella), fattore principale per la stima della portata minima vitale. L'*ADP* è una misura che utilizza la combinazione di quantità e qualità del microhabitat per esprimerne le unità di area disponibile. Utilizzando curve di idoneità univariate l'*ADP* calcolato è un indice difficilmente misurabile per via diretta anche se l'utilizzo di differenti metodi di aggregazione degli indici di idoneità consente comunque la stima dell'*ADP* ([Morhardt & Mesick, 1988](#)).

I valori di *ADP* totale (solitamente espresso in  $m^2/m$  o su una scala normalizzata rispetto al valore massimo) relativi ad ogni portata simulata e ricavati dalla sommatoria delle *ADP* relative alle singole celle consentono la determinazione delle curve *ADP-portata*, che costituiscono il risultato primario dell'applicazione del metodo. Le curve *ADP-portata* esprimono quindi, per quanto visto in precedenza, la variazione con la portata della *quantità di habitat* disponibile per la specie ittica e per lo stadio vitale di riferimento. Essendo riferita evidentemente alle sole aree interessate dal flusso possono risultare escluse le aree riferite alle zone di rifugio (zone di sponda, detriti in alveo ecc.) e a zone con morfologie particolari (p.e. *pools* di grandi dimensioni). In questo caso tale metodologia può fornire risultati non corrispondenti pienamente alla realtà fisica, risultando quindi conservativi sul piano ambientale.

Il valore massimo di *ADP* (Figura 4) indica le condizioni idrauliche ottimali per le esigenze biologiche ed ecologiche della fauna ittica. Valori inferiori devono essere considerati limitanti in quanto modificano le caratteristiche demografiche e strutturali sia della comunità ittica che delle popolazioni; la limitazione aumenta col ridursi dei valori di portata ottimale e nel caso si riduca drasticamente può comportare condizioni di non idoneità per la vita acquatica.



**Figura 4.** Esempio di curva di idoneità. In ascissa sono riportati i valori di portata (m³/s) in relazione ai valori (in ordinata) di Area Disponibile Ponderata (m²/1000m) per la specie, in questo caso il Cavedano nello stadio giovanile

La curva di *ADP* consente di procedere all'individuazione di un valore di Deflusso Minimo Vitale applicando uno tra i criteri più utilizzati in letteratura e di seguito illustrati:

- individuazione del *break-point* ([Milhous et al., 1989](#)): rappresenta il punto di evidente cambiamento

di pendenza della curva *ADP-portata* ed è particolarmente idoneo per l'interpretazione di curve in cui tale cambiamento sia particolarmente evidente. Concettualmente il punto di "rottura" rappresenta il confine tra una situazione in cui al crescere della portata, l'ADP aumenta in modo sostanziale, ed una situazione in cui ulteriori incrementi di ADP sono ottenuti solo con un notevole aumento delle portate, anche se oltre un determinato valore di portata l'ADP rimane costante. In un'ottica costi-benefici, il punto di "rottura" individua quindi il valore di portata per il quale potrebbe essere raggiunto il migliore compromesso tra le esigenze di tutela ambientale e quelle di natura economica.

- nel caso in cui curve di l'ADP subiscano un incremento graduale, fino ad un punto massimo, oltre il quale l'habitat disponibile decresce, in genere a causa delle velocità troppo sostenute, il Deflusso Minimo Vitale può essere scelto in corrispondenza del massimo di ADP (portata ottimale) o di sue percentuali variabili fra il 40 e l'80% del valore massimo (*Orth & Leonard, 1990, Garcia de Jalón, 2003*).

### 3.2 Il modello idraulico

L'applicazione in via sintetica a scala di bacino del metodo IFIM è stata sviluppata utilizzando un modello idraulico monodimensionale grazie al quale, per una serie di valori di portata, vengono stimate le grandezze idrauliche che consentono il calcolo dell'Area Disponibile Ponderata e quindi, di conseguenza, la valutazione della portata ottimale.

La valutazione dell'ADP viene eseguita per un regime di magra, caratterizzato quindi da bassi valori di portata che presentano una certa permanenza. Per tale motivo l'approccio modellistico utilizzato prescinde dalla necessità di descrivere un fenomeno in rapida evoluzione mediante un modello in moto vario e, superando l'approssimazione dovuta a schematizzazioni in moto uniforme, imposta la risoluzione del problema idraulico su un sistema di corrente a superficie libera in moto permanente.

Sotto tale ipotesi l'equazione di continuità delle correnti monodimensionali si presenta nella forma

$$\frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \quad (1)$$

ossia

$$Q = \Omega U = Cost \quad (2)$$

dove  $Q$  è la portata,  $\Omega$  è l'area della sezione,  $U$  è la velocità media nella sezione,  $s$  l'ascissa longitudinale.

L'equazione del moto nelle ipotesi poste di moto permanente, tenuto conto della densità costante del fluido e della distribuzione idrostatica della pressione in ogni sezione, si può scrivere come

$$\frac{d}{ds} \left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g} \right) = -\frac{\tau_0}{\gamma R} \quad (3)$$

con  $z$  la quota di un punto generico della sezione,  $p$  la pressione nel baricentro della sezione idraulicamente interessata,  $\tau_0$  gli sforzi tangenziali di valor medio,  $\gamma$  il peso specifico,  $R$  il raggio idraulico. Tenuto conto dell'ipotesi di distribuzione idrostatica della pressione il trinomio

$$z_f + Y + \frac{U^2}{2g} = h + \frac{U^2}{2g} \quad (4)$$

rappresenta il carico totale  $H$  della corrente nella sezione considerata.  $z_f$  è la quota del fondo alveo,  $Y$  è la profondità nella sezione considerata e  $h$  il carico piezometrico. Pertanto l'equazione del moto permanente si può ricondurre alla forma



$$-\frac{dH}{ds} = \frac{\tau_0}{\gamma R} = j. \quad (5)$$

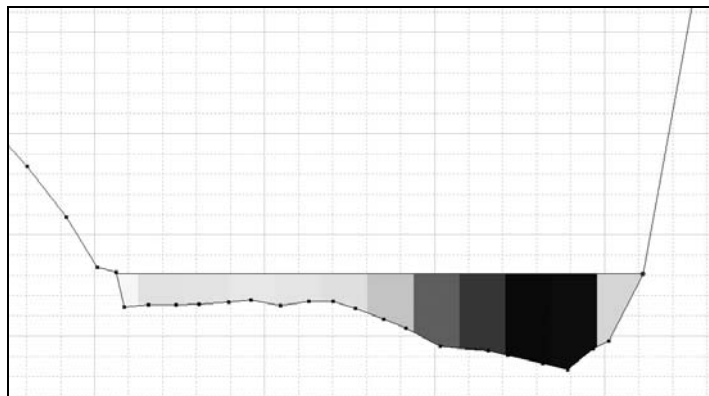
La cadente del carico effettivo  $j$  può essere valutata con le espressioni delle perdite di carico del moto uniforme; quindi considerando il coefficiente di resistenza di Chézy,  $\chi$  si può scrivere

$$j = \frac{U^2}{\chi^2 R}. \quad (6)$$

Ai fini dell'applicazione dei risultati del modello idraulico al metodo IFIM si è previsto che il modello, pur risolvendo i profili di pelo libero secondo una formulazione monodimensionale del moto permanente fornisca un profilo trasversale delle velocità per punti corrispondenti alle celle in cui la sezione viene scomposta (Figura 5). Rimandando alla sezione successiva per ciò che concerne l'applicazione e i risultati della modellistica idraulica si riporta brevemente il metodo che il modello utilizza per la determinazione delle velocità medie per ogni cella. In un primo passaggio il modello provvede a risolvere l'equazione dell'energia su sezioni considerate come un unico elemento. Successivamente, a partire dal valore del battente idraulico già calcolato, il modello calcola per ogni cella l'area di fluido, il perimetro bagnato e il battente medio. Tali valori consentono, con opportune correzioni, il calcolo di un valore medio di conduttività

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3}, \quad (7)$$

per ognuno degli elementi in cui la sezione è suddivisa. Nell'eq. (7)  $n$  è il coefficiente di scabrezza di Manning,  $A$  è l'area bagnata,  $R$  è il raggio idraulico. Dal vettore dei valori di conduttività relativo ad una specifica sezione si calcola il vettore delle velocità medie.



**Figura 5.** Esempio di profilo trasversale di velocità (in scala di grigio, più scuro per valori crescenti) relativo alla suddivisione in settori di una sezione del Fiume Sieve.

### 3.3 L'applicazione al Bacino del Fiume Arno

La sperimentazione del metodo proposto è stata eseguita a partire dallo studio eseguito dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno e dall'Università di Firenze sul Fiume Sieve (BioDeMiV – Progetto Pilota per la Determinazione e Verifica del Deflusso Minimale Vitale su Base Biologica per l'asta del Fiume Sieve). A partire dalle evidenze di detto studio si è provveduto a validare l'utilizzo di informazioni idrauliche derivanti dal modello numerico per l'applicazione del metodo IFIM. Successivamente a questa fase il meto-

do è stato sviluppato per alcuni tratti del reticolo del bacino del Fiume Arno. L'estensione del metodo per la valutazione *per via sintetica* della portata ottimale su base biologica porta naturalmente una serie di vantaggi laddove si voglia utilizzare un simile approccio su comprensori di estensioni che rendono, nella pratica, impossibile la valutazione classica dei parametri necessari al calcolo delle curve di *ADP*.

### 3.3.1 Lo studio sul Fiume Sieve

Lo studio BioDeMiV è partito dai campionamenti della fauna ittica nei tratti individuati per l'applicazione del metodo IFIM. Le stazioni di campionamento e alcune caratteristiche relative sono riportate nella tabella 1. La tabella 2 invece riporta le specie rinvenute.

LOCALITA'				
	Camping Mugello Verde	Sagginale	Dicomano	Scopeti
Quota (m s.l.m.)	194	175	144	122
Copertura vegetale	arborea	arborea	arbustiva	arborea
Substrato	ciottoli, ghiaia	ciottoli e ghiaia	ciottoli e ghiaia	ciottoli, ghiaia, limo
Larghezza media alveo bagnato (m)	12	16,6	27	31,97
Lunghezza (m)	75,2	65	57,80	91,55
Area campionata (m <sup>2</sup> )	936,24	1079	1583,72	2926,85

Tabella 1. Stazioni di campionamento dello studio BioDeMiV.

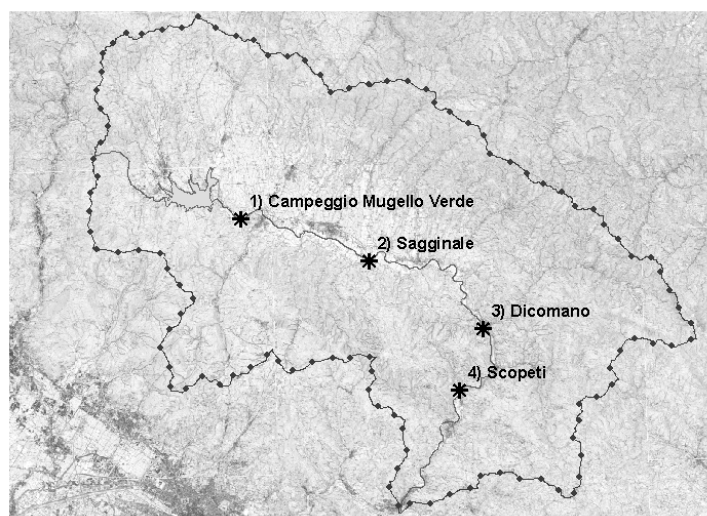
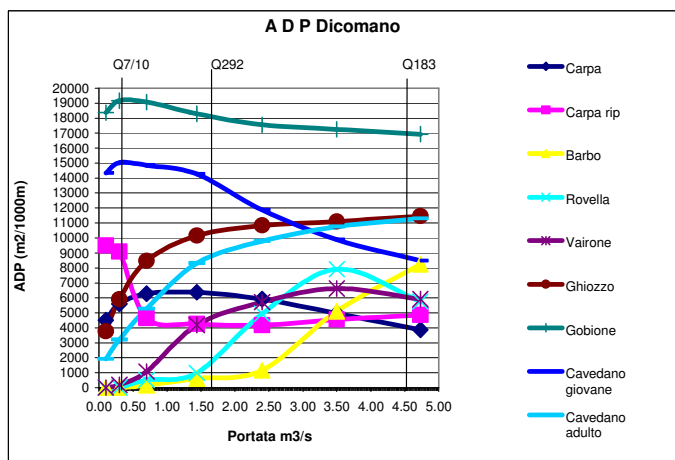


Figura 6. Stazioni di campionamento.

Barbo - <i>Barbus sp.</i>
Cobite - <i>Cobitis taenia</i> Linnaeus, 1758
Gobione - <i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758)
Cavedano - <i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus, 1758)
Vairone - <i>Leuciscus souffia</i> Risso, 1826
Pseudorasbora - <i>Pseudorasbora parva</i> (Schlegel, 1842)
Ghiozzo - <i>Padogobius nigricans</i> (Canestrini, 1867)
Trota Fario - <i>Salmo (trutta) trutta</i> Linnaeus, 1758
Trota Iridea - <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)
Lasca - <i>Chondrostoma genei</i> (Bonaparte, 1839)
Rovella - <i>Rutilus rubilio</i> (Bonaparte, 1837)
Alborella - <i>Alburnus alburnus</i> (De Filippi, 1844)
Anguilla - <i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)
Carpa - <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758
Carassio - <i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758)

**Tabella 2.** Specie rinvenute nelle campagne di campionamento in corrispondenza delle stazioni del Fiume Sieve.

L'elaborazione dei dati rilevati ha condotto alla definizione delle curve di *ADP* per ognuno dei tratti di cui ogni stazione è rappresentativa. Prendendo come riferimento, a titolo di sintesi, il tratto relativo alla stazione di Dicomano, per ognuna delle specie rilevate si sono ottenute le curve riportate in figura 7. In tale stazione si riscontrano ottimi valori di *ADP* per  $Q_{7,10}$  solo per la Carpa, sia adulta che in fase riproduttiva, il Gobione e il Cavedano Giovane, mentre i valori di  $Q_{292}$  garantiscono buone condizioni di idoneità a tutte le altre specie, ad eccezione della Rovella e soprattutto del Barbo che necessiterebbero di portate prossime alla  $Q_{183}$ .



**Figura 7.** Curve di ADP per le specie rilevate nella stazione di Camping Mugello Verde.

Per lo studio numerico dell'idraulica del tratto in esame è stato considerato un vettore di portate comprese tra lo zero ed un valore massimo definito sulla base del regime del bacino drenato nella sezione di calcolo. Nel caso della stazione Dicomano la massima portata considerata è pari a 4 mc/s.

Come riportato in figura 8, in cui si riporta il risultato per il Gobione, la metodologia sperimentata concorda con quanto indicato dall'applicazione del metodo IFIM mediante misure di campagna.

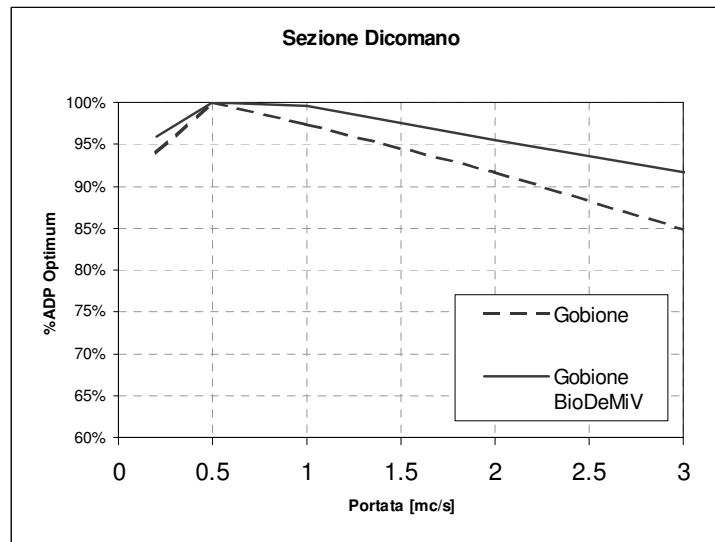


Figura 8. Curve ADP per il Gobione alla sezione di Dicomano (particolare).

### 3.3.2 Estensione della metodologia

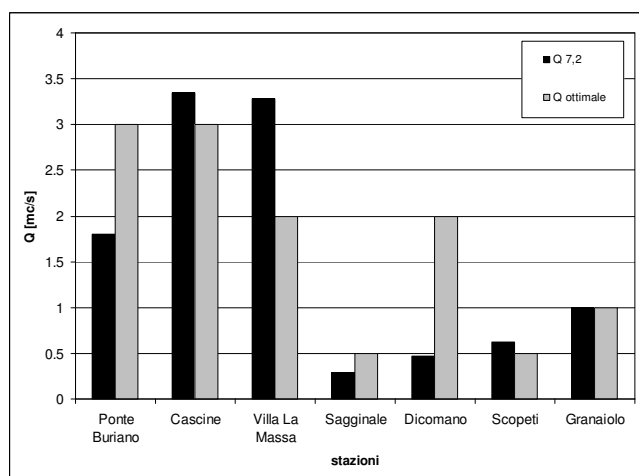
In una fase successiva allo studio sul bacino del Fiume Sieve la metodologia speditiva è stata applicata ad alcuni tratti per i quali non erano presenti informazioni derivanti da indagini di campagna. Era invece nota la vocazione ittica del tronco fluviale e le specie ittiche maggiormente presenti. Sulla base di tali dati e mediante l'applicazione del modello idraulico precedentemente illustrato è stato messo a punto un software (Figura 9) per il calcolo delle curve di *ADP* percentuale. I tratti indagati in questa seconda fase sono relativi all'asta principale del Fiume Arno e al Fiume Elsa (Tabella 3).

corso d'acqua	località
Arno	Ponte Buriano
Arno	Cascine
Arno	Villa La Massa
Elsa	Granaiole

Tabella 3. Tratti per l'analisi della portata ottimale mediante l'applicazione del metodo IFIM per via sintetica.



**Figura 9.** Interfaccia Utente del software “Pesci” messo a punto per la determinazione del DMV su base biologica per via sintetica, alla scala di bacino.



**Figura 10.** Confronto tra i valori di portata ottimale (ADP) e i valori di  $Q_{7,2}$  per alcune stazioni indagate.

L’analisi ha evidenziato che per le specie ittiche di riferimento il valore della portata ottimale dedotto dalla curva *ADP* non si discosta, in media, dai valori di  $Q_{7,2}$ . Quest’ultimo fattore era stato considerato dall’Autorità di Bacino come valore di riferimento (attraverso una sua funzione) per la determinazione di un primo valore indicativo per la determinazione del Deflusso Minimo Vitale. Un approfondimento dell’applicazione di tale metodologia, in termini di informazioni utilizzate e di ottimizzazione della descrizione della geometria del corso d’acqua ai fini della modellazione idraulica, può senza dubbio portare a migliori valutazioni sull’intero bacino e, in particolare, su corsi d’acqua per i quali non sarebbe applicabile, con i tempi e con le risorse disponibili, altre metodologie.

## CONCLUSIONI

La metodologia proposta prende spunto dall’utilizzo di uno dei metodi sperimentali per la determinazione del Deflusso Minimo Vitale. L’IFIM valuta su base biologica l’intervallo dei valori di portata ottimale mediante la derivazione di un indice di riferimento, l’Area Disponibile Ponderata, ottenuto a partire

da alcune caratteristiche dell'ittiofauna tipica o potenziale del corso d'acqua. Tipicamente l'impiego di una tale metodologia richiede la valutazione di determinate grandezze mediante campagne di misura *ad hoc*. Questa necessità preclude lo studio, in tempi ragionevolmente brevi, di bacini idrografici che presentino dimensioni notevoli. A partire da tale vincolo e nell'ottica degli approfondimenti necessari alla messa a punto del Piano di Bacino per il Bilancio Idrico, l'Autorità di Bacino del Fiume Arno ha sperimentato una metodologia mista e applicabile a scala di bacino basata sull'utilizzo di dati già disponibili dell'ittiofauna e di informazioni idrauliche derivanti dalla modellistica numerica.

## 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, [IV]+147 pp, 2 cartine fuori testo.
- Bovee, K.D., 1997. "*Data collection procedures for the physical habitat simulation system*". U.S. Geological Survey Biological Resources Division Mid-Continent Ecological Science Center Fort Collins, Colorado 80525; 146 pp.
- Bovee, K.D., B.L. Lamb, J.M. Bartholow, C.D. Stalnaker, J. Taylor, and J. Henriksen., 1998. "*Stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology*". U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Information and Technical Report USGS/BRD-1998-2004; 130 pp.
- Garcia de Jalón D., 2003. "*The Spanish Experience in Determining Minimum Flow Regimes in Regular Streams*". Canadian Water resources Journal, vol.28, n°2; 185-198 pp.
- Hayne, D. W., 1949. "*Calculation of size of home range*". J. Mamm. 30: 1-18 pp.
- La Porta G., Lorenzoni M., Mearelli M., Giovinazzo G., Carosi A., Carletti S., Doerr M., (anno di pubblicazione sconosciuto). "*Gestione dei deflussi minimi vitali nella rete dei corsi d'acqua della Provincia di Perugia*". Università degli Studi di Perugia Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia. 139 pp.
- Lamouroux N. and Capra, H. 2002. "*Simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations*". Freshwater Biology 47 1545 pp.
- Milhous RT, Updike MA, Schneider DM, 1989. "*Physical habitat simulation system reference manual - version 2*". Instream Flow Information Paper 26. U.S.D.I. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 89(16).
- Morhardt, J.E., C.F. Mesick. 1988. "*Behavioral Carrying Capacity as a Possible Short-Term Response Variable [for determining instream flow]*". Hydro Review 7(2): 32-40 pp.
- Nelli L., Radi M., Castellani A., Leonzio C., 1998. "*Sulla endemicità di Salmo trutta L. nella toscana meridionale. Atti Società toscana Scienze Naturali*". Mem. Serie B, 105: 73-81 pp.
- Nocita A., 2002. "*Carta Ittica della Provincia di Firenze*". Assessorato Agricoltura, Caccia e Pesca, Provincia di Firenze, [6], 254 pp.
- Orth D.J., Leonard P.M., 1990. "*Comparison of discharge methods and habitat optimization for recommending instream flows to protect fish habitat*". Regulated Rivers: Research and Management 5(2): 129-138 pp.
- Raleigh R.F., Zuckermann L.D., Nelson P.C., 1986. "*Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: Brown trout, revised*". U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 82(10.124). 36-43 pp.
- Rambaldi A., Rizzoli M., Venturini L., 1997. "*La valutazione delle portate minime per la vita acquatica sul Fiume Savio nei pressi di Cesena (FO)*". Acqua Aria, 99-104 pp.
- Stalnaker C., Lamb B.L., Henriksen J., Bovee K., Bartholow J., 1995. "*The instream flow incremental methodology: a primer for IFIM*". National Ecology Research Centre, Internal. Publication. U.S. Department of the Interior, National Biological Service, Fort Collins, Colorado: 43 pp.
- Strakosh T. R., R. M. Neumann, and R. A. Jacobson. 2003. "*Development and assessment of habitat suitability criteria for adult brown trout in southern New England rivers*". Ecology of Freshwater Fish 12: 265-274 pp.
- Thomas and Bovee K.D., 1993. "*Application and testing of a procedure to evaluate transferability of habitat suitability criteria*". Regulated Rivers Research and Management 8(3): 285-294 pp.
- Università degli Studi di Firenze, Museo di Storia Naturale – Sezione di Zoologia "La Specola", 2005. "*Progetto pilota per la determinazione e verifica del Deflusso Minimo Vitale su base biologica per l'asta del Fiume di Sieve - (BioDeMiV). Relazione Finale*". Autorità di Bacino del Fiume Arno, Firenze.
- Vismara R, Azzellino A, Bosi R, Crosa G, Gentili G., 2001. "*Habitat suitability curves for brown trout (Salmo trutta fario L.) in the River Adda, northern Italy: comparing univariate and multivariate approaches*". Regul. Rivers: Res. Mgmt. 17: 37-50 pp.
- Waddle, T.J., 2001, "*PHABSIM for Windows: User's Manual and Exercises*". Fort Collins, CO, U.S. Geological Survey, 288 pp.
- Zippin C., 1958. "*The removal method of population estimation*". J. Wildl. Mgmt 22: 82-90 pp.