

## Rimozione di nutrienti di una zona umida artificiale con finalità di riqualificazione ambientale (Parco Regionale Fluviale del Taro): modelli predittivi

Roberto ANTONIETTI\*, Claudio BARBIERI, Carlotta NICHELLI & Marianna NOTTI

Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Parma, Via G.P. Usberti 11A, 43100 Parma, Italia

\*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: roberto.antonietti@unipr.it

**RIASSUNTO** - *Rimozione di nutrienti di una zona umida artificiale con finalità di riqualificazione ambientale (Parco Regionale Fluviale del Taro): modelli predittivi* - La possibilità di predire le caratteristiche chimiche delle acque in uscita da un fitodepuratore è limitata a pochi parametri. I modelli proposti dalla EPA (2000) per sistemi a “flusso a pistone” riguardano la concentrazione dei coliformi e del B.O.D.<sub>5</sub>. In questo lavoro, grazie alla frequenza di campionamento, simile al tempo di ritenzione idraulico (H.R.T.) del sistema, e all’ipotesi che siano soddisfatte le condizioni di funzionamento a “flusso a pistone”, è stato possibile elaborare alcuni modelli predittivi delle concentrazioni in uscita di azoto ammoniacale, azoto nitrico e fosforo ortofosfato. Infatti, le concentrazioni misurate all’ingresso in un dato giorno sono state comparate con quelle rilevate all’uscita dopo una settimana. I modelli sono stati ottenuti dalle analisi della regressione multipla e mostrano tutti una probabilità  $p < 0,0001$ . Le concentrazioni predette dal modello riproducono le dinamiche temporali, ma solo quelle dei fosfati presentano accettabili regressioni ( $R^2 > 0,52$ ) con le concentrazioni effettivamente misurate.

**SUMMARY** - *Nutrients removal in a wetland, constructed with the purposes of environmental requalification (Taro River Regional Park): predictive models* - The possibility to predict the chemical characteristics of the waters discharged from a wetland is limited to few parameters. EPA (2000) proposed models for “plug flow” systems for coliforms and B.O.D.<sub>5</sub> concentrations. In this study, thank to the frequency of sampling, similar to the Hydraulic Retention Time (H.R.T.) of the system, and to the hypothesis condition, forecast models are proposed for the outflow concentrations of ammonia, nitrite and nitrate. In fact, the inflow concentrations measured in a day have been compared with the outflow concentration measured a week later. The models have been obtained from the multi regression analyses and all show a probability  $p < 0,0001$ . The predicted concentrations reproduce the observed temporal dynamics, but only the predicted phosphorus concentration are correlated ( $R^2 > 0,52$ ) to the measured values.

*Parole chiave:* zona umida, concentrazione di nutrienti, Emilia Romagna, Parco Regionale del Taro

*Key words:* constructed wetland, nutrient concentration, Emilia Romagna, Taro Regional Park (Italy)

### 1. INTRODUZIONE

La possibilità di predire la qualità delle acque che escono da un fitodepuratore con un congruo margine di tempo riveste interessi scientifici e gestionali.

L’Environmental Protection Agency (EPA 2000) propone l’applicazione del modello a “flusso a pistone” (*plug flow*) per valutare la concentrazione di B.O.D.<sub>5</sub> e di coliformi, mediante la relazione:

$$(1) \quad X_{uscita} = X_{ingresso} * e^{(K * H.R.T.)}$$

dove:

$X_{ingresso}$  = concentrazione del parametro in ingresso al sistema

$X_{uscita}$  = concentrazione del parametro in uscita dal sistema

$K_x$  = costante di rimozione

H.R.T. = tempo di ritenzione idraulico teorico; questo parametro è considerato da diversi Autori come “chiave” nel definire le efficienze depurative di questi sistemi (Crites 1994; Hammer & Knight 1994; Kadlec & Knight 1996; ANPA 2002)

La costante di rimozione  $K$  è influenzata da molteplici fattori e difficilmente è ipotizzabile a priori per altri parametri.

Obiettivo del presente lavoro è stato quello di verificare la possibilità di individuare alcuni dei parametri ambientali che concorrono a definire la rimozione di azoto ammoniacale, azoto nitrico e fosforo ortofosfato nella zona umida artificiale di Riccò (Fornovo, Parma). Questa possibilità è stata presa in considerazione poiché l’intervallo di campionamento (general-

mente settimanale) coincide con il tempo di ritenzione idraulico (H.R.T.) del sistema. La zona umida infatti viene alimentata con una quota dell'acqua trattata da un impianto di depurazione e ciò determina portate relativamente costanti nel tempo, indipendenti dalle condizioni climatiche.

Il campionamento settimanale ha consentito di considerare i valori all'uscita come relativi alla massa d'acqua entrata nella settimana precedente: tale vincolo soddisfa l'ipotesi di un sistema a *plug flow*; questa ipotesi sul piano reale difficilmente può trovare conferma, poiché le masse d'acqua che entrano in un sistema difficilmente mantengono la loro individualità, essendo favoriti i processi entropici di rimescolamento. Nonostante la consapevolezza di questi limiti, abbiamo tuttavia considerato soddisfatto il criterio del sistema "a pistone".

La procedura adottata ipotizzava le seguenti fasi:

- calcolo delle costanti di rimozione  $K_x$  per ciascuno di tre parametri (denominate rispettivamente  $K_{\text{ammoniaci}}$ ,  $K_{\text{nitrito}}$  e  $K_{\text{fosfato}}$ ), utilizzando l'equazione (1) e ponendo H.R.T. = 7 giorni;
- valutazione di eventuali correlazioni tra le costanti ( $K_x$ ) ed i parametri raccolti durante lo studio;
- identificazione, qualora risultassero confermate correlazioni significative, della relazione matematica  $Y = f(p_1, p_2, \dots, p_n)$  che legerebbe ciascuna costante ( $Y$  o  $K_x$ ) ai parametri ( $p$ ) che la condizionano;
- uso di tali equazioni per calcolare i valori delle costanti ( $K'_x$ ) di rimozione modellizzate (denominate rispettivamente  $K'_{\text{ammoniaci}}$ ,  $K'_{\text{nitrito}}$  e  $K'_{\text{fosfato}}$ );
- uso delle  $K'_x$  per calcolare, mediante l'equazione (1), le concentrazioni attese all'uscita dall'impianto dopo 7 giorni e compararle con quelle effettivamente misurate.

## 2. METODI

Sono state individuate tre stazioni di campionamento, denominate stazione 1 (o "ingresso"), stazione 2 (o "intermedio", tra la prima e la seconda vasca) e stazione 3 (o "uscita", al termine della seconda vasca). Settimanalmente, nel periodo da marzo 2002 ad aprile 2003, sono stati determinati i seguenti parametri: temperatura e ossigeno disciolto (ossimetro YSI); pH (pHmetro Instrument Laboratory); conducibilità (conducimetro OHM); N-NH<sub>3</sub>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; COD (APHA *et al.* 1975); N e P totali (Menzel & Corwin 1965). La portata all'ingresso del sistema è stata misurata mediante uno stramazzo. Le elaborazioni grafiche e statistiche sono state eseguite con StatView 5.0.

## 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Le  $K$  di rimozione per ciascun parametro (denominate rispettivamente  $K_{\text{ammoniaci}}$ ,  $K_{\text{nitrito}}$  e  $K_{\text{fosfato}}$ ) sono state calcolate con l'equazione (1), dove H.R.T è stato posto pari a 7 giorni:

$$(2) \quad K_x = (\ln X_{\text{uscita}} - \ln X_{\text{ingresso}}) \cdot 7^{-1}$$

Le  $K_x$  così calcolate hanno mostrato correlazioni multiple (con  $p < 0,0001$ ) con alcuni dei parametri misurati; è stato quindi possibile calcolare le  $K'_x$  utilizzando i valori dei parametri, mediante le seguenti equazioni, espressioni delle correlazioni multiple:

$$K'_{\text{ammoniaci}} = 0,058 - 0,012 \text{ N-NH}_{3\text{ingresso}} - 0,014 \text{ O.D.}_{\text{intermedio}} + 0,006 \text{ O.D.}_{\text{uscita}}$$

$$K'_{\text{nitrito}} = 0,405 - 0,06 \text{ N-NO}_{3\text{ingresso}} - 0,004 \text{ T}_{\text{intermedio}} - 0,005 \text{ T}_{\text{uscita}} - 0,03 \text{ pH}_{\text{intermedio}}$$

$$K'_{\text{fosfato}} = -0,0235 - 0,04 \text{ P-PO}_{4\text{ingresso}} - 0,001 \text{ T}_{\text{intermedio}} + 0,001 \text{ T}_{\text{uscita}} + 0,023 \text{ pH}_{\text{intermedio}}$$

Questi valori di  $K'$ , inseriti nell'equazione (1), hanno consentito di ottenere le concentrazioni attese che sono state poste a confronto con quelle realmente osservate (Fig. 1).

La figura 1 consente le seguenti osservazioni preliminari:

- la concentrazione di ammoniaca nell'acqua che esce dal sistema dopo 7 giorni dal campionamento sembra essere influenzata dalla concentrazione di ammoniaca presente nell'acqua che entra nel sistema e dalla concentrazione di ossigeno presente nella stazione intermedia e in quella posta sull'uscita;
- la concentrazioni dei nitrati ha una dinamica stagionale che viene ben rappresentata anche dai valori modellizzati: essa sembra essere influenzata dalla concentrazione di nitrato in ingresso, dalla temperatura misurata sia nella stazione intermedia sia in quella posta all'uscita e, infine, dal pH. Nella figura 1, le curve sono il risultato di regressioni polinomiali di 4° grado tra concentrazione ( $Y$ ) e giorni a decorrere dal primo campionamento ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ ), calcolate per i valori attesi e quelli osservati all'uscita dal sistema;
- anche la concentrazione di fosforo misurata presenta una dinamica stagionale molto evidente, che viene riproposta anche dai valori generati dal modello; i fattori che influenzano il parametro sono la concentrazione di fosforo ortofosfato in ingresso, la temperatura nelle due stazioni (intermedia e uscita) e il pH nella stazione intermedia.

In figura 2 vengono presentati i risultati relativi alla correlazione esistente tra i valori di azoto ammoniacale, azoto nitrico e fosforo ortofosfato effettivamente misurati all'uscita del sistema, con quelli predetti sulla base dei parametri misurati una settimana prima. Nella figura 2 sono individuati con la lettera A le correlazioni calcolate con tutti i dati raccolti, con la lettera B i dati aventi effettivamente un intervallo di campionamento compreso tra 6 e 8 giorni.

Le considerazioni possibili sono le seguenti:

a) la capacità del modello di predire le concentrazioni di ammoniaca è molto bassa (come testimoniano i valori del coefficiente di determinazione riportato in figura);

b) modesta è anche la capacità predittiva del modello rispetto alle concentrazioni di azoto nitrico;  
 c) interessante è la capacità del modello di elaborare previsioni del fosforo ortofosfato abbastanza attendibili.  
 d) il modello migliora le proprie capacità predittive se viene applicato ai soli dati raccolti con intervalli di campionamento compresi tra 6 e 8 giorni (si rammenta che H.R.T. del sistema è di circa 7 giorni).

Sulla base di quest'ultima considerazione, l'intera procedura di modellizzazione è stata ripetuta utilizzando i 25 dati aventi questa caratteristica, ottenendo equazioni di  $K_x$  leggermente diverse da quelle precedenti, calcolate su tutti i dati:

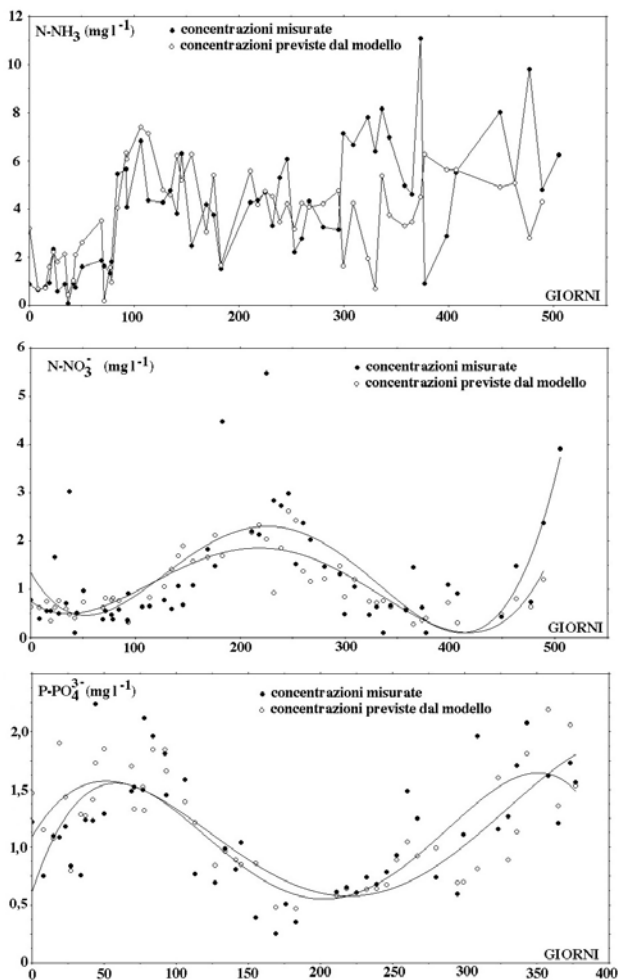


Fig. 1 - Andamento delle concentrazioni di  $N-NH_3$  e  $N-NO_3$  nelle tre stazioni di campionamento, nel periodo marzo 2002 - aprile 2003.

Fig. 1 -  $N-NH_3$  and  $N-NO_3$  concentration patterns in the three sampling sites, from March 2002 to April 2003.

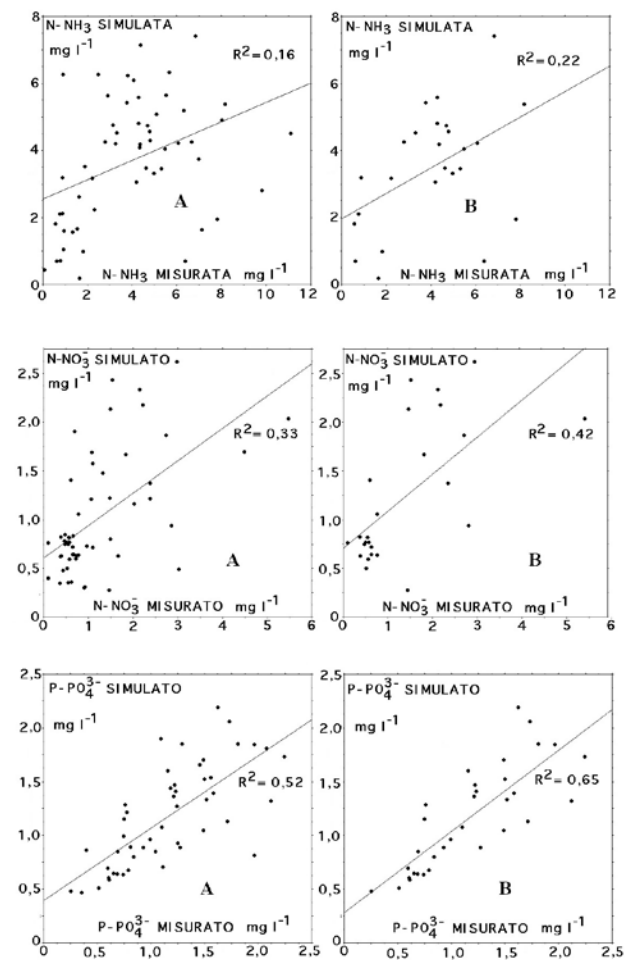


Fig. 2 - Correlazioni tra concentrazioni misurate all'uscita del sistema e quelle calcolate mediante i modelli matematici: A) tutti i dati; B) dati con intervalli di campionamento compresi tra 6 e 8 giorni.

Fig. 2 - Correlations between measured concentrations in the outflow from the system and those calculated by means of the mathematical models: A) all data, b) data collected with sample frequency between 6 and 8 days.

$$K''_{\text{ammoniacale}} = 0,157 - 0,017 N\text{-NH}_3 \text{ ingresso} - 0,026 O.D._{\text{intermedio}} + 0,010 O.D._{\text{uscita}}$$

$$K''_{\text{nitrato}} = 0,305 - 0,058 N\text{-NO}_3 \text{ ingresso} + 0,001 T_{\text{intermedio}} - 0,0011 T_{\text{uscita}} - 0,017 pH_{\text{intermedio}}$$

$$K''_{\text{fosfato}} = -0,023 + 0,003 P\text{-PO}_4 \text{ ingresso} + 0,003 T_{\text{intermedio}} + 0,002 T_{\text{uscita}} - 0,013 pH_{\text{intermedio}}$$

Da esse sono state ottenute le concentrazioni attese e confrontate con quelle effettivamente misurate. L'ipotesi era che con dati che meglio soddisfacevano il vincolo di un intervallo di campionamento prossimo a H.R.T. i modelli avrebbero fornito risultati più aderenti alla realtà. Al contrario, però, le correlazioni sono risultate meno significative di quelle ottenute in precedenza e descritte in figura 2. A titolo esemplificativo, il coefficiente di determinazione R<sup>2</sup> è risultato pari a 0,055 per l'azoto ammoniacale, 0,049 per l'azoto nitrico e 0,078 per il fosforo ortofosfato.

Una possibile conclusione è che il modello con un numero maggiore di dati (seppure non tutti rispondenti al vincolo di essere campionati con intervalli prossimi a 7 giorni) sia "migliore" di un modello basato su un numero inferiore di dati seppure meglio rispondenti al vincolo temporale del campionamento.

Si ritiene consigliabile sospendere questa valutazione (sintetizzabile in "meglio molti dati incerti che pochi certi"), perché i due modelli non sono stati validati con dati raccolti successivamente e non utilizzati per la loro costruzione.

Si crede però che questo approccio possa essere utile per comprendere i fattori che condizionano le efficienze di rimozione di un sistema, anche per poter for-

mulare ipotesi di tipo gestionale. È evidente comunque che simili modelli devono essere considerati sito-specifici e, quindi, non possono essere trasferiti ad altri sistemi, se non dopo attenta verifica.

## RINGRAZIAMENTI

Attività svolta nell'ambito della borsa di studio "Criteri per lo studio della qualità delle acque in zone umide artificiali" finanziata dal Parco Regionale Fluviale del Taro.

## BIBLIOGRAFIA

- ANPA, 2002 - *Linee guida per la ricostruzione di aree umide per il trattamento di acque superficiali*. A.N.P.A., Roma: 117 pp.
- APHA, AWWA & WPCF, 1975 - *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 14<sup>th</sup> ed. APHA, Washington: 1193 pp.
- Crites R.W., 1994 - Design criteria and practice for constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.*, 29/4: 1-6.
- EPA, 2000 - *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*, EPA manual EPA/625/R-99/010: 165 pp.
- Hammer D.A. & Knight R.L., 1994 - Designing constructed wetlands systems to treat agricultural nonpoint pollution. *Ecol. Eng.*, 1: 49-82.
- Kadlec R.H. & Knight R.L., 1996 - *Treatment wetlands*. Lewis Publishers, New York: 893 pp.
- Menzel D.W. & Corwin N., 1965 - The measurement of total phosphorus in sea water based on the liberation of organically bound fractions by persulphate oxidation. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 208-282.