

# Monitoraggio delle acque superficiali alla luce della Direttiva Europea 2000/60/CE. Un approccio metodologico integrato applicato ai fiumi appenninici. Primi dati

S. Scuri\*, I. Grappasonni\*, F. Petrelli\*, A. Celestino\*, M. Cocchioni\*

*Parole chiave: Monitoraggio fluviale, WFD 2000/60/CE, inquinamento organico, Indice Biotico esteso, Indice di Funzionalità Fluviale*

*Key words: River monitoring, WFD 2000/60/CE, organic pollution, Extended Biotic Index, Fluvial Functional Index*

## Summary

***The monitoring of watercourses on the basis of the Water Framework Directive 2000/60/CE. An integrated methodological approach applied to the appenninici rivers. First data***

*The pollution of the watercourses is one of the principal causes of the water emergency and, under the sanitary profile, one of the most complex and urgent problem within the Environmental Hygiene. The European Water Framework Directive 2000/60, has confirmed that for a correct qualitative evaluation of the superficial waters the monitoring must be inspired to the prevention and not only to the improvement. In our work we have experimented a new methodological approach to read and to understand the river ecosystem. The River Tronto and the River Tenna has been studied under the chemical-bacteriological profile and under the biological profile, through the Extended Biotic Index. The river continuum has been studied through the Functional Fluvial Index. The data have been correlated among through Principal Component Analysis. The statistic analysis underlines a direct correlation among the two biological indexes and a strong indirect correlation among these last ones and those of chemical-bacteriological nature.*

*The pollution of the watercourses is one of the principal causes of the water emergency and, under the sanitary profile, one of the most complex and urgent problem within the Environmental hygiene. The European Water Framework Directive 2000/60, has confirmed that for a correct qualitative evaluation of the superficial waters the monitoring must be inspires to the prevention and not only to the improvement. In our job we have experimented a new methodological approach to read and to interpret the river ecosystem. The River Tronto and the River Tenna has been studied under the chemical-bacteriological profile and under the biological profile, through the Extended Biotic Index. The river continuum has been studied through the Functional Fluvial Index. The data have been correlated through Principal Component Analysis. The statistic analysis underlines a direct correlation among the two biological indexes and a strong indirect correlation among these last ones and those of chemical-bacteriological nature.*

## Introduzione

L'inquinamento delle acque superficiali è ancora oggi causa preminente dell'emergenza idrica e una delle problematiche più

complesse ed urgenti da affrontare nell'ambito dell'Igiene Ambientale, soprattutto per le conseguenze che può avere sotto il profilo sanitario. Se da un lato, infatti, negli ultimi decenni è andata via via aumentando

\* Dipartimento di Medicina Sperimentale e Sanità Pubblica, Sezione Scienze Igienistiche e Sanitarie Ambientali, Università degli Studi di Camerino

la richiesta di acqua per scopi industriali, agricoli e urbani, dall'altro si è osservato un drastico peggioramento della qualità stessa delle acque. In particolar modo, le acque superficiali, da sempre fonte indispensabile di approvvigionamento per l'uomo e fonte indispensabile di sopravvivenza per l'ecosistema, sono diventate il bersaglio preferito delle innumerevoli forme di contaminazione antropica. Tra le principali cause di inquinamento delle risorse idriche ricordiamo gli scarichi urbani, ricchi in sostanza organica, composti chimici, microrganismi, responsabili di malattie a trasmissione orofecale; il dilavamento dei suoli agrari, che trascina con se spesso elevate concentrazioni di fertilizzanti (soprattutto N e P) e composti organici di sintesi (pesticidi); gli scarichi zootecnici, caratterizzati da sostanze organiche e microrganismi potenzialmente patogeni ed infine gli scarichi industriali nei quali sono presenti sia inquinanti di natura inorganica che di natura organica dotati di elevata tossicità per l'uomo e per l'ambiente (5). Per l'entità del problema e per la complessità dei nuovi inquinanti, le acque sono diventate oggetto di studio multidisciplinare sia da parte della comunità scientifica che della comunità "legislativa". Il parlamento ha promosso, con la Water Framework Directive 2000/60/CE (WFD 2000/60/CE) (12), la nascita di una politica comunitaria integrata in materia di acque, fondata non sul principio dello sfruttamento ma della precauzione e della prevenzione, volta alla salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità delle acque. La Water Framework Directive 2000/60/CE definisce un buono stato chimico-fisico delle acque superficiali "... lo stato raggiunto da un corpo idrico nel quale la concentrazione degli inquinanti non supera gli standard di qualità ..." (12). In essa vengono indicati inoltre gli elementi di qualità chimico-fisica, di qualità biologica e gli elementi idromorfologici da determinare per valutare e monitorare lo stato ecologico

delle acque superficiali. Gli elementi chimici e chimico-fisici, a sostegno degli elementi biologici, vengono ulteriormente distinti in: elementi generali (condizioni termiche, condizioni di ossigenazione, salinità, stato di acidificazione, condizioni dei nutrienti) e inquinanti specifici (le sostanze dell'elenco di priorità). In particolare, il monitoraggio chimico comprende tre categorie di parametri:

- Sostanze che devono essere determinate per rispondere ai limiti imposti dalle Direttive Europee come, ad esempio, le sostanze prioritarie (metalli, composti organici volatili, pesticidi ecc..).

- Parametri fisico-chimici di base come ad esempio i nutrienti, ossigeno, temperatura, salinità, pH, conducibilità etc. che supportano l'interpretazione sia dei dati biologici che dei risultati delle misure chimico-fisiche.

Per quanto concerne gli elementi di natura biologica essi sono rappresentati dal fitobenthos, dalle macrofite acquatiche, dai macroinvertebrati bentonici e dai pesci (16).

Il presente lavoro nasce, all'interno di tale scenario, con l'obiettivo di sperimentare un approccio metodologico integrato da applicare sia ai fini della valutazione della qualità di alcuni corsi d'acqua dell'Italia centrale sia ai fini dello studio delle relazioni esistenti tra la qualità chimica e biologica delle acque e il grado di antropizzazione del territorio circostante i corsi d'acqua.

L'intento è quello di supportare la tesi per la quale la salvaguardia dell'integrità dell'ecosistema fluviale garantisca inevitabilmente anche la buona qualità delle acque. A tale scopo abbiamo scelto, come oggetto di studio, due dei principali fiumi appenninici: il Fiume Tronto e il Fiume Tenna, in quanto le loro caratteristiche idromorfologiche, geo-chimiche e climatiche risultano simili. Da un punto di vista chimico, sono stati ricercati i seguenti parametri: temperatura, salinità, pH, conducibilità, ossigeno disciolto, ammoniacale, nitriti, nitrati, fosfati, solfati, BOD,

COD, metalli pesanti, pesticidi .... (2-3). Tali parametri forniscono infatti un validissimo supporto all'interpretazione dei dati biologici, ottenuti mediante l'Indice Biotico Esteso (I.B.E) (13), l'Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F) (18) e l'Indice Diatomico di Eutrofizzazione/Polluzione o EPI-D (11), del quale però in questo lavoro non sono riportati i dati. I risultati così ottenuti sono stati poi analizzati statisticamente mediante PCA (Principal Component Analysis) (14) al fine di evidenziare eventuali correlazioni positive o negative tra gli indici applicati (15). In particolare si è focalizzata l'attenzione sul tipo di relazione esistente tra l'*Escherichia coli*, gli indicatori di inquinamento organico (ammoniaca, nitriti, nitrati, fosfati) compresi all'interno dei macrodescrittori dal D. Lgs. 152/99 (9) e dal D. Lgs 152/06 (10) e i macroinvertebrati, per verificare l'effetto del carico organico sulla comunità biologica (17). Ci si è soffermati inoltre sulla relazione esistente tra il grado di sfruttamento del territorio circostante i corsi d'acqua e la concentrazione più o meno elevata degli indicatori chimici al fine di evidenziare la necessità di conservare e aumentare l'attività di fascia tampone, delle zone vegetate perifluviali, nei confronti dei nutrienti, quali azoto e fosforo, provenienti soprattutto dall'inquinamento diffuso di tipo agricolo. La presenza o il ripristino di tali zone permette di trarre vantaggio non solo sul piano paesaggistico ma anche sul piano della lotta agli inquinanti.

## Materiali e Metodi

L'area di studio comprende il bacino idrografico del Fiume Tenna ed il bacino idrografico del Fiume Tronto (Fig. 1). Entrambi i fiumi sono stati scelti per questa sperimentazione poiché presentano caratteristiche simili legate alla loro posizione geografica e la tipologia tipica dei corsi d'acqua del-

l'Appennino Centrale (Italia), il quale risulta essere inserito all'interno dell'ecoregione mediterranea dalla WFD 2000/60/CE (12). Il fiume Tronto nasce nel Lazio dalla catena appenninica dei Monti della Laga a circa 2.400 m ed il suo bacino imbrifero ha una superficie complessiva di 1192 Km<sup>2</sup>. Nel suo primo tratto, dalla sorgente fino ad Ascoli Piceno, il fiume è interessato da ripetute derivazioni a scopo idroelettrico che turbano il delicato ecosistema fluviale. A monte di Ascoli Piceno il Tronto riceve le acque del maggiore dei suoi affluenti, il Castellano, che ne aumenta considerevolmente la portata e permette al fiume di assorbire in maniera meno traumatica l'impatto inquinante operato dalla città. Dopo un percorso di circa 93 km il Tronto sfocia nel Mare Adriatico facendo da confine tra i territori comunali di San Benedetto del Tronto e Martinsicuro, quindi tra la Regione Marche e la Regione Abruzzo. Dai dati disponibili si può valutare che la portata del Fiume Tronto oscilla tra i 2 ed i 700 m<sup>3</sup>/sec con un valore medio di 17,5 m<sup>3</sup>/sec.

Il bacino del fiume Tenna sottende un'area di circa 490 Km<sup>2</sup> per il 68% compresi nella provincia di Ascoli Piceno ed il restante 32%, rappresentato essenzialmente dai sottobacini degli affluenti Tennacola e Salino, nella provincia di Macerata. Si estende, in direzione SO-NE, dall'Appennino umbro-marchigiano (Monti Sibillini) al litorale Adriatico. Comprende una zona montana, dalle sorgenti del Tenna e dei suoi affluenti fino a circa quota 200 m e una zona collinare che da tale quota si protrae fino al mare. L'area più interna del bacino insiste su un substrato prevalentemente calcareo, mentre la zona collinare è caratterizzata da formazioni argillose conglomeratiche e sabbiose. La sorgente del fiume Tenna è a quota 1172 m s.l.m. alle pendici del monte Porche. L'asta fluviale si snoda per circa 67 chilometri raccogliendo le acque di numerosi torrenti e fossi. Di una certa importanza sono però solo due affluenti: il torrente

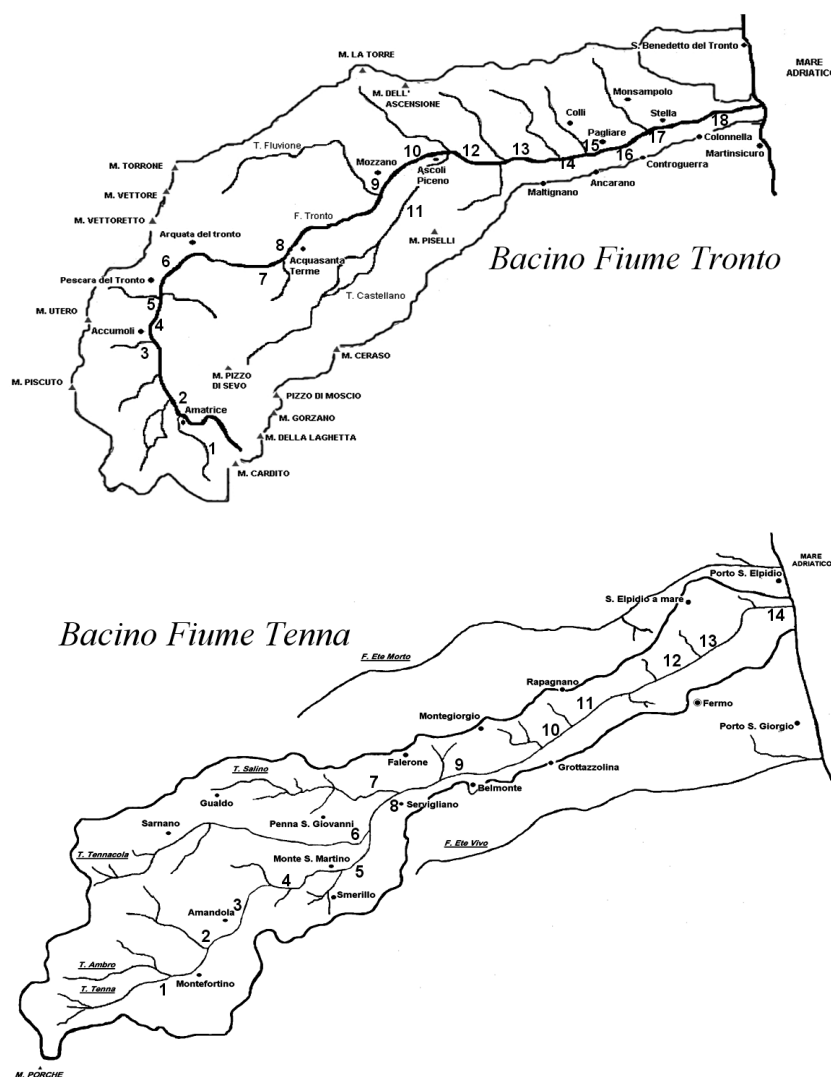


Fig. 1 - Bacino Idrografico del Fiume Tenna e del Fiume Tronto, con indicate le stazioni di prelievo.

Tennacola e il torrente Salino. Il torrente Tennacola, la cui sorgente è a quota 1576 m s.l.m., è alimentato da un sottobacino di 100 Km. L'asta fluviale misura circa 26 Km. Il torrente Salino ha, invece, una lunghezza di 22 Km e un sottobacino di 53 Km. La sua sorgente è a 570 m s.l.m. Il protocollo di campionamento adottato nel presente studio segue le indicazioni della WFD 2000/60/CE

(12) e del protocollo per il campionamento dei parametri fisico chimici a sostegno degli elementi biologici dell'APAT (4). I punti di campionamento per la determinazione dei parametri fisico-chimici di base, necessari alla definizione dello stato di qualità del corpo idrico e a supporto degli elementi di qualità biologica, devono, ove possibile, essere scelti in modo da coincidere con i punti di cam-

pionamento degli elementi biologici. Per le sostanze prioritarie e per gli altri inquinanti possono essere selezionati anche altri punti di campionamento più idonei all'accertamento della loro presenza nel corpo idrico (4).

Per quanto concerne i parametri chimico-fisici e batteriologici, la cadenza del campionamento è stata, per tutti i siti, mensile e della durata di due anni. Per quanto riguarda il monitoraggio biologico, il campionamento dei macroinvertebrati è stato condotto sia in periodo di morbida che di magra, come previsto dall'Indice Biotico Esteso (13). L'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) (18) è stato valutato invece nel periodo vegetativo in quanto annovera, tra gli altri parametri, lo studio della fascia di vegetazione perifluviale. La metodica prevede di effettuare un'analisi continuativa di tutta l'asta fluviale risalendo il corso d'acqua dalla foce fino alla sorgente, individuando tratti omogenei rispetto ai parametri da determinare presenti nella scheda. Poiché le due rive possono presentare caratteristiche diverse la scheda deve essere compilata sia per la sponda destra che per la sponda sinistra. In questo modo l'IFF (18) permette di documentare l'impatto devastante di molti interventi di sistemazione fluviale e l'esigenza di adottare modalità di sistemazione e riqualificazione più rispettose dei nostri corsi d'acqua. L'obiettivo principale dell'indice consiste infatti nella valutazione dello stato complessivo dell'ambiente fluviale e della sua funzionalità, intesa come risultato della sinergia e dell'integrazione di un'importante serie di fattori biotici e abiotici presenti nell'ecosistema acquatico e in quello terrestre ad esso collegato (18).

## Risultati

I dati raccolti dall'applicazione dell'Indice Biotico Esteso, dell'Indice di Funzionalità Fluviale e del monitoraggio chimico-batteriologico sono stati normalizzati mediante il

programma XLSTAT (1) e i valori così ottenuti elaborati mediante la procedura di ordinamento indiretto tramite PCA (14). È stato eseguito un Test di Correlazione Bivariata, mediante il Test di Spearman ( $p < 0,05$ ), tra le coordinate della PCA e l'intero set di variabili. Quanto emerso è stato riportato, per ogni singolo fiume, mediante Grafico Biplot. Tale rappresentazione grafica ci permette di individuare la posizione dei singoli punti di campionamento in relazione alle variabili determinate e la correlazione tra le variabili stesse. In particolare abbiamo voluto trattare i dati sulla base di due obiettivi principali. Relativamente al primo si è voluta osservare la relazione esistente tra entrambi gli Indici Biologici e i parametri macrodescrittori (indici di carico organico ed inquinamento fecale), previsti dal D. Lgs. 152/99 (9) e D. Lgs. 152/06 (10) (Fig. 2a). Per quanto concerne il secondo, poiché si voleva valutare la relazione tra la presenza nelle acque del carico organico proveniente da attività di natura antropica, sia di tipo batteriologico che chimico e la presenza della fascia di vegetazione perifluviale, sottolineandone la funzione di filtro, si è focalizzata l'attenzione in particolare su alcuni indicatori del grado trofico delle acque, quali fosforo, nitrati e indici di contaminazione fecale (Fig. 2b). Per quanto riguarda la prima tipologia di analisi possiamo osservare come per entrambi i corsi d'acqua esista una correlazione positiva tra entrambi gli indici biologici, Indice Biotico Esteso (13) e Indice di Funzionalità Fluviale (18), ed una correlazione inversa tra questi e i macrodescrittori. Questo primo risultato ci ha permesso anche di dimostrare la buona concordanza di giudizio tra i due indici biologici nel dare una valutazione della qualità delle acque. La correlazione inversa rilevata invece tra gli indicatori biologici e gli indicatori chimici, sottolinea ancora una volta l'importanza della presenza della fascia tampone utile all'abbattimento dei nutrienti e quindi degli inquinanti. Il grafico biplot (Fig. 3) ha permesso anche di osservare l'andamento delle stazioni di campionamento lungo il profilo dell'asta

fluviale in relazione ai parametri determinati. Come si può chiaramente osservare, i siti di campionamento che presentano un giudizio di qualità migliore si dispongono nella parte sinistra del grafico, in stretta correlazione con gli indici biologici. Le stazioni caratterizzate da peggiore qualità invece sono disposte nella parte destra del grafico in relazione agli indici di inquinamento chimico e batteriologico. Il fiume Tronto (Fig. 4) presenta però tre casi particolari, relativi alle stazioni di prelievo n° 2 e alla stazione n° 10. In particolare la stazione n° 2 si presenta, nonostante la sua posizione vicina alla sorgente, molto più associata agli

indici di carico organico che non agli indici biologici, sottolineando due problematiche fondamentali dai risvolti igienico-sanitari importanti. In primo luogo la scadente qualità chimica, batteriologica e biologica rilevata nel corso d'acqua e riconducibile al non corretto funzionamento di impianti di depurazione (stazione 2) e in secondo luogo alla presenza di insediamenti produttivi gravanti direttamente sull'asta fluviale (stazione 10). La stazione n° 16 è caratterizzata invece dal depauperamento della fascia di vegetazione perfluviale, legata all'eccessivo sfruttamento del territorio con conseguente riduzione della funzione di filtro

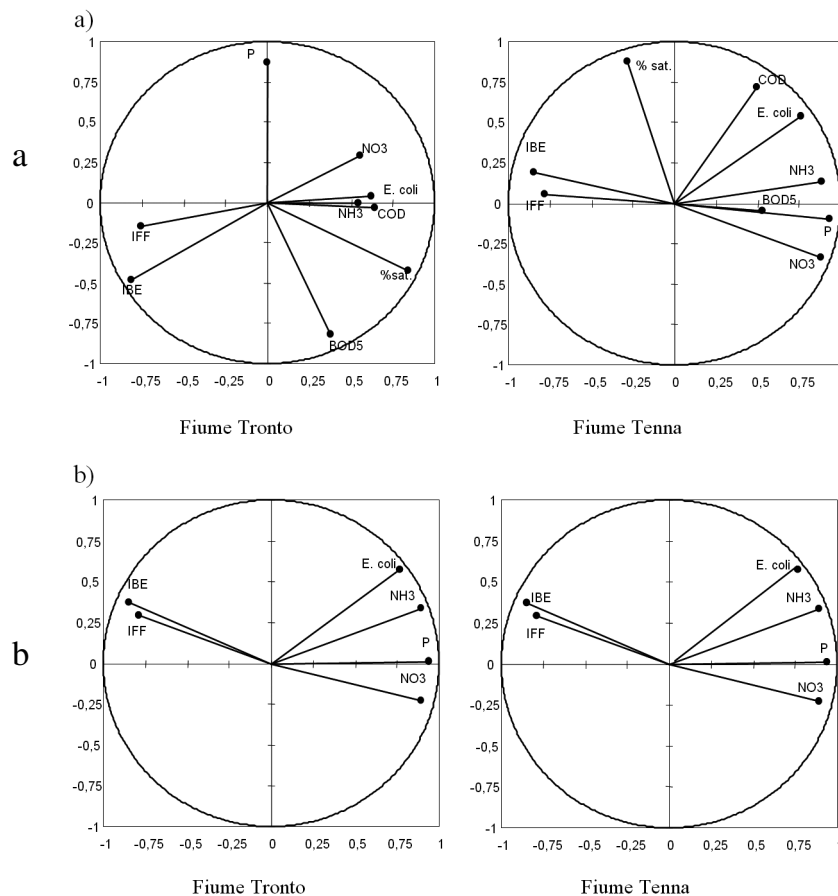


Fig. 2 - a) Circle Map del Fiume Tronto e Fiume Tenna: correlazione tra Indici Biologici e macrodescrittori. b) Circle Map del Fiume Tronto e Fiume Tenna: correlazione tra Indici Biologici e indici di carico organico.

nei confronti delle sostanze inquinanti e di fascia tampone tra il territorio circostante e il corso d'acqua. Tale situazione viene sottolineata soprattutto dall'Indice di Funzionalità Fluviale (18) che assegna alla vegetazione un ruolo particolarmente rilevante nella valutazione della qualità dell'ecosistema fiume (7-8). Per quanto riguarda il Fiume Tenna (Fig. 4) le stazioni di prelievo sono chiaramente distinte in due gruppi. Il primo è posto nella porzione sinistra del grafico, in stretta relazione con gli indici biologici, mentre il secondo, corrispondente alle stazioni di prelievo a peggiore qualità è disposto nella parte destra del grafico in stretta

correlazione con gli indici di carico organico chimico e batteriologico. Nei casi in cui (sponda destra della stazione 7 e sponda sinistra della stazione 8), nel nostro studio, si sono registrate situazioni che si discostavano dalla condizione ambientale attesa, per la specificità del tratto di fiume monitorato, esse sono state essenzialmente ascritte all'I.F.F (6). In questi casi infatti si è dimostrato come il depauperamento dello stato del territorio circostante, dell'ampiezza della fascia di vegetazione perifluviale, delle strutture di ritenzione degli apporti trofici e della struttura del fondo dell'alveo, abbiano aumentato la correlazione delle stazioni di

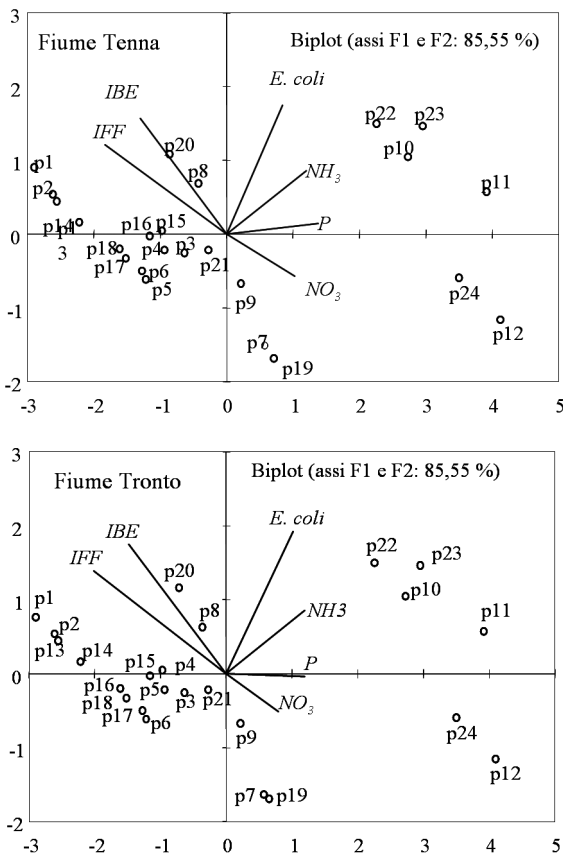


Fig. 3 - Biplot: Indici biologici, parametri macrodescrittori e posizione delle stazioni di prelievo Fiume Tenna e Fiume Tronto.

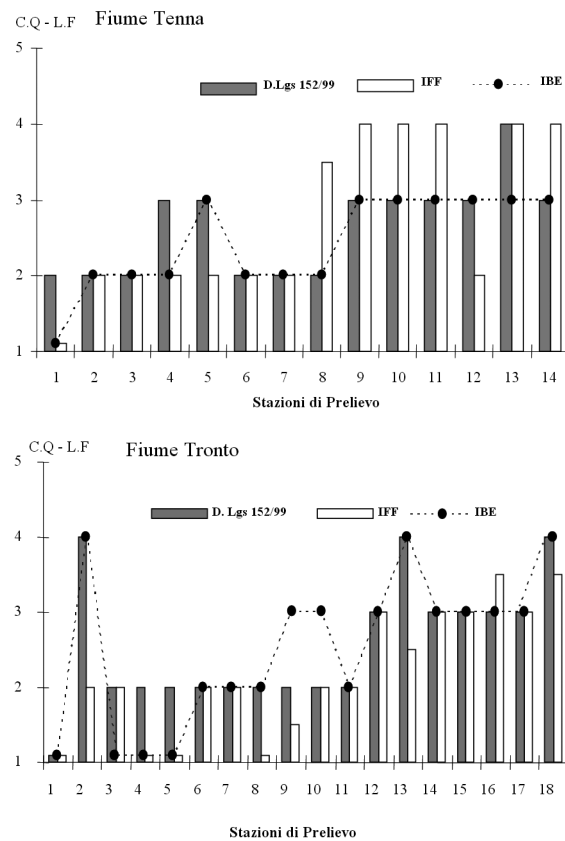


Fig. 4 - Andamento degli Indici biologici e parametri macrodescrittori lungo le stazioni di campionamento per il Fiume Tenna e Tronto.

prelievo nei confronti degli indici di carico organico, in particolare nitrati e abbassato quella con gli indici biologici, dimostrando ancora una volta l'importanza di garantire il ruolo di filtro svolto dalla vegetazione perifluviale nei confronti degli inquinanti (Fig. 4).

## Discussione e Conclusioni

La complessa interazione tra l'uomo e le varie matrici ambientali ha sempre destato particolare interesse in campo igienistico, in particolare quando l'equilibrio naturale veniva ad essere turbato e da ciò derivava un danno per la salute umana. Spesso l'uomo è causa diretta e/o indiretta di tali alterazioni e l'attuazione di azioni di prevenzione primaria risulta determinante ai fini del mantenimento e del potenziamento dello stato di salute. All'interno di tale contesto la tutela delle risorse idriche è stata sempre considerata prioritaria dato che l'acqua è l'unico "alimento" che viene consumato giornalmente da ogni persona ed in elevata quantità per tutto l'arco della vita. Dalle prime indagini sugli ambienti fluviali, che si limitavano alle valutazioni degli indici di carico organico e di inquinamento fecale, si è passati man mano a tecniche sempre più complete e complesse per far fronte al continuo evolvere dei vari inquinanti, sempre più difficili da definire e valutare. L'approccio interdisciplinare si è reso pertanto indispensabile, come evidenziato anche dalla travagliata e non più recente WFD 2000/60/CE (12) che tuttora non ha ancora visto completa attuazione. Tale direttiva indica norme e tecniche di monitoraggio ma sottolinea comunque che per la salvaguardia delle risorse idriche il miglior approccio resta comunque quello preventivo.

## Riassunto

La problematica dell'inquinamento delle acque superficiali è, ancora oggi, una delle principali cause dell'emergenza

idrica e una delle problematiche più complesse ed urgenti da affrontare nell'ambito dell'Igiene Ambientale, in particolare per le conseguenze che può avere sotto il profilo sanitario. La comunità europea, con la Water Framework Directive 2000/60, ha ribadito la necessità di sviluppare tecniche di monitoraggio sempre più complete ed integrate, indispensabili per una corretta valutazione qualitativa delle acque superficiali ispirata alla prevenzione e non solo al risanamento. Nel nostro lavoro abbiamo sperimentato un nuovo approccio metodologico volto alla lettura e all'interpretazione di tutto l'ecosistema fluviale. È stato condotto, sul Fiume Tronto e sul Fiume Tenna, un monitoraggio chimico e batteriologico al fine di valutare la qualità delle acque e un monitoraggio tramite Indice Biotico Esteso per valutare la qualità biologica dei corsi d'acqua studiati. L'Indice di Funzionalità Fluviale è stato applicato al fine di valutare l'efficienza e l'integrità dell'ecosistema fluviale. I dati sono stati correlati tra loro, mediante l'Analisi delle Componenti Principali, evidenziando una correlazione di tipo diretto tra i due indici biologici ed una forte correlazione indiretta tra questi ultimi e quelli di natura chimico-batteriologica.

## Bibliografia

1. Addinsoft SARL. XLstat 2006: Leading Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel. Addinsoft SRL, 2006.
2. APAT-IRSA-CNR. Metodi analitici per le acque. Roma: APAT Manuali e Linee Guida 29/2003.
3. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Ed. New York: American Public Health Association, 1998.
4. [www.apat.gov.it/site/\\_files/Pubblicazioni/Metodi\\_bio\\_acque/metodi\\_corsi\\_acqua.pdf](http://www.apat.gov.it/site/_files/Pubblicazioni/Metodi_bio_acque/metodi_corsi_acqua.pdf)
5. Barbuti S, Bellelli E, Fara GM, Giammanco G. Igiene. 2. ed. Bologna: Monduzzi Editore, 2002: 671.
6. Cocchioni M, Nacciarriti L, Scuri S, Morichetti L, Grappasonni I, Petrelli F. Monitoraggio Fluviale: metodi e risultati a confronto. Applicazione dell'Indice di Funzionalità Fluviale, del Decreto Legislativo 152/99 e dell'Indice Biotico Esteso al Fiume Tenna. *Ingegneria Ambientale* 2004; **11**: 529-35.
7. Cocchioni M, Scuri S, Morichetti L, Petrelli F, Grappasonni I. Tutela dell'ambiente, tutela della salute. Nota 1-Monitoraggio degli ambienti fluviali: evoluzione culturale ed evoluzione metodologica. *Ann Ig* 2006; **18**: 1-5.
8. Cocchioni M, Scuri S, Morichetti L, Petrelli F, Grappasonni I. Tutela dell'ambiente, tutela della salute. Nota 2- Monitoraggio degli ambienti fluviali: risultati ottenuti da metodi diversi a confronto e



- considerazioni igienico sanitarie. *Ann Ig* 2007; **19**: 167-74.
9. Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152 (modificato dal Decreto Legislativo 18 Agosto 2000, n. 258). Disposizione sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/ CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. GURI n.124 del 29 maggio 1999.
  10. Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale. GURI n. 88 del 14 aprile 2006.
  11. Dell'Uomo A. L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. Linee guida. APAT, ARPAT, CTN\_AIM, Roma, Firenze, 2004: 101.
  12. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of the 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal L 327, 22 Dec. 2000.
  13. Ghetti P. F. Indice Biotico Esteso (I.B.E.). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti delle acque correnti. Trento: Provincia Autonoma di Trento, 1997: 222.
  14. Jolliffe IT. Principal component analysis. 2nd ed. Berlin: Springer, 2002: 457.
  15. Mancini L, Formichetti P, Sorace A et al. Analisi dello stato dell'arte degli indicatori biologici su acque lacustri e correnti. In: Metodologie per il rilevamento e la classificazione dello stato di qualità ecologico e chimico delle acque, con particolare riferimento all'applicazione del decreto legislativo 152/99. Roma: I.G.E.R, 2005: 207-31.
  16. Mancini L, Andreani P. Guida agli indicatori biologici dei corsi d'acqua della provincia di Viterbo. Roma: Istituto Superiore di Sanità, 2008 (Rapporti ISTISAN 08/34).
  17. Scuri S, Torrisi M, Cocchioni M, Dell'uomo A. The European Water Framerwork directive 2000/60/EC in the evaluation of the ecological status of water-courses. Case study: the river Chienti (central Appennines, Italy). *Acta Hydrochim Hydrobiol* 2006; **34**: 498-505.
  18. Siligardi M, Bernabei S, Cappelletti C, et al. I.F.F. Indice di funzionalità fluviale. Manuale ANPA, APAT, 2000.

Corrispondenza: Prof. Mario Cocchioni, Dipartimento di Medicina Sperimentale e Sanità Pubblica, Sezione Scienze Igienistiche e Sanitarie Ambientali, Università degli Studi di Camerino, Via E. Betti 3, 52032 Camerino (MC)  
e-mail: mario.cocchioni@unicam.it