

# Geologia dell'Ambiente

Supplemento al n. 1/2019  
ISSN 1591-5352

Periodico trimestrale della SIGEA  
Società Italiana di Geologia Ambientale



Atti del convegno

## LA GESTIONE DELLE ACQUE DEPURATE PER LA TUTELA AMBIENTALE DEL SISTEMA COSTIERO

Fasano (BR), 5 giugno 2018



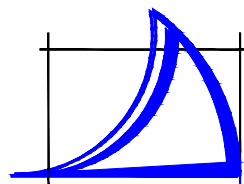
A cura di  
**MARIA DOLORES FIDELIBUS**



# progettiamo un futuro migliore

**SOCIETÀ DI INGEGNERIA PER L'AMBIENTE**

Progettazione con software BIM  
Progettazione edilizia integrata  
Progettazione impianti di depurazione  
  acque reflue, reti di distribuzione e fognature  
Verifiche preventive della progettazione  
Valutazione Impatto Ambientale  
Indagini e Monitoraggi Ambientali  
Autorizzazione Integrata Ambientale  
Prevenzione e Riduzione integrate dell'inquinamento  
Progettazione Caratterizzazioni e Bonifiche  
Progettazione di Cave e Discariche



**ASTRA**  
engineering s.r.l.

MILANO  
Via Belgirate, 20  
GALATINA (LE)  
Via C. Mauro, 2

info@astraengineering.com



[www.astraengineering.com](http://www.astraengineering.com)

## Società Italiana di Geologia Ambientale

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare con D.M. 24/5/2007 e con successivo D.M. 11/10/2017

**PRESIDENTE**  
**Antonello Fiore**

**CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE**  
Danilo Belli, Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio (Segretario), Daria Duranti (Vicepresidente), Antonello Fiore (Presidente), Sara Frumento, Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti (Presidente onorario), Gioacchino Lena (Vicepresidente), Luciano Masciocco, Michele Orifici, Vincent Ottaviani (Tesoriere), Angelo Sanzò, Livia Soliani

**Geologia dell'Ambiente**  
**Periodico trimestrale della SIGEA**

**Supplemento al N. 1/2019**

Anno XXVII • gennaio-marzo 2019

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352  
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229  
del 31 maggio 1994

**DIRETTORE RESPONSABILE**  
**Giuseppe Gisotti**

**COMITATO SCIENTIFICO**  
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Giancarlo Bortolami, Giovanni Bruno, Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado, Gioacchino Lena, Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro

**COMITATO DI REDAZIONE**  
Fatima Alagna, Federico Boccalaro, Giorgio Cardinali, Francesco Cancellieri, Valeria De Gennaro, Fabio Garbin, Gioacchino Lena, Maurizio Scardella

**REDAZIONE**  
Sigea: tel. 06 5943344  
Casella Postale 2449 U.P. Roma 158  
[info@sigeaweb.it](mailto:info@sigeaweb.it)

### PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE DEGLI ARTICOLI

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione, dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti ad un giudizio di uno o più referees

**UFFICIO GRAFICO**  
**Pino Zarbo** (Fralerighe Book Farm)  
[www.fralerighe.it](http://www.fralerighe.it)

**PUBBLICITÀ**  
Sigea

**STAMPA**  
Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

La quota di iscrizione alla SIGEA per il 2019 è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente".  
Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo [www.sigeweb.it](http://www.sigeweb.it)

# Sommario

Prefazione	
MARIA DOLORES FIDELIBUS	5
Introduzione	
VITO FELICE URICCHIO	6
Gestione acque depurate	
FABIANO AMATI	7
Risorsa idrica e qualità del territorio come risorsa	
ANNA MARIA CURCURUTO	10
La depurazione in Puglia: da problema a risorsa	
FRANCESCA PORTINCASA, PIERVITO LAGIOIA	15
I monitoraggi delle acque marine pugliesi: qualità e criticità	
NICOLA UNGARO	17
Cause ed effetti di malfunzionamento di impianti per il trattamento delle acque reflue nel Sud Italia	
RAFFAELE PICA	24
Tecnologie non convenzionali per il trattamento delle acque reflue urbane nell'ottica dell'economia circolare	
SABINO DE GISI, MAURIZIO GALASSO, MICHELE NOTARNICOLA, GIOVANNI DE FEO	27
Acque reflue e agricoltura sostenibile	
MARCELLO MASTRORILLI	36
Il clima e la disponibilità di acque sotterranee in Puglia: effetti recenti e le novità in tema di ricarica controllata	
DOMENICO CASARANO, VITTORIA DRAGONE, MAURIZIO POLEMIO	40

In copertina: Impianto di affinamento e riutilizzo di Fasano Forcatella (Br)

La depurazione avanzata di acque reflue urbane per il recupero integrale delle risorse e la valorizzazione ambientale nell'economia circolare: il lago Forcatella di Fasano e la sperimentazione per il riuso potabile ORONZO SANTORO	45
Uso e riuso dell'acqua nell'economia circolare ANTONIO PAGLIONICO	52
Uno schema di trattamento innovativo per il riutilizzo delle acque reflue in agricoltura MARCO DE SANCTIS, SILVIA CHIMIENTI, VALERIO GUIDO ALTIERI, CLAUDIO DI IACONI	58
APPENDICE	65

# Prefazione

**Maria Dolores Fidelibus**  
 Prof. Ass. Geologia Applicata  
 DICATECh - Politecnico di Bari  
 E-mail: [mariadolores.fidelibus@poliba.it](mailto:mariadolores.fidelibus@poliba.it)

**D**al titolo del Convegno si estraggono le parole chiave che ne hanno guidato la genesi. Esse sono “gestione”, “acque depurate”, “tutela ambientale” e “sistema costiero”. Ciascuno di questi termini può essere declinato in forme diverse a seconda del contesto in cui esso è usato. Il titolo del Convegno li lega volutamente per delineare un piccolo segmento del ciclo dell’acqua e del flusso di materia che, in un contesto di ambiente antropizzato, connette le attività di uso e gestione delle risorse idriche, di trattamento delle acque reflue e smaltimento delle acque depurate al recapito finale, l’ambiente costiero.

Pur essendo insignificante in termini di biomassa, rappresentando solo lo 0,01% della biomassa totale della Terra, la specie umana ha un impatto devastante sui servizi ecosistemici, alla cui salute è inestricabilmente collegata quella umana.

È ormai a tutti evidente la profonda trasformazione dell’ambiente terrestre denominata cambiamento globale (*global change*): tale trasformazione è iniziata secoli fa, ma ha subito una importante accelerazione – *the great acceleration* – durante la seconda metà del XX secolo. Lentità e la velocità dei cambiamenti dell’ambiente globale causati dall’uomo in questo ultimo lasso di tempo sono senza precedenti, almeno rispetto agli ultimi cinquecentomila anni. Durante gli ultimi 100 anni la popolazione umana è passata da poco più di uno a sei miliardi di persone, con duplicazione delle attività economiche tra il 1950 e il la fine del secondo millennio. Metà della superficie terrestre è stata alterata per uso diretto dell’uomo e la morfologia terrestre, così come la composizione dell’atmosfera e delle acque sono ora significativamente diverse da quelle di un secolo fa.

I *driver* del *global change* sono demografici, socio-politici, economici, culturali e religiosi, scientifici e tecnologici, con inevitabili interazioni, feedback e strette interconnessioni attraverso la globalizzazione delle economie e dei flussi informativi. Questi *driver* producono variazioni dell’ambiente a scala multipla, da quella locale sino a quella globale, laddove le risposte del sistema terrestre possono essere chiaramente riscontrate nei ciclo bio-geochimico, nel ciclo idrologico e nel clima. Le attuali variazioni della temperatura media e della distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni, la risalita del livel-

lo mare, i ricorrenti periodi di siccità, le alluvioni e la desertificazione dei suoli sono fattori che possono provocare nel prossimo futuro cambiamenti drammatici delle riserve d’acqua, delle colture e dei servizi ecosistemici in generale, motivando effetti a cascata in termini di frammentazione delle società e migrazioni di larga scala.

Sino al recente passato le nazioni più industrializzate ed avanzate mantenevano la fiducia nelle capacità dell’innovazione tecnologica per la soluzione delle sfide ambientali, sicuri che economie forti potessero permettersi i costi di tale innovazione per il governo dei mutamenti. In tale visione, gli ambienti naturali sono stati considerati fornitori di alcuni servizi critici per la vita umana, come la regolazione del clima e del livello di ossigeno nell’aria, ma la maggior parte degli altri benefici derivanti dai servizi ecosistemici sono stati ritenuti sostituibili o recuperabili dalla tecnologia. Nel tempo i governi hanno dovuto ammettere la loro impotenza nel risolvere i problemi ambientali agendo sulla sola scala locale, riconoscendo che occorre agire all’interno di una strategia che guardi a scale superiori. A questa variazione delle prospettive gestionali hanno contribuito gli scenari, che sono l’unico strumento che abbiamo per ragionare sul futuro, nonostante le incertezze dei modelli relativamente all’andamento delle variabili umane e ambientali coinvolte. Gli scenari generali per il 2050, prodotti da un gran numero di organizzazioni mondiali ed enti di ricerca, non sono affatto confortanti. Pur nel loro diverso grado di preoccupazione, gli scenari concordano sul fatto che siamo ad un punto critico della vita del pianeta e che abbiamo bisogno di un’azione collettiva per attuare un cambio sistemico del nostro stesso habitus antropologico.

Oggi assistiamo quindi ad un riorientamento importante della cultura gestionale in tema ambientale, generato dallo sforzo globale di ragionare sui processi socio-ambientali, sui problemi generati dal sovrasfruttamento del pianeta e sui rimedi del cambiamento globale. Tale riorientamento vede una maggiore attenzione verso una visione integrata e olistica, trans-disciplinare e a rete, con il progressivo abbandono del criterio deterministico lineare, causa-effetto, laddove gli interventi sull’ambiente devono tener conto delle conseguenze di ciascuna azione sull’intero sistema e a lungo termine.

Questo è il complesso contesto in cui inquadrare il significato di quel segmento del ciclo d’acqua e materia che il Convegno ha voluto esplorare. Alla luce delle premesse è evidente che tale segmento è limitato e non esaustivo della complessità delle relazioni tra uomo e ambiente mediate dall’acqua.

Una sfida importante della ricerca in questo segmento è la comprensione del ruolo dell’ambiente in sotterraneo quale ambito di collegamento laterale tra i flussi terrestri di acqua e materia e i sistemi costieri. Nonostante i grandi sforzi della ricerca, le modalità di connessione terra-mare attraverso gli acquiferi e i processi chimico-fisico-biologici che interessano tale ambito rimangono di difficile delineazione, vuoi anche, nella regione pugliese, per la grande complessità degli acquiferi carsici interessati.

Resta il fatto che, pur strettamente con concentrazioni nei limiti di legge, introduciamo “dosi” annuali di inquinanti nell’ambiente che potrebbero un domani superare la sua resilienza. Occorre quindi pensare a ridurre drasticamente tali dosi e, non ultimi, i consumi dell’acqua. L’uso di acqua depurata per scopi potabili eviterebbe il problema del rilascio nell’ambiente di acque che rinvengono da cicli meno spinti e contribuirebbe, come qualsivoglia riciclo, a ridurre l’impatto quantitativo e qualitativo sull’ambiente. L’uso di acque depurate per scopi potabili non è facile da accettare, ma alcuni paesi come Singapore, l’Australia e la Namibia, e stati come la California, la Virginia e il New Mexico hanno da tempo preso questa strada.

La Sigea, attraverso la pubblicazione degli interventi al Convegno, ha inteso contribuire ad aumentare la consapevolezza generale riguardo la complessa catena gestionale, operativa e di ricerca che interessa l’acqua che noi usiamo. Tale catena non è il frutto di una magia. È invece il risultato di un’enorme lavoro ed ha dei costi elevatissimi. La distribuzione, conservazione, e purificazione dell’acqua riguarda innumerevoli pagine di documenti, migliaia di ore di incontri pubblici, e il contributo di moltissimi esperti, alcuni dei quali rappresentati in questo supplemento. In ogni caso, nel loro insieme, i lavori pubblicati riescono a dare il senso della numerosità delle competenze e dell’intreccio delle componenti che è necessario coinvolgere in forma integrata per ragionare di acque depurate.

**I**l tema della gestione sostenibile delle acque depurate, di straordinaria rilevanza in questo particolare momento storico, reso ancora più critico dagli effetti dei cambiamenti climatici, diviene ancora più importante e strategico nelle aree costiere caratterizzate da una amplificata fragilità.

Il rapporto fra cambiamento climatico e gestione delle risorse idriche in ambito costiero rientra a pieno titolo fra le questioni che necessitano di un impegno corale che, a partire dal comportamento dei singoli cittadini, approda, passando attraverso tutte le componenti istituzionali, ad una indispensabile collaborazione tra mondo delle imprese e sistema della ricerca.

All'acqua ed alle sue vie – che in ogni caso terminano il loro percorso in mare – al loro utilizzo personale e collettivo, continuano a essere legate buona parte delle possibilità e capacità di sviluppo del nostro Pianeta, comprendendo i temi dell'approvvigionamento potabile, degli usi agricoli ed industriali, della produzione di energia, degli utilizzi ludici.

Da quando la crescita demografica e lo sviluppo economico, spesso associati a livelli di inquinamento molto elevati, hanno accresciuto notevolmente la “domanda” di acqua, stiamo ancor più vivendo la consapevolezza diffusa della dimensione, dell'ampiezza inedita, dei problemi che la società si trova ad affrontare.

Consapevolezza che si accresce in aree sottoposte a una pressione crescente quali le aree costiere caratterizzate da un incremento della popolazione – si pensi che quasi la metà della popolazione europea vive a meno di 50 chilometri dal mare – che spesso è causa di uno sfruttamento sempre più intenso, che genera degrado: le falde idriche si assottigliano e sono interessate da fenomeni di intrusione salina, l'erosione accelera, l'inquinamento incrementa anche a causa di scarichi non autorizzati, il turismo non sempre sostenibile fa sentire i propri effetti, le risorse ittiche diminuiscono e gli habitat naturali costieri sono sempre più minacciati.

Tali minacce toccano differenti livelli di scala e di complessità fino alla trasformazione e distruzione delle naturalità e la sensibile alterazione della biodiversità che a sua volta causa cambiamenti nella stabilità degli ecosistemi, ne riduce la funzionalità (distrofia) e la resilienza; senza dimenticare i numerosi servizi ecosistemici resi dalle aree costiere e che, anche per tale motivazione, occorre proteggere e tutelare privilegiando approcci conservativi.

In tale dimensione si colloca lo sviluppo tecnologico che supera la semplice dimensione economica degli investimenti in ricerca e innovazione, per richiedere attenzioni che puntano alla tutela degli ecosistemi, delle risorse e del nostro Pianeta. In tale contesto s'inquadra la pregevolissima iniziativa della Società Italiana di Geologia Ambientale che punta a trarre possibili soluzioni attraverso la creazione di progettualità congiunte di sperimentazione e di dimostrazione, favorendo lo scambio delle conoscenze nella loro integrazione originale che consolida le applicazioni innovative e genera nuova innovazione.

In tale direzione s'intende consolidare e collettivizzare la conoscenza scientifica per creare ulteriori opportunità di collaborazione, che accrescano le conoscenze delle imprese e consentano ai ricercatori di accedere in via diretta al fabbisogno d'innovazione espresso dal personale tecnico delle imprese.

Tali dinamiche non si esauriscono in un evento, sia pure di grande valore, in progetto o in un contratto di ricerca per la sperimentazione di nuove tecnologie, ma puntano a un rapporto continuo che includa una graduale osmosi di scienza applicata ed un adattamento continuo e sistematico dei risultati della ricerca ai bisogni ed alle fattispecie applicative e di mercato in continuo cambiamento.

Tutti siamo chiamati a collaborare ed a fornire un contributo convinto e senza riserve, per costruire insieme un'autorevole indicazione della strada da percorrere, in modo da mettere a disposizione di tutti un bagaglio di esperienze profondo, diversificato e prezioso per l'analisi dei problemi e la ricerca delle soluzioni.

# Gestione acque depurate

## Purified water management

Fabiano Amati

Presidente Commissione regionale  
Bilancio - Finanze - Programmazione,

Consigliere regionale

E-mail: [amati.fabiano@gmail.com](mailto:amati.fabiano@gmail.com)

Parole chiave: depurazione, acque depurate, lago di Forcatella, Acquedotto Pugliese  
Key words: purification, purified water, Forcatella's lake, Acquedotto Pugliese

**R**ingrazio per avermi invitato. Ho visto entrando tante facce conosciute nel periodo in cui ho svolto direttamente la funzione di amministratore regionale e vedendo queste facce mi è venuto in mente il film *C'era una volta in America* e lo scambio di battute iniziale: “Che cosa hai fatto in tutti questi anni?”, risposta: “Sono andato a letto presto la sera”. Questo per dire che ho mantenuto la passione per questi argomenti anche se da un'altra prospettiva: quella della programmazione, della pianificazione, dello studio e della ricerca. Sono contento che abbiate deciso di svolgere a Fasano questo convegno, non tanto perché Fasano è la mia città – e credo che questo abbia influito sugli organizzatori nell'affidare a me la conclusione dei lavori – ma perché siete in una città che su questo argomento ha superato molti tabù. Voi sapete che il mondo moderno non ne ha più e si parla con disinvoltura di tutto, ma c'è un unico argomento che ancora permane sotto forma di tabù: la cacca, nessun altro è paragonabile a questo e ogni qualvolta si incrocia questo tema fioccano le formule vagamente evocative, perché non sta bene parlare della cacca. In questa città invece questo tabù è stato abbattuto da un pezzo, tanto è vero che almeno una parte dei cittadini – quelli che hanno maggiore dimestichezza con questi argomenti – credono nella potenza della divulgazione scientifica. Ecco, perché è stato abbattuto? Da un punto di vista tecnologico, Fasano ha il più avanzato impianto di depurazione delle acque, pensato e realizzato per l'affinamento e poi per il riutilizzo. Ce ne sono tanti in funzione e lo sanno tutti i dirigenti dell'Acquedotto Pugliese che adempiono a una funzione romantica, quasi plastica, ma in realtà quest'acqua non la riutilizza nessuno. Qui c'è un'esperienza di questo genere, addirittura più avanzata: la sperimentazione, ma la vedrete direttamente grazie a Nino Santoro, ottimo gestore dell'impianto di depurazione e affinamento di Forcatella, persona meritevole perché all'attività imprenditoriale ha affiancato la sperimentazione. In questo impianto siamo arrivati anche a sperimentare la potabilizzazione delle acque affinate.

Dal punto di vista concettuale, quando l'abbiamo presentata o rappresentata ha destato parecchia curiosità critica, anche alimentata attraverso il surrogato moderno delle cantine (cioè Facebook), perché un tempo si andava lì a spiegare tutto il proprio sapere, magari qualche scienziato usava il gas esilarante, qualche altro il vino, però il gas da sempre era preferibile, perché produceva gli stessi effetti del vino ma non dava tutti i problemi che il vino comporta. Una sperimentazione contestata, perché è l'ultimo tabù e bisogna ora spiegare che la potabilizzazione serve per realizzare un ulteriore avanzamento nel riutilizzo in agricoltura, in quanto con l'affinamento classico e tradizionale puoi irrigare gli apparati radicali, e ti devi fermare lì. Ma per avanzare nel processo di affinamento fino alla potabilizzazione, dal punto di vista normativo, bisogna fare ben altro e quindi “la domanda e l'interesse verso il prodotto crescono”.

Questo impianto – per altro – è situato nel bel mezzo di importantissimi e imponenti resort cinque stelle lusso, nella amenità più avanzata – quella che va a Pil sul consumo, in particolare di colui che ha di più, di colui che vorrebbe avere sempre il meglio, come nel film *Pretty Woman*, dove lui sceglie il palco centrale nonostante soffra di vertigini, purché abbia la vista migliore –.

Chi cerca sempre il meglio vorrebbe anche un impianto in grado di garantire la potabilizzazione dei reflui (per fare un paragone), elemento potente di divulgazione scientifica e amministrativa. Questa è l'esperienza di questa città. Abbiamo un problema però, ed è un problema che appartiene alla classe politica, ma appartiene anche a voi, in quanto classe dirigente che non è composta solo dagli eletti, ma anche dai professori universitari, dai dirigenti dell'Acquedotto Pugliese, dagli studiosi, dagli scienziati, dagli uomini di buona volontà, è composta da tutti. Il problema è che non riusciamo a tramutare la bellezza delle relazioni in potente argomentazione per dire chi siamo.

La nostra storia ha una data di inizio: il 17 e 18 dicembre del 1911 quando, nella Sala consiliare del Comune di Bari, Achille Sclavo fu chiamato a tenere

una conferenza sulla degenerazione biologica delle acque di fogna con Alberto Missiroli; i due spiegarono ai pugliesi che “se la passavano molto male a causa dell'assenza di fiumi e laghi” e proposero una soluzione: la canalizzazione. (Per sapere di più a riguardo consiglio la lettura completa di questi atti pubblicati insieme ad Arpa e a proposito ringrazio in questa sede il mio caro amico prof. Assennato per la sua predilezione nella comprensione dei fondamenti di questa storia, in quanto professionista della materia che sa raccontare la potenza dell'argomento).

La storia della Puglia nasce così, una regione potente in materia di depurazione grazie ad Acquedotto Pugliese. Ma in giro ci sono tanti acquedottisti fai da te che non conoscono il contenuto del decreto ministeriale sull'affinamento delle acque.

La giornalista Milena Gabanelli in un articolo ha elogiato le potenzialità e la bellezza della depurazione dove, attraverso un grafico, mostra con punti rossi gli inadempimenti e a tal proposito la Puglia ne ha pochissimi – disseminata al contrario di punti blu che indicano la buona riuscita della depurazione – a differenza di altre regioni del sud Italia. Una cartina che reclama le virtù della Puglia. Eppure in molti – sbagliando – sono convinti che l'Acquedotto abbia dato più da mangiare che da bere, come racconta la storia. Fu Gaetano Salvemini a lamentarsi con i genovesi vincitori dell'appalto, in quanto prendevano tutti i materiali dalla Liguria e impegnavano i piccoli maniscalchi pugliesi per le riparazioni, e per questo Salvemini affermò che “Acquedotto Pugliese stava dando più da mangiare ai genovesi che da bere ai pugliesi”. Una frase che fu utilizzata poi dal direttore del *Corriere della Sera* Mario Missiroli in maniera differente: scrisse infatti che “Acquedotto Pugliese dà più da mangiare che da bere” e da allora noi la riprendiamo sbagliando, ed è proprio il quadro sinottico mostrato dalla Gabanelli a raccontare una bella storia sulla Puglia in materia di gestione e depurazione delle acque.

Questa è la potenza pugliese che si incrocia anche con diverse scienze, non solo quelle naturali, perché anche

le scienze umane hanno una notevole complicità con questo argomento. Basta pensare a uno dei capitoli de *I miserabili* di Victor Ugo – una lettura che consiglio di fare – che è un trattato di merceologia in cui l'autore accusa i parigini di gettare ricchezza (ovvero liquami) nel mare, ricordando il guano degli uccelli che è ricchezza, la cacca degli uomini, come la mia e la vostra. Nessuno è immune, anche quella dei contestatori della depurazione è ricchezza, questa è l'altra faccia dell'acqua. Amare l'acqua significa anche amare la depurazione, come avete spiegato nelle vostre slides. In queste due facce si racchiude la potenza della depurazione, a cui non mancano né tecnologia né studi, ma divulgazione, ovvero la conoscenza del problema. Gli investimenti – che sono l'indicatore più formidabile dello stato di salute delle politiche – dicono che è sempre più difficile spendere risorse per il potenziamento di impianti di depurazione, per la costruzione di impianti di affinamento, o di rinaturalizzazione. Sono quasi sempre inutilizzati, perché assoggettati a rimodulazione, in quanto non c'è richiesta. Si investe più per ciò che si vede (lampioni, panchine e arredo urbano) che per ciò che è nel sottosuolo (fogna e reti irrigue).

Ma anche coloro i quali sono esperitissimi di questo argomento dimenticano la lezione di Karl Von Terzaghi, padre della geotecnica che diceva più o

meno così: “Non c'è gloria per chi si occupa del sottosuolo se non tardiva fama”, proprio lui che di fama ne ebbe tantissima, soprattutto nel conflitto con Paul Fillunger sulla teoria della consolidazione, una disputa accademica sfociata poi nel suicidio di Fillunger, ma questa è una un'altra bella storia che sarebbe interessante trattare in un altro momento.

Questo per dire che in pochi chiedono investimenti per un impianto di affinamento o per un lago come quello di Forcatella di Fasano, nessuno chiede finanziamenti in questo ambito, in quanto manca la consapevolezza nella classe dirigente sull'importanza di questo argomento. C'è chi dice: “Noi siamo sostenitori dell'economia circolare e del recupero delle materie” e poi scopri che quel pensiero è limitato al riutilizzo della carta del pane. E invece bisogna spiegare che il recupero di materie è una cosa importantissima, non esiste recupero senza un grande processo industriale. Il concetto di riutilizzo non si deve limitare alla carta del pane da riusare in casa, questo è un concetto nostalgico che non si accorda con la tecnologia e con i tempi che avanzano. Tutto questo si manifesta in maniera eclatante, con gravi danni anche personali, ai dirigenti di Acquedotto Pugliese, ai quali ancora una volta mando la mia solidarietà per i numerosi processi penali a cui vengono sottoposti in maniera ingiusta e infondata. Lo dico e invito voi altri a dire la stessa cosa:

teniamo alta la bandiera di quel processo imponente che ci ha portato sin qui dal 1911, che ci ha assicurato un quadro sinottico ad uso Gabanelli. E invece – mentre tutto questo accade – c'è in qualche agglomerato, per fortuna residuo di questa regione, ostinazione e critica basata sulla formazione dettata “dall'università della vita di Google”, c'è chi è disposto a farsi fregare dall'algoritmo di Google, utilizzato anche per contestare il depuratore di Sava Manduria: Google con la complicità del suo algoritmo offre tutti i link per mettere in scena la tua protesta più virulenta nei confronti di tutti e su qualsiasi argomento, soprattutto scientifico. E poi c'è sempre chi vuol prendere il posto del sindaco in carica accusando qualcuno di qualcosa e così la manifestazione è servita. E nel frattempo si avvia una procedura di inadempimento, una procedura di infrazione e poi magari si è chiamati a pagare 25 milioni per inadempienza, così come è accaduto a Porto Cesareo, Nardò, Taviano e Casamassima, a causa delle manifestazioni contro i depuratori. I dirigenti di AQP conoscono queste storie, parliamo di 164 mila euro al giorno, per gli ulteriori giorni di adempimento: e chi paga se sei condannato a pagare? Non di certo i marziani che vengono a finanziare le casse pubbliche, i fondi pubblici non esistono, perché parliamo di una somma di tanti piccoli versamenti privati, e quindi paghiamo noi.



Figura 1.





Figura 2.

Se la domenica o il sabato c'è una manifestazione contro il depuratore per una suggestione relativa allo scarico a mare, in quel momento la scienza è convocata, non è solo responsabilità di chi amministra ma anche di chi sa, per non rendere vano il vostro lavoro e per spiegare tutte le slides che con vigore scientifico e attenzione voi avete preparato e presentato in questo convegno, anche prendendo di mira quello che c'è oltre il presente. Provate ad immaginare: se nel presente non riusciamo a fare resistenza in quegli agglomerati che ancora ci sono, oltre il presente cosa accadrà, cosa significherà per la tecnologia più innovativa in materia di fanghi, gestori in sequenza, che cosa succederà?

Può accadere che da Rai 3 qualcuno realizzerà una intervista ad un tizio che parla di fertilizzazione di terreni con i fanghi di depurazione e di conseguenza parlerà di qualità scadente di ciò che verrà coltivato e quel tizio dirà che “ci vogliono avvelenare”. Tenete d'occhio ciò che accadrà, mentre voi state raccontando le acque affinate per l'agricoltura nella prospettiva che si riduca la salinizzazione nell'ambito della previsione del 2060, c'è qualcuno che sta preparando la nuova frontiera della contestazione. Se la militanza scientifica non c'è ora, ciascuno di noi troverà sulla sua strada la sua Romina Power, come accadde a

me. Questo è l'apologo “dell'acquedottismo” fai da te, dal quale bisogna curarsi. La storia è questa: Depuratore di Sava-Manduria, c'è la protesta “No allo scarico a mare”, nonostante avessero loro deciso la destinazione dello scarico. E invece proteste ad oltranza fino a quando non interviene Romina Power che scrive una lettera aperta contro lo scarico a mare e contro la Giunta regionale. Un giornalista mi chiede di commentare ed io rispondo: “La depurazione non è assimilabile al ballo del qua qua”. Non avrei mai pensato di avere tutto questo onore nel riportare questa frase. Tutti i giornali aprirono con questa dichiarazione, ma non perché io avessi detto una cosa giusta, ma perché dopo qualche ora Albano – che non parlava con Romina da 10 anni – intervenne per difendere la ex moglie dall'aggressione verbale del “bruto” Assessore regionale. Anche Barbara D'Urso si interessò, non per parlare di depurazione, ma per raccontare il gesto di Albano a difesa di Romina. Sui tabloid dell'epoca avevano anche scelto una foto in cui ero imbronciato. L'epilogo buffo della storia arriva quando rispondo ad una telefonata: “Pronto, sono Loredana Lecciso e volevo dirti che sono d'accordo con te”. Racconto questa parentesi della mia vita amministrativa, perché trovo insopportabile che nel 2018 a Sava-Manduria si gal-

leggi sui liquami, lo trovo insopportabile, incivile: la depurazione è un sistema di ambientalizzazione e salute, come gli ospedali e non è possibile che la classe dirigente non reagisca a muso duro opponendosi a queste proteste, e – come ho già detto – ci sono città in cui questi impianti sono inseriti nel bel mezzo dei resort cinque stelle lusso.

Oggi avrete la possibilità di vedere questo bellissimo impianto che si potrebbe addirittura migliorare, perfezionare. Altrove potrebbero fare anche di meglio, perché al meglio, come al peggio, non c'è mai limite. Intanto cerchiamo sempre di migliorare, affinché alla fine di questo incontro formativo, anche valorizzando le riflessioni che vi ho proposto, possiate trasformarvi, attraverso la vostra professione, in avanguardia di questa bella novella. Una storia in cui l'uomo, riconciliandosi con le sue funzioni corporali e abbattendo l'ultimo tabù, avvia la sua più grande stagione di ricchezza e di ambientalizzazione, onorando tutte le persone che da più di un secolo hanno dato il loro contributo, sia quelle che sono morte sia quelle che sono vive – riconoscendo i meriti anche di chi agisce nel presente e non solo di chi ha costruito il passato. Solo così questa riflessione, al caldo di questa giornata di giugno, può essere un seme ulteriore gettato nella grande storia del servizio idrico integrato pugliese.

# Risorsa idrica e qualità del territorio come risorsa

## Water resource and land quality as a resource

**Parole chiave:** visione olistica, rigenerazione del paesaggio, approccio multidisciplinare nell'integrazione di natura infrastrutture e cultura, qualità diffusa, condivisione

**Key words:** holistic view, regeneration of the landscape, multidisciplinary approach in the integration of nature infrastructure and culture, wide spread quality, sharing choices

**Anna Maria Curcuruto**

Consigliere del Presidente per l'attuazione dei programmi in materia di sistemi idrici, risorse naturali e opere pubbliche già Assessore alla Pianificazione Territoriale - Urbanistica, Assetto del Territorio, Paesaggio, Politiche abitative e Assessore ai lavori pubblici, risorse idriche e tutela delle acque, difesa del suolo e rischio sismico della regione Puglia

E-mail: [ancurcur@tin.it](mailto:ancurcur@tin.it)

L'esperienza politica degli ultimi tre anni, prima come Assessore alla Pianificazione Territoriale, Urbanistica, Assetto del Territorio, Paesaggio, Politiche abitative, poi come Assessore ai lavori pubblici, risorse idriche e tutela delle acque, difesa del suolo e rischio sismico, infine come Consigliere del Presidente della Regione Puglia per l'attuazione dei programmi in materia di sistemi idrici, risorse naturali e opere pubbliche, ha arricchito enormemente la mia esperienza professionale e umana, aprendomi vastissimi orizzonti di conoscenza relativi al territorio, in tutti i suoi aspetti e le sue accezioni. La Puglia sta vivendo un periodo felice di notorietà nazionale e internazionale per il suo mare, l'arte, la storia e l'accoglienza turistica, determinando flussi di milioni di visitatori, e conseguenti introiti economici, che hanno sostenuto efficacemente l'economia pugliese in un momento generale critico per il paese.

La presenza di milioni di visitatori, concentrata per lo più nel tempo e nello spazio, ovvero nel periodo estivo e nelle zone costiere, ha messo in crisi talvolta l'intero sistema infrastrutturale, inteso non solo come viabilità, ma includendo la rete idrica, per i consumi, lo smaltimento dei reflui e la loro depurazione, per il sovraccarico, e molto altro.

È necessario dunque puntare all'efficienza del sistema Puglia, senza mai trascurare la qualità dei servizi e la cura della bellezza del territorio, il nostro principale attrattore, conciliando la sua tutela storica, paesaggistica e ambientale, con i bisogni e le aspettative sociali ed economiche dei pugliesi.

L'elemento critico rilevato nel sistema della programmazione economica e nella spesa dei finanziamenti pubblici, consiste nella difficoltà di raccordare le azioni rivolte a settori diversi, in una visione integrata d'insieme. Infatti spesso il finanziamento nasce per risolvere

specifiche problematiche del territorio e non ammette usi per finalità diverse, pur nell'ambito dello stesso progetto territoriale. Ad esempio i finanziamenti nazionali ed europei destinati al dissesto idrogeologico non consentono di intervenire sulla riqualificazione paesaggistica, e viceversa, pur operando talvolta su identici contesti, per problematiche che interagiscono tra loro. Per di più spesso entrambi gli interventi prescindono dalla presenza dell'uomo e delle sue necessità, come la fruizione dei luoghi attraverso la mobilità, veloce o lenta, o la sua valorizzazione turistica o agricola, e così via.

Una visione olistica del sistema territoriale non è una visione filosofica astratta, ma nasce dalla necessità di temperare le molteplici esigenze che ogni realtà vivente implica.

Il convegno "La gestione delle acque depurate per la tutela ambientale del sistema costiero" è un felice esempio di conciliazione tra necessità diverse, tra uomo, natura e infrastrutture, sottolineando una specifica problematica, che pure è collegata alla fruizione turistica (ed economica) della costa pugliese. Un rifiuto, il refluo, diventa risorsa e nel contempo limita l'inquinamento della costa e delle acque marine.

È questa la strada giusta.

La Regione Puglia negli ultimi anni ha saputo ben investire i fondi europei per il miglioramento del Servizio Idrico Integrato, sperimentando e introducendo tecnologie e misure innovative nella gestione dei servizi idrici, puntando al riuso delle acque reflue affinate ai sensi del D.M.n.185/03.

La Comunità Europea (POR 2014-2020-Azione 6.4.3) ha previsto risorse finanziarie (30 milioni di euro a cui si sono aggiunti altri 50 milioni di euro dei fondi del Patto per la Puglia - FSC 2014/2020) finalizzate all'attuazione delle misure infrastrutturali volte all'esercizio dei sistemi di recupero e riutilizzo (irriguo, ambientale, civile ed industriale) delle acque reflue urbane depurate ed affinate.



Figura 1.



Figura 2.



Figura 3.

I vantaggi sono evidenti, soprattutto in un contesto climatico e ambientale che ha creato non pochi problemi, recentemente anche nel corso dell'anno 2017 e sino ai primi mesi del 2018, sia in agricoltura che nei centri urbani, certo per la carenza della risorsa idrica in generale, ma anche per i disservizi di reti spesso obsolete, non interamente sostituibili in tempi brevi.

Le prospettive ed i vantaggi consistono prioritariamente nel risparmio di risorsa idrica pregiata, la sostituzione o comunque la riduzione dell'approv-



Figura 4.

vigionamento idrico dalle falde, assai comune in Salento, la riduzione degli scarichi inquinanti nel mare e nei corpi idrici. Inoltre tale risorsa idrica, monitorata costantemente e prodotta con continuità, presenta una maggiore affidabilità, nella sua disponibilità e qualità.

In agricoltura il riutilizzo risulta ancora più conveniente, sia nei termini di costo dell'acqua, che della riduzione del fabbisogno di concimazione per l'apporto di fosforo e azoto.

Anche il Piano di Tutela delle Acque individua tra i potenziali settori di utilizzo, oltre all'agricoltura, il più scontato, il riuso industriale, il riuso civile non potabile per l'irrigazione di giardini ed il lavaggio di strade e spazi pubblici, la riserva idrica antincendio, la ricarica delle falde, anche per evitarne l'eccesso di salinizzazione, la riqualificazione ambientale in genere, fino alla potabilizzazione per usi civili urbani.

Il bando regionale ha stimolato la partecipazione di ben settantasette manifestazioni di interesse preliminare,

per il finanziamento di interventi per l'attivazione e l'esercizio dei sistemi di recupero e riutilizzo in agricoltura delle acque reflue urbane depurate, da parte di Comuni, Provincie, Città Metropolitana, Consorzi di bonifica, ARIF ed Enti Parco.

Sono stati così finanziati 12 interventi con il POR PUGLIA 2014-2020, AZIONE 6.4.3.

In particolare la Regione ha stanziato 300.000 € per la potabilizzazione sperimentale delle acque reflue civili, depurate ed affinate, a Fasano, tra le prime sperimentazioni in Italia.

Nella prospettiva dei rilevanti cambiamenti climatici che ci attendono, pur se non a breve termine, è indispensabile non lasciarsi cogliere impreparati, diversificando le proprie fonti di approvvigionamento.

La più avanzata sperimentazione per la potabilizzazione dei reflui depurati, magari in prima fase destinati al consumo in zootecnia, è iniziata nel 2017 presso l'impianto di affinamento di Fasano-Forcatella.

Come ogni sperimentazione è mirata ad acquisire e valutare tecniche per ottenere un prodotto che abbia analoghe caratteristiche alle acque consumate in Puglia; lo stadio successivo consiste nell'analisi tecnico-economica dei dati relativi ai trattamenti, per orientare le fasi di produzione ed investimento, nella scala valutata opportuna.

Per il corretto orientamento delle scelte future, opera un comitato tecnico scientifico.

È stato emesso nel 2017 anche un *bando per la sperimentazione delle misure innovative in materia di risparmio idrico, depurazione per il contenimento dei carichi inquinanti, riabilitazione dei corpi idrici degradati attraverso un approccio ecosistemico della risorsa idrica n. 6.4.1-POR 2014/2020*, centrato sul riuso delle acque reflue affinate, sul monitoraggio e controllo delle risorse idriche nell'ambito del ciclo idrico integrato, sui sistemi di trattamento, smaltimento e gestione dei fanghi da depurazione prodotti dai depuratori civili gestiti da AQP.

La ricerca non riguarda solo il riutilizzo dei reflui depurati, ma anche altre tecniche quali, prioritariamente, la dissalazione, naturale in una regione che ha oltre ottocento chilometri di coste. Infatti il primo dissalatore sarà realizzato proprio nelle isole Tremiti.

La dissalazione è il campo più recente della sperimentazione pugliese, basato sulle esperienze dei paesi dell'afrika mediterranea e del medioriente, come Israele.



Figura 5.



Figura 6.



Figura 7.

Sono in corso analisi e progettazioni per la dissalazione delle acque, oltre alle isole Tremiti, anche per le acque salmastre come il Tara, per ampliare la gamma delle sorgenti, in considerazione sia della prospettiva sempre più frequente di stagioni siccitose, sia del dato oggettivo che la Puglia non possiede proprie fonti, ubicate sull'Appennino.

Nel selezionare i progetti sperimentali non sono state privilegiate le grandi comunità, ma l'interesse della proposta, individuando anche comunità medie o aggregazioni, talvolta abbinata a centri di ricerca universitari.

La scala del piccolo-medio impianto può essere vantaggiosa per il controllo e le verifiche necessarie ad una sperimentazione, come caso scuola, per riproporre poi il ciclo individuato anche a scala diversa per i comuni più popolosi.

Questa scelta è significativa anche sotto il profilo politico e sociale: i comuni piccoli e medi devono essere posti al centro dell'attenzione delle politiche regionali e statali; del resto i grandi comuni, in linea di massima, sono in grado di conquistare la ribalta da soli.

I centri urbani minori, pur se inseriti nelle aree interne rurali, costituiscono non solo risorsa per il turismo, ma in genere opportunità per la diversificazione dell'economia del paese, costituendo, insieme ai beni paesaggistici, storici ed ambientali, le uniche realtà economiche e produttive non delocalizzabili.

I borghi, le aree interne, i piccoli centri storici, consentono, se adeguatamente valorizzati, di conservare gli equilibri sociali, invertendo la tendenza allo sviluppo delle periferie urbane, che ha determinato la crisi di sistema delle città in materia sociale, di sicurezza, di inquinamento, di infrastrutture, di consumo di suolo, di degrado urbano materiale e immateriale, della qualità del vivere delle comunità.

Inoltre incentivare le iniziative dei comuni in aggregazione, oltre a costituire economie di scala, contribuisce a fare sistema, come realtà territoriale, non limitata dai confini amministrativi. Alcuni dei progetti regionali più interessanti vanno in questa direzione.

I progetti più recenti in materia di depurazione e di mitigazione del rischio idrogeologico, stanno dimostrando in generale una maggiore attenzione alla rigenerazione del paesaggio pugliese, attraverso la tutela delle acque. Ogni intervento nell'ambiente naturale, per realizzare qualsiasi tipo di infrastruttura, deve garantire infatti la tutela e la valorizzazione del contesto, soprattutto se



Figura 8.

già compromesso. La natura può ritrovare così le condizioni propizie per reimpossessarsi dei suoi spazi, superando le più rosee previsioni dei progettisti. Mi fa piacere ricordare due esempi virtuosi.

A Melendugno l'impianto di fitodepurazione del depuratore consortile di tre comuni, Melendugno, Calimera e Martignano, ha determinato la riqualificazione ambientale, attraverso la realizzazione di un'area umida artificiale collegata alla depurazione ed allo smaltimento delle acque. In una superficie di oltre otto ettari alcuni bacini di raccolta permettono lo scorrimento spontaneo delle acque attraverso la vegetazione palustre.

Nel suo percorso l'acqua si depura dagli inquinanti, favorendo lo sviluppo di specie animali e vegetali, determinando così un habitat circostante ricco di va-

lori naturalistici, utilizzando un sistema vegetale di fitodepurazione a "macrofite".

Al di là dell'interesse botanico e scientifico in genere, quel depuratore consortile serve efficacemente tre comunità di quasi 20.000 abitanti (che aumentano esponenzialmente in estate), appartenenti all'ambito della Grecia Salentina, centrale nell'economia del territorio, interessate da forti flussi turistici per le loro qualità ambientali, storiche, paesaggistiche, qualità che proprio il depuratore contribuisce a preservare, attraverso la rinaturalizzazione dell'habitat ed evitando gli scarichi in mare. A tutto vantaggio dei comuni:

- Melendugno di 10.000 abitanti, che fa parte dell'Associazione Borghi Autentici d'Italia e Città dell'Olio, dell'Unione della Grecia



Figura 9.

Salentina e aderisce al circuito turistico Agenzia di Sviluppo Territoriale Isola Salento e comprende nel suo territorio le rinomate spiagge di Roca, San Foca, Torre Specchia, Torre Sant'Andrea e Torre Dell'Orso, tutte premiate con la Bandiera Blu 2018;

- Calimera di 7.000 abitanti, che fa parte dell'Associazione Borghi Autentici d'Italia e dell'Unione della Grecia Salentina e aderisce al circuito turistico Agenzia di Sviluppo Territoriale Isola Salento;
- Martignano di 1.700 abitanti, che fa parte dell'Associazione Borghi Autentici d'Italia e dell'Unione della Grecia Salentina e aderisce al circuito turistico Agenzia di Sviluppo Territoriale Isola Salento.

Il secondo esempio, un altro caso pilota di "rinaturalizzazione" attraverso il riutilizzo delle acque reflue depurate, per lo sviluppo della biodiversità di una zona del recapito finale, è costituito dal depuratore di Gioia del Colle. Situata sull'altopiano delle Murge, 28.000 abitanti, storia ricchissima, origini peucete (Monte Sannace da cui ha origine la lama San Giorgio), abitato bizantino, castello normanno, sviluppo economico con gli Acquaviva di Aragona, oasi del WWF Boschi di Romanazzi o di Marzagaglia, il suo territorio è incluso anche nell'itinerario enogastronomico Strada dei Vini DOC della Murgia Carsica.

La zona è posizionata in un impluvio secondario della Lama San Giorgio. Nel recapito finale dell'effluente depurato, si smaltiscono le portate prodotte in campi di spandimento, progettati inizialmente con sistema a trincee drenanti, secondo un andamento a serpentina. I campi di spandimento sono suddivisi in sezioni collegate in serie a quote decrescenti da monte verso valle; il deflusso delle acque, attraverso un progressivo filtraggio del refluo già depurato, determina il miglioramento della qualità dell'effluente a valle, tanto che gli ultimi lotti sono stati colonizzati e rinaturalizzati da flora e fauna spontanea tipica delle zone umide d'acqua dolce.

Di recente sono stati raccolti dati attraverso osservazioni dirette ed ampia documentazione fotografica, di ben 62 specie di uccelli, molte tipiche delle zone umide e di interesse comunitario, incluse nell'*Allegato I- Direttiva Uccelli 2009/147/CE* e nella *Lista Rossa* delle specie nidificanti in Italia. La natura e la comunità ringraziano!

Si nota talvolta un atteggiamento ostile da parte delle popolazioni resi-



Figura 10.



Figura 11.



Figura 11.

denti nei confronti della realizzazione sul territorio di infrastrutture essenziali per l'ambiente, quali depuratori per il trattamento dei reflui urbani, o impianti per il trattamento rifiuti in genere.

In parte l'ostilità è motivata dalla scarsa attenzione che si presta all'inserimento dell'opera nel contesto ed al coinvolgimento dei cittadini.

Per mia esperienza diretta posso affermare che l'essenza della questione sia nella qualità del progetto, che, a sua volta, richiede la sua illustrazione e condivisione con la collettività.

È necessaria maggiore cura progettuale ed integrazione multidisciplinare, per un migliore inserimento nel contesto, attraverso tecnologia, architettura, colore, elementi vegetali di ri-ambientazione e mitigazione, che abbiano valenza paesaggistica, estetica, olfattiva.

È auspicabile un coordinamento nell'uso di vari e diversi tipi di finanziamenti, regionali, nazionali o europei, secondo i contesti, pur rivolti ad azioni diverse, ma interconnesse: per la riqualificazione paesaggistica, contro il dissesto idrogeologico, per la manutenzione

dei canali, per la mobilità dolce, per la rigenerazione territoriale in genere.

Certamente la gestione integrata di più finanziamenti è più complessa, poiché implica per esempio distinte rendicontazioni, ma l'impostazione burocratica impostata per settori distinti contrasta con l'uso razionale delle risorse, con la complessità del regime degli appalti e, soprattutto, con l'interesse del territorio.

Certo la carenza è a monte: spesso manca la pianificazione complessiva per l'individuazione degli obiettivi generali e la programmazione per la loro realizzazione.

Per questo è più efficace una programmazione aggregata per ambiti territoriali, poiché il paesaggio, l'idrogeologia, la natura in genere, ignorano i confini amministrativi comunali, in particolare dove la densità della popolazione sia particolarmente frammentata.

È preferibile, ove il contesto si presti, accorpate le infrastrutture di depurazione e smaltimento, per razionalizzarne la gestione, ridurre i consumi di suolo, gli impatti paesaggistici e ambientali, sia per i depuratori che per le condotte sottomarine, riservando a queste ultime un ruolo residuale, rispetto all'obiettivo del massimo riutilizzo dei reflui depurati, a tutto vantaggio dell'agricoltura e degli usi civili, per gli stessi comuni che li producono.

Per fare tutto ciò è indispensabile un coordinamento efficace, ad ampia scala territoriale, accompagnato da una formazione adeguata rivolta alle strutture tecniche comunali ed ai professionisti, per allargare la visione a più ampi orizzonti, utilizzando al meglio gli scarsi fondi a disposizione. Non deve mancare poi la capacità di coinvolgere i territori e le comunità, affinché ognuno svolga responsabilmente e attivamente il suo ruolo.

Tutti potranno trarne benefici, comprendendo meglio la funzione che tutte le opere pubbliche svolgono sul territorio; non solo la scuola, la strada, la piazza o il giardino, ma anche il depuratore, il centro smaltimento rifiuti, l'impianto di compostaggio, la condotta sottomarina, purché siano progettati *ab origine* e realizzati nel totale rispetto e cura dell'ambiente e del paesaggio.

Dalla gestione razionale delle risorse idriche, a salvaguardia delle coste, si è arrivati per sintesi alla razionalizzazione di tutte le risorse, per un uso responsabile del territorio, senza dimenticare che la qualità della nostra vita dipende dalla qualità dell'ambiente, urbano o extra urbano, in cui viviamo: dalla risorsa territorio derivano salute, benessere, bellezza, e insieme, opportunità di sviluppo sociale ed economico.

# La depurazione in Puglia: da problema a risorsa

## Wastewater treatment in Apulia Regione: from trouble to resource

**Francesca Portincasa**  
Direttore reti e impianti AQP SpA  
E-mail: [f.portincasa@aqp.it](mailto:f.portincasa@aqp.it)

**Piervito Lagioia**  
Responsabile Unità Tecnica direzione reti e impianti AQP SpA  
E-mail: [p.lagioia@aqp.it](mailto:p.lagioia@aqp.it)

Parole chiave: depurazione; riuso; fanghi  
Key words: waste water treatment; reuse; sludge

### SINTESI

Acquedotto Pugliese (AQP), coi suoi 25.000 km di rete idrica, 16.000 km di rete fognaria, oltre 700 impianti di sollevamento idrici e fognari, 5 potabilizzatori e 187 depuratori, è uno dei principali attori del Servizio Idrico Integrato italiani.

Da tempo è impegnato in un importante sforzo di adeguamento di tutti i depuratori e negli ultimi anni, seguendo gli indirizzi strategici della Regione Puglia, sta portando avanti progetti per l'affinamento delle acque depurate al fine di favorirne il riuso agricolo e civile anche per contrastare il progressivo depauperamento della falda.

\*\*\*

Ogni giorno il complesso delle attività sociali, produttive e ricreative che caratterizza la vita dei grandi e piccoli agglomerati urbani richiede ed utilizza una grande quantità di acqua che, per poter essere restituita all'ambiente, deve necessariamente essere sottoposta a trattamento depurativo. Infatti sia i corpi idrici superficiali (mare, fiumi, laghi) che il suolo non sono in grado di ricevere una quantità di sostanze inquinanti superiore alla propria capacità autodepurativa senza vedere compromessa la qualità delle acque ed i normali equilibri dell'ecosistema.

È evidente, quindi, la necessità di depurare le acque reflue attraverso sistemi di trattamento che imitino i processi biologici che avvengono naturalmente nei corpi recettori (la depurazione risulta però molto più veloce negli impianti rispetto a quanto avviene in natura, grazie alla tecnologia ed all'energia impiegata). Il trattamento del refluo è tanto più spinto quanto più i corpi idrici recettori risultano a "fragili".

La Puglia è, nel panorama meridionale, la Regione con il maggior numero di impianti di depurazione (187) gestiti per la quasi totalità da Acquedotto Pugliese (185) che adotta quasi esclusivamente trattamenti biologici di tipo con-

venzionale, con schema a fanghi attivi per la linea acque e digestione aerobica o anaerobica per la linea fanghi. Non vengono utilizzati processi chimici. Gli unici reagenti chimici sono utilizzati in determinate stazioni di trattamento (disinfezione finale e disidratazione meccanica dei fanghi) e per particolari situazioni (chiariflocculazioni di emergenza, processi di defosfatazione, ecc.). Nel 2017 sono stati trattati, nell'intero comparto depurativo gestito da AQP, oltre 268 Mln di m<sup>3</sup> di acque reflue. Per garantirne la qualità AQP ed ARPA sono costantemente impegnati in controlli delle acque trattate (181.429 i parametri controllati nel 2017 da AQP).

Il recapito finale delle acque reflue depurate è rappresentato da acque marine costiere (29 impianti); corpi idrici superficiali (8 impianti); suolo (mediante trincee drenanti) o corpi idrici superficiali non significativi (per un totale di 145 impianti). Il trattamento, in quest'ultimo caso, deve essere particolarmente severo in modo da rispettare i limiti imposti dalla Tab. 4 del D.Lgs. 152/99 e s.m.i. Da qui al rispetto dei parametri richiesti per il riuso agricolo delle acque depurate (Decreto del 12 giugno 2003, n. 185) il passo è brevissimo.

Quindi siamo davanti alla prima risorsa derivante dal trattamento delle acque reflue: l'acqua. Il riutilizzo delle acque reflue depurate può, infatti, essere considerato un pilastro su cui basare l'uso più razionale della risorsa idrica. Il vantaggio economico del riutilizzo si fonda sull'assunto della necessità di fornire alla comunità un approvvigionamento idrico, almeno per alcuni usi per i quali non si richieda acqua di elevata qualità, a costi più bassi, poiché il riciclo costa meno dello smaltimento.

Il legislatore nazionale ha provveduto a regolamentare il settore (Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152).

Il decreto stabilisce le norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue domestiche, urbane ed industriali attraverso la regolamentazione delle destinazioni d'uso e dei relativi requisiti di qualità, ai fini della tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche. Si limita così il prelievo delle acque superficiali e sotterranee, si riduce l'impatto degli scarichi sui corpi idrici recettori e favorisce il risparmio idrico mediante l'utilizzo multiplo delle acque reflue. In particolare, il provvedimento indica tre possibilità di riutilizzo di queste acque recuperate: in campo agricolo per l'irrigazione, in campo civile per il lavaggio delle strade, per l'alimentazione dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento e per l'alimentazione delle reti duali di adduzione, in campo industriale per la disponibilità dell'acqua antincendio e per i lavaggi dei cicli termici. Per poter riutilizzare l'acqua per uno qualsiasi di questi scopi, si deve comunque raggiungere un certo grado di qualità, soprattutto igienico-sanitaria. Questo può essere garantito con trattamenti avanzati finalizzati all'ottenimento di un elevato grado di qualità dell'acqua, attraverso l'abbattimento della carica microbica, dei nutrienti e delle eventuali tossiche a garanzia di un approvvigionamento di acqua depurata a costi contenuti.

Consapevole di questo, da qualche anno, la Regione Puglia è fortemente impegnata nel realizzare il miglioramento della qualità della depurazione in Puglia e, in particolare, a favorire la capillare diffusione di impianti di trattamento terziario (impianti di affinamento) che possano consentire il riutilizzo multiplo delle acque trattate.

Oggi sono 11 gli impianti di affinamento in esercizio e 21 sono quelli in progettazione grazie al deciso indirizzo ed i finanziamenti reperiti dalla Regione Puglia che ha attivamente coinvolto sia il Gestore del Servizio Idrico Integrato e l'Autorità Idrica Pugliese (Ente di Gestione dell'Ambito Territoriale ottimale

Puglia) che i Comuni e i gestori della risorsa idrica per l'agricoltura (Consorzi di Bonifica ed ARIF).

La cultura del riuso (agricolo, civile, industriale) prende così sempre più piede nella nostra regione e si moltiplicano le iniziative e richieste di attenta gestione della risorsa rappresentata dalla depurazione.

Ma l'acqua non è il solo prodotto della depurazione. Anche se normativamente considerato un rifiuto il processo depurativo genera un'altra importante risorsa: il fango.

Esso rappresenta l'inevitabile prodotto del processo depurativo e che la sua quantità è direttamente correlata al grado di affinamento delle acque reflue depurate: quindi quanto più depuriamo tanto più fango produciamo.

Nel 2017 il complesso dei 184 depuratori gestiti da AQP ha prodotto 245 mila tonnellate di fanghi. Di queste, solo 180 mila sono state riutilizzate. La restante parte è stata smaltita in discarica.

Lo smaltimento in discarica non costituisce una vera e propria soluzione sia per le limitazioni normative (nazionali ed europee), sempre più stringenti in termini di sostanza organica, grado di secco, ecc., sia perché tale alternativa contraddice l'ordine di priorità gestionale dei rifiuti sancito a livello europeo ed i principi dell'Economia Circolare, senza, peraltro trascurare la circostanza che i volumi di discariche disponibili sono limitati e difficilmente ampliabili per motivi di accettazione sociale.

La corretta alternativa è costituita essenzialmente dalla utilizzazione agricola diretta o indiretta previo compostaggio/recupero/messa in riserva in impianti di trattamento/produzione fertilizzanti, ecc..

Ancora da verificare l'ipotesi di utilizzare correntemente i fanghi per la produzione energetica (processi di waste to Energy) da soli o in sinergia con altre componenti quali, ad es. FOSRU. Sperimentazioni in questo senso si stanno conducendo ma siamo ancora a impianti "pilota". Realtà è, invece, la produzione di biogas dal processo di digestione dei fanghi. È, così, possibile ridurre il consumo energetico tramite co generazione. Interessante applicazione è quella che vede il fango protagonista, durante il suo ciclo di trattamento biologico insito nel processo depurativo, della produzione di biometano utilizzabile anche per autotrazione.

A riguardo dell'uso agricolo dei fanghi, diretto o indiretto, occorre sottolineare come l'immissione di sostanza

organica nel terreno, ridurrebbe la mineralizzazione, favorirebbe il ripristino della sostanza organica, ed eviterebbe il processo di desertificazione del suolo che interessa in particolare le Regioni italiane meridionali tra cui la Puglia.

Inoltre non va sottaciuto che attualmente, i fanghi medesimi costituiscono, a livello regionale, ma anche nazionale, uno dei maggiori problemi gestionali degli impianti di depurazione sia da un punto di vista tecnico che economico con inevitabile riverbero sulla tariffa pagata dal cittadino/utente.

Anche in questo caso la Regione Puglia, negli ultimi 3 anni, ha promosso importanti iniziative sia con la predisposizione e redazione del Piano Regionale dei Fanghi che con il finanziamento di progetti di ricerca volti a produzione di fertilizzanti "in linea" (Obiettivo: recuperare i fanghi biologici attraverso la loro trasformazione e valorizzazione agronomica; ottimizzare il sistema depurativo garantendo la sostenibilità economica, la tutela ambientale e la produzione di fertilizzanti correttivi dei suoli agrari (gesso di defecazione da fanghi); produzione di biocarburanti (obiettivo: valorizzare i fanghi di depurazione ottenuti dal normale trattamento delle acque attraverso l'estrazione o la produzione di biodiesel e biometano; ottimizzare le linee di trattamento con processi ad alta efficienza e a bassa richiesta di energia)

Dal canto suo AQP da tempo è impegnata in un vasto piano di azioni volte ad esplorare nuove soluzioni finalizzate alla riduzione degli stessi fanghi, alla ricerca di forme innovative di smaltimento e o di riutilizzo ed alla ottimizzazione dei processi /riduzione della produzione di fanghi nel trattamento delle acque reflue urbane e, conseguentemente, dei costi legati al loro smaltimento/ conferimento.

I fanghi, dunque, sono destinati a diventare, già nel breve periodo, indubbi protagonisti dei dibattiti scientifici e processi legati all' "economia circolare" in Puglia e potranno fungere da volano per lo sviluppo di processi di innovazione tecnologica e corretto approccio all'uso delle risorse naturali.

Anche per questo la depurazione ed i suoi prodotti rappresentano una risorsa per la nostra Regione e non più un problema.



# I monitoraggi delle acque marine pugliesi: qualità e criticità

Nicola Ungaro  
ARPA Puglia, Bari  
E-mail: [n.ungaro@arpa.puglia.it](mailto:n.ungaro@arpa.puglia.it)

## Monitoring of the apulian Marine waters: quality and criticalities

**Parole chiave:** Acque marine, Monitoraggio, Mar Mediterraneo, Regione Puglia, Direttiva 2000/60 CE, Direttiva 2006/7 CE, Direttiva 2008/56 CE  
**Key words:** Marine waters, Monitoring, Mediterranean Sea, Puglia Region, Directive 2000/60 EC, Directive 2006/7 EC, Directive 2008/56 EC

### INTRODUZIONE

Le Agenzie Regionali e Provinciali per la protezione dell'Ambiente (ARPA/APPA) hanno sempre svolto, e continuano a svolgere, un ruolo di primo piano (talvolta esclusivo) nel monitoraggio istituzionale delle acque superficiali, siano queste quelle interne, di transizione o marine, comprese quelle a specifica destinazione d'uso ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

Con l'entrata in vigore della Legge 132/2016, istitutiva del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), tale evidenza si è concretizzata ancor di più con il «Documento istruttorio ai fini della determinazione dei LEP-TA (Livelli Essenziali delle Prestazioni Tecniche Ambientali)», licenziato dal Consiglio SNPA nel mese di gennaio 2018. Infatti, nel Catalogo Nazionale dei Servizi, tra le 97 prestazioni elencate hanno particolare rilievo proprio quelle relative al monitoraggio della qualità delle acque superficiali, attualmente realizzate dalla quasi totalità delle Agenzie.

Le citate attività di monitoraggio sono peraltro previste da Direttive Comunitarie, tra le quali si possono menzionare la Direttiva 2000/60 CE "Acque", la Direttiva 2006/7 CE "Acque di Balneazione" e la Direttiva 2008/56 CE "Strategia Marina". Le tre citate Direttive sono state recepite dallo Stato Italiano e rese attuative dai rispettivi Decreti Legislativi 152/2006 s.m.i., 116/2008 s.m.i. e 190/2010 s.m.i., per ognuno dei quali sono attualmente in corso attività svolte direttamente dalle ARPA/APPA.

Per quanto poi attiene la specifica tematica «Mare», molte delle Agenzie, tra quelle territorialmente interessate, hanno nella loro *mission* la tutela dell'ambiente marino e delle coste, così come espressamente stabilito dai rispettivi atti istitutivi. Inoltre è utile ricordare che molte di queste stesse Agenzie sono state in passato coinvolte nei Programmi di

Monitoraggio dell'Ambiente Marino-Costiero, coordinati dal MATTM in applicazione della Legge n. 979/1982. D'altronde, esiste uno stretto legame tra l'attuazione dei monitoraggi, i risultati degli stessi, la valutazione sulla qualità e la gestione degli ambienti marini, tutti aspetti di potenziale interesse e competenza per le ARPA e per l'intero SNPA, considerando il fatto che il mare rappresenta il "recettore finale", soprattutto attraverso i corsi d'acqua superficiali, le acque di falda e il dilavamento dei terreni, di tutto quanto viene prodotto nell'ambiente terrestre (sia naturalmente che dall'uomo) e non completamente smaltito e/o degradato sulla terraferma.

In questo generale contesto, ARPA Puglia è impegnata costantemente in attività mirate alla salvaguardia del mare e della costa pugliese, che con una lunghezza pari a circa 1000 km è al primo posto nell'Italia peninsulare (solo le isole maggiori, la Sardegna e la Sicilia, superano la Puglia in questa graduatoria). Le necessità di monitoraggio, controllo, tutela e di informazione per

la matrice "mare", rivestono dunque un'importanza cruciale per la gestione sostenibile dell'ambiente marino pugliese, considerati i due versanti Adriatico e Ionico con le variegate peculiarità ambientali e naturalistiche, nonché i differenti regimi di pressione antropica, anche alla luce delle vocazioni del territorio nell'ottica di un'ottimale sviluppo del tessuto socio-economico regionale.

### IL SISTEMA MARINO-COSTIERO IN PUGLIA

La regione Puglia ha una estensione costiera che risulta pari a 985 km, come indicato nel Piano Regionale delle Coste attualmente vigente, approvato dalla Regione Puglia nel mese di Novembre del 2011. Tale misura lineare, recentemente aggiornata dall'ISTAT a 1040 km considerando i limiti amministrativi dei territori comunali, pone la Puglia, come già detto, al terzo posto in Italia dopo la Sardegna e la Sicilia. Ciò premesso, la geo-morfologia della zona litorale pugliese e le caratteristiche delle acque marino-costiere, sono aspetti

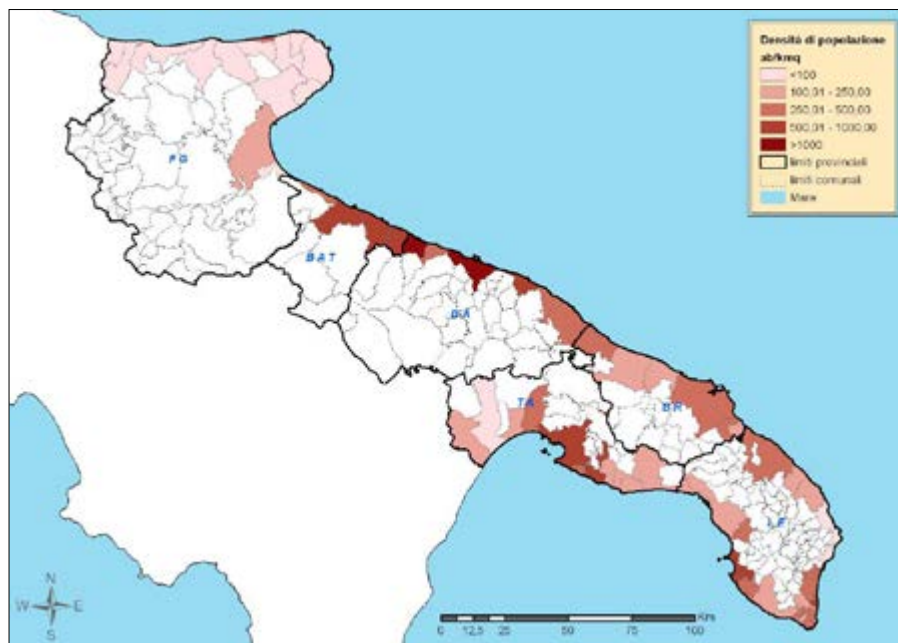


Figura 1. Densità della popolazione costiera (indicizzata sulla base del territorio comunale)

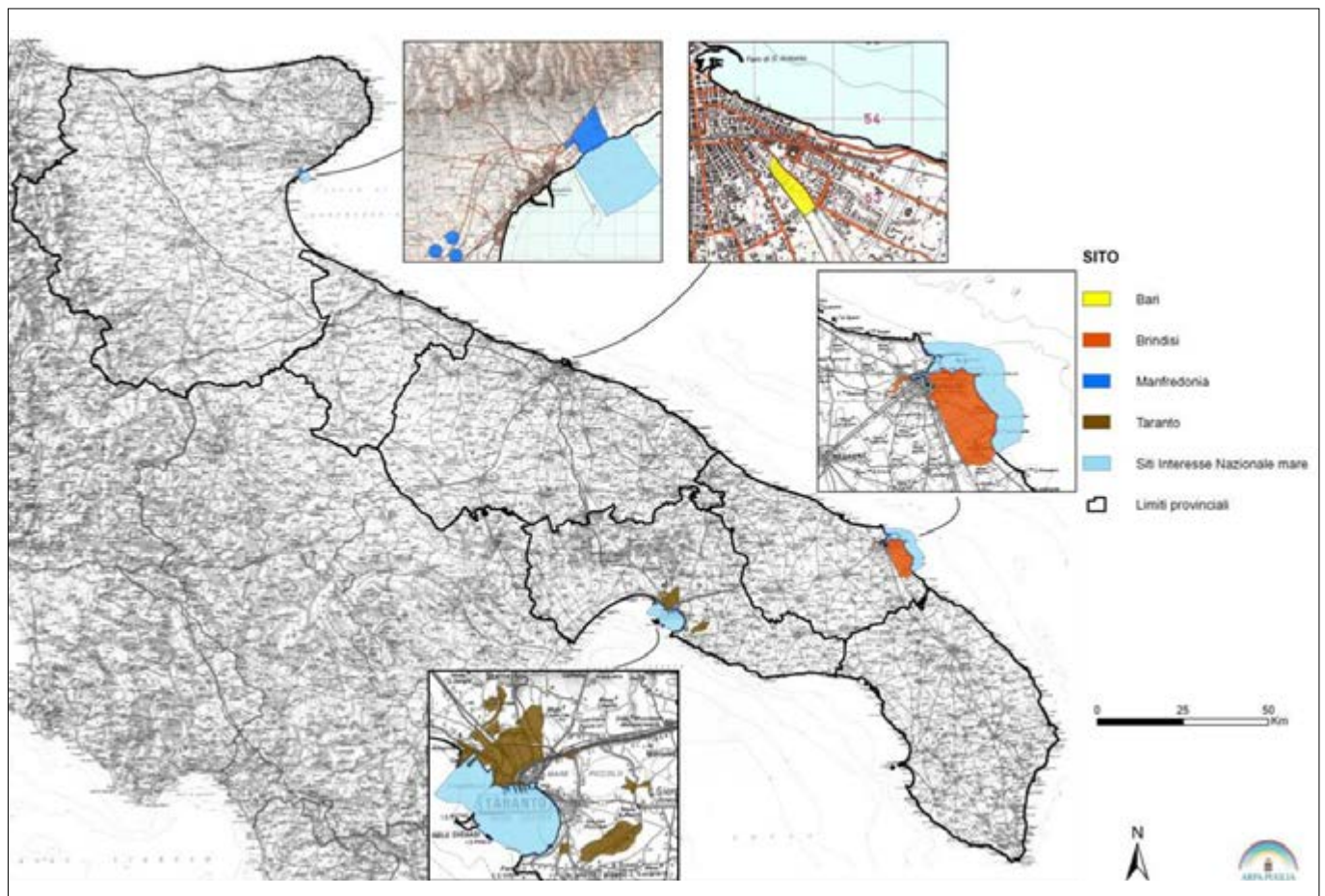


Figura 2. Siti di Interesse Nazionale (SIN) in Puglia

assolutamente variegati; spostandoci lungo la fascia costiera sia adriatica che ionica si possono incontrare litorali sabbiosi, foci fluviali, costa rocciosa bassa e falesie rocciose (Mastronuzzi *et al.*, 2002); l'eterogeneità delle coste e le caratteristiche oceanografiche condizionano anche la distribuzione degli ecotipi marino-costieri, con una conseguente suddivisione di tutta la zona litorale pugliese in ambiti omogenei dal punto di vista ambientale (Damiani *et al.*, 1988), questi ultimi utili alla tipizzazione funzionale *sensu* "Water Framework Directive" (2000/60 CE) per l'individuazione dei corpi idrici marino-costieri (Ungaro *et al.*, 2008). Inoltre, la presenza di elementi di elevato valore naturalistico/conservazionistico ha permesso sino ad oggi l'istituzione di zone da sottoporre a particolare tutela ambientale, tra cui 3 Aree Marine Protette (Isole Tremiti, Torre Guaceto e Porto Cesareo) e 3 SIC esclusivamente marini.

La forte eterogeneità "naturale" del litorale pugliese è ulteriormente complicata dagli aspetti antropici, quali ad esempio la densità della popolazione costiera (Fig. 1) e le pressioni che ne derivano sia in termini di presenza di abitanti sia di insediamenti civili e industriali. A tale proposito è opportuno ricordare che in Puglia, nelle aree più

industrializzate, sono stati individuati quattro Siti di Interesse Nazionale (SIN) da sottoporre a bonifica (Fig. 2), di cui tre con una corrispondente parte a mare: Manfredonia, Brindisi e Taranto.

## IL MONITORAGGIO DELL'AMBIENTE MARINO IN PUGLIA E IL RUOLO DI ARPA

### IL MONITORAGGIO DEI CORPI IDRICI MARINO-COSTIERI

Il monitoraggio dei corpi idrici pugliesi, ai sensi della Direttiva 2000/60 CE e in ottemperanza al D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., è attualmente realizzato da ARPA Puglia su commissione della Regione Puglia – Sezione Risorse Idriche. In accordo ai piani regionali approvati, sono attualmente monitorati n. 39 corpi idrici marino-costieri (individuati con le Delibere di Giunta Regionale n. 774 del 23/03/2010 e n. 2844 del 20/10/2010, in attuazione del DM n. 131 del 16 giugno 2008), all'interno dei quali sono allocati 84 punti-stazione per le misure in campo e la raccolta dei campioni da analizzare nei laboratori dell'Agenzia (Fig. 3).

All'interno dei corpi idrici marino-costieri sono anche monitorate le acque a specifica destinazione d'uso, come ad

esempio le acque 'Destinate alla Vita dei Molluschi'. In ogni punto-stazione di monitoraggio sono misurati diversi parametri fisici, chimici e biologici. La frequenza di campionamento è di norma bimestrale per i parametri fisici, e per alcuni di tipo chimico e biologico (fitoplancton). Negli stessi siti vengono monitorati anche i sedimenti, con frequenza semestrale per le componenti biologiche (macrozoobenthos) ed annuale per la caratterizzazione chimica. In alcune specifiche aree sono inoltre monitorate (ove presenti) le praterie di *Posidonia oceanica*, nonché le comunità litorali a macroalghe. In totale si stima, in un anno di monitoraggio, un numero di determinazioni analitiche in campo e in laboratorio pari a circa 50.000. Per maggiori dettagli sul piano delle attività svolte si può comunque consultare, sul sito internet di ARPA Puglia, la pagina dedicata al link [http://www.arpa.puglia.it/web/guest/monitoraggio\\_CIS](http://www.arpa.puglia.it/web/guest/monitoraggio_CIS).

### I MONITORAGGI PREVISTI DALLA DIRETTIVA "STRATEGIA MARINA"

Nell'ambito dei monitoraggi nazionali previsti per la Direttiva «Marine Strategy» (2008/56 CE), recepita in Italia con il D.Lgs. 190/2010, l'attuazione del Protocollo Operativo delle Attività (POA, definito anno per anno) per i ma-

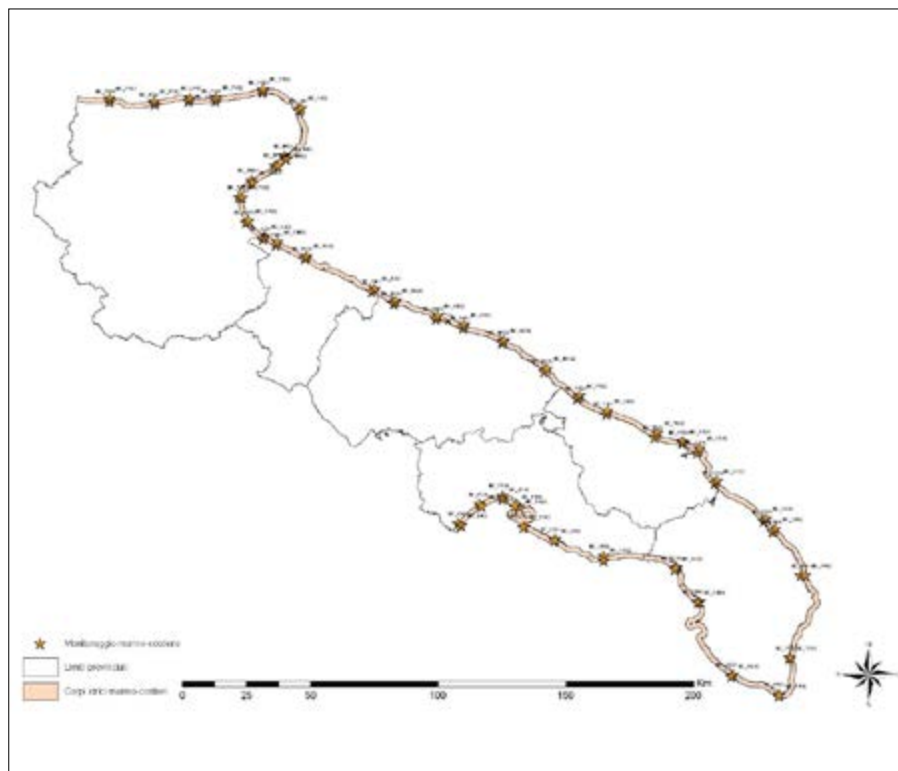


Figura 3. Corpi idrici marino-costieri e stazioni di monitoraggio in Puglia

ri pugliesi è stata delegata ad ARPA Puglia, che ha sottoscritto un Protocollo di Intesa congiuntamente alle altre ARPA della sottoregione adriatica; detto Protocollo di Intesa deriva a sua volta da una Convenzione tra il Ministero dell'Am-

biente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) e il Sistema Agenziale Nazionale. I monitoraggi di cui sopra interessano, a differenza di quelli relativi ai corpi idrici marino-costieri, anche le acque del largo, sino a 20 km dalla costa.

Per i mari pugliesi sono state stabilite più di 80 aree/stazioni di indagine (Fig. 4), dove sono valutati i parametri chimici, fisici e biologici richiesti dai moduli di monitoraggio di seguito elencati per le diverse tipologie:

- Parametri chimico-fisici in colonna d'acqua;
- Contaminazione (acqua, sedimenti e biota);
- Input nutrienti;
- Microplastiche;
- Specie non indigene;
- Rifiuti spiaggiati;
- Habitat pelagici (fito e zooplancton);
- Habitat bentonici (coralligeno e fondi a maerl);
- Habitat di fondo marino sottoposti a danno fisico;
- Habitat delle praterie di *Posidonia oceanica*;
- Specie bentoniche protette: *Patella ferruginea*, *Pinna nobilis*;
- Mammiferi marini: *Tursiops truncatus*;
- Avifauna Marina: Marangone dal ciuffo (*Phalacrocorax aristotelis desmarestii*), Berta maggiore (*Calonectris diomedea*), Gabbiano corso (*Ichthyophaga audouinii*), Berta minore (*Puffinus yelkouan*).

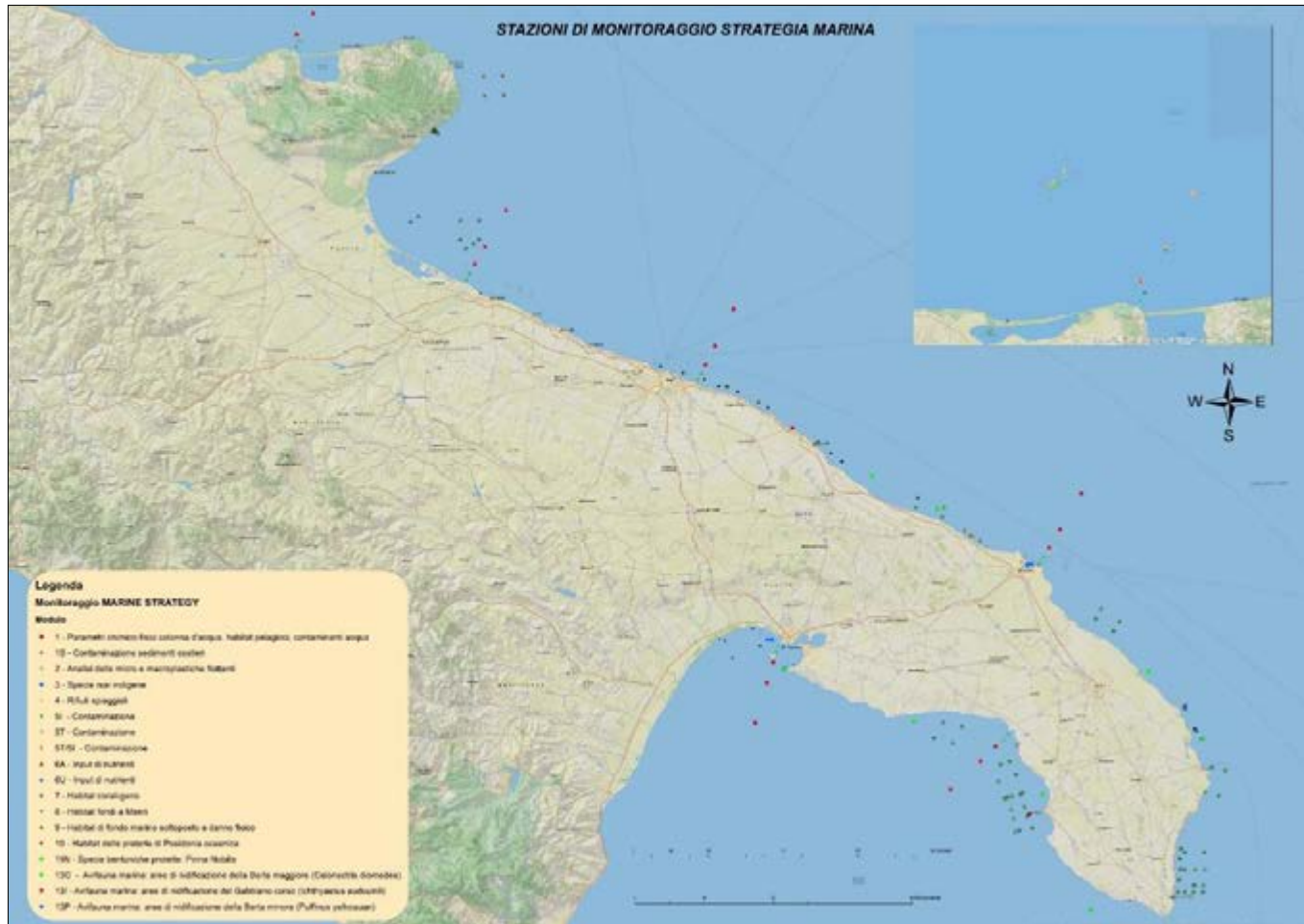


Figura 4. Aree di indagine e stazioni di monitoraggio per i moduli Strategia Marina in Puglia

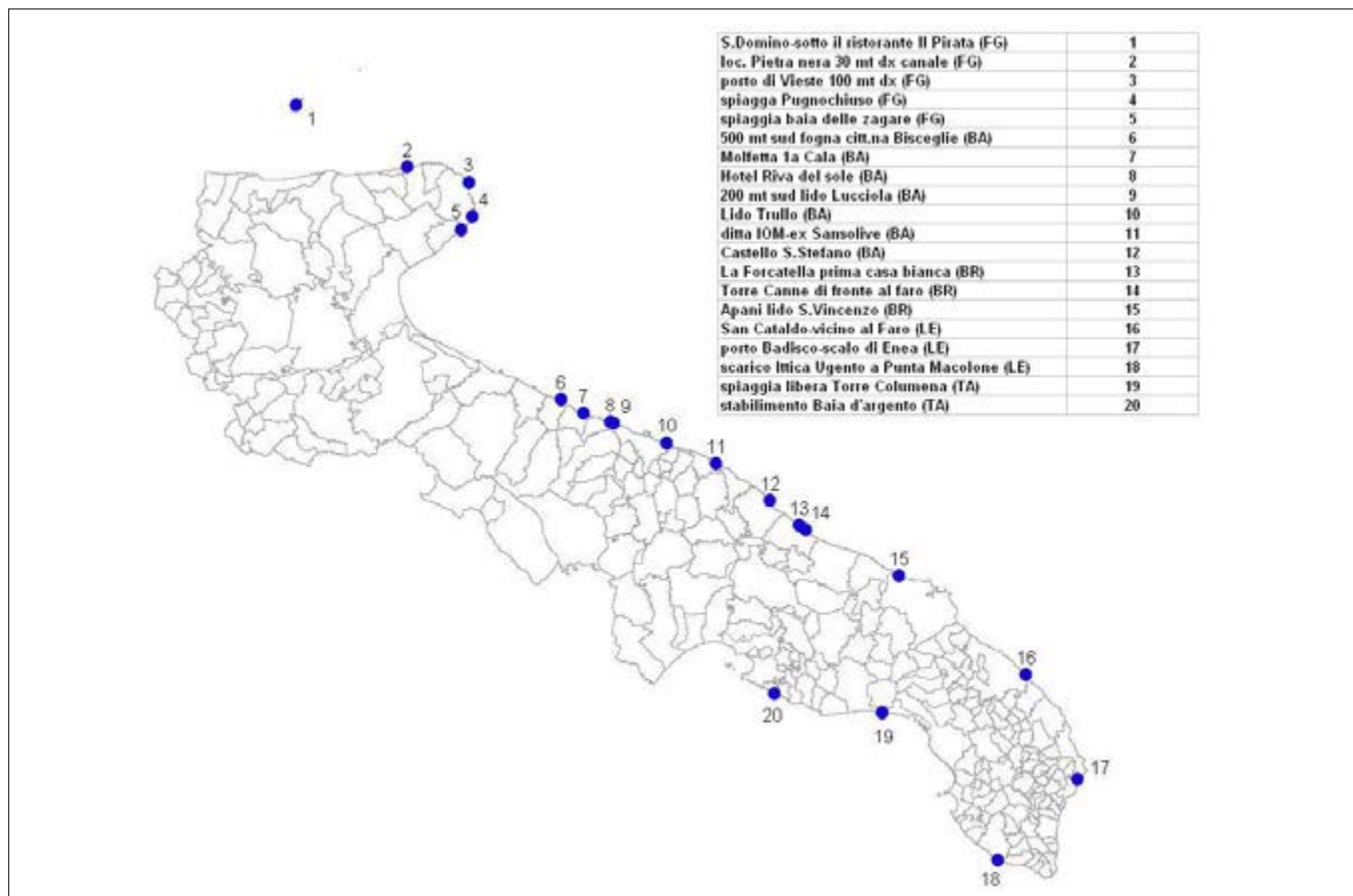


Figura 5. Stazioni di monitoraggio per *Ostreopsis ovata* in Puglia

La frequenza di campionamento varia nell'ambito dei singoli moduli, e per queste tipologie di monitoraggio si stima per l'Agenzia, in un anno di attività, un numero totale di determinazioni analitiche in campo e in laboratorio pari a circa 15.000.

Anche in questo caso, per avere maggiori dettagli sul piano delle attività svolte si può comunque consultare, sul sito internet di ARPA Puglia, la pagina dedicata al link [http://www.arpa.puglia.it/web/guest/strategia\\_marina](http://www.arpa.puglia.it/web/guest/strategia_marina).

#### IL MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI BALNEAZIONE

Il monitoraggio delle acque di balneazione pugliesi è attualmente realizzato da ARPA Puglia su commissione della Regione Puglia – Assessorato alle Politiche della Salute. Tale monitoraggio è svolto ai sensi del D.Lgs. 116/2008, di recepimento della Direttiva “*Bathing Water*” (2006/7 CE), reso attuativo dal D.M. 30 Marzo 2010.

ARPA Puglia controlla la qualità delle acque di balneazione in 676 punti, corrispondenti ad altrettanti tratti costieri destinati a tale uso (n. 254 in Provincia di Foggia, n. 46 in Provincia di BAT, n. 78 in Provincia di Bari, n. 88 in Provincia di Brindisi, n. 139 in Provincia di Lecce e n. 71 in Provincia di Taranto). Gli elenchi di tali tratti costieri, distinti

per Provincia, sono riportati nelle Delibere di Giunta Regionale dal n. 2465 al n. 2470 del 16 Novembre 2010. In ogni punto-stazione sono misurati in campo diversi parametri meteo-marini, mentre in laboratorio sono analizzati i campioni per la determinazione della carica batterica, in questo caso riferita alla presenza quantitativa di Enterococchi intestinali ed *Escherichia coli*, microrganismi indicatori di inquinamento di origine antropica che possono rilevare sugli aspetti legati alla salute pubblica. La frequenza di campionamento è mensile, nel periodo tra Aprile e Settembre di ogni anno. Si rimarca che le acque destinate alla balneazione non comprendono aree precluse a priori per la presenza di fonti puntuali o diffuse di inquinamento (aree portuali, aree urbane, aree direttamente interessate dagli scarichi urbani e/o industriali, aree influenzate da foci di fiumi o canali, ecc.) o per altre motivazioni (aree marine protette – Zona A, aree aeroportuali, aree militari, ecc.), così come definito dalla Regione di concerto con i Comuni costieri.

Ogni anno ARPA Puglia realizza, per questa tipologia di monitoraggio, un totale di circa 8500 determinazioni analitiche di laboratorio, con i risultati che sono disponibili sul sito internet di ARPA Puglia al link <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/balneazione>.

Sempre in riferimento alle acque di balneazione, ARPA Puglia realizza anche il monitoraggio della microalga dinoflagellata potenzialmente tossica *Ostreopsis ovata*. A tale scopo sono controllati, con frequenza quindicinale da giugno a settembre, n. 20 punti lungo la costa pugliese, corrispondenti ad altrettante acque di balneazione.

Il posizionamento dei punti di prelievo si basa sulle caratteristiche geomorfologiche dei litorali (quelli prevalentemente rocciosi, dove per natura alligna la specie) e sulle segnalazioni “storiche” di fioriture per la specie in questione (Fig. 5).

Sul sito internet di ARPA Puglia, al link <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/algatossica>, è possibile visualizzare i risultati più aggiornati dello specifico monitoraggio dell'Agenzia, oltre ad ottenere qualche informazione tecnico-scientifica sull'argomento.

#### I RISULTATI DEI MONITORAGGI ARPA PUGLIA E LA QUALITÀ DELLE ACQUE MARINE PUGLIESI

Come descritto in precedenza, ARPA Puglia realizza diverse attività di monitoraggio in ambito marino, sia costiero che del largo, ciascuna delle quali segue distinte procedure e protocolli di

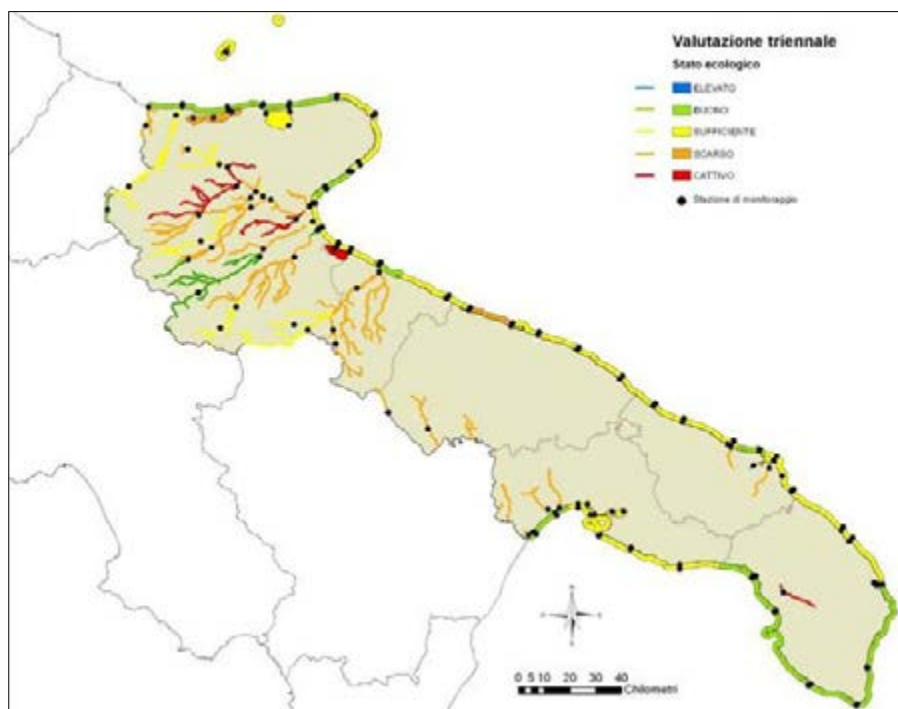


Figura 6. Stato ecologico dei corpi idrici superficiali pugliesi (2010-2014)

indagine, così come sono distinti gli approcci valutativi.

Entrando nel dettaglio, i risultati del monitoraggio dei corpi idrici marino-costieri ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e sm.i. costituiscono la base per definire lo stato di qualità ecologico e chimico per

il principio “one out all out” imposto dalla Direttiva 2000/60 CE.

Per questa tipologia di monitoraggio l’ultima valutazione triennale validata e resa disponibile dalla Regione Puglia è quella relativa al periodo di monitoraggio 2010-2014, ed è rappresentata

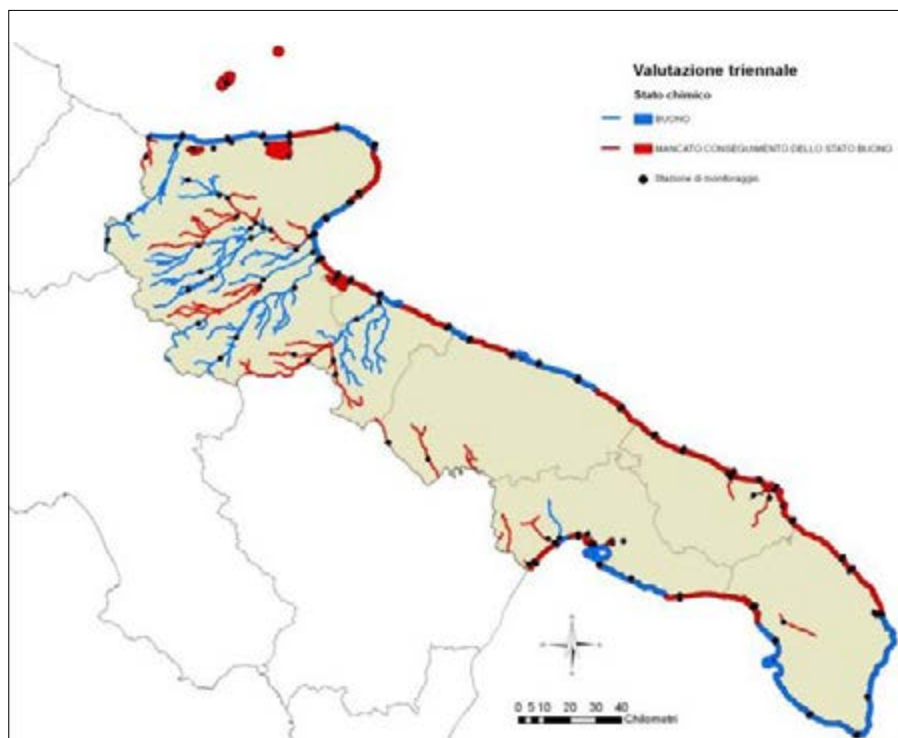


Figura 7. Stato chimico dei corpi idrici superficiali pugliesi (2010-2014)

ciascuno degli stessi corpi idrici (C.I.). Sia lo stato di qualità ecologico che quello chimico vengono classificati tenendo conto della valutazione dei singoli Elementi di Qualità (EQ) monitorati, siano essi biologici, chimico-fisici, chimici e idromorfologici (in taluni casi), secondo

in forma di mappatura nelle figure n. 6 (stato ecologico dei C.I.) e n. 7 (stato chimico dei C.I.). Sinteticamente, con particolare riferimento ai corpi idrici marino-costieri e senza tenere conto della stima del livello di fiducia e precisione dei risultati forniti dal programma

di monitoraggio, sul totale di 39 C.I. lo stato ecologico risulterebbe “Scarso” in un caso (1 C.I.), “Sufficiente” per 22 C.I. e “Buono” per 16 C.I., mentre lo stato chimico evidenzerebbe un “Mancato conseguimento dello stato buono” per 20 C.I., e uno stato “Buono” per 19 C.I.. Tra tutti i corpi idrici marino-costieri pugliesi monitorati, 28 presentano congruenti valutazioni tra lo stato ecologico e quello chimico (il 69, 2%), e tra questi 12 raggiungono lo stato “Buono” per entrambe le classificazioni.

Diverso è il discorso per i monitoraggi previsti dalla Direttiva Strategia Marina, dove le procedure per la valutazione e classificazione sono attualmente in carico e coordinate dal MATTM, che non ha ancora pubblicato ufficialmente i primi risultati. Ciò premesso, come esempio dei dati ottenuti da ARPA Puglia nel corso delle attività di monitoraggio per i differenti moduli, si riportano alcune informazioni sintetiche sulla distribuzione quantitativa dei “rifiuti spiaggiati” e delle “microplastiche” in mare. In particolare, nelle campagne di monitoraggio realizzate nel periodo 2013-2014, su un totale di 10 aree costiere (spiagge) pugliesi oggetto di indagine, di cui 6 situate sul litorale Adriatico e 4 sul litorale Ionico, se si considera una unità campionaria pari a 100 m di spiaggia la quantità di rifiuti spiaggiati per ciascun tratto di litorale è risultata compresa tra 253 ( $\pm 51$ ) oggetti/100m a “Barletta Ponente” e 987 ( $\pm 80$ ) oggetti/100m a “Marina di Salve” (Fig. 8) (Ungaro *et al.*, 2015).

Sempre in riferimento al monitoraggio “Strategia Marina” svolto nel periodo 2013-2014, su un totale di 9 macroaree marine pugliesi sino a 20 km dalla costa, di cui 7 situate in Adriatico e 2 nello Ionio, il numero medio di microplastiche per  $m^3$  è risultato compreso tra 0, 13/ $m^3$  ( $\pm 0,04$ ) nella macroarea denominata “Foce Candelaro” e 5, 13/ $m^3$  ( $\pm 4,04$ ) nella macroarea “Foce Capotaormina”, a nord del Gargano (Ungaro e Barbone, 2017). I valori di densità media delle microplastiche hanno evidenziato differenze sia rispetto alla distanza progressiva dalla costa, che rispetto ai due bacini indagati (Adriatico e Ionio) (Fig. 9).

I risultati del monitoraggio delle acque di balneazione vengono invece utilizzati per valutazioni completamente diverse da quelle precedentemente descritte, in questo caso più mirate alla prevenzione del rischio sanitario. Se inizialmente le singole determinazioni analitiche vengono utilizzate ai fini dell’idoneità (o inidoneità, tem-

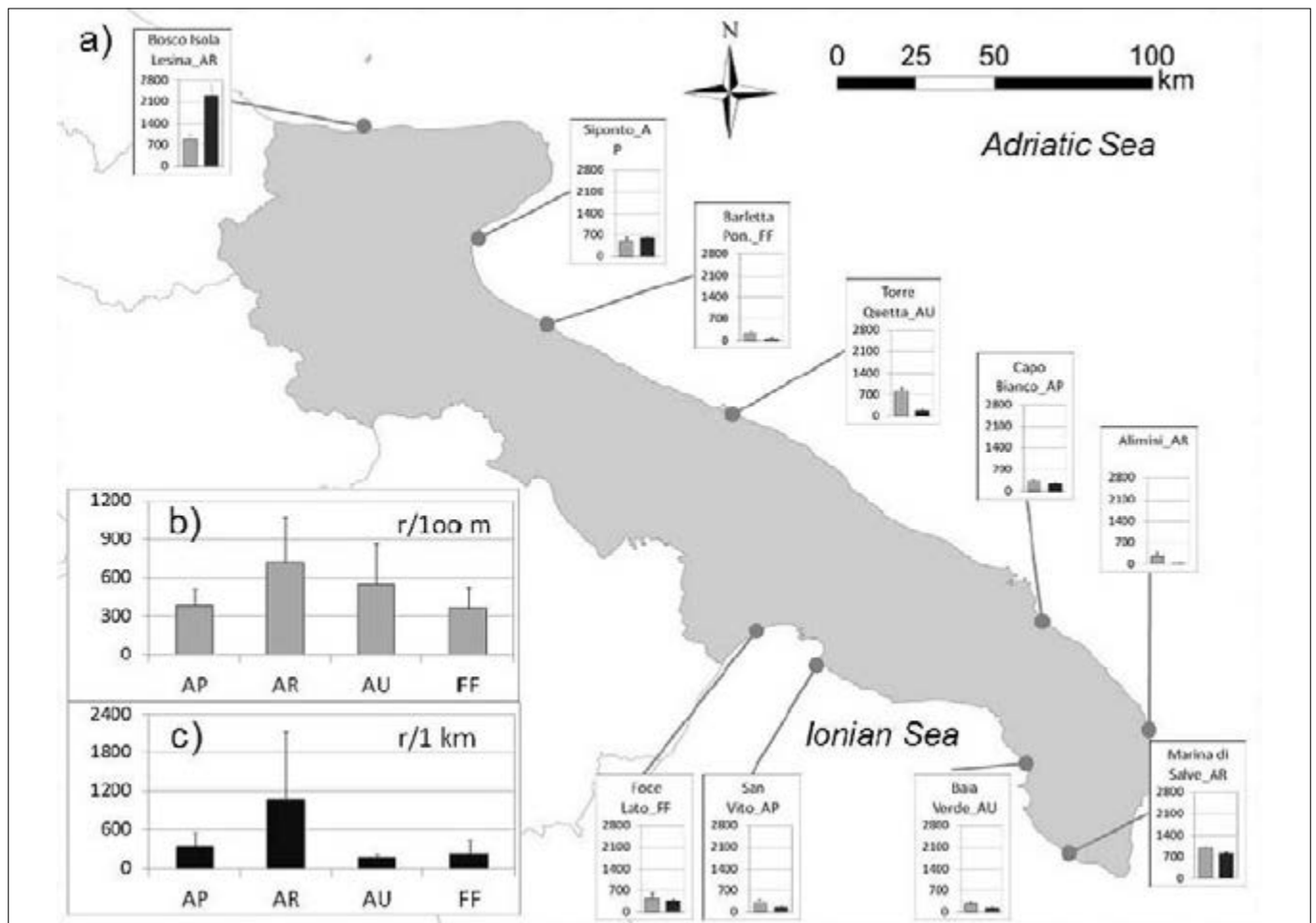


Figura 8. Numerosità dei rifiuti sulle spiagge pugliesi indagate (da Ungaro et al., 2015)

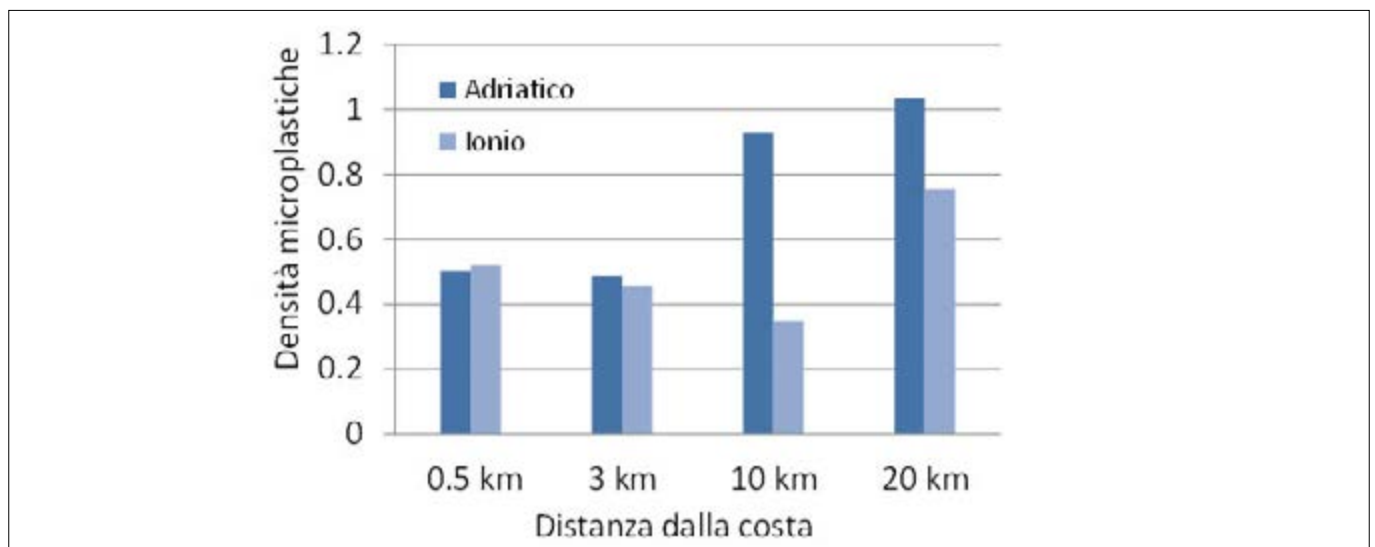


Figura 9. Microplastiche nei mari pugliesi: valori medi di densità (n. particelle/m<sup>3</sup>) a differente distanza dalla costa nei due distinti bacini adriatico e ionico (2013-2014)

poranea/permanente) delle acque alla balneazione, alla fine di ogni stagione ogni acqua controllata viene classificata tenendo conto anche dei risultati analitici dei precedenti tre anni di monitoraggio. In pratica, al termine di ogni stagione balneare, le singole acque di balneazione vengono classificate sulla base dei risultati del monitoraggio degli ultimi quattro anni; ne deriva un giudizio variabile tra quattro classi, "Scarsa", "Sufficiente", "Buona" e "Eccellente", ai sensi del D.Lgs. 116/2008. La citata

classificazione si basa su un giudizio di qualità elaborato utilizzando un calcolo statistico (calcolo del 95° percentile – o 90° percentile – sulla serie di dati microbiologici log-trasformati, e valutazione rispetto ai valori soglia imposti dalla normativa), applicato sui dati di monitoraggio riferiti alle ultime 4 stagioni balneari. Nella procedura di classificazione non vengono considerati, come da norma, gli "inquinamenti di breve durata", ovvero quelli che si esauriscono nelle 72 ore successive all'evento perturbativo.

Nel periodo tra il 2010 ed il 2017 sono state realizzate da ARPA Puglia più di 50.000 determinazioni analitiche sui campioni di acqua prelevati nelle acque di balneazione.

In tutto il periodo esaminato tali acque a specifica destinazione funzionale hanno evidenziato una generale situazione di qualità medio-alta, con una tendenza ad un ulteriore miglioramento nel tempo; con lo specifico riferimento alle classificazioni più penalizzanti, ovvero le classi di qualità «Scarsa» e

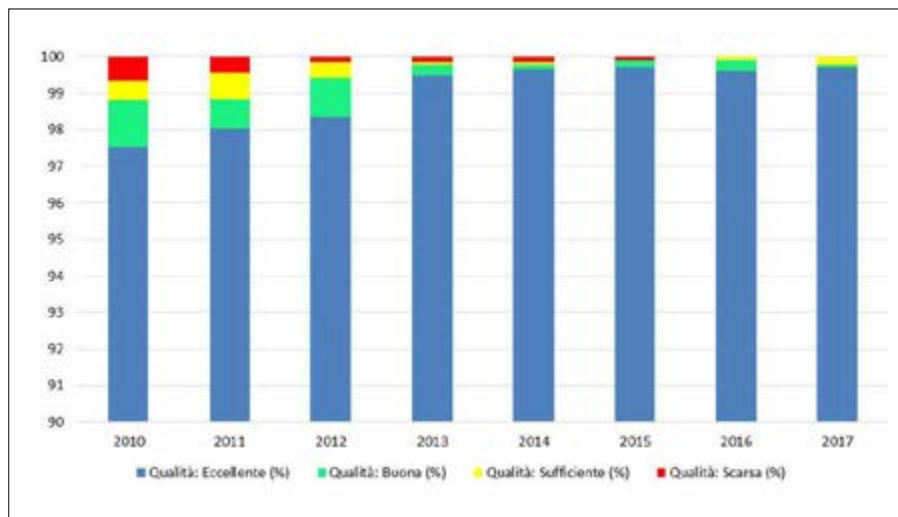


Figura 10. Qualità delle acque di balneazione in Puglia: andamento dal 2010 al 2017

«Sufficiente», si è passati da percentuali rispettivamente pari allo 0, 5% e allo 0, 7% nel 2010 (comunque molto basse), a valori dello 0, 2% nel caso della classe «Sufficiente» e nulli nel caso della classe «Scarsa» nel 2017 (Fig. 10).

## LE CRITICITÀ DELLE ACQUE MARINE PUGLIESI

Allo stato attuale, alla luce dei dati di monitoraggio, la qualità ambientale delle acque marine pugliesi può essere nel complesso considerata medio-alta, al netto di alcuni aspetti di criticità che comunque emergono nel contesto generale. Infatti, anche se non sempre condizionano significativamente le valutazioni ai sensi delle norme di settore, alcune situazioni locali, tra le quali la presenza di foci di corsi d'acqua, canali e scarichi, nonché i grandi insediamenti industriali e la forte densità di popolazione in particolari zone costiere, sembrano in qualche modo influenzare, in negativo, la qualità dell'ambiente marino.

A titolo di esempio, seppure le non conformità delle acque di balneazione rappresentino solo lo 0, 3% rispetto al totale dei campioni analizzati nel periodo 2010-2017 (90 non conformità, a fronte di un totale di circa 32.000 campioni), nel 52% dei casi il toponimo e l'allocatione geografica dell'acqua di balneazione è corrispondente a una zona in prossimità di una foce di corso d'acqua, nel 14% dei casi a uno scarico, nel 9% il toponimo contiene contemporaneamente il riferimento a un corso d'acqua e a uno scarico. Dunque, il 75% dei casi di non conformità può essere messo in relazione alla presenza, nelle vicinanze delle acque di balneazione, di foci di corsi d'acqua o di scarichi, questi ultimi tipicamente riconducibili ad attività antropiche di diversa tipologia.

## CONCLUSIONI

Come sopra descritto, sono molteplici le attività di monitoraggio che ARPA Puglia ha realizzato e realizza per le acque marine, e tutte hanno contribuito, e continuano a contribuire, all'implementazione del quadro ambientale in riferimento ad una componente così importante per la Regione Puglia, evidenziandone peculiarità, qualità e criticità; tutti i risultati, in forma tabellare e di relazioni periodiche, sono trasferiti dall'Agenzia alle Istituzioni committenti/competenti per i monitoraggi, oltre che utilizzati per pubblicazioni tecnico-scientifiche sulle specifiche tematiche (tra le altre negli ultimi anni: Costantino *et al.*, 2010; Ungaro *et al.*, 2010; Ungaro *et al.*, 2012; Giandomenico *et al.*, 2013; Barbone *et al.*, 2014; Malcangio *et al.*, 2018).

D'altronde, appare imprescindibile la necessità di un controllo costante e duraturo nel tempo dell'ambiente marino da parte delle Istituzioni pubbliche preposte, soprattutto per una regione costiera come la Puglia, anche alla luce del fatto che l'Unione Europea, con le Direttive n. 56 del 2008 (*Direttiva "Strategia Marina"*) e n. 89 del 2014 (*Direttiva quadro per la pianificazione dello spazio marittimo*), ha espressamente riconosciuto l'importanza della gestione sostenibile del mare, individuando nella *Blue Growth* uno dei pilastri per lo sviluppo sociale ed economico nei prossimi anni.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia tutto il personale di ARPA Puglia che ha contribuito alla realizzazione delle attività di monitoraggio descritte. Senza il loro lavoro non sarebbe stato possibile acquisire le informazioni utili per l'elaborazione sintetica sopra riportata. Inoltre, un particolare ringraziamento va al Dott. Vito

Laghezza, per la predisposizione delle mappe tematiche utilizzate per alcune figure.

## BIBLIOGRAFIA

- BARBONE E., PASTORELLI A.M., PERRINO V., BLONDA M., UNGARO N. (2014), *Pattern of variation of zooplankton assemblages under the influence of river runoffs: a study case along the Apulian marine coastal waters (southern Italy, Mediterranean Sea)*. Marine and Freshwater Research, 65: 652-665.
- COSTANTINO G., UNGARO N., MASTROTARRO F., BATTISTA D., BLONDA M., PASTORELLI A.M., CARLUCCI R., TURSI A. (2010), *Recent data from the monitoring of Posidonia oceanica in two marine protected areas of the Apulian coasts (central eastern Mediterranean sea)*. Biol. Mar. Medit., 17(1): 164-166.
- DAMIANI V., BIANCHI C.N., FERRETTI O., BEDULLI D., MORRI C., VIEL M., ZURLINI G. (1988), *Risultati di una ricerca ecologica sul sistema marino costiero pugliese*. Thalassia Salentina, vol. 18: 153-169.
- Giandomenico S., Spada L., Annicchiarico C., Assennato G., Cardelicchio N., Ungaro N., Di Leo A. (2013) *Chlorinated compounds and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in mussels (Mytilus galloprovincialis) collected from Apulia Region coasts*. Marine Pollution Bulletin, 73: 243-251.
- Malcangio D., Donvito C., Ungaro N. (2018) *Statistical analysis of bathing water quality in Puglia Region (Italy)*. Intern. Journ. Environmental Research and Public Health, 15 (1010): 1-15.
- MASTRONUZZI G., PALMENTOLA G., SANSÒ P. (2002), *Lineamenti e dinamica della costa pugliese*. Studi Costieri, 5: 9-22.
- UNGARO N., ASSENNATO G., BLONDA M., CUDILLO B., PETRUZZELLI R., MARIANI M., PASTORELLI A.M., ALIQUÒ M.R., D'ANGELA A., AIELLO C., RANIERI S. (2010), *Occurrence of the potentially toxic dinoflagellate Ostreopsis ovata along the apulian coastal areas (Southern Italy) and relationship with anthropogenic pollution*. Fresenius Environmental Bulletin, 19 (9): 1813-1821.
- UNGARO N., BARBONE E. (2017), *Una prima valutazione delle microplastiche nei mari Pugliesi*. Ambiente Informa - SNPA, n.36.
- UNGARO N., PASTORELLI A.M., BARBONE E. (2015), *Una prima valutazione dei rifiuti spiaggiati lungo le coste pugliesi*. Biol. Mar. Medit., 22(1): 150-151.
- UNGARO N., PASTORELLI A.M., BLONDA M., GIOVANARDI F. (2008), *La tipizzazione delle aree marino-costiere nell'ambito della Direttiva 2000/60/CE: un esempio applicativo per la Regione Puglia*. Biol. Mar. Medit., 15(1): 308-309.
- UNGARO N., PASTORELLI A.M., DI FESTA T., PETRUZZELLI R., FLORIO M., ALIQUÒ M.R., VADRUCCHI M. (2012), *Nuove informazioni sulla presenza quali-quantitativa di specie fitoplanctoniche nocive nelle acque marino costiere dell'Adriatico sud-occidentale*. Biol. Mar. Medit., 19(1): 242-244.

# Cause ed effetti di malfunzionamento di impianti per il trattamento delle acque reflue nel Sud Italia

## Causes and Effects of Wastewater Treatment Plants Malfunctioning

**Parole chiave:** impianti di trattamento reflui, analisi dei guasti, gestione impianti comprensoriali

**Key words:** wastewater treatment plant, troubleshooting, network facility management

### 1. PREMESSA

Il Meridione d'Italia presenta in aree a forte antropizzazione criticità nei sistemi di collettamento, gestione e trattamento dei reflui. Le ragioni delle difficoltà sono legate alla insostenibilità di scelte tecnologiche, a inadeguati strumenti organizzativi e gestionali e alla mancanza di un sufficiente raccordo tra le funzioni pubbliche e private. La situazione di conflittualità genera incapacità nel garantire i servizi minimi per la popolazione in ampi contesti, tanto che le situazioni di disagio di questi comprensori arriva ad interessare, in momenti di straordinaria urgenza, l'intero sistema economico e politico regionale. I comprensori a cui si fa riferimento sono quelli sui quali vi è stato spesso l'intervento della Magistratura e dalla Comunità Europea, con numerose procedure di infrazione, avviate senza peraltro tradursi in un effettivo miglioramento dal punto di vista ambientale. In questi contesti complessi la capacità di gestire il ciclo dell'acqua in maniera

efficace risulta limitata dalla difficoltà di realizzare un'analisi chiara e condivisa della situazione di partenza e delle cause di insuccesso, per poi affrontare, con sufficienti garanzie, l'implementazione di nuove tecnologie con criteri di efficienza e sostenibilità. Le emergenze correlate ai sistemi di trattamento reflui hanno generato storicamente condizioni di crisi igienico-sanitaria difficilmente controllabili e quantificabili dal punto di vista economico e sociale. L'individuazione dei ruoli e delle responsabilità sul tema della programmazione, gestione e controllo delle acque e dei reflui, nell'attuale impianto normativo ha una gestazione durata diversi decenni ed è un percorso tutt'ora in evoluzione. In periodi particolarmente critici, come nella stagione estiva, si verificano troppo spesso situazioni di agitazione sociale e manifestazioni di protesta da parte di cittadini e degli operatori economici legati all'industria del turismo. Il tema in discussione sottolinea la necessità di una attenta analisi delle cause di fallimento

di interventi significativi già effettuati nelle regioni meridionali, così come è indispensabile attuare il trasferimento in contesti simili delle azioni di miglioramento che si sono dimostrate proficue.

### 2. SINTESI DELLE ESPERIENZE ENEA

L'analisi del malfunzionamento dei sistemi di trattamento dei reflui nelle Regioni del Sud Italia è un argomento che merita di essere approfondito, sulla scorta della semplice considerazione che solo attraverso lo studio delle cause di fallimento di significativi impegni del passato può essere riconsiderato un approccio sostenibile per il futuro. Purtroppo va detto che le esperienze in grado di raccogliere ed analizzare dati sul malfunzionamento dei depuratori delle acque inquinate sono spesso difficili da reperire, celati da gestioni poco trasparenti in un settore dove la crisi economica a volte giustifica ritardi e mancati interventi con effetti disastrosi per l'uomo e l'ambiente. L'ENEA ha condotto da al-

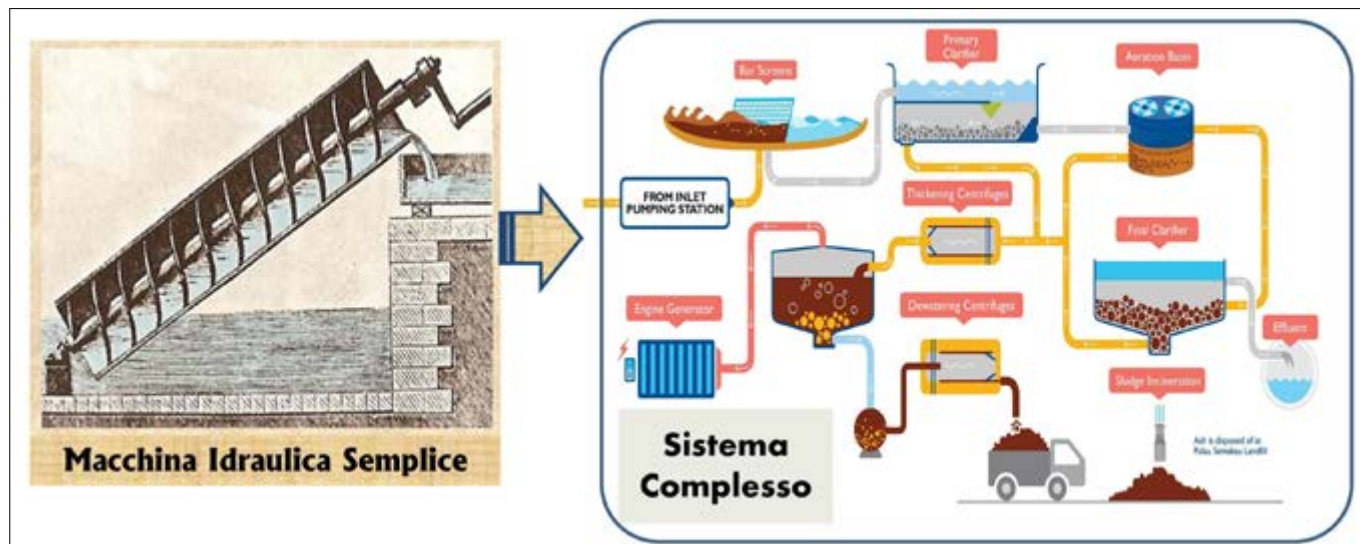


Figura 1. Il Trattamento reflui: da Macchina Semplice a Sistema Complesso

**Raffaele Pica**

Ricercatore al Dipartimento Sostenibilità dei sistemi produttivi e territoriali dell' Agenzia Nazionale per le Nuove tecnologie, l'Energia e lo sviluppo Economico Sostenibile. Centro Ricerche ENEA di Bologna  
E-mail: raffaele.pica@enea.it



cuni decenni l'analisi di disastri ambientali in aree particolarmente critiche del nostro Paese. Gli studi sul trattamento delle acque reflue hanno fatto da base conoscitiva per l'approfondimento delle problematiche riscontrate nella gestione di singoli impianti di trattamento e di complesse reti di ambiti comprensoriali estesi. Il patrimonio di conoscenze scientifiche ha condotto in qualche caso alla collaborazione con le forze dell'ordine e con la magistratura, trasferendo le competenze tecniche in consulenze per tentare di attribuire le responsabilità dei fallimenti in sede giudiziaria.

Un primo mito da sfatare per chi si occupa di depuratori è che essi siano sistemi semplici, il cui modello di riferimento, in verità valido fino agli anni '90, ricalca quello di una serie di trattamenti automatici o semi-automatici effettuati in cascata. Il layout impiantistico del depuratore è ispirato, se si vuole, a quanto succede nei processi naturali del ciclo dell'acqua. In una visione semplicistica lo schema di purificazione delle acque fognarie prevede di sollevare i reflui dal fondo della fognatura e caricali in cima al depuratore, lasciando che essi scorrono attraverso una serie di vasche dove, in maniera automatica, vengono ripuliti dai contaminanti. Generalmente le operazioni unitarie che incontriamo lungo il percorso sono classiche e consolidate da oltre un secolo di impiego: la grigliatura, la dissabbiatura, la sedimentazione, il trattamento biologico, la disinfezione ed infine lo scarico. Generalmente lo schema biologico dei depuratori del mezzogiorno prevede, nella maggior parte dei casi, il trattamento a fanghi attivi. I fanghi biologici vengono "coltivati" in modo da accelerare i processi di digestione delle sostanze organiche contenute nell'acqua degradandole a composti inorganici semplici.

Tralasciando l'approfondimento sulle cause di specifiche tecnologie di trattamento applicabili nel settore, si può affermare che la prima causa di incapacità dei sistemi di trattamento, risiede nell'errore di valutazione dei fattori di riferimento per il dimensionamento delle sezioni di impianto e delle apparecchiature. Spesso per impianti poco efficienti si è riscontrata una analisi iniziale di poche pagine, semplificando in poche tabelle l'analisi della portata e la caratterizzazione chimico-fisica del refluo. Questa "visione semplicistica" evita di estendere la fase conoscitiva del contesto ambientale in cui il depuratore è inserito, viziando "ab origine" la progettazione con errori difficilmente recuperabili in fase di esercizio.

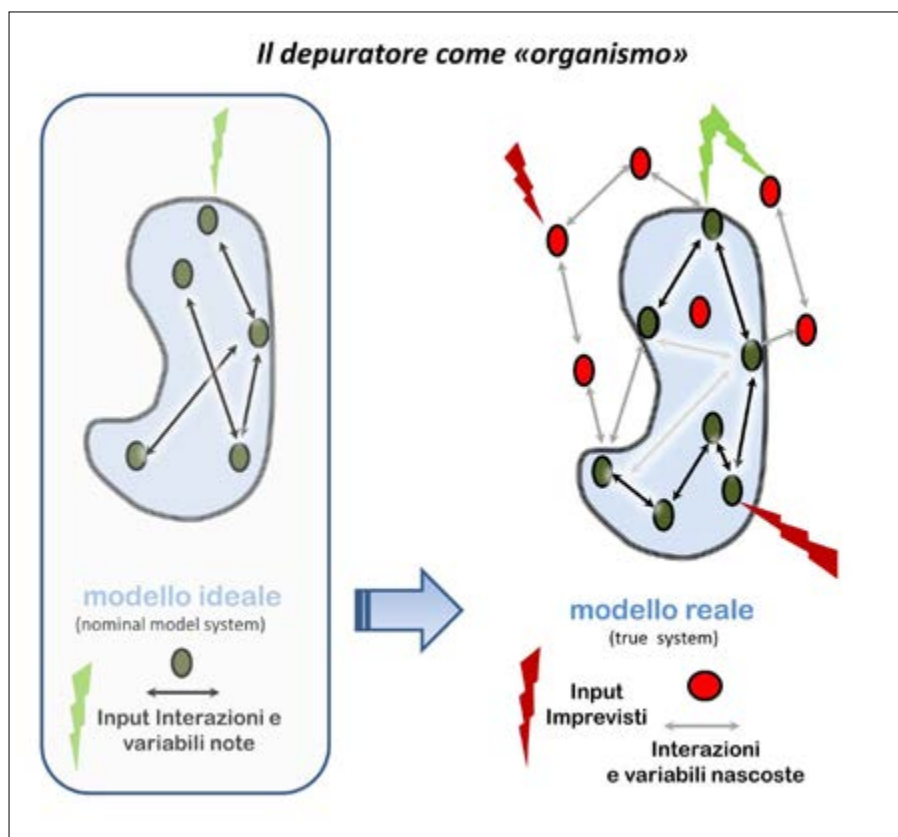


Figura 2. Il Depuratore dal modello ideale a quello reale

L'esperienza pratica ha dimostrato che il depuratore moderno smette di essere una "macchina idraulica semplice" comportandosi come tutti i sistemi complessi; nei modelli reali i parametri che governano il comportamento dell'organismo sono sotto l'influenza di forzanti esterne che possono essere difficilmente previste a priori.

Generalmente le forzanti che maggiormente causano difficoltà di gestione dipendono dallo spazio e dal tempo in maniera aleatoria, le variabili di questo

tipo sono correlate a fenomeni naturali ed antropici, con dimensioni che vanno dalla scala locale fino ad estendersi oltre l'area di bacino afferente al depuratore. A esempio basti pensare all'influenza dei cambiamenti climatici o alla diffusione degli inquinanti emergenti su scala globale.

La stragrande maggioranza dei depuratori del Meridione d'Italia adotta la tecnologia a biomassa sospesa a fanghi attivi a schema classico. Tipicamente questi impianti sono caratterizzati da bassi tassi di malfunzionamento quan-



Figura 3. Fattori che influenzano il funzionamento dei sistemi di depurazione



Figura 4. Impianto sperimentale ENEA-Goccia per il trattamento terziario dei reflui con membrane microfiltranti, Rocca Imperiale (CS)

do vi sono limitate variazioni del carico idraulico e di concentrazione degli inquinanti. Essi spesso confidano in una buona capacità del corpo idrico recettore di assorbire limitati sforamenti di correnti solo parzialmente trattate. Purtroppo le condizioni orografiche e socio-culturali del Sud Italia si pongono in antitesi con i presupposti sopra descritti, basti pensare alle grandi fluttuazioni legate all'industria stagionale turistica o la presenza di aree sensibili. In questi contesti alcune sperimentazioni su sistemi elettromeccanici avanzati sono state effettuate sia per aumentare la flessibilità e l'efficienza del comparto biologico che per i trattamenti terziari di affinazione e disinfezione.

La migrazione verso tecnologie innovative, se da un lato permette di avere maggiore flessibilità nella gestione del processo depurativo, richiede compe-

tenze in grado gestire sistemi elettromeccanici telecomandati per attuare più rapide modifiche dei parametri di processo attraverso modularità e mobilità delle sezioni di trattamento. Se ben gestiti impianti di questo tipo (Membrane Biological Reactor (MBR), Moving Bed Biological Reactor (MBBR), Sequencing Biological Reactor (SBR)) possono garantire maggiori livelli di Qualità dei reflui in uscita (riutilizzo), come nel caso del depuratore di Fasano. La migrazione per impianti a fanghi attivi a schema classico non è sempre facile da attuarsi, sia in termini impiantistici che culturali, ma essa rimane una scelta obbligata laddove sistemi più semplici si siano dimostrati inadeguati.

### 3. CONCLUSIONI

I fallimenti degli obiettivi depurativi analizzati dall'ENEA suggeriscono che

il depuratore non è una "Vasca" per il contenimento dei liquami, tantomeno una piccola cascata dal funzionamento automatico.

Le tecnologie semplici sono spesso le più affidabili, purtuttavia non fanno miracoli; vanno analizzate a fondo le specifiche esigenze impiantistiche, valutando le diverse soluzioni senza credere a tecniche miracolistiche o non sostenibili. Infatti, l'uso di nuove tecnologie comporta, comunemente, maggiori competenze e capacità tecniche nella gestione ordinaria e straordinaria degli impianti e si rende indispensabile laddove i sistemi semplici si siano dimostrati inadeguati. Va tenuta in debita considerazione l'esperienza dei fallimenti di alcuni importanti interventi per i processi depurativi per la salvaguardia dei corpi idrici del Sud Italia.

I casi di malfunzionamento mettono in luce la necessità di ben valutare molteplici fattori correlati in maniera complessa al ciclo dell'acqua. A tal riguardo non vanno sottovalutati gli impegni Economico/Gestionali ed una serie di parametri spazio-temporali aleatori che influenzano il comportamento dei sistemi di raccolta e trattamento dei reflui. L'esperienza dell'ENEA suggerisce di non trascurare il "fattore umano" che in alcuni casi è capace di causare disservizi maggiori rispetto ai guasti delle macchine e dei processi.

### BIBLIOGRAFIA

- PICA R., DE GISI S., SABIA G., NOTARNICOLA M. (2017), *Identifying the weakness of large centralized wastewater treatment plants operating in a critical area: the case study of Regi Lagni (southern Italy)*. 9<sup>th</sup> International Conference on Environmental Engineering and Management- ICEEM 09. ECOZONE Pub., Iasi Romania.
- PICA R., GIULIANO A., SABIA G., BUSI S., DE GISI S. (2016), *La bonifica dei Regi Lagni in Campania. Problematiche nella gestione di reti di trattamento delle acque reflue in contesti critici*. Atti Ecomondo, Maggioli Editore.
- PICA, R., PASANISI, F., CESARO, G., TEBANO, C., SALLUZZO, A. (2013), *Valutazioni preliminari per il recupero di sabbie da impianti di depurazione per il ripascimento dei litorali*. Energia, Ambiente e Innovazione, n. 3-4/2013, pp. 26-35
- PICA R., PASANISI F., TEBANO C., SALLUZZO A., CESÀRO G. (2012), *Regi Lagni: revamping of the wastewater treatment plant "Area Nolana" without service interruption*. Rivista ENEA - Energia, Ambiente e Innovazione n. 4-5/2012 Luglio-ottobre Parte I.
- BRUNO DELLA ROCCA A., PICA R. *et al.* (2008), *SISI Project: Developing GIS Based Tools for Vulnerability assessment*. Visual Information Systems. Ed. Springer



Figura 5. Rilascio di Supporti per Moving Bed Biofilm Reactor sul litorale tirrenico italiano per il malfunzionamento di un depuratore MBBR della provincia di Salerno, (2018)

# Tecnologie non convenzionali per il trattamento delle acque reflue urbane nell'ottica dell'economia circolare

## Unconventional technologies for municipal wastewater treatment in the context of the circular economy

Parole chiave: bioplastiche, economia circolare, fango primario cellulosico, recupero di materia

Key words: bioplastics, circular economy, cellulosic primary sludge, materials recovery

**Sabino De Gisi\***

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica (DICATECH), Politecnico di Bari

**Maurizio Galasso**

Centro ricerca innovazione e sviluppo (CERIS s.r.l.), Solofra (AV)

**Michele Notarnicola**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica (DICATECH), Politecnico di Bari

**Giovanni De Feo**

Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIIn), Università degli studi di Salerno, Fisciano (SA)

\*Corresponding author: Sabino De Gisi  
E-mail: [sabino.degisi@poliba.it](mailto:sabino.degisi@poliba.it)

### RIASSUNTO

Lo studio mira ad approfondire esempi di recupero di materia ed energia da un impianto di depurazione delle acque reflue urbane. Dopo la presentazione delle tecnologie biologiche convenzionali (fanghi attivi), non convenzionali ed innovative ad oggi esistenti per la rimozione della frazione carboniosa ed i composti dell'azoto, sono stati indagati i seguenti promettenti recuperi di materia: recupero del fango primario cellulosico, del fosforo, delle bioplastiche e delle acque reflue depurate.

### ABSTRACT

This study aims to investigate examples of material and energy recovery from a municipal wastewater treatment plant. After an in-depth study on the current biological conventional (activated sludge), unconventional and innovative processes for the removal of the carbonaceous fraction and the nitrogen compounds, the following promising material recoveries options have been investigated: primary cellulosic sludge, phosphorus recovery, bioplastics recovery and treated wastewater reuse.

### 1. INTRODUZIONE

La strategia Europa 2020 ha come obiettivo quello di promuovere una crescita intelligente, sostenibile e solidale. In relazione a tali priorità, il documento identifica cinque obiettivi che dovranno essere perseguiti dall'Unione europea entro il 2020; essi si riferiscono, prevalentemente, alla realizzazione di investimenti più efficaci per l'istruzione, la ricerca e l'innovazione, e auspicano uno sviluppo di un'economia caratterizzata da basse emissioni di CO<sub>2</sub>, nonché la creazione di posti di lavoro e la riduzione

ne della povertà. In sintesi, la strategia Europa 2020 indirizza verso lo sviluppo della bioeconomia (Zucaro, 2016).

La scarsità della risorsa idrica che sta emergendo in alcune zone del pianeta, anche per i cambiamenti climatici in atto, attribuisce un ruolo fondamentale al riutilizzo – in condizioni sicure ed efficienti – delle acque reflue trattate. L'industria è il maggiore utilizzatore di acqua in Europa (53%), seguita dall'agricoltura (26%), anche se si prevede che l'uso agricolo possa aumentare notevolmente nei prossimi anni. Secondo il report Water Reuse Europe Review (2018), l'acqua recuperata potrebbe soddisfare molti usi industriali e irrigui; tuttavia, in Europa viene riutilizzato meno del 3% delle acque reflue urbane disponibili. Il principale riuso è quello agricolo, praticato nelle aree meridionali della Spagna (347 Mm<sup>3</sup>/anno) e dell'Italia (233 Mm<sup>3</sup>/anno); nonostante ciò, questi riusi rappresentano rispettivamente solo il 5% e il 12% degli effluenti trattati (Hochstrat *et al.*, 2006).

Negli ultimi anni, nel settore degli impianti di depurazione si è verificato un radicale cambio di visione dell'impianto stesso; in letteratura internazionale, questo cambio è indicato con il termine "paradigm shift". Secondo questa visione, l'impianto di depurazione non è più considerato solo un presidio per la tutela dell'ambiente (fiumi, mare, suolo e sottosuolo) che si pone a valle del sistema fognario; esso viene considerato come il punto di partenza per la valorizzazione di potenziali risorse che ad oggi sono considerate alla stregua di sostanze di scarto. Bertanza *et al.* (2018) evidenziano come la spinta internazionale verso questo paradigm shift nasce dall'esigenza di contrastare i crescenti

costi per l'energia e per lo smaltimento di rifiuti derivanti dal funzionamento degli impianti di depurazione. Il costo dell'energia e per lo smaltimento dei fanghi ammonta per più del 60% dei costi gestionali di un impianto di depurazione. A ciò si aggiunge una generalizzata maggiore attenzione verso gli aspetti ambientali quali l'inquinamento indotto dal consumo di energia da fonti fossili/dal trasporto e il progressivo depauperamento delle risorse naturali.

In quest'ottica, l'impianto di depurazione nella sua accezione classica sarà sempre di più inteso *in primis* come una struttura autosufficiente e *in secundis* come una "fabbrica" (o una bioraffineria) di nuovi composti da destinare sul mercato, a partire dal recupero delle risorse presenti nelle acque reflue e nei fanghi di depurazione (es., composti dell'azoto, fosforo, bioplastiche).

La tematica del trattamento delle acque reflue urbane per il loro riuso sicuro è stata ampiamente affrontata negli ultimi decenni (Asano *et al.*, 2006); con riferimento ai paesi industrializzati, diversi sono gli esempi di impianti che riusano le acque reflue in ambito urbano, agricolo e nell'industria. Recenti, invece, sono le ricerche miranti al recupero sistematico delle risorse potenzialmente presenti nei reflui urbani quali il recupero del fango primario cellulosico (Crutchik *et al.*, 2018; Ruiken *et al.*, 2013), del fosforo e delle bioplastiche (Frison *et al.*, 2015).

L'obiettivo principale dello studio è approfondire alcuni esempi di recupero di materia ed energia da un impianto di depurazione delle acque reflue urbane. Per lo scopo, l'articolo è stato strutturato in modo da riportare nel paragrafo 2 una panoramica delle tecnologie con-

venzionali (fanghi attivi), non convenzionali ed innovative ad oggi esistenti; l'intento è quello di evidenziare come il mondo della ricerca negli ultimi decenni si sia concentrato sul miglioramento/ottimizzazione dei processi (soprattutto biologici) presenti in un depuratore. Successivamente, sono approfonditi, nel paragrafo 3, diverse modalità di valorizzazione dei reflui che prevedono il recupero del fango primario cellulosico, del fosforo e delle bioplastiche.

## 2. LO SVILUPPO DI PROCESSI NON CONVENZIONALI PER LA TUTELA DELL'AMBIENTE

Un impianto di depurazione tradizionale per il trattamento delle acque reflue urbane è in genere costituito da quattro sezioni (*Fig. 1*).

*Fig. 1*, si basano su microrganismi "sospesi" nella miscela aerata; il sistema così implementato, che comprende anche le unità di sedimentazione secondaria, prende il nome di "sistema a fanghi attivi o a colture sospese". Al sistema base, inizialmente sviluppato per la rimozione del BOD (che indicheremo anche con il termine di frazione carboniosa biodegradabile), sono stati affiancati altri processi biologici, operati chiaramente da differenti microrganismi. L'impianto di *Fig. 1*, al riguardo, implementa i processi di denitrificazione/nitrificazione, i quali sono finalizzati alla rimozione della frazione azotata presente nel refluo urbano influente all'impianto. Con la nitrificazione, l'azoto ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ) è dapprima convertito in nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) grazie all'azione dei batteri ossidanti l'ammoniaca (es., *nitrosomonas*);

nioso dovrà essere "esterno" (contenuto nel refluo influente o aggiunto ad hoc). A seguito dei processi di denitrificazione/nitrificazione e di ossidazione biologica del BOD sopra descritti, è opportuno che i microrganismi siano separati dal refluo depurato; la sedimentazione secondaria assolve pertanto a questo compito. Il fango secondario (e biologico) così rimosso sarà in parte ricircolato in testa al sistema a fanghi attivi ed in parte allontanato (fanghi di supero). Sia i fanghi primari che i fanghi secondari saranno trattati nella linea fanghi dell'impianto (*Fig. 1*). L'effluente della sedimentazione secondaria è invece destinato ad un eventuale trattamento di affinamento (indispensabile per il recupero delle acque, come si dirà successivamente) ed alla disinfezione (obbligatoria). Per quanto riguarda i

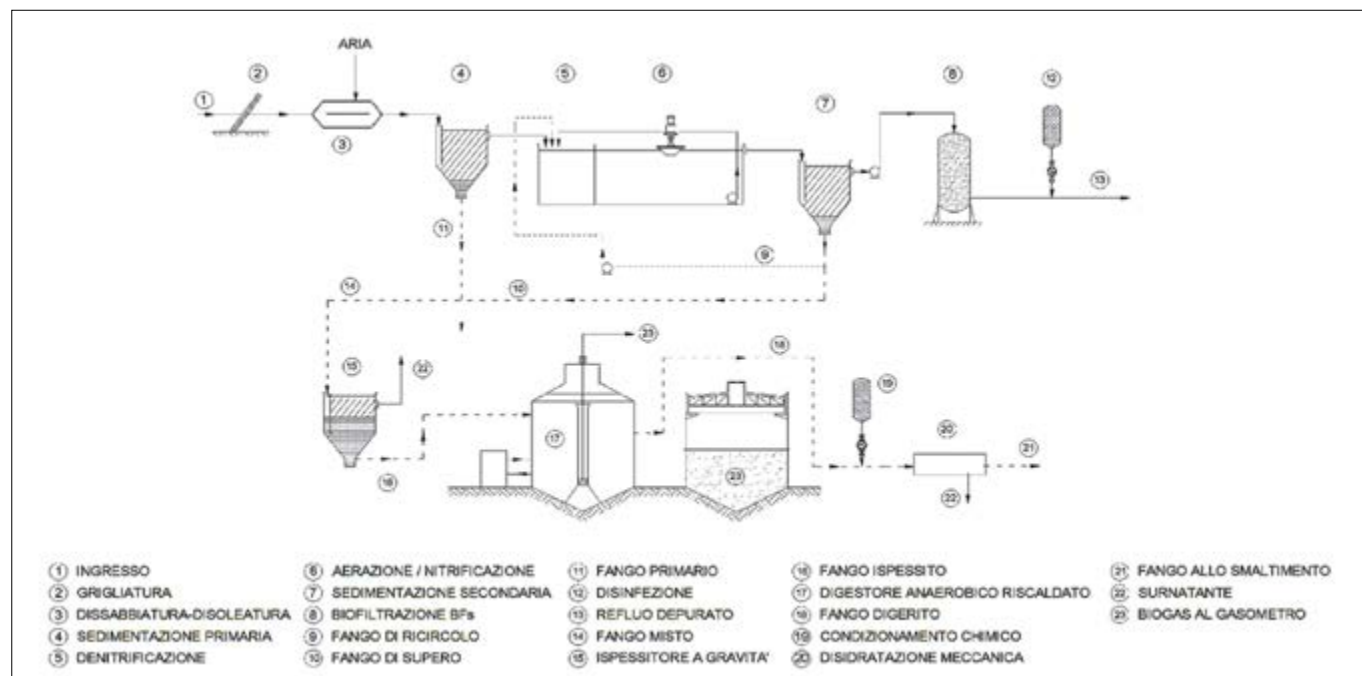


Figura 1. Tipico schema di trattamento di un impianto di depurazione a schema classico per grandi potenzialità (De Feo et al., 2012)

I pre-trattamenti sono finalizzati alla rimozione dei corpi grossolani, degli oli e delle sabbie e più in generale di quei composti che possono arrecare problemi nei trattamenti successivi. Il trattamento primario prevede la decantazione per gravità del refluo pre-trattato con l'obiettivo di rimuovere una parte consistente dei solidi sospesi totali (%SST ~ 65%) e una parte non trascurabile della domanda biochimica di ossigeno (Biochemical Oxygen Demand, %BOD ~ 30%). Il trattamento secondario, invece, è finalizzato alla rimozione della sostanza organica biodegradabile presente sia sotto forma particellare che in soluzione. Il trattamento, di natura biologica, è condotto da svariati microrganismi. I processi implementati nel depuratore di

successivamente, i nitriti sono convertiti in nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) per effetto dell'azione dei batteri ossidanti il nitrito (es., *nitrobacter*). Le due famiglie sopra citate presentano un metabolismo autotrofo ed aerobico; si "nutrono" di carbonio inorganico (o interno, es.  $\text{CO}_2$ ) e necessitano di ossigeno. Con la denitrificazione, invece, i nitrati prodotti in nitrificazione sono convertiti in azoto gassoso ( $\text{N}_2$ ) e come tale rilasciati in atmosfera. La conversione è resa possibile dai svariati microrganismi denitrificanti quali *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, ecc. Differentemente dai microrganismi ossidanti e nitrificanti, questi sono anossici ed eterotrofi; la denitrificazione necessita di un ambiente privo di ossigeno ed il substrato carbo-

fanghi di depurazione, si prevede dapprima un trattamento d'ispessimento finalizzato alla riduzione del contenuto di umidità del fango e successivamente un trattamento di stabilizzazione della sostanza organica ancora presente nel fango nonché di riduzione drastica della carica patogena. La stabilizzazione di *Fig. 1* è anaerobica e consente, inoltre, di produrre gas biologico utilizzabile ai fini energetici. Infine, il fango digerito è dapprima condizionato chimicamente e successivamente disidratato, prima dello smaltimento/riuso all'esterno dell'impianto.

Il depuratore di *Fig. 1* è un classico impianto a fanghi attivi o a colture sospese; processi di questo tipo sono ampiamente adottati proprio a causa

della loro affidabilità e flessibilità. Di contro, le sfide degli ultimi anni, hanno richiesto lo sviluppo di processi più performanti (in termini di rimozione dei contaminanti) o anche, in grado di superare gli attuali limiti dei processi convenzionali (si pensi allo sviluppo di soluzioni compatte, in grado di occupare meno spazio). A tal riguardo, la Fig. 2 schematizza alcuni esempi di processi non convenzionali ed innovativi sviluppati negli anni.

Gli impianti SBR (*Sequencing Batch Reactor*, reattore in batch sequenziale) si basano sull'attuazione sequenziale di più fasi di trattamento all'interno di un unico reattore. Generalmente, un processo SBR si compone di 5 fasi distinte (Fig. 2a): l'alimentazione del sistema, la

reazione, la sedimentazione, lo scarico e l'attesa. I rendimenti di rimozione della sostanza organica, delle forme dell'azoto e del fosforo, nel caso delle acque reflue urbane, sono sostanzialmente paragonabili a quelli ottenibili con un processo a fanghi attivi continuo, così come le caratteristiche di sedimentabilità del fango (Andreottola *et al.*, 2000).

I sistemi MBR (*Membrane Biological Reactor*, reattori biologici a membrana), si basano sull'abbinamento dei processi a fanghi attivi con la tecnologia della microfiltrazione. Il refluo, presente nella vasca di ossidazione, viene dapprima sottoposto ai processi biologici di rimozione della sostanza organica e di nitrificazione e, successivamente, per mezzo delle membrane operanti nel

campo della microfiltrazione, si realizza la separazione della biomassa dall'acqua (Stephenson *et al.*, 2000). Le membrane sono barriere selettive realizzate in materiale semipermeabile, con pori microscopici, che consentono alle molecole dell'acqua ed alle sostanze disciolte di attraversare liberamente i pori, mentre intercettano solidi sospesi, batteri e virus (Fig. 2b). Le membrane utilizzate nei processi MBR (microfiltrazione) consentono la rimozione delle particelle di dimensioni del sub-micron, con un diametro variabile nell'intervallo di 0,1-1,0  $\mu\text{m}$  e con pressioni operative fino a 500 kPa (5 bar).

I reattori a letto mobile MBBR (*Moving Bed BioReactors*) sono reattori biologici, in genere di qualunque forma

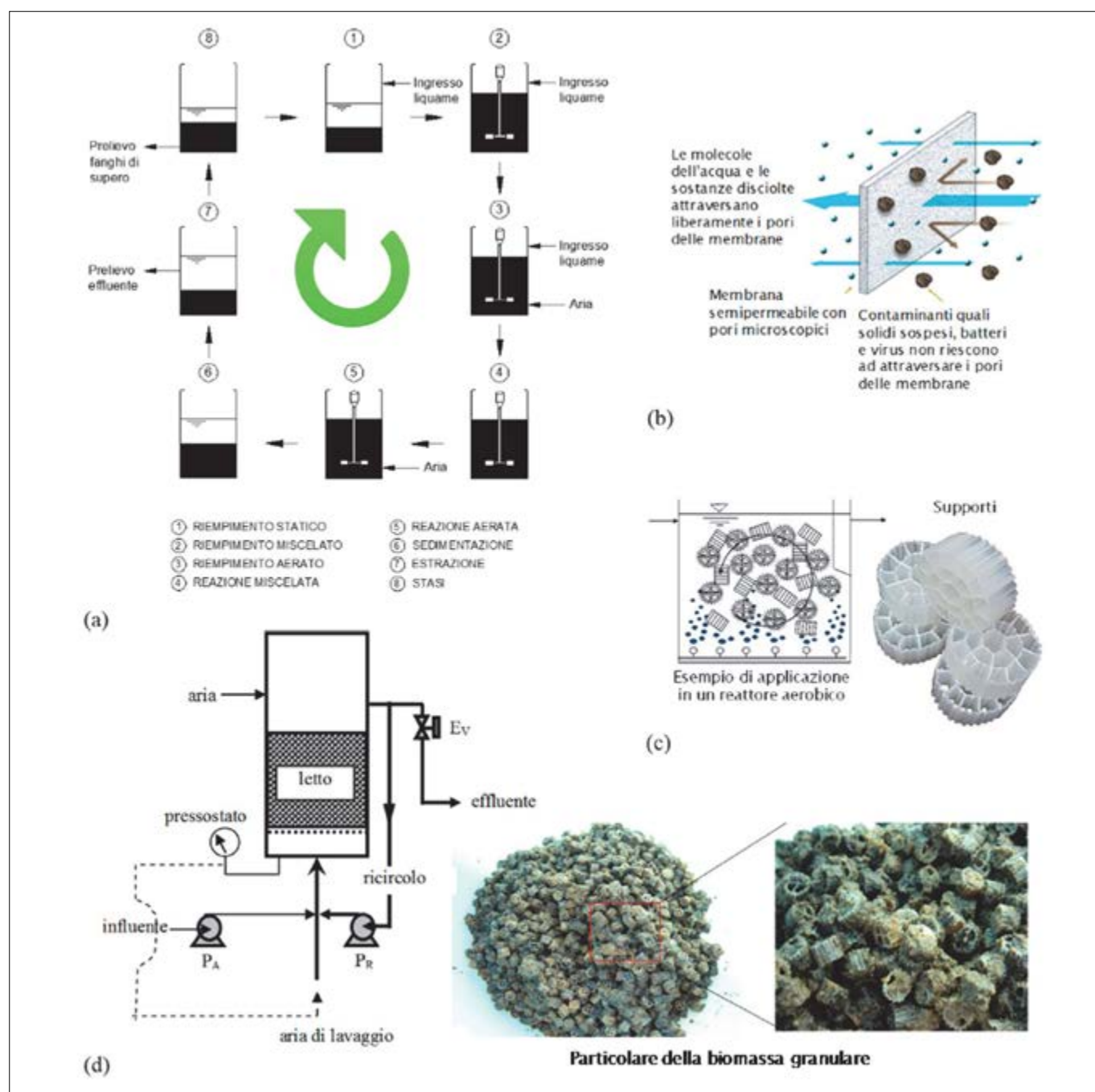


Figura 2. Processi biologici non convenzionali e innovativi: (a) SBR - Sequencing Batch Reactor; (b) MBR - Membrane Biological Reactor; (c) MBBR - Moving Bed Biofilm Reactor; (d) SBBGR - Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor (modificato da De Feo *et al.*, 2012)

e dimensione, spesso per nulla differenti dalle vasche a fanghi attivi, in cui la biomassa batterica si sviluppa su opportuni mezzi di supporto porosi o a canale aperto, liberamente dispersi e sospesi nel mezzo liquido (Pastorelli *et al.*, 1997). L'unica differenza rispetto alle vasche a fanghi attivi tradizionali è la presenza di una rete a maglia grossolana, posizionata a monte della bocca di efflusso della vasca, al fine di impedire la fuoriuscita dei mezzi di supporto (chiamati anche biocarriers, Fig. 2c) con l'effluente. I processi a letto mobile si caratterizzano per il fatto che, diversamente dai fiocchi di fango attivo, la biomassa si sviluppa su un mezzo di supporto. A valle del reattore MBBR si rende, perciò, necessaria una fase di separazione solido-liquido in grado di intercettare le pellicole di spoglio da trattare alla stregua di un fango di supero.

Il sistema SBBGR (*Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor*) è costituito esclusivamente da un unico reattore a flusso ascendente (Fig. 2d), parzialmente riempito da materiale plastico alla rinfusa, confinato tra due piastre, nel quale si sviluppano processi di ossidazione biologica e dal quale si provvede all'estrazione dell'effluente depurato (Di Iaconi e Ramadori, 2012). L'aerazione avviene in una zona esterna al materiale di riempimento; un pressostato, posizionato sul fondo del reattore, misura on-line le perdite di carico derivanti dalla crescita della biomassa e dai solidi, presenti nel refluo, trattenuti per filtrazione. Al raggiungimento di un determinato valore delle perdite di carico, si effettua il lavaggio, eseguita con sola aria in pressione. Uno dei vantaggi del SBBGR è la possibilità di favorire l'aumento della concentrazione della biomassa all'interno del reattore (fino ad un ordine di grandezza maggiore di quelle presenti nei sistemi di trattamento tradizionali). Ciò comporta una conseguente riduzione della produzione di fango, stimata in 0,1 kg (fango secco) per kg di COD rimosso (*Chemical Oxygen Demand*, Domanda Chimica di Ossigeno), 5-6 volte più bassa rispetto ai fanghi attivi convenzionali (Di Iaconi e Ramadori, 2012).

La disamina delle tecnologie di cui sopra fornisce una chiara idea di come la ricerca nel campo delle acque degli ultimi decenni abbia sostanzialmente mirato allo sviluppo di processi alternativi a quelli esistenti, con l'intento di ridurre la produzione del fango da destinare allo smaltimento (ed è il caso dell'SBBGR) o l'ingombro volumetrico/superficiale di tali processi (Fig. 3).

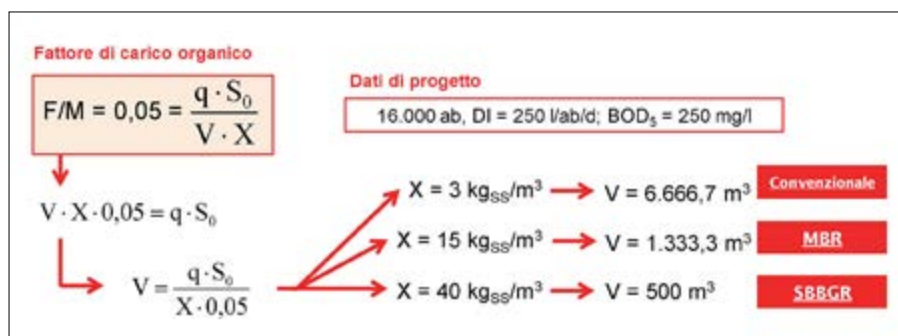


Figura 3. Confronto tra processi biologici (convenzionali e non, innovativi) in termini di volume richiesto per la rimozione della frazione carboniosa dalle acque reflue urbane

### 3. L'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE URBANE NELL'OTTICA DELL'ECONOMIA CIRCOLARE

#### 3.1 PRODUZIONE DEL FANGO PRIMARIO CELLULOSICO

La sedimentazione primaria ha sempre assunto una notevole importanza in un impianto di depurazione per acque reflue urbane. Già nel 2004, Marani *et al.* (2004) e Mininni *et al.* (2004) avevano evidenziato rispettivamente l'importanza del fango primario ai fini della produzione energetica tramite biogas in digestione anaerobica e la possibilità di ottimizzare la gestione dei fanghi primari e secondari (biologici) prodotti in un impianto di depurazione. In questa direzione si inserivano inoltre gli studi condotti da De Feo *et al.* (2008) miranti al potenziamento delle performance della sedimentazione primaria per mezzo del dosaggio di opportuni chemicals, meglio ancora se di natura organica.

Il ruolo della sedimentazione primaria può essere ad oggi ridimensionato con l'introduzione di una fase di staccatura fine a valle della tradizionale grigliatura grossolana. A tal riguardo, studi pregressi hanno evidenziato i molteplici vantaggi dovuti ad una siffatta introduzione, quali il recupero della cellulosa dal materiale staccato (vagliato) e la riduzione della componente particellare non biodegradabile in ingresso al biologico a fanghi attivi (Ruiken *et al.*, 2013).

Presente nelle acque reflue urbane a seguito dello scarico della carta igienica, la cellulosa è un importante polisaccaride costituito da un gran numero di molecole di glucosio unite tra loro da un legame β (1→4) glicosidico; oggigiorno, il suo recupero assume una crescente importanza come di seguito descritto.

Ruiken *et al.* (2013) dimostrano come l'introduzione di uno staccio con maglia <0,35 mm (Salsnes Filter, Norvegia) consenta di ottenere le seguenti

rimozioni percentuali: %SST = 50%; %COD = 35%; %N<sub>TOT</sub> (azoto totale) = 1%; %P<sub>TOT</sub> (fosforo totale) < 1%. Inoltre, la frazione di cellulosa presente nei solidi così rimossi è pari al 79%.

Il materiale staccato ha mostrato un comportamento del tutto simile alla carta igienica ed alla cellulosa pura (cellulosa microcristallina), come si evince dai risultati dell'analisi termogravimetrica (analisi TGA) di Fig. 4a. Il confronto con lo spettro di Fig. 4b, riportante miscele a base di componenti organici come i fanghi di sedimentazione primaria, evidenzia come il picco della cellulosa intorno ai 250-300°C (Fig. 4a) – nel materiale staccato – è maggiore del corrispondente picco riportato in Fig. 4b per fanghi primari; il contenuto di cellulosa è pertanto maggiore nel campione staccato rispetto al campione di fango proveniente dalla sedimentazione primaria. A tal riguardo, si è stimata una rimozione percentuale dei SST in sedimentazione primaria pari al 50-60% ed una frazione di cellulosa pari al 25-32% dei SST; valori, pertanto, inferiori rispetto al caso sopra descritto della staccatura.

Ruiken *et al.* (2013) evidenziano come i fanghi primari presentavano una frazione significativa di cellulosa, ma la stessa è inferiore rispetto a quella ottenibile con la staccatura fine.

La rimozione della quasi totalità della cellulosa presente nel refluo per mezzo della staccatura può consentire di superare la parziale biodegradazione della cellulosa che si ottiene per mezzo dei processi biologici convenzionali presenti in un impianto di depurazione (fanghi attivi e digestione anaerobica). Gli autori hanno dimostrato come la cellulosa, presentando una lenta biodegradabilità, è presente sia nei fanghi attivi (Fig. 4c) sia nei fanghi a seguito della digestione anaerobica (Fig. 4d). Ne consegue che, la sua quasi totale rimozione con la staccatura, a maggior ragione se la cellulosa potrebbe costituire una parte importante del cosiddetto COD inerte

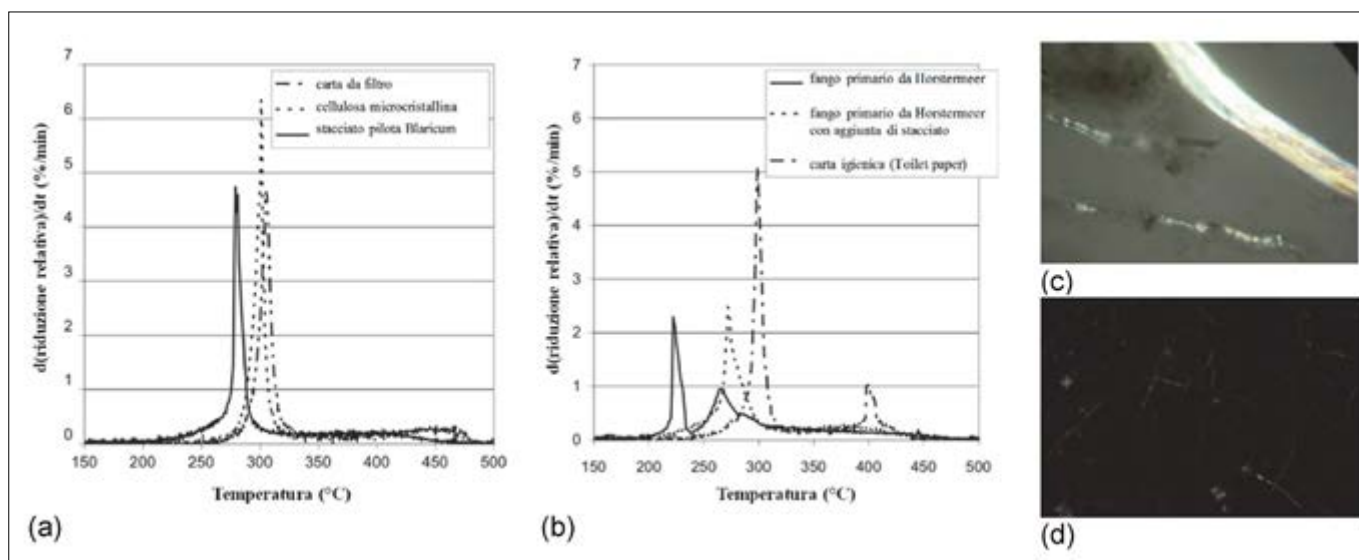


Figura 4. Spettri termogravimetrici di (a) cellulosa microcristallina, carta da filtro e stacciato a base di cellulosa e fanghi primari dell'impianto di depurazione "Horstermeer", di (b) fanghi primari dell'impianto di depurazione "Horstermeer" con l'aggiunta di materiale staccato e carta igienica; immagini microscopiche di fibre di cellulosa (c) provenienti da fanghi attivi e (d) nei fanghi digeriti (modificata da Ruiken et al., 2013)

nelle acque reflue (non rimosso con processi biologici), possa migliorare le performance del processo biologico a fanghi attivi (Ruiken et al., 2013). A seguito dell'introduzione di una staccatura fine, si renderebbe non più necessaria una fase di sedimentazione primaria. La cellulosa presente nel fango primario può essere recuperata in linea fanghi, così come descritto nel paragrafo successivo.

### 3.2 RECUPERO DI MATERIA E DI ENERGIA DAI FANGHI DI DEPURAZIONE

In una prima soluzione, la parte solida del fango primario preventivamente ispessita è inviata al fermentatore acidogenico (Fig. 5a).

Si tratta di un reattore di fermentazione del tipo SBR operante alle condizioni di temperatura e pH che

massimizzano la produzione degli acidi grassi a catena corta (*Short-Chain Fatty Acids*). Quest'ultimi, indicati con l'acronimo SCFA, sono caratterizzati da una catena alifatica composta da meno di 6 atomi di carbonio. Gli SCFA prodotti durante il processo fermentativo sono principalmente l'acido acetico e l'acido propionico. Alle condizioni ottimali di temperatura (37°C, regime di mesofilia) e pH (8 nel fango influente), Crutchik et al. (2018) hanno stimato una produzione pro-capite di SCFA di 2,92 kg COD/AE/anno. Inoltre, il processo fermentativo consente il rilascio dei nutrienti (azoto e fosforo) presenti nel fango influente.

Successivamente, il fango in uscita dal fermentatore acidogenico è sottoposto a separazione solido/liquida; la parte solida è destinata alla digestione anaero-

bica mentre la parte liquida al recupero di materia. In termini di produzione di biogas, Crutchik et al. (2018) stimano una produzione pro-capite di 3 m<sup>3</sup>/AE/anno. Con riferimento alla parte liquida, le elevate concentrazioni di SCFA e di nutrienti (azoto e fosforo) suggeriscono un suo recupero di materia; grazie all'acido propionico (>30%), il liquido di post-fermentazione potrà essere destinato sia al recupero del fosforo in processi EBPR (Enhanced Biological Phosphorus Removal) o chimico-fisici (mediante produzione di struvite) sia alla produzione di composti con alto valore aggiunto quali i polidrossialcanoati (PHAs, polyhydroxyalkanoates) usati nella produzione delle bioplastiche (Frison et al., 2015).

Nel caso specifico di Fig. 5a, il liquido di fermentazione è stato utilizzato per il

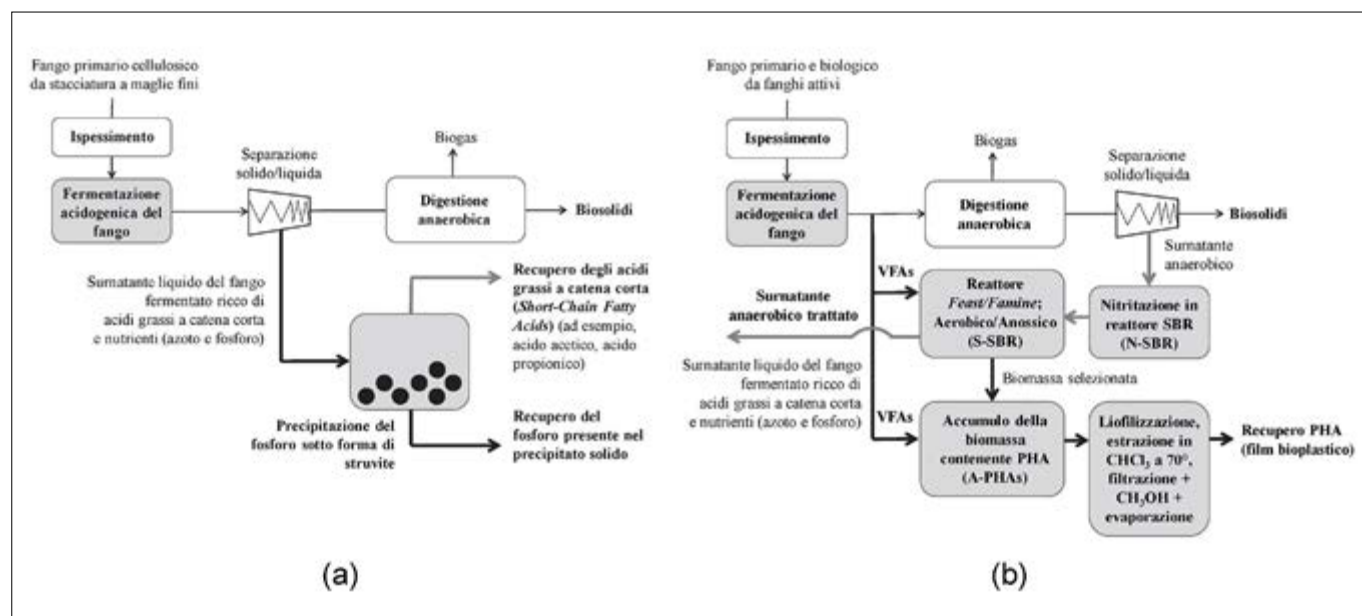
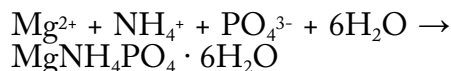


Figura 5. Schema di processo per la valorizzazione (a) del fango primario "cellulosico" ai fini del recupero del fosforo (modificata da Crutchik et al., 2018) e (b) del fango misto "primario + biologico da fanghi attivi" ai fini del recupero delle bioplastiche (modificata da Frison et al., 2015).

recupero del fosforo mediante la produzione di struvite. Presente sotto forma di composti cristallini, la struvite è il prodotto della precipitazione dell'azoto ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ) e del fosforo ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) nel rispetto della seguente reazione:



Ai fini della produzione di struvite, è opportuno che le concentrazioni di  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  siano tali da garantire un rapporto molare N: P: Mg unitario; inoltre, è opportuno prevedere il dosaggio di composti basici al fine di portare il pH a valore 9. Nel caso specifico di Crutchik *et al.* (2018), gli esperimenti hanno previsto l'aggiunta di 5 g/l di idrossido di magnesio ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) secondo un rapporto molare  $\text{PO}_4^{3-} : \text{Mg}^{2+}$  di 1:1.5 e regolando il pH iniziale a 8, 5 con NaOH (0.1 M). La produzione di struvite è stata stimata in 0, 15 kg/AE/anno.

Nella seconda soluzione (Fig. 5b), la parte solida del fango misto "primario e secondario dal biologico a fanghi attivi" preventivamente ispessita è anch'essa inviata al fermentatore acidogenico. Anche in questo caso, la fermentazione consente di ottenere un fango fermentato ricco di SCFA e di nutrienti. Differentemente da quanto riportato in Crutchik *et al.* (2018), si è investigata la capacità del recupero dei PHA (recupero di materia) e quella della rimozione dei nutrienti presenti nel surnatante anaerobico (tutela dell'ambiente). In particolare, è stato sviluppato e applicato un nuovo processo in cui l'alternanza di condizioni *aerobico-feast* (di abbondanza) e *anossico-famine* (di carestia) ha permesso di selezionare la biomassa contenente i PHA e la rimozione dell'azoto tramite nitrificazione/denitrificazione. Altra modalità di rimozione dell'azoto da un reflu, differente dal ben più noto trattamento di denitrificazione/nitrificazione, la nitrificazione/denitrificazione prevede la rimozione dell'azoto per ossidazione dell'ione ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) in nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e la sua successiva riduzione in azoto gassoso ( $\text{N}_2$ ); in tali processi, la quantità di carbonio che deve essere fornita ai microrganismi è inferiore rispetto al trattamento convenzionale (Malamis *et al.*, 2014). Dal momento che il surnatante anaerobico è solitamente caldo (in mesofilia, si raggiungono temperature comprese nell'intervallo 30-40°C) e le alte temperature favoriscono la crescita dei batteri ossidanti dell'ammonio rispetto ai batteri ossidanti dei nitriti (Hellinga *et al.*, 1998), la nitrificazione/denitrificazione

ne rappresenta il trattamento ideale per rimuovere l'azoto dal surnatante anaerobico (Malpei *et al.*, 2008). La rimozione dell'azoto è così facilitata, potendosi usufruire di un percorso ridotto (una sorta di scorciatoia) rispetto al trattamento convenzionale di denitrificazione/nitrificazione (che prevede la conversione da  $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$  gas).

In termini impiantistici, lo schema di Fig. 5b prevede 2 reattori del tipo SBR. Il primo (N-SBR) è dedicato quasi esclusivamente al processo di nitrificazione (aerobico) con la conversione dell'ione ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) in nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Il secondo SBR (indicato con S-SBR) è destinato al processo di denitrificazione ed alla selezione della biomassa contenente PHA. In particolare, il ciclo operativo del S-SBR di selezione consiste in 50 minuti di condizioni aerobiche e 250 minuti di condizioni anossiche, per un totale di 300 minuti, al letto delle fasi di alimentazione, assestamento e scarico tipiche di un SBR. Inoltre, l'effluente liquido in uscita dal reattore N-SBR (con concentrazione di nitriti alte se paragonate a quelle dell'ammonio) è successivamente inviato al reattore S-SBR durante i primi 10-12 minuti della fase anossica (di carestia) di quest'ultimo. Frison *et al.* (2015) evidenziano come durante le condizioni aerobiche l'ammonio è ossidato in nitrito e gli acidi grassi volatili (VFA, *Volatile Fatty Acids*), provenienti dal fango fermentato, convertiti in PHA; durante le condizioni di carestia anossica, il nitrito è ridotto in azoto gassoso ( $\text{N}_2$ ); i microrganismi che conducono tale riduzione utilizzano i PHA immagazzinati nella biomassa interna al reattore (rappresentante la fonte di carbonio). La fonte esterna di carbonio (VFA) è aggiunta pertanto solo all'inizio della fase aerobica. A seguito della sedimentazione nel reattore S-SBR, la biomassa contenente PHA è separata dal surnatante trattato; quest'ultimo, sottratto dell'azoto, sarà ricircolato nella linea acque del depuratore. La biomassa così selezionata sarà invece inviata al terzo reattore (che chiameremo con il termine A-PHAs). Quest'ultimo consente l'accumulo dei PHA. Mantenendo una concentrazione di ossigeno disciolto costantemente pari a 2 mg/L, è prevista l'aggiunta di un substrato carbonioso. Con riferimento al caso dell'aggiunta del liquido di fermentazione dei fanghi di depurazione con wollastonite (un minerale molto comune in rocce metamorfiche di contatto, derivanti da dolomie e calcari impuri), Frison *et al.* (2015) evidenziano

come la biomassa del reattore A-PHAs sia stata in grado di accumulare fino al 21±5% di PHA (gPHA/gVSS x100), in presenza di un rapporto COD/N/P di (100:7, 8:0, 06) e dopo 8 ore di funzionamento; le rese osservate nella produzione di PHA sono state di circa 0, 40 gCOD<sub>PHA</sub>/gCOD<sub>VFA</sub>.

I biopolimeri prodotti con la miscela a base del liquido di fermentazione dei fanghi di depurazione con wollastonite sono caratterizzati dalla presenza in prevalenza di 3HB (3-idrossibutirrato) e 3HV (3-idrossivalerato). Il 3HB rappresenta la maggior parte del PHA prodotto (57%) mentre la percentuale di 3HV è pari al 41%. Frison *et al.* (2015) mostrano come i PHA così recuperati possano essere destinati per lavorazione termoplastica. Infatti, la caratterizzazione del materiale ha rivelato che il biopolimero prodotto con la miscela a base del liquido di fermentazione dei fanghi di depurazione con wollastonite è composta da lunghe catene molecolari con un peso molecolare (MW, peso molecolare medio) pari 7, 4x10<sup>5</sup> g/mol e una distribuzione simile della lunghezza della catena (indice di polidispersione pari a 1, 25 MW/Mn dove Mn = numero di moli). In generale, la bassa cristallinità in combinazione con un Tg (temperatura di transizione vetrosa) basso (-1, 6°C) sono indice di biopolimeri con caratteristiche amorfe (Frison *et al.*, 2015).

### 3.3 RECUPERO DELLE ACQUE REFLUE

Una fase di staccatura fine come precedentemente descritta può consentire la sostituzione (o by-pass) della sedimentazione primaria. Dal momento che con la rimozione della cellulosa si rimuoverebbe una parte importante del cosiddetto COD inerte nelle acque reflue (non rimosso con processi biologici), le performance del biologico a fanghi attivi sono destinate a migliorare (Ruiken *et al.*, 2013). Il recupero delle acque reflue e il loro riutilizzo dovrà necessariamente prevedere una sequenza di trattamenti finalizzati al loro affinamento.

Il riuso della risorsa idrica ha molteplici applicazioni, potendo spaziare dal settore agricolo a quello industriale e urbano (Tab. 1).

La presenza di nutrienti rende il riuso delle acque reflue urbane un'interessante soluzione per l'irrigazione dei campi (Pollice *et al.*, 2004). Inoltre, le acque reflue depurate possono essere reimpiegate nel settore industriale come ad esempio acqua di raffreddamento, di alimentazione delle caldaie e acqua di processo e nelle costruzioni pesanti



**Tabella 1. Applicazioni potenziali per il riutilizzo delle acque reflue (De Gisi et al., 2017)**

Categoria	Applicazioni
Irrigazione in agricoltura	Irrigazione delle colture, vivai commerciali
Irrigazione ai fini paesaggistici	Parchi, cortili di scuole, piazzali autostradali, campi da golf, cimiteri, aree verdi residenziali
Riuso e riciclo in industria	Acqua di raffreddamento, di alimentazione caldaia e di processo
Ricarica della falda sotterranea	Reintegrazione/Ricarica delle falde sotterranee, controllo dell'intrusione dell'acqua salina
Usi ricreativi e ambientali	Laghi e stagni, miglioramento delle paludi, aumento del flusso minimo dei corsi d'acqua, pesca, produzione di neve artificiale
Usi urbani non potabile	Protezione antincendio, aria condizionata, flussaggio della toilette
Riuso ai fini potabili	Miscelazione in serbatoi di approvvigionamento idrico, miscelazione in acque sotterranee, approvvigionamento idrico diretto ( <i>direct pipe to pipe water supply</i> )

(Levine e Asano, 2002). Nelle aree urbane, le acque reflue depurate possono essere utilizzate per l'irrigazione di parchi e zone residenziali e per usi ricreativi e ambientali che comprendono diverse applicazioni come la ricarica dei laghi o stagni e corsi d'acqua. Un altro riutilizzo non potabile è la protezione antincendio, il condizionamento dell'aria e lo sciacquone dei servizi igienici (riuso

dell'acqua negli edifici). Inoltre, l'acqua recuperata può essere riutilizzata anche per la ricarica della falda sotterranea con un contributo diretto e indiretto al riutilizzo potabile (De Gisi et al., 2017). Chiaramente, ciascun riuso richiede il rispetto dei valori tabellari stabiliti da normative e standard di riferimento; ad esempio, in termini di riutilizzo delle acque reflue in agricoltura in Italia,

occorrerà che i valori allo scarico siano inferiori ai valori tabellari stabiliti dal D.M. n. 185/2003.

Gli schemi di riutilizzo dell'acqua coprono una vasta gamma di applicazioni (Asano et al., 2006). Le tecnologie di trattamento spaziano dalle membrane al *Soil Aquifer Treatment* (SAT), dai bioreattori a membrana (MBR) ai sistemi naturali (Tab. 2).

**Tabella 2. Vantaggi e svantaggi connessi alle tecnologie di riuso dell'acqua (Water Reuse Europe Review, 2018)**

Tecnologia	Vantaggi	Svantaggi
Osmostri inversa (OI)/ Nanofiltrazione (NF)	Elevata qualità degli effluenti, solidi sospesi e torbidità molto basse, elevata rimozione di sostanze organiche e microrganismi; costanza nella qualità dell'acqua prodotta; affidabile; ingombro ridotto; adatto ad un'ampia gamma di applicazioni di riuso, sia decentrate che centralizzate (agricolo, industriale, commerciale e ambientale).	Costi di capitale elevati; consumi energetici per sistemi operanti ad alta pressione; costi di manutenzione legati alla gestione del fouling delle membrane (pulizia/ricambio membrana); manutenzione ordinaria (pulizia chimica delle membrane); produzione di rifiuti concentrati.
MBRs	Elevata qualità degli effluenti, basso contenuto di nutrienti; elevata capacità di trattenere contaminanti microbici; controllo non accoppiato dei fanghi e del tempo di detenzione idraulico; bassa produzione di fanghi; bassa impronta; facile automazione/semplificazione controllo di processo.	Fouling delle membrane; costi capitale connessi alle membrane; costi di manutenzione (pulizia, sostituzione delle membrane ogni 5-10 anni); consumo energetico e costi connessi.
Ultrafiltrazione (UF)/ Microfiltrazione (MF)	Lavora ad una pressione inferiore rispetto ai sistemi ad osmostri inversa (OI), quindi con una ridotta richiesta energetica; fouling limitato rispetto al sistema OI; capacità di trattare effluenti con un alto livello di solidi sospesi.	Flussi più contenuti rispetto ai sistemi ad OI; il permeato non è direttamente riutilizzabile e richiede trattamenti aggiuntivi ad alta domanda energetica; incertezza sul costo complessivo della tecnologia di trattamento; tecnologia ancora in fase di sviluppo, anche se esistono schemi su larga scala.
Sistemi naturali	Semplice da progettare e gestire, robusto e accettato; la percolazione/filtrazione dell'acqua in terreni insaturi in combinazione con lo stoccaggio sotterraneo consente un ulteriore trattamento dell'acqua <sup>(a)</sup> ; elevata capacità di stoccaggio sotterraneo che può attenuare le variazioni stagionali della domanda e dell'offerta idrica <sup>(a)</sup> ; capacità di trattenere i contaminanti microbici; basso livello di manutenzione e operatività <sup>(b)</sup> ; vantaggi estetici <sup>(b)</sup> ; tecnologie attraenti per applicazioni decentrate e rurali <sup>(b)</sup> .	Ampia necessità di superfici; intasamento degli impianti che richiedono una manutenzione regolare <sup>(a)</sup> ; potenziale intasamento irreversibile dei suoli sotterranei <sup>(a)</sup> ; potenziale impatto sulle proprietà fisico-chimiche delle acque sotterranee <sup>(a)</sup> ; prestazioni strettamente legate alle proprietà del suolo <sup>(a)</sup> ; potenziale produzione di cattivi odori <sup>(b)</sup> .
AOP (processi di ossidazione avanzata)	Nessuna produzione di rifiuti; velocità di reazione rapida; automazione e controllo semplici.	Consumo di chemicals e di energia; potenziale formazione di sottoprodotti pericolosi ( <i>hazardous by-products</i> ); costi operativi elevati.
Strumenti analitici online e monitoraggio rapido	È possibile l'analisi in automatico dei parametri chimico-fisici, dei microrganismi, dei contaminanti organici in traccia e dei contaminanti emergenti; rapida risalita alla contaminazione delle acque; riduce il prelievo dei campioni d'acqua e le analisi di laboratorio; fornisce un ulteriore barriera per la salvaguardia della salute pubblica; strumento di supporto per ottimizzare il sistema di disinfezione.	Tecnologie emergenti; potenziali problemi di robustezza, sensibilità e ripetibilità; potenziali allarmi falsi positivi; complessi "effetti di matrice" ( <i>matrix effects</i> ) osservati in attrezzature quali GC (gas cromatografia), HPLC (cromatografia liquida ad alta prestazione), ICP (spettrometria di massa a plasma), ecc., possono influenzare i risultati.

(a): Vale solo per il Soil Aquifer Treatment (SAT); (b): Vale solo per la fitodepurazione.

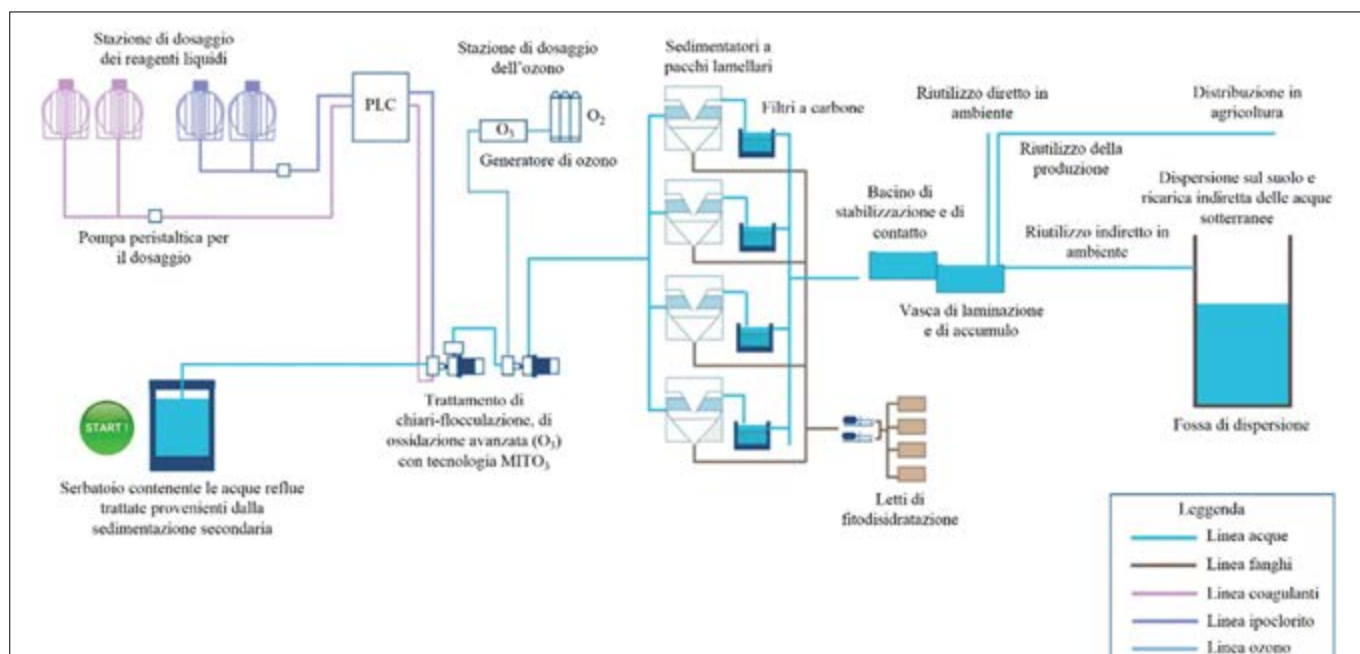


Figura 6. Schema di trattamento dell'impianto di affinamento delle acque reflue urbane di Fasano (Regione Puglia) gestito dalla società Aquasoil s.r.l. (modificato da Water Reuse Europe Review, 2018)

Nei casi in cui è prevista un'acqua di recupero di altissima qualità, la combinazione osmosi inversa (OI) e processi di ossidazione avanzata (AOP, *Advanced Oxidation Processes*) sembrerebbe la soluzione più adatta. Per il riutilizzo industriale, la scelta della tecnologia è

generalmente sito-specifica; le innovazioni tendono a focalizzarsi su cambiamenti incrementali a soluzioni tecniche già esistenti. Inoltre, i sistemi ibridi, che sfruttano le sinergie tra tecnologie tenendo in conto dell'importante nesso energia/acqua, saranno sempre più im-

portanti (Water Reuse Europe Review, 2018).

Con riferimento al riutilizzo in agricoltura, la maggior parte delle attività su scala reale e dimostrativa considerano le acque reflue urbane quale fonte di approvvigionamento, sebbene non

**Tabella 3. Recupero di materia da impianti di depurazione delle acque reflue urbane (modificato da Bertanza et al., 2018)**

N.	Comparto	Azione	Tipo di recupero	Obiettivo del recupero	Livello di sviluppo tecnologico
1	Grigliatura	Lavaggio del grigliato	Sostanza organica	Substrato per la denitrificazione	Molte applicazioni a scala reale
2	Staccatura fine	Staccatura <0,35 mm	Fibre di cellulosa	Sfruttamento energetico; recupero di materia	Scala pilota
3	Dissabbiatura	Lavaggio delle sabbie	Materiale inerte	Riutilizzo in opere civili	Poche applicazioni
4	Disoleatura	Separazione degli oli/grassi	Oli e grassi	Sfruttamento energetico o agronomico	Poche applicazioni
5	Sedimentazione primaria	By-pass dell'unità di trattamento	Sostanza organica	Recupero di sostanza organica per denitrificazione	Maturo
6	Effluente dal depuratore	Uso interno (acqua tecnica)	Effluente depurato	Vari usi, riduzione dei consumi di acqua potabile	Molte applicazioni
7	Effluente dal depuratore	Usi esterni	Effluente depurato	Vari usi; dopo affinamento, possibili utilizzi in agricoltura, per la ricarica della falda, ecc.	Poche applicazioni rispetto al potenziale
8	Denitrificazione	Dosaggio sostanza organica preventivamente recuperata	Sostanza organica	Sostituzione di substrati puri	Maturo
9	Digestione anaerobica	Produzione di gas biologico	Biometano	Produzione di biocombustibile	Diverse applicazioni a scala reale
10	Surnatanti della linea fanghi	Precipitazione del fosforo	Fosforo sotto forma di struvite	Impiego come fertilizzante	Rare applicazioni a scala reale
11	Surnatanti della linea fanghi	Strippaggio dell'ammoniaca	Sali di ammonio	Impiego come fertilizzante	Fattibile a scala reale, ma non conveniente
12	Intera linea fanghi	Accumulo di PHA (poli-idrossialcalonati)	Biopolimeri	Bioplastiche	Scala pilota
13	Disidratazione meccanica	Agricoltura/compost	Fanghi	Ammendante	Molte applicazioni
14	Essiccamento	Trattamento termico	Fanghi disidratati meccanicamente	Recupero energetico	Diverse applicazioni a scala reale
15	Vari	Recupero di oli esausti da apparecchiature elettromeccaniche	Oli lubrificanti	Rigenerazione oli, recupero energetico	Consorzio oli usati

manchino esempi di riutilizzi virtuosi di acque reflue industriali (Vergine *et al.*, 2017). L'approccio generalmente adottato consiste nell'affinamento del refluo effluente dalle unità di sedimentazione secondaria. A tal riguardo, la Fig. 6 mostra lo schema di trattamento dell'impianto di affinamento di Fasano (Regione Puglia), considerato un esempio di storia di successo su scala Europea.

Esso si basa su una tecnologia in attesa di brevetto (MITO3X®) che prevede l'iniezione simultanea di cloruro di alluminio (chiari-flocculazione), ipoclorito di sodio o acido peracetico (disinfezione) e carboni attivi (adsorbimento) nella linea di aspirazione di una pompa centrifuga. La successiva sedimentazione su pacchi lamellari consente di separare dall'effluente depurato sia i solidi derivanti dalla chiari-flocculazione sia i carboni attivi. L'effluente è dapprima inviato in un bacino di contatto/stabilizzazione e successivamente in un bacino di stoccaggio di 40.000 m<sup>3</sup>, in grado di compensare la variabilità della domanda degli agricoltori. Le acque reflue così depurate potranno essere destinate a svariati utilizzi come mostrato in Fig. 6. Nel periodo luglio 2016-luglio 2017 è stato prodotto un volume complessivo di circa 106 m<sup>3</sup>, metà del quale è stato distribuito per l'irrigazione e la restante parte è stata utilizzata per la ricarica della falda sotterranea. L'acqua è distribuita agli agricoltori sulla base di contratti stipulati direttamente con la società di gestione. Il costo del trattamento terziario è dell'ordine di 0,16-0,25 €/m<sup>3</sup> che, in accordo al regolamento regionale, è caricato sulla bolletta idrica dei residenti locali. Attraverso il contratto con la società di gestione, gli agricoltori locali che riutilizzano l'acqua pagano soltanto i costi associati alla distribuzione (es. pompaggio), in base alla distanza, alla frequenza di utilizzo e al volume fornito (Water Reuse Europe Review, 2018).

### 3.4 ALTRI RECUPERI

La Tab. 3 infine riporta una sintesi dei possibili recuperi dalle acque reflue urbane con informazioni qualitative anche sul livello di sviluppo delle tecnologie.

## 4. CONCLUSIONI

Le recenti scoperte in campo tecnologico mirano a trasformare la visione di un "normale" impianto di depurazione. Svariate sono le opportunità teoriche per il recupero di materia ed energia. Alcune applicazioni sono caratterizzate da un alto livello di maturità tecnologica (TLR, *Technology Readiness Level*), quali

quelle per il recupero del fango celluloso o del fosforo dai surnatanti biologici; di contro, il recupero delle bioplastiche sembra essere ancora caratterizzato da una bassa maturità tecnologica. Le recenti ricerche condotte su impianti pilota (H2020 SMART-Plant) potranno senz'altro colmare questo gap di conoscenze ad oggi esistente, facilitando il recupero anche delle bioplastiche. Infine, in termini di riuso delle acque reflue depurate, il quadro tecnologico attuale rende i siffatti recuperi molto affidabili.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ANDREOTTOLA G., FOLADORI P., RAGAZZI M., TATÀNO F. (2000), *Experimental comparison between MBBR and activated sludge system for the treatment of municipal wastewater*, Water Science & Technology 41(4-5), pp. 375-382.
- ASANO T., BURTON F.L., LEVERENZ H.L., TSUCHIHASHI R., TCHOBANOGLIOUS G. (2006), *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*, Metcalf & Eddy Inc. an AECOM Company, New York (USA).
- BERTANZA G., FOLADORI P., GUGLIELMI L. (2018), *Recupero di materia e di energia negli impianti di depurazione*, Maggioli Editore, Rimini.
- CRUTCHIK D., FRISON N., EUSEBI A.L., FATONE F. (2018), *Biorefinery of cellulosic primary sludge towards targeted Short Chain Fatty Acids, phosphorus and methane recovery*, Water Research 136, pp. 112-119.
- DECRETO MINISTERIALE 12 Giugno 2003, n. 185 "Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152" (G.U. 23 luglio 2003, n. 169).
- DE FEO G., DE GISI S., GALASSO M. (2012), *Acque reflue*, Dario Flaccovio Editore s.r.l.
- DE FEO G., DE GISI S., GALASSO M. (2008), *Definition of a practical multi-criteria procedure for selecting the best coagulant in a chemically assisted primary sedimentation process for the treatment of urban wastewater*, Desalination 230(1-3), pp. 229-238.
- DE GISI S., CASELLA P., CELLAMARE C.M., FERRARIS M., PETTA L., NOTARNICOLA M. (2017), *Wastewater reuse*, In: ABRAHAM M. (Eds.), *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, Elsevier Ltd.
- DI IACONI C., RAMADORI R. (2012), *Gli impianti SBBGR: una innovativa soluzione per la depurazione delle acque*, In: De Feo G., De Gisi S., Galasso M. (eds.) *Acque Reflue*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- FRISON N., KATSOU E., MALAMIS S., OEHMEN A., FATONE F. (2015), *Development of a Novel Process Integrating the Treatment of Sludge Reject Water and the Production of Polyhydroxyalkanoates (PHAs)*, Environmental Science & Technology 49(18), pp. 10877-10885.
- HELLINGA C., SCHELLEN A.A.J.C., MULDER J.W., VAN LOOSDRECHT M.C.M., HEIJNEN J.J. (1998), *The Sharon process: an innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water*, Water Science & Technology 37, pp. 135-142.
- HOCHSTRAT R., WINTGENS T., MELIN T., JEFFREY P. (2006), *Assessing the European wastewater reclamation and reuse potential—a scenario analysis*, Desalination 188, pp. 1-8.
- LEVINE A.D., ASANO T. (2002), *Water reclamation, recycling and reuse in industry*, In: Lens P., Pol L.H., Wilderer P., Asano T. (Eds.), *Water recycling and resource recovery in industry: analysis, technologies and implementation*. IWA Publishing, UK, ISBN 1843390051.
- MALAMIS S., KATSOU E., DI FABIO S., BOLZONELLA D., FATONE F. (2014), *Biological nutrients removal from the supernatant originating from the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste*, Critical Reviews in Biotechnology 34(3), pp. 244-257.
- MALPEI F., FICARA E., CANZIANI R. (2008), *Nitrogen removal from digestate: conventional and advanced technologies*, In: ADANI F., SCHIEVANO A., BOCCASILE G., eds. *Anaerobic Digestion: Opportunities for Agriculture and Environment*. Milan: University of Milan, pp. 113-127.
- MARANI D., RAMADORI R., BRAGUGLIA C.M. (2004), *Improving primary treatment of urban wastewater with lime-induced coagulation*, Annali di Chimica 94(5-6), pp. 399-408.
- MININNI G., BRAGUGLIA C.M., RAMADORI R., TOMEI M.C. (2004), *An innovative sludge management system based on separation of primary and secondary sludge treatment*, Water Science & Technology 50(9), pp. 145-153.
- PASTORELLI G., ANDREOTTOLA G., CANZIANI R., DARRIULAT C., DE FRAJA FRANGIPANE E., ROZZI A. (1997), *Organic carbon and nitrogen removal in moving-bed biofilm reactors*, Water Science & Technology 35(6), pp. 91-99.
- POLLICE A., LOPEZ A., LAERA G., RUBINO P., LONIGRO A. (2004), *Tertiary filtered municipal wastewater as alternative water source in agriculture: a field investigation in Southern Italy*, Science of the Total Environment 324, pp. 201-210.
- RUIKEN C.J., BREUER G., KLAVERSMA E., SANTIAGO T., VAN LOOSDRECHT M.C.M. (2013), *Sieving wastewater e Cellulose recovery, economic and energy evaluation*, Water Research 47, pp. 43-48.
- STEPHENSON T., BRINDLE K., JUDD S., JEFFERSON B. (2000), *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*, IWA (International Water Association) Publishing, Londra (UK).
- VERGINE P., SALERNO C., LIBUTTI A., BENEDEUCE L., GATTA G., BERARDI G., POLLICE A. (2017), *Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation*, Journal of Cleaner Production 164, pp. 587-596.
- WATER REUSE EUROPE REVIEW (2018) disponibile al seguente link: [www.water-reuse.eu](http://www.water-reuse.eu).
- ZUCARO R. (2016), *La risorsa idrica nell'economia circolare*, Anbinforma, disponibile al seguente link: <http://www.ambientidacqua.it/p/ambiente/842-la-risorsa-idrica-nell-economia-circolare>.

# Acque reflue e agricoltura sostenibile

## Reclaimed waters for sustainable agriculture

Parole chiave: sistemi colturali, irrigazione, fertirrigazione, qualità del suolo, qualità dei prodotti vegetali

Key words: cropping systems, irrigation, fertigation, soil quality, food quality

### A CHE PUNTO È LA RICERCA?

Il tema del trattamento delle acque reflue per il loro impiego in agricoltura, come risorsa irrigua supplementare, riguarda diverse discipline scientifiche. L'approccio multidisciplinare ha permesso di raggiungere risultati interessanti per quanto riguarda:

- il riuso irriguo di acque con carico microbiologico diverso in funzione del tipo di coltura (a destinazione alimentare e non) e della gestione agronomica
- l'ottimizzazione tecnico-economica della gestione di sistemi di depurazione di acque reflue attraverso la semplificazione dei processi di depurazione
- la verifica dell'efficacia di test rapidi e a basso costo per la valutazione in campo dell'eco-tossicità di suoli ed acque
- la realizzazione del sistema di telecontrollo via Internet dei parametri qualitativi delle acque prodotte per l'uso irriguo
- lo sviluppo di processi partecipativi e metodologie di informazione e coinvolgimento dei portatori di interesse (agricoltori, gestori di impianti, istituzioni e consumatori) per una gestione condivisa della risorsa.

In agronomia le acque reflue urbane depurate rappresentano una risorsa di importanza strategica, non solo dal punto di vista delle disponibilità idriche, ma anche di quelle nutrizionali (Mastorilli *et al.*, 2018; Campi *et al.*, 2016). Un aspetto di grande importanza è il "valore nutrizionale" delle acque reflue ossia la disponibilità di elementi nutritivi, che rappresenta un ulteriore vantaggio di queste acque. I macro nutrienti contribuiscono a soddisfare i fabbisogni nutrizionali delle colture, riducendo gli apporti di fertilizzanti. La presenza di meso e micronutrienti contribuisce a migliorare la qualità delle produzioni.

I risultati delle ricerche sostengono l'ipotesi di trattamenti semplificati

di depurazione che mirino a produrre acque per il riuso irriguo arricchite in elementi nutritivi. In questo modo si riducono i costi di trattamento e si ottiene una risorsa di grande valore agronomico, con evidenti benefici economici ed ambientali. Le caratteristiche delle acque reflue però sono estremamente variabili e devono essere monitorate. Oltre alle sostanze che rappresentano un potenziale beneficio per l'agricoltura, le future ricerche devono essere indirizzate all'analisi delle conseguenze di tipo igienico e ambientale, nonché dei contaminanti emergenti (Lopez *et al.*, 2015).

### QUALI SONO I RISCHI CONNESSI AL REIMPIEGO DELLE ACQUE DEPURATE ?

Le acque reflue urbane sono composte per circa il 99,9% di acqua, per lo 0,02-0,03% di sostanze solide in sospensione e, per la parte rimanente, di altre sostanze organiche e inorganiche insolubili (Lonigro *et al.*, 2007) e della componente microbica. Alcuni componenti causano rischi se rilasciati nell'ambiente attraverso la pratica irrigua.

Data la grande variabilità di caratteristiche e composizione di questo tipo di reflui, i rischi vanno valutati caso per caso e con molta attenzione. I rischi riguardano le risorse naturali, in particolare acqua e suolo, e la salute umana (inquinamento microbico, accumulo di metalli pesanti nella catena alimentare).

Il rischio igienico è legato alla presenza di microrganismi patogeni per l'uomo (batteri, virus, protozoi, elminti). È rappresentato da possibili infezioni a carico di operatori agricoli, dei prodotti irrigati e destinati al consumo fresco ed alla contaminazione delle acque di falda.

Data la difficoltà di monitorare tutti gli organismi patogeni, la qualità delle acque viene valutata mediante l'impiego di indicatori di inquinamento fecale (Coliformi totali e fecali, *Escherichia coli*, Streptococchi fecali, spore di Clostridi solfito-riduttori e *Salmonella*) (Lonigro

**Marcello Mastorilli**

Dirigente di Ricerca, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA)- Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente (CREA-AA)  
E-mail: [marcello.mastorilli@crea.gov.it](mailto:marcello.mastorilli@crea.gov.it)

*et al.*, 2007). I criteri generali che regolano la scelta di un microrganismo o di un gruppo di microrganismi come indicatori di contaminazione fecale sono basati su:

- 1) contemporanea presenza o assenza dell'indicatore e del patogeno;
- 2) presenza dell'indicatore e del patogeno in rapporti numerici costanti;
- 3) comparabilità della resistenza del patogeno e dell'indicatore alle condizioni ambientali;
- 4) facilità di rilevazione dell'indicatore (Lonigro *et al.*, 2007).

Insieme alla negativa percezione da parte di agricoltori, mass media e presidi autorizzativi, è la severa normativa che limita il riuso irriguo delle acque reflue urbane depurate in Italia. Per prevenire il rischio igienico i limiti imposti sono talmente restrittivi (L.185/03, Tab. 1) da rendere necessaria l'adozione di processi di affinamento molto costosi che tuttavia non sono sempre giustificati perché non tengono in nessun conto la finalità del riutilizzo (tipo di coltura, tecnica agronomica adottata, ecc.).

Il rischio sanitario-ambientale è di natura biochimica. Deriva dalla presenza nel refluo di elementi o composti di natura tossica e/o nociva scarsamente degradabili e quindi tendenti ad accumularsi e a permanere nelle componenti biotiche e abiotiche degli ecosistemi (Lonigro *et al.*, 2007). I principali responsabili di questa problematica sono i metalli pesanti e le sostanze organiche di sintesi difficilmente monitorabili. Tuttavia i metalli pesanti sono solitamente presenti in piccole quantità perché rimangono nei fanghi durante i processi di depurazione e sedimentazione.

I composti organici di sintesi destano invece molta più preoccupazione e potrebbero rappresentare, data la impossibilità di prevederli e monitorarli, un reale ostacolo nel riuso irriguo di acque reflue urbane depurate. Particolare preoccupazione destano i sottoprodotti della disinfezione a base di cloro (cloro-derivati) per i loro effetti sulla salu-

te umana. Negli ultimi anni di grande supporto è risultata la diffusione di test rapidi di eco-tossicità, che consentono di valutare la presenza di sostanze tossiche nelle acque o nei suoli irrigati con acque reflue (Montemurro *et al.*, 2017).

grana fine che, per poter essere produttivi, necessitano di condizioni strutturali ottimali.

Inoltre, se si considera che la presenza e l'accumulo di sali sodici porta anche all'incremento del pH (> 8, 5)

tenzialità agronomica delle acque reflue urbane. I reflui urbani sono infatti ricchi in macro (N, P, K), meso (Ca, Mg, S) e micronutrienti (B, Zn, Mn, Mo, Fe, Cu), pertanto equivalgono ad una soluzione fertilizzante diluita. Comunque le loro concentrazioni possano essere estremamente variabili.

A titolo di esempio, nelle *Tabb.* 2a, 2b e 2c si riporta un confronto fra le caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche di due tipi di acqua utilizzata a scopo irriguo per una prova triennale (successione di colture orticole: catriolo-lattuga; melone-scarola; barattiere-lattuga). Si tratta di una sperimentazione di campo realizzata nell'ambito del Progetto In.T.e.R.R.A. (Rubino *et al.*, 2015) a Noci, in provincia di Bari. Il confronto ha riguardato l'acqua di pozzo (controllo) e l'effluente da un impianto di trattamento a piena scala dei reflui con "Membrane Bio-Reactor", MBR (Pollice *et al.*, 2007).

Nelle acque reflue depurate, rispetto all'acqua di pozzo, aumenta la concentrazione dei 3 macro-elementi (N nella forma nitrica e ammoniacale), invariati rimangono i parametri microbiologici, e le conseguenze negative sulla permeabilità del terreno, dovute a concentrazioni più elevate di Na.

Tuttavia la potenzialità in termini di fertirrigazione è spesso trascurata. I contenuti di nutrienti, e di conseguenza gli apporti, non vengono monitorati e quantificati. Inoltre, i valori soglia per le concentrazioni di N e P fissati dalle normative vigenti in Italia sono restrittivi (L. 185/03; *Tab.* 1) e non tengono conto delle finalità del riuso; in particolare si riferiscono a strategie gestionali e tecnologie di depurazione che partono dal presupposto di dover scaricare le acque depurate nei corpi idrici ed i cui limiti di qualità sono in linea con questo obiettivo. Ciò non solo sottrae una risorsa potenziale ma rende più elevati i costi di depurazione.

Infine, poiché alcuni elementi possono raggiungere concentrazioni considerevoli (valori di Cl<sup>-</sup> in *Tab.* 2b), questi aspetti devono essere presi in considerazione nella gestione agronomica, per evitare che si creino al contrario problemi ambientali (rischio di lisciviazione e contaminazione delle acque sotto-superficiali) e/o squilibri nutrizionali.

La presenza di elementi nutritivi nelle acque reflue potrebbe invece essere valorizzata non solo attraverso il monitoraggio delle concentrazioni e la quantificazione degli apporti di elementi, ma anche attraverso l'adozione di

**Tabella 1. Valori limite delle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero per alcuni parametri chimico-fisici e microbiologici (L. 185/03)**

Parametro	U. M.	Valore Limite
pH		6-9,5
SAR		10
Materiali grossolani		Assenti
Solidi Sospesi Totali	mg/L	10
BOD5	mgO <sub>2</sub> /L	20
COD	mgO <sub>2</sub> /L	100
Fosforo totale *	mgP/L	2
Azoto totale *	mgN/L	15
Azoto ammoniacale	mgNH <sub>4</sub> /L	2
Conducibilità Elettrica	dS/m	3
Boro	mg/L	1
Cadmio	mg/L	0,005
Cromo totale	mg/L	0,1
Ferro	mg/L	2
Manganese	mg/L	0,2
Rame	mg/L	1
Piombo	mg/L	0,2
Zinco	mg/L	0,5
Cloruri	mg/L	250
Fluoruri	mg/L	1,5
Tensioattivi totali	mg/L	0,5
<i>Escherichia coli</i> **	UFC/100mL	10
Salmonella	UFC/100mL	Assente

## SALINITÀ DEL SUOLO E IRRIGAZIONE CON LE ACQUE REFLUE DEPURATE

Il problema della salinità è legato all'elevata concentrazione di sali nelle acque che, in seguito ad accumulo nel terreno, può portare a riduzione di fertilità e perdita di condizioni di abitabilità. I problemi derivanti dall'accumulo di sali sono di tipo osmotico, tossico e legati a squilibri nutrizionali (danno osmotico, nutrizionale e tossico).

È importante considerare non solo la quantità ma anche la qualità dei sali presenti. Se la elevata conducibilità elettrica è accompagnata da elevata presenza di Na, in rapporto alla quantità di altri cationi presenti (soprattutto Ca e Mg), il danno potenziale è di natura molto maggiore a causa degli effetti negativi del Na sulla flocculazione delle argille e quindi sulla struttura del terreno. Tali effetti sono tanto più gravi in suoli a

con conseguenze negative sulla fertilità chimica (disponibilità di Fe, P e altri microelementi) e biologica (attività batterica N-fissatrice e nitrificante), si intuisce l'entità del danno potenziale di tali sostanze.

Il rischio legato alla presenza di Na nelle acque viene valutato mediante l'indice SAR (Sodium Absorption Ratio), che esprime il rapporto tra Na e Ca + Mg. Le conseguenze del Na si manifestano con la flocculazione delle argille che determina la formazione di crosta superficiale e minore permeabilità dei suoli.

## SODDISFARE I FABBISOGNI IDRICI E NUTRIZIONALI DELLE COLTURE CON LE ACQUE REFLUE

Insieme alla disponibilità idrica, la disponibilità di elementi nutritivi per le colture rappresenta la maggiore po-

tecniche di trattamento e depurazione “semplificate”, mirate alla produzione di acque idonee al reimpiego irriguo arricchite in elementi nutritivi (Lopez *et al.*, 2006; Palese *et al.*, 2006). L'adozione di strategie di depurazione semplificate produce numerosi benefici ambientali ed economici, diretti ed indiretti, tra i quali:

- semplificazione delle operazioni di trattamento delle acque, con parziale eliminazione dei processi biologici miranti alla eliminazione dell'N e della sostanza organica (Lopez *et al.*, 2006). Ciò consentirebbe inoltre di ridurre i costi di trattamento e le superfici necessarie per gli impianti;
- riduzione dei costi ambientali di produzione dei concimi e delle emissioni di gas serra;
- riduzione del rischio di contaminazione dei corpi idrici (beneficio indiretto derivante dalla riduzione degli sversamenti nei corpi idrici e relativo soprattutto al fosforo).

Inoltre, i principali benefici economici per gli agricoltori consistono in:

- riduzione dei costi di produzione (per risparmio sugli elementi fertilizzanti);
- miglioramento qualitativo, e di conseguenza maggiore valore economico, delle produzioni;
- maggiore efficienza d'uso dei nutrienti, con possibilità di ridurre ulteriormente gli apporti, grazie alla fornitura degli elementi in soluzione, simulando le condizioni di fertirrigazione.

Quest'ultimo aspetto, ossia la maggior efficienza d'uso delle risorse, si inquadra anche come un ulteriore beneficio ambientale.

Per poter beneficiare al meglio di questi vantaggi è necessario ricorrere ad una razionale gestione agronomica ed in particolare conoscere:

- le potenzialità di apporto da parte delle acque: concentrazioni, volumi stagionali di irrigazione (soprattutto in relazione ai macro elementi);
- i fabbisogni delle colture;
- il contenuto di elementi che possono influire sulla qualità delle produzioni e sull'insorgere di squilibri nutrizionali (soprattutto in relazione a meso e micro elementi).

## I FABBISOGNI NUTRIZIONALI DELLE COLTURE

La stima degli apporti deve tener conto delle concentrazioni medie degli elementi nelle acque e dei volumi sta-

**Tabella 2a. Valori medi dei principali parametri chimico-fisici di due tipi di acque (di pozzo, controllo, e effluente da MBR) utilizzate a fini irrigui**

Parametro	U.M.	Pozzo	MBR
C.E.	dS/m	0,81	1,02
pH		7,62	7,52
BOD <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	3,50	6,00
COD	mgO <sub>2</sub> /L	5	36
Cloro attivo	mg/L	0	0
S.A.R.		1,1	2,4

**Tabella 2b. Valori medi dei principali parametri chimici di due tipi di acque (di pozzo, controllo, e effluente da MBR) utilizzate a fini irrigui**

Parametro	U.M.	Pozzo	MBR
Na <sup>+</sup>	mg/L	32	92
K <sup>+</sup>	mg/L	2	13
Ca <sup>++</sup>	mg/L	74	69
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0	5
Cl <sup>-</sup>	mg/L	46	122
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	26	41
SO <sub>4</sub> <sup>- -</sup>	mg/L	14	48
P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	5	13
F <sup>-</sup>	mg/L	0	1

**Tabella 2c. Valori medi dei principali parametri microbiologici di due tipi di acque (di pozzo, controllo, e effluente da MBR) utilizzate a fini irrigui**

Parametro	U.M.	Pozzo	MBR
Coli totali	u.f.c./100 mL	38	121
Coli fecali	u.f.c./100 mL	10	19
<i>Escherichia coli</i>	u.f.c./100 mL	5	7
Salmonella	presente/assente	assente	assente

gionali di irrigazione, che dipendono dal tipo di coltura. Questi valori devono inoltre essere confrontati ai fabbisogni delle colture.

Facendo riferimento all'N, l'elemento richiesto dalle piante nelle maggiori concentrazioni e responsabile di fenomeni di inquinamento (lisciviazione, emissioni), se si ipotizzano concentrazioni medie variabili tra 15 (concentrazioni ammesse dalla L. 185/03, Tab. 1) e 30 mg/L<sup>-1</sup> e volumi stagionali di irrigazione pari in media a 2000 e 4000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, per colture come la vite e il pomodoro da industria, attraverso le acque reflue si apporterebbero nel corso della stagione irrigua quantitativi di nutrienti compresi tra: 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> di N nel caso della vite; 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> di N nel caso del pomodoro da industria.

Considerando che i fabbisogni nutrizionali (calcolati in termini di asportazioni di elementi nutritivi) sono pari a circa 200 kg N ha<sup>-1</sup> per il pomodoro da industria (ipotizzando una produzione pari a 100 t ha<sup>-1</sup>), quantitativi pari a 60-

120 kg di N non possono essere trascurati nella gestione della coltura.

Studi pluriennali condotti in Italia su olivo irrigato con acque reflue urbane derivanti da processi di depurazione semplificati (parziale eliminazione dei processi biologici per la riduzione dell'N e della sostanza organica), e pertanto arricchite in elementi nutritivi (Lopez *et al.*, 2006), hanno mostrato che tali acque hanno fornito circa il 50% del fabbisogno nutrizionale di N e K della coltura (55 kg su 118 kg N ha<sup>-1</sup>; 51 kg su 100 kg K ha<sup>-1</sup>); inoltre, la distribuzione graduale degli elementi nel corso del ciclo colturale ha determinato uno sviluppo vegeto-produttivo delle piante più equilibrato (Palese *et al.*, 2006).

Un altro esempio (Campi *et al.*, 2015) è fornito dalle colture no-food (Tab. 3). Nel caso della rotazione sorgo-bietola, gran parte del fabbisogno in N del sorgo è stato fornito attraverso l'apporto di acque reflue, in particolare nel caso di reflui sottoposti a solo trattamento “secondario” (AS). La capacità

**Tabella 3. Quantità di azoto, fosforo e potassio apportate (kg ha<sup>-1</sup>) con l'irrigazione. Valori medi di due stagioni irrigue (2012 e 2013, per il sorgo; 2013 e 2014 per la barbabietola da zucchero). Tre tipologie di acqua: AC = acqua convenzionale, AF = acqua reflua affinata, AS = acqua reflua secondaria**

Elementi nutritivi apportati (kg ha <sup>-1</sup> )	Sorgo da biomassa			Barbabietola da zucchero		
	AC	AF	AS	AC	AF	AS
Azoto	6	86	112	1	19	28
Fosforo	7	12	17	5	3	6
Potassio	10	68	67	10	37	36

di fornire alla coltura elementi nutritivi si è confermata anche nel caso della barbabietola da zucchero, ma ad un livello inferiore, proporzionale ai volumi stagionali di irrigazione applicati (da 1100 a 1500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> per la barbabietola e da 3000 a 3500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> per il sorgo).

### SQUILIBRI NUTRIZIONALI DELLE COLTURE

Alcuni elementi nutritivi apportati attraverso le acque reflue, in particolare meso e micro nutrienti, possono avere notevole influenza sulla qualità delle produzioni e sulla conservabilità dei prodotti in post-raccolta. Tale aspetto, che può rappresentare un importante vantaggio economico, risulta ancora poco indagato. I risultati di ricerche mostrano infatti effetti positivi, anche se non in modo univoco, su qualità e conservabilità dei prodotti (contenuto in solidi solubili, shelf-life) (Morgan et al., 2008). Tuttavia anche questi aspetti devono essere valutati con attenzione per la possibilità che insorgano squilibri nutrizionali.

Per squilibri nutrizionali si intendono alterazioni della crescita/produzione e dell'equilibrio vegeto-produttivo dovuti a: eccessivo o limitato apporto di alcuni nutrienti (N, Mg, K); limitata disponibilità indotta da effetti competitivi (sui siti di scambio; sui siti di assorbimento ionico) o da variazione nelle condizioni di pH e potenziale di ossidoriduzione nel suolo (Fe, P - Zn).

Alcuni esempi riguardano l'eccesso di vigoria determinato da abbondanza di N; la carenza di Ca o K indotta da eccesso di sodio; la riduzione nella crescita delle piante in presenza di rapporti Ca:Mg non equilibrati. Bassi rapporti Ca:Mg limitano inoltre l'assorbimento di K, richiedendo maggiori apporti di questo elemento.

### CONCLUSIONI

Le acque reflue urbane depurate possono rappresentare una risorsa di importanza strategica non solo dal punto vista delle disponibilità idriche, ma anche di quelle nutrizionali. Si tratta di una ri-

sorsa con caratteristiche estremamente variabili che necessitano pertanto di essere monitorate continuamente. I macro nutrienti in essa contenuti potrebbero contribuire a soddisfare i fabbisogni nutrizionali delle colture, riducendo gli apporti di fertilizzanti. La presenza di meso e micronutrienti può inoltre contribuire al miglioramento della qualità delle produzioni; tale aspetto però necessita di ulteriori indagini.

Infine, la possibilità di ricorrere a trattamenti semplificati per la produzione di acque destinate al riuso irriguo, con l'ottenimento di acque arricchite in elementi nutritivi, consentirebbe non solo di ridurre i costi di trattamento, ma di fornire una risorsa di grande valore agronomico, con evidenti benefici economici ed ambientali.

### BIBLIOGRAFIA

- CAMPI P., SOLIMANDO M., LONIGRO A., NAVARRO A., PALUMBO A.D., MASTRORILLI M. (2014), *Productivity of energy sorghum irrigated with reclaimed wastewaters* It. J. Agronomy, 9, 115-119.
- CAMPI P., NAVARRO A., PALUMBO A.D., MODUGNO F., VITTI C., MASTRORILLI M. (2016), *Energy of biomass sorghum irrigated with reclaimed wastewaters* Eu. J. Agronomy, ISSN 1161-0301, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.015>.
- LONIGRO A., CATALANO M., RUBINO P. (2007), *Impiego in agricoltura di acque reflue urbane depurate nel rispetto della sostenibilità ambientale* It. J. Agronomy, 2:217-259.
- LOPEZ A., POLLICE A., LONIGRO A., MASI S., PALESE A.M., CIRELLI G.L., TOSCANO A., PASSINO R. (2006), *Agricultural wastewater reuse in southern Italy* Desalination, 187:323-334.
- LOPEZ A., STELLACCI A.M., CALIANDRO A., POLLICE A., LONIGRO A. (2015), *Qualità delle acque per uso irriguo. Impiego di acque salmastre e reflui urbani depurati*. In: M. MASTRORILLI (a cura di), *L'acqua in agricoltura, gestione sostenibile della pratica irrigua*. Edagricole di New Business Media srl, ISBN 978-88-506-5444-4, Cap. 15, pag. 315-365.
- MASTRORILLI M., STELLACCI A.M., LONIGRO A. (2018), *Recupero e riuso delle acque reflue nel progetto PON In.Te.R.R.A.* In: "Crisi idrica, recupero e riuso delle acque reflue tra opportunità e criticità per una ge-

stione sostenibile dell'acqua", Atti del convegno, Bari, 26 ottobre 2017, a cura di: A. R. Somma, L. Sisto, N. Lamaddalena, W. Occhialini. CIHEAM Valenzano, ISBN 978-2-85352-585-5, pag. 136-148.

MONTEMURRO N., POSTIGO C., LONIGRO A., BARCELO D. (2017), *Development and validation of an analytical method based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry detection for the simultaneous determination of 13 relevant wastewater-derived contaminants in lettuce* Analytical and Bioanalytical Chemistry 409(4) DOI: 10.1007/s00216-017-0363-1.

MORGAN K.T., WHEATON T.A., PARSONS L.R., CASTLE W.S. (2008), *Effects of Reclaimed Municipal Waste Water on Horticultural Characteristics, Fruit Quality, and Soil and Leaf Mineral Concentration of Citrus* HortScience, 43(2): 459-464.

PALESE A.M., CELANO G., MASI S., XILOYANNIS C. (2006), *Treated municipal wastewater for irrigation of olive trees: Effects on yield and oil quality*. The Second International Seminar on Biotechnology and Quality of Olive Tree Products around the Mediterranean Basin, Marsala, Italy, Proceedings 2 (2006), 123-129.

POLLICE A., GIORDANO C., LAERA G., SARTURNO D., MININNI G. (2007), *Physical characteristics of the sludge in a complete retention membrane bioreactor* Water Research, Vol. 41, n. 8, pp. 1832-1840.

# Il clima e la disponibilità di acque sotterranee in Puglia: effetti recenti e novità in tema di ricarica controllata

**Domenico Casarano**  
Tecnologo, CNR-IRPI, Bari  
E-mail: [d.casarano@ba.irpi.cnr.it](mailto:d.casarano@ba.irpi.cnr.it)

**Vittoria Dragone**  
CTER, CNR-IRPI, Bari  
E-mail: [v.dragone@ba.irpi.cnr.it](mailto:v.dragone@ba.irpi.cnr.it)

**Maurizio Polemio**  
Ricercatore, CNR-IRPI, Bari  
E-mail: [m.polemio@ba.irpi.cnr.it](mailto:m.polemio@ba.irpi.cnr.it)

## Climate and groundwater availability in Apulia: recent effects and new opportunities for managed aquifer recharge

**Parole chiave:** risorse idriche sotterranee, acquiferi costieri, cambiamento climatico, ricarica delle falde in condizioni controllate, Puglia

**Key words:** groundwater resources, coastal aquifer, climate change, managed aquifer recharge, Apulia

**L**e acque sotterranee pugliesi costituiscono la risorsa idrica preminente per lo sviluppo socio-economico regionale in virtù della scarsa presenza di risorse superficiali, disponibili solo nel Tavoliere. La penuria idrica, sin da epoca storica, ha fortemente condizionato la vita umana, ad esempio favorendo l'ubicazione di villaggi, oggi prosperose città, soprattutto lontano dalla costa, in luoghi in cui le acque sotterranee risultavano facilmente estraibili (si veda, ad esempio, il caso di Acquaviva delle Fonti).

Se lo sviluppo possente degli acquedotti ha progressivamente soddisfatto, a partire dall'inizio del secolo scorso, la domanda idrica potabile, molto resta da fare per chiudere il bilancio idrico regionale in modo che risultino soddisfatte le esigenze produttive, in specie quelle agricole, e la sostenibilità dei prelievi (Cotecchia e Polemio 1997, Polemio *et al.* 2010, 2011).

Nel corso del tempo, soprattutto a causa delle modificazioni climatiche, osservate in particolare dal 1980 in poi in tutta l'Italia meridionale (Cotecchia *et al.* 2004), si è registrato un importante calo della ricarica che, posto in relazione al crescente utilizzo delle risorse, ha determinato condizioni di sovrasfruttamento (2011).

La natura costiera dei principali acquiferi pugliesi (Polemio 2005), in quanto tali naturalmente esposti all'intrusione marina, determina rischi di degradazione qualitativa per salinizzazione conseguenti al sovrasfruttamento delle relative falde idriche sotterranee (Polemio e Dragone 1999), il cui concretizzarsi per intrusione laterale e/o per *upconing*, a sua volta comporta ulteriore

degradazione quantitativa, qualora si faccia riferimento alle risorse idriche di alta qualità. Uno degli effetti più rilevanti è stato l'incremento della salinità delle acque sotterranee pugliesi, un fenomeno ad oggi, ben conosciuto (Cotecchia e Polemio, 1997, 1999 e relative bibliografie). Nonostante le conoscenze scientifiche acquisite, i criteri di gestione applicati non hanno impedito una progressiva degradazione qualitativa (Polemio *et al.* 2006).

Alla luce di queste premesse, il presente contributo analizza le più recenti modificazioni climatiche in termini di piovosità e temperatura atmosferica, discusse sulla base delle misure acquisi-

te negli ultimi 95 anni, delle variazioni tendenziali della disponibilità di risorse idriche sotterranee e di come queste potrebbero essere migliorate grazie alla ricarica controllata degli acquiferi.

### DESCRIZIONE IDROGEOLOGICA SINTETICA DELLA PUGLIA

In Puglia si possono distinguere quattro principali strutture idrogeologiche (SI): Gargano, Tavoliere, Murgia e Salento (*Fig. 1*) (Polemio 2005). Il Tavoliere è un acquifero poroso superficiale, potente al più alcune decine di metri, in cui la circolazione idrica sotterranea, a

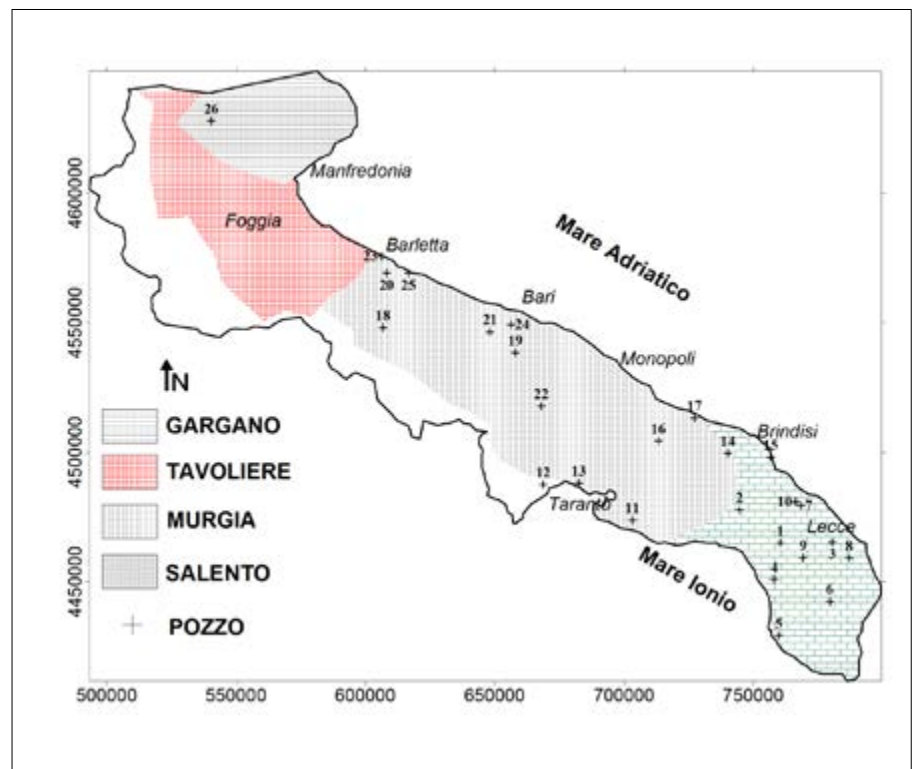


Figura 1. Principali strutture idrogeologiche pugliesi e ubicazione dei pozzi di monitoraggio piezometrico



letto limitata da una formazione argillosa potente centinaia di metri, avviene in condizioni freatiche nella porzione più interna o di monte e in pressione più a valle, fino alla costa. La qualità delle acque sotterranee in genere non consente l'uso potabile mentre il rilevante sovrasfruttamento ha fatto sì che già dal 2007 il Piano Regionale di Tutela preveda un regime differenziato e restrittivo di autorizzazioni al prelievo, motivi per i quali tale SI è di minore interesse applicativo (Polemio *et al.* 2006, Polemio *et al.* 2010).

Risorse idriche sotterranee di alta qualità si rinvencono nelle restanti SI, il Gargano, la Murgia e il Salento. Queste SI hanno in comune alcuni aspetti: sono costituite da rocce calcaree e/o calcareo-dolomitiche del Mesozoico; costituiscono potenti e profondi acquiferi costieri; la permeabilità, disomogenea e anisotropa per effetto del carsismo e della fratturazione, a luoghi è elevata o più elevata, come diffusamente osservato in Salento. La circolazione idrica sotterranea è in prevalenza in pressione nelle aree interne, a differenza di quanto osservato in prossimità delle coste; tra Murgia e Salento si estende un corpo idrico sotterraneo con caratteristiche di continuità (Cotecchia *et al.* 2005). Le tre SI carbonatiche, con effetti molto diversi, in genere più gravi per il Salento, sono interessate dal fenomeno dell'intrusione marina (Sanford *et al.* 2007, Polemio *et al.* 2006).

## DATI E METODI

Lo studio si inserisce in una attività di ricerca del Gruppo di Idrogeologia (<http://hydrogeology.ba.irpi.cnr.it>) di lunga durata, basata principalmente sull'applicazione di metodi di analisi geostatistici di serie temporali climatiche, idrologiche e geochimiche, a supporto della caratterizzazione degli acquiferi, lo studio delle relazioni con i corpi idrici superficiali e la stima dei trend quali-quantitativi delle acque sotterranee (Polemio *et al.* 1999a, Chiaudani *et al.* 2017).

Nel caso in esame si opera su dati termo-pluviometrici e piezometrici, di regola a cadenza mensile, acquisiti considerando diverse fonti. I dati provengono da ricerche storiche, da reti di monitoraggio che hanno cambiato gestione (Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori pubblici, Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia, Lucania ed Irpinia) o attive (Centro Funzionale Regionale del Servizio di Protezione Civile), da campagne di misurazione e

ammodernamento della rete di monitoraggio finanziate o gestite dalla Regione Puglia, come il "Progetto Tiziano" (2006- 2011) e il successivo "Progetto Maggiore", tuttora in corso, oltre a sporadiche campagne di rilievo svolte dal Gruppo di Idrogeologia, limitatamente alle acque sotterranee.

Per descrivere gli andamenti di temperatura e precipitazioni nell'area di studio sono state selezionate 27 stazioni pluviometriche, di cui 16 termometriche, scelte in base a criteri di durata e comple-

ti valori annuali di fossero i maggiori, generalmente oltre 0, 7). Individuato il gruppo di stazioni meglio correlate, si sono interpolati i dati lacunosi, sia su base mensile che su base annuale, calcolando la media degli scarti dei valori delle stazioni adiacenti, ciascuno rispetto al valore medio della stazione e rapportato alla deviazione standard della serie storica. La media degli scarti normalizzati è stata quindi moltiplicata per la deviazione standard della serie da integrare e sommata al valore medio.

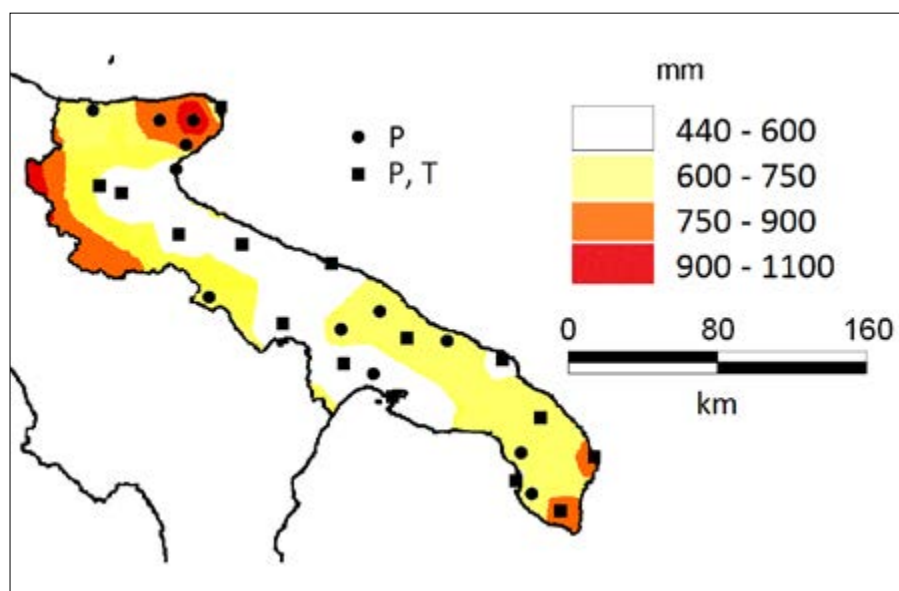


Figura 2. Ubicazione delle stazioni pluviometriche (P) e termometriche (T) selezionate e mappa della piovosità media annua

tezza delle serie temporali, con particolare e prioritario riferimento alla disponibilità di dati negli ultimi due decenni, fino al 2016 (Fig. 2). Per quanto vi siano alcune serie storiche con inizio antecedente, sono state considerate serie storiche pluviometriche a partire dal 1921 e dal 1924 rispettivamente per piovosità e temperatura, per conseguire la migliore omogeneità nella continuità delle serie.

Per l'analisi delle serie temporali piezometriche sono stati selezionati 26 pozzi da un ampio database, dando priorità nuovamente alla disponibilità di dati recenti e secondariamente alla minore incidenza delle lacune, con riferimento al periodo 1965-2016 (Fig. 1), lacune comunque molto più elevate rispetto alle serie termopluiometriche.

Le serie termopluiometriche selezionate sono, proprio per il criterio di selezione, poco lacunose. I dati mancanti sono stati interpolati partendo dalle misure acquisite dalle stazioni più vicine e meglio correlate (per ogni stazione sono state individuate le stazioni, rivelatesi sempre le più vicine, e appartenenti allo stesso versante nel caso delle piogge, per cui i coefficienti di correlazione tra

Per le stazioni termometriche la stessa procedura è stata seguita raggruppando le stazioni per aree geografiche. Le serie piezometriche sono state discusse senza colmare le lacune.

Il trend di ciascuna serie storica è stato quantificato mediante il coefficiente angolare (CA) della retta di regressione ed è stato statisticamente validato mediante il test di Mann-Kendall (livello di significatività 95%).

## ANDAMENTI TERMOPLUIVIOMETRICI E TREND PIEZOMETRICI

Lo studio ha considerato i valori mensili di entrambe le variabili termopluiometriche. La discussione della piovosità si è basata sui valori annuali e trimestrali corrispondenti alle stagioni meteorologiche (settembre-novembre, dicembre-febbraio, marzo-maggio, giugno-agosto). Per i dati termometrici sono stati analizzati i valori di ciascun mese dell'anno e le relative medie annuali.

Fatta eccezione per le stazioni poste in quota sul Gargano, con piovosità media annua da 800 a quasi 1200 mm, la piovosità varia grossomodo tra 450

mm, di parte del Tavoliere, della costa garganica, e della costa ionica tarantina, fino a 700 mm, di aree collinari tra Subbappennino Dauno (con un massimo di circa 800 mm in prossimità del confine regionale), Murgia, e Valle d'Itria. Solo in alcune aree del Salento meridionale si riscontrano valori fino a circa 800 mm (Fig. 2). Generalmente almeno i 2/3 della piovosità media annua, in media sull'intera regione pari a circa 640 mm,

sensibilmente e pressoché stabilmente superiori alla media. Se si considerano le tendenze sull'intero periodo studiato (96 anni per i dati pluviometrici), si osserva come la tendenza al calo pluviometrico osservata nel periodo 1921-2001, peraltro di entità più contenuta sul territorio pugliese rispetto alle altre regioni meridionali (era stato stimato un calo tendenziale sull'intero periodo di 65 mm, pari al 10% della piovosità

pure mostravano una accresciuta occorrenza di annate più calde a partire dagli anni '80, senza che però questo individuasse una tendenza generalizzata e significativa sull'intero periodo fino al 2001, negli ultimi 15 anni hanno maturato invece una tendenza netta e statisticamente significativa al rialzo termico, con una crescita tendenziale che in molti casi è intorno a 1,5 °C sui 92 anni del periodo di studio (Tab. 2).

**Tabella 1. Tendenziale delle precipitazioni su base annuale, calcolata sulle 27 stazioni in esame, calcolata sui periodi di riferimento 1921-2001 e 1921-2016**

Periodo	Trend medio (CA, mm/anno)	Stazioni con trend positivi (di cui significativi)	Stazioni con trend negativi (di cui significativi)
1921-2001	<b>-0,658</b>	7 (0)	20 (4)
1921-2016	0,192	17 (3)	10 (0)

sono concentrati nel periodo autunno-inverno, mentre le precipitazioni complessive dei tre mesi estivi superano mediamente i 100 mm solo nelle località più piovose del Gargano.

La temperatura media annua delle stazioni poste a quote basse (minori di 200 m s.l.m.) varia circa da 16 a 17,5

media annua regionale), sia stata compensata dalla piovosità degli ultimi 15 anni (2002-2016), neutralizzando quindi la tendenza negativa sull'intero periodo manifestatasi al termine del 2001 (Tab. 1), coerentemente con quanto segnalato da Doglioni e Simeone (2019). Al contrario, i dati termometrici, che

Tale situazione è evidente e statisticamente significativo sia in termini complessivi che discutendo le singole serie storiche, come nell'esempio di Taranto (Fig. 3). Dal punto di vista geografico, la tendenza all'incremento delle temperature risulta attenuata muovendosi verso il basso Salento.

**Tabella 2. Tendenziale delle temperature su base annuale, calcolata per aree geografiche, sui periodi di riferimento 1924-2001 e 1924-2016**

Provincia o regione	Trend (CA, °C/anno) medio e numero di serie con trend positivo o negativo (tra parentesi il serie con trend significativo)					
	1924-2016			1924-2001		
	CA	Positivo	Negativo	CA	positivo	negativo
Foggia	0.0145	4 (4)	-	0.0073	4 (2)	-
Bari- BAT	0.0141	4 (4)	-	0.0062	4 (2)	-
Taranto	0.0112	3 (3)	-	0.0017	2 (1)	1 (0)
Brindisi-Lecce	0.0047	5 (1)	-	<b>-0.0041</b>	1 (0)	4 (2)
Puglia	0.0107	16 (12)	-	0.0024	11 (5)	5 (2)

°C. I valori medi del mese più freddo, gennaio, sono compresi tra 7,5 e 10,7 °C, quelli del mese più caldo (generalmente luglio, in alcune località del Salento agosto), variano tra poco meno di 25 e 26,4 °C.

Lo studio ha considerato le tendenze termopluviometriche sull'intero periodo per cui sono presenti i dati, aggiornando i risultati di lavori svolti in precedenza (Cotecchia *et al.* 2004) sui dati fino al 2001, ed estesi a 4 regioni dell'Italia meridionale. Gli anni successivi al 2001 sono stati complessivamente piuttosto piovosi, contrariamente ai 20 anni precedenti, caratterizzati da ricorrenti periodi siccitosi. Diversamente da quanto spesso è accaduto (all'aumento della piovosità si associa un calo delle temperature), gli anni successivi al 2001 hanno mostrato anche temperature

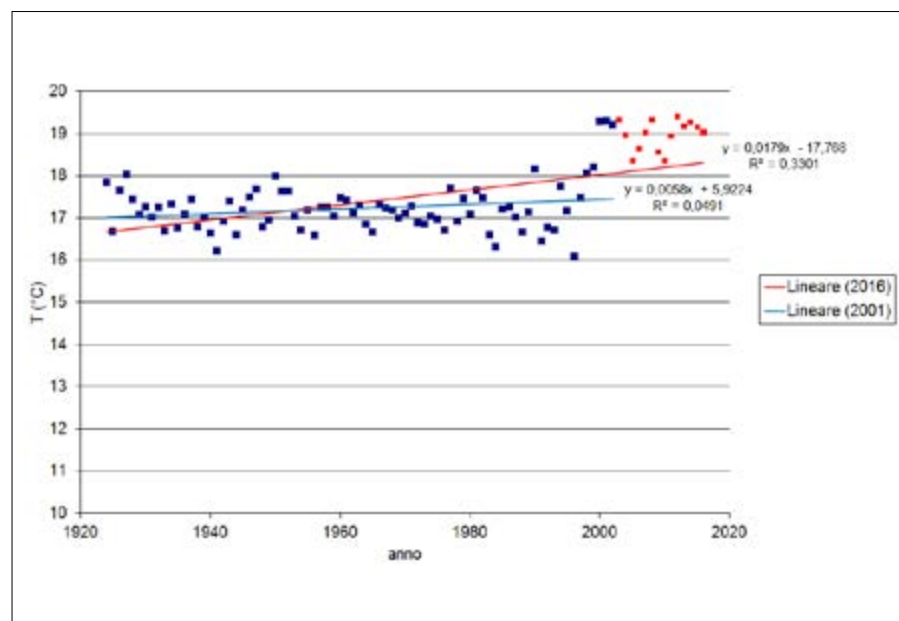


Figura 3. Andamento della temperatura media annua a Taranto e confronto della tendenza dal 1924 al 2001 e al 2016

Va osservato inoltre come la tendenza pluviometrica non sia comunque univoca qualora si passi alla durata stagionale: per la stagione invernale, dove la tendenza al calo pluviometrico era apparsa in passato maggiormente evidente, l'andamento non risulta nettamente modificato rimanendo quindi perlopiù negativo (Tab. 3). Al contrario, per le altre stagioni l'analisi sull'intero periodo indica generalmente una tendenza all'incremento della piovosità, con l'autunno che in molti casi diviene tendenzialmente più piovoso dell'inverno. La tendenza all'incremento delle precipitazioni nel periodo primaverile ed estivo, anche dove assume significatività statistica, si traduce comunque in valori in assoluto non rilevanti rispetto alla piovosità annuale complessiva.

Come già osservato in passato (Polemio *et al.* 2011), l'effetto combinato di modificazioni termopluviometriche annuali e stagionali si combina in modo da tale da determinare un netto incremento tendenziale dell'evapotraspirazione reale, circostanza questa che sia riduce la ricarica naturale degli acquiferi regionale sia enfatizza il deficit idrico delle colture, incoraggiando l'incremento dei prelievi irrigui.

Delle 26 serie piezometriche selezionate, prevalentemente per la disponibilità di dati recenti, 18 presentano trend negativi ovvero tendenze al calo della disponibilità, pari a circa il 70% delle serie (Tab. 4). Se si considerano i trend statisticamente significativi, soltanto 17 serie hanno questa caratteristica, dei quali 12 hanno tendenza negativa, sempre circa pari al 70% delle serie. Tralasciando l'unica serie relativa al Gargano, se si focalizza l'attenzione

sulle 4 serie dal trend significativo positivo, l'unica associata al Salento (pozzo 15, Fig. 1) si pone in un'area in cui forte è l'influenza delle perdite della Murgia verso il Salento; i tre casi statisticamente positivi della Murgia invece si pongono in piena area di ricarica della stessa o in prossimità di questa (pozzi 18, 21 e 22), dove minimo è l'effetto diretto dei prelievi.

Questo risultato conferma l'ipotesi relativa al pozzo 15 (nel senso dell'influenza murgiana) e lascia pensare che le minori caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero murgiano rispetto a quello salentino (Cotecchia *et al.* 2005) permettano un più rapido recupero in termini potenziometrici. Infine, come già emerso in passato, i valori estremi delle tendenze si confermano più accentuati nel caso della Murgia rispetto al Salento (Tab. 3) (Polemio *et al.* 2011).

I suddetti risultati sono coerenti con quanto emerso da studi svolti nel medesimo territorio ma con diverse metodologie e diversi dati (Doglioni e Simeone 2014). In particolare, emerge che gli effetti più recenti del cessato peggioramento in termini di calo della ricarica si avvertano fattivamente laddove minori sono le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero, ancora una volta a scapito delle risorse idriche sotterranee del Salento (Doglioni e Simeone 2019).

La tendenza piezometrica è risultata quindi generalmente negativa al 2016 pur se in miglioramento rispetto a valutazioni precedenti. Vi è quindi una conferma di una prevalente tendenza al decremento piezometrico e quindi al calo della disponibilità della risorsa, pur se il cambiamento climatico in atto ha offerto una tregua, tuttora in corso.

## LA RICARICA CONTROLLATA DELLE FALDE

La ricarica artificiale ha senso qualora si voglia: migliorare il trend della disponibilità, migliorando il bilancio idrologico dell'acquifero fino incrementare le riserve idriche; contrastare l'intrusione marina o la subsidenza dovuta all'estrazione artificiale di fluidi e/o contribuire alla tutela degli ecosistemi, in particolare delle zone umide.

A tale scopo, si possono utilizzare acque superficiali dolci, desalinizzate, o acque depurate. In particolare, per ricarica controllata (RCF) si intende un intervento, in genere un'opera di ingegneria idraulica o ambientale, che abbia lo scopo di incrementare artificialmente l'alimentazione di un acquifero, controllandone gli effetti durante e successivamente l'esercizio dell'opera. Aggiungendosi alla ricarica naturale in termini di bilancio idrologico, si distingue da quella naturale per essere artificiale; si distingue dagli interventi che abbiano effetti indiretti di ricarica, quali quelli legati alle perdite da reti idriche, agli eccessi irrigui o agli scarichi di acque reflue in corsi d'acqua effimeri o zone endoreiche permeabili (come accade in taluni casi in Puglia), per essere intenzionale e controllata.

A questo ultimo scopo, l'intervento deve includere soluzioni che assicurino, fin dal progetto, che non ci siano effetti negativi sulla salute umana, sull'ambiente e sulle opere esistenti.

La RCF è una tecnica utilizzata in pochi casi in Italia mentre ha già trovato ampia utilizzazione in paesi quali USA, Australia, e Israele o, in Europa, in Slovacchia o in Olanda (Dillon *et al.* 2018).

**Tabella 3. Tendenza media stagionale della piovosità (tutte le 27 stazioni selezionate)**

Periodo	Trend medio (CA, mm/anno) 1921-2018	Stazioni con trend positivi (di cui significativi)	Stazioni con trend negativi (di cui significativi)
Primavera	0.218	25 (2)	2 (0)
Estate	0.190	24 (2)	3 (0)
Autunno	0.209	19 (4)	8 (0)
Inverno	<b>-0.416</b>	3 (0)	24 (4)

**Tabella 4. Trend piezometrici dal 1965 al 2016**

Struttura Idrogeologica	osservazioni		pozzi n.	Trend positivi (significativi)	Trend negativi (significativi)	CA (m/mese) minimo
	da	a				
Salento	1965	2016	12	3 (1)	9 (5)	-0.005
Murgia	1965	2016	13	4 (3)	9 (7)	-0.022
Gargano	1975	2016	1	1 (1)	-	-

Il limitato utilizzo in Italia si deve in gran parte alle forti limitazioni normative, finora vigenti allo scopo, nobile ma evidentemente eccessivo se non controproducente, di proteggere le risorse idriche più pregiate, appunto quelle sotterranee. Il decreto n. 100/2016 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha attenuato tali restrizioni, prevedendo che si possa realizzare un intervento di RAC laddove siano stati individuati un corpo idrico donatore e uno sotterraneo bisognoso, definito ricevente. Tali corpi idrici (donatore e ricevente) devono essere preventivamente classificati tali a carico di ciascuna Regione, secondo specifici criteri. In pratica, la legislazione vigente in Italia tuttora esclude che si possano utilizzare per la ricarica acque reflue adeguatamente trattate.

Visto quanto riassunto in merito all'idrogeologia della Puglia, non vi è dubbio che la legislazione vigente, ancora una volta, non tiene conto delle peculiarità di un territorio regionale prevalentemente carsico, in quanto tale con marginali possibilità di individuare corpi idrici donatori, essendo diffusamente assenti quelli superficiali e pochi nonché coincidenti con i riceventi quelli sotterranei. L'unica eccezione potrebbe associarsi alla SI del Tavoliere, la meno interessante ai fini pratici, per quanto già riassunto. Allo stesso tempo, vi sono enormi difficoltà sia a smaltire le acque reflue ordinariamente trattate, per la natura più che effimera dei corsi d'acqua nelle tre SI carbonatiche e per il pregio ambientale e turistico delle coste, sia a riutilizzare quelle trattate fin quasi alla potabilità.

Una soluzione transitoria, in attesa che la legislazione contempli adeguatamente il caso Puglia, soluzione porposta da questa nota, sarebbe quella di creare corpi idrici superficiali, evidentemente almeno in parte artificiali, stabilmente alimentati da adeguati impianti di depurazione, da cui effettuare la RAC diretta in falda, operando così in "punta di diritto".

## CONCLUSIONI

L'articolo evidenzia che gli effetti del cambiamento climatico si traducono in Puglia in un perdurante contesto di progressivo aumento dell'evapotraspirazione reale e diminuzione della ricarica naturale. Il primo di questi due effetti non può che comportare un progressivo aumento della domanda idrica, in particolare quella diffusa sul territorio, tipicamente legata all'agricoltura.

Queste tendenze, innescatesi con particolare evidenza a partire dagli anni ottanta, mostrano una lieve attenuazione negli ultimi 15 anni.

Le risorse idriche sotterranee regionali hanno beneficiato di questa attenuazione, una sorta di tregua, recuperando solo in modesta parte la disponibilità idrica persa.

Il miglior modo per utilizzare questa tregua climatica dovrebbe essere quello di prepararsi per le prossimi siccità, anche dando seguito a ogni iniziativa che migliori il bilancio idrologico degli acquiferi pugliesi, tra cui di certo operando per realizzare interventi di RAC.

## BIBLIOGRAFIA

- CHIAUDANI A., DI CURZIO D., PALMUCCI W., PASCULLI A., POLEMIO M., RUSI, S. (2017), *Statistical and Fractal Approaches on Long Time-Series to Surface-Water/Groundwater Relationship Assessment: A Central Italy Alluvial Plain Case Study*. Water, v. 9, no. 11, p. 28.
- COTECCHIA V., POLEMIO M. (1997), *L'inquinamento e il sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee pugliesi*, in Proceedings VI Workshop del Progetto Strategico "Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno", Taormina, 13-15 Dicembre 1995, Volume I, Consiglio Nazionale delle Ricerche, p. 447-484.
- COTECCHIA V., POLEMIO M. (1999), *Apulian groundwater (Southern Italy) salt pollution monitoring network*, *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift (Flemish Journal of Natural Science)*, v. 79, no. Special Issue for 15th SWIM Meeting, p. 197-204.
- COTECCHIA V., CASARANO D., POLEMIO M. (2004), *Characterization of rainfall trend and drought periods in Southern Italy from 1821 to 2001*, in Proceedings 1st Italian-Russian Workshop "New Trends in Hydrology", Rende (CS), 2004, Edibios, p. 139-150.
- COTECCHIA V., GRASSI D., POLEMIO M. (2005), *Carbonate aquifers in Apulia and seawater intrusion*, *Giornale di Geologia Applicata*, v. 1, no. Some Engineering Geology case histories in Italy, Special Issue for 32nd IGC, Florence, 2004, p. 219-231.
- DILLON P., STUYFZAND P., GRISCHEK T., LLURIA M., PYNE R.D.G., JAIN R.C., BEAR J., SCHWARZ J., WANG W., FERNANDEZ E., STEFAN C., PETTENATI M., VAN DER GU, J., SPRENGER C., MASSMANN G., SCANLON B.R., XANKE J., JOKELA P., ZHENG Y., ROSSETTO R., SHAMRUKH M., PAVELIC P., MURRAY E., ROSS A., BONILLA VALVERDE J.P., PALMA NAVA A., ANSEMS N., POSAVEC K., HA K., MARTIN R., SAPIANO M. (2018), *Sixty years of global progress in managed aquifer recharge*, *Hydrogeology Journal*, Article in Press. DOI: 10.1007/s10040-018-1841-z
- DOGLIONI A., SIMEONE V. (2014), *Data-driven modeling of the dynamic response of a large deep karst aquifer*, *Procedia Engineering*, vol. 89, p. 1254-1259, ISSN: 1877-7058, doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.430.
- DOGLIONI A., SIMEONE V. (2019), "Effects of Climatic Changes on Groundwater Availability in a Semi-arid Mediterranean Region", In: Shakoore A., Cato K. (eds) IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, 2018 - Volume 4 p. 105-110, doi: 10.1007/978-3-319-93133-3\_14.
- POLEMIO M., DRAGONE V. (1999), *Serie storiche piezometriche delle unità idrogeologiche pugliesi: regime piezometrico, effetti climatici ed antropici*, *Pubbl. GNDCI n. 2015*, *Quaderni di Geologia Applicata*, Pitagora Editrice, Bologna, 1999, 4, 143-152.
- POLEMIO M., DRAGONE V., DI CAGNO M. (1999a), *Effetti antropici e naturali sul degrado quantitativo delle acque sotterranee del Tavoliere*, *Quaderni di Geologia Applicata*, v. 4, p. 143-152.
- POLEMIO, M. (2005), *Seawater intrusion and groundwater quality in the Southern Italy region of Apulia: a multi-methodological approach to the protection*. UNESCO, IHP 77, 171-178, Paris.
- POLEMIO M., LIMONI P.P., MITOLO D., VIRGA R. (2006), *Il degrado qualitativo delle acque sotterranee pugliesi*, *Giornale di Geologia Applicata* 3, 25-31.
- POLEMIO M., CASARANO D., LIMONI P.P. (2010), *Apulian coastal aquifers and management criteria*, SWIM 21 - 21st Salt Water Intrusion Meeting, Azores, 203-206.
- POLEMIO M., DRAGONE V., LIMONI P.P. (2011), *La disponibilità di acque sotterranee in Puglia negli ultimi 80 anni*, *Atti delle Giornate di Studio "Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione"*, 10-11 Marzo 2011, Bari.
- SANFORD W., LANGEVIN C., POLEMIO M., POVINEC P. (2007), *Background and summary a new focus on groundwater-seawater interactions*, in Sanford, W., Langevin, C., Polemio, M., and Povinec, P., eds., *New focus on groundwater-seawater interactions*, Volume 312, IAHS, p. 3-10.

# La depurazione avanzata di acque reflue urbane per il recupero integrale delle risorse e la valorizzazione ambientale nell'economia circolare: il lago Forcatella di Fasano e la sperimentazione per il riuso potabile

**Oronzo Santoro**

Fisico Geologo

Già dirigente della Regione Puglia, project manager di Aquasoil s.r.l., Fasano (Br)

E-mail: [o.santoro@aquasoil.it](mailto:o.santoro@aquasoil.it)

The advanced urban wastewater treatment aimed at resources recovery and environmental enhancement in the circular economy strategy: the Forcatella lake of Fasano and the experimentation towards potable reuse

Parole chiave: depurazione avanzata, valorizzazione ambientale, riuso potabile

Key words: advanced wastewater treatment, environmental enhancement, potable reuse

## RIASSUNTO

Il progetto del recupero e riutilizzo di acque reflue a Fasano-Forcatella trae le sue origini agli inizi degli anni '90, in presenza di una profonda crisi idrica in Puglia. La depurazione delle acque reflue e lo scarico al mare delle stesse, una volta depurate, ha offerto lo spunto per una soluzione alternativa alla crescente richiesta idrica e, quindi, al recupero della risorsa, in un contesto territoriale

caratterizzato da un progressivo ed eccessivo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee con conseguente progressivo depauperamento quali-quantitativo della falda ed evidenti fenomeni di intrusione salina.

Recentemente, presso l'impianto in oggetto, è stato sperimentato un processo depurativo spinto, finalizzato principalmente a migliorare la qualità complessiva della depurazione in Puglia e conseguen-

temente al raggiungimento di standard qualitativi delle acque recuperate paragonabili al potabile.

Nel seguito si descrive il sistema idrico del cosiddetto "Lago Forcatella", con un breve accenno ai principali dati di performance del sistema.

Successivamente vengono forniti e discussi i principali risultati acquisiti dalla sperimentazione sulla potabilizzazione, oltre che gli spunti di ricerca emersi.

## 1. IL SISTEMA IDRICO DI FASANO FORCATELLA

Recentemente potenziato (nel 2016), l'impianto in questione ospita l'applicazione in piena scala di un processo integrato di chiariflocculazione e disinfezione mediante il dosaggio controllato, in un'unica fase, di uno o più reagenti allo stato liquido (coagulanti e disinfettanti), nelle dosi richieste dalla qualità delle acque avviate al trattamento terziario, dalla qualità attesa delle acque in uscita dal processo e dallo specifico processo implementato (Santoro *et al.*, 2014; Pio *et al.*, 2016).

Oggi, le acque in uscita dai trattamenti biologici del contiguo depuratore e destinate allo scarico in mare Adriatico, in conformità alla Tab.1 del D.Lgs. 152/2006 (parte III), vengono intercettate e avviate al trattamento terziario con la tecnologia MITO<sub>3</sub>X® con cui si dosano, in un'unica fase, un



Figura 1. Il contesto di riferimento

coagulante quale policloruro di alluminio (10 mg/L) e un disinfettante quale l'ipoclorito di sodio (5 mg/L).

La matrice, così dosata, viene inviata ai sedimentatori a pacchi lamellari (fig. 2 e 3) dove si completano le reazioni del processo e si separa la fase solida (fanghi da inviare ai trattamenti di fitodisidratazione e, successivamente, al recupero in agricoltura) dall'acqua affinata pronta per il riutilizzo.

L'acqua recuperata è raccolta in bacini di accumulo, stabilizzazione e naturalizzazione di circa 50.000 m<sup>3</sup> e dà forma al così detto "Lago Forcatella", volano necessario alla gestione della va-

I bacini di accumulo sono attrezzati per disperdere sul suolo, mediante trincee drenanti, le aliquote di acque prodotte e non altrimenti utilizzate che così vengono destinate alla ricarica indiretta della sottostante falda acquifera salata su cui si forma una lente di acqua dolce, che funge da barriera all'intrusione salina.

L'impianto di Fasano è considerato strategico dalla Regione Puglia ed è citato tra gli esempi virtuosi delle strutture che, al sud Italia, grazie alla ricerca scientifica e alle innovazioni tecnologiche, consentono la chiusura dell'intero ciclo dell'acqua, con il riutilizzo completo della risorsa. Il nuovo impianto è

Per quanto riguarda il richiamato processo in piena scala, i risultati perseguiti e i dati di processo sono stati riportati in alcune pubblicazioni scientifiche (ISPRA, 2012; Santoro *et al.*, 2013 e 2014; Pio *et al.*, 2016; Water Reuse Europe Review, 2018), alle quali si rimanda per eventuali approfondimenti, in cui l'impianto di Fasano Forcatella è stato rappresentato come caso studio nel settore specifico.

Inoltre, si rappresenta che i risultati concreti risiedono principalmente nel gradimento della risorsa recuperata da parte dell'utenza agricola, nell'applicazione reale dei criteri dell'economia



Figura 2. Impianto di affinamento e riutilizzo di Fasano Forcatella, recentemente potenziato

riabilità giornaliera delle portate richieste dall'utenza agricola e dal riutilizzo ambientale.

in esercizio da giugno 2016. In Fig. 4 è rappresentato lo schema di processo e di riutilizzo delle acque recuperate.

circolare nel territorio in esame, nella sostenibilità ambientale ed economica della pratica del riuso delle acque (dimostrata nel tempo con oltre 12 anni

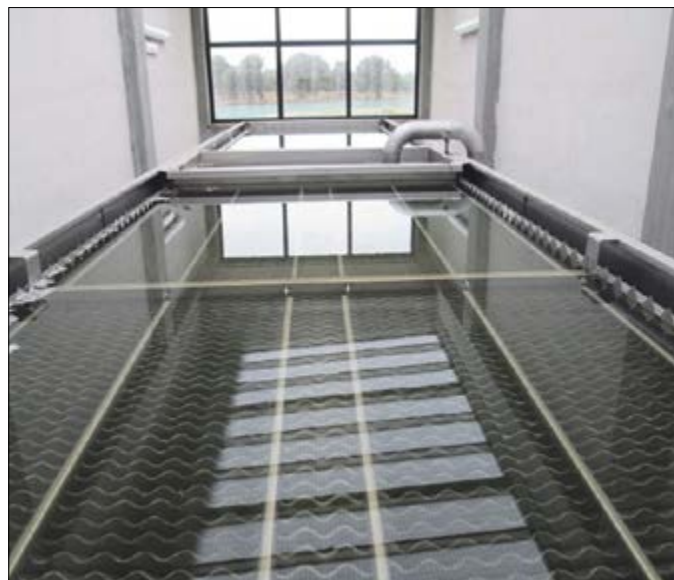


Figura 3. Vista dei sedimentatori e dei bacini di accumulo (Lago Forcatella)



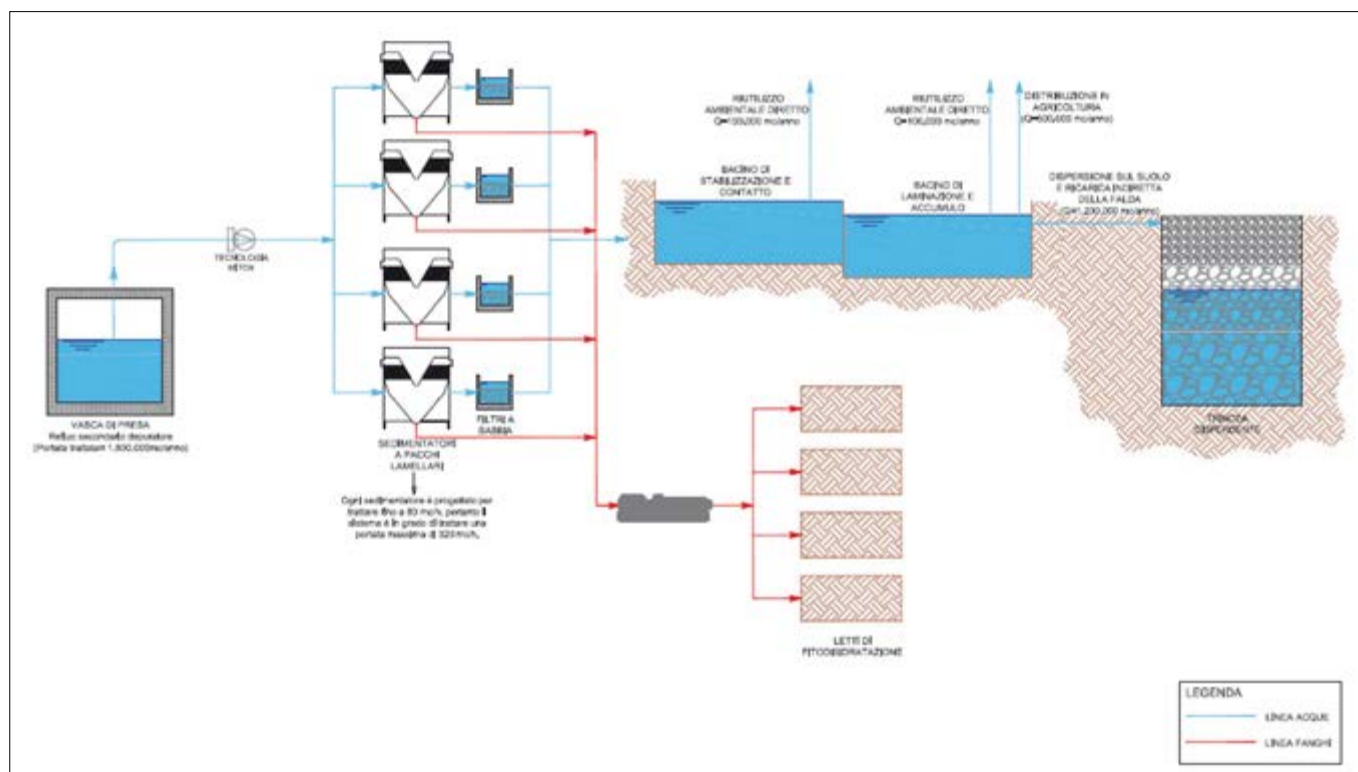


Figura 4. Schema funzionale del processo integrato in piena scala di Fasano (Lago Forcatella)

**Tabella 1. Dati medi, minimi e massimi, registrati da giugno 2016 ad oggi, nei punti di monitoraggio P1, P2 e P12 [O.D.=Ossigeno disciolto; Cond.=Conducibilità; COD=Domanda chimica di ossigeno; UVT = trasmittanza alla luce UV]**

Punti	P1			P2			P12		
	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX
pH (u.)	6,5	7,3	7,9	6,9	7,3	8,1	7,0	7,6	8,4
Cond. (mS/cm)	2,5	3,8	5,4	1,8	3,3	5,4	2,2	3,4	4,7
T (°C)	11,5	22,0	27,2	11,5	21,5	28,9	12,1	21,7	29,5
O.D. (ppm)	1,4	4,4	6,3	4,1	5,7	8,7	4,3	6,5	9,9
N-NO3 (mg/L)	1,5	4,7	9,2	2,4	5,6	10,5	3,2	5,4	9,6
N-NH4 (mg/L)	1,0	2,5	6,1	0,2	2,3	4,2	0,6	1,8	3,7
N-TOT (mg/L)	6,5	10,9	18,9	6,2	10,9	16,7	6,8	8,9	13,1
COD (mgO2/L)	23,9	55,7	216,9	18,6	33,8	64,2	18,6	31,9	43,4
UVT (%)	24,3	54,9	63,9	52,8	64,7	75,0	55,9	67,4	81,0

di esercizio continuativo), nei notevoli volumi di acqua affinata e distribuita nel territorio che hanno di fatto trasformato l'assetto culturale e il paesaggio locale con standard qualitativi delle acque che sono andati ben oltre quanto previsto dalle norme di settore (D.M. 185/03 – D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii).

Da un punto di vista delle performance, il processo in piena scala è sottoposto ad un piano giornaliero di monitoraggio, con particolare riferimento ai parametri macro-descrittori quali il COD, il pH, la conducibilità, i composti dell'azoto, la trasmittanza alla luce UV (UVT%), ecc., nei punti di controllo P1 (effluente del contiguo depuratore/influente al trattamento terziario), P2 (effluente dal processo integrato terziario) e P12 (acque del secondo bacino del lago Forcatella).

Nella Tab. 1 e Fig. 5 seguenti si riportano, in maniera sintetica, i risultati

di detto monitoraggio, effettuato mediante strumentazione (spettrofotometri, misuratori multi-parametrici) presente nel laboratorio interno.

L'analisi dei dati mette in evidenza la resilienza del processo in piena scala (P2 e P12), molto performante nella modu-

lazione e abbattimento dei picchi di variabilità della qualità delle acque in ingresso ai trattamenti (P1) che vengono restituite al riutilizzo con caratteristiche qualitative sostanzialmente costanti nel tempo e ben al di sotto dei dovuti limiti normativi.

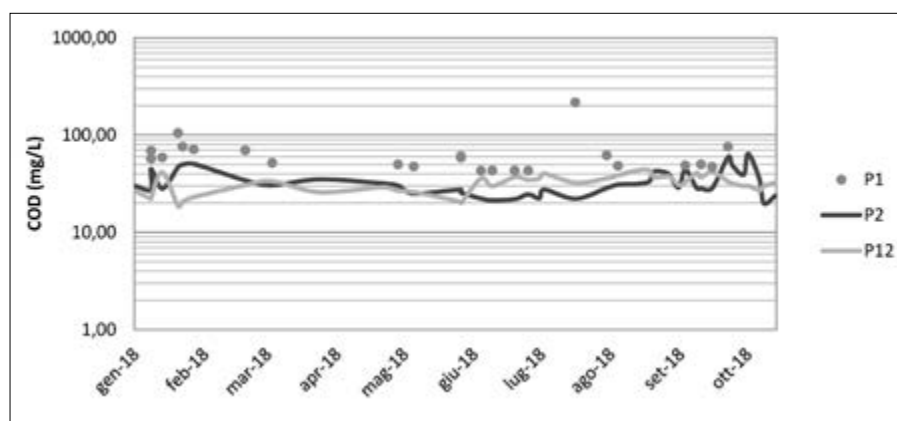


Figura 5. Andamento del COD misurato nei tre punti di processo (ingresso, intermedio e finale)

### 3. LA SPERIMENTAZIONE PER IL RIUSO POTABILE

La Regione Puglia ha selezionato il processo di affinamento di Fasano Forcatella per indagare la potenzialità delle acque affinate a raggiungere gli standard di qualità dell'acqua potabile e, quindi, migliorare la qualità complessiva della depurazione in Puglia.

È, del resto, ormai acclarato che la qualità e la tutela delle acque è tra le priorità ambientali comunitarie e mondiali. La nuova sfida, quindi, è proprio affrontare con adeguate tecnologie di trattamento e di processo i potenziali microinquinanti emergenti (ECs), composti di origine prevalentemente sintetica, che mostrano refrattarietà sia alla biodegradazione che ai trattamenti secondari, convenzionalmente impiegati negli impianti di depurazione di reflui civili e industriali (Aymerich *et al.*, 2016; Castiglioni *et al.*, 2018).

Il riuso potabile di acque reflue trattate, sia diretto che indiretto, si profila come strategia-chiave per far fronte in modo sostenibile al degrado antropico delle fonti d'acqua potabile disponibili a livello globale.

Rispetto al passato, il recente sviluppo di nuovi metodi analitici e di tecnologie di analisi sempre più sofisticate ha permesso di rilevare inquinanti fino a poco tempo fa non misurabili. Inoltre, vi è anche più consapevolezza del potenziale pericolo per la salute derivante dall'accumulo e presenza dei microinquinanti nelle acque. La possibile risposta consta, quindi, nella ricerca e sviluppo di trattamenti più efficienti, la conoscenza più approfondita delle basi scientifiche dei processi utilizzabili per il disinquinamento e non ultimo l'ottimizzazione della progettazione e gestione delle filiere di trattamento.

Lo studio sperimentale, su scala pilota, della "potabilizzazione dei reflui" qui presentato ha investigato l'efficacia di un processo concepito secondo un approccio multi-barriera, finalizzato ad attuare i concetti dell'economia circolare, perseguire la strategia dello scarico zero e la rimozione di microinquinanti persistenti.

La tecnologia, applicata nella sperimentazione, è stata messa a punto e sviluppata da AquaSoil, come già anticipato nell'introduzione ed è capace di integrare più processi terziari in un sistema compatto multifunzionale (MITO<sub>3</sub>X<sup>®</sup>), con significative semplificazioni impiantistiche e consumi energetici specifici ridotti. La tecnologia permette di iniettare, in aspirazione

ad una pompa centrifuga, reagenti allo stato solido, liquido e gassoso alle varie dosi e in varie combinazioni. Il sistema è progettato per: 1. aspirare le acque da trattare; 2. iniettare gli specifici reagenti richiesti dal processo; 3. mescolare le acque da trattare con i reagenti attraverso la centrifuga delle pompe di aspirazione; 4. pompare gli effluenti alle fasi successive di processo.

### 4. MATERIALI E METODI

I processi studiati sono stati organizzati su tre linee a flusso parallelo, con portate fluenti pari a 1,2 m<sup>3</sup>/h per linea e constano di un pre-trattamento comune a tutte le linee testate (Fig. 7) di ossidazione avanzata (AOP), attuata con il dosaggio controllato ed in linea di O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, seguito da uno stadio di chiarificazione in sedimentatore a pacchi lamel-

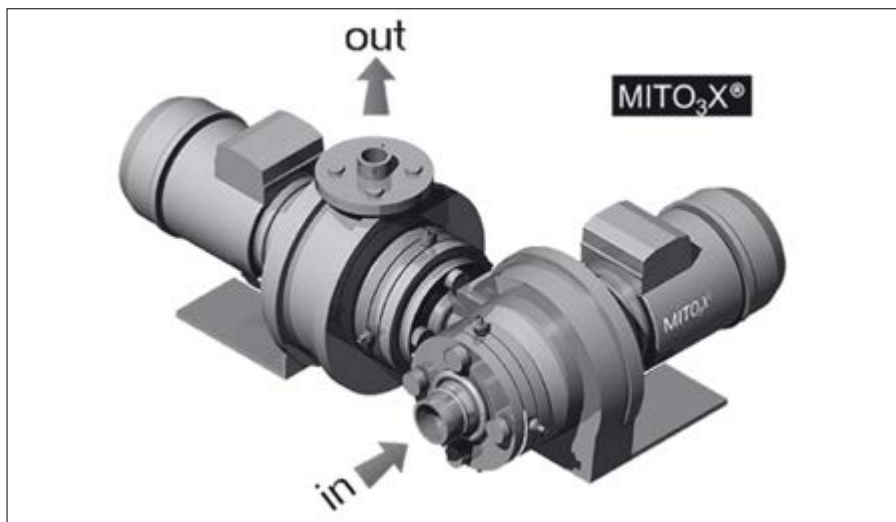


Figura 6. Schema tecnologia oggetto di depositi di marchio registrato (MITO<sub>3</sub>X<sup>®</sup>) e di brevetto (Dep. US20120211426A1/2012 - Deposito brevetto in Italia n. 10201800007374/2018)

Gli effetti della tecnologia applicata sono essenzialmente riconducibili alla disaggregazione delle particelle dei contaminanti nelle acque, alla intima miscelazione dei reagenti dovuta al dosaggio combinato e alla energica miscelazione, promozione di reazioni parallele, ottimizzazione della distribuzione della concentrazione dei reagenti e del tempo di contatto, al controllo avanzato del processo.

Il trattamento prosegue il percorso in tre differenti linee di processo:

- biofiltro costituito da carboni attivi, seguito da stadio finale di AOP con UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>;
- biofiltro costituito da calcare, seguito da stadio finale di AOP con UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>;
- sistema di ultrafiltrazione a membrana, seguito da stadio finale di AOP con UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

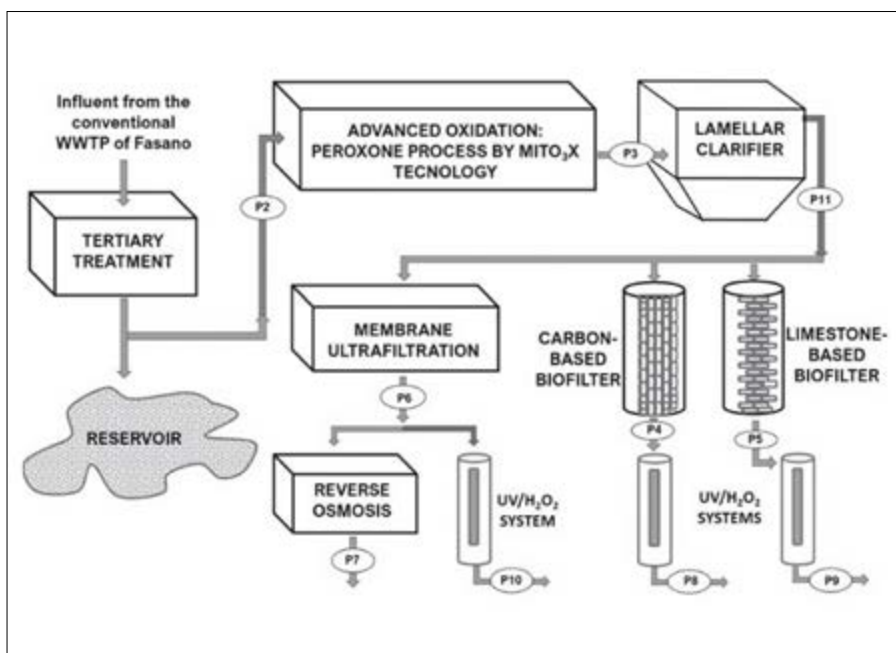


Figura 7. Layout sperimentale con focus sulle diverse strategie di trattamento testate, comparate rispetto sia ai punti di campionamento (Px) che ai parametri descrittivi delle performance di processo



L'impianto sperimentale è stato alimentato dall'effluente dell'impianto di trattamento terziario operante in piena scala. La portata media testata è stata pari a 3, 6 m<sup>3</sup>/h e le dosi iniettate nel sistema MITO<sub>3</sub>X sono state: 10 mg/L di ozono, 10 mg/L di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Nel sistema di trattamento finale con UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> la dose media di radiazione UV è stata di 400 mJ/cm<sup>2</sup> (a 254 nm) e con una dose di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pari a 5 mg/L.

La prima campagna sperimentale è durata circa sei mesi (da luglio a dicembre 2017). È importante specificare che, comunque, l'acquisizione di dati sperimentali (incentrati su macrodescrittori di processo) in piattaforma continua a tutt'oggi, senza soluzione di continuità.

I riferimenti di alcuni parametri sperimentali (sia di marcia che di processo) sono stati acquisiti direttamente in campo con strumentazione disponibile presso il laboratorio di impianto. Sono stati utilizzati strumenti di spettrofotometria (COD, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NO<sub>3</sub>, azoto totale, fosforo totale, ecc.), misuratori di pH, temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto, UVT%.

Aliquote di campioni sono state trasferite presso laboratori accreditati esterni per la valutazione del grado di qualità delle acque trattate e per lo studio delle performance di processo delle

single unità di trattamento, su diversi livelli di indagine:

- analisi chimico-fisico-microbiologiche target di contaminanti chimici e microbiologici primari normati, conosciuti per la potenziale tossicità, come previsto dal quadro normativo italiano di riferimento per le acque potabili (D.Lgs. 31/2001) e parametri supplementari (NDMA, PFOA e simili, diossano e bromati), sono state eseguite presso il Laboratorio Chelab s.r.l. di Merieux NutriSciences Company di Resana (TV), secondo le metodiche standard previste dal D.Lgs. 31/2001;
- ricerca di 219 composti microinquinanti (EU NORMAN + CCL4 US EPA) (EPA, 2016) "Suspect screening"; composti non noti "Non-targeted screening", mediante tecniche di cromatografia liquida, gassosa e ionica accoppiate con la spettrometria di massa ad alta risoluzione, secondo la più recente tecnologia disponibile, per un set addizionale di chemicals sospetti o non noti, quindi, non regolamentati, eventualmente presenti in concentrazioni tali da poter compromettere il grado di qualità della risorsa idrica; presso il Laboratorio Chelab s.r.l. di Merieux NutriSciences Company di Resana (TV);

- ricerca di composti non identificati (unknowns). La rilevazione di tali composti è avvenuta valutando la presenza di eventuali rapporti m/z presenti nel campione e non presenti (o presenti in concentrazione non significativa) nel campione di riferimento (acqua ultrapura - Milli-Q), sempre presso il laboratorio Chelab s.r.l. di Merieux NutriSciences Company di Resana (TV);
- analisi eco-tossicologiche, mediante saggi di tossicità e genotossicità, in grado di rilevare le alterazioni indotte da differenti chemicals presenti in matrice, su diversi sistemi biologici. Tali saggi eco-tossicologici sono stati eseguiti presso il Laboratorio di Fisiologia Generale ed Ambientale del Dipartimento Di.S.Te.B.A. dell'Università del Salento (LE).

## 5. RISULTATI E DISCUSSIONE

L'analisi dei dati acquisiti in loco ha permesso di seguire nel dettaglio il processo sia in termini di funzionamento (portata (l/h), dose UV (mJ/cm<sup>2</sup>), dose H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L), gas flow (L/min), dose O<sub>3</sub>) sia, per diversi punti di monitoraggio, rispetto a parametri macrodescrittori. È stato ottenuto un database costituito da circa 7000 dati registrati,

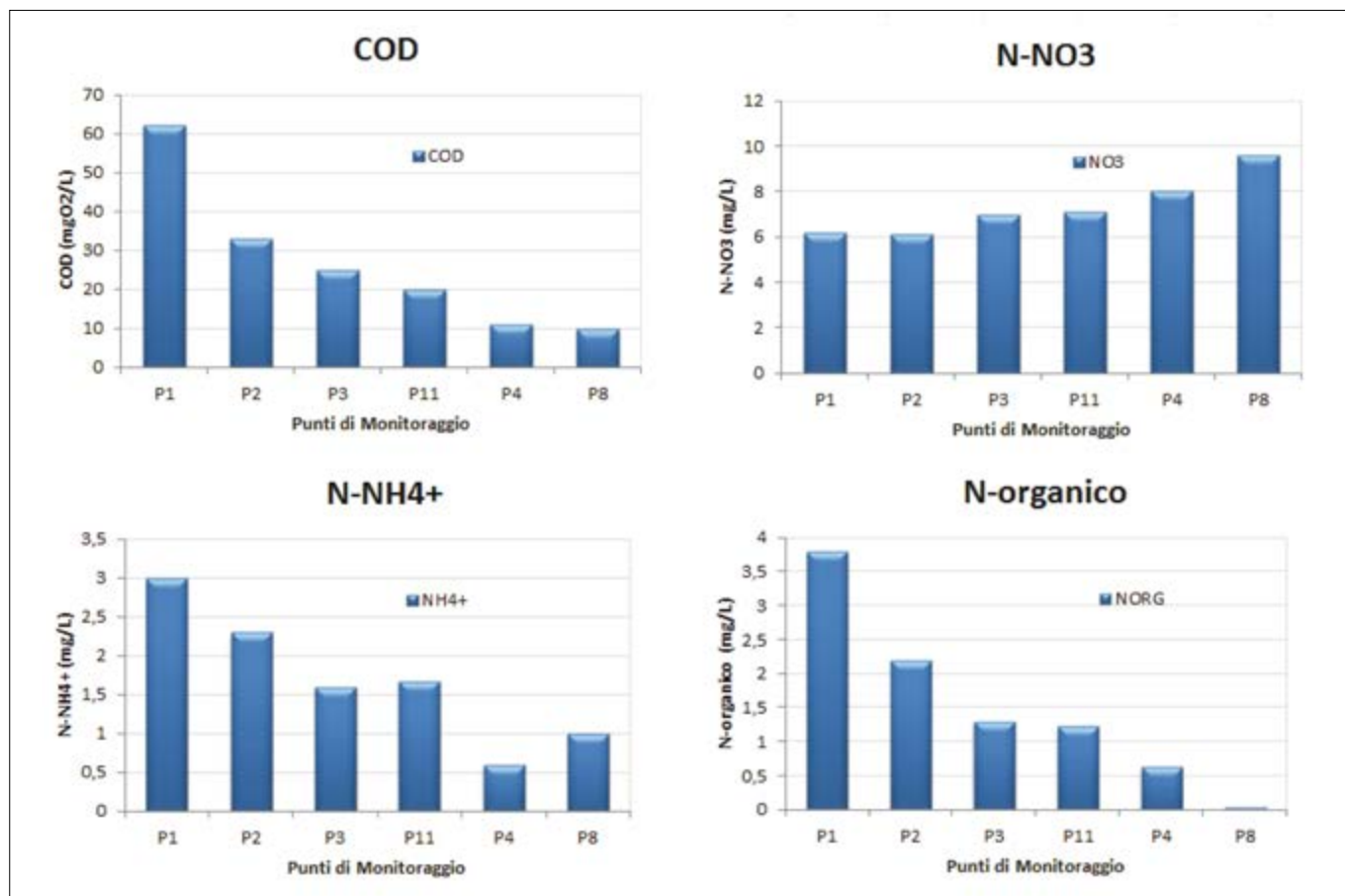


Figura 8. Analisi di alcuni macro-descrittori di processo realizzate in loco durante la sperimentazione: dati medi di COD e forme dell'azoto lungo il treno di trattamento AOP (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) → sedimentazione → biofiltro a carboni attivi → stadio finale di AOP (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

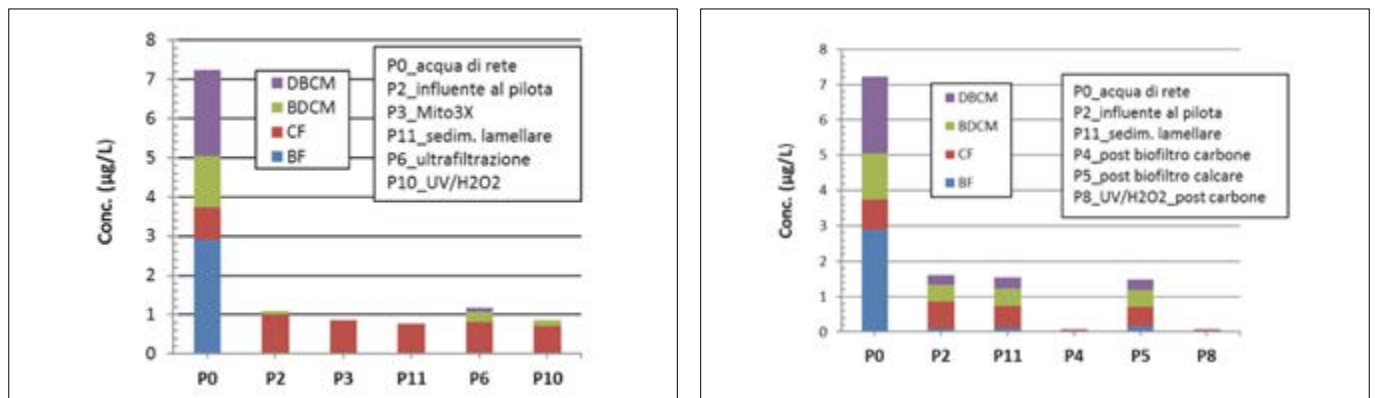


Figura 9. Concentrazioni di differenti sottoprodotti di disinfezione (DBPs) lungo il treno di trattamento chimico-fisico (a sinistra) e biologico (a destra); confronto con il campione di controllo (P0) ovvero acqua di rete acquedottistica

di cui oltre 3500 acquisiti durante la sperimentazione (lug.-dic. 2017) e da cui nel seguito sono stati estrapolati, a titolo esemplificativo, alcuni dati medi per parametri significativi.

L'analisi dei composti *targeted* ha permesso, in effetti, di quantificare alcuni microinquinanti organici regolamentati dalla normativa italiana in materia di tutela delle acque dall'inquinamento e di qualità dell'acqua per il consumo umano. I parametri chimico-fisici relativi alle acque grezze in ingresso al pilota (influyente), alle acque trattate (effluente) e ad alcuni punti intermedi di processo, lungo le diverse linee di trattamento, hanno fornito dati specifici sullo stato dell'alimento al pilota, oltre ad informazioni sulle condizioni generali di funzionamento delle tecnologie di trattamento implementate.

In particolare, test di controllo preliminari hanno evidenziato la non rilevabilità nell'alimento di parametri supplementari non regolamentati, ma fortemente consigliati nel piano di monitoraggio, come diossano, nitrosodimetilammina (NDMA), acido perfluoro-ottanoico (PFOA) e bromati. I primi tre, infatti, sono generalmente associati alla presenza di scarichi industriali o commerciali, a monte degli impianti di trattamento avanzato, oppure, come nel caso di NDMA e sostanze simili, si possono originare in seguito a processi di disinfezione come la cloramminazione, assenti nel contesto locale. Per quanto riguarda i bromati, non si è avuta evidenza di tali composti. Di solito, infatti, essi sono generati quando si utilizza ozono nei processi, principalmente, su matrici ad elevate concentrazioni di bromuri (Von Gunten, 2003). Tra i risultati ottenuti più interessanti è rilevante notare come la qualità dell'effluente pilota potabile, sia lungo il treno di trattamento chimico-fisico (punto di processo P10), sia lungo il treno biologico (punto di processo P8), sia stata

superiore alla qualità dell'acqua di rete acquedottistica (campione di controllo P0), in termini di concentrazione totale di sottoprodotti di disinfezione (DBPs), in ogni caso riscontrati ampiamente sotto i valori guida internazionali di settore (WHO, 2011). Nella Fig. 9 sono riportate, a riguardo, le concentrazioni misurate per differenti DBPs, appartenenti alla classe dei trialometani come dibromoclorometano (DBCM), bromodichlorometano (BDCM), cloro/bromofornio (CF, BF), in vari punti di

processo, confrontati con il campione di controllo P0 (acqua di rete).

Si presentano nel seguito i principali risultati ottenuti con l'approccio di analisi *non-targeted*, mostrati sia in termini di confronto tra le tecnologie implementate nella stazione sperimentale sia rispetto al campione di controllo (acqua di rete).

In particolare sono stati rilevati i pesi molecolari dei composti non noti ed analizzati in base al loro numero (frequenza dei pesi molecolari).

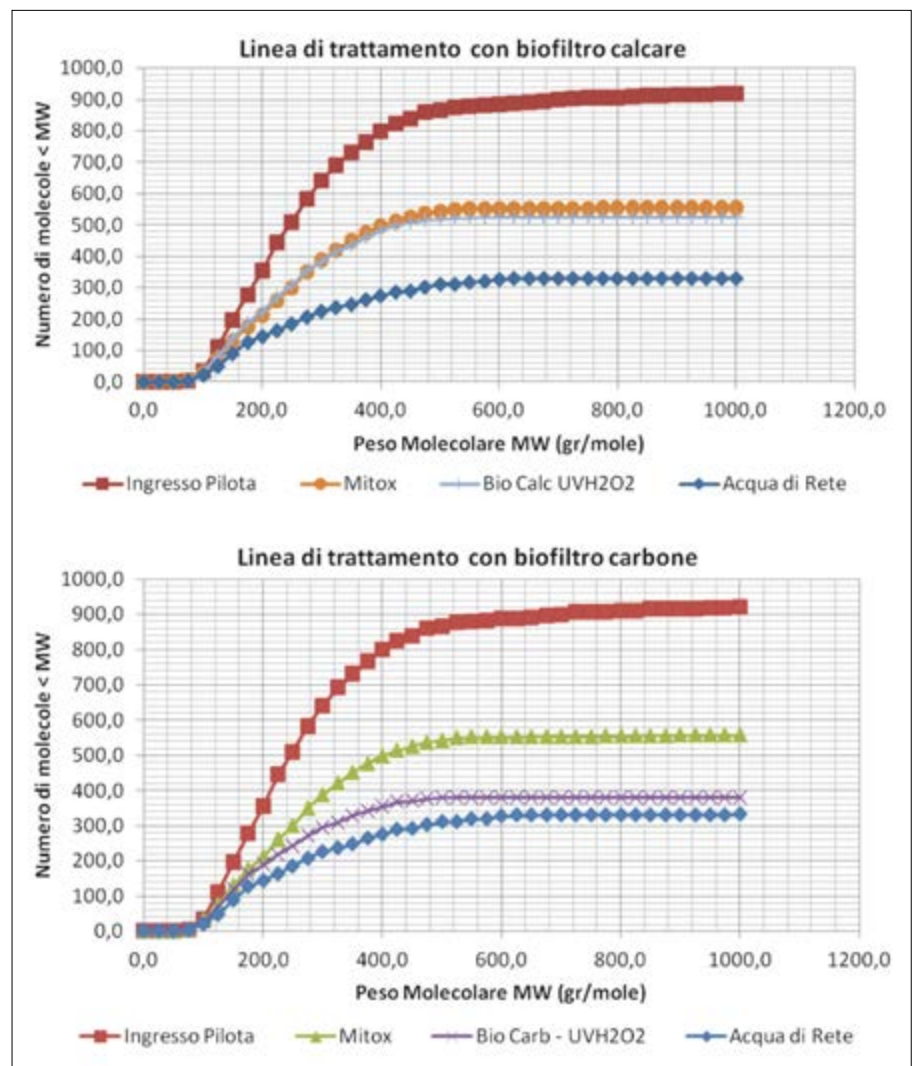


Figura 10. Curve di rimozione di molecole a differente peso molecolare ritrovati mediante analisi LC-HRMS (mod. positiva), lungo le due linee di trattamento biologico indicate

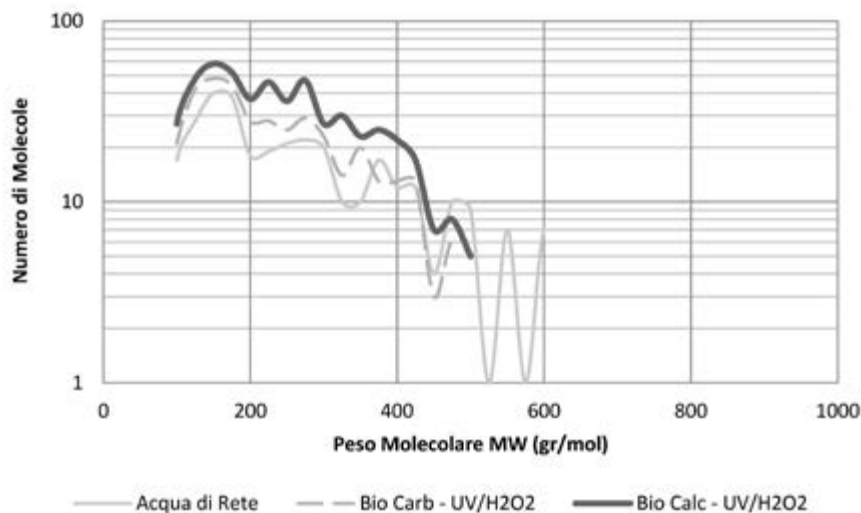


Figura 11. Distribuzioni della frequenza di occorrenza di composti a differente peso molecolare, rintracciati mediante analisi LC-HRMS (mod. positiva), nelle due linee di trattamento indicate e confronto con acqua di rete

Emerge chiaramente la maggiore efficienza di rimozione dovuta alla biofiltrazione su carbone rispetto alla biofiltrazione su calcare (Fig. 10), principalmente nel range dei pesi molecolari medio-alti.

Nella Fig. 11 emerge, altresì, l'azione sinergica derivante dalla biofiltrazione su carbone e dell'unità di disinfezione UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tanto da avvicinarsi e praticamente sovrapporsi agli standard del potabile (Fig. 11).

Con l'approccio d'indagine 'non-targeted' e di 'suspected screening', sono stati, invece, identificati alcuni composti [Diuron, isoproturon, di(2-ethylsil)ftalato (DEHP), Butylated hydroxyanisole (BHA), Quinoline, Norethindrone, terbutrina, Acido perfluorottanoico (PFOA), Estriol, Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX), Anilina] presenti in tracce e, in ogni caso, inferiori al µg/L in termini di concentrazioni totali. I composti sono stati identificati grazie al confronto con una lista di 219 sostanze, ottenuta combinando le raccomandazioni della rete europea NORMAN e dall'agenzia americana EPA. Le efficienze di abbattimento di questi composti nel treno di trattamento AOP (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) → sedimentazione → Biofiltro a carboni attivi → AOP (H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/UV) sono state prossime al 100%. Il processo biologico seguito da sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> appare perfettamente in grado di raggiungere performance di rimozione comparabili con quelle ottenibili con l'osmosi inversa, sempre dopo pretrattamento comune, ed utilizzata come termine di paragone tecnologico.

Le analisi eco-tossicologiche, effettuate mediante saggi di tossicità e genotossicità presso l'Università del Salento, non hanno mostrato criticità nelle acque

trattate sperimentalmente, nelle diverse configurazioni testate, anche rispetto al campione di controllo (acqua di rete).

## 6. CONCLUSIONI

In conclusione, la tecnologia ed i processi testati hanno consentito di dimostrare la piena fattibilità del trattamento dei reflui urbani ai fini del miglioramento qualitativo delle acque della depurazione sino a poter perseguire gli obiettivi di conformità normativa e di valori guida previsti per le acque destinate al consumo umano.

Relativamente alle 3 linee di processo sperimentate è stato possibile inoltre rilevare che:

- La linea di processo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> – biofiltro a carbone – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV mostra migliori efficienze di rimozione rispetto alla linea gemella con biofiltro a calcare;
- la presenza di uno step di pre-ossidazione aumenta considerevolmente la rimozione e la biodegradabilità dei microinquinanti presenti;
- l'AOP a valle del processo biologico consente il raggiungimento di elevate efficienze d'abbattimento dei microinquinanti organici, anche in traccia e di composti non identificabili.

Pertanto, date le ottime potenzialità del progetto, saranno sviluppati studi in futuro per investigare ulteriormente la combinazione di processi di ossidazione avanzata con processi biologici su carboni attivi o altri materiali adsorbenti.

Sono in corso studi di fattibilità per il trasferimento in piena scala della tecnologia e dei processi individuati, ottimizzati rispetto al contesto, inserendo il sistema di trattamento di ozonizzazione del refluo tramite MITO<sub>3</sub>X già esistente e sfruttando, inoltre, le attuali trincee

drenanti come biofiltro naturale. A fronte di un sostenibile incremento dei costi operativi del processo di affinamento (30% in più del costo attuale) il "Lago Forcatella" potrà essere alimentato con acque di qualità potenzialmente potabile e, attraverso la dispersione sul suolo delle acque eccedenti alla domanda di riutilizzo produttivo e la ricarica indiretta della falda, si potrà costruire una riserva idrica di acque di elevata qualità disponibili per il riuso senza restrizioni e per il controllo e la mitigazione dei processi di intrusione e contaminazione salina della falda acquifera carsica (Maria Dolores Fidelibus, Luigi Tulipano, 2004)

## BIBLIOGRAFIA

- AYMERICH I., ACUNA V., BARCELO D. (2016), *Attenuation of pharmaceuticals and their transformation products in a wastewater treatment plant and its receiving river ecosystem*. Water Res. 100, 126-136.
- CASTIGLIONI S., DAVOLI E. (2018), *Mass balance of emerging contaminants in the water cycle of a highly urbanized and industrialized area of Italy*. Water Research 131, 287-298.
- FIDELIBUS M.D., TULIPANO L. (2004), *Inquinamento salino ed antropico degli acquiferi costieri della Murgia e del Salento: Azioni di Salvaguardia*. "Geologi e Territorio" periodico dell'Ordine dei Geologi della Puglia - Supplemento al n. 1/2004, 95-104.
- ISPRA (2012), *Modello di indagine per la valutazione della fattibilità del riuso delle acque reflue depurate*. Manuale 80/2012.
- PIO I., SCARLINO A., BLOISE E., MELE G., SANTORO O., PASTORE T., SANTORO D. (2015), *Efficient removal of low-arsenic concentrations from drinking water by combined coagulation and adsorption processes*. Separation and Purification Technology. 147.
- SANTORO O., PASTORE T., SANTORO D., CRAPULLI F., RAISEE M., MOGHADDAMI M. (2013), *Combined physico-chemical treatment of secondary settled municipal wastewater in a multifunctional reactor*. Water Science and Technology 68 (8), 1715-1722.
- SANTORO O. (2014), *Back to Future: The Success Story of Fasano's Agricultural Wastewater Reuse Plant*. Wastewater and Biosolids Treatment and Reuse: Bridging Modeling and Experimental Studies. Eds, ECI Symposium Series.
- USEPA (2016), *Lifetime Health Advisories and Health Effects Support Documents for Perfluorooctanoic Acid and Perfluorooctane Sulfonate*. Federal Register/Vol. 81, No. 101.
- USEPA (2016), *Drinking Water Contaminant Candidate List 4*.
- VON GUNTEN U. (2003), *Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine*. Water Research 37(7), 1469-1487.
- WATER-REUSE-EU (2018), *Water Reuse Europe Review*. ISBN: 978-1-5272-2364-6.
- WHO (2011), *Guidelines for drinking-water quality*. IV ed. ISBN 978 92 4 154815 1

# Uso e riuso dell'acqua nell'economia circolare

## Water use and reuse in circular economy

**Parole chiave:** acque primarie, acque reflue, riuso in agricoltura, norme per il riuso, economia circolare.

**Key words:** wastewater reuse, agriculture water reuse, governance structures, transaction costs, circular economy

**Antonio Paglionico**

Già prof. ordinario presso il Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali Università degli Studi "A. Moro" Bari  
Sigea Puglia  
E-mail: a.paglionio1942@libero.it

### PREMESSA

L'acqua è un bene primario, rinnovabile, fondamentale per la vita sul pianeta terra, per la sua sopravvivenza e il suo benessere. Essa assume un ruolo centrale in moltissimi settori, contribuendo allo sviluppo economico-ambientale del pianeta. La risorsa idrica primaria è irregolarmente distribuita nello spazio e nel tempo, ed è da molti anni sotto forte "pressione", tanto da diventare sempre più scarsa per i motivi di seguito riportati non in ordine prioritario: a) un suo uso non razionale; b) il costante aumento della popolazione sul pianeta; c) una urbanizzazione spesso non controllata; d) una diffusa e massiva industrializzazione; e) gli effetti del "riscaldamento globale". Quest'ultimo è solo in parte di origine cosmica: infatti, interventi di tipo antropico ne amplificano gli effetti negativi. Negli ultimi 200 anni di storia della terra tutti questi fattori, nel loro insieme, hanno creato una forte desta-

bilizzazione del clima, generando modificazioni così profonde da spingere gli studiosi di Scienze della Terra a proporre di istituire una nuova era geologica denominata "Antropocene" (Congresso Mondiale di Geologia, Città del Capo, 2016). Infatti, in uno spazio di tempo così breve, le frequenti, improvvise e irregolari variazioni nel clima e le conseguenti irregolarità nel ciclo delle acque hanno causato profonde modificazioni sulla fisica e sulla biologia del pianeta. È opinione ampiamente condivisa dal panel degli scienziati dell'ICPP (2013-2017) che se non verranno adottate severissime politiche per bloccare l'attuale incremento della temperatura media terrestre, entro il 2030 sarà raggiunta la soglia di non ritorno, con gravissime conseguenze, non solo per il ciclo delle acque, ma per la vita sul pianeta. Al momento, infatti, quasi la metà della popolazione (3,9 miliardi di umani) è già sottoposta a mancanza di acqua per

un mese/anno, e queste condizioni degenereranno in un "grave stress idrico" nel prossimo decennio (U.N., 2017a). L'acqua, come noto, è fondamentale per la vita degli ecosistemi terrestri (fiumi, laghi, wetland, acque sotterranee) che, in assenza di adeguate quantità e qualità di acqua, non potranno più svolgere in un futuro molto prossimo (2030) le loro funzioni. Le uniche soluzioni in grado di rispondere a tale inderogabile e indifferibile esigenza sono una gestione più razionale e consapevole della risorsa primaria e il potenziale e possibile riuso sia di acque usate che reflue.

### 1. OTTIMIZZARE LA GESTIONE DELL'ACQUA PRIMARIA

Tra gli obiettivi da raggiungere per ottimizzare il percorso della risorsa primaria, il più importante, è quello di migliorarne l'uso evitando che l'acqua venga persa, sprecata, inquinata o utilizzata

Lo stato delle reti del SII evidenzia la necessità di completare l'infrastrutturazione del Paese. Obiettivi prioritari restano il comparto della depurazione – per il rischio sanzioni a carico, in particolare, del Mezzogiorno – e l'ammodernamento della rete acquedottistica.

	Acquedotto		Fognatura		Depurazione (capacità)		Depurazione (carico trattato)	
	Copertura	Deficit	Copertura	Deficit	Copertura	Deficit	Copertura	Deficit
Italia	95,6%	4,4%	93,1%	6,9%	85%	15%	78,5%	21,5%

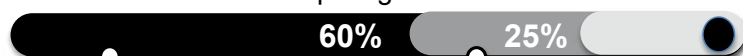
Fonte: elaborazioni Blue Book 2014 su dati ISTAT, CONVIRI, Commissione Europea)

#### Perdite delle reti

Le reti hanno una percentuale media di perdita pari al **38,2%**



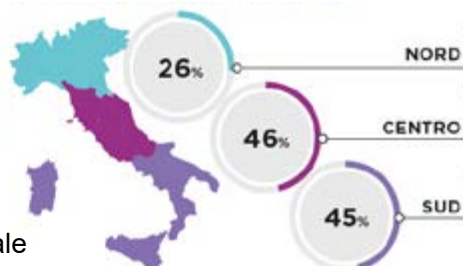
Si perdono nei tubi circa 38 litri d'acqua ogni 100 litri immessi



Rete nazionale posata da oltre **30 anni**

Rete nazionale posata da oltre **50 anni**

#### Così per aree geografiche



Fonte: Utilitalis sulla base di un campione di gestori

Il **tasso di rinnovo nazionale** attualmente è pari a circa 3,8 metri di condotte per ogni km di rete.

Figura 1. Stato delle infrastrutture idriche in Italia (Utilitalia, 2017)

## Usi dell'acqua in Italia

### Volume erogato per settore (anno 2012)



Fonte: ISTAT, Giornata mondiale dell'acqua 22/03/2017

Figura 2. Attuali usi della risorsa acqua in Italia (Utilitalia, 2017)

in modo improprio. La salvaguardia della risorsa è connessa con la protezione equilibrata degli ecosistemi utilizzando solo le quantità necessarie, prelevandola dal posto giusto, ed estraendola con le metodologie tecnicamente più efficaci. Il secondo obiettivo è quello di fornire l'accesso alla risorsa al maggior numero di viventi. Per quanto riguarda l'uomo, sarebbe giusto regolamentare, in successione l'accesso al potabile, ai servizi igienici, ai servizi energetici ed agricoli, e all'industria. Infine, il terzo obiettivo è di organizzare il percorso dell'acqua secondo un sapiente e rigido circuito chiuso, tendente a minimizzare le perdite con opzioni differenziate nella qualità della stessa in base al suo utilizzo.

Di seguito riporto, sinteticamente, i percorsi ottimali dell'acqua primaria, le possibili soluzioni per migliorare il suo utilizzo secondo "Best Practices" e per ultimo, gli stadi che in successione prevedono il riuso delle acque "usate":

a) *Evitare la dispersione e le perdite di acqua primaria*: questo tipo di fenomeno è diffuso e rilevante su tutto territorio nazionale; sarebbero necessari interventi tecnici, normativi e incentivi finanziari per ridurlo drasticamente. I Servizi Idrici Integrati (di seguito

SII), spesso poco efficienti, dovrebbero migliorare la loro azione al fine di ridurre l'attuale divario tra offerta e domanda. Stime recentissime (ISPRA, 2017), indicano che in Italia le perdite lungo le condotte principali sono valutate intorno al 38% (Fig. 1);

b) *Ridurre il consumo di acqua primaria*: tale obiettivo, genererebbe minori quantità di acque "grigie" a livello domestico, eventualmente da trattare. Gli attuali SII non sono in grado di controllare questo meccanismo, si potrebbero, però, raggiungere consumi più ridotti, a livello paese, mediante campagne di sensibilizzazione e misurazioni più costanti (Fig. 2);

c) *Investire nelle infrastrutture idriche*: il patrimonio infrastrutturale attuale, proprietà SII, non risulta efficiente e potrebbe essere migliorato utilizzando anche i finanziamenti messi a disposizione dall'U.E. Le infrastrutture hanno bisogno di essere tecnicamente migliorate e ottimizzate al fine di ridurre consumi energetici, perdite e sprechi. Per esempio, potrebbero essere valutate intersezioni con settori di altri servizi pubblici, e/o implementare neo-strutture con altre, "naturalmente predisposte".

## 2. RIUSO MINIMALE DELLE "ACQUE SECONDE"

*Utilizzo di acque pluviali*: questa soluzione, applicabile a livello di famiglia o di comunità, può contribuire alla gestione delle prime necessità. Piccoli trattamenti sono necessari per utilizzare queste acque: in lavanderia, per servizi igienici, a fini irrigui, ed anche ad uso potabile. La raccolta delle acque di pioggia può svolgere anche altre funzioni: aiuta a ridurre i fenomeni di erosione superficiale, a controllare le piene e prevenire la contaminazione delle acque superficiali e sotterranee a causa di pesticidi e fertilizzanti.

*Riciclaggio di "acque grigie"*: la qualità di queste acque varia molto in base alla loro origine; il trattamento previsto per il loro riuso non è semplice. In alcuni casi le "acque grigie" possono essere usate direttamente: per wc, per irrigazione di giardini, per lavatrici. È da escludere il loro uso in campo agricolo o per acquacultura, in quanto queste acque sono ricche di detersivi, derivando da lavastoviglie, lavatrici, e lavelli di cucina. I sistemi per il loro riuso sono onerosi e richiedono costi di manutenzione costanti, a meno di obbligarne normati-

vamente l'uso di detergenti "verdi". Risulta evidente, anche in questo caso, che il loro utilizzo riguarda applicazioni a livello familiare o di comunità. Entrambe le misure, però, se applicate massivamente, possono ridurre il consumo di acqua primaria.

### 3. RIUSO E RICICLAGGIO DI "ACQUE REFLUE"

È comprensibile che la scarsità di acqua primaria, sia accentuata in regioni semiaride, come quelle mediterranee e diventi "virale" in regioni nelle quali, alla carenza della risorsa primaria, si aggiunge una forte domanda di acqua per esigenze antropiche (EEA, 2012). Attualmente, i due terzi della popolazione mondiale, vive in aree caratteriz-

le condizioni ambientali (EPA, 2018). In particolare, poiché più del 95% in peso di un "refluo urbano" è costituito da acqua, questa è la più importante risorsa da recuperare. L'acqua depurata e trattata può essere riusata e/o riciclata: in agricoltura, nell'industria, nella ricarica degli acquiferi, per usi civili (lavaggio di strade e automezzi, servizi igienici) ed anche per "usi potabili". Attualmente si guarda con particolare attenzione al "riuso delle acque reflue" in agricoltura, a causa della continua crescita della popolazione ed anche per i ricorrenti e frequenti episodi di scarsità idrica. I principali ostacoli da superare sono di tipo normativo, economico e infrastrutturale, tutti fattori che ritardano e/o impediscono la loro utilizzazione (Fig. 3).



Figura 3. Problematiche nel riutilizzo dei reflui in Italia (Ispra, 2017)

zate da scarsità di acqua per almeno 1 mese l'anno e circa 500 milioni di persone vivono in aree in cui il consumo di acqua supera la quantità disponibile per un fattore di due (WWPA, 2017). Queste situazioni sono dovute anche alla massiccia presenza di strutture e infrastrutture antropiche idro-dipendenti. D'altra parte è noto che in tutti i paesi, anche in quelli industrialmente più sviluppati, la massima parte delle "acque reflue" viene sversata direttamente nell'ambiente, a luoghi, anche senza alcun trattamento. Di contro, il riuso di "acque reflue trattate" può diventare importante, assumendo particolare valenza al fine di ridurre il gap tra disponibilità e domanda. Il tipo di trattamento (e il successivo affinamento), però, è molto diversificato ed è correlato a differenti obiettivi: a) aumentare la produzione agricola in un settore; b) ridurre il consumo di energia connesso alla produzione; c) migliorare significativamente

### 4. POTENZIALITÀ DELLE "ACQUE REFLUE DEPURATE"

Un trattamento "efficace" di acque reflue fornisce una disponibilità aggiuntiva e alternativa alla risorsa primaria in agricoltura, nell'industria ed anche per fini potabili, in aree dove essa scarseggia (IWA, 2015). L'uso in agricoltura di "acque reflue" depurate è cresciuto negli ultimi anni, in particolare nelle regioni mediterranee (Spagna, Italia, Cipro e Grecia). A livello planetario, le notevoli potenzialità del "riuso delle acque reflue" sono poco esplorate (Environmental Agency, 2009). *Sostanze, nutrienti ed energia chimica* presenti nei reflui urbani potrebbero essere riutilizzati in agricoltura con successo. Per esempio, l'estrazione di materie prime non rinnovabili fondamentali nell'agricoltura, quali fosforo e azoto, sarebbe ridotta al minimo. Questi elementi potrebbero essere recuperati dalle acque reflue: il brevetto

RIM-NUT consente, infatti, di rimuovere e recuperare dai reflui urbani N e P, come Magamp ( $MgNH_4PO_4$ ), pregiato fertilizzante, a lento rilascio. Un processo come l'OMNIPROCESSOR, consente di ottenere acqua per uso potabile dai rifiuti biologici umani; il brevetto CELLVATION, recupera la cellulosa dalla carta igienica presente nei reflui urbani. Le principali difficoltà che incontrano tali brevetti risiedono nel fatto che nelle acque reflue le quantità e la qualità dei nutrienti sono molto variabili e poco note (Lopez, 2018). È possibile, mediante processi anaerobici, recuperare anche *energia chimica presente nei reflui*, trasformando la sostanza organica in essi contenuta (COD) in bio-gas costituiti da metano (80-55%) e  $CO_2$  (20-45%).

Il bio-gas così ottenuto può essere trasformato, con rese diverse, in calore o energia elettrica secondo necessità. A livello globale, negli anni compresi tra il 1980 e il 2010, gli impianti che hanno prodotto bio-gas sfruttando processi anaerobici sono aumentati del 2400%. Tale trasformazione consente, tra l'altro, a molti impianti di depurazione di essere energeticamente autosufficienti. Il bio-gas, infine, se purificato (metano superiore al 95%) può essere utilizzato come carburante negli automezzi dotati di impianti a gas. Esempi, in tale direzione sono già realtà in Lombardia e in Alto Adige, dove sono in esercizio distributori di carburanti a bio-metano. In Puglia un tentativo importante è stato realizzato dalla Biosoil a Monopoli. *Acque reflue possono essere "riusate" anche in comparti industriali*: le linee guida sulla qualità delle acque e la normativa per l'uso delle acque nell'industria non sono così rigide come per altri settori. Nell'industria acque reflue trattate vengono riusate per il raffreddamento, l'alimentazione di caldaie, e il lavaggio di grandi apparati, ed esse possono essere usate più volte in stadi successivi. *Anche il riutilizzo di acque reflue ad uso potabile è una realtà*: l'acqua trattata, infatti, può essere affinata e rigenerata attraverso una serie di processi necessari e sufficienti per farla rientrare negli standard qualitativi previsti dalla normativa. Recentissime sperimentazioni e brevetti depositati (Aquasoil, 2012, 2013, 2015) hanno reso tale processo sempre più realizzabile. Attualmente, però, pochissimi sono i casi virtuosi funzionanti in Italia, in quanto permangono una serie di difficoltà da superare che ne ostacolano la diffusione. La principale barriera è quella "percettiva", cioè la naturale e comprensibile "ritrosia" da parte dei consumatori di usare

come “acqua da bere” quella derivante dai “reflui urbani”. A questo rilevante ostacolo, di tipo percettivo-educativo, si aggiungono quelli di tipo normativo, a luoghi esasperati da poteri economici non residuali, che al momento traggono profitti economici dall'estrazione, gestione e vendita delle acque sotterranee (in Italia il mercato delle “acque minerali” è un business estremamente redditizio). Il riutilizzo delle acque derivanti dai “reflui

urbani” per uso irriguo e potabile, farebbe collassare economicamente il settore privato attualmente “dedicato”. A livello paese, una valutazione costi-benefici del “riuso di acque reflue” dimostra che questa soluzione è meno costosa e meno energivora rispetto, per esempio, alla “desalinizzazione” di acque marine per diversi usi. È il caso di far presente che alcuni significativi esempi di utilizzazione di “acque reflue affinate” per usi potabili

sono già realtà in alcune parti del mondo da diversi anni (Singapore, Namibia, Israele, California, in Europa: Germania, Francia, Grecia, Spagna, Italia) (Fig. 4).

## 5. L'ACQUA NELL'ECONOMIA CIRCOLARE

*I brevi cenni sull'Economia Circolare di seguito riportati, permettono di inserire l'uso e il riuso dell'acqua in un quadro di*

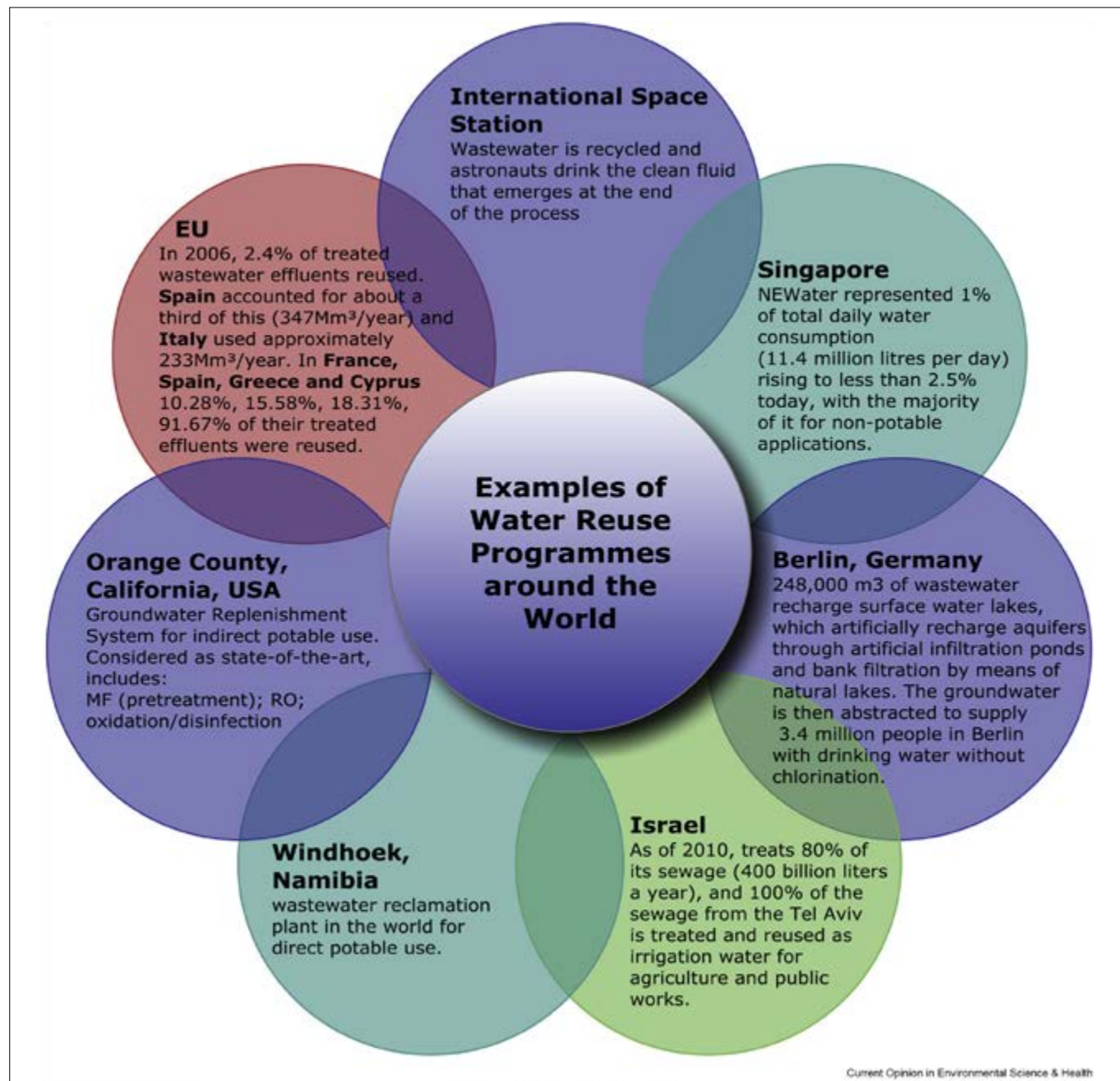


Figura 4. I principali programmi per il riuso di acque reflue a livello planetario (Voulvoulis, 2018)

### Esempi di riutilizzo di acque reflue nel mondo

**Stazione spaziale internazionale.** Le acque reflue sono tutte riciclate e gli astronauti bevono i liquidi “chiarificati”, derivanti dai processi di trasformazione.

**Singapore.** NEWater (Società privata) produce l'1% del consumo totale giornaliero di acqua (11,4 milioni litri/ giorno) raggiungendo non meno del 2,5% giorno usata quasi totalmente per uso non potabile.

**Berlino, Germania.** Circa 248.000 mc di “reflui urbani trattati” ricaricano le porzioni superficiali dei laghi che artificialmente contribuiscono a ricostruire l'acquifero naturale, attraverso stagni artificiali e terrapieni filtranti. L'acqua di falda è preservata e utilizzata a fini potabili per 3,4 milioni di persone.

**Israele.** A partire dal 2010 l'80% delle acque reflue (400 bilioni di litri/anno) e il 100% delle acque reflue di Tel Aviv è trattato e riusato a fini irrigui e di pubblica utilità.

**Windhoek, Namibia.** Sono stati messi a punto impianti di trasformazione di acque reflue per uso potabile diretto.

**Orange County, California, USA.** Sistema di ricarica delle acque sotterranee per uso potabile indiretto che comprende: il pretrattamento (MF), l'ossidazione/disinfezione, (RO).

**UE.** Dal 2006 circa il 2,4% delle acque reflue “trattate” sono riusate (in Spagna 347Mmc/anno; in Italia 233Mmc/anno); attualmente in Francia, Spagna, Grecia e Cipro, le quantità di acque reflue riusate passano dal 10 % al 91 %.

riferimento in cui è auspicabile si possa sviluppare nel prossimo futuro l'evoluzione economico-ambientale, non solo europea, ma planetaria. *L'Economia Circolare, di fatto, costituisce l'eccezionale strumento di crescita che inserisce in un circolo virtuoso e continuo risorse, sviluppo e mercato, permettendo alla società di crescere, all'industria di funzionare, ai cittadini di soddisfare le proprie necessità. Tale approccio prevede che si riutilizzino in un ciclo continuo e permanente i materiali biologici e tecnici presenti in qualsiasi prodotto, merce, utensile; i materiali biologici sono in grado, infatti, di essere reintegrati nella biosfera, quelli tecnici di essere rivalorizzati e reimmessi nel mercato, riducendo al minimo il ricorso all'uso di materie prime, risorse non rinnovabili* (Ellen Mac Arthur Foundation, 2015). Negli ultimi dieci anni si è passati, infatti, da un modello di sviluppo basato sull'Economia Lineare, attraverso una breve transizione nell'Economia del Riciclo, verso un modello di sviluppo futuro basato sull'Economia Circolare (Fig. 5).

È di fatto, necessario e urgente che la società si muova coscientemente e rapidamente verso una concezione di mercato che superi e contrasti il modello convenzionale e obsoleto del "take-make-consume and dispose".

Il neo-modello di crescita prevede, come già accennato, il riuso e il riciclo di tutti i materiali biologici e tecnici di cui è formata una merce, un oggetto, un utensile. Le prospettive economico-sociali e i benefici ambientali derivanti da uno sviluppo basato sull'E.C. sono ricompresi anche nei goals che l'ONU ha prospettato di raggiungere entro il 2030, tra i quali ricordiamo: aumentare la crescita economica globale dell'11% e di ridurre drasticamente la quantità di CO<sub>2</sub> sversata nell'ambiente per fermare

l'attuale "global warming". In tale scenario, il "riuso delle acque reflue" riveste un ruolo centrale, creando benefici sia alla collettività che all'ambiente.

Partendo dall'accezione che: per "rifiuti" s'intende tutto ciò che è privo di valore e di utilità e come tale devono essere eliminati o smaltiti. Erroneamente e, a lungo, sono stati classificati "rifiuti" tutti quei materiali che, dopo essere stato utilizzati, continuano a conservare un residuo di materie prime, di sostanze e di energia potenzialmente riutilizzabili. Tipici esempi di "rifiuti", nell'accezione suesposta, sono i "reflui liquidi e solidi" prodotti dagli insediamenti urbani e industriali presenti nei depuratori. Questi, da sempre considerati "rifiuti", posseggono invece acqua, materie ed energia, recuperabili e riutilizzabili. L'aumento crescente dei costi delle materie prime e il loro progressivo depauperamento e la carenza della risorsa acqua, hanno completamente modificato l'ottica con cui venivano considerate le "acque reflue", nell'attuale visione di un loro potenziale e possibile recupero. Gli impianti di depurazione costituiscono, quindi, un settore in cui applicare gli strumenti dell'Economia Circolare. Un impianto di depurazione è, di fatto, assimilabile ad una "bioraffineria" in cui, partendo da biomasse, si producono acqua, combustibili, nutrienti, ed energia che possono essere recuperati attraverso un ciclo continuo che si riproduce sistematicamente (Lopez, 2018).

## 6. IL RUOLO DELLE ACQUE "REFLUE" NELL'ECONOMIA CIRCOLARE

Ogni anno in Europa sono trattati più di 40 miliardi di mc di "reflui urbani"

prodotti da depuratori, e di essi ne vengono riusati solo 964 milioni (Vallotti, Utilitalia; 2017). Il potenziale di crescita, nel settore, è quindi enorme: l'Europa potrebbe riutilizzare sei volte il volume di acque trattate rispetto all'attuale.

L'Italia detiene tra le più elevate quantità di riuso: infatti, circa 233 milioni di mc di acque reflue/anno vengono riutilizzate. L'applicazione delle metodologie tipiche dell'E.C. nel riuso delle risorse presenti nei "reflui" in un ciclo continuo porterebbe risultati molto virtuosi, se applicato a livello paese, ma la strada da percorrere per avviare e consolidare tale meccanismo è lunga e difficile.

È ben comprensibile che il riuso delle risorse e dell'energia presenti nelle acque reflue, attualmente dissipate, aumenta "in primis" la disponibilità di acqua primaria a cui si aggiungono ulteriori benefits. Il tutto, però, risulta difficile da metabolizzare. Infatti, anche se le acque reflue urbane, quelle derivanti dalle industrie alimentari, le acque di "risultato" dell'industria mineraria, quelle derivanti dalle deiezioni zootecniche e suine, le acque di vegetazione, le acque derivanti dalla FORSU, sono tutte ricche di sostanze e di energia da riutilizzare, il loro recupero è difficile, in quanto sono da superare una serie di ostacoli percettivi, strutturali e normativi.

### 6A. CENNI SULLA VIGENTE NORMATIVA

Recentemente, a livello normativo sono stati approvati provvedimenti che hanno impresso una svolta nel riuso delle acque reflue e dei suoi derivati, quali il D.M.n.185, 2003 e il D.M. 26 Febbraio 2016 - *Criteri e norme tecniche per la disciplina regionale dell'utilizzazione agro-*

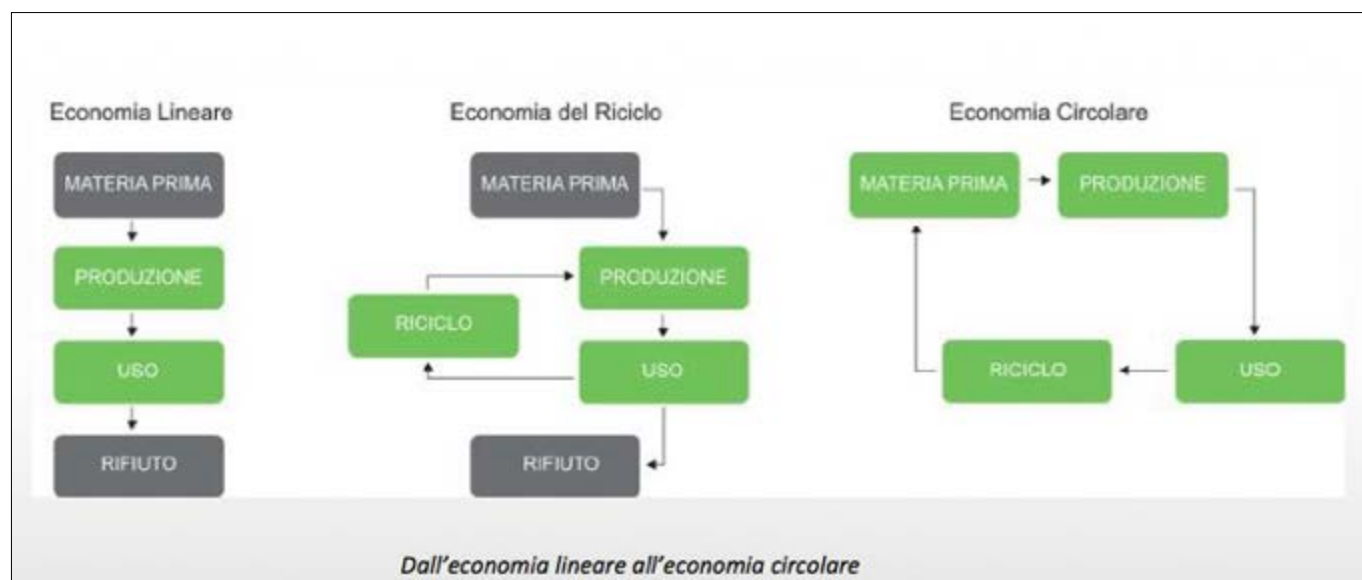


Figura 5. Dall'Economia Lineare all'Economia Circolare



*nomica degli effluenti*. Le difficoltà che si riscontrano nell'applicazione di tali norme si presentano a livello nazionale e regionale. Nel primo caso tale segmento presenta gravi e persistenti ritardi nella realizzazione d'infrastrutture e forti carenze nelle quantità dei reflui: circa l'80% delle reti fognarie italiane non risulta allacciato ad un depuratore e, in caso positivo, l'impianto risulta inadeguato. A livello regionale si riscontrano altre difficoltà, in quanto il riutilizzo di acque reflue deve seguire norme regionali, che risultano difformi tra le diverse regioni con le conseguenze che ne derivano. Per questi motivi, l'Italia è sottoposta da parte dell'U.E. a diverse procedure d'infrazione, che comportano un danno economico pari a 62 euro/anno/abitante, a cui aggiungere la mancanza di investimenti nel settore e l'elevato danno ambientale, economicamente non quantificato. L'U.E., di contro, prevede cospicui finanziamenti per l'affinamento di acque reflue, e per progetti ed interventi, che rientrano perfettamente nelle strategie dell'Economia Circolare (per esempio Horizon 2020).

## CONCLUSIONI

Impianti idonei a sfruttare acque, nutrienti, sostanze ed energia derivanti dal trattamento e affinamento delle "acque reflue" dei depuratori civili sono, al momento, poco diffusi a livello paese. Potenzialmente tali strutture industriali costituiscono un'importante opportunità e le metodologie e gli strumenti applicativi sarebbero in linea con la teoria e le pratiche dell'Economia Circolare, se realizzate, diventerebbero strategiche per il nostro sviluppo. L'U.E. ha destinato importanti risorse finanziarie a tali progetti che, permetterebbero di ottenere: a) un uso più razionale e consapevole dell'acqua primaria; b) il recupero di materie prime non rinnovabili, in costante e irreversibile depauperamento; c) un contributo importante per frenare il crescente inquinamento ambientale; d) la creazione di nuovi e moderni tipi di lavoro. Le difficoltà economiche, legate al cambio di paradigma e al nuovo know-how, sarebbero sostenute, nella fase iniziale, da finanziamenti europei "dedicati". Le strutture tecnico-politiche, imprenditoriali, di ricerca (nazionali e regionali) sono chiamate ad attivare processi di coesione con l'obiettivo di creare e condividere "valore", piuttosto che generarlo in modo autonomo. Le Regioni, i Consorzi di Comuni, i Comprensori, in partenariato con il tessuto industriale locale, con politici capaci e

"dedicati", con strutture di ricerca, già presenti sul territorio, potrebbero e dovrebbero cogliere tale occasione. Si tratta di affrontare una sfida basata, come sempre, anche sul fattore scala, l'unico che può permettere di raggiungere risultati significativi. È comprensibile, infatti, che per raggiungere una valenza economico- sociale- ambientale ottimale che permetta di trasmettere le ricadute positive sulla società civile e sull'ambiente, la strada da percorrere è lunga e difficile. I risultati potrebbero maturare, solo quando impianti industriali "dedicati" si realizzino capillarmente su tutto il territorio nazionale.

## NOTA DELL'AUTORE

Un esempio "virtuoso" di quanto discusso è una realtà in Puglia (Forcatella di Fasano, Brindisi). Qui, una società a partecipazione pubblica, Aquasoil srl, in partenariato con AQP e con il Comune di Fasano, utilizzando fondi comunitari, ha messo a punto e realizzato tre obiettivi di un progetto. Questo prevedeva il trattamento e il successivo affinamento delle acque reflue del depuratore civile di Fasano allo scopo di ottenere in sequenza il loro riuso per fini irrigui, per acquacultura e per uso potabile. Tutti gli obiettivi sono stati raggiunti: a) 50 aziende agricole, collegate all'impianto, utilizzano, da diversi anni, le acque reflue del depuratore trattate a fini irrigui; b) due laghetti artificiali, creati nell'areale, utilizzano acque trattate, in esubero, per processi di acquacultura; c) nel gennaio 2018, è terminato il processo di affinamento delle acque reflue trattate, al fine di ottenere acque ad "uso potabile". I parametri chimico-biologici delle acque affinate ottenute, certificate dagli organi di controllo, risultano perfettamente all'interno di quelli compatibili per l'uso potabile. La realtà descritta, ancorché importante, costituisce "un unicum" nell'Italia meridionale e trova pochissimi riscontri in Italia e in Europa. Sarebbe necessario che tale pratica venisse gradualmente, ma rapidamente, diffusa a livello paese, per realizzare una rete capillare che possa aumentare il riuso delle acque reflue per ridurre l'uso di acqua primaria, creando nel contempo benefits sia per la collettività che per l'ambiente.

## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

EEA (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY) (2012), *Climate changes, impacts and vulnerability in Europe. An indicator based-report, EEA Report 12/2012*. ISSN

1725-9177, <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability/2012>

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015), *Growth Within: A circular economy vision for a competitive Europe*, 2015,

[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ElleMacArthurFoundation\\_Growth\\_Within\\_July15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ElleMacArthurFoundation_Growth_Within_July15.pdf)

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2017), *The world's leading forum for exploring the idea of the circular economy*, Summit, 2017. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/summit>

IWA (THE INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION), (2015), *Alternative water resources: a review of concepts, solutions and experiences*, 2015, [https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/03/1454669301-IWA\\_AWS\\_final.pdf](https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/03/1454669301-IWA_AWS_final.pdf)

IWA (THE INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION) (2018), *Water Utility Pathways in a Circular Economy*, 2018, [http://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/07/IWA\\_Circular\\_Economy\\_screen.pdf](http://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/07/IWA_Circular_Economy_screen.pdf)

LOPEZ A. (2018), *Economia Circolare e acque reflue*, Seminario, Facoltà di Agraria, Università di Bari, 15 Febbraio 2018.

PAGLIONICO A. (2017), *Attività estrattiva ed economia circolare*, *Altavista Ecodem Puglia*, Febbraio, 2017.

PAGLIONICO A. (2017), *I rifiuti contenenti amianto: da problema a risorsa*, *Geologia dell'Ambiente*, Supplemento al n. 4/2017, *Rischio amianto in Italia: da minerale pregiato a minaccia per la salute e per l'ambiente*, 29-33

PAGLIONICO A. (2017), *L'Antropocene, previsione e prevenzione*, *Ecodem Puglia*, Bari, Marzo, 2017.

ROCCARO P., VERLICCHI P. (2018), *Editorial: Wastewater and reuse*, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Special Issue: Wastewater and reuse, Vol. 2, 61-63, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.008>

SALGOT M., FOLCH M. (2018), *Wastewater treatment and water reuse*, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Special Issue: Wastewater and reuse, Vol. 2, 64-74, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>

SGROI M., VASAGLINDI F.G.A., ROCCARO P. (2018), *Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse*, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Special Issue: Wastewater and reuse, Vol. 2, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.004>

VOULVOULIS N. (2018), *Water reuse from circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach*, Special Issue: Wastewater and reuse, Vol. 2, 32-45, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME), 2017. *World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. Paris, UNESCO, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247153>

# Uno schema di trattamento innovativo per il riutilizzo delle acque reflue in agricoltura.

## Innovative treatment scheme for municipal wastewater reuse in agriculture

Marco De Sanctis

E-mail: [marco.desanctis@ba.irs.cnr.it](mailto:marco.desanctis@ba.irs.cnr.it);

Silvia Chimienti

E-mail: [silvia.chimienti@ba.irs.cnr.it](mailto:silvia.chimienti@ba.irs.cnr.it);

Valerio Guido Altieri

E-mail: [valerioguido.altieri@ba.irs.cnr.it](mailto:valerioguido.altieri@ba.irs.cnr.it);

Claudio Di Iaconi

E-mail: [claudio.diaconi@ba.irs.cnr.it](mailto:claudio.diaconi@ba.irs.cnr.it)

Istituto di Ricerca sulle Acque- CNR

Parole chiave: Trattamento acque reflue, SBBGR, Riutilizzo acque reflue, Patogeni

Key words: Wastewater treatment, SBBGR, Wastewater reuse, Pathogens

### 1. INTRODUZIONE

L'incremento demografico e lo sviluppo economico sono alcune delle maggiori cause del crescente aumento del consumo di acqua. A partire dal 2010, circa 1,9 miliardi di persone (il 27% della popolazione mondiale) vive in aree con una grave carenza idrica (UNESCO 2018). Molti paesi stanno già affrontando il problema della scarsità d'acqua e in pochi decenni si prospetta un declino delle risorse idriche che peggiorerà le loro condizioni e creerà nuove aree a rischio. Tra queste aree rientra anche l'Italia, infatti il rapporto OCSE del 2013 (OECD, 2013) ha classificato il nostro paese a stress idrico medio-alto.

A livello mondiale, oltre il 70% dell'acqua disponibile è utilizzata per il settore agricolo; una situazione simile si ha anche a livello nazionale con circa il 50%. L'agricoltura resta, pertanto, il settore produttivo che fa maggiormente uso di acqua e quindi appare evidente che la possibilità del riutilizzo delle acque reflue in campo agricolo potrebbe preservare le risorse idriche e incrementare la loro disponibilità in altri settori. In particolare, nelle zone a carenza idrica, il riuso di acque reflue diventa una strategia vantaggiosa per la gestione delle produzioni agricole, svincolandole dall'andamento pluviometrico. In tali aree, la possibilità di utilizzare a scopo irriguo le acque reflue provenienti da insediamenti civili risulta essere piuttosto interessante, considerando che, in media, il volume di acqua sversato in fogna per ciascun abitante si aggira (in Italia) sui 200 litri al giorno (Rubino e Lonigro 2015). In caso di riutilizzo delle acque reflue trattate, particolare attenzione è riservata alla rimozione dei microrganismi patogeni, in modo da garantire la salvaguardia dell'ambiente e la tutela igienico-sanitaria della popolazione. In Italia, le normative di riferimento per il riutilizzo delle acque reflue in agricol-

tura sono il D.M. 185/2003 e il D.Lgs. 152/2006.

Le tecnologie convenzionali impiegate per la depurazione delle acque di scarico non sono in grado di garantire il raggiungimento dei limiti di qualità richiesti per il riutilizzo in agricoltura. L'effluente necessita, infatti, di essere ulteriormente affinato prima di poter essere utilizzato in agricoltura, aumentando di fatto la complessità dello schema di trattamento. Pertanto, al fine di favorire il riutilizzo delle acque reflue sono richiesti schemi di trattamento semplificati che garantiscano, allo stesso tempo, prestazioni molto spinte in modo da ridurre il rischio igienico-sanitario.

Il sistema Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor (SBBGR), sviluppato dall'Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), sembra soddisfare queste richieste. Questo sistema è in grado, infatti, di semplificare l'intera linea acque di un depuratore, sostituendosi al trattamento primario e secondario in un solo stadio, con eccellenti prestazioni nella rimozione dei principali inquinanti. Gli studi condotti sia su scala laboratorio che pilota hanno evidenziato altresì che il sistema SBBGR espleta anche un'ottima azione di disinfezione, producendo un effluente con una qualità superiore a quella dei sistemi convenzionali basati sul trattamento primario e secondario (De Sanctis *et al.*, 2016). L'effluente prodotto dal sistema SBBGR necessita comunque di un ulteriore affinamento per raggiungere i livelli di qualità stringenti imposti per il riutilizzo agricolo dalla normativa italiana.

Nel presente lavoro viene, pertanto, proposto uno schema di trattamento nel quale l'effluente del sistema SBBGR è affinato con uno stadio di filtrazione a sabbia seguito dalla disinfezione terziaria effettuata mediante UV o acido peracetico. La filtrazione a sabbia (FS)

rientra tra le tecniche di trattamento utilizzate per preparare l'effluente secondario al trattamento terziario. Essa è di facile gestione e a basso costo ed è ampiamente utilizzata per la rimozione spinta di solidi sospesi, assicurando tra l'altro 1-2 unità logaritmiche di rimozione di coliformi e virus (Elliot *et al.* 2008; Salgot and Folchn. 2018).

La combinazione del trattamento SBBGR con la FS porterebbe ad un effluente di elevata qualità che richiederebbe bassi dosaggi di disinfettante per raggiungere i livelli previsti dalla normativa nazionale. Nel presente lavoro, lo schema di trattamento proposto viene valutato prendendo in considerazione sia i parametri chimico-fisici che quelli microbiologici. In particolare, la valutazione della qualità microbiologica delle acque non è stata limitata ai soli due parametri previsti dalla normativa nazionale per il riuso (ossia *Escherichia coli* e *Salmonella*), ma si è spinta oltre considerando coliformi totali, *Escherichia coli* e *Salmonella* (rappresentativi dei batteri), spore di *Clostridium perfringens* (rappresentativo di batteri sporigeni), enterovirus, adenovirus e colifagi somatici (rappresentativi dei virus), *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum* (rappresentativi dei protozoi).

### 2. MATERIALI E METODI

L'impianto pilota utilizzato nel presente studio era costituito da un'unità SBBGR, avente un volume geometrico di circa 300 litri, seguita da un filtro a sabbia di circa 120 litri (si veda la Fig. 1). Infine, l'effluente del filtro a sabbia subiva una disinfezione finale.

Il sistema SBBGR è caratterizzato dalla completa separazione della biomassa dal refluo. La biomassa è confinata in un comparto dedicato denominato biofiltro, avente un volume di circa 120 litri e riempito con materiale di supporto plastico (caratteristiche: altezza 7 mm,

diametro 11 mm, area specifica di 650 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, densità 0,95 g/cm<sup>3</sup>, porosità del letto 0,7 e dimensione dei vuoti 50-80 mm<sup>3</sup>) impaccato tra due piastre forate. Il refluo è contenuto in un altro comparto (noto anche come aeratore), avente nell'impianto in esame un volume di circa 180 litri; tale comparto assolve anche alla funzione di aerazione. La fase liquida (refluo) viene continuamente fatta fluire attraverso il biofiltro, attivando così i processi di degradazione biologica. I due comparti (biofiltro e aeratore) sono collegati nella parte superiore per mezzo di un tubo di connessione. L'unità SBBGR è stata utilizzata in modalità sequenziale automatizzata, usando un PLC, basata su cicli di trattamento ciascuno della durata di 6 ore e comprendente tre fasi: riempimento, ricircolo e scarico. Durante la fase di riempimento della durata di 30 minuti, 60 L di refluo grezzo venivano pompate nell'aeratore. Nella fase di ricircolo, il refluo veniva costantemente aerato e ricircolato nel biofiltro. Infine, durante la fase di scarico (30 minuti), 60 L di effluente trattato venivano scaricati dall'aeratore (aprendo una valvola meccanizzata) nella parte superiore del filtro a sabbia. Il filtro a sabbia, avente un volume di circa 120 litri, era parzialmente riempito con sabbia di fiume e ghiaia come segue: 10 cm di ghiaia (forma irregolare; diametro: 5-15 mm), 40 cm di sabbia (diametro: 0,3-0,8 mm) e 5 cm di ghiaia nella parte superiore del filtro per promuovere la distribuzione uniforme delle acque reflue.

Sono state valutate due strategie alternative di disinfezione dell'effluente della filtrazione a sabbia, la prima basata



Figura 1. Impianto di trattamento SBBGR seguito da filtro a sabbia, 2017, modificata)

sulla radiazione UV e la seconda mediante aggiunta di acido peracetico (PAA).

La disinfezione UV è stata condotta con un fotoreattore ad anello con passaggio di flusso (volume: 0,5 litri) dotato di una lampada UV a bassa pressione (modello MTL844-G di Helios Italquartz srl Milano, Italia) con una fluenza di 40 mW/cm<sup>2</sup>. Considerando il tempo di contatto all'interno della lampada (pari a 1 s), la dose UV applicata è stata di 40 mJ/cm<sup>2</sup>. I test di disinfezione chimica sono stati effettuati aggiungendo un volume noto di soluzione di PAA commerciale (15 g di PAA/L e 10 g di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/L, OXIFIBRO Nuova Farmec, Italia) a un volume fisso di effluente. La soluzione è stata mantenuta sotto agitazione per 30 minuti prima di eseguire l'analisi microbica. Considerando l'aumento della concentrazione di COD dovuto alla presenza di residui del PAA, è stata testata la concentrazione di 1 mg/L di PAA. Vista la bassa concentrazione di PAA utilizzata, non è risultata necessaria l'aggiunta di sodio tiosolfato e catalasi bovina per la rimozione del PAA attivo e del perossido di idrogeno, come riportato in letteratura (Rossi *et al.*, 2007).

Le prestazioni riportate nel presente lavoro si riferiscono ad un periodo di monitoraggio di 8 mesi dopo un periodo di circa 4 anni in cui l'impianto SBBGR è stato alimentato con acque reflue urbane provenienti da insediamenti civili della città di Bari.

Per valutare le prestazioni dello schema di trattamento proposto, sono stati prelevati e analizzati campioni di influente ed effluente di ciascuno stadio dello schema di trattamento con una frequenza settimanale.

I parametri chimico-fisici monitorati hanno incluso il pH, conducibilità, SAR (rapporto di assorbimento di sodio), richiesta chimica di ossigeno (COD), richiesta biochimica di ossigeno (BOD<sub>5</sub>), solidi sospesi totali (SST), solidi sospesi volatili (SSV), ammoniaca (NH<sub>3</sub>), nitriti (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrati (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), azoto totale di Kjeldahl (TKN), azoto totale (TN) e fosforo totale (TP). Con l'eccezione di pH, conducibilità (misurata da sonde selettive) e TKN (ottenuto dalla differenza tra TN e azoto ossidato), gli altri parametri sono stati misurati seguendo le metodiche standard (APHA *et al.*, 2005).

L'efficacia dello schema di trattamento proposto è stata valutata anche in termini di rimozione di organismi microbici indicatori. *Escherichia coli*, coliformi totali, colifagi somatici, enterovirus, adenovirus, *C. parfringens*, *Sal-*

*monella*, *Cryptosporidium* e *Giardia* sono stati misurati nel refluo grezzo, dopo il trattamento biologico con SBBGR, dopo la filtrazione a sabbia e dopo la disinfezione terziaria. Le efficienze di rimozione sono state espresse in termini di unità logaritmiche rimosse (LUR), calcolate mediante la seguente equazione:  $LUR = \log_{c_a/c_b}$ , dove  $c_a$  e  $c_b$  sono le concentrazioni dell'indicatore microbico dopo e prima del trattamento specifico.

L'analisi dei coliformi totali e del *Escherichia coli* è stata effettuata seguendo il metodo IDEXX Colilert-18 e Quanti-Trays/2000 (IDEXX Laboratories, Inc., 2013). Questo metodo si basa sul principio di probabilità utilizzato nella procedura MPN (Most Probable Number) e utilizza differenti nutrienti con tecnologia a substrato definita per rilevare simultaneamente coliformi ed *Escherichia coli*. La determinazione degli enterovirus e dei adenovirus è stata effettuata con i metodi descritti rispettivamente in Masciopinto *et al.* (2011) e Wyn-Jones *et al.* (2011). I colifagi somatici sono stati determinati secondo il metodo ISO 10705-2 ed espressi in termini di unità formanti placche per unità di volume (UFP/100 mL). La *Salmonella* è stata analizzata secondo il metodo IRSA-APAT 7080-2003 il quale consente di determinare la presenza/assenza del batterio. Per rilevare la presenza di spore di *Clostridium perfringens* il metodo utilizzato è stato adattato da Bufton, 1959, e dai metodi italiani per l'individuazione di *C. perfringens* in acqua e acque reflue (IRSA-APAT 7060-2003) basato sull'uso di agar SPS (Solfito Polimixina Sulfadiazina Agar). I risultati sono stati espressi in termini di unità formanti colonie per unità di volume (UFC/100 mL). Il *Cryptosporidium parvum* e la *Giardia lamblia* sono stati rilevati con metodo EPA 1623 ed espressi in termini, rispettivamente, di oocisti/L e cisti/L,

### 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

La Fig. 2 mostra i valori di pH, conducibilità e SAR misurati nell'influente e nell'effluente del sistema SBBGR. Come si può osservare, il pH dell'effluente rientra nell'intervallo fissato dalla normativa italiana per il riutilizzo agricolo (ossia 6,5-8,5). L'Italia, come altri paesi europei, ha fissato valori limiti anche per la conducibilità e il SAR. Valori elevati di questi parametri possono avere effetti gravi sulla crescita delle piante e sulle proprietà del suolo (Rahimi *et al.* 2000). Come si può osservare, i valori di conducibilità e

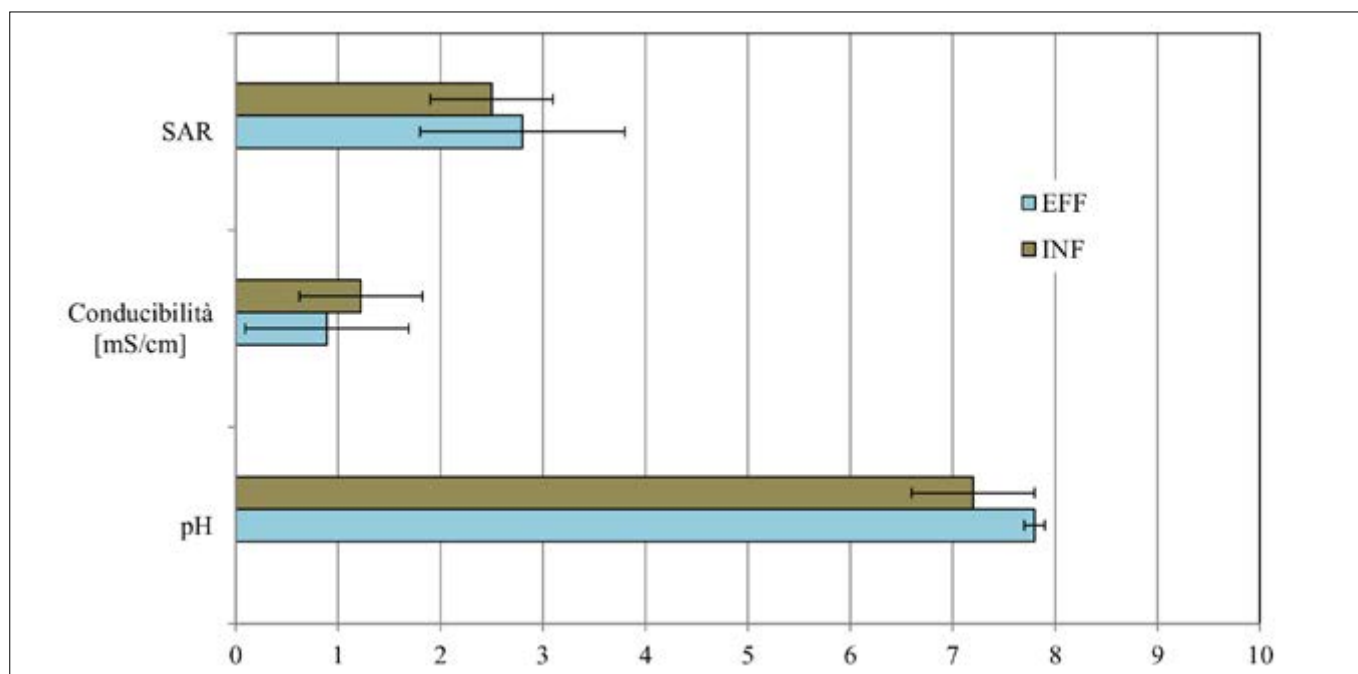


Figura 2. Valori di pH, conducibilità e SAR in influente e effluente SBBGR

SAR misurati nell'effluente (in media, rispettivamente, 0,88 mS/cm e 2,8) sono ampiamente più bassi dei limiti massimi consentiti dalla normativa nazionale (rispettivamente, 3 mS/cm e 10).

Per quanto riguarda gli altri parametri chimico-fisici, la Tab. 1 riporta le loro concentrazioni in ingresso ed uscita dal sistema SBBGR, insieme alle relative efficienze di rimozione.

Nel caso di riutilizzo agricolo delle acque reflue trattate, il COD, BOD<sub>5</sub> e SST acquisiscono una particolare rilevanza e un valore funzionale oltre che

qualitativo. Infatti, concentrazioni significative di solidi sospesi possono portare all'intasamento del sistema di irrigazione, specialmente in quelli di tipo a goccia. Allo stesso modo, l'elevata presenza di materiale organico biodegradabile può favorire la crescita microbica all'interno delle tubazioni con formazione di biofilm che gradualmente ostruisce i diffusori d'acqua. I risultati riportati in Tab. 1 evidenziano che non vi è alcun rischio di ostruzione se l'effluente del sistema SBBGR venisse usato per scopi irrighi. Infatti, le concentrazioni degli

SST e BOD<sub>5</sub>, registrate nell'effluente, sono state sempre prossime allo zero (con efficienze di rimozione maggiori del 99%), rispettando di gran lunga i limiti previsti dalla normativa italiana per il riuso (ossia, rispettivamente, 10 mg/L e 20 mg/L). Anche la concentrazione del COD nell'effluente è risultata essere di gran lunga inferiore ai 100 mg/L, imposti dalla normativa nazionale per il riuso in agricoltura.

Le elevate prestazioni degli SST, COD e BOD<sub>5</sub>, fornite dal sistema SBBGR, anche in condizioni di sovraccarico organico, sono da attribuire al particolare tipo di biomassa del sistema SBBGR, che consiste in una miscela di granuli e biofilm confinata in un mezzo di riempimento poroso, che è in grado di adattarsi alle variazioni di composizione del refluo in ingresso. In particolare, le elevate concentrazioni presenti nel comparto del biofiltro del sistema SBBGR agiscono da mezzo filtrante nei confronti del materiale in sospensione presente nel refluo, il quale viene poi successivamente degradato.

L'impianto SBBGR è risultato efficace anche per quanto riguarda la rimozione dell'azoto. La rimozione del TKN è stata maggiore del 95%, con valori di concentrazione di ammoniaca residua prossimi allo zero. Tale prestazione, ottenuta costantemente durante l'intero periodo di monitoraggio (si noti il basso valore di deviazione standard riportato in Tab. 1), è da attribuire alla presenza di un processo di nitrificazione stabile e completo. I dati di azoto totale registrati in ingresso ed uscita dal sistema SBBGR evidenziano, inoltre, l'esistenza

**Tabella 1. Concentrazione in ingresso ed uscita dal sistema SBBGR dei parametri chimico-fisici selezionati e loro efficienza di rimozione**

Parametro		Valore medio ± SD
COD	Influente [mg/L]	508 ± 226
	Effluente [mg/L]	40 ± 16
	Eff. rimozione [%]	92 ± 4
BOD <sub>5</sub>	Influente [mg/L]	285 ± 86
	Effluente [mg/L]	1 ± 2
	Eff. rimozione [%]	99 ± 1
SST	Influente [mg/L]	246 ± 115
	Effluente [mg/L]	4 ± 2
	Eff. rimozione [%]	98 ± 1
NH <sub>3</sub>	Influente [mgN/L]	53,8 ± 25,5
	Effluente [mgN/L]	0,1 ± 0,2
	Eff. rimozione [%]	99,8 ± 0,6
TKN	Influente [mg/L]	75,3 ± 26,8
	Effluente [mg/L]	3,8 ± 2,5
	Eff. Rimozione [%]	95,9 ± 2,6
TN	Influente [mg/L]	75,4 ± 26,7
	Effluente [mg/L]	14,2 ± 6,9
	Eff. Rimozione [%]	78,2 ± 14,2
P-tot	Influente [mg/L]	8,1 ± 4,3
	Effluente [mg/L]	3,7 ± 0,6
	Eff. Rimozione [%]	38,7 ± 32,1

anche di un processo di denitrificazione piuttosto esteso, sebbene il ciclo di depurazione eseguito dal sistema non includesse una fase anossica programmata. Ciò è da attribuire al particolare tipo ed elevata concentrazione di biomassa che, insieme alle condizioni di funzionamento dinamiche del sistema, genera zone aerobiche ed anossiche attigue, che favoriscono il processo di nitrificazione-denitrificazione simultanea (si ha la nitrificazione, nelle prime, e la denitrificazione, nelle seconde; De Sanctis *et al.*, 2010). Le concentrazioni di azoto totale registrate nell'effluente (in media, 14 mg/L) sono in linea con i limiti imposti in Italia per il riuso in agricoltura.

Per quanto riguarda il fosforo, è stata registrata una rimozione media di circa il 39%, con concentrazioni residue di poco inferiori ai 4 mg/L. Il limite fissato per questo parametro dal D.M. 185/03 è di 2 mg/L, anche se nel caso di riutilizzo irriguo, dove il fosforo è un prezioso fertilizzante, le autorità locali possono innalzare il limite fino a 10 mg/L.

Pertanto, sulla base dei risultati riportati in Fig. 2 e Tab. 1, è possibile affermare che, dal punto di vista dei parametri chimico-fisici considerati, l'effluente del sistema SBBGR risulta essere già idoneo per il riutilizzo agricolo.

L'efficacia dello schema di trattamento proposto è stata valutata anche dal punto di vista igienico sanitario mediante il monitoraggio dei parametri microbiologici, che hanno incluso i coliformi totali, *Escherichia coli*, *Salmonella*, spore di *Clostridium perfringens*, colifagi somatici, enterovirus e adenovirus, *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum*. I risultati ottenuti sono riportati in Tab. 2, in termini di concentrazione dei microrganismi considerati, misurate nel reflu grezzo, dopo il trat-

tamento con SBBGR, dopo la filtrazione a sabbia e dopo la disinfezione UV o PAA. Per ciascuno stadio di trattamento vengono riportate anche le efficienze di rimozione espresse in termini di unità logaritmiche rimosse (LUR).

Per quanto riguarda i coliformi totali e *Escherichia coli*, considerati per decenni come indicatori di contaminazione fecale delle acque, i dati mostrati in Tab. 2 evidenziano che il trattamento biologico mediante sistema SBBGR è in grado di assicurare una rimozione di diverse LUR. In particolare, esso è in grado di rimuovere 2, 5 LUR di coliformi totali. Questo risultato è di particolare interesse confrontato con le prestazioni fornite dagli impianti basati su tecnologie convenzionali riportate in letteratura. Infatti, Zhang *et al.* (2007) riportano una rimozione dei coliformi totali in media di soli 1, 9 LUR dopo il trattamento secondario. Tali dati mostrano chiaramente che il sistema SBBGR è in grado di offrire, in un unico stadio, una rimozione dei coliformi totali superiore a quella registrata nei sistemi convenzionali attraverso diverse fasi di trattamento. La filtrazione a sabbia migliora sensibilmente la rimozione di tali batteri, assicurando una rimozione fino a 3, 6 LUR.

Relativamente al parametro *Escherichia coli*, le prestazioni del sistema SBBGR sono state ancora più interessanti in quanto la rimozione media di tale batterio è stata di 3, 2 LUR, consentendo di produrre un effluente con una concentrazione residua inferiore a 1000 MPN/100 mL, valore suggerito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità per il riutilizzo delle acque reflue in agricoltura. È interessante, comunque, notare che diversi studi riportano concentrazioni di *Escherichia coli* negli effluenti secondari di impianti tradizionali comprese tra  $10^4$ - $10^5$  MPN/100mL

(De Luca *et al.*, 2013; Carducci *et al.*, 2008), ossia 10-100 volte superiori a quelle registrate nell'effluente del sistema SBBGR.

La qualità dell'effluente del sistema SBBGR è risultata essere ulteriormente migliorata dopo la fase di filtrazione a sabbia, la quale ha garantito una ulteriore unità di rimozione logaritmica. Tuttavia, tali prestazioni, sebbene interessanti, non hanno consentito il raggiungimento del limite molto stringente fissato dalla normativa nazionale per il parametro *Escherichia coli* (ossia 10 UFC/100 mL). Pertanto, è necessario ricorrere ad un ulteriore stadio di disinfezione, che comunque sarà sicuramente più blando di quello normalmente utilizzato per l'effluente degli impianti tradizionali, grazie alla migliore qualità dell'effluente del trattamento SBBGR+FS.

I risultati riportati in Tab. 2 confermano quanto appena riportato. Infatti, applicando una dose UV di 40 mJ/cm<sup>2</sup> all'effluente del filtro a sabbia, è stato possibile ridurre la concentrazione dei coliformi totali e del *Escherichia coli* fino a un valore medio, rispettivamente, di 56 MPN/100 mL e 5, 6 MPN/100 mL, raggiungendo quindi il limite imposto dalla normativa italiana (pari a 10 UFC/100 mL) per il parametro *Escherichia coli*. La disinfezione chimica con acido peracetico, ad un dosaggio di 1 solo mg per litro di effluente del filtro a sabbia, si è mostrata addirittura più efficace in quanto ha ridotto la concentrazione dei coliformi totali a 22 MPN/100 mL e rimosso completamente l'*Escherichia coli* (con una rimozione di circa 6 LUR; si veda la Tab. 2).

È doveroso sottolineare che normalmente per il trattamento convenzionale, i dosaggi di acido peracetico e UV sono molto più alti. Ad esempio, Gori e Caretti (2008), per raggiungere il limite

**Tabella 2. Concentrazione degli indicatori microbiologici misurati nel reflu, dopo il trattamento con SBBGR, dopo la filtrazione a sabbia (FS) e dopo la disinfezione con UV o PAA. Il dato di rimozione LUR riportato è cumulativo degli stadi di trattamento precedenti**

		Reflu	SBBGR	FS	UV	PAA
<i>Coliformi totali</i>	MPN/100mL	1, 2±3, 2·10 <sup>7</sup>	0, 8±2, 4·10 <sup>5</sup>	1, 2±2, 6·10 <sup>3</sup>	5, 6±6, 2·10	2, 2±4, 2·10
	LUR		2, 5±0, 8	3, 6±1.3	5, 0±0.9	5, 5±1.1
<i>Escherichia coli</i>	MPN/100mL	1, 0±2, 7·10 <sup>7</sup>	0, 9±2, 1·10 <sup>3</sup>	6±9, 1·10	5.6±5, 3	ND
	LUR		3, 2±1, 1	4, 2±1, 5	5, 2±0, 9	5, 9±0, 4
<i>Clostridium perfringens</i>	CFU/100mL	5, 2±5, 2·10 <sup>5</sup>	4, 9±6, 5·10 <sup>4</sup>	1, 8±2, 1·10 <sup>3</sup>	2, 4±3, 1·10 <sup>3</sup>	2, 2±3, 1·10 <sup>3</sup>
	LUR		1, 1±0, 4	2, 7±0, 8	2, 7±0, 8	2, 7±0, 8
<i>Colifagi somatici</i>	UFP/100mL	2, 8±3, 3·10 <sup>5</sup>	1, 5±1, 7·10 <sup>4</sup>	2, 9±4, 7·10 <sup>2</sup>	5, 7±5, 7	2, 1±1, 4·10
	LUR		1, 4±0, 3	3, 2±0, 4	4, 8±0, 8	4, 5±0, 3
<i>Cryptosporidium parvum</i>	oocisti/L	4, 7±4, 7·10	0, 6±0, 5	ND	ND	ND
	LUR		1, 8±0, 3	2, 2±0, 2	2, 2±0, 2	2, 2±0, 2
<i>Giardia lamblia</i>	cisti/L	1, 3±1, 6·10 <sup>3</sup>	2, 9±3, 6·10	0, 7±0, 7	ND	ND
	LUR		1, 5±0, 9	2, 9±0, 6	3, 1±0, 8	3, 1±0, 8

italiano per *Escherichia coli* in uno studio su due impianti municipali con schema di trattamento tradizionale (ossia, trattamento preliminare, primario, secondario e filtrazione a sabbia), hanno utilizzato 2-4 mg/L di PAA seguito da una dose di UV di 165-170 mJ/cm<sup>2</sup>. In un altro studio, Caretti e Lubello (2003) mostrano che è necessaria una disinfezione con 2 mg/L di PAA seguita da 192 mJ/cm<sup>2</sup> di UV per avere una rimozione di 6 unità logaritmiche di *Escherichia coli*.

Un altro parametro importante, preso in considerazione in caso di riutilizzo agricolo, è stato quello della *Salmonella*. La normativa italiana richiede la completa assenza di questo batterio, altamente patogeno per l'uomo, nell'acqua trattata da utilizzare per l'irrigazione. Per questo motivo è stato eseguito un approccio analitico di tipo presenza/assenza sui campioni di refluo e effluente. La *Salmonella* è stata rilevata solo in alcuni campioni di acque grezze (probabilmente perché le acque reflue provenivano da una piccola comunità) e in nessun campione di effluente del sistema SBBGR.

Grazie alla capacità di generare spore, il *C. perfringens* è estremamente resistente alle strategie di disinfezione biologica, chimica e fisica. La capacità di formare spore conferisce a tale batterio un'elevata resistenza ambientale, che risulta essere significativamente maggiore di quella dei patogeni enterici. La difficoltà nel rimuovere le spore di *C. perfringens* è confermata da Wen *et al.* (2009), i quali riportano una rimozione di circa 1 LUR. Tale risultato è confermato anche da Lucena *et al.* (2004) su diversi impianti di trattamento in Argentina, Spagna e Francia. I dati riportati in Tab. 2 mostrano che il sistema SBBGR è in grado di assicurare una rimozione di circa 1,1 LUR di *C. perfringens*, paragonabile, quindi, a quella dei sistemi tradizionali. È importante notare come l'efficienza di rimozione è più che raddoppiata dopo la filtrazione a sabbia. Infatti, è stata ottenuta una rimozione complessiva di 2,7 LUR, con un contenuto medio residuo di 1,8 · 10<sup>3</sup> CFU/100 mL. Il trattamento con UV e PAA non ha prodotto una riduzione significativa del numero di spore dell'effluente del filtro a sabbia. Ciò è da attribuire all'elevata resistenza di tale batterio sporigeno sia alla disinfezione chimica che fisica, nonché ai bassi dosaggi applicati (ossia 1 mg/L di PAA e 40 mJ/cm<sup>2</sup> di UV). Test effettuati con 20 mg/L di PAA hanno, infatti, evidenziato la rimozione completa del *C.*

*perfringens*. Tuttavia, una dose così alta non è proponibile in quanto porterebbe ad un aumento della concentrazione di COD nell'effluente (a causa dei residui di acido acetico) che non è compatibile con il riutilizzo delle acque reflue.

La normativa italiana non fornisce indicazioni riguardo la ricerca di virus come indice di contaminazione, sebbene essi rappresentino un potenziale pericolo per la salute in caso di riuso. I virus sono molto stabili nell'ambiente e resistenti ai trattamenti di disinfezione eseguiti negli impianti di trattamento delle acque reflue (Rodríguez-Lazaro *et al.*, 2012). Nel presente studio è stata investigata la presenza dei colifagi somatici, adenovirus e enterovirus. Gli adenovirus e gli enterovirus sono stati scelti in quanto patogeni per l'uomo, mentre i colifagi somatici sono stati scelti in quanto, sebbene siano virus patogeni per i batteri ma non per l'uomo, sono diffusi nelle acque reflue urbane e considerati un indicatore adeguato per monitorare il destino dei virus nei processi di trattamento. La Tab. 2 evidenzia che i colifagi somatici erano molto abbondanti nelle acque reflue utilizzate nel presente studio, confermando quindi quanto sopra riportato. Il sistema SBBGR è stato in grado di rimuovere in media 1,4 LUR, in linea con quanto riportato per gli impianti tradizionali. Infatti, Ottoson *et al.* (2005) hanno ottenuto rimozioni di colifagi somatici di circa 1 LUR in diversi impianti svedesi basati sul trattamento secondario. Valori simili (1,1 LUR) sono stati riportati anche da Lodder e de Roda Husman (2005) (EPA 2015) mentre Lucena *et al.* (2004) hanno invece trovato rimozioni leggermente maggiori (ossia 1,5 LUR) in quattro impianti convenzionali situati in Argentina, Colombia, Francia e Spagna. La filtrazione a sabbia dell'effluente del sistema SBBGR si è mostrata molto efficace portando la rimozione complessiva a 3,2 LUR, confermandosi, ancora una volta, un trattamento di affinamento semplice ed economico. La disinfezione, sia con UV che con PAA, ha migliorato sensibilmente la qualità dell'effluente finale, assicurando una rimozione complessiva superiore ai 4,5 LUR. La disinfezione con UV si è mostrata più efficace di quella con PAA, fornendo una rimozione complessiva di 4,9 LUR e riducendo a poche unità la concentrazione residua di colifagi somatici (si veda la Tab. 2). La diversa efficacia delle due strategie di disinfezione è in linea con quanto riportato in letteratura. Infatti, Gehr *et al.* (2003) hanno riportato che

per ottenere una rimozione di 1 LUR di colifagi somatici era necessaria una dose UV di 20 mJ/cm<sup>2</sup> (la rimozione aumentava linearmente con la dose UV). Diversamente, la stessa rimozione del virus veniva ottenuta utilizzando dosi di PAA nell'intervallo 1,5-4,5 mg/L.

A differenza di quanto riportato per i colifagi somatici, gli enterovirus ed adenovirus sono stati rilevati solo in pochissimi campioni di acque reflue grezze, in accordo con quanto riportato in diversi studi (Sedmak *et al.*, 2005; Ottoson *et al.*, 2006; Jebri *et al.*, 2012). Comunque, nei casi di positività dei campioni agli enterovirus ed adenovirus, il sistema SBBGR e la filtrazione a sabbia hanno dimostrato di essere in grado di rimuovere 2-3 LUR. Tale rimozione è simile a quella dei colifagi somatici, confermando quindi la scelta di questi ultimi come virus "modello".

Per quanto riguarda il *Cryptosporidium parvum* e la *Giardia lamblia*, scelti come indicatori dei protozoi patogeni, il sistema SBBGR è stato in grado di garantire una rimozione rispettivamente di 1,8 e 1,5 LUR (si veda la Tab. 2). La filtrazione a sabbia ha rimosso completamente il *Cryptosporidium parvum* e quasi completamente la *Giardia lamblia* (nell'effluente sono state rilevate concentrazioni inferiori a 2 cisti/L) raggiungendo una rimozione complessiva, rispettivamente, di 2,2 e 2,9 LUR. Dopo lo stadio di disinfezione (sia con UV che PAA) i due protozoi non sono mai stati più rilevati. Tali risultati assumono un'importanza ancora maggiore se confrontati con quelli riportati in letteratura. Castro-Hermida *et al.* (2008) hanno condotto uno studio su dodici impianti di trattamento municipali spagnoli per indagare la capacità di rimozione del *Cryptosporidium* e *Giardia*. Otto impianti includevano trattamenti primari e secondari (basati su sistemi a fanghi attivi), tre includevano anche un trattamento terziario mediante radiazione UV e uno era basato sulla filtrazione. Gli autori hanno osservato che tutti gli schemi di trattamento erano piuttosto inefficaci nei confronti di entrambi i protozoi, con rimozioni inferiori ad 1 LUR. Uno studio condotto su quattro impianti municipali italiani riporta invece rimozioni della *Giardia* comprese nell'intervallo 1-2 LUR, e che la massima efficienza di rimozione viene ottenuta solo dopo uno stadio di filtrazione e disinfezione chimica dell'effluente secondario (Cacciò *et al.*, 2003).

Le migliori prestazioni del sistema SBBGR nel rimuovere i protozoi, ri-

spetto ai sistemi tradizionali, sono da attribuire alla capacità della biomassa di trattenere cisti e oocisti, e successivamente di degradarle. Ciò non è possibile negli impianti a fanghi attivi in quanto le cisti e le oocisti non riescono a sedimentare efficacemente e rimangono quindi nell'effluente.

#### 4. CONCLUSIONI

Il presente studio ha dimostrato che lo schema di trattamento proposto, basato su un trattamento biologico avanzato, seguito da uno stadio di filtrazione a sabbia e da una disinfezione finale, ottenuta con UV o acido peracetico, è in grado di assicurare una qualità dell'effluente che rispetti i limiti per il riutilizzo in agricoltura (DM 185/2003).

Il trattamento biologico, eseguito con il sistema SBBGR, oltre a garantire un effluente già idoneo al riutilizzo dal punto di vista dei parametri chimico-fisici, si è dimostrato anche un ottimo sistema di disinfezione, consentendo di semplificare lo schema di affinamento e di ridurre il dosaggio dell'agente disinfettante. Infatti, i limiti molto stringenti fissati dalla normativa italiana per il parametro microbiologico di riferimento (ossia *Escherichia coli*) sono stati raggiunti utilizzando un dosaggio UV di 40 mJ/cm<sup>2</sup> oppure 1 mg/L di acido peracetico. Il sistema SBBGR si è dimostrato molto efficace anche nel rimuovere gli altri indicatori microbiologici, quali *C. perfringens*, colifagi somatici, *Cryptosporidium parvum* e la *Giardia lamblia*.

#### BIBLIOGRAFIA

- APAT (2003), *Metodi analitici per le acque*. Rapporti 29/2003.
- APHA, AWWA, WEF (2005), *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- CACCIÒ S.M., DE GIACOMO M., AULICINO F.A., POZIO E. (2003), *Giardia cysts in wastewater treatment plant in Italy*. Applied and Environmental Microbiology 69, 3393-3398.
- CARDUCCI A., MORICI P., PIZZI F., BATTISTINI R., ROVINI E., VERANI M. (2008), *Study of the viral removal efficiency in an urban wastewater treatment plant*. Water Science and Technology 58 (4), 893-897.
- CARETTI C., LUBELLO C. (2003), *Wastewater disinfection with PAA and UV combined treatment: a pilot plant study*. Water Research 37, 2365-2371.
- CASTRO-HERMIDA, J.A., GARCÍA-PRESEDO, I., GONZÁLEZ-WARLETA, M., MEZO, M. (2010), *Cryptosporidium and Giardia detection in water bodies of Galicia, Spain*. Water Research 44, 5887-5896.
- DE LUCA G., SACCHETTI R., LEONI E., ZANETTI F. (2013), *Removal of indicator bacteriophages from municipal wastewater by a full-scale membrane bioreactor and a conventional activated sludge process: implications to water reuse*. Bioresource Technology 129, 526-531.
- DE SANCTIS M., DI IACONI C., LOPEZ A., ROSSETTI S. (2010), *Granular biomass structure and population dynamics in sequencing batch biofilter granular reactors (SBBGR)*. Bioresource Technology 101, 2152-2158.
- DE SANCTIS, M., DEL MORO, G., LEVANTESI, C., LUPRANO, M.L., DI IACONI, C. (2016), *Integration of an innovative biological treatment with physical or chemical disinfection for wastewater reuse*. Science of the Total Environment 543, 206-213.
- ELLIOTT, M.A., STAUBER, C.E., KOKSAL, F., DI GIANO, F.A., SOBSEY, M.D. (2008), *Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter*. Water Research 42, 2662-2670.
- EPA 2005, Method 1623: *Cryptosporidium and Giardia in Water by Filtration/IMS/FA*.
- EPA 2015, *Review of coliphages as possible indicators of fecal contamination for ambient water quality*. 820-R-15-098 EPA Office of Water, Office of Science and Technology Health and Ecological Criteria Division April 17, 2015
- GEHR R., WAGNER M., VEERASUBRAMANIANA P., PAYMENT P. (2003), *Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater*. Water Research 37, 4573-4586.
- GORI R., CARETTI C. (2008), *Experimental study on municipal and industrial reclaimed wastewater refinement for agricultural reuse*. Water Science and Technology 58 (1), 217-223.
- IDEXX Laboratories, Inc., 2013. Colilert<sup>®</sup>-18 Test Kit Procedure. Westbrook, ME. Retrieved from: <https://www.idexx.com/resource-library/water/colilert-18-procedure-en.pdf>
- ISO 10705-2:2000. Water quality — detection and enumeration of bacteriophages — part 2: enumeration of somatic coliphages.
- JEBRI S., JOFRE J., BARKALLAH I., SAIDI M., HMAIED F. (2012), *Presence and fate of coliphages and enteric viruses in three wastewater treatment plants effluents and activated sludge from Tunisia*. Environmental Science and Pollution Research 19, 2195-2201.
- LODDER, W.J., DE RODA HUSMAN, A.M. (2005), *Presence of noroviruses and other enteric viruses in sewage and surface waters in The Netherlands*. Applied and Environmental Microbiology, 71(3): 1453-1461.
- LUCENA F., DURAN A.E., MORÒN A., CALDERÓN E., CAMPOS C., GANTZER C., SKRABER S., JOFRE J. (2004), *Reduction of bacterial indicators and bacteriophages infecting faecal bacteria in primary and secondary wastewater treatments*. Journal of Applied Microbiology 97, 1069-1076.
- MASCIOPINTO C., LA MANTIA R., LEVANTESI C., TANDOI V., DIVIZIA M., DONIA D., GABRIELI R., PETRINCA A.R. (2011), *Analytical solution for the modelling of the natural time-dependent reduction of waterborne viruses injected into fractured aquifers*. Environmental Science and Technology 45, 636-642.
- OECD (2013), *Rapporti dell'OCSE sulle performance ambientali: Italia 2013, Rapporto sulle performance ambientali*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264188754-it>.
- OTTOSON, J. (2005), *Comparative analysis of pathogen occurrence in wastewater: management strategies for barrier function and microbial control*. Karlstad University. Dissertation under the direction of Bengt Hultman.
- OTTOSON J., HANSEN A., BJORLENIUS B., NORDER H., STENSTROM T.A. (2006), *Removal of viruses, parasitic protozoa and microbial indicators in conventional and membrane processes in a wastewater pilot plant*. Water Research 40, 1449-1457.
- RODRIGUEZ-LAZARO D., COOK N., RUGGERI F.M., SELLWOOD J., NASSER A., SAO JOSE NASCIMENTO M., D'AGOSTINO M., SANTOS R., SAIZ J.C., RZEUZKA A., BOSCH A., GIRONE R., CARDUCCI A., MUSCILLO M., KOVAC K., DIEZ-VALCARCE M., VANTARAKIS A., VON BONSDORFF C.H., DE RODA HUSMAN A.M., HERNANDEZ M. & VAN DER POEL W.H.M. (2012), *Virus hazards from food, water and other contaminated environments*. FEMS Microbiology Reviews 36 (4), 786-814.
- ROSSI, S., ANTONELLI, M., MEZZANOTTE, V., NURIZZO, C. (2007), *Peracetic acid disinfection: a feasible alternative to wastewater chlorination*. Water Environment Research 79 (4), 341-350.
- RUBINO P., LONIGRO A. (2015), *Linee guida per il riuso irriguo delle acque reflue depurate*. Edizioni di Pagina.
- SALGOT M., FOLCH M. (2018), *Wastewater treatment and water reuse*. Current opinion in Environmental Science & Health 2, 64-74.
- SEDMAK, G., BINA, D., MACDONALD, J., COUILLARD, L. (2005), *Nine-year study of the occurrence of culturable viruses in source water for two drinking water treatment plants and the influent and effluent of a wastewater treatment plant in Milwaukee, Wisconsin (August 1994 through July 2003)*. Applied and Environmental Microbiology 1042-1050
- WEN, Q., TUTUKA, C., KEEGAN, A., JIN, B. (2009), *Fate of pathogenic microorganisms and indicators in secondary activated sludge wastewater treatment plants*. Journal of Environmental Management 90, 1442-1447.
- WYN-JONES A.P., CARDUCCI A., COOK N., D'AGOSTINO M., DIVIZIA M., FLEISCHER J., GANTZER C., GAWLER A., GIRONES R., HÖLLER C., DE RODA HUSMAN A.M., KAY D., KOZYRA I., LÓPEZ-PILA J., MUSCILLO M. NASCIMENTO M.S., PAPPAGEORGIOU G., RUTJES S., SELLWOOD J., SZEWCZYK R., WYER M. (2011), *Surveillance of adenoviruses and noroviruses in European recreational waters*. Water Research 45, 1025-1038.
- ZHANG K., FARAHBAKHSH K. (2007), *Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: Implications to water reuse*. Water Research 41, 2816-2824.







# APPENDICE

SIGRETA

# LA GESTIONE DELLE ACQUE DEPURATE PER LA TUTELA AMBIENTALE DEL SISTEMA COSTIERO

FASANO (BR), MARTEDÌ 5 GIUGNO 2018  
CONVEGNO E VISITA TECNICA ALL'IMPIANTO LAGO FORCATELLA

## CONVEGNO PRESSO IL LABORATORIO URBANO, CORSO V. EMANUELE 76 - FASANO (BR)

08.30 **Registrazione partecipanti**

09.30 **Saluti**

Francesco Zaccaria (*Sindaco di Fasano*), Raffaele Lopez (*Presidente Sigea Sezione Puglia*), Salvatore Valletta (*Presidente Ordine dei Geologi della Puglia*), Agostino Caponocce (*Presidente Ordine degli Ingegneri della Provincia di Brindisi*), Filippo Sturdà (*Presidente Ordine dei Chimici delle Province di Lecce e Brindisi*), Vito Bruno (*Direttore Generale Arpa Puglia*), Anna Maria Curcuruto (*Consigliera del Presidente Regione Puglia*)

Modera: Maria Dolores Fidelibus (*DICATECh - Politecnico di Bari*)

10.00 **Il quadro di riferimento normativo sulla depurazione delle acque.** Umberto Fratino (*DICATECh - Politecnico di Bari*)

10.20 **Il Piano di Tutela per la qualità delle acque in Puglia.** Andrea Zotti (*Regione Puglia*)

10.40 **La Depurazione in Puglia.** Francesca Portincasa (*Acquedotto Pugliese*)

11.00 **Monitoraggi dei corpi idrici marino-costieri e delle acque di balneazione: qualità e criticità.** Nicola Ungaro (*ARPA Puglia*)

11.20 **Cause ed effetti di malfunzionamento di reti di raccolta, trattamento e monitoraggio delle acque reflue nelle regioni del Sud Italia.** Raffaele Pica (*ENEA Centro Ricerche di Bologna*)

11.40 **Tutela delle acque marino-costiere della Regione Puglia: il contributo di Acquedotto Pugliese nella progettazione e gestione integrata degli impianti depurativi.** Alfredo De Giovanni, Giovanni Discipio (*Acquedotto Pugliese*)

12.00 **Tecnologie non convenzionali per la gestione delle acque reflue urbane.** Sabino De Gisi (*DICATECh - Politecnico di Bari*)

12.20 **Acque reflue e agricoltura sostenibile.** Marcello Mastroianni (*Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente - Sede di Bari*)

12.40 **Le acque sotterranee in Puglia, la ricarica degli acquiferi costieri per contenere l'intrusione salina.** Maurizio Polemio (*CNR - IRPI Bari*)

13.00 **La depurazione avanzata di acque reflue urbane per il recupero integrale delle risorse e la valorizzazione ambientale nell'economia circolare. Il lago Forcatella di Fasano.** Aida Ancona, Sergio Mancini, Teresa Masi, Oronzo Santoro (*AquaSoil srl*)

13.20 **Dibattito**

13.40 **Chiusura lavori.** Fabiano Amati (*Presidente Commissione Bilancio - Finanze - Programmazione Regione Puglia*)

14.00 **Fine lavori**

## VISITA GUIDATA ALL'IMPIANTO DI AFFINAMENTO E AL LAGO FORCATELLA DI FASANO (BR)

16.00 **Ripresa lavori**

**Apertura dei lavori.** Antonio Di Fazio (*Presidente Commissione Risorse idriche - Ordine dei Geologi della Puglia*)

**L'economia circolare: uso e riuso dell'acqua.** Antonio Paglionico (*Sigea*)

**Riutilizzo di acque reflue con sistemi innovativi.** Claudio Di Iaconi (*CNR - IRSA Bari*)

**Il recupero delle acque reflue in agricoltura e la sperimentazione per il riuso potabile.** Oronzo Santoro (*AquaSoil srl*)

18.30 **Fine lavori**

Segretaria organizzativa: **Antonello Fiore** (Sigea) - [www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it)

**Richiesti crediti CFP per Geologi, Ingegneri e Chimici**

con il patrocinio



*Un momento del convegno presso Il laboratorio urbano, Fasano (BR)*



*Maria Dolores Fidelibus*



*Raffaele Lopez*



*Salvatore Valletta*



*Un momento del convegno presso Il laboratorio urbano, Fasano (BR)*



*Antonello Fiore & Anna Maria Curcuruto*



*Anna Maria Curcuruto*



*Umberto Fratino*



*Andrea Zotti*



*Un momento del convegno presso Il laboratorio urbano, Fasano (BR)*



*Francesca Portaincasa*



*Raffaele Pica*



*Alfredo De Giovanni*



*Nicola Ungaro*



*Giovanni Discipio*



*Sabino De Gisi*



*Marcello Mastrorilli*



*Maurizio Polemio*



*Un momento del convegno presso Il laboratorio urbano, Fasano (BR)*



*Fabiano Amati*



*Antonio Di Fazio*



*Un momento della visita guidata all'impianto di affinamento e al lago Forcatella di Fasano (BR)*



*Oronzo Santoro*





*Un momento della visita guidata all'impianto di affinamento e al lago Forcatella di Fasano (BR)*



*Michele Falcone & Michele Papavero*



*Alcune immagini dell'impianto di affinamento e del lago Forcatella di Fasano (BR)*

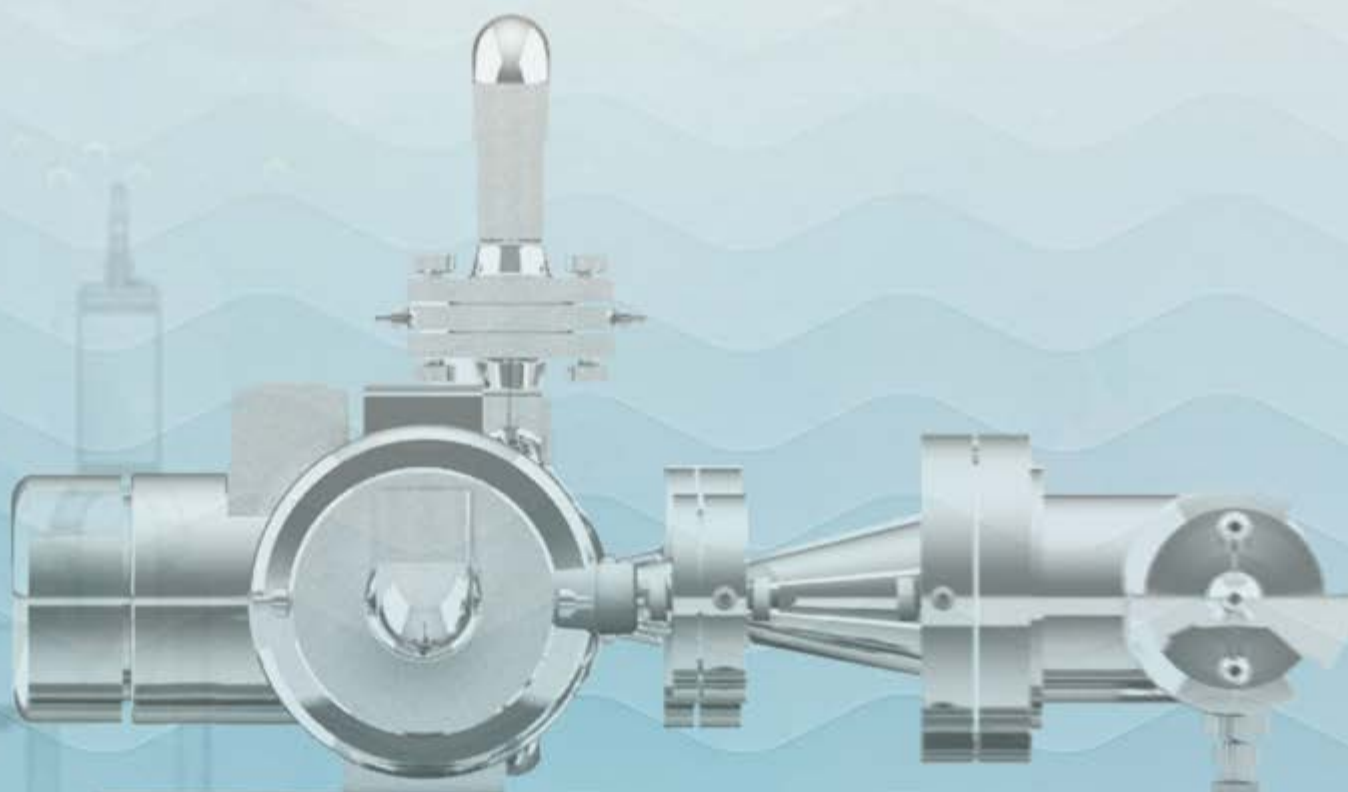


Aqua-soil

MITO<sub>3</sub>X®

## METHOD AND SYSTEM FOR TREATING A CONTAMINATED FLUID

Tecnologie innovative e impianti  
per il trattamento di acque reflue e fanghi



[www.aquasoil.it](http://www.aquasoil.it)

---

La SIGEA si occupa dello studio e della diffusione della geologia ambientale, materia che può essere definita come “applicazione delle informazioni geologiche alla soluzione dei problemi ambientali”.

**È un’associazione culturale senza fini di lucro, riconosciuta dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare come “associazione di protezione ambientale a carattere nazionale” con decreto 24 maggio 2007 (G.U. n. 127 del 4/6/2007).** Ha sottoscritto un protocollo d’intesa con l’Arma dei Carabinieri, il 20/12/2017, per la collaborazione a svolgere attività di monitoraggio al fine di segnalare criticità in materia di dissesto idrogeologico e di impatto ambientale.

Agisce per la promozione del ruolo delle Scienze della Terra nella protezione della salute e nella sicurezza dell’uomo, nella salvaguardia della qualità dell’ambiente naturale e antropizzato e nell’utilizzazione più responsabile del territorio e delle sue risorse. È aperta a tutte le persone e gli Enti (persone giuridiche) che hanno interesse alla migliore conoscenza e tutela dell’ambiente.

---

## La SIGEA

- **Favorisce** il progresso, la valorizzazione e la diffusione della geologia ambientale con l’organizzazione di eventi in ambito nazionale e locale mediante corsi, convegni, escursioni di studio, interventi sui mezzi di comunicazione.
  - **Promuove** il coordinamento e la collaborazione interdisciplinare nelle attività conoscitive e applicative rivolte alla conoscenza e tutela ambientale; per questo scopo ha costituito le **Aree tematiche** “Patrimonio geologico”, “Dissesto idrogeologico”, “Geoarcheologia”, “Educazione ambientale”, “Caratterizzazione e bonifica dei siti inquinati”, “Protezione civile”, “Aree protette”.
  - **Opera** sull’intero territorio nazionale nei settori dell’educazione e divulgazione scientifica, della formazione professionale, della ricerca applicata, della protezione civile, occupandosi di varie tematiche ambientali, quali previsione, prevenzione e riduzione dei rischi geologici, bonifica siti contaminati, studi d’impatto ambientale, tutela delle risorse geologiche e del patrimonio geologico, geologia urbana, pianificazione territoriale, pianificazione del paesaggio, geoarcheologia, e in altri settori. Opera in ambito locale con i gruppi e le Sezioni regionali.
  - **Informa** attraverso il periodico trimestrale “Geologia dell’Ambiente”, che approfondisce e diffonde argomenti di carattere tecnico-scientifico su tematiche geoambientali di rilevanza nazionale e internazionale. La rivista è distribuita ai soci e a Enti pubblici e privati. L’informazione e la comunicazione avviene anche attraverso il sito web, la newsletter e la pagina facebook.
  - **Interviene** sui mezzi di comunicazione attraverso propri comunicati stampa affrontando problemi attuali che coinvolgono le componenti ambientali.
  - **Collabora con gli Ordini professionali, con il mondo universitario e con altre Associazioni** sulle tematiche riguardanti l’educazione, l’informazione e la formazione. In particolare coopera con CATAP (Coordinamento delle associazioni tecnico-scientifiche per l’ambiente e il paesaggio) cui SIGEA aderisce, Associazione Idrotecnica Italiana, Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali, Italia Nostra, Legambiente, WWF, ProGEO (International Association for Geological Heritage), Alta Scuola, Società Geografica Italiana, Società Geologica Italiana, Accademia Kronos, ecc.
  - **Collabora anche a livello internazionale**, in particolare con ProGEO, con la quale ha organizzato nel maggio del 1996 a Roma il 2° Symposium internazionale sui geositi e nel settembre 2012 a Bari il 7° Symposium sullo stesso argomento. Inoltre è attiva per svolgere studi, ricerche, censimenti e valorizzazione del patrimonio geologico.
- 

## I soci SIGEA

- Ricevono la rivista trimestrale “Geologia dell’Ambiente” in formato cartaceo o digitale e altre eventuali pubblicazioni dell’Associazione.
- Ricevono mediante newsletter informazioni sulle attività della SIGEA e di altre Associazioni.
- Ricevono gratuitamente, a seconda della disponibilità e in formato .pdf, numeri arretrati della rivista e gli atti di convegni organizzati dalla SIGEA. L’elenco dei numeri della rivista e dei suoi supplementi con i relativi articoli si trovano nel sito web.
- Partecipano ai convegni, ai corsi e altre iniziative a pagamento organizzati dall’Associazione, con lo sconto applicato ai soci.
- Disponibilità per candidature, in rappresentanza di Sigea, in Comitati e Commissioni di studio presso Enti pubblici nazionali e locali.
- Disporre di condizioni vantaggiose per l’acquisto dei volumi della “Collana SIGEA di Geologia Ambientale” (sconto del 30% sul prezzo di copertina) dell’Editore Dario Flaccovio di Palermo.

Volumi pubblicati: 1. *Difesa del territorio e ingegneria naturalistica*; 2. *Ambiente urbano. Introduzione all’ecologia urbana*; 3. *Le cave. Recupero e pianificazione ambientale*; 4. *Geotermia. Nuove frontiere delle energie rinnovabili*; 5. *Geologia e geotecnica stradale. I materiali e la loro caratterizzazione*; 6. *Contratti di fiume. Pianificazione strategica e partecipata dei bacini idrografici*; 7. *Le unità di paesaggio. Analisi geomorfologica per la pianificazione territoriale e urbanistica*; 8. *Difesa delle coste e ingegneria naturalistica. Manuale di ripristino degli habitat lagunari, dunari, litoranei e marini*; 9. *Il paesaggio nella pianificazione territoriale. Ricerche, esperienze e linee guida per il controllo delle trasformazioni*; 10. *Il dissesto idrogeologico. Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio*; 11. *Calamità naturali e coperture assicurative*.

---