

La stato di qualità ambientale dei fiumi: il legame ossigeno-acqua

Domenico Barbati¹ and Luigi Erra¹

¹Affiliation not available

Abstract

L'elaborato ha il compito di descrivere come l'ossigeno disciolto nei corsi d'acqua sia un parametro estremamente rilevante per la caratterizzazione qualitativa del comparto idrico. Dopo aver fatto una panoramica dal punto di vista normativo che contraddistingue tale comparto e aver descritto brevemente le tipologie di analisi che lo caratterizzano, ci si è focalizzati sulla caratterizzazione qualitativa dell'acqua. Tale caratterizzazione è stata effettuata descrivendo la in primis dal punto di vista normativo, sia europeo che nazionale e successivamente individuando un indicatore, l'ossigeno disciolto, per determinare la qualità. Infine, utilizzando sempre come punto di riferimento l'ossigeno si è descritto brevemente due modelli utilizzati per la modellazione qualitativa dei corsi d'acqua: il Modello Streeter & Phelps e il Modello Qual2k.

Introduzione

Il comparto idrico è uno dei comparti ambientali che maggiormente è soggetto a valutazione di impatto ambientale, in quanto difficilmente un'opera di ingegneria civile non genera pressioni su di esso sia direttamente che indirettamente. Come tutti gli altri comparti, anche quello idrico è disciplinato dal D.P.C.M. 27/12/88 di cui all'Allegato I si esplicitano le componenti e i fattori ambientali dello stesso: "acquee sotterranee e superficiali (dolci, salmastre, marine) considerate come

componenti, ambienti e risorse”. Non tutte le acque descritte all’interno del ciclo idrologico vengono prese in considerazione, infatti, per quanto riguarda le acque marine si prendono a riferimento solo quelle marino-costiere, nella prossimità della costa dove si hanno le maggiori pressioni dovute all’attività antropica, mentre il mare in quanto tale non viene considerato poiché è un ecosistema che viene trattato a parte.

L’Allegato II, del medesimo DPCM, fornisce gli elementi per la caratterizzazione ed analisi delle componenti e dei fattori ambientali. Tali analisi riguardano:

- la caratterizzazione qualitativa e quantitativa del corpo idrico.
- La determinazione dei movimenti delle masse d’acqua, con particolare riguardo ai regimi fluviali, ai fenomeni ondosi e alle correnti marine. In particolare, i regimi fluviali sono caratterizzati da parametri quali le precipitazioni, la temperatura, le caratteristiche geomorfologiche e la permeabilità¹. Le onde si generano dal vento mediante due azioni: l’attrito e la compressione e il risucchio. Le correnti marine dipendono dalle maree e possono generarsi dall’azione dei venti.
- La caratterizzazione del trasporto solido naturale, senza e con intervento, anche con riguardo alle erosioni delle coste ed agli interrimenti. Il trasporto solido è distinto in trasporto solido in sospensione e trasporto solido di fondo e ciò è determinato dalla granulometria del materiale e dalla turbolenza. La torbidità può essere vista come un parametro per la caratterizzazione qualitativa di un corso d’acqua, tuttavia utilizzarla come indicatore di inquinamento risulta sconsigliato in quanto il materiale in sospensione può essere di vario genere².
- La stima del carico inquinante, senza e con intervento, e la localizzazione e caratterizzazione delle fonti. Il carico inquinante è normato dalla parte III del D.lgs. 152/2006, suddetto carico può essere di varia natura: civile, industriale, agricolo e zootecnico³. In funzione del tipo di carico si vanno a determinare i rispettivi parametri che dovranno essere rispettati^{4,5}.
- La definizione degli usi attuali, ivi compresa la vocazione naturale, e previsti.

La qualità dell'acqua

L'eccessivo sfruttamento delle risorse idriche da parte dell'uomo ha fatto sì che venissero varate norme giuridiche per regolare prelievi e immissioni che possano generare impatti rilevanti al comparto. In Europa la normativa vigente è la Direttiva 2000/60/CE, anche detta Water Framework Directive⁶. La direttiva persegue obiettivi ambiziosi quali: migliorare lo stato delle acque, prevenire il deterioramento qualitativo e quantitativo e assicurarne un utilizzo sostenibile^{7 8,9,10}. In Italia tale direttiva è recepita con D.lgs. 152/2006. La normativa impone la definizione dello Stato Ambientale, ottenuto in funzione del valore peggiore tra lo Stato Ecologico e lo Stato Chimico. Lo Stato Ecologico è determinato da elementi di qualità biologica, elementi chimici (LIMeco), elementi idromorfologici ed inquinanti specifici¹¹. Tale stato viene ripartito in 5 classi qualitative che vanno dall'elevato al pessimo e ad ognuna di esse viene attribuito un colore come si può osservare dalla fig.2. Lo Stato Chimico si ottiene andando a considerare una serie di sostanze (oltre 300) considerate prioritarie dalla direttiva europea per le quali esiste un valore soglia^{12,13,14}. Calcolato il 75° percentile per ognuna di tali sostanze e confrontato con il valore soglia, se tutti i parametri sono minori del valore stabilito allora lo stato è considerato Buono. Nel caso in cui anche uno dei valori risultasse superiore al valore soglia, allora lo Stato è da considerarsi come Mancato conseguimento dello stato buono.

Per descrivere al meglio il comparto idrico, essendo esso estremamente complesso sia per quanto riguarda i suoi componenti sia per le interazioni tra gli stessi, è necessario sfruttare dei modelli, fondati su basi matematiche, che ne spieghino il funzionamento, consentendo quindi di descriverne l'evoluzione qualitativa^{15,16,17}. Tra i parametri che permettono di esprimere una valutazione sulla qualità dell'acqua rilevante è la concentrazione di ossigeno disciolto^{18,19,20}, in particolare: minore è la quantità di tale sostanza maggiore sarà il livello di inquinamento di un corso d'acqua. La

quantità di ossigeno disciolto in un corso d'acqua è generata sostanzialmente da due fasi: la deossigenazione e la riossigenazione. La deossigenazione, ovvero riduzione dell'ossigeno disciolto, è dovuta al consumo di ossigeno da parte di batteri intenti a degradare il BOD presente nel corso d'acqua in seguito allo sversamento di acque di scarico ²¹. La riossigenazione si realizza a livello dell'interfaccia aria-acqua grazie alla differenza di ossigeno tra i due mezzi. Tuttavia, l'ossigeno nei corsi d'acqua può essere prodotto anche dall'attività delle alghe e quindi da fenomeni di fotosintesi e respirazione ²².

Streeter e Phelps²³, considerando sia l'azione della deossigenazione che della riossigenazione, realizzarono un modello in grado di sviluppare un bilancio dell'ossigeno. Le ipotesi alla base del modello sono: condizioni stazionarie di portata e trascurabilità degli scambi di ossigeno per diffusione, a partire dalla quali si è determinato il deficit di ossigeno (D):

$$D(t) = \frac{k_1 \cdot L_0}{k_2 - k_1} \cdot e^{-k_1 t} - e^{(-k_2 t)} + D_0 \cdot e^{-k_2 t}$$

L_0 , k_1 , k_2 e D_0 sono rispettivamente la quantità di BOD iniziale, le costanti di deossigenazione e riossigenazione e il deficit di ossigeno immediatamente a valle dello scarico. Dalla funzione appena ottenuta, riportandola in grafico, si ottiene la curva di bilancio dell'ossigeno che ha una forma a sacco. Si determina il tempo in cui sopraggiungono le condizioni critiche, considerate come il valore minimo di ossigeno disciolto nell'acqua.

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \ln \left[\frac{k_2}{k_1} \cdot \left(1 - \frac{D_0 \cdot (k_2 - k_1)}{k_1 \cdot L_0} \right) \right]$$

La curva così ottenuta va poi sovrapposta con i limiti di sopravvivenza delle specie acquatiche in modo tale da determinare il tratto di corso d'acqua soggetto a condizioni inammissibili in termini di ossigenazione ²⁴.

Un modello utile per la modellazione qualitativa dei corsi d'acqua è il modello Qual2k ²⁵. Tale modello è stato ideato per la rappresentazione di un'asta fluviale dividendola in tratti omogenei,

ovvero aventi caratteristiche idrauliche e qualitative simili. Tali tratti sono:

- sorgente;
- elemento standard;
- elemento a monte di una confluenza;
- elemento di giunzione;
- elemento finale;
- immissioni;
- prelievi.

Per ognuno degli elementi sopracitati vengono effettuati tre tipi di bilanci: bilancio idrico, bilancio termico e bilancio di massa.

Il bilancio idrico ha come ipotesi di base quella della stazionarietà del regime idraulico ed indica come la variazione di portata nello spazio i -esimo sia uguale alla portata in uscita.

Per la realizzazione di tale bilancio vengono prese in considerazioni le portate in entrate, le immissioni puntuali e i prelievi.

Il bilancio termico si effettua in quanto la temperatura è determinante nelle cinetiche di reazione dell'ambiente acquatico. La formula che consente di ottenere tale bilancio è la seguente:

in cui V è il volume dell'elemento, W è il carico netto, E è il coefficiente di dispersione tra i punti, ρ è la densità dell'acqua, C è il calore specifico, infine, J_h e J_s sono rispettivamente il flusso di calore tra aria ed acqua e il flusso di calore tra deposito e acqua. Si terrà sempre in considerazione le possibili interazioni che il corso d'acqua può subire e le condizioni morfologiche e metereologiche.

Ultimo bilancio effettuato, come già detto, è il bilancio di massa che per ogni tratto omogeneo permette di determinare le concentrazioni di alghe, ossigeno disciolto, batteri coliformi e vari tipi

di costituenti. La relazione che ci permette di operare tale bilancio è:

In cui S è la fonte, E' è il coefficiente di dispersione, V il volume e W è la somma delle immissioni.

Con il modello Qual2k è inoltre possibile determinare gli apporti di ossigeno dovuti alla presenza di opere ingegneristiche come dighe, traverse e sbarramenti. Ciò è possibile tenendo in considerazione l'altezza della cascata (H_d) mediante la relazione ²⁶:

In cui r_d è il rapporto tra il deficit realizzato sopra e sotto l'opera presa in considerazione, T è la temperatura e a_d e b_d sono rispettivamente i coefficienti di qualità dell'acqua e del tipo di aerazione.

Conclusione

In definitiva si può affermare che l'ossigeno disciolto risulti essere un parametro versatile e sfruttato dagli studiosi per l'implementazione di modelli matematici che permettono di descrivere lo status qualitativo del corso d'acqua. È strettamente connesso alla temperatura in quanto all'aumentare della stessa il livello di ossigenazione dei corsi d'acqua diminuisce, tant'è che le migliori condizioni si hanno nel periodo invernale. Il bilancio dell'ossigeno è di prassi effettuato per determinare la distanza entro la quale l'acqua del fiume ritorna alle condizioni iniziali, non inquinate.

References

- 1.Naddeo, V., Scannapieco, D. & Belgiorno, V. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of Hydrology* **498**, 287–291 (2013).
- 2.Filippini, M., Croatti, G., Cucci, P. & Ronchini, L. Rapporto sulla qualità delle acque fluviali della provincia di Rimini. *A.R.P.A. Sezione Prov.le Rimini, Provincia di Rimini* (2002).

3. Naddeo, V., Zarra, T., Giuliani, S. & Belgiorno, V. Odour Impact Assessment in Industrial Areas. *Chemical Engineering* **30**, (2012).
4. Naddeo, V., Cesaro, A., Mantzavinos, D., Fatta-Kassinos, D. & Belgiorno, V. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review. *Issue 3* **16**, 561–577 (2014).
5. Ibrahim, Y., Abdulkarem, E., Naddeo, V., Banat, F. & Hasan, S. W. Synthesis of super hydrophilic cellulose-alpha zirconium phosphate ion exchange membrane via surface coating for the removal of heavy metals from wastewater. *Science of The Total Environment* **690**, 167–180 (2019).
6. Borea, L. *et al.*. Wastewater treatment by membrane ultrafiltration enhanced with ultrasound: Effect of membrane flux and ultrasonic frequency. *Ultrasonics* **83**, 42–47 (2018).
7. Ensano, B. *et al.*. Removal of Pharmaceuticals from Wastewater by Intermittent Electrocoagulation. *Water* **9**, 85 (2017).
8. Scannapieco, D., Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V. River water quality assessment: A comparison of binary- and fuzzy logic-based approaches. *Ecological Engineering* **47**, 132–140 (2012).
9. Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V. Optimization of sampling frequency for river water quality assessment according to Italian implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy* **10**, 243–249 (2007).
10. Naddeo, V. & Korshin, G. Water, energy and waste: The great European deal for the environmental. *The Science of the Total Environment* (2021).
11. Naddeo, V., Balakrishnan, M. & Choo, K. H. *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability*. (Springer International Publishing, 2020). doi:10.1007/978-3-030-13068-8.
12. Ensano, B. M. B. *et al.*. Applicability of the electrocoagulation process in treating real municipal wastewater containing pharmaceutical active compounds. *Journal of Hazardous Materials*

361, 367–373 (2019).

13.Naddeo, V., Ricco, D., Scannapieco, D. & Belgiorno, V. Degradation of Antibiotics in Wastewater during Sonolysis Ozonation, and Their Simultaneous Application: Operating Conditions Effects and Processes Evaluation. *International Journal of Photoenergy* **2012**, 1–7 (2012).

14.Zarra, T., Reiser, M., Naddeo, V., Belgiorno, V. & Kranert, M. A comparative and Critical Evaluation of Different Sampling Materials in the Measurement of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. *Chemical Engineering* **30**, (2012).

15.Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T. & Scannapieco, D. Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy* **31**, 605–612 (2013).

16.Scannapieco, D., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives. *Land Use Policy* **36**, 478–484 (2014).

17.Nesticò, A., Elia, C. & Naddeo, V. Sustainability of urban regeneration projects: Novel selection model based on analytic network process and zero-one goal programming. *Land Use Policy* **99**, 104831 (2020).

18.Nikolaou, A. D. *et al.*. Multi-parametric water quality monitoring approach according to the WFD application in Evros trans-boundary river basin: priority pollutants. *Desalination* **226**, 306–320 (2008).

19.Naddeo, V. Development of environmental biotechnology and control of emerging biological contaminants: the grand challenge for a sustainable future. *Water Environment Research* **92**, 1246–1248 (2020).

20.Naddeo, V., Landi, M., Scannapieco, D. & Belgiorno, V. Sonochemical degradation of twenty-three emerging contaminants in urban wastewater. *Desalination and Water Treatment* **51**, 6601–6608 (2013).

- 21.Landi, M., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Influence of ultrasound on phenol removal by adsorption on granular activated carbon. *Desalination and Water Treatment* **23**, 181–186 (2010).
- 22.Patton, S., Romano, M., Naddeo, V., Ishida, K. P. & Liu, H. Photolysis of Mono- and Dichloramines in UV/Hydrogen Peroxide: Effects on 1,4-Dioxane Removal and Relevance in Water Reuse. *Environmental Science & Technology* (2018) doi:10.1021/acs.est.8b01023.
- 23.Streeter, H. W. & Phelps, E. B. A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. *U.S. Public Health Service, Washington,DC* (1925).
- 24.Corpuz, M. V. A. *et al.*. Viruses in wastewater: occurrence abundance and detection methods. *Science of The Total Environment* **745**, 140910 (2020).
- 25.Chapra, S. C., Pelletier, G. J. & Tao, H. Qual2k: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and User's Manual. *Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA* (2008).
- 26.Butts, T. A. & Evans, R. L. Effects of Channel Dams on Dissolved Oxygen Concentrations in Northeastern Illinois Streams. *State of Illinois, Dept. of Reg. and Educ, Illinois Water Survey, Urbana, IL* (1983).

Figure Captions

Figure 1. Corso d'acqua (fonte: unsplash.com)

Figure 2. Valutazione dello Stato Ambientale

Figure 3. Andamento ossigeno disciolto e BOD nella fase di deossigenazione (rielaborato da Streeter e Phelps)

Figure 4. Curva di bilancio dell'ossigeno disciolto (rielaborato da Streeter e Phelps)

Figure 5. Apporti di ossigeno in presenza di opere ingegneristiche (rielaborato da Butts)

Figures

“begin-figure”“begin-center”“includegraphics[width=0.70“columnwidth]–figures/chris-liverani-
W-4lE3MDItA-unsplash/chris-liverani-W-4lE3MDItA-unsplash”“caption—Corso d’acqua (fonte:unsplash.com
4/immagine-4”“end-center”“end-figure”“begin-figure”“begin-center”“includegraphics[width=0.70“columnwidth
5/immagine-5”“end-center”“end-figure”“begin-figure”“begin-center”“includegraphics[width=0.70“columnwidth