

## Prima caratterizzazione e valutazione delle comunità a macrofite acquatiche nei corsi d'acqua della Provincia di Cosenza

Antonella MEZZOTERO<sup>1</sup>, Maria Rita MINCIARDI<sup>2</sup>, Concita Daniela SPADA<sup>2\*</sup>, Lucio LUCADAMO<sup>1</sup>, Luana GALLO<sup>1</sup> & Andrea DE FILIPPIS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio di Ecologia Generale ed Applicata, Università della Calabria, Cubo 6b, Arcavacata di Rende, 87036 (CS), Italia

<sup>2</sup>ENEA Sezione di Biologia Ambientale e Conservazione della Natura, C.R ENEA Strada per Crescentino, 13040 Saluggia (VC), Italia

\*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: [daniela.spada@saluggia.enea.it](mailto:daniela.spada@saluggia.enea.it)

---

**RIASSUNTO** - *Prima caratterizzazione e valutazione delle comunità a macrofite acquatiche nei corsi d'acqua della Provincia di Cosenza* - A partire dalla primavera del 2007 sono state avviate ricerche per la caratterizzazione e la valutazione ecologica delle cenosi a macrofite presenti lungo alcuni corsi d'acqua della provincia di Cosenza. La comunità a macrofite acquatiche è compresa tra gli elementi di qualità ambientale individuati dalla Direttiva 2000/60/CE e deve essere indagata nell'ambito di routinari piani di monitoraggio; tale comunità è ampiamente utilizzata quale comunità indicatrice, già da diversi anni, in molti paesi europei. Nel studio, si è privilegiata la ricerca di stazioni caratterizzate dalla presenza di pressioni antropiche nulle o fortemente contenute. Sono state individuate 12 stazioni localizzate soprattutto in ambito montano. Nelle stazioni scelte sono stati effettuati 2 campionamenti durante la stagione vegetativa 2007. I dati derivanti dai rilievi stazionali sono stati elaborati utilizzando gli Indici Macrofitici europei principalmente finalizzati alla valutazione dello stato trofico. Lo studio ha condotto ad una prima caratterizzazione delle comunità ed alla validazione degli Indici Macrofitici utilizzati.

**SUMMARY** - *A first assessment and characterization of aquatic macrophytes in Cosenza (South Italy) rivers* - Since spring 2007 some studies finalized to the characterization and ecological assessment of macrophytes communities have carried out for the rivers of Cosenza province. Aquatic macrophytes community is one of the biological quality elements provided for WFD 2000/60/CE and it must be survey in ordinary monitoring systems. From many years, aquatic macrophytes are usually used as indicator community for running waters in many European States. This research considers twelve sampling located mostly in mountain region and characterized by poor or none anthropic impacts. For each site two macrophytes surveys have been carried out during the seasonal development of vegetation, for the year 2007 (on May-June and on September). The data surveys have been developed using two european macrophyte indices for the assessment of river, mainly for the assessment of trophic state. This study allows to determine a first characterization of aquatic macrophytes communities and it has allowed to validate the used trophic macrophyte indices too.

*Parole chiave:* macrofite acquatiche, indici macrofitici, ecologia fluviale

*Key words:* aquatic macrophytes, macrophyte indices, stream ecology

---

### 1. INTRODUZIONE

Le macrofite acquatiche comprendono numerosi taxa vegetali che hanno in comune le dimensioni macroscopiche e l'essere rinvenibili sia in prossimità sia all'interno di acque dolci superficiali (lotiche e lentiche) tra le macrofite sono comprese molte angiosperme, un piccolo contingente di pteridofite, numerose briofite, numerose alghe, qualche lichene (Bielli *et al.* 1999; AFNOR 2003; CEN 2003; Minciardi *et al.* 2003). La comunità a macrofite acquatiche è compresa tra gli elementi di qualità ambientale individuati dalla Direttiva Quadro sulle Acque della Comunità Europea 2000/60/CE e deve, quindi, essere indagata nell'ambito di routinari piani di monitoraggio (sorveglianza, operativo, di indagine); tale comunità è, peraltro, ampiamente utiliz-

zata quale comunità indicatrice, già da diversi anni, in molti paesi europei (Newman *et al.* 1997; Haury *et al.* 2000; AFNOR 2003; Schneider & Melzer 2003; Meilinger *et al.* 2005; Pall & Moser 2006).

L'applicazione della Direttiva 2000/60/CE in Italia deve necessariamente comportare l'individuazione delle comunità di riferimento per le diverse tipologie fluviali; solo sulla base dell'individuazione di tali comunità è possibile valutare, come richiesto dalla Direttiva, quanto le comunità presenti nelle stazioni di monitoraggio si discostino dalle comunità di riferimento attese. La gran parte degli Indici Macrofitici formalizzati ed utilizzati in Europa è prioritariamente finalizzata alla valutazione dello stato trofico del corso d'acqua indagato; si tratta, quindi, di Indici sostanzialmente non conformi a quanto richiesto dalla Direttiva

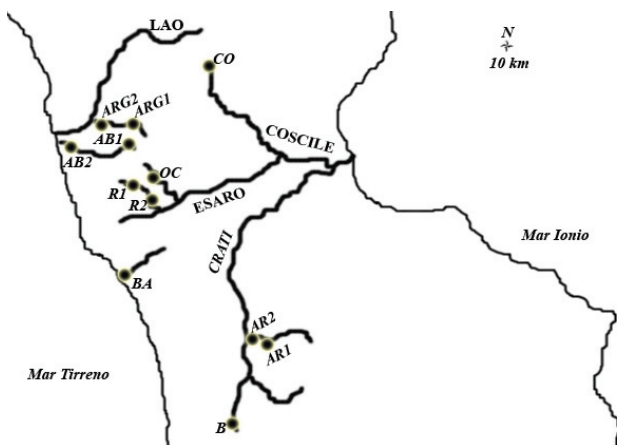


Fig. 1 - Area di studio.  
Fig. 1 - Research area.

ma che, comunque consentono di stimare un parametro fondamentale per la caratterizzazione degli ecosistemi delle acque correnti superficiali.

La caratterizzazione delle comunità a macrofite presenti nei diversi ambiti fluviali presenti nel territorio nazionale è, quindi, propedeutica alla definizione di metodologie di valutazione dello stato ecologico conformi alla Direttiva 2000/60/CE.

Le sperimentazioni condotte negli ultimi anni nel nostro Paese circa l'uso delle macrofite acquatiche (Azzolini *et al.* 2003; Minciardi *et al.* 2003; Morgana *et al.* 2005) hanno interessato soprattutto i corsi d'acqua dell'Italia settentrionale e, quindi, risulta particolarmente importante il reperimento di dati relativi all'Italia meridionale. Ritenendo prioritaria la caratterizzazione delle comunità anche rispetto alla validazione dell'efficienza di Indici Macrofitici, si è privilegiata la scelta di stazioni caratterizzate dalla presenza di pressioni antropiche nulle o, almeno, fortemente contenute in modo da poter contribuire prioritariamente alla definizione di comunità di riferimento. Tale scelta ha condotto a selezionare le stazioni prevalentemente in ambito montano, essendo i corsi d'acqua di pianura comunque soggetti alla compresenza di pressioni antropiche diffuse e localizzate.

## 2. AREA DI STUDIO

Lo studio è stato condotto nel territorio della provincia di Cosenza, in corrispondenza di otto bacini: Argentino, Abatemarco, Rosa, Occido, Coscile, Bagni, Arente, Busento. Tra questi l'Argentino è un affluente del Lao, mentre il Rosa, l'Occido, il Coscile, l'Arente e il Busento sono affluenti del Crati (Fig. 1).

I bacini di Argentino, Abatemarco, Rosa, Occido e Coscile sono collocati nella parte settentrionale della provincia di Cosenza all'interno del massiccio montuoso del Pollino e si caratterizzano per la presenza di substrati basici quali dolomie cristalline, calcari marnosi e dolomitici e, secondariamente, conglomerati e sabbie. I bacini di Bagni, Arente e Busento pur derivanti da zone montuose distinte (catena appenninica costiera per il primo ed altopiano della Sila per i secondi) dal punto di vista geologico sono

accomunati dalla prevalenza di substrati acidi quali graniti, granodioriti, granuliti filladi e micascisti.

Per quanto riguarda l'analisi delle pressioni, i bacini dell'Argentino, Abatemarco, Rosa e Occido, rientrando in gran parte all'interno dei confini amministrativi del Parco Nazionale del Pollino; nelle porzioni montane sono caratterizzati da livelli di antropizzazione decisamente contenuti. Solo nei tratti vallivi di Abatemarco e Occido l'agricoltura diventa prevalente mentre sono decisamente modeste le dimensioni dei centri urbani presenti. Il Coscile è caratterizzato da un uso del suolo prevalentemente agricolo (60% della superficie) e dalla presenza di centri urbani di discrete dimensioni. L'idrologia dell'Abatemarco è sensibilmente compromessa a causa di captazione a fini idropotabili e per la presenza di numerose briglie distribuite lungo l'asta fluviale. Un buon livello di naturalità caratterizza i bacini di Rosa e Argentino, sebbene anche quest'ultimo sia caratterizzato da parziale compromissione dell'idrologia a causa della presenza di briglie presenti nel tratto vallivo. Nei bacini di Busento e Arente è prevalente l'agricoltura intensiva e sono presenti centri urbani di piccole dimensioni. Nel bacino del torrente Bagni è presente solo una modesta attività agricola, concentrata solo nella parte inferiore del bacino.

## 3. METODI

Lo studio delle macrofite acquatiche è stato condotto tra l'autunno 2006 e l'autunno del 2007.

Nel corso dell'autunno del 2006 sono state condotte indagini finalizzate alla scelta delle stazioni più idonee in termini di entità delle pressioni e individuazione di tipologie fluviali; si sono compiuti sopralluoghi per la scelta delle stazioni che sono state individuate e georeferenziate.

Nel corso del 2007 sono state effettuate due campagne di campionamento: una in maggio-giugno ed una in settembre.

Nel territorio oggetto di studio sono state individuate 12 stazioni: due stazioni per asta fluviale su Argentino (Argentino superiore-ARG1-N 39°48' E 15°57', Argentino inferiore-ARG2-N 39°48' E 15°53'), Abatemarco (Abatemarco superiore-AB1-N 39°44' E 15°57', Abatemarco inferiore-AB2-N 39°45' E 15°50'), Rosa (Rosa superiore-R1-N 39°40' E 15°59', Rosa inferiore-R2- N 39°38' E 16°02') ed Arente (Arente superiore-AR1-N 39°22' E 16°16', Arente inferiore-AR2-N 39°22' E 16°15') ed una stazione per asta fluviale su Coscile (Coscile-CO-N 39°51' E 16°07'), Occido (Occido-OC-N 39°41' E 16°02'), Bagni (Bagni-BA-N 39°28' E 15°59') e Busento (Busento-B-N 39°11' E 16°12') (Fig. 1). La maggior parte delle stazioni è collocata in ambito pedemontano fatta eccezione di quelle sul Busento (781 m s.l.m.), sul Coscile (565 m s.l.m.) e delle stazioni individuate in corrispondenza del tratto inferiore dei fiumi Argentino ed Abatemarco (87 m s.l.m. e 67 m s.l.m., rispettivamente). Le stazioni individuate sui fiumi Busento e Coscile sono collocate entrambe in notevole vicinanza all'area sorgiva (rispettivamente 1,6 km e 0,2 km). Le altre stazioni individuate sono tutte ascrivibili al metarhithron con dominanza di massi e ciottoli.

La fascia di vegetazione arborea riparia appare, in media, abbastanza ben preservata con sviluppo di un ombreggiamento apprezzabile sebbene in alcune stazioni appaia diradata, come nel caso delle stazioni sui fiumi Coscile, Arente

inferiore, Abatemarco superiore ed Argentino inferiore.

La scelta delle stazioni ha privilegiato tratti in cui l'antropizzazione fosse trascurabile o contenuta al fine di consentire il rinvenimento di comunità a significativa integrità allo scopo prioritario di consentire una caratterizzazione delle comunità presenti nel territorio in esame.

Il campionamento è stato effettuato secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 14184:2004 già applicata al territorio nazionale in precedenti sperimentazioni ENEA (Azzollini *et al.* 2003; Minciardi *et al.* 2003) e che sta diventando di consolidata applicazione in Italia. Tale metodologia di campionamento consente, successivamente, il calcolo della totalità degli Indici Macrofitici europei rinvenibili in letteratura (sia di valutazione dello stato trofico sia di valutazione dello stato ecologico).

In corrispondenza delle stazioni è stato indagato un tratto di corso d'acqua di circa 50 m. Nel corso del rilievo si è provveduto alla raccolta di campioni di tutte le macrofite presenti ed all'attribuzione di percentuali di copertura a ciascun taxon. Sono stati rilevati anche numerosi parametri stazionali (tra cui ampiezza, profondità, granulometria prevalente, condizioni idrologiche, vegetazione delle rive, uso del suolo nel territorio circostante), secondo una scheda di campo messa a punto da ENEA (Minciardi *et al.* 2003). È stata eseguita la misurazione dei valori di diverse proprietà chimico-fisiche della colonna d'acqua, alcune delle quali determinate direttamente in campo mediante sonde multiparametriche, quali pH, temperatura, conducibilità elettrica, potenziale redox, solidi disciolti totali (Hanna Instruments, modello HI 991 300) ossigeno disciolto e percentuale di saturazione dell'ossigeno (Hanna Instruments modello HI 9 143). Sono stati prelevati campioni d'acqua per condurre opportune determinazioni analitiche ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , alcalinità, B.O.D., C.O.D.).

Fanerogame e Peridofite sono state determinate sino al livello di specie secondo Pignatti (1982), le Briofite sono state anch'esse determinate a livello di specie secondo Smith (1996, 2000). Le alghe sono state determinate al genere, come usualmente richiesto dai protocolli di applicazione dei vari Indici Macrofitici, secondo Bourrelly (1966).

L'analisi delle comunità macrofitiche rilevate è stata eseguita tramite analisi dei cluster (utilizzando la distanza "euclidea" e Ward quale metodo di formazione dei cluster) applicata ai due diversi campionamenti (maggio-giugno, settembre). Inoltre, ai fini dell'individuazione dei fattori limitanti ritenuti più rilevanti nell'esercitare un controllo sulle caratteristiche tassonomiche e di abbondanza delle comunità macrofitiche, i dati di copertura, previa trasformazione ( $\times 3$ ), sono stati sottoposti ad analisi multivariata (Canonical Correspondence Analysis).

Entrambe le analisi multivariate sono state realizzate utilizzando il software PC-ORD 4.

Sulla base di studi precedentemente condotti in altre regioni italiane (Azzollini *et al.* 2003; Minciardi *et al.* 2003; Minciardi *et al.* 2005; Morgana *et al.* 2005; Abati 2008) si è scelto di utilizzare due tra gli Indici Macrofitici più diffusi in ambito europeo: il Mean Trophic Rank MTR (Newman *et al.* 1997) e l'Indice biologique macrophytique en rivièrè IBMR (AFNOR 2003). Si tratta di due indici finalizzati alla valutazione dello stato trofico che si fondano su cospicue liste di taxa indicatori con buona applicabilità anche in Italia.

L'Indice biologique macrophytique en rivièrè

IBMR (AFNOR 2003) comprende una lista di circa 250 taxa indicatori a ciascuno dei quali è associato un indice specifico di sensibilità (Csi) compreso tra gli interi 0-20 e un valore indicatore (E) che può assumere valore 1, 2, 3. In funzione dei valori di copertura raggiunti è previsto associare a ciascun taxon rilevato un coefficiente di copertura/abbondanza ( $K_i$ ) che può assumere valore 1, 2, 3, 4, 5.

Il valore dell'indice è espresso dalla formula:

$$(1) \quad \text{IBMR} = \sum [E_i \times K_i \times C_i] / \sum E_i \times K_i$$

L'IBMR può assumere un valore compreso tra 0 e 20; la metodologia consente di classificare la stazione in termini di livello trofico, secondo cinque livelli di trofia a cui sono associati cinque colori, secondo le disuguaglianze:

IBMR > 14	trofia MOLTO LIEVE	blu
12 < IBMR ≤ 14	trofia LIEVE	verde
10 < IBMR ≤ 12	trofia MEDIA	giallo
8 < IBMR ≤ 10	trofia ELEVATA	arancio
IBMR ≤ 8	trofia MOLTO ELEVATA	rosso

Il Mean Trophic Rank MTR (Newman *et al.* 1997) comprende una lista di circa 150 taxa indicatori a ciascuno dei quali è associato un indice specifico di sensibilità (Csi) compreso tra gli interi 1-10. In funzione dei valori di copertura raggiunti è previsto associare a ciascun taxon rilevato un coefficiente di copertura/abbondanza ( $K_i$ ) che può assumere un valore compreso tra gli interi 1-9.

Il valore dell'indice è espresso dalla formula:

$$(2) \quad \text{MTR} = \{ \sum [K_i \times C_i] / \sum K_i \} \times 10$$

Tale metodologia non consente direttamente la classificazione della stazione ma solo una valutazione del livello del rischio di eutrofizzazione a cui è soggetto il corpo idrico in cui si trova la stazione, secondo le disuguaglianze:

MTR > 65 stazioni non tendenti all'eutrofia

25 < MTR < 65 stazioni a rischio eutrofia

MTR < 25 stazioni fortemente compromesse in senso eutrofico

Le analisi di correlazione lineare non parametrica (Spearman) tra i valori degli Indici Macrofitici e quelli dei fattori limitanti presi in esame sono state realizzate utilizzando il software MINITAB release 13.2.

#### 4. RISULTATI

La flora censita comprende 22 generi algali, 6 specie di epatiche, 20 specie di muschi, 1 sola specie tra le felci, 13 specie di angiosperme (Appendice 1).

Nella quasi totalità delle stazioni, salvo Coscile e Arente inf., la comunità è costituita esclusivamente da briofite ed alghe.

Le specie muscinali che sono state rinvenute con maggiore frequenza che sono caratterizzate da classi di copertura più abbondanti sono state *Palustriella commutata* (Hedw.) *Ochyra* e *Platyhypnidium riparioides* (Hedw.) Dixon seguite da *Oxyrrhynchium speciosum* (Brid.) Warnst. e *Cratoneuron filicinum* (Edw.) Spruce, quest'ultimo soprattutto in associazione con epatiche. Sono state rinvenute anche alghe rosse *Lemanea* sp. Bory e *Bangia atropurpurea*

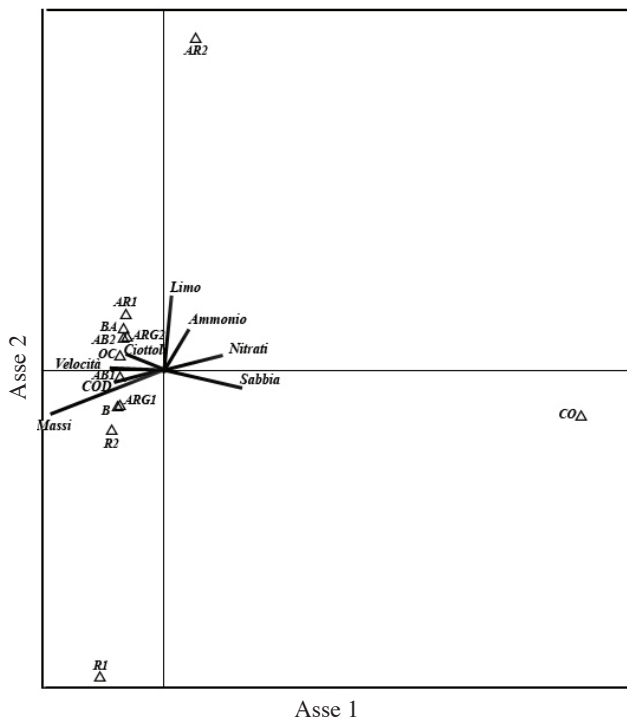


Fig. 2 - CCA primo campionamento.  
Fig. 2 - CCA first sampling.

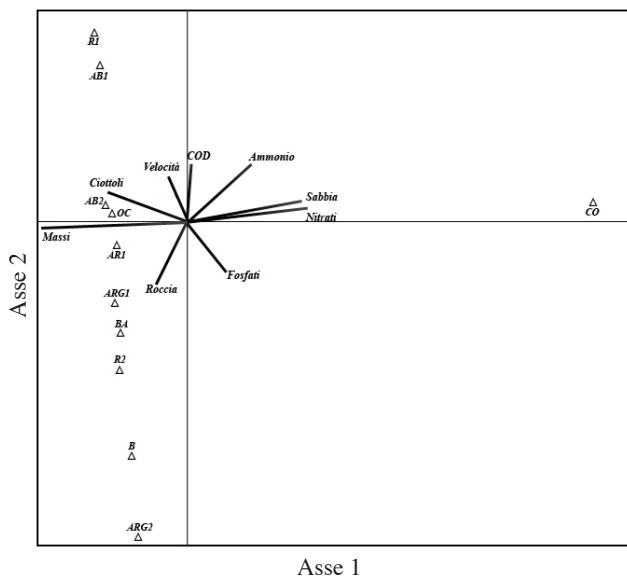


Fig. 3 - CCA secondo campionamento.  
Fig. 3 - CCA second sampling.

(Roth) C. Agardh. I muschi e le alghe rosse risultati più frequenti sono stati quelli tipici di ambienti acquatici montani e pedemontani caratterizzati da acque fredde e, soprattutto velocemente correnti. Le epatiche *Marchantia polymorpha* (L.) e *Pellia endiviifolia* (Dicks.) Dumort., anch'esse molto diffuse, sono state solitamente rinvenute in corrispondenza delle rive. Tra le alghe sono state frequentemente rinvenute anche alcune alghe azzurre, tra cui soprattutto *Nostoc* sp. (Vaucher) Bornet et Flahault, *Oscillatoria* sp.

(Vaucher) Gomont e *Lyngbya* sp. (C. Agardh) Gomont; tra le alghe verdi la specie più presente è risultata *Cladophora glomerata* (L.) Kützing.

Durante i rilievi effettuati è stato sempre possibile riscontrare la presenza di una comunità macrofita (solo nella stazione Arente inf. non è stato effettuato il campionamento autunnale perché in secca), la comunità è stata sempre caratterizzata da coperture complessivamente maggiori del 10 % e si è giunti sino a coperture circa del 60-70 %.

La cluster analysis, applicata ai due diversi campionamenti (maggio-giugno, settembre), ha appaiato, per entrambe le campagne di rilevamento, le comunità rilevate in tre gruppi. È emersa chiaramente la diversità della comunità presente nella stazione Coscile caratterizzata dalla prevalenza di Angiosperme. Nelle altre stazioni, invece, sono state censite comunità fortemente caratterizzate dalla presenza di muschi. Nelle stazioni Occido, Argentino sup., Rosa sup., Abatemarco sup. la comunità è risultata caratterizzata la presenza del muschio *P. commutata*. Le stazioni Rosa inf., Abatemarco inf., Arente sup., Argentino inf., Bagni, Busento sono risultate, invece, connotate dalla rilevante presenza del muschio *P. riparioides*.

L'uso della CCA, per entrambe le stagioni di campionamento, evidenzia come, nella quasi totalità delle stazioni, siano risultati quali fattori limitanti più rilevanti, la velocità della corrente e la granulometria del substrato (Figs. 2, 3).

Solo nelle stazioni Coscile ed Arente inf. le comunità sono risultate determinate anche dalla concentrazione di nutrienti (Figs. 2, 3). In tali stazioni si è rinvenuta, peraltro, una concentrazione di nutrienti maggiore rispetto alle altre.

Per l'applicazione degli Indici Macrofitici è stata verificata, in primo luogo, l'applicabilità degli indici stessi. Tale valutazione è stata effettuata in funzione del raggiungimento di soglie di abbondanza riferite alla comunità indicatrice (in termini di copertura dei taxa indicatori rispetto alla copertura complessiva della comunità e in termini di n° di taxa indicatori rispetto al complesso dei taxa totali) (Minciardi et al. 2003). Sulla base del raggiungimento di tali soglie, i risultati derivanti dall'applicazione degli Indici Macrofitici IBMR e MTR sono stati ritenuti affidabili o non affidabili.

È risultata evidente la maggiore applicabilità dell'IBMR rispetto all'MTR: sul totale di 23 campionamenti, l'IBMR fornisce risultati affidabili in 20 campionamenti, l'MTR solo in 15 (Tab. 1).

L'applicazione dell'IBMR ha condotto a classificare la maggioranza delle stazioni come caratterizzate da trofia lieve (II) o media (III); le stazioni Rosa superiore, Abatemarco superiore, Argentino superiore e Busento sono risultate ascrivibili, almeno in occasione di uno dei due campionamenti, ad un livello di trofia molto lieve e (ad eccezione della stazione Busento) ad un livello di trofia lieve in occasione dell'altro campionamento. Le stazioni Abatemarco inferiore (in settembre) e Busento (in maggio-giugno) sono state classificate come caratterizzate da un livello di trofia elevato.

Le stazioni poste più a valle sono risultate, mediamente, caratterizzate da maggiore trofia rispetto a quelle a monte, collocate in corrispondenza di ambiti a minore antropizzazione. In quelle stazioni in cui, a fronte di risultati affidabili, sono state riscontrate grosse differenze tra campionamento estivo ed autunnale (Busento), è stata riscon-



Tab. 1 - Risultati IBMR e MTR.  
Tab. 1 - IBMR and MTR results.

	IBMR				MTR			
	maggio/giugno	applicabilità	settembre	applicabilità	maggio/giugno	applicabilità	settembre	applicabilità
Busento (B)	9,75		20		29,17		38,57	
Arente sup (AR1)	11,26		12,87		44,12		42	
Arente inf (AR2)	10,54		no acqua		55		no acqua	
Bagni GP (BA)	11,54		12,33		40		43,33	
Coscile (CO)	11,76		11,95		47,04		46,67	
Rosa sup (R1)	15		11,19		50		20	
Rosa inf (R2)	11,54		12,54		36,36		30	
Occido (OC)	12,26		13,41		44		31,82	
Abatemarco sup (AB1)	14,14		13,55		70		65	
Abatemarco inf (AB2)	10,04		9,78		18,33		22,5	
Argentino sup (ARG1)	12,5		14,5		38,67		33,08	
Argentino inf (ARG2)	11,09		11,86		28,13		30	

	trofia molto lieve
	trofia lieve
	trofia media
	trofia forte
	trofia molto elevata

	non a rischio di eutrofizzazione
	a rischio di eutrofizzazione
	staz danneggiate da eutrofizzazione, inquinamento organico (e/o tossicità, fisicamente alterate)

trata un'abbondanza di taxa indicatori (rispetto agli indici utilizzati) abbastanza bassa rispetto al complesso dei taxa presenti (Tab. 1).

L'applicazione dell'MTR ha condotto a risultati mediamente peggiorativi: solo la stazione Abatemarco sup. è risultata non a rischio di eutrofizzazione; ben 10 stazioni sono risultate a rischio di eutrofizzazione, la stazione Abatemarco inf. compromessa (Tab. 1).

Per quanto riguarda l'IBMR, l'applicazione del test di Spearman ha consentito di individuare una forte correlazione inversa tra il valore di IBMR e la concentrazione di fosfati ( $\text{mg l}^{-1}$ ) ( $R = -0,734$ ,  $R^2 = 0,538$ ,  $P < 0,001$ ) e una moderata correlazione inversa tra il valore di IBMR e la presenza di limo ( $R = -0,414$ ,  $R^2 = 0,171$ ,  $P = 0,044$ ); per quanto riguarda l'MTR, invece, si evidenzia una moderata correlazione diretta tra valore di MTR e ossigeno disciolto.

## 5. DISCUSSIONE

L'analisi dei fattori ecologici, conduce a ritenere preponderanti, nella determinazione delle comunità macrofite, la concentrazione di nutrienti, la velocità della corrente, la granulometria ed il COD. Risulta, invece, scarsamente rilevante il chimismo del substrato.

La forte influenza di fattori quali la velocità della corrente e la concentrazione di nutrienti è largamente confermata da studi precedenti in altre realtà italiane (Azzollini *et al.* 2003; Minciardi *et al.* 2003; Minciardi *et al.* 2005; Morgana *et al.* 2005) oltre che dalla letteratura europea degli ultimi anni (Haury *et al.* 2000; Meilinger *et al.* 2005;

Haury *et al.* 2006; Pall & Moser 2006). Nel caso in esame, la concentrazione di nutrienti emerge dall'esame statistico dei dati quale fattore determinante solo laddove supera certe soglie (Cosciale, Abatemarco inf. e Arente inf.) ( $\text{NO}_3^-$  0,88  $\text{mg/l}$  nella stagione estiva;  $\text{NO}_3^-$   $\text{mg l}^{-1}$  nella stagione autunnale), essendo, invece, la gran parte delle stazioni connotata da contenuta presenza di nutrienti.

Per quanto riguarda il fattore granulometria, è noto come i substrati duri e stabili, in rapporto alla velocità della corrente presente, favoriscano comunità a forte dominanza di muschi (Haury *et al.* 2000; Minciardi *et al.* 2003; Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2005) e di alghe rosse reofile quali *Lemanea* sp. (John *et al.* 2005). Nelle stazioni oggetto di indagine, collocate prevalentemente (salvo Coscile ed Arente inf.) in ambiti a forte dominanza di massi e ciottoli, frequenti e spesso dominanti *P. riparioides* e *P. commutata*, specie muscinali caratterizzate da struttura particolarmente robusta e fisionomia adattata a resistere a velocità di corrente sostenuta, per ambienti a forte energia. Solo in corrispondenza delle rive, nelle zone lambite marginalmente dall'acqua e ambiti di stillicidio si rinvencono, invece, con coperture molto ridotte alcune specie muscinali più tipiche di bordo quali *Plagiomnium* spp. tra i muschi e, tra le epatiche, *M. polymorfa* (L.) e *P. endiviifolia*.

L'applicazione degli Indici Macrofitici scelti ha condotto a risultati affidabili nella maggioranza delle stazioni anche se sono riscontrabili ampie differenze tra i due indici utilizzati, in termini di efficienza.

La maggior ampiezza della lista di taxa indicatori che caratterizza l'IBMR rispetto al MTR (250 contro 150) determina una maggiore applicabilità dell'IBMR: usando

questo indice, infatti, aumenta la rappresentatività della comunità indicatrice rispetto alla comunità effettivamente presente con un aumento in termini di affidabilità del risultato.

Inoltre l'MTR non consenta una reale classificazione della stazione, in termini di livello trofico, contrariamente a quanto invece è possibile fare usando l'IBMR.

Il confronto tra i risultati derivanti dai due indici, nelle stazioni in cui gli indici sono entrambi applicabili, sono confrontabili e sembrano rispecchiare la realtà stazionaria. L'IBMR, però, utilizzando una classificazione in cinque livelli di trofia, consente una caratterizzazione di maggior dettaglio e, la maggior consistenza della lista di taxa indicatori ne determina maggiore sensibilità e affidabilità.

L'IBMR, comunque, ha presentato, negli ambienti montani sede di questa sperimentazione, una affidabilità lievemente minore di quella riscontrata in altri ambiti (Abati 2008; Minciardi *et al.* 2005). Questa minore efficienza dell'indice è probabilmente da imputare alla mancata presenza, tra i taxa indicatori, di alcune specie di briofite, in particolare di epatiche. La non completa lettura della porzione di comunità probabilmente più stenoeica (rispetto a bassi livelli di trofia) rende meno affidabili i risultati forniti dall'indice. Nello studio in esame, proprio per tali motivi, l'IBMR non è risultato applicabile nelle stazioni di Bagni e Rosa. Inoltre, nella stazione di Busento, in occasione del campionamento di maggio-giugno, una comunità prevalentemente oligotrofa non è completamente apprezzata dall'IBMR che, invece registra la presenza, seppur contenuta, di *Cladophora* sp. conducendo all'assegnazione di un livello trofico elevato; l'IBMR pur risultando formalmente affidabile, in questa stazione, conduce, quindi, ad un risultato da ritenere poco credibile.

La forte, nonché statisticamente significativa, correlazione inversa riscontrata tra IBMR e concentrazione di fosfati ( $R = -0,734$ ,  $P < 0,001$ ) si spiega facilmente in funzione delle modalità di formalizzazione dell'indice stesso. Il coefficiente indicatore Csi relativo ai vari taxa indicatori è stato, infatti, determinato, sulla base di numerose serie di campionamenti, proprio in funzione (tra l'altro) della concentrazione di fosfati rilevata a livello stazionario (Hauray *et al.* 1996; AFNOR 2003; Hauray *et al.* 2006), facendo corrispondere ad alte concentrazioni di fosfati bassi valori dei Csi.

D'altro canto la correlazione inversa tra IBMR e percentuale di limo appare abbastanza modesta ( $R = -0,414$ ) per cui la sua interpretazione alla luce della nota relazione tra dominanza di substrati duri e dominanza di briofite e alghe rosse reofile va fatta con le dovute cautele. Proprio tali organismi sono, però, anche tra i taxa valutati come oligotrofi nell'ambito dell'IBMR.

## 6. CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha consentito di sperimentare in ambiente mediterraneo montano le modalità di campionamento delle macrofite acquatiche formalizzate in ambito europeo e nazionale con successo, dimostrando, innanzitutto, la diffusa presenza della comunità anche in ambiti territoriali precedentemente non indagati. È stata effettuata una prima, seppur sommaria, caratterizzazione delle comunità a macrofite acquatiche in ambiente mediterraneo montano.

In stretta analogia a quanto avviene in altri ambienti montani (sia alpini sia appenninici) nel nostro paese, la co-

munità risulta connotata dalla presenza di muschi ed epatiche a cui si associano alcuni generi algali che, nei siti in cui le pressioni sono assenti o scarsamente significative, sono prevalentemente costituiti da alghe rosse a cui si associano, solo secondariamente, alghe azzurre e verdi.

Gli Indici Macrofitici utilizzati hanno dimostrato buona applicabilità. In particolare, l'IBMR è risultato ampiamente applicabile; negli ambienti montani, però, tale indice appare metodologicamente lievemente meno "robusto" rispetto ad altri ambiti; l'applicazione dell'indice consente, comunque, di effettuare una buona lettura dello stato trofico che caratterizza la stazione.

Gli Indici Macrofitici utilizzati non sono comunque completamente conformi alla Direttiva 2000/60/CE che richiede la valutazione dello stato ecologico; sarà importante poter definire metodologie di valutazione dello stato ecologico anche per il nostro paese, analogamente a quanto sta avvenendo, non senza difficoltà, in altri paesi europei.

L'utilità di metodologie di valutazione dello stato trofico è comunque evidente, anche a prescindere dalla formalizzazione ed uso di indici di stato ecologico. Infatti, in molti paesi europei si usano congiuntamente due diversi metodi di valutazione: uno per la valutazione dello stato trofico ed uno per la valutazione dello stato ecologico (Schneider & Melzer 2003; Meilinger *et al.* 2005; Pall & Moser 2006).

## BIBLIOGRAFIA

- Abati S., 2008 - *Macrofite acquatiche come bioindicatori di qualità. Applicazioni ai canali irrigui dell'Agro Pontino*. Tesi di laurea. Anno Accademico 2006/2007. Università della Sapienza. Roma, 126 pp.
- AFNOR, 2003 - *Qualité de l'eau: Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR) - NF T 90-395*, 28 pp.
- Azzollini R., Betta G. & Minciardi M.R., 2003 - Uso di macrofite acquatiche per il biomonitoraggio delle acque dei canali irrigui: prima applicazione in un'area del Vercellese. In: Atti del Convegno Nazionale "Botanica delle Zone Umide", Vercelli 10-11 Novembre 2000 - Società Botanica Italiana - *Bollettino del Museo Regionale di Storia Naturale del Piemonte*, 2003: 269-292.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2005 - *Instruction Protocol for the ecological Assessment of Running Waters for Implementation of the EU Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobenthos*, 89 pp.
- Bielli E., Buffagni A., Cotta Ramusino M., Crosa G., Galli P., Guzzi L., Guzzella L., Minciardi M.R., Spaggiari R. & Zoppini A., 1999 - Linee guida per la classificazione biologica delle acque correnti superficiali - *Manuale UNICHIM* 191, 59 pp.
- Bourrelly P. - 1966 - *Les algues d'eau douce*. - Éditions N. Boubée & Cie. Tome I 572 pp, II 517 pp, III 606 pp.
- CEN, 2003 - *Water quality. Guidance standard for the surveying of aquatic macrophytes in running water*. EN 14184, 14 pp.
- Hauray J., Peltre M. C., Muller S., Thiébaud G., Tremolieres M., Demars B., Barbe J., Dutatre A., Daniel H., Bernez I., Guerlesquin M. & Lambert E., 2000 - *Les macrophytes aquatiques bioindicateurs des systèmes lotique - Intérêts et limites des indices macrophytiques. Synthèse bibliographique des principales approches européennes pour le diagnostic biologique des cours d'eau*. UMR INRA-ENSA EQHC Rennes

- & CREUM. Phytoécologie Univ. Metz, Agence de l'Eau, Artois-Picardie, 101 pp.
- Haury J., Peltre M.C., Muller S., Tremolieres M., Barbe J., Dutartre A. & Guerlesquin M., 1996 - Des indices macrophytes pour estimer la qualite des cours d'eau francais: premières proposition. *Écologie*, 27 (4): 233-244.
- Haury J., Peltre M.C., Tremolières M., Barbe J., Thiébaud G., Bernez I., Daniel H., Chatenet P., Haan-Archipof G., Muller S., Dutartre A., Laplace-Treyture C., Cazaubon A. & Lambert-Servien E., 2006 - A new method to assess water trophy and organic pollution. The Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR): its application to different types of river and pollution. *Hydrobiologia*, 570: 153-158.
- John D. M., Whitton B.A. & Brook A. J., 2005 - *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*, Cambridge University Press, 702 pp.
- Meilinger P., Schneider S. & Melzer A., 2005 - The Reference Index Method for the Macrophyte-Based Assessment of Rivers. A Contribution to the Implementation of the European Water Framework Directive in Germany. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 90: 322-342.
- Minciardi M.R., Poma S. & Rossi G.L., 2005 - Qualità delle acque superficiali. In: Rossi G.L. & Minciardi M.R. (a cura di), *Un Piano per la Palude di San Genuario. Proposte per la gestione di un sito Natura 2000*, Regione Piemonte: 41-45.
- Minciardi M.R., Rossi G.L., Azzollini R. & Betta G., 2003 - *Linee guida per il biomonitoraggio di corsi d'acqua in ambiente alpino*. ENEA, Provincia di Torino, Torino, 64 pp.
- Morgana J., Betta G., Minciardi M.R., Prato S., Rosa S. & Naviglio L., 2005 - La certificación del Parque Nacional del Circeo (Italia central): evaluación de la calidad de las aguas superficiales. *Limnetica*, 24 (1-2): 21-32.
- Newman J.R., Dawson F.H., Holmes N.T.H., Chadd S., Rouen K. J. & Sharp L., 1997 - *Mean Trophic Rank: A User's Manual*. R&D Technical Report E38-Environment Agency, 129 pp.
- Pall K. & Moser V., 2006 - Work instruction rivers. A4-01a *Quality element makrophytes: fieldwork, sampling, reappraisal of samples and assessment*, 44 pp.
- Pignatti S., 1982 - *Flora d'Italia*. - Edagricole, 3 voll, 1: 790 pp, 2: 732 pp, 3: 780 pp.
- Schneider S. & Melzer A., 2003 - The Trophic Index of Macrophytes (TIM). A New Tool for Indicating the Trophic State of Running Waters. *Internat. Rev. of Hydrobiol.*, 88: 49-67.
- Smith A. J. E., 1996 - *The Liverworts of Britain & Ireland*. Cambridge University Press, 362 pp.
- Smith A. J. E., 2004 - *The Moss Flora of Britain & Ireland*. Cambridge University Press, 1012 pp.

Appendice 1 - Elenco floristico.  
Appendix 1 - Floristic list.

ALGAE		
CYANOPHYTA		
	Nostocales	<i>Anabaena</i> sp. (Bory 1822) Bornet et Flahault <i>Nodularia</i> sp. (Mertens in Jürgens) Bornet et Flahault <i>Nostoc</i> sp. (Vaucher) Bornet et Flahault
	Oscillatoriales	<i>Homoeothrix</i> sp. (Thuret) Kirchner <i>Lyngbya</i> sp. (C. Agardh) Gomont <i>Oscillatoria</i> sp. (Vaucher) Gomont <i>Phormidium</i> sp. (Kützing) Gomont <i>Plectonema</i> sp. (Thuret) Gomont <i>Pseudanabaena</i> sp. Lauterborn
RHODOPHYTA		
	Bangiales	<i>Bangia atropurpurea</i> (Roth) C. Agardh
	Batrachospermales	<i>Batrachospermum</i> sp. Roth <i>Lemanea</i> sp. Bory
	Acrochaetiales	<i>Audouinella</i> sp. Bory
CHRYSOPHYTA		
	Hydrurales	<i>Hydrurus foetidus</i> (Villars) Trevisan
XANTHOPHYTA		
	Vaucheriales	<i>Vaucheria</i> sp. De Candolle
CHLOROPHYTA		
	Coleochatales	<i>Rhizoclonium</i> sp. Kützing
	Ulothrichales	<i>Binuclearia</i> sp. Wittrock <i>Cylindrocapsa</i> sp. Reinsch <i>Ulothrix</i> sp. Kützing
	Zygnematales	<i>Mougeotia</i> sp. C. Agardh <i>Spirogyra</i> sp. Link
	Cladophorales	<i>Cladophora glomerata</i> (Linnaeus) Kützing
BRIOPHYTA		
HEPATICAE		
	Geocalyceae	<i>Chiloscyphus polyanthos</i> (L.) Corda
	Jungermanniaceae	<i>Jungermannia atrovirens</i> Dum.
	Marchantiaceae	<i>Marchantia polymorpha</i> (L.) <i>Preissia quadrata</i> (Scop.) Nees
	Pelliaceae	<i>Pellia endiviifolia</i> (Dicks.) Dumort. <i>Pellia neesiana</i> (Gott.) Limpr. in Cohn.
MUSCI		
	Amblystegiaceae	<i>Cratoneuron filicinum</i> (Edw.) Spruce <i>Hygroamblystegium tenax</i> (Hedw.) Jenn.
	Brachytheciaceae	<i>Brachythecium rivulare</i> Schimp <i>Isoetecium myosuroides</i> Brid.



(Appendice 1 - continua)  
(Appendix 1 - continued)

---

 BRIOPHYTA
 

---

MUSCI	Brachytheciaceae	<i>Oxyrrhynchium speciosum</i> (Brid.) Warnst. <i>Platyhypnidium riparioides</i> (Hedw.) Dixon <i>Scleropodium cespitans</i> (Wilson ex Müll. Hal.) L.F.Koch
	Bryaceae	<i>Bryum capillare</i> Hedw
	Campyliaceae	<i>Hygrohypnum luridum</i> (Hedw.) Jenn.
	Fissidentaceae	<i>Fissidens pusillus</i> (Wilson) Milde <i>Fissidens rivularis</i> (Spruce) Schimp.
	Helodiaceae	<i>Palustriella commutata</i> (Hedw.) Ochyra
	Mniaceae	<i>Plagiomnium ellipticum</i> (Brid.) T.J.Kop. <i>Plagiomnium medium</i> (Bruch & Schimp.) T.J. Kop. <i>Plagiomnium rostratum</i> (Schrad.) T. J. Kop.
	Orthotrichaceae	<i>Orthotrichum cupulatum</i> Brid. <i>Orthotrichum rivulare</i> Turner
	Pottiaceae	<i>Eucladium verticillatum</i> (Br.) Brunch & Schimp. <i>Gymnostomum aeruginosum</i> Sm. <i>Tortella tortuosa</i> (Hedw.) Limpr.

 PTERIDOPHYTA
 

---

Selaginellaceae	<i>Selaginella denticulata</i> (L.)
-----------------	-------------------------------------

 FANEROGAMAE
 

---

## DICOTYLEDONES

Polygonaceae	<i>Rumex acetosella</i> L. H scap <i>Polygonum hydropiper</i> L.
Cruciferae	<i>Nasturtium officinale</i> R. Br.
Onagraceae	<i>Epilobium parviflorum</i> Schreber
Umbelliferae	<i>Berula erecta</i> (Hudson) Coville <i>Apium nodiflorum</i> L. Lag.
Labiatae	<i>Lycopus aeuropaeus</i> L.
Scrophulariaceae	<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L. <i>Veronica beccabunga</i> L.

## MONOCOTYLEDONES

Potamogetonaceae	<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr
Graminaceae	<i>Agrostis stolonifera</i> L. <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.
Cyperaceae	<i>Carex paniculata</i> L.

---

