

Il riuso delle acque reflue: requisiti qualitativi e tecniche di recupero

*Costantino Nurizzo costantino.nurizzo@polimi.it, Manuela Antonelli
DIIAR Sezione Ambientale, Politecnico di Milano, p.za L. da Vinci 32, 20133 Milano*

Riassunto

Un approccio sostenibile alla gestione delle risorse idriche deve necessariamente prendere in considerazione anche le acque reflue depurate, che costituiscono una risorsa disponibile costantemente nell'arco dell'anno. Da un punto di vista tecnologico, non esistono limiti alla produzione di "acque seconde" di elevata qualità, mentre - in relazione agli standards richiesti dalle normative - potrebbero evidenziarsi limitazioni di tipo economico. Peraltro le tecnologie di post-trattamento applicabili per il recupero delle acque reflue pre-depurate consentono anche di ottenere un significativo effetto migliorativo della qualità dei corpi idrici recettori, a causa della riduzione dei carichi residui immessi. Si vogliono qui riassumere alcuni degli aspetti più rilevanti del recupero di reflui depurati e fornire sintetiche indicazioni sugli schemi di affinamento applicabili.

Summary

A sustainable approach to water resources management has to take into account also the contribution of purified wastewater that is a continuously available resource. No technological limits exist to produce repurified (or reclaimed) water of any requested quality level, the only limit being an economic one, due the requested quality standards. It must also be underlined that a post-treatment aimed at the production of reclaimed water to be reused in agriculture or elsewhere (urban, industrial reuse, etc.) will also reduce the quantity of residual pollutants discharged into natural water. Hereafter the more relevant aspects of water reclamation and reuse will be summarized, giving also brief information on the available post-treatment trains.

1. Introduzione

Gli apporti idrici naturali in Italia vengono generalmente stimati essere dell'ordine di $290 \cdot 10^9$ m³/anno (valore medio decennale), di cui poco più del 50% rientra in ciclo per evaporazione ed evapotraspirazione. Si può quindi ritenere che in un "anno standard" l'ammontare teorico globale dell'apporto idrico sia pari a circa $140 \cdot 10^9$ m³/anno. La disponibilità effettiva di acqua per il consumo è stimata essere intorno a $50 \cdot 10^9$ m³/anno, ma la distribuzione è assai diversificata sul territorio nazionale in relazione al regime delle precipitazioni: a fronte di un valore medio nazionale di circa 1.000 mm/anno, esiste una fascia di variabilità indicativamente compresa tra 400 e 1.800 mm/anno, con lunghi periodi di siccità estiva nelle aree meridionali (il fenomeno va estendendosi anche ad altre aree). I consumi si aggirano intorno a $42 \cdot 10^9$ m³/anno, ma la loro distribuzione geografica è assai diversificata: nelle regioni settentrionali la disponibilità intrinseca di risorse idriche è maggiore (circa il 65% del totale nazionale), ma in quest'area si concentrano anche i maggiori consumi civili, industriali ed irrigui (e questi ultimi sono la voce quantitativamente più importante). Va peraltro sottolineato come la sempre più frequente adozione di pratiche di ricircolo interno, combinate con l'impiego di nuove tecnologie di produzione, stia portando ad un progressivo contenimento dei consumi idrici in ambito industriale.

La situazione sopra accennata sembrerebbe quindi complessivamente favorevole e tale da soddisfare le necessità, ma è ben noto come esistano in diverse aree carenze che portano a conflitti tra i diversi comparti d'impiego. In questo contesto, anche tenendo conto dell'attuale indirizzo alle politiche di gestione delle risorse idriche, le acque reflue depurate costituiscono una valida risorsa, per di più continuativamente disponibile. Inoltre, su un totale di acque reflue prodotte dell'ordine di $6 \cdot 10^9$ m³/anno, circa $4 \cdot 10^9$ m³/anno derivano da impianti di potenzialità tale da renderne proponibile il recupero. I settori in cui i reflui recuperati possono essere convenientemente riutilizzati sono sinteticamente riassunti in Tab. 1¹.

Tab. 1 - Principali utilizzazioni possibili di acque reflue recuperate

| SETTORE | PRINCIPALI UTILIZZAZIONI |
|-------------|--|
| Agricolo | Colture alimentari umane ed animali e da fibre, materie prime industriali, vivai. |
| Industriale | Acque di processo, lavaggio, raffreddamento e condizionamento; lavaggio fumi, trasporto idraulico. |
| Urbano | Irrigazione aree verdi, lavaggio strade, rete antincendio, alimentazione sistemi di flussaggio dei servizi igienici (reti duali). |
| Ambientale | Mantenimento DMV, alimentazione di zone umide e ripristino ambientale di piccoli corsi d'acqua, invasi artificiali ad uso ricreativo, controllo intrusioni marine, ricarica di acquiferi, innevamento artificiale. |

Il riuso in agricoltura, tra le diverse opzioni riassunte in Tab. 1, è l'applicazione più naturale nelle regioni mediterranee, in quanto consente nell'arco dell'anno: a) una sicura disponibilità di acqua e di una frazione di nutrienti; b) un minor grado d'inquinamento dei ricettori finali; c) un risparmio di risorse idriche naturali, destinabili ad altri scopi. I rischi potenziali prevalenti sono associati alla carica microbiologica residua, in funzione delle concentrazioni iniziali e dei metodi di irrigazione (spruzzo, scorrimento, goccia a goccia) e del tipo di consumo (crudo o previa cottura) del prodotto, nonché gli aspetti legati al rischio di tossicità. I principali aspetti da affrontare sono:

- i fabbisogni delle colture e la conservazione della fertilità dei suoli;
- gli aspetti igienico-sanitari legati al consumo dei prodotti e ai rischi per gli addetti;
- l'eventuale tossicità diretta o indiretta sulle colture (e sui consumatori).

I normali livelli depurativi non possono chiaramente assicurare gli obiettivi di qualità richiesti per il riuso, ma le normali tecnologie di affinamento permettono di raggiungere - spesso senza particolari difficoltà - i limiti previsti dalla normativa per il riuso (DM185/2003), che - oltre ai normali parametri di controllo (pH, TSS, COD, BOD₅) - norma la concentrazione ammissibile di alcuni parametri chimici d'inquinamento (tensoattivi, microinquinanti organici ed inorganici), la qualità microbiologica (*E.coli*, *Salmonellae*) e alcuni parametri d'importanza agronomica quali Boro, alcuni metalli e il SAR (*Sodium Adsorption Ratio*). In estrema sintesi: il DM185/2003 prevede il rispetto di 54 parametri, di cui: il 20% richiede la stessa qualità delle acque potabili e il 37% non è previsto per le acque potabili (anche se alcuni di essi sono opportuni, come ad esempio

¹ Può essere anche considerata l'opzione del riuso a scopi potabili.

il Boro); sono anche previsti altri parametri (es. biocidi e pesticidi), che appaiono però poco giustificabili in ambito agricolo. In questo quadro i costi di affinamento e distribuzione (costruzione, esercizio e gestione) potrebbero risultare tali da poter essere sostenuti solo per gli impianti più grandi, riducendo quindi i benefici di una presenza diffusa della pratica di recupero delle acque reflue.

Inoltre, a differenza di altre normative, quella italiana non prevede due classi di qualità in funzione del tipo di colture da irrigare: a) irrigazione non limitata (*unrestricted*) e b) irrigazione limitata (*restricted*); tale scelta è probabilmente motivata dalle dimensioni delle aziende agricole italiane, perlopiù piccole e dedite a coltivazioni diversificate. La scelta di un'unica classe di qualità (quella più elevata) dovrebbe peraltro garantire una migliore sicurezza complessiva (oltre a ridurre la necessità di controlli *in loco*). Esiste peraltro (come riportato in Fig. 1) un non trascurabile divario tra il livello di qualità microbiologica imposto² (*E.coli* ≤10 CFU/100 mL; *Salmonellae*: assenti) e quello delle acque di alcuni fiumi, normalmente utilizzate - senza restrizioni - per l'irrigazione.

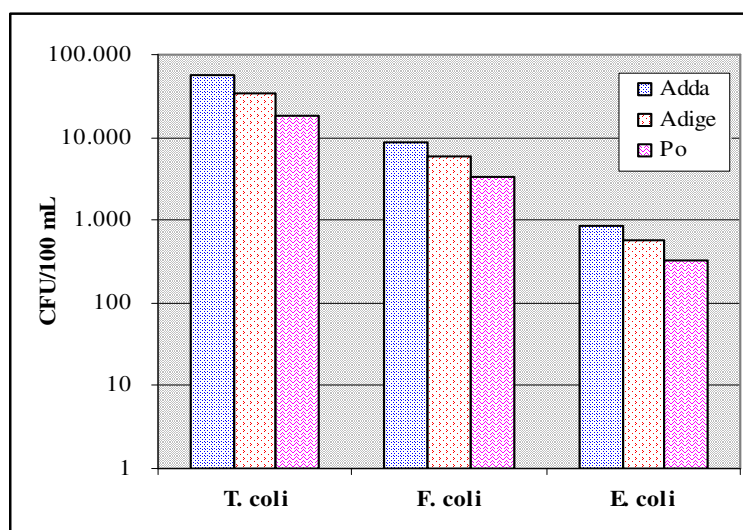


Fig. 1 - Valori medi registrati di presenza microbiologica in tre fiumi del Nord-Italia.

2. Tecnologie di trattamento per il recupero delle acque reflue depurate

Il recupero delle acque reflue depurate richiede un processo di affinamento, la cui complessità (e quindi i costi) dipende *in primis* dalla qualità degli effluenti depurati. La costanza della qualità è molto importante, soprattutto nel caso di riuso industriale.

La possibilità pratica di recupero di acque reflue depurate, soprattutto per il reimpiego irriguo, può essere condizionata da alcuni aspetti specifici, non tanto per impossibilità tecnica di rispettare i limiti imposti, quanto per i costi dei trattamenti avanzati da prevedere in tal caso. Alcuni esempi possono essere:

- forti concentrazioni di Na e Cl, ad esempio in zone costiere;
- alte concentrazioni di Boro (limite vigente 1 mg B/L), dovute all'impiego di prodotti detergenti sbiancanti, anche in ambito domestico;
- elevate concentrazioni di tensioattivi totali.

² Nell'80% dei campioni; mai >100 CFU/100 mL; sono previsti valori più permissivi per gli effluenti da sistemi di affinamento naturale.

2.1 Schemi di recupero

Gli schemi di recupero convenzionale discendono direttamente dai processi usati per la potabilizzazione delle acque e sono focalizzati alla rimozione del materiale sospeso residuo e della carica micro-biologica (disinfezione). Pertanto lo schema più semplice prevede una filtrazione su mezzo discreto, preferibilmente con aggiunta di coagulanti (*filtrazione per contatto*), seguita da un'efficiente disinfezione³. Una buona rimozione di TSS migliora anche l'efficienza delle fasi successive, consente di intercettare alcuni microrganismi resistenti alla disinfezione (protozoi, cisti, uova di elminti) e protegge i sistemi di irrigazione (soprattutto quelli goccia a goccia), mentre la disinfezione è indispensabile per garantire la sicurezza igienica dell'acqua recuperata. I parametri operativi devono tenere in conto sia la presenza di TSS di tipo fioccoso, che l'intrinseca variabilità delle portate effluenti⁴. Alcuni schemi convenzionali sono riportati in Fig. 2.

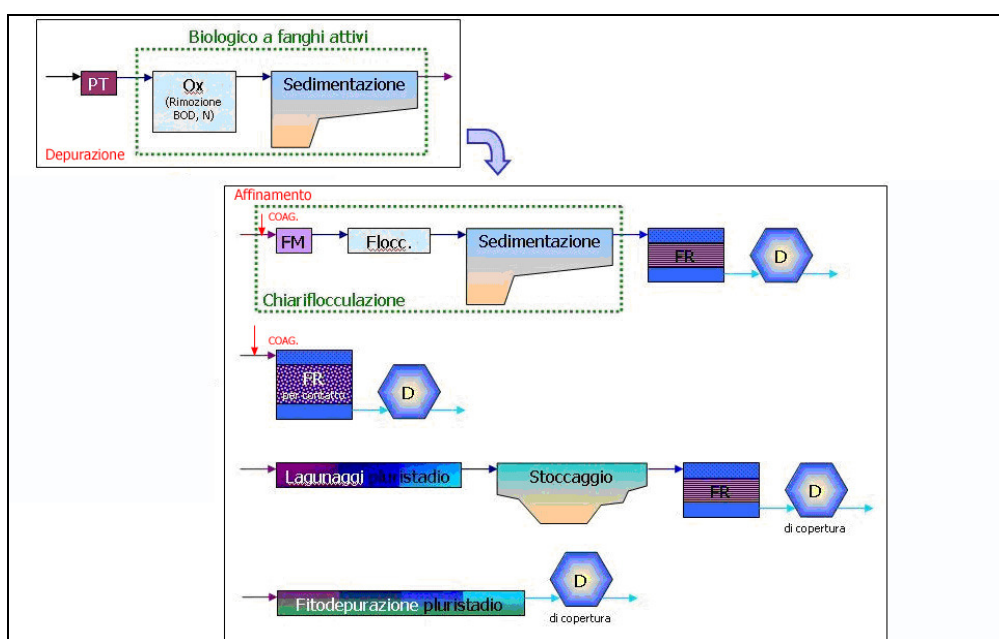


Fig. 2 - Schemi convenzionali di recupero di acque reflue a valle della depurazione. FM: coagulazione; Flocc: flocculazione; FR: filtrazione rapida; D: disinfezione.

Il processo di filtrazione su materiale granulare (filtrazione di volume) richiede l'utilizzo di letti ad alto strato o multistrato, con le seguenti principali caratteristiche:

- diametro nominale > 1,2 mm con altezze di letto dell'ordine di 1,8÷2,2 m;
- tempi di ciclo di almeno 24÷36 ore;
- velocità di filtrazione nell'intervallo 6÷10 m/h.

Operando su reflui depurati di sufficiente (TSS < 25 mg/L) e ragionevolmente costante qualità, la *filtrazione per contatto* - con dosi di coagulanti⁵ dell'ordine di 10÷20 mg/L (usando FeCl₃) e circa doppie, usando Al₂(SO₄)₃ - fornisce risultati analoghi a quelli di

³ Accanto al succitato schema d'affinamento, cresce l'interesse per la fito-depurazione e per gli altri trattamenti naturali, soprattutto per le piccole potenzialità.

⁴ Una soluzione a questo aspetto potrebbe essere quella di inviare all'affinamento una portata costante, ad esempio quella media di tempo secco.

⁵ Eventualmente coadiuvati dall'aggiunta di un poli-elettrolita (dosi di circa 0,5 mg/L).

impianti più complessi (dotati di chiariflocculazione completa o di flottazione ad aria disciolta); il miglioramento delle prestazioni della disinfezione successiva è più marcato per la radiazione UV e per l'ozonizzazione, peraltro di uso meno frequente. Si può anche ricorrere (per piccoli-medi impianti) a filtri tessili su tamburo (*filtrazione di superficie*), vantaggiosi in termini di ingombro e di continuità di funzionamento, ma che non prevedono la possibilità di usare coagulanti per migliorare la separazione di TSS.

Per quanto riguarda l'abbattimento della carica microbiologica, la scelta del sistema di *disinfezione* assume fondamentale importanza, soprattutto se l'obiettivo è quello di garantire la qualità dei reflui depurati non solo immediatamente a valle della sezione di affinamento, su cui si focalizza la normativa vigente, ma anche a livello dell'utilizzatore finale (eventuali problemi di ricrescita). A questo proposito si è potuto verificare [7, 9] che utilizzando acido peracetico (PAA) con dosi⁶ ≥ 2 mg PAA/L non si registrano significativi effetti di ricrescita dei coliformi. Nel caso dell'uso di UV, è stato verificato [10] che se la disinfezione è condotta con dosi radianti⁷ > 40 mJ/cm² gli effetti di ricrescita da foto-riattivazione dei coliformi sono praticamente assenti (in assenza di esposizione alla luce solare non si ha mai ricrescita [11]).

E' inoltre importante considerare, oltre alla capacità di inattivazione dei microrganismi a valle del trattamento, anche la possibile formazione di sottoprodotti di disinfezione (DBPs) e la loro tossicità. La disinfezione, tradizionalmente legata all'uso di cloro-derivati (in particolare NaClO), porta inevitabilmente a formare organo-alogenati nocivi, tra cui sono normati i trialometani totali (TTHM). La clorazione, pur se formalmente ammessa, viene così intrinsecamente scoraggiata: il limite (TTHM $\leq 0,03$ mg/L) è facilmente superabile su effluenti nitrificati e filtrati. Prove sperimentali di clorazione eseguite sull'effluente di un impianto biologico (riportate in [4, 6]) hanno evidenziato l'impossibilità di rispettare lo standard di legge: anche con le dosi più basse sono stati infatti rilevati valori di TTHM $> 0,04$ mg/L.

In questa situazione si rende necessaria la sostituzione dei cloro-derivati con altri agenti quali, in particolare, la radiazione UV e il PAA, per i quali - alle comuni dosi di impiego - il livello di DBPs appare essere molto ridotto [5]. L'ozono è invece prevalentemente impiegato, nel settore del recupero delle acque usate, per l'ossidazione di eventuali composti refrattari [8].

Qualora, infine, il campo di reimpiego del refluo richieda trattamenti di affinamento avanzati per la rimozione di specifici inquinanti residui, come il colore ed i tensioattivi (soprattutto in ambito di riuso industriale) possono essere prese in considerazione fasi di affinamento spinto quali (cfr. Fig. 3): a) *adsorbimento su carbone attivo* (GAC/BAC); b) *ossidazione* (O₃/AOP); c) *metodi a membrana* (MF/UF/NF/RO)⁸. Va peraltro chiarito che in tal caso i costi di gestione subiranno un significativo aumento, in particolare nel caso dell'impiego di sistemi a membrana sotto pressione.

⁶ Prodotto puro.

⁷ Già per dosi radianti > 25 mJ/cm² la ricrescita risulta complessivamente modesta.

⁸ I processi a membrana in pressione, sono usati come fase di affinamento autonomo, a valle delle fasi biologiche e con adeguata scelta del taglio molecolare, solo qualora sia richiesto un livello di qualità molto elevato (rimozione da molto spinta a pressoché totale degli inquinanti). Essi presentano tuttavia, oltre all'impegno energetico, anche il problema dello smaltimento del retentato (10÷20% della portata alimentata) con ulteriore incidenza sui costi.

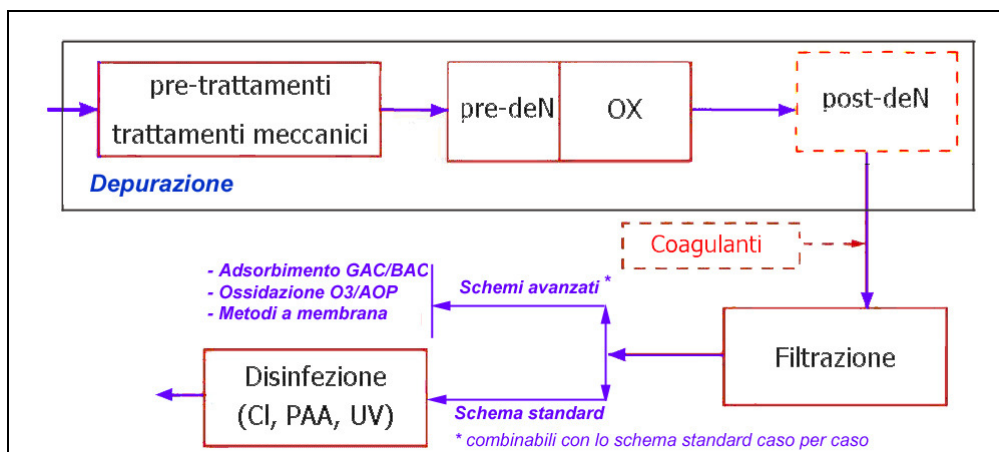


Fig. 3 - Schemi di depurazione e recupero (anche con trattamenti avanzati).

3. Conclusioni

Il recupero delle acque reflue consente in molte situazioni di ottenere significativi vantaggi sia in termini di disponibilità di risorse aggiuntive, che dal punto di vista del bilancio ambientale complessivo. Acque conformi alle richieste normative possono essere ottenute con schemi di trattamento complessivamente semplici (filtrazione per contatto e disinfezione o, per impianti di dimensioni piccole-medie, metodi naturali). Tali schemi consentono una buona rimozione di TSS e carica micro-biologica (incluse le frazioni resistenti alla disinfezione), a costi piuttosto ragionevoli, soprattutto se gli impianti depurazione sono già dotati di una fase di filtrazione. Solo nel caso di specifiche richieste di qualità è necessario fare ricorso ai cosiddetti trattamenti avanzati.

4. Bibliografia

- [1] USEPA (1999). *Alternative disinfectants and oxidants*. Guidance Manual.
- [2] White G. C. (1999). *Handbook of chlorination and alternative disinfectants*. 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [3] Gottschalk C., Libra J.A., Saupe A. (2000). *Ozonation of water and wastewater. A practical guide to understanding ozone and its application*. Wiley-VCH (RFT).
- [4] Nurizzo C. (2003). *Reclaimed water reuse in the Mediterranean region: some considerations on water resources, standards and bacterial re-growth phenomena*. Water Sci.&Technol.-Water Supply, 3, 4, 317-324.
- [5] USEPA (2004). *Guidelines for water reuse*. EPA/625/R-04/108.
- [6] Nurizzo C., Antonelli M., Profaizer M., Romele L. (2005). *By-products in surface and reclaimed water disinfected with various agents*. Desalination, 176 (1-3 Spec. Issue), 241-253.
- [7] Antonelli M., Rossi S., Mezzanotte V., Nurizzo C. (2006). *Secondary effluent disinfection: PAA long term efficiency*. Env. Sci.&Technol., 40 (15), 4771-4775
- [8] Antonelli M., Mezzanotte V., Nurizzo C. (2006). *Ozonation of a secondary effluent both for fresh water protection and re-use*. Water Practice & Technology (doi10.2166), 1(2), 1-8.
- [9] Rossi S., Antonelli M., Mezzanotte V., Nurizzo C. (2007). *Peracetic acid disinfection: a feasible alternative to wastewater chlorination*. Water Env. Res., 79, 4, 341-350.
- [10] Mezzanotte V., Antonelli M., Citterio S., Nurizzo C. (2007). *Wastewater disinfection alternatives: chlorine, ozone, peracetic acid and UV light*. Water Env. Res., 79, 12, 2373-2379.
- [11] Antonelli M., Mezzanotte V., Nurizzo C. (2008). *Wastewater disinfection by UV irradiation: short and long-term efficiency*. Env. Eng. Science, 25 (3), 363-373.