


Nota Tecnica - Technical Note

not peer reviewed

The renewability of the groundwater resource in clean-up interventions: legal assumptions and technical implications of environmental sustainability

La rinnovabilità della risorsa idrica sotterranea negli interventi di disinquinamento: presupposti giuridici ed implicazioni tecniche di sostenibilità ambientale

Andrea Sottani^a , Angelo Merlin^b, Paolo Cerutti^c

^aSinergeo, IAH, Cà Foscari Challenge School  email: asottani@sinergeo.it

^bMT Penalisti, ASSORECA, Cà Foscari Challenge School - email: a.merlin@mtpenalisti.it

^cProfessionista, IAH, ANIPA, Acque Sotterranee - email: paolo.cerutti@ecoterca.it

Riassunto

Questa Nota Tecnica tratta di aspetti giuridici e di alcuni principi tecnici, che ruotano intorno al concetto della rinnovabilità della risorsa idrica sotterranea, specificatamente intesa nell'ambito della progettazione ed attuazione degli interventi di disinquinamento ambientale. Nel testo, dopo aver inquadrato la rilevanza quantitativa delle acque sotterranee per il soddisfacimento del fabbisogno a livello nazionale, sono commentati i passi chiave fondamentali del disposto normativo vigente e vengono richiamate talune linee di condotta da potersi adottare nel corso del risanamento delle acque sotterranee nei siti contaminati, traguardando la salvaguardia ed il ristoro quali-quantitativo delle falde come indice di sostenibilità.

Abstract

This Technical Note highlights some legal aspects and technical principles closely related to the concept of ground water renewability, in as far as this concept is considered when designing and implementing environmental clean-up projects and works. After outlining the quantitative importance of groundwater in meeting Italian water demand, some key points of the current regulations are commented on, and some practical guidelines are proposed which could be adopted during remediation of groundwater at contaminated sites, aiming at the protection and qualitative-quantitative restoration of the aquifers as an indication of sustainability.

Keywords: groundwater, remediation, sustainability.

Parole chiave: acque sotterranee, disinquinamento, sostenibilità.

Inroduzione

Una georisorsa può essere definita “rinnovabile” quando le sue proprietà quantitative e/o qualitative la riportano ad essere ciclicamente¹ fruibile a seguito di processi naturali di “ricarica” o di “attenuazione”, che si esplicano con una velocità superiore a quella del consumo e/o del deterioramento per cause antropiche.

Le acque sotterranee costituiscono una risorsa di fondamentale importanza, che sostiene la vita e supporta lo sviluppo economico-sociale: una volta danneggiate si impongono grandi sforzi tecnologici e investimenti economici consistenti per il loro risanamento (EU-GWD 2007).

La loro rinnovabilità è, in origine, da ricondurre ai meccanismi del ciclo idrologico (Fig. 1), il motore globale innescato dalla radiazione solare, che regola la circolazione continua dell'acqua all'interno dell'idrosfera terrestre.

L'acqua entro il proprio ciclo si sposta da un compartimento all'altro, cambiando talvolta anche di stato, per i processi fisici di evaporazione, precipitazione, infiltrazione, scorrimento superficiale e flusso sotterraneo. Nel contesto di questi passaggi l'acqua si può accumulare nel sottosuolo, immagazzinata negli acquiferi, strutture permeabili naturalmente rialimentate, soggette ad interscambi complessi con altri domini e, soprattutto, idonee allo sfruttamento tramite opere di captazione.

I processi di sovra-sfruttamento, così come gli eventi di contaminazione degli acquiferi, determinano un disturbo e quindi un disequilibrio in seno ai meccanismi di rimpinguamento e di ripristino qualitativo delle idrostrutture acquifere ipogee. Gli effetti delle pressioni ambientali e dell'inquinamento sulla rinnovabilità delle acque sotterranee, la quale presuppone il mantenimento nel tempo delle possibilità di fruizione tramite la conservazione dei requisiti per il massimo utilizzo benefico, divengono talora irreversibili, in ragione delle tempistiche ultradecennali necessarie, in molte situazioni, per conseguire il risanamento.

Peraltro, anche la conoscenza specialistica dei sistemi acquiferi che si impone per progettare una *remediation* può

¹ dopo un sovra-sfruttamento o un inquinamento

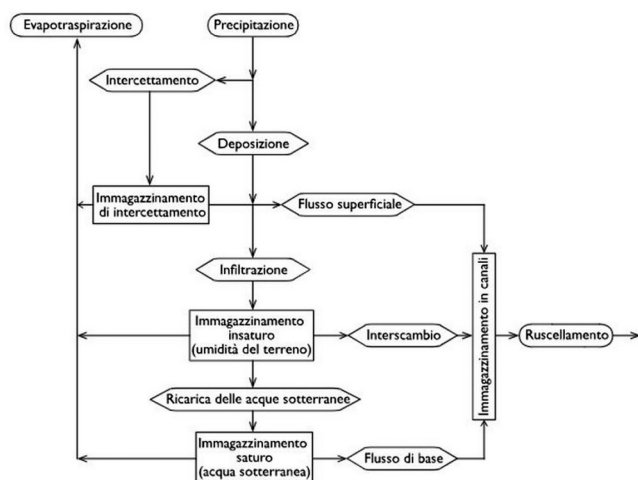


Fig. 1 - Schematic of the hydrological cycle (Freeze and Cherry 1979).
 Fig. 1 - Schematizzazione del ciclo idrologico (Freeze and Cherry 1979).

risultare spesso solo da un'analisi tecnica che si sviluppi su tempi lunghi, se si considera che i necessari approfondimenti *ex-ante* e le indispensabili verifiche *ex-post* vanno protratte in anni di studi e di monitoraggio (Cary et al. 2006).

Alcune ricerche, effettuate combinando set di dati geochimici, geologici, idrologici e geospaziali con simulazioni numeriche, hanno prospettato che il volume delle acque sotterranee "rinnovabili" rimpinguate dai fenomeni di ricarica ammonta a meno del 6% della disponibilità idrica globale di acque dolci (Gleeson et al. 2015).

In ragione del quadro che si è delineato, tutti i dettami giuridici ed ogni soluzione tecnica in grado di tutelare la ricarica, ovvero la rinnovabilità della risorsa, assumono quindi un ruolo di rilevanza indiscutibile e di valenza strategica.

La più consistente riserva idrica italiana è costituita dalle acque sotterranee: esse si rinnovano annualmente per circa 50 miliardi di metri cubi e garantiscono il soddisfacimento di oltre l'85% del fabbisogno idropotabile nazionale, oltre a coprire una parte significativa delle esigenze agricole e delle necessità industriali del Paese (Ducci et al. 2017).

Il volume di acqua complessivamente prelevato per uso potabile sul territorio italiano nel 2015 da oltre 1.800 enti gestori di fonti di approvvigionamento è pari a 9,5 miliardi di metri cubi (Fig. 2). Un approvvigionamento così consistente sottende una produzione giornaliera di 26 milioni di metri cubi di acqua, che corrisponde ad un prelievo di 428 litri giornalieri per abitante, pari a 156 metri cubi annui pro capite (Istat 2019).

La massima parte del prelievo nazionale di acqua per uso potabile deriva dalle falde dei sistemi porosi o dalle circolazioni negli ammassi fessurati (Istat 2019): la ripartizione tra riserve sotterranee e superficiali dipende dalla localizzazione e dalla qualità delle fonti di approvvigionamento. Dove disponibili, le acque sotterranee tendono a essere maggiormente utilizzate

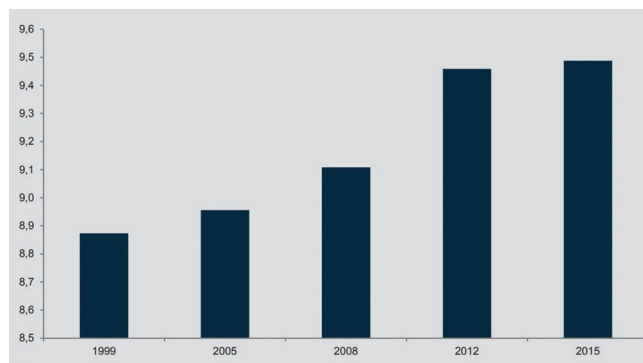


Fig. 2 - Annual drinking water consumption trend (billions of cubic meters) in Italy (ISTAT 2019 - mod.).

Fig. 2 - Andamento dei consumi idrici annui (miliardi di mc) in Italia per l'uso potabile (ISTAT 2019 - mod.).

per il consumo umano, in quanto sono generalmente di qualità migliore e solo in casi limitati necessitano di trattamenti di potabilizzazione spinti (Fig. 3).

Le acque sotterranee, dunque, rappresentano per il territorio italiano la risorsa più grande e preziosa di acqua dolce e pura: la disponibilità del bene determina inevitabili ripercussioni sull'ambiente, incidendo in modo diretto sul benessere della popolazione e condizionando talora i parametri dell'economia ovvero le scelte della politica.

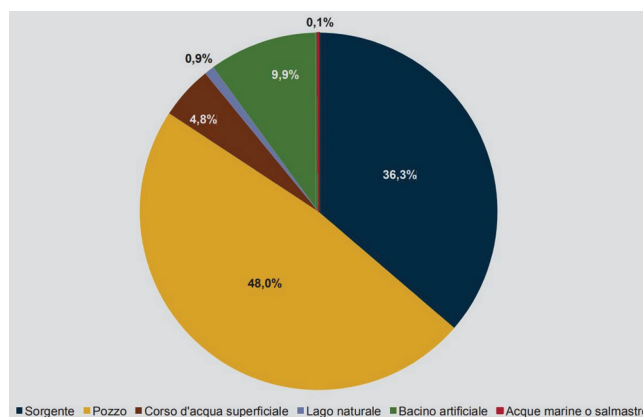


Fig. 3 - Breakdown of drinking water supply sources at Italian national level (ISTAT 2019).

Fig. 3 - Suddivisione delle fonti di approvvigionamento idropotabile a livello nazionale (ISTAT 2019).

Sul fronte opposto, le circostanze di inquinamento che ledono la qualità della risorsa, potendone inficiare la rinnovabilità, sono assai diffuse: dati riferiti al 2020 evidenziano poco meno di 35.000 siti di bonifica in Italia, di cui il 50 % circa manifesta un procedimento in corso alla data attuale (ISPRA 2021).

Volendo riferirsi ai 42 SIN (Siti di Interesse Nazionale), i macro-siti di bonifica maggiormente rilevanti che nel complesso occupano³ lo 0,57 % del territorio (Fig. 4), l'aggiornamento⁴

2 che a seguito dei processi di infiltrazione recenti (i.e. di età inferiore a 50 anni) rappresentano la reale aliquota rinnovabile dell'intero patrimonio idrico sotterraneo.

3 <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/siti-contaminati/siti-di-interesse-nazionale-sin>

4 https://www.mite.gov.it/sites/default/files/bonifiche/presentazione_2020.pdf

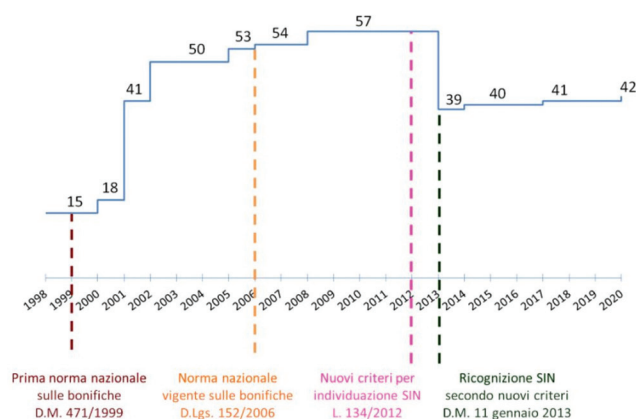


Fig. 4 - Chronological and regulatory evolution of the SINs (www.isprambiente.gov.it).

Fig. 4 - Evoluzione cronologica e normativa dei SIN (www.isprambiente.gov.it).

delle informazioni offerto dal MiTE (2021) mette in luce come la percentuale di aree con procedura conclusa per la matrice acque sotterranee sia di fatto estremamente bassa⁵, attestando altresì progressi del disinquinamento negli ultimi 20 anni a dir poco modesti.

In fregio al quadro per sommi capi enunciato è opportuno evidenziare che le azioni mirate al risanamento degli acquiferi possono a tutt'oggi beneficiare di tecnologie molto avanzate e sofisticate, che assicurano misure correttive efficaci e *cost-effective*, specialmente per quanto concerne l'approccio "in situ". Ciò non di meno si registrano casi in cui il danneggiamento ambientale che residua a valle delle zone di impatto permane per lungo tempo su aree vaste (*plumes*), a fronte di una insostenibilità operativa ed economica del ripristino, che solo i processi naturali di attenuazione concorrono a mitigare. Le acque sotterranee, infatti, si muovono assai lentamente, cosicché tempi di residenza di decine, centinaia ed anche migliaia di anni, indispensabili per il ricambio dei volumi inquinati, non sono affatto rari (Freeze and Cherry 1979).

Aspetti preventivi e riparatori per la tutela delle acque sotterranee

L'acqua non è un prodotto commerciale, bensì un bene comune ed una risorsa limitata, che deve essere protetta non solo sotto il profilo **qualitativo**, ma anche sotto quello **quantitativo**, considerata la sempre maggior domanda di utilizzo in un'ampia gamma di settori quali l'industria, l'agricoltura, il turismo, i trasporti e l'energia.

In ambito europeo il fondamentale riferimento normativo è rappresentato dalla Direttiva 2000/60/CE, generalmente conosciuta come Direttiva Quadro in materia di acque, alla quale si è data attuazione, nel nostro ordinamento, con la parte terza, sezione II, del D. Lgs. 152/06.

Oggetto della norma è la tutela delle acque superficiali,

marine e sotterranee⁶, disciplina che contiene sia obiettivi generali di prevenzione, riduzione dell'inquinamento e risanamento, che obiettivi specifici, individuati in relazione agli usi e/o alle differenti tipologie di acque (art. 73 del D. Lgs. 152/06).

Ad integrazione delle disposizioni contenute nella parte terza del D. Lgs. 152/06 è intervenuto il D. Lgs. 16.3.2009 n.30⁷ (in attuazione della direttiva 2006/118/CE), per definire specifiche misure atte a prevenire e controllare l'inquinamento ed il depauperamento delle acque sotterranee, quali:

- criteri per l'identificazione e la caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei;
- standard di qualità per alcuni parametri e valori soglia per altri parametri necessari alla valutazione del buono stato chimico delle acque sotterranee;
- criteri per individuare e per invertire le tendenze significative e durature all'aumento dell'inquinamento e per determinare i punti di partenza per dette inversioni di tendenza;
- criteri per la classificazione dello stato quantitativo (il cui obiettivo ambientale è il "buono stato quantitativo" definito dalla direttiva quadro sulle acque all'Allegato V, punto 2⁸);
- modalità per la definizione dei programmi di monitoraggio quali-quantitativo.

Accanto a questa disciplina essenzialmente preventiva, il legislatore ha individuato, anche sulla spinta di una precisa Direttiva comunitaria (2004/35/CE), una disciplina **complementare**, che interviene sia nel momento in cui un danno ambientale⁹ non si sia ancora verificato, ma vi sia una minaccia imminente (vale a dire un "rischio sufficientemente probabile che stia per verificarsi uno specifico danno ambientale" (art. 304 del D. Lgs. 152/06), sia nel caso in cui il danno si sia già prodotto (art. 305).

Le disposizioni relative al danno ambientale vengono poi integrate da quelle contenute nel titolo V della parte IV del D. Lgs. 152/06, che intervengono nel momento in cui venga rilevata una contaminazione grave in determinati siti o aree;

6 definite dall'art.74 comma 1° lett. l) come: "tutte le acque che si trovano al di sotto della superficie del suolo, nella zona di saturazione e in diretto contatto con il suolo e il sottosuolo".

7 poi modificato dal decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, 6 luglio 2016 (GU n. 165 del 16.7.2016).

8 "Il livello di acque sotterranee nel corpo idrico è tale che la media annua dell'estrazione a lungo termine non esaurisca le risorse idriche sotterranee disponibili. Di conseguenza, il livello delle acque sotterranee non subisce alterazioni antropiche tali da:
-impedire il conseguimento degli obiettivi ecologici (...) per le acque superficiali connesse;
-comportare un deterioramento significativo della qualità di tali acque;
-recare danni significativi agli ecosistemi terrestri direttamente dipendenti dal corpo idrico sotterraneo.

Inoltre, alterazioni della direzione di flusso risultanti da variazioni del livello possono verificarsi, su base temporanea o permanente, in un'area delimitata nello spazio; tali inversioni non causano tuttavia l'intrusione di acqua salata o di altro tipo né imprimono alla direzione di flusso alcuna tendenza antropica duratura e chiaramente identificabile che possa determinare siffatte intrusioni".

9 costituisce danno ambientale il deterioramento significativo e misurabile "in confronto alle condizioni originarie" di una risorsa naturale quale quella rappresentata (ai fini riguardanti il presente scritto) dalle acque sotterranee che, come abbiamo visto, è protetta dalla direttiva comunitaria 2000/60/CE; cfr. l'art. 300 del D. Lgs. 152/06.

5 secondo Confindustria (2016 - Dalla bonifica alla reindustrializzazione: analisi, criticità, proposte) la percentuale di completamento delle bonifiche per le acque sotterranee nei SIN non supera il 18% (mentre per i terreni non arriva al 20%)

questi ultimi devono pertanto essere sottoposti a bonifica per motivi ambientali ed esigenze sanitarie.

Ciascuna delle due discipline presenta un ambito applicativo suo proprio, secondo peculiari principi e procedimenti amministrativi, ma entrambe convergono verso un medesimo obiettivo, che corrisponde alla **riparazione primaria** del danno arrecato alle matrici ambientali mediante una forma di risarcimento in forma specifica, definito dal legislatore come “ripristino”¹⁰.

La riparazione del danno ambientale arrecato alle acque sotterranee ha come obiettivo quello di **riportare** “le risorse e/o i servizi naturali danneggiati alle o verso le condizioni originarie” e, solo qualora questo non sia possibile, si dovranno intraprendere forme di riparazione complementare¹¹, ristabilendo le perdite temporanee con misure di riparazione compensativa¹² (cfr. Allegato 3 alla parte sesta del D. Lgs. 152/06).

Nel caso, invece, di applicazione della normativa sulla bonifica dei siti inquinati, il ripristino dello stato originario (i.e. ecologico, chimico e/o quantitativo) del corpo idrico sotterraneo, al fine di consentirne tutti i suoi usi potenziali, **deve essere garantito** in un punto particolare e cioè “nel punto a valle idrogeologico della sorgente ... non oltre i confini del sito contaminato oggetto di bonifica laddove la relativa CSR per ciascun contaminante deve essere fissata equivalente alle CSC di cui all'Allegato 5 della parte quarta” (cfr. Allegato 1 al Titolo V del D.Lgs. 152/06 al paragrafo “I ricettori o bersagli della contaminazione”).

Ad **integrare** la disciplina preventiva e riparatoria in materia di tutela delle acque sotterranee vi è anche il principio dello sviluppo sostenibile¹³, introdotto nel nostro ordinamento dall'art. 3 *quater* del D. Lgs. 152/06, che detta una precisa finalità, cioè quella di “salvaguardare il corretto funzionamento e l'evoluzione degli ecosistemi naturali dalle modificazioni negative” (4° comma dell'art. 3 *quater* del D. Lgs. 152/06).

L'applicazione di questa norma comporta riflessi su vari

10 il coordinamento tra le due discipline, che sono certamente connesse in relazione alla loro funzione, non è di facile interpretazione in quanto l'art. 298 bis del D. Lgs. 152/06 stabilisce che gli interventi di riparazione delle acque sotterranee restino disciplinati dal titolo V della parte quarta “se progettati e attuati in conformità al punto 1 dell'Allegato 3 alla parte sesta o nel caso di contaminazioni anteriori alla data del 29 aprile 2006”, mentre il comma 1° dell'art. 313 profila un rapporto di concorrenza tra le due discipline considerandole applicabili alternativamente.

11 per riparazione complementare si intende “qualsiasi misura di riparazione intrapresa in relazione a risorse e/o servizi naturali per compensare il mancato ripristino completo delle risorse e/o dei servizi naturali danneggiati” (vedi Allegato 3 punto 1 lett. b) dell'Allegato 3 alla parte sesta del D. Lgs. 152/06).

12 per riparazione compensativa si intende “qualsiasi azione intrapresa per compensare la perdita temporanea di risorse e/o servizi naturali dalla data di verificarsi del danno fino a quando la riparazione primaria non abbia prodotto un effetto completo” (vedi Allegato 3 punto 1 lett. c) dell'Allegato 3 alla parte sesta del D. Lgs. 152/06).

13 la più importante e famosa definizione del principio dello sviluppo sostenibile si deve a una Commissione internazionale (la World Commission on Environment and Development: WCED, detta anche Commissione Brundtland dal nome del primo ministro norvegese che la presiedette) istituita nel 1983 dalle Nazioni Unite e composta dai rappresentanti di ventuno paesi; i lavori furono conclusi nel 1987 con l'emanazione del Report Our Common Future, nel quale lo sviluppo sostenibile veniva definito come “development which meets the needs of the present generation without compromising the ability of the future generation to meet theirs”.

piani dell'azione amministrativa.

Ad esempio, in materia di danno ambientale, il succitato principio ben può rilevare in ordine alla definizione del contenuto dell'ordinanza assunta dall'autorità amministrativa per imporre il ripristino ambientale a titolo di risarcimento in forma specifica (art. 313 del D. Lgs. 152/06).

Anche se l'art. 3 *quater* del D. Lgs. 152/06 presenta una formulazione molto ampia e generica, costituisce un'occasione storica per valorizzare la variabile ambientale, tenuto anche conto delle norme in materia di diritto comunitario.

Infatti, l'art. 191 del Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea impone al decisore di considerare, tra gli altri, i profili dello sviluppo socio-economico, nonché di prendere in considerazione i dati scientifici e tecnologici disponibili e di operare un'analisi “dei vantaggi e degli oneri che possono derivare dall'azione o dall'assenza di azione”.

Anche facendo leva su questi canoni di sviluppo sostenibile si potrà imporre un principio in grado di garantire effettivamente, anche per il bene comune acqua, che “il soddisfacimento dei bisogni delle generazioni attuali non possa compromettere la qualità della vita e le possibilità delle generazioni future”.

Sulla “rinnovabilità” tecnica della risorsa

L'importanza dei temi in argomento è di solare evidenza a livello globale, laddove tra gli obiettivi comunitari della Agenda 2030 il ruolo dell'acqua figura comprensibilmente ai primi posti (SDG6).

Le molteplici implicazioni che il tema specifico presuppone considerano le esigenze di innovazione e le opportunità di una *governance* partecipata dell'acqua, in grado di sostenere lo sviluppo assicurando il soddisfacimento del crescente fabbisogno nel rispetto della salvaguardia del bene.

Tra gli strumenti primari preposti a veicolare il processo decisionale emerge l'importanza di un approccio scientifico di conoscenza e formazione (Scown 2020) e di una proposta gestionale integrata¹⁴, in grado di coniugare la domanda e l'offerta in ogni distretto di produzione e capace di bilanciare le infrastrutture ed i servizi pubblici rispetto all'effettivo valore della risorsa.

Tutto quanto sopra consente di ottimizzare la gestione dell'acqua e va ricondotto ad uno scenario ex-ante molto articolato e complesso, che è rappresentato dai percorsi, dagli scambi e dai processi che compongono l'iter di rinnovabilità naturale delle riserve idrogeologiche, dalle precipitazioni fino all'arrivo nei serbatoi profondi. Il contributo che l'Antropocene può esprimere al riguardo deve senza dubbio partire dal recupero ambientale degli acquiferi contaminati, passa attraverso il ristoro delle falde sovra-sfruttate e può considerare l'adozione di politiche di tutela attente, poiché solo un progressivo ripristino delle criticità esistenti ed una consapevole conservazione dei fattori di reintegro delle acque sotterranee riescono a supportare concretamente gli obiettivi comuni.

14 IWMR - Integrated Water Resource Management (UN-Water SDG6 Public Dialogue Report – www.unwater.org)

Riferendosi alle fasi del risanamento ambientale dei siti contaminati è quanto mai appropriato individuare alcune linee operative da approfondire per dare un contributo tecnico ed un fattivo sostegno alla rinnovabilità delle acque sotterranee.

In seno alle fasi iniziali della caratterizzazione ambientale di un sito sussistono molteplici *modus operandi* preposti a massimizzare la sostenibilità delle azioni. Su alcuni di essi, in particolare, è possibile focalizzare l'attenzione proprio per puntare alla rinnovabilità idrogeologica.

Privilegiare nell'approccio di conoscenza le metodiche innovative di investigazione ad alta risoluzione, giusto per iniziare con il *Site Assessment*, consente di ottimizzare fin da subito la messa a punto di Modelli Concettuali del Sito (MCS) estremamente precisi, in supporto di progettazioni altrettanto specifiche e performanti. I metodi in parola si pongono al vertice di una piramide di conoscenza sviluppata a livello internazionale. Essi permettono di focalizzare l'attenzione sulla effettiva magnitudo del problema, evidenziano fin da subito le peculiarità salienti dei fenomeni e considerano tutti gli elementi sito-specifici che un piano di intervento deve annoverare.

Rientrano in questa fattispecie i sistemi di prospezione verticale integrata in grado di fornire al contempo riscontri sulla costituzione litostratigrafica e parametrica del sottosuolo, oltre a scansioni praticamente continue, ad esempio sulla presenza di contaminanti organici (Schneider et al. 2020); ulteriori vantaggi vengono offerti dall'approccio investigativo multi-livello (Cherry et al. 2007), che mira a definire le condizioni di eterogeneità del sottosuolo, in ordine a discernere gli orizzonti geologici in seno ai quali convergono le linee di flusso e, di conseguenza, ove si concentra la prevalenza del trasporto di massa (Newell et al. 2011); in aggiunta si menzionano le tecnologie di campionamento passivo delle acque sotterranee, che assicurano una rappresentatività dei prelievi elevatissima, minimizzando i volumi di spurgo e quindi azzerando la produzione di rifiuti nei siti inquinati (USGS 2020).

In buona sostanza nel corso delle attività di caratterizzazione ambientale si elabora quella diagnosi che precede ed orienta la cura: la rinnovabilità della risorsa idrica sotterranea è legata a doppio filo alla accuratezza ed alla lungimiranza di queste valutazioni tecniche iniziali.

Per quanto concerne la *remediation* in accezione ampia¹⁵, il sistema delle barriere idrauliche con trattamento delle acque emunte, denominato *Pump&Treat* (P&T) rimane a livello nazionale una delle tecnologie di più frequente impiego. Il grafico¹⁶ di Figura 5 illustra la situazione nella Regione Lombardia, mettendo a confronto la netta superiorità del P&T rispetto ad altri metodi di intervento sul comparto saturo in quanto a ricorrenza applicativa.

Il principio base di funzionamento delle barriere è notoriamente quello di stabilire sbarramenti idrodinamici stazionari entro l'acquifero contaminato, prodromici a

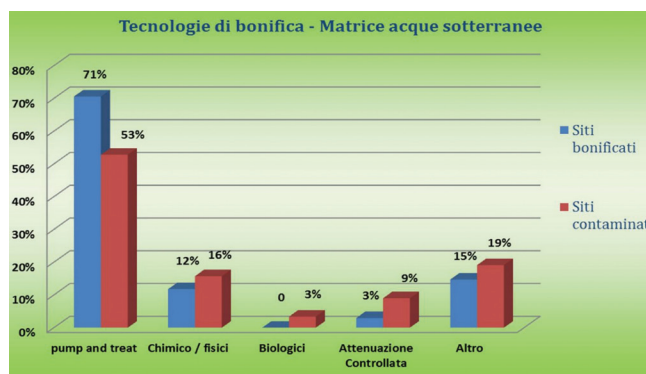


Fig. 5 - Summary of groundwater remediation technologies in the Lombardy Region (update 2019).

Fig. 5 - Sintesi delle tecnologie di bonifica delle acque sotterranee in Regione Lombardia (agg. 2019).

contrastare la migrazione dei composti indici disciolti nel mezzo saturo e, in taluni casi, anche al recupero di surnatanti.

Non di rado questi esercizi si prolungano per anni (Bonfà 2015) o più precisamente per decenni (Truex et al. 2017), cosicché per adempiere agli obblighi qualitativi di legge ci si può esporre all'azzardo di un impoverimento quantitativo¹⁷ addizionale dei serbatoi.

A titolo esemplificativo e con il fine ultimo di circoscrivere la questione sono stati elaborati i dati¹⁸ sulle barriere idrauliche attualmente attive in Provincia di Vicenza, constatando che:

- la portata idrica complessivamente estratta dai sistemi acquiferi provinciali per finalità ambientali è mediamente dell'ordine di almeno 150-200 l/s;
- oltre il 90 % delle acque depurate viene conferito a pubblica fognatura oppure risulta scaricato in corso d'acqua;
- meno del 10 % viene reintegrato nel sottosuolo, ai sensi del c.5 dell'art 243 del D. Lgs. 152/06.

Confrontando in primo approccio questi dati con l'ammontare del prelievo¹⁹ acquedottistico in capo al locale Gestore del SII, si desume che le acque depurate dai P&T ed addotte a scarico²⁰ totalizzano un volume annuo prossimo a 5-6milioni di mc, che corrisponde al 10-15% del consumo di acque sotterranee estratte da pozzo e destinate all'uso umano.

Il reintegro delle portate idriche depurate nel medesimo acquifero rappresenta dunque una opzione tecnica normata e teoricamente²¹ percorribile in suffragio alla rinnovabilità della risorsa.

¹⁷ anch'esso classificabile come danno ambientale, laddove la compromissione della matrice divenga una minore disponibilità della risorsa, secondo un deterioramento misurabile e significativo delle condizioni originarie

¹⁸ per gentile concessione della Amministrazione Provinciale di Vicenza

¹⁹ 67 Mmc, di cui 45 milioni di mc da pozzi e 22 (Mmc) da sorgenti; fonte: Bilancio di sostenibilità 2019 di Viacqua spa, che gestisce il servizio idrico integrato in 68 Comuni della Provincia di Vicenza con un bacino servito di oltre 550.000 abitanti

²⁰ va da sé come queste portate di acqua, sprecate con il recapito in corso d'acqua o peggio in fognatura pubblica, possono mitigare almeno in parte, tramite la reiniezione contemplata nel testo di legge, le conseguenze dei prelievi

²¹ prima di procedere con la restituzione nel corpo idrico sotterraneo delle acque trattate ogni contesto territoriale deve essere adeguatamente conosciuto e, soprattutto, accuratamente controllato con piani di monitoraggio rigorosi

¹⁵ intesa genericamente a ricomprendere sia gli interventi di prevenzione e messa in sicurezza che quelli di bonifica

¹⁶ tratto da: G.P. Beretta, 2019 - Il quadro delle attività di bonifica dei siti contaminati: soluzioni e costi. Seminario Naz. "Fitotecnologie per la gestione e la bonifica di siti contaminati. Esempi di buone pratiche". Pesaro, 4 mar 2019.

I volumi idrici in gioco nelle aree ove sono in corso attività ambientali con P&T sono molto consistenti e meritevoli di attenzione; in molte circostanze la qualità delle acque depurate è del tutto paragonabile a quella delle acque distribuite all'utenza ed i frequenti controlli routinari ne validano il possibile reimpiego. La progettazione che deve giocare a favore precedere tali iniziative ed i collaudi sperimentali *post-operam* garantiscono che gli effetti idrogeologici conseguenti alla pratica di reimmissione non si pongano in contrasto con le finalità precipue della barriera (EPA 2008; Beretta e Pellegrini 2003).

Ad ogni buon conto sono noti nella letteratura specialistica numerosi schemi di restituzione dell'acqua sul fronte sopra-gradiente rispetto a quello di pompaggio (Da Costa e Bennet 1960; Javandel e Tsang 1986; Matott et al. 2006; Nagheli et al. 2020). Ove sussista un dimensionamento sito-specifico corretto, tali formulazioni predispongono alla messa in opera nel sottosuolo di una sorta di cella idrodinamica attiva, in grado di isolare e controllare la zona critica e di spiazzare al contempo all'esterno del fronte di cattura, salvaguardandole, nuove acque pulite in arrivo da monte idrogeologico.

Si consideri anche che nelle zone di bonifica costiera la pratica della reimmissione costituisce un utile presidio per rallentare l'ingressione del cuneo salino, notoriamente incrementata dagli effetti dei pompaggi attivi lungo le aree litoranee (Cotecchia V. 2014).

Volendo anche aggiungere un ulteriore elemento di resilienza riferibile al P&T, giova considerare le risultanze di uno studio²² che valuta la potenzialità energetica²³ degli emungimenti espletati nei soli SIN (oltre 7000 mc/h, pari a 2000 l/s), cui deve associarsi una possibile produzione di circa 33 MW di potenza termica, per il riscaldamento ed il condizionamento di ambienti (Casasso et al. 2020). Anche la valorizzazione del contenuto energetico di queste acque, quindi, potrebbe costituire un termine interessante per incrementare la sostenibilità di azioni ambientali assai comuni nei siti contaminati.

Tutto ciò premesso ed intendendo generalizzare le stime ben oltre il perimetro delle finalità del risanamento, è doveroso ricordare che a margine delle iniziative per il rimedio della contaminazione è sicuramente giunto il momento per concepire iniziative di ricarica artificiale delle falde (MAR²⁴) su larga scala, poiché solo programmi coordinati e di ampio respiro possono bilanciare²⁵ gli stress idrici riconducibili agli eventi di inquinamento ambientale ed alle altre fonti di pressione concorrenti, come il consumo del territorio (SNPA 2021b) ed il cambiamento climatico (SNPA 2021a).

Tali politiche trovano peraltro diretto riscontro nei principi di precauzione e sono motivate dal fatto che solo intraprendendo cambi di rotta significativi ed integrati nel modo di concepire la filiera del risanamento²⁶, è possibile dare effetto alla cosiddetta transizione ecologica. La Direttiva Acque europea introduce il binomio del *"prevent or limit"*, e la prevenzione, soprattutto nel contesto delle acque sotterranee invisibili, impone rigore scientifico e sistematicità, conoscenza e diffusione del sapere, condivisione dei risultati e coscienza collettiva.

Le implicazioni negative con cui ogni inquinamento affossa la rinnovabilità della risorsa sono da ricondurre tradizionalmente a composti indice quali ad esempio metalli pesanti, solventi clorurati, idrocarburi o pesticidi; ciò non di meno al pannello dei composti normati vanno a tutt'oggi aggiunti i contaminanti emergenti, i cui segnali, in progressivo sviluppo e costante affioramento, sono sempre più ricorrenti e preoccupanti (Lapworth et al. 2012). Il caso delle sostanze poli- e perfluoroalchiliche (PFAS, definiti anche *"forever chemicals"*) esplosi dal 2013 in Regione Veneto è emblematico di questa triste modernità, che diviene rapidamente una emergenza territoriale e sanitaria senza precedenti, assurgendo ai più elevati onori di cronaca (WHO 2017).

La prevenzione non si appronta in assetto emergenziale: è una difesa di lungo termine, un riparo che abbisogna di sforzi multidisciplinari e diffusi, di energie da erogare su scala adeguata. In quest'ottica si tratta di iniziare a dare la giusta dignità ai piani di monitoraggio, i programmi di investigazione di medio-lungo termine che solo approcci di continua ricerca, prassi di formazione e consuetudini di comunicazione possono sostenere. Conforta osservare che le azioni di riorganizzazione dei servizi e di approfondimento delle conoscenze tecniche innescate dagli adempimenti di cui ai Piani di Sicurezza dell'Acqua²⁷ (Lucentini et al. 2014), sembrano andare nella direzione più auspicabile.

A tutt'oggi le reti per il controllo idrogeologico ed idrochimico degli acquiferi sono ancora frammentate, i protocolli non sempre coincidenti; le azioni di salvaguardia paiono costantemente subordinate alla endemica "disponibilità" di finanziamenti economici insufficienti. Tra le priorità del PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) si rinvergono però contenuti nuovi e pertinenti, laddove al Quadro delle misure di Tutela del Territorio e della

22 coordinato dal Politecnico di Torino

23 geoscambio a bassa entalpia

24 Managed Aquifer Recharge (<https://www.un-igrac.org/areas-expertise/managed-aquifer-recharge-mar>)

25 la Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE) istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque e dispone che "gli Stati membri proteggono, migliorano e ripristinano i corpi idrici sotterranei e assicurano un equilibrio tra l'estrazione e il ravvenamento delle acque sotterranee al fine di conseguire un buono stato delle acque sotterranee entro 15 anni dall'entrata in vigore della presente direttiva" (art. 4, comma 1, lett. b, punto ii).

26 introducendo in maniera sistematica pratiche compensative atte a mitigare effetti ambientali residui nelle matrici impattate.

27 Water Safety Plan.

Risorsa Idrica (M2C4²⁸) vengono esplicitamente individuati “Obiettivi Generali”, quali il rafforzamento della capacità previsionale degli effetti del cambiamento climatico tramite sistemi avanzati ed integrati di monitoraggio e analisi per la garanzia della sicurezza dell’approvvigionamento e per la gestione sostenibile ed efficiente delle risorse idriche lungo l’intero ciclo.

In buona sostanza bisogna investire in tutti i settori che possono consolidare questi presidi: serve preparare tecnici con la giusta sensibilità, approfondire la capacità delle scansioni periodiche sul territorio, uniformare e diffondere le procedure, estendere i controlli, così come occorre conoscere “profondamente” i serbatoi per riuscire a proteggerli a favore delle generazioni future. Il percorso dell’acqua verso la rinnovabilità transita ad oggi attraverso le precitate vie di flusso, non sempre a favore di gradiente.

L’innovazione della digitalizzazione si pone, da ultimo, come presupposto conclusivo e funzionale al coordinamento dei temi in discussione (*digital groundwater*). Per facilitare la rinnovabilità della risorsa è fondamentale aumentare il grado di consapevolezza circa gli elementi del bilancio idrogeologico, tipicamente riferiti a grandezze misurabili, ma invisibili, a serbatoi oscuri e profondi, entità di ardua comprensione poiché non direttamente visualizzabili.

L’innovazione sta cambiando rapidamente ed inevitabilmente anche la maniera di gestire i concetti e le infrastrutture dell’acqua.

La digitalizzazione evidenzia un potenziale molto elevato in questi contesti: i monitoraggi delle riserve sotterranee e le misurazioni avanzate nelle reti e negli impianti (e.g. flusso, pressione e qualità), le analisi multi-temporali delle scansioni satellitari, i sistemi intelligenti di “early warning²⁹” sono esempi peculiari di questo paradigma.

Attualmente, circa 4 miliardi di persone vivono in condizioni di scarsità d’acqua ed in contesti territoriali di carenza idrica: quasi 1 miliardo di persone non ha accesso ad acqua potabile sicura e 1 milione di morti all’anno è da ricondurre a malattie trasmesse dall’acqua (Daigger et al. 2019). L’Unione internazionale per la conservazione della natura³⁰ stima che entro il 2050 la domanda di acqua possa inoltre aumentare del 55 %.

Le politiche dell’acqua assumono dunque un ruolo rilevante come guida nell’affrontare i rischi idrici del 21° secolo, proprio attraverso l’adozione di tecnologie idriche e strategie digitali. Anche nel campo dell’acqua sotterranea, il *management* innovativo della risorsa può trasformarsi mediante lo sviluppo di sistemi di supporto decisionale, basati su sensori di ultima generazione (Calderwood et al. 2020), coordinati da intelligenza artificiale; automazione di attività ripetitive, aumento delle prestazioni con risparmio sui costi, sgravio degli oneri minori, che lasciano all’individuo la possibilità di concentrarsi su aspetti e problemi che richiedono una risoluzione empatica, una abilità sociale, una intelligenza emotiva, una sensibilità ed una percezione affettiva verso l’autentico valore della risorsa. Nei siti contaminati, dove gli interventi si protraggono anche per anni, i protocolli e le pratiche amministrative per la digitalizzazione delle acquisizioni, per la validazione dei dati e delle elaborazioni, per l’accesso alle informazioni e la condivisione del loro significato tecnico, costituiscono una nuova importante frontiera verso la sostenibilità, una roccaforte a difesa della rinnovabilità delle acque sotterranee.

In conclusione, la tutela della rinnovabilità delle acque sotterranee, risorsa che abbiamo l’onere e l’onore di custodire, delinea un percorso assai variegato, impostato sul rigore scientifico e fatto di scelte operative audaci, di evoluzioni socio-economiche al passo con i tempi e di direttive politiche finalmente consapevoli; elementi e comportamenti accomunati da un unico spirito proteso alla protezione del bene primario, umile e troppo spesso scontato quanto insostituibile.

“... un paesaggio invisibile condiziona quello visibile, tutto ciò che si muove al sole è spinto dall’onda che batte chiusa sotto il cielo calcareo della roccia” - Italo Calvino, *Le città invisibili*³¹.

31 Einaudi, 1972

28 Le Linee progettuali, che sottendono possibilità di investimento, sono articolate al § 1.1 Realizzazione di un sistema avanzato ed integrato di monitoraggio e previsione, ove si legge: “L’investimento è orientato a sviluppare un sistema di monitoraggio che consenta di individuare e prevedere i rischi sul territorio, come conseguenza dei cambiamenti climatici e di inadeguata pianificazione territoriale. L’utilizzo di tecnologie avanzate consentirà il controllo da remoto di ampie fasce territoriali, con conseguente ottimizzazione dell’allocazione di risorse. I dati di monitoraggio costituiranno la base per lo sviluppo di piani di prevenzione dei rischi, anche per le infrastrutture esistenti, e di adattamento ai cambiamenti climatici ... Gli elementi costitutivi del sistema sono: 1) la raccolta e omogeneizzazione di dati territoriali sfruttando sistemi di osservazione satellitare, droni, sensoristica da remoto e integrazione di sistemi informativi esistenti; 2) reti di telecomunicazione a funzionamento continuo con i più avanzati requisiti di sicurezza a garanzia della protezione delle informazioni; 3) sale di controllo centrali e regionali, che consentiranno agli operatori di accedere alle informazioni raccolte dal campo; 4) sistemi e servizi di cyber security, per la protezione da attacchi informatici ...”

29 associate a soglie di attenzione, allerta ed allarme.

30 www.iucn.org

REFERENCES

- Beretta G P e Pellegrini R (2003) Linee guida per il monitoraggio delle barriere idrauliche. Provincia di Milano e Università degli Studi di Milano Dipartimento di Scienze della Terra A. Desio.
- Bonfà I (2015) D. Lgs. n.152/2006 - La messa in sicurezza di siti contaminati: la difficoltà di applicazione di efficaci barriere idrauliche in Italia. *Italian Journal of Groundwater* (2015) – pp. 073 – 074.
- Calderwood AJ, Pauloo RA, Yoder AM, and Fogg GE (2020) Low-Cost, Open Source Wireless Sensor Network for Real-Time, Scalable Groundwater Monitoring. *Water* 2020, 12, 1066.
- Cary MA, Marsland PA, Smith JWN (2006) Remedial Targets Methodology, UK Environmental Agency. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/314317/gho0706bleq-e-e.pdf.
- Casasso A, Tosco T, Bianco C, Bucci A and Sethi R (2020) How can we make pump and treat systems more energetically sustainable? – *Water* - <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/1/67/htm>.
- Cherry JA, Parker B, Kelle C (2007) A new depth-discrete multilevel monitoring approach for fractured rock. *Ground Water Monitoring & Remediation* 27, no. 2/ Spring 2007/pages 57–7.
- Confindustria (2016) - Dalla bonifica alla reindustrializzazione: analisi, criticità, proposte.
- Cotecchia V (2014) Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. Vol. 92, ISPRA Servizio Geologico d'Italia.
- Da Costa JA, Bennett R (1960) The pattern of flow in the vicinity of a recharging and discharging pair of wells in an aquifer having a real parallel flow. IASH General Assembly, Commission of Subterranean Waters; 524–536. <https://iahs.info/uploads/dms/052051.pdf>.
- Daigger GT, Voutchkov N, Lall U, Sarni W (2019) The Future of Water: A Collection of Essays on “Disruptive” Technologies that may Transform the Water Sector in the Next 10 Years. IDB - Inter-American Development Bank pub. Discussion paper 657.
- Ducci D, Rusi S, Alberti L, Cerutti P, Fabbri P, Gargini A, La Vigna F, Masetti M, Petitta M, Piscopo V, Polemio M, Sottani A, Re V, Valigi D (2017) Aquifers: the natural response to the hydric emergency. *Italian Journal of Hydrogeology*, 03, pp.17-18 Editrice Associazione Acque Sotterranee, Piacenza
- EPA (2008) A Systematic Approach for Evaluation of Capture Zones at Pump and Treat Systems. Report /600/R-08/003.
- EU-GWD (2007) Guidance on preventing or limiting direct and indirect inputs in the context of the groundwater directive 2006/118/EC. Common implementation strategy for the WFD 2000/60/ec. Guidance document no. 17. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bfe828ce-eb24-443a-a4c7-32200c7e5f05>
- Freeze RA and Cherry JA (1979) *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 604 pp.
- Gleeson T, Befus KM, Jasechko S, Luijendijk E, Bayani Cardenas M (2015) The global volume and distribution of modern groundwater”, *Nature Geoscience*, Nov. 2015, DOI: 10.1038/NGEO2590
- Ispra (2021) Lo stato delle bonifiche dei siti contaminati in Italia: i dati regionali. Rapporti 337/2021, SNPA, Roma.
- Istat, 2019 - Utilizzo e qualità della risorsa idrica in Italia. Ed. Istituto nazionale di statistica, pp. 104, Roma.
- Javandel I, Tsang CF (1986) Capture-zone type curves: A tool for aquifer cleanup. *Groundwater*, 24,pp. 616–625. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1986.tb03710.x>.
- Lapworth DJ, Baranb N, Stuarda ME, Warda S (2012) Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution* Vol.163, April 2012, pp. 287-303.
- Lucentini L, Achene L, Fuscoletti V, Nigro Di Gregorio F e Pettine P (2014) Linee guida per la valutazione e gestione del rischio nella filiera delle acque destinate al consumo umano secondo il modello dei Water Safety Plan. Rapporti ISTISAN, 14/21.
- Matott LS, Rabideau AJ, Craig JR (2006) Pump-and-treat optimization using analytic element method flow models. *Advances in Water Resources*; 29: 760–775. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.07.009>.
- Nagheli S, Samani N, Barry DA (2020) Multi-well capture zones in strip-shaped aquifers. *PLoS ONE* 15(3): e0229767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229767>;
- Newell CJ, Farhat SK, Adamson DT, Looney BB (2011) Contaminant plume classification system based on mass discharge. *Groundwater*. Volume 49, Issue 6, pp. 914-919.
- Schneider HA, Jackson WA, Hatzinger PB, Schaefer CE (2020) High-Resolution characterization of a chlorinated solvent impacted aquifer using a passive profiler. *Ground Water Monitoring & Remediation*, Vol. 40, Iss. 4, Fall 2020, pp. 27-43.
- Scown MW (2020) The Sustainable Development Goals need geoscience. *Nat. Geosci.*13,714–715, <https://doi.org/10.1038/s41561-020-00652-6>.
- SNPA (2021a) Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici, 21/2021.
- SNPA (2021b) Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, report 22/2021.
- Truex M, Johnson C, Macbeth T, Becker D, Lynch K, Giandrone D, Frantz A, Lee H (2017) Performance assessment of pump-and-treat systems. *Groundwater Monitoring & Remediation* 37, no. 3/ Summer, pp.28–44.
- USGS, Imbriotta TE and Hart PT (2020) Passive sampling of groundwater wells for determination of water chemistry. Techniques and Methods 1–D8, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2020.
- World Health Organization (2017) Keeping our water clean: the case of water contamination in the Veneto Region, Italy, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.