

# Impianti idroelettrici e compatibilità ambientale: proposta di un pacchetto di *tool speditivi* per gli Studi di Impatto Ambientale

Sebastian Schweizer\*, Enrico Pini Prato

Aquaterra Studio Associato, via D.M. Manni 84r, Firenze – [www.aquaterra.it](http://www.aquaterra.it)

\* Referente per la corrispondenza: [sebastian@aquaterra.it](mailto:sebastian@aquaterra.it)

Pervenuto il 24/9/2010, accettato l'11/1/2011

## Riassunto

Il diffondersi di impianti idroelettrici sui corsi d'acqua italiani è motivo per il quale, ad oggi, tecnici dell'ambiente ed Amministrazioni sono chiamati a dare valutazioni di giudizio riguardo l'inserimento di queste opere sul territorio ed alla valutazione dei loro impatti sull'ecosistema acquatico. Gli autori utilizzano l'indice IFF per l'inquadramento preliminare di un corso d'acqua o un suo tratto; tuttavia lo strumento non è sufficiente ad approfondire alcuni aspetti, rivolti soprattutto alla descrizione dello scenario una volta sottoposto a sfruttamento idroelettrico. Un approccio "previsionale" è invece fondamentale per adeguati ed approfonditi studi di impatto ambientale. In particolare gli aspetti legati agli impatti sull'ittiofauna in seguito ad un non corretto rilascio del DMV, così come all'alterazione dei mesohabitat, debbono essere presi in seria considerazione da parte dei tecnici e degli Enti autorizzanti, anche in seguito alla definizione degli obiettivi di tutela e naturalità previsti dalle più aggiornate normative. Per questo motivo gli Autori hanno preparato una *metodologia operativa*, caratterizzata da un *pacchetto di tool* da integrare all'indice IFF, utilizzando metodi da loro messi a punto denominati: MPA (*Mesohabitat Patchwork Assessment*), MSA (*Mesohabitat Suitability Assessment*), indici IP (Indici di Priorità d'Intervento), BSA (*Buffer Shading Assesment*), LUAt (*Land Use Assessment tool*).

PAROLE CHIAVE: impianti idroelettrici / mesohabitat / ittiofauna / Deflusso Minimo Vitale (DMV) / ombreggiamento / uso del suolo / Indice di Funzionalità Fluviale (IFF)

## Proposal of new tools to assess the environmental impact of hydropower plants

Environmental technicians and Administrations are called nowadays to give expertise judgments about the increasing construction of new hydropower plants on the Italian rivers, and to assess their impacts on the aquatic ecosystems. The Authors usually apply the IFF index (Index of Fluvial Functionality) to get a global view of a stream, but they retain this instrument not enough adequate to analyze some important aspects implicated into a "scenario description" consequently to hydropower utilization. The Authors also evaluate that an "anticipatory" approach should be basic for adequate and ample researches regarding evaluation on environmental impacts. The aspects bound to the effects onto ichthyofauna subsequent an incorrect Environmental Flow, or the structure alteration of mesohabitat must be taken into consideration from the technicians and from the Administration involved in water-use concessions, also considering the objectives of biodiversity conservancy and naturalness of the most up-to-date policy. For this reasons, the Authors have developed an *operative methodology*, characterized by a *set of tools* that can be used as an integration of the IFF index. The tools are made of a group of methods: MPA (*Mesohabitat Patchwork Assessment*), MSA (*Mesohabitat Suitability Assessment*), IP indexes (Priority indexes), BSA (*Buffer Shading Assesment*) and LUAt (*Land Use Assessment tool*).

KEY WORDS: hydropower / mesohabitat / ichthyofauna / Minimum Vital Flow / buffer shading / land use / Index of Fluvial Functionality

## INTRODUZIONE

La pressante richiesta di nuove concessioni di derivazione per uso idroelettrico, incentivate dalla politica di produzione da energie rinnovabili, ha visto il proliferare, sul territorio nazionale, di nuovi impianti su qualunque tipo di corso d'acqua. Tali impianti, se singo-

larmente potrebbero essere considerati "a basso impatto ambientale", divengono una pericolosa componente su molti bacini idrografici, nel momento in cui l'eccessivo sfruttamento della risorsa passa da *opportunità* per il produttore a *criticità* su un determinato

territorio, soprattutto per gli effetti cumulati di numerosi impianti in serie.

La legislazione nazionale prevede che i nuovi progetti di impianto idroelettrico siano sottoposti alla procedura di “Verifica di VIA” ai sensi del D.lgs. n. 152/2006 e successive modifiche, cui consegue che siano predisposti idonei studi di impatto ambientale per verificare la compatibilità dell’opera con l’ambiente circostante, ed in particolar modo la sua interazione con l’ecosistema fluviale. Tale procedura può condurre sostanzialmente al rifiuto del progetto, all’approvazione oppure ad un maggior approfondimento degli studi con l’attivazione della procedura di “Valutazione di Impatto Ambientale” (VIA).

Per questo tipo di indagini l’Indice di Funzionalità Fluviale (IFF: SILIGARDI *et al.*, 2007) si presta molto bene alla comprensione del territorio tramite la valutazione integrata tipica di questo indice, in grado di scorporare le principali componenti ambientali, e quindi di mettere in rilievo quali di esse possono essere maggiormente sensibili agli impatti ed ai disturbi esterni. Tuttavia si sottolinea che tutti i parametri non vengono misurati ma sono stimati, e perciò questo indice non è in grado di quantificare la variazione ambientale conseguente ad un cambiamento di scenario: ciò è molto evidente nella valutazione del Deflusso Minimo Vitale, della diversificazione dei mesohabitat costituenti l’alveo fluviale, delle fasce perifluviali. Si ritiene invece che negli studi di impatto ambientale sia invece fondamentale poter “quantificare” come e quanto può modificarsi un ecosistema in conseguenza di una nuova opera.

Per ovviare a questo problema, gli Autori propongono di integrare l’IFF con un pacchetto di tool, composto da metodi da loro messi a punto, in grado di fornire indicazioni tecniche specifiche a livello quantitativo; in particolare, i metodi di valutazione sono stati pensati come descrittori numerici che provvedono alla “misurazione” dell’ambiente, pur avendo la caratteristica imprescindibile di speditività.

I metodi proposti sono denominati: MPA (*Mesohabitat Patchwork Assessment*) utile a descrivere e misurare la diversità morfologica del corso d’acqua prima dei lavori in alveo; MSA (*Mesohabitat Suitability Assessment*) utile a individuare su base biologica valori di DMV critici per le specie ittiche target; indici IP (*Indici di Priorità d’Intervento*) utili a descrivere e quantificare la frammentazione longitudinale di un corso d’acqua prima della realizzazione di nuovi sbarramenti; BSA (*Buffer Shading Assesment*) utile alla valutazione dell’ombreggiamento offerto dalla vegetazione riparia; infine LUAt (*Land Use Assessment tool*) per la valutazione globale dell’uso del suolo per porzioni di bacino prossime ad aree impattate.

## METODI

### Metodo MPA (Mesohabitat Patchwork Assessment)

Il metodo è stato messo a punto per descrivere le peculiarità dell’ecomosaico fluviale costituito dall’alternanza dei mesohabitat tipici, come raschi (riffle), pozze (pool), zone a scorrimento veloce (run) e zone a scorrimento lento (glide) (MADDOCK, 1999), caratterizzanti un determinato tratto di corso d’acqua. Esso permette di ottenere una “mappatura” ambientale (PARASIEWICZ, 2007), corredata di tabelle descrittive, prima che venga eseguito qualsiasi tipo di opera in fiume: si addice pertanto agli studi ambientali per impianti idroelettrici poiché, al termine dei cantieri, consente di effettuare interventi mirati di riqualificazione, partendo dalla “fotografia” del fiume *ante operam*. Dal punto di vista operativo, il metodo prevede l’identificazione dei mesohabitat caratteristici per un determinato tratto fluviale e quindi il loro rilievo da valle verso monte, seguito dalla georeferenziazione tramite sistema GPS-GIS, come mostrato in figura 1 (SCHWEIZER e PINI PRATO, 2004).

I dati vengono elaborati per calcolare la frequenza con la quale ogni tipologia di habitat si presenta sul tratto analizzato (% sull’intero tratto), dato indicativo della diversificazione ambientale dovuta all’alternanza spaziale; si calcolano inoltre la lunghezza media di ogni tipologia di habitat e la relativa frequenza chilometrica, come mostrato in tabella I. Infine i risultati sono ulteriormente elaborati per valutare il grado di diversità (in termini di ricchezza di habitat) del tratto oggetto di studio (PINI PRATO e SCHWEIZER, 2003): sono perciò utilizzati l’indice di diversità di Shannon-Wiener, l’indice di equitabilità di Pielou –in grado di fornire indicazioni sull’equilibrata distribuzione degli habitat– e il Numero di Diversità di Hill, che esprime il numero effettivo di habitat che contribuiscono alla

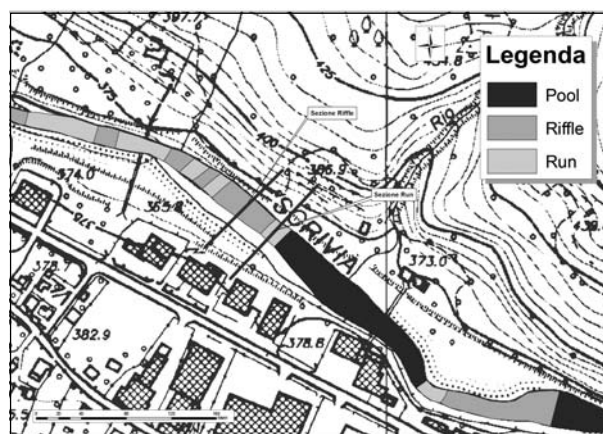


Fig. 1. Esempio di mappatura degli habitat per il MPA.

diversità globale (ODUM, 1983), come mostrato in tabella II.

$$\text{Shannon - Wiener} : H' = -\sum_i^S P_i (\ln P_i) \quad (1)$$

$$\text{Pielou} : J_1 = \frac{H'}{\ln S} \quad (2)$$

$$\text{Hill} : N_1 = e^{H'} \quad (3)$$

Dove:

$P_i$  = frequenza dell'habitat i-esimo (espresso in %) / somma delle frequenze di tutti gli habitat (100%).

$S$  = numero delle tipologie di habitat.

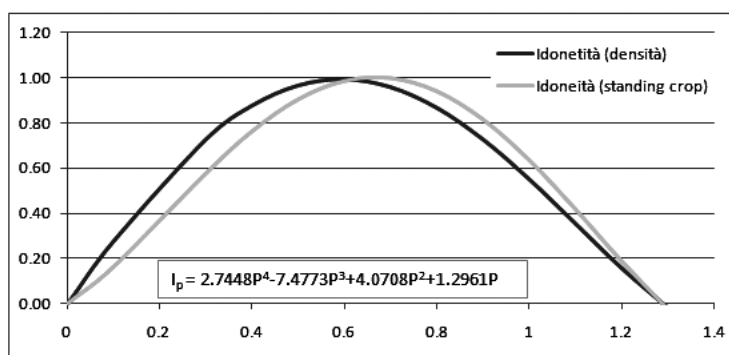
**Tab. I.** Metodo MPA: caratterizzazione dei 4 mesohabitat rilevati lungo un tratto di 1600 m circa che sarà sotteso da una derivazione idroelettrica in un torrente appenninico.

	Riffle	Pool	Glide	Run
Lunghezza media (m)	101	57	57	53
% sulla lunghezza del tratto	42,8	24,5	6,9	25,8
Numero	7	7	2	8
Frequenza al chilometro	4,3	4,3	1,2	4,9

**Tab. II.** Metodo MPA: calcolo degli indici di diversità ambientale per il tratto caratterizzato.

Indici	Valore min. teorico	Valore max teorico	Valore misurato
Shannon (diversità $H'$ )	0,00	1,39	1,24
Hill (numero di diversità $N$ )	1,00	4,0	3,46
Pielou (omogeneità o equitabilità $J$ )	0,00	1	0,9

Profondità (m)	Idoneità (densità)	Idoneità (standing crop)
0	0.00	0.00
0.1	0.28	0.16
0.3	0.73	0.58
0.4	0.88	0.76
0.5	0.97	0.90
0.6	1.00	0.98
0.7	0.96	1.00
0.8	0.87	0.94
0.9	0.73	0.81
1	0.55	0.63
1.1	0.36	0.42
1.2	0.16	0.19
1.3	-0.02	-0.02



**Fig. 2.** Esempio di Curve di idoneità per la densità (individui/m<sup>2</sup>) e per lo *standing crop* (grammi/m<sup>2</sup>) per il vairone (*Leuciscus souffia muticellus*) in forma di tabella e grafica. Sotto la curva, la sua equazione dove  $I_p$  = Idoneità per la profondità e  $P$  = profondità. Da BICCHI *et al.* 2006, modificato.

## Metodo MSA

### (Mesohabitat Suitability Assessment)

Il metodo MSA si basa sulla logica del metodo dei microhabitat (ANTONIETTI e MARCHIANI, 1999), ovvero sul concetto di diminuzione di habitat fluviale disponibile per la fauna ittica nel momento in cui vi è una captazione idrica, scenario tipico degli impianti idroelettrici: la diminuzione di portata naturale comporta una variazione dei parametri profondità e velocità della corrente, generando un ambiente meno “idoneo” alle specie-bersaglio tipiche della popolazione ittica locale.

Il metodo messo a punto ha la caratteristica di essere particolarmente speditivo poiché usa un sistema semplificato, idoneo soprattutto a indagini preliminari: invece di analizzare tratti di corso d'acqua da rilevare con apposita topografia di dettaglio e su cui eseguire simulazioni idrauliche –come previsto ad esempio dal protocollo PHABSIM (BOVEE *et al.*, 1998)– la misura dei parametri velocità/profondità avviene solo su sezioni scelte come rappresentative dei mesohabitat presenti, motivo per cui si consiglia di utilizzarlo dopo aver eseguito il metodo MPA per operare una migliore scelta delle sezioni-tipo. Inoltre i parametri di velocità e profondità derivano solo da misure effettuate in campo poiché si è osservato che, soprattutto su piccoli corsi d'acqua e per portate esigue, le simulazioni idrauliche lasciano molte perplessità e spesso non sono nemmeno applicabili.

Il metodo, invece di determinare l'area disponibile ponderata (definita ADP col metodo PHABSIM), fornisce i valori di idoneità per una data specie ittica nella singola sezione alle varie portate rilevate (Fig. 2), e tali indicazioni vengono poi estese all'intero tratto in esame proprio in virtù della rappresentatività di ogni sezione scelta. Importante è la valutazione delle portate alle quali eseguire i rilievi, poiché una di queste deve essere prossima al valore del DMV previsto dalle normative: eseguendo più misure con portate diverse, sia inferiori

che superiori, si verifica se quel valore rende idoneo ogni singolo mesohabitat per le specie-bersaglio, a seconda delle soglie di idoneità ritenute accettabili e reperibili nella letteratura specialistica.

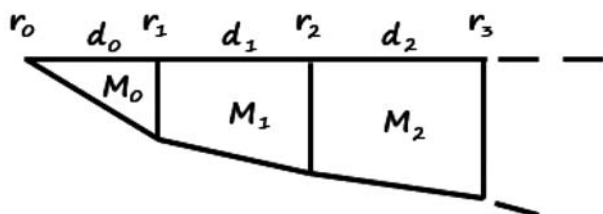
L'applicazione pratica del metodo consiste nel rilevare una "sezione-tipo" per ogni habitat ritenuto rappresentativo, misurandone velocità e profondità dell'acqua secondo un transetto ad un intervallo regolare (es. ogni 50 cm), ritenuto idoneo a designare la sezione stessa e dipendente dalla larghezza media dell'alveo bagnato. Si ottiene così una sezione suddivisa in sottosezioni o moduli (Fig. 3) per ognuno dei quali si calcola il contributo alla portata totale e la idoneità (*suitability*) per profondità e velocità per ogni specie target (Tab. III). Per il calcolo dell'idoneità per la profondità di tutta la sezione si usa la media ponderata sulla larghezza:

$$Ip_{tot} = \frac{\sum_i Ip_{Mi} \cdot d_{Mi}}{\sum_i d_{Mi}} \quad (6)$$

Dove:

$Ip_{tot}$  = Idoneità totale (tutta la sezione) per la profondità;  
 $Ip_{Mi}$  = Idoneità per la profondità dell'i-esimo modulo M;  
 $d_{Mi}$  = larghezza dell'i-esimo modulo M.

Infine per il calcolo dell'idoneità per la velocità di tutta la sezione si usa la media ponderata sull'area:



**Fig. 3.** Rilievo di sezione (rappresentazione parziale di uno degli estremi):  $r_i$  = punto di rilievo per profondità e velocità;  $d_i$  = distanza tra due punti di rilievo successivi;  $M_i$  = modulo (sottosezione) della sezione.

**Tab. III.** Esempio di output metodo MSA: idoneità di due sezioni rappresentative dei mesohabitat *riffle* e *pool* alla portata di 85 L/sec, corrispondente al DMV proposto, per il barbo adulto (*Barbus plebejus*) in un corso d'acqua appenninico

Parametri	Sezione Riffle	Sezione Pool
Portata (m <sup>3</sup> /s)	0,085	0,085
Larghezza bagnata (m)	4,45	6,27
Profondità media (m)	0,45	0,69
Velocità media (m/s)	0,034	0,012
Idoneità alla profondità (%)	48	70
Idoneità alla velocità (%)	53	50

$$Iv_{tot} = \frac{\sum_i Iv_{Mi} \cdot A_{Mi}}{\sum_i A_{Mi}} \quad (7)$$

Dove:

$Iv_{tot}$  = Idoneità totale (tutta la sezione) per la velocità;  
 $Iv_{Mi}$  = Idoneità per la velocità dell'iesimo modulo M;  
 $A_{Mi}$  = area dell'iesimo modulo M.

**Indici IP**

La realizzazione di impianti idroelettrici è quasi sempre causa di nuovi sbarramenti che comportano un'ulteriore frammentazione longitudinale del corso d'acqua; in questo caso è possibile misurarne la continuità *ante e post operam* tramite l'utilizzo degli indici di priorità per la riduzione delle discontinuità, in quanto sono indicatori dello stato del *continuum* (PINI PRATO, 2007). Essi sono IPs (indice di priorità di intervento sul singolo sbarramento) e IPt (indice di priorità di intervento totale); il primo si utilizza per confrontare la necessità di un passaggio per pesci su uno sbarramento piuttosto che su un altro, sullo stesso o su differenti corsi d'acqua; il secondo si utilizza su un singolo bacino idrografico, su una porzione di esso o su bacini differenti. Sono indici numerici adimensionali per i quali al crescere del valore, maggiore è la frammentazione e, dunque, la priorità di intervento su quello sbarramento o su quel bacino. Per il calcolo degli indici di priorità di intervento è necessaria la sola conoscenza dei seguenti parametri:

- lunghezze (km) dei tratti di corso d'acqua da raccordare;
- altezze (m) degli sbarramenti esistenti e loro numero;
- presenza di specie ittiche e relative caratteristiche all'interno del distretto ittico in esame, indicizzate con un coefficiente indicato con  $k_i$  e tipico per ogni specie, la cui determinazione si basa sui parametri Mobilità (Mob) e Valore naturalistico (Vn).

L'Indice di Priorità di Intervento (IPs) sul singolo sbarramento è calcolato con la formula:

$$IPs = Ms \cdot I \quad (8)$$

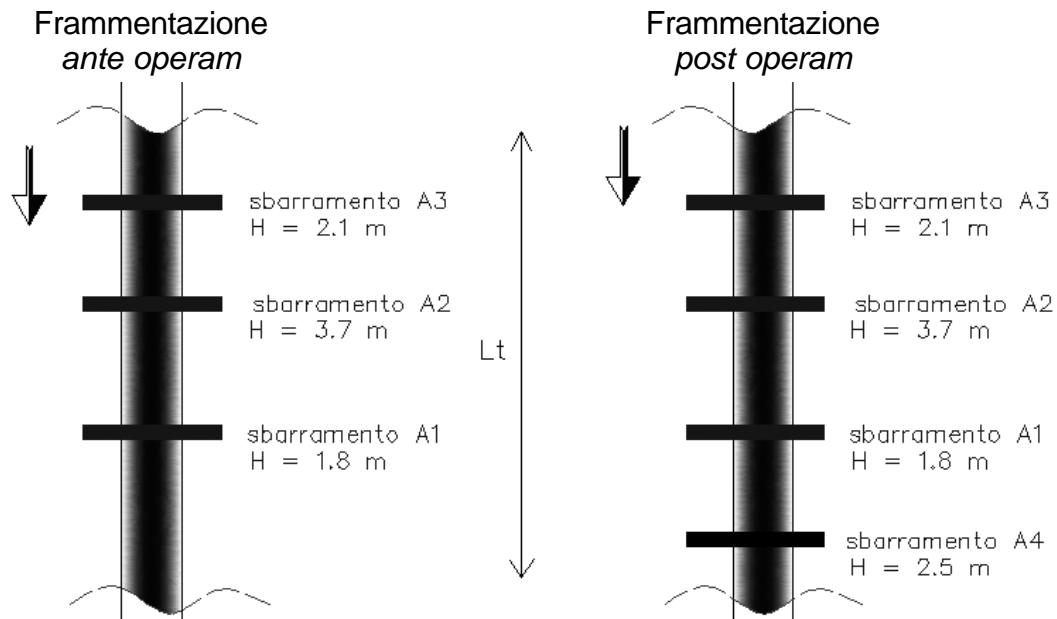
$Ms$  (fattore morfologico) = ;

$I$  (fattore ittico) =  $\sum k_i$

L'Indice di Priorità di Intervento totale (IPt) è calcolato con la formula:

$$IPt = Mt \cdot I \quad (9)$$

$Mt$  (fattore morfologico) =  $Lt \cdot \frac{1}{N \sum hi}$



**Fig. 4.** Stato della frammentazione su un tratto di lunghezza  $L_t = 6,3$  km prima e dopo la realizzazione di una nuova derivazione idroelettrica:  $M_t \text{ ante operam} = 0,27$ ,  $M_t \text{ post operam} = 0,15$

$I$  (fattore ittico) =  $\Sigma k_i$

$L_v$  = lunghezza del tratto continuo a valle dello sbarramento;

$L_m$  = lunghezza del tratto continuo a monte dello sbarramento

$L_t$  = lunghezza totale dell'asta fluviale raccordata;

$H$  = altezza dello sbarramento;

$N$  = numero degli sbarramenti da superare;

$\Sigma h_i = (h_1 + h_2 + \dots + h_n)$  = sommatoria delle altezze di tutti gli sbarramenti da superare;

$\Sigma k_i$  = sommatoria dei coefficienti di priorità ( $k_i$ ) delle specie presenti.

$k_i = (Mob + V_n)^2$

Per "misurare" la frammentazione del tratto in esame prima e dopo la realizzazione della derivazione idroelettrica, è sufficiente calcolare il fattore morfologico  $M_s$  o  $M_t$  (a seconda che si realizzi una nuova discontinuità in un tratto libero o in un tratto già frammentato), senza la necessità di calcolare anche il fattore ittico (Fig. 4).

#### Metodo BSA (Buffer Shading Assesment)

La realizzazione di impianti idroelettrici è spesso causa di taglio della vegetazione ripariale, ad esempio qualora vengano eseguiti gli scavi per la posa delle condotte. Dal momento che negli studi di ecologia uno dei fattori ambientali più importanti è costituito dalla radiazione luminosa per l'ovvia influenza che questa ha sull'ambiente fisico e sulla componente biologica che vi risiede, è importante conoscere le caratteristiche di

ombreggiamento svolte da una fascia ripariale per stabilirne modalità e dimensioni del taglio, nonché prevederne l'adeguato ripristino al termine dei lavori (SCHWEIZER, 2008).

Un'importante misura impiegata negli studi di ecologia forestale è la copertura della chioma, ovvero la sua proiezione verticale a terra; essa viene espressa come percentuale di una determinata area coperta dalle proiezioni verticali delle chiome. Questo parametro, oltre ad influenzare direttamente o indirettamente la penetrazione della luce all'interno di una copertura boschiva può essere utilizzato anche in studi sulle precipitazioni o sulle onde lunghe che escono dal "sistema bosco". Un parametro simile è dato dalla chiusura o apertura delle chiome: tale parametro, definito talvolta come "ombreggiamento", si definisce come la proporzione dell'emisfero celeste oscurato dalla vegetazione rispetto ad un singolo punto di osservazione (TETI e PIKE 2005). Quest'ultimo parametro è di particolare interesse teorico e pratico. L'utilizzo della copertura, infatti, comporta notevoli difficoltà pratiche (nel rilievo di campo) e teoriche (per la difficile valutazione degli spazi vuoti all'interno di una chioma) (KORHONEN *et al.*, 2006). La chiusura della chioma, invece considera anche la luce passante, cosa che, dal punto di vista ecologico, ha un'importanza rilevante (Fig. 5). La sua valutazione, inoltre, permette di essere eseguita con maggiore semplicità e speditezza nel lavoro di campo. Diversi autori (FIALA *et al.*, 2006; KORHONEN *et al.*, 2006) hanno inoltre dimostrato che con angoli di visuale molto stretti la *bias*

statistica (distorsione) non è significativa: questi risultati suggeriscono che strumenti con stretti angoli di visuale possono essere utilizzati anche nella stima della copertura delle chiome (Fig. 6).

Il metodo BSA perciò analizza la chiusura delle chiome entro un angolo di visuale utilizzando un procedimento derivante dalle tecniche della fotografia semisferica fatta con obiettivi fotografici di tipo fisheye,

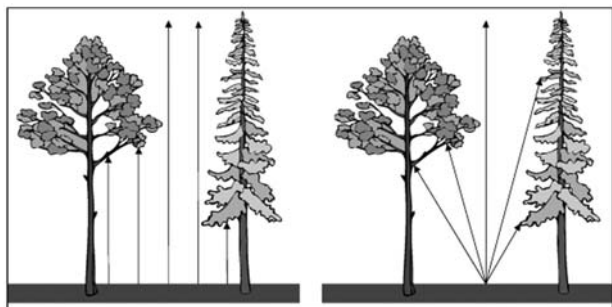


Fig. 5. La copertura della chioma (a sinistra) viene misurata sempre in direzione verticale, mentre la chiusura della chioma (a destra) comporta un angolo di visuale (da KOHRONEN, 2006).

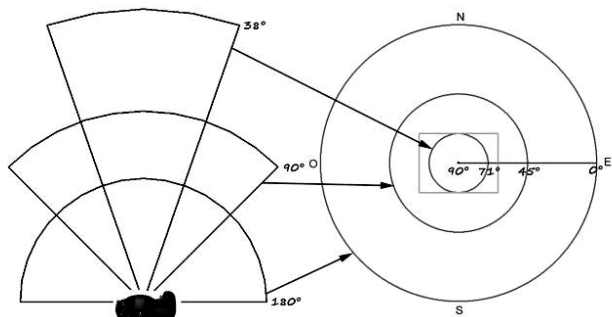


Fig. 6. Angoli di campo per diverse lunghezze focali (sx) e rispettive coperture su una rappresentazione circolare del cielo (dx) dove 0° rappresenta l’orizzonte intorno all’osservatore e 90° lo zenit. Angolo zenitale = 90° - (Angolo di campo/2).

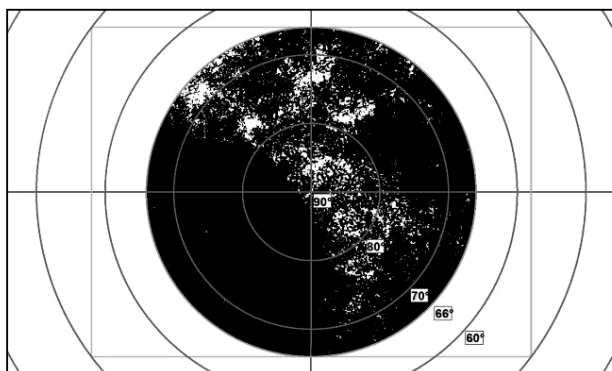


Fig. 7. Il settore di cielo coperto da un angolo di campo di 48° ca. Chiusura chiome: 91,2% in una fascia ripariale in ambiente montano.

ma utilizzando al loro posto una normale macchina fotografica digitale, da posizionarsi secondo una rete di punti scelti su una superficie o una linea che saranno sottoposte a taglio.

Le foto vengono scattate con il lato superiore della macchina fotografica rivolto verso nord puntando il centro dell’obiettivo verso lo zenit e quindi, al termine della campagna di rilievi, riversate su PC; successivamente si procede alla trasformazione in bianco e nero dell’immagine, al ritaglio della stessa con il cerchio corrispondente al settore di cielo coperto ed al calcolo del rapporto tra i pixel neri (indicanti la copertura, quindi l’ombra) e quelli bianchi (indicanti ove passa la luce) (Fig. 7).

Il risultato è l’ombreggiamento, ovvero una proporzione espressa in percentuale, indicante il grado di chiusura della vegetazione in uno specifico punto di rilievo a terra per una determinata porzione di cielo. I valori ottenuti servono come termine di paragone per valutare cambiamenti nell’ombreggiamento prima e dopo l’abbattimento/eliminazione della vegetazione ripariale.

Infine, per completezza, l’immagine può essere inserita sulla rappresentazione circolare della sfera celeste come mostrato in figura sottostante. La misura dell’ombreggiamento viene generalmente affiancata anche da misure dendrometriche.

**Metodo LUAt (Land Use Assessment tool)**

Per fornire un descrittore numerico dell’impatto post operam di interventi che comportino cambi di destinazione di uso o copertura del suolo è stato messo a punto il metodo LUAt. L’indice, denominato *iu*, individua se la porzione di territorio analizzata sia “spostata” verso un uso antropizzato piuttosto che naturale o più o meno funzionale, assegnando agli usi del suolo un punteggio con valore minimo 0, massimo 5 ed incrementi minimi di 0,1 e che devono essere crescenti via via che il tipo di uso del suolo esercita un maggior

Tab. IV. Esempio di calcolo del *iu* per un sottobacino.

Uso Suolo	Punteggio	% Uso	Classe · % Uso
Bosco ceduo	0,0	19	0
Prati-Pascoli, colture in fase di abbandono	1,0	0	0
Oliveti e frutteti	2,0	36	72
Vigneti	2,5	5	12,5
Seminativi	3,0	24	72
Urbano	4,5	16	72
Industriale	5	0	0
<b>Totale</b>		100	228,5
<i>iu</i>	228,5/100 H ≈ 2,3		

impatto sulle acque correnti superficiali (Tab. IV). Successivamente si calcola la media ponderata per la percentuale di uso del suolo per ogni porzione di bacino considerata. In questo modo è possibile valutare e quantificare se le opere in progetto andranno a spostare o meno l'uso del suolo di una certa porzione di un intero bacino idrografico, di parte di esso o di una sola sponda. Assegnati i punteggi ai diversi usi del suolo, il calcolo dell'indice *iu* avviene con la formula:

$$iu = \frac{\sum_i C_i P_i}{\sum_i P_i} \quad (10)$$

Dove:

*iu* = indice d'uso del suolo

*C* = Punteggio assegnato all'*i*-esimo uso del suolo

*P* = percentuale dell'*i*-esimo uso del suolo per un sottobacino od un interbacino;

$$\sum_i P_i = 100$$

Nella figura 8 un esempio di applicazione ad una serie di sottobacini od interbacini (porzione di bacino compreso tra due sezioni di chiusura). Si nota che i bacini posti più a monte sono i 'migliori' (migliore qualità = 0, peggiore = 5) per l'uso prevalentemente boschivo del suolo (con punteggio di 0,3 e 0,7) mentre il sottobacino posto più a valle mostra la situazione 'peggiore' con punteggio di 2,3 dovuta dalla presenza di zone urbane, industriali e colture varie.

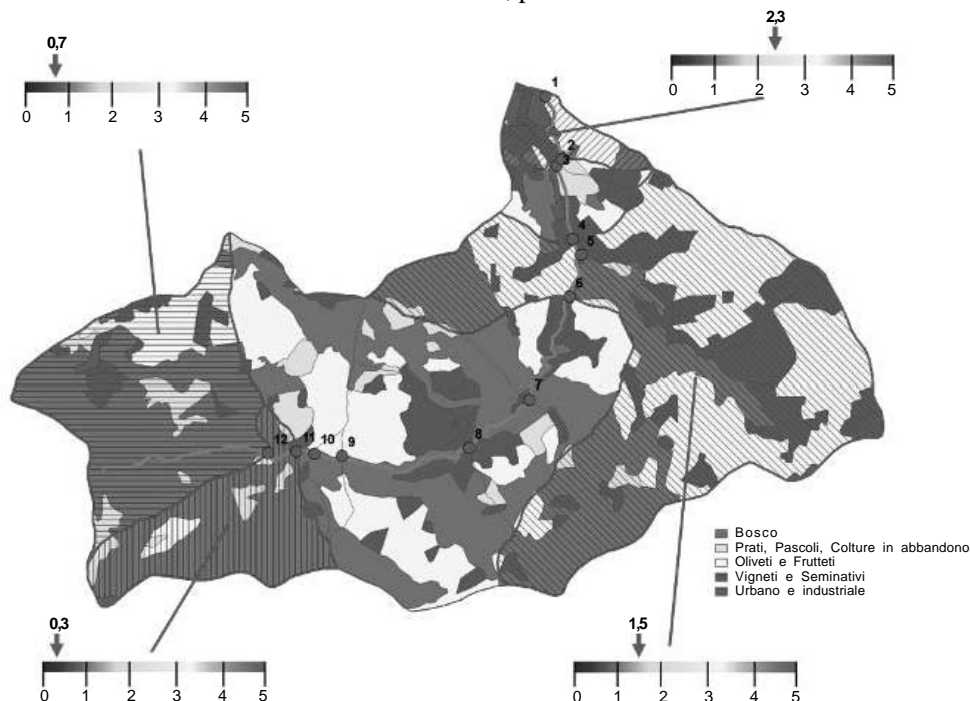


Fig. 8. Classificazione con il LUAt di sottobacini ed interbacini in base all'uso del suolo.

## DISCUSSIONE

Nel caso di studi di impatto ambientale per la valutazione di impianti idroelettrici spesso si rende necessaria l'integrazione dell'uso dell'indice IFF con l'intero pacchetto di *tool*, o soltanto con parte di esso, per rispondere alle esigenze diagnostiche richieste dagli Enti competenti (Tab. V). Ad esempio, per la realizzazione di un impianto idroelettrico sul torrente Tagliole (MO), è stata richiesta dall'Amministrazione Provinciale una lista di integrazioni specialistiche per approfondire alcuni aspetti ambientali non affrontati dal Proponente dell'impianto. In questa lista alcune integrazioni richiedevano: a) l'applicazione dell'indice IFF al tratto sotteso e per circa 300 m a monte e valle dello stesso, b) la rivalutazione del valore di rilascio del DMV quantificato in 110 L/s dal Piano di Tutela delle Acque, c) l'analisi della morfologia dell'alveo con la stima della percentuale di pozze, raschi, correntini al fine del ripristino delle condizioni di naturalità *post-operam*, d) descrizione degli interventi finalizzati al ripristino dell'ombreggiatura laddove è previsto il taglio delle piante per la posa della condotta. In questo caso si è risposto al primo punto della lista applicando l'IFF (che è risultato di classe I e II/III), al fine di consentire una miglior comprensione dell'ambiente fluviale del Torrente Tagliole, mentre per rispondere agli altri punti si sono usati i metodi MSA, MPA e BSA. Con il metodo MSA è stato possibile ridefinire il valore del DMV, aumentandolo da 110 L/s ad almeno 160 L/s, poi aumentato ulteriormente fino a 310 L/s al fine di

migliorare la disponibilità di habitat per la trota fario. Con il metodo MPA è stato possibile eseguire una mappatura completa del tratto, applicare gli indici di diversità (Shannon = 1,32, Hill = 3,75, Pielou = 0,95) e definire lo stato attuale del torrente, prima dei lavori. Infine, si è applicato il metodo BSA in 6 stazioni

campione poste lungo la linea della condotta ove è previsto il taglio degli alberi, andando a misurare la percentuale di copertura offerta dalla chioma degli alberi risultata intorno al 90%: in questo modo si è definito lo stato attuale e progettato il tipo di rimboscamento per ripristinare i valori iniziali una volta

**Tab. V.** Integrazione del pacchetto di tool (quantitativo) e l'indice IFF (qualitativo) per l'analisi ambientale.

COMPONENTE	ATTRIBUTO	METODO	
		MPA	IFF
Mesohabitat fluviali	Caratterizzazione strutturale degli habitat	Frequenza chilometrica delle singole tipologie di habitat e loro dimensioni medie; Indice di Shannon e derivati per valutare la diversità strutturale	Giudizio domanda n. 11 (idromorfologia)
Ittiofauna	Velocità e profondità dell'acqua in sezioni tipo	MSA	IFF
		Idoneità di sezioni idrauliche rappresentative per i parametri di velocità e profondità al rilascio del DMV o per portate differenti	Giudizio domanda n. 10 (idoneità ittica)
Ittiofauna	Continuità longitudinale dell'alveo	Indici IP	IFF
		Misurazione della frammentazione longitudinale e confronto dei valori ante e post operam	Giudizio domanda n. 10 (idoneità ittica)
Vegetazione riparia	Ombreggiamento, larghezza trasversale e ampiezza della fascia riparia, interruzioni longitudinali	BSA	IFF
		% di spazi luce/ombra, misurazioni dendrometriche su piccole aree di saggio, quantificazione della superficie coperta in un buffer ripariale di larghezza determinata o sul territorio circostante	Giudizio domande n. 2, 3 e 4 (vegetazione)
Territorio circostante	Uso del suolo	LUAt	IFF
		Media ponderata dei valori assegnati alle classi per le coperture percentuali di uso del suolo	Giudizio domanda n. 1 (Stato del territorio circostante)

**Tab. VI.** Schema riepilogativo di metodi ed obiettivi del pacchetto di tool proposto

INDICE, METODO	OBIETTIVO	COMPONENTE AMBIENTALE	OUTPUT
<i>IFF</i>	Funzionalità Fluviale	Tutto l'ecosistema fluviale ed il territorio circostante	- Punteggio - Cartografia tematica
<i>MPA</i>	Ricchezza di mesohabitat e grado di diversità morfologica	Mesohabitat fluviali: riffle, pool, run, ecc.	- Valori - Indici - Cartografia tematica
<i>MSA</i>	Deflusso Minimo Vitale su base biologica	Portata	- Valori - Curve di idoneità
<i>IP</i>	Stato della continuità/frammentazione longitudinale	Asta fluviale, porzione di essa	- Valori - Cartografia tematica
<i>BSA</i>	Grado di ombreggiamento	Fasce ripariali	- Valori - Cartografia tematica
<i>LUAt</i>	Uso del suolo	Territorio circostante l'asta fluviale	- Valori - Cartografia tematica



terminati i cantieri. L'uso del pacchetto di *tool* ha quindi permesso di rispondere puntualmente a quanto richiesto dall'Amministrazione, andando ad integrare, definire, quantificare aspetti cui l'IFF non avrebbe potuto rispondere, se non in forma qualitativa perciò inadatta alle richieste di integrazione. Si sottolinea infatti che il risultato finale sia dell'indice IFF che dei descrittori messi a punto viene espresso con un numero, ma la differenza sostanziale sta nel fatto che, mentre per il descrittore il numero è derivato da una *misurazione* (es. lunghezza, portata, copertura) o da una sua elaborazione (es. frequenza, indice di Shannon, idoneità, ecc.) l'indice IFF utilizza una valutazione qualitativa basata sul giudizio dell'operatore.

Il pacchetto di *tool* consente inoltre che i risultati ottenuti possano essere valutati secondo due logiche differenti, ovvero a) utilizzando il sistema della *reference condition*, mettendo a confronto le condizioni di un tratto fluviale *ante operam* con lo stesso tratto *post operam*, o, in alternativa, con tratti contigui relativamente intatti, o scegliendo come termine di paragone un corso d'acqua della stessa tipologia. A questa logica si è ispirata la messa a punto di questi descrittori numerici; b) utilizzando il sistema dei *punteggi-soglia*, in base al quale si può dare un range di tolleranza stabilendo dei valori costituenti una soglia minima da raggiungere e/o superare.

Si sottolinea comunque che i *tool* presentati incorporano spesso, così come l'IFF, uno o più elementi che sono basati su un giudizio esperto come, ad esempio, i range per 'non idoneo', 'idoneo' e 'altamente idoneo' delle curve di idoneità utilizzate nel MSA, le classi di uso del suolo nel LUAt, ecc. Tuttavia è importante considerare che tali elementi partono da misure ripetibili dei parametri, rendendone possibile il confronto nello spazio e nel tempo.

## BIBLIOGRAFIA

- ANTONIETTI R., MARCHIANI C., 1999. Atti del Corso "Indirizzi metodologici per la definizione del Deflusso Minimo Vitale in ambiente montano" - Busana (RE) 11-13 Ottobre 1999.
- BICCHI A., ANGELI V., CAROSI A., LA PORTA G., MEARELLI M., PEDICILLO G., SPIGNARDI M.P., LORENZONIA M., 2006. *Curve di preferenza delle principali specie ittiche del bacino del fiume Tevere (Umbria, Italia)*. XVI Congresso della Società Italiana di Ecologia, Viterbo/Civitavecchia 2006.
- BOVEE K.D., LAMB B.L., BARTHOLOW J.M., STALNAKER C.D., TAYLOR J., HENRIKSEN J., 1998. *Stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology*. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Information and Te-

## CONCLUSIONI

L'integrazione tra l'indice IFF ed il *pacchetto di tool* proposto consente una descrizione ed un'analisi ambientale dettagliata, perciò nello scenario di realizzazione di nuovi impianti idroelettrici è consigliabile l'utilizzo congiunto dei due sistemi (Tab. VI). Con questi due strumenti uno studio diviene completo e consente una valutazione qualitativa e quantitativa dell'ambiente, sia che si utilizzi un criterio di *reference condition* che un sistema di *punteggi-soglia*. Inoltre, tra i vantaggi, si sottolineano:

- la possibilità, per gli Enti autorizzanti, di ottenere uno screening approfondito utile a fornire indicazioni non solo sugli impatti degli impianti proposti, ma anche indicazioni sulle misure mitigative e compensative da adottare per la loro realizzazione;
- descrivere lo stato del fiume *ante operam*, in modo che, in caso di autorizzazione dell'impianto, si abbia un riferimento per la realizzazione di interventi mirati di riqualificazione fluviale a mitigazione e/o compensazione delle nuove opere;
- speditività nell'esecuzione dei rilievi di campo e nella produzione di risultati utili secondo le tempistiche imposte dai disciplinari;
- economicità per i proponenti gli impianti che, perlomeno in fase preliminare, non debbono esporsi al rischio di lunghi e costosi studi specialistici (ad esempio PHABSIM, ecc.) ancor prima dell'inizio del lungo iter autorizzativo, il cui esito ha comunque un elevato livello di incertezza;
- possibilità di estendere il pacchetto anche ad altri tipi di studio ambientale.

Infine tale pacchetto può essere migliorato ed arricchito, ad esempio con l'integrazione di altri indici, come quelli ittici, e quant'altro serva a descrivere l'ambiente fluviale prima dell'esecuzione di lavori ed opere.

- chnical Report USGS/BRD-1998- 2004; 130 pp.
- FIALA A. C.S., GARMAN S.L. GRAY A.N., 2006. Comparison of five canopy estimation techniques in the western Oregon Cascades. *Forest Ecology and Management*, **232**: 188-197.
- KORHONEN L., KORHONEN K. T., RAUTIAINEN M., STENBERG P., 2006. Estimation of Forest Canopy Cover: a Comparison of Field Measurement Techniques. *Silva Fennica* **40** (4): 577-588.
- MADDOCK I., 1999. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biology* **41**: 373-391.
- ODUM E. P., 1983. *Basi di Ecologia*. Piccin Editore, p. 363.
- PARASIEWICZ P., 2007. The Mesohabsim model revisited. *River Research and Applications* **23**: 893-903.

- PINI PRATO E., 2007. Descrittori per interventi di ripristino della continuità fluviale: Indici di Priorità di Intervento. *Biologia Ambientale*, **21**(1): 9-16.
- PINI PRATO E., SCHWEIZER S., 2003. A reference condition approach for the evaluation of the diversity variation of river habitats following works of hydraulic interventions. *Atti del convegno internazionale XXX° IAHR Congress*, Tessaloniki, 24-29 Agosto 2003.
- SCHWEIZER S. 2008. Applicazione su un corso d'acqua appenninico di alcuni descrittori numerici operanti in ambiente GIS. *Biologia Ambientale* **22**(1): 1-12.
- SCHWEIZER S., PINI PRATO E., 2004. Integration between GPS and GIS: a quick methodology supporting river restoration. *Atti del convegno internazionale V° Ecohydraulics symposium*, Madrid 13-17 Settembre 2004.
- SILIGARDI M., AVOLIO F., BALDACCINI G., BERNABEI S., BUCCI M.S., CAPPELLETTI C., CHIERICI E., CIUTTI F., FARRACE G., FLORIS B., FRANCESCHINI A., MANCINI L., MINCIARDI M.R., MONAUNI C., NEGRI P., PINESCHI G., POZZI S., ROSSI G., SANSONI G., SPAGGIARI R., TAMBURRO C., ZANETTI M., 2007. *I.F.F. 2007. Indice di Funzionalità Fluviale. Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata*. Manuale APAT, Roma, 325 pp.
- TETI P.A., PIKE R.G., 2005. Selecting and testing an instrument for surveying stream shade. *BC Journal of Ecosystems and Management* **6**(2): 1-16.