

La gestione sostenibile delle risorse idriche: una sfida per il futuro

Il CNR-IRSA di Bari sviluppa soluzioni scientifiche e tecnologie avanzate per una gestione sostenibile dell'acqua, per il trattamento dei reflui e il recupero di risorse.

Gestione sostenibile risorse idriche • Riuso e valorizzazione di risorse
Trattamento acque reflue

L'Istituto

Ogni mattina quando apriamo il rubinetto, diamo per scontato che l'acqua scorra senza problemi. Ma chi ci dà questa certezza? Come possiamo garantire la disponibilità d'acqua in quantità e qualità adeguate? E com'è possibile gestire in modo sostenibile le pressioni sui corpi idrici, derivanti dai crescenti consumi, e allo stesso tempo armonizzare le esigenze dei diversi utilizzatori adottando tecnologie e metodologie innovative? Sono domande cruciali che negli anni assumono forme sempre nuove e complesse. Da oltre cinquant'anni, l'Istituto di Ricerca Sulle Acque (IRSA) del CNR lavora per dare risposte concrete, sviluppando conoscenze scientifiche e soluzioni pratiche per la tutela e la gestione sostenibile di una risorsa tanto fondamentale quanto fragile.

Fondata nel 1968 con il nome Reparto di Chimica e Tecnologia delle Acque, la sede di Bari dell'IRSA è un centro di eccellenza per lo studio e la gestione sostenibile delle risorse idriche. La struttura, che si estende su una superficie di 20000 m², di cui 4000 dedicati a laboratori, uffici e impianti pilota, ospita strumentazioni all'avanguardia e infrastrutture altamente specializzate. Le attività spaziano dalla gestione sostenibile delle risorse idriche al trattamento delle acque reflue, fino al recupero

**Istituto di Ricerca
Sulle Acque**
Dipartimento di Scienze
del Sistema Terra e Tecnologie
per l'Ambiente

di energia e materie prime da rifiuti e biomasse. L'obiettivo è sviluppare soluzioni che seguano i principi dell'economia circolare: un modello che si ispira ai meccanismi naturali per preservare le risorse, prima che si esauriscano, e per ridurre al minimo la produzione di rifiuti. Grazie a una lunga esperienza e a un forte radicamento nel territorio, il CNR-IRSA di Bari contribuisce concretamente allo sviluppo di tecnologie sostenibili e metodologie transdisciplinari per la tutela dell'ambiente e delle risorse naturali, mettendo a disposizione della società una squadra di circa 45 unità tra ricercatori, tecnologi, tecnici, amministrativi e collaboratori.

Gestione sostenibile delle risorse idriche

La gestione sostenibile delle risorse idriche è fondamentale per la salute delle persone e degli ecosistemi naturali. In un contesto globale segnato da pressioni antropiche ed eventi climatici estremi, è necessario adottare approcci integrati e scientificamente fondati per garantire acqua pulita e disponibile a lungo termine, tutelando al contempo l'ambiente. Il CNR-IRSA è da anni in prima linea nello sviluppo di metodologie e strumenti innovativi per

promuovere un uso sostenibile dell'acqua e una corretta gestione delle risorse naturali, studiando sia i corpi idrici superficiali sia le acque sotterranee, con l'obiettivo di tutelare l'intero ciclo idrico.

I corsi d'acqua nell'area del Mediterraneo spesso presentano regimi idrologici intermittenti, fasi di flusso continuo, di pozze isolate e di secca. Questa variabilità è naturale e fondamentale per la biodiversità, ma è oggi minacciata da eventi climatici estremi che rompono l'equilibrio tra le fasi fluviali minacciando la sopravvivenza di molte specie. Tali ambienti forniscono servizi ecosistemici preziosi: sequestro di CO₂, depurazione naturale delle acque, regolazione del clima locale e supporto alla biodiversità. Proteggerli significa rafforzare la capacità del territorio di adattarsi ai cambiamenti.

Per capire meglio come proteggere questi ambienti, i ricercatori di Bari hanno sviluppato e applicato modelli matematici e simulazioni non solo per le acque fluviali, ma per l'intero ciclo idrico con l'obiettivo di analizzare l'impatto di attività umane – come l'agricoltura intensiva o gli scarichi urbani e industriali – e dei cambiamenti climatici. Questi strumenti, accompagnati dal monitoraggio

degli habitat lungo i corsi d'acqua pugliesi, consentono di individuare le fonti di inquinamento, monitorare il destino e il comportamento di nutrienti e contaminanti emergenti – come pesticidi, farmaci e microinquinanti organici – e valutare i rischi per l'ambiente e la salute. Le

simulazioni permettono anche di pianificare interventi efficaci per migliorare la situazione e garantire risorse sicure nel tempo.

Le acque sotterranee sono una risorsa strategica, costituendo oltre il 98% di tutte le acque dolci disponibili sulla Terra, esclusi ghiacciai e calotte glaciali. Tuttavia, sono esposte a pressioni crescenti, come sovrasfruttamento e cambiamento climatico, che producono significativi impatti in termini di salinizzazione (soprattutto nelle zone costiere), di riduzione della disponibilità e di crescente inquinamento. La salvaguardia e il recupero di questa risorsa richiedo-



Alternanza delle diverse fasi idrologiche.

no monitoraggi diffusi e studi approfonditi. A questo scopo, il CNR-IRSA svolge attività di progettazione e ottimizzazione di reti di monitoraggio e conduce studi di caratterizzazione dello stato quali-quantitativo dei corpi idrici sotterranei. In particolare, vengono anche condotti studi sulla determinazione dei Valori di Fondo Naturale, ossia delle concentrazioni di sostanze (minerali o nutrienti) presenti naturalmente nell'acqua in condizioni non influenzate da attività antropiche o derivanti esclusivamente da processi naturali.

Dal punto di vista operativo, vengono sviluppati strumenti digitali che stimano il bilancio idrico e gli effetti del cambiamento climatico. Monitorare e modellizzare, anche attraverso simulazioni numeriche, livelli delle acque sotterranee e dei flussi è essenziale per stabilirne lo stato e pianificare interventi di tutela su scala regionale e nazionale. Un ruolo chiave in questi studi è a carico della "zona insatura", la porzione di terra e roccia situata sotto lo strato superficiale del suolo che, pur non fornendo direttamente acqua per i diversi utilizzi antropici, è cruciale per capire le dinamiche dei flussi nel sottosuolo. Al CNR-IRSA di Bari si studiano le proprietà idrauliche delle rocce insature, con particolare attenzione ai flussi preferenziali, alla dinamica dei microrganismi trasportati da acque reflue e agli effetti della salinità. Inoltre, per esplorare il sottosuolo senza scavi, vengono impiegate tecniche geofisiche non invasive. Questi strumenti permettono di "vedere" cosa succede, capire la struttura delle rocce, seguire l'ingresso di acqua salata o la diffusione di contaminanti.

La sede di Bari dell'IRSA è un centro di eccellenza per lo studio e la gestione sostenibile delle risorse idriche.



Pozzo di estrazione di acque sotterranee a uso agricolo nell'area della Riserva Naturale Statale di Torre Guaceto (BR).

La gestione dell'acqua, tuttavia, non è solo un problema tecnico: coinvolge aspetti economici e sociali. Per questo motivo, i ricercatori del CNR-IRSA lavorano anche allo sviluppo di strumenti che aiutano a prendere decisioni in modo condiviso, coinvolgendo istituzioni, imprese, cittadini e tutti i portatori di interesse. Questi strumenti, come modelli decisionali e linee guida, servono a costruire strategie efficaci in situazioni problematiche e incerte, in cui le esigenze sono diverse e talvolta in conflitto. L'obiettivo finale è realizzare una gestione dell'acqua che sia resiliente, capace di adattarsi e resistere ai cambiamenti, salvaguardando l'ambiente, l'economia e la società. In definitiva, dunque, gli obiettivi degli studi condotti presso il CNR-IRSA di Bari sono la comprensione e la concettualizzazione di complessi fenomeni naturali e l'individuazione delle più appropriate politiche per la gestione sostenibile le risorse idriche.

Trattamento acque

L'obiettivo principale del trattamento delle acque è di migliorarne la qualità in funzione dell'uso previsto, garantendo al tempo stesso la tutela della salute

umana, dell'ambiente e il corretto funzionamento dei processi nei quali le acque vengono impiegate. Oggi, però, la ricerca in questo settore deve affrontare sfide sempre più complesse legate all'aumento dei consumi, alla diminuzione delle risorse disponibili e alla crescente attenzione per la tutela dell'ambiente.

Le acque reflue, cioè le acque di scarico domestiche o industriali, vengono trattate negli impianti di depurazione. Prima si rimuovono i solidi più grandi e gli oli con griglie e separatori; poi, nella sedimentazione primaria, le particelle più pesanti si depositano sul fondo e sono facilmente allontanate. In seguito, il refluo viene inviato alle vasche biologiche dove la sostanza organica viene degradata grazie a microrganismi in sospensione acquosa (il cosiddetto "fango attivo"). Questa è la fase più efficace ma anche la più energivora. Al termine, la miscela acqua-fango passa al sedimentatore secondario per separare i fanghi residui, che vengono in parte riciclati e in parte smaltiti. Infine, l'acqua chiarificata subisce un trattamento di disinfezione (con agenti chimici, filtri o raggi UV) prima di essere restituita all'ambiente.

Questo processo, sebbene ormai consolidato, presenta alcuni punti critici, come l'efficienza del trattamento biologico, spesso compromessa dalla presenza di inquinanti "tossici" per i microrganismi, l'elevato consumo energetico e la produzione di fanghi di esubero che richiedono ulteriori trattamenti e uno smaltimento adeguato. Per superare tali limiti, al CNR-IRSA di Bari vengono sviluppate nuove tecnologie di trattamento. Una di queste è il *Self-Forming Dynamic Membrane Bio-Reactor* (SFD MBR), un sistema in cui il fango attivo viene fatto volutamente accumulare su una rete a maglie larghe (10-200 μm) per formare rapidamente una membrana biologica a porosità più stretta capace di filtrare l'acqua. Il sistema permette di ottenere acque molto più pulite rispetto a quelle prodotte dai depuratori tradizionali. Inoltre, consente di eliminare il sedimentatore secondario, riducendo i volumi e i costi dell'impianto.

Un'altra tecnologia innovativa, sviluppata insieme alla società Cisa di Massafra (TA) e brevettata in diversi Paesi, è il *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR). Questo sistema consente di ridurre drasticamente la produzione di fanghi e gas maleodoranti, mantenendo alti standard di qualità dell'acqua trattata. Due impianti in piena scala sono attualmente in funzione e producono effluenti che si prestano a essere riutilizzati, ad esempio in agricoltura, prolungando il ciclo di vita dell'acqua e rendendo il sistema di approvvigionamento più resiliente.

Proprio il riuso dell'acqua depurata è un ambito di grande interesse. In Europa, è disciplinato dal regolamento 2020/741 che ne definisce gli usi sicuri, in particolare per l'irrigazione. Il CNR-IRSA di Bari partecipa da anni a progetti di ricerca europei su questo tema, realizzando prove sul campo e installando impianti pilota in Puglia, una regione povera di acqua superficiale. Tali esperienze hanno contribuito a diffondere l'uso dell'acqua depurata in agricoltura, favorendone l'accettazione da parte degli agricoltori. I risultati ottenuti sono riconosciuti a livello internazionale con collaborazioni attive con le principali istituzioni europee del settore.

Un'altra area di ricerca fondamentale riguarda lo studio e il trattamento dei cosiddetti contaminanti emergenti e dei composti persistenti. Questi, per via della forte pressione antropica, incluse intense attività agricole e industriali, possono essere ritrovati anche nelle acque reflue perché scarsamente biodegradabili. Generalmente le concentrazioni sono molto basse, ma spesso presentano un'elevata persistenza e una significativa tossicità; inoltre possono avere effetti potenzialmente dannosi sull'uomo e sull'ambiente, considerando che non sono ancora ben regolamentati. Per affrontare questi problemi, al CNR-IRSA vengono sviluppate tecnologie basate su processi di ossidazione avanzata e sull'impiego di catalizzatori innovativi per la loro rimozione. Queste soluzioni si affiancano ai metodi più tradizionali e puntano a garantire un'acqua sempre più sicura, anche in vista di un suo possibile riutilizzo.

Recupero di energia e risorse

La natura non conosce rifiuti: ogni scarto può diventare risorsa. È questo il principio portante dell'economia circolare che oggi, in un contesto di crisi climatica e ambientale, assume un valore ancora maggiore. Acque reflue, rifiuti organici e biomasse possono essere trasformati in energia o altri prodotti ad alto valore aggiunto grazie a tecnologie sostenibili che trovano applicazione nelle cosiddette bioraffinerie: piattaforme tecnico-scientifiche in grado di convertire scarti in biometano, biomateriali e molecole utili all'industria chimica.

In quest'ottica si inserisce il lavoro sul trattamento dei fanghi di esubero, il principale rifiuto generato dal processo di depurazione delle acque reflue. In Europa se ne producono circa 10 milioni di tonnellate secche l'anno, con una crescita stimata fino a



Impianto di depurazione di Castellana Grotte (BA) adiacente a un campo sperimentale per il riuso delle acque reflue affinate.

13 milioni. Il gruppo di ricerca di Bari ha sviluppato tecnologie che permettono di trasformare i fanghi in vere risorse. Attraverso processi semplici ma innovativi, è possibile estrarre composti che fungono da *platform molecules* per la sintesi di prodotti di interesse industriale: ad esempio lipidi per la produzione di biodiesel o cellulosa (gran parte derivata dalla carta igienica, da cui si possono ricavare molecole di interesse industriale come il 5-idrossimetilfurfurale, l'acido 2,5-furandicarbossilico, l'acido levulinico e altri solventi *bio-based*). Queste tecnologie sono già in fase di applicazione reale presso l'impianto di depurazione di Bari Ovest, dimostrando come sia possibile trasformare un rifiuto problematico in una risorsa utile. In questo modo, gli impianti di depurazione diventano veri centri per il recupero di materiali, rafforzando il ruolo del CNR-IRSA nella promozione della transizione ecologica.

Verso la transizione ecologica

Il lavoro del CNR-IRSA di Bari rappresenta un esempio virtuoso di come la scienza possa guidare la transizione ecologica. Coniugando ricerca di frontiera, sperimentazione in campo e collaborazione con enti pubblici e privati, l'Istituto contribuisce a costruire un futuro in cui l'acqua, bene comune e risorsa strategica, sia tutelata, valorizzata e gestita in modo equo e sostenibile.