

Nota Tecnica - Technical Note

not peer reviewed



Groundwater monitoring and the POA ACQUACENTRO projects - state of the art and future perspectives in Lazio

Monitoraggio acque sotterranee e POA ACQUACENTRO - stato dell'arte e prospettive future nel Lazio

Roberto Ceccarini (roberto.ceccarini@arpalazio.it), Alessandra Scala (alessandra.scala@arpalazio.it), Emanuele Bernini (emanuele.bernini@arpalazio.it), Camilla Ciotti (camilla.ciotti@arpalazio.it), Annalaura Rossi (annalaura.rossi@arpalazio.it), Eliana Barra (eliana.barra@arpalazio.it), Cristina Venezia (cristina.venezia@arpalazio.it), Adele Clausi (adele.clausi@arpalazio.it), Alberto Di Ludovico (alberto.diludovico@arpalazio.it), Marco Le Foche (marco.lefoche@arpalazio.it)
Arpa Lazio Sez. Prov.le di Roma, Dipartimento Stato dell'Ambiente, Servizio Monitoraggio delle Risorse Idriche-Unità Risorse Idriche
Via Giuseppe Saredo 52, 00173 Roma

Introduzione

La gestione sostenibile delle risorse idriche rappresenta una delle principali sfide globali contemporanee, in virtù del ruolo essenziale dell'acqua dolce quale risorsa indispensabile per il sostentamento della vita e il soddisfacimento dei bisogni umani fondamentali.

L'aumento della domanda idrica nei settori domestico, agricolo e industriale ha determinato una crescente pressione sulle risorse idriche sotterranee. Parallelamente, gli effetti dei cambiamenti climatici, sempre più evidenti negli ultimi decenni, contribuiscono all'intensificarsi di condizioni di severità idrica.

Fenomeni siccitosi e relativi impatti interessano con frequenza crescente il territorio italiano e nello specifico il Distretto Idrografico dell'Appennino centrale. In tale area, lo stato di emergenza per crisi idriche è stato dichiarato dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri nel 2002, 2007, 2012, 2017 e 2022.

L'impatto di questi fattori incide negativamente e in modo non uniforme sul territorio sugli aspetti quantitativi e qualitativi delle risorse idriche sotterranee. Ad esempio, le aree costiere possono essere soggette a fenomeni di intrusione salina, mentre la composizione chimica delle acque può variare in seguito al mescolamento di apporti idrici provenienti da acquiferi differenti.

L'elevata valenza strategica delle acque sotterranee richiede l'attuazione di politiche ambientali mirate alla loro salvaguardia e al loro risanamento, attraverso l'adozione di misure volte a mantenere o conseguire il buono stato qualitativo e ad impedirne il depauperamento quantitativo. In tal senso, le normative comunitarie (Direttive 2000/60/CE e 2006/118/CE) e nazionali (D.lgs. 152/2006, D.lgs. 30/2009, D.M.260/2010 e D.M.6/07/2016) promuovono lo sviluppo sinergico di strumenti di pianificazione di settore, quali i Piani di Tutela della Acque (P.T.A.) e i Piani di Gestione delle Acque (P.G.A.), finalizzati a garantire l'utilizzo sostenibile delle risorse idriche.

In tale contesto le attività di monitoraggio rappresentano uno strumento fondamentale per individuare eventuali alterazioni dello stato quali/quantitativo delle acque sotterranee, consentendo una pianificazione mirata delle azioni di tutela e risanamento ambientale, in relazione al grado di vulnerabilità dei diversi acquiferi.

L'articolo 5 della Direttiva 2000/60/CE stabilisce che ogni Stato deve poter definire se i corpi o gruppi di corpi idrici possono conseguire o meno un buono stato chimico.

Nella Regione Lazio sono stati censiti complessivamente n.66 corpi idrici sotterranei (di seguito "CIS"), dei quali n.47 classificati come "produttivi" ai sensi del D.lgs. 30/2009 e monitorati mediante una rete istituzionale costituita da 187 punti di monitoraggio.

Nel 2023, con l'avvio del Piano Operativo Ambiente (POA), la cui conclusione è prevista per la fine del 2025, ARPA Lazio ha proseguito le attività di rilievo e studio avviate nel 2020, finalizzate all'implementazione della rete di monitoraggio istituzionale dei CIS del territorio regionale. Nell'ambito delle attività del POA, finanziate attraverso i fondi FSC 2014-2020, l'Agenzia è stata direttamente coinvolta nelle Linee di intervento L1 e L2 (Azioni A.1.2.1.Lazio1 e A.2.1.Lazio1) sulla base di uno specifico accordo con la Direzione Ambiente della Regione e l'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Centrale (AUBAC).

Nel presente documento viene illustrata la metodologia di lavoro adottata per il conseguimento dei seguenti obiettivi:

- Ampliamento e potenziamento della rete di monitoraggio dei CIS nella Regione Lazio;
- Definizione dello stato qualitativo dei CIS della Regione Lazio;
- Valutazione degli aspetti idrodinamici connessi agli scambi e ai travasi tra diversi CIS;
- Valutazione dell'eventuale presenza ed entità di fenomeni di intrusione salina nel settore costiero;
- Indagine sulle pressioni antropiche esercitate su determinati CIS; monitoraggio quantitativo e la ricerca di contaminanti emergenti quali microplastiche e sostanze perfluoroalchiliche (PFAS).

Copyright: © 2025 by the authors.

License Associazione Acque Sotterranee.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Area di studio

Localizzato al punto di convergenza dei due principali archi tettonici appenninici, l'assetto geologico-strutturale del Lazio è il risultato di una complessa evoluzione geodinamica. La strutturazione della catena deriva dalla subduzione della microplacca adriatica (interposta tra Africa ed Europa), che ha generato una struttura a "falde embriciate" che costituiscono l'ossatura delle dorsali carbonatiche della catena.

A partire dal Trias superiore si sono sedimentate, sul margine meridionale della Tetide, in sequenza:

- la piattaforma carbonatica laziale-abruzzese (Trias superiore -Cretacico superiore),
- le successioni sedimentarie di bacino esterno (umbromarchigiana-sabina, del bacino molisano del Lias medio – Miocene inferiore) e dei bacini interni presenti solo in profondità nelle successioni litologiche dei settori Nord del Lazio e della Tolfa (Cretacico superiore – Oligocene);
- le successioni meso-cenozoiche sono ammantate da spessori più meno potenti di depositi silicoclastici generatisi durante le fasi tettoniche più critiche (Oligocene superiore – Pliocene inferiore).

La fase più antica dell'orogenesi appenninica ("subliguride", Oligocene-Aquitano) che ha coinvolto il Lazio è testimoniata dalla sovrapposizione di lembi delle unità più interne su quelle esterne e da un sollevamento generalizzato che ha interessato gran parte del bacino sabino, i Monti Sabini, i Monti Prenestini e la deformazione del substrato della Piana Pontina fino al Circeo, con la contemporanea disarticolazione della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese (fase tortoniana).

La successiva fase di compressione del messiniano ha coinvolto grandi unità tettoniche carbonatiche che si sono embrificate sulle formazioni detritiche di avanfossa (flysh tortoniano), mentre nella fase compressiva pliocenica le unità strutturali umbre e sabine sono state spinte verso Est, andandosi a sovrapporre su quelle carbonatiche di piattaforma (tratto meridionale) e sui detriti della Formazione della Laga (a Nord).

A partire dal Miocene superiore, il margine tirrenico è stato invece interessato da una marcata tettonica distensiva, associata all'oceanizzazione del Tirreno, che ha generato un assetto strutturale "a Horst e Graben" di direzione appenninica, spesso mascherato da potenti coltri sedimentarie (alluvionali, lacustri, marine) e bacini deposizionali post-orogenici plio-quadernari (es. Piana Pontina e Valle del Tevere).

Tali allineamenti tettonici longitudinali hanno favorito la seguente impostazione dell'attività vulcanica nel Plio-Quaternario:

- (da circa 2 a 1 Ma) chimismo acido ed intermedio (Distretto Tolfa-Cerete-Manziate, Cimini, Isole Ponziane)
- (da 0,8 Ma ad attuale) chimismo potassico con attività esplosiva subaerea (Vulsini, Vico, Sabatini e Colli Albani), che ha coperto con i suoi prodotti (lave, piroclastiti, prodotti idromagmatici) gran parte del territorio centrale e settentrionale della regione.

Le fasi finali (collapsi calderici) hanno generato le depressioni che attualmente ospitano i principali laghi del Lazio: Bolsena, Bracciano, Vico, Albano e Nemi.

Su tale articolato assetto geologico-strutturale si sono impostati complessi sistemi di circolazione idrica sotterranea che vedono, generalmente, l'esistenza (Fig. 1):

- di importanti acquiferi basali all'interno delle formazioni carbonatiche mesozoiche che trovano i naturali acquicludi in corrispondenza dei limiti geologici con le formazioni silicoclastiche o detritiche di fondovalle, ovvero in corrispondenza di importanti fasce tettonizzate;
- di acquiferi vulcanici caratterizzati da una complessa circolazione idrica sotterranea determinata dalle notevoli differenze di permeabilità dei diversi litotipi che costituiscono gli stessi edifici vulcanici;
- di acquiferi delle piane alluvionali interne o costiere, caratterizzati da falde multistrato alimentate anche dai travasi idrici provenienti dagli acquiferi carbonatici o vulcanici e interconnesse con i corpi idrici superficiali.

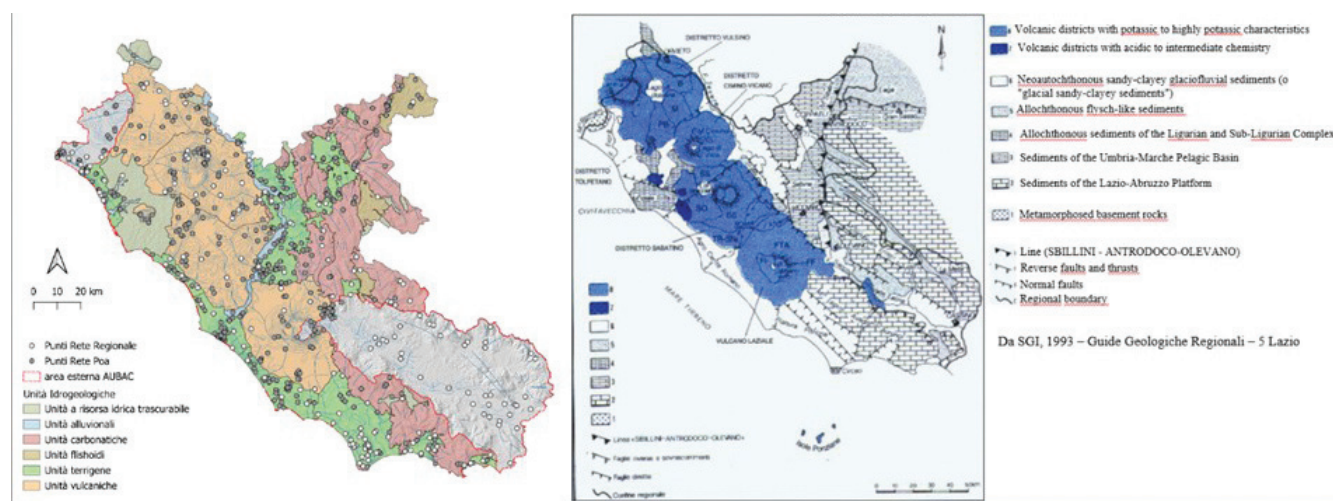


Fig. 1 - Main hydrogeological (Left) and geological (Right) units (SGI, 1993 Guide Geologiche Regionali - 5 Lazio) in the Lazio region.

Fig. 1 - Principali unità idrogeologiche (img. sinistra) e geologiche (img. destra) Lazio (SGI, 1993 Guide Geologiche Regionali - 5 Lazio) nella Regione.

Metodo di studio

Implementazione della rete

L'implementazione della rete di monitoraggio POA (Fig. 2) è stata pianificata selezionando i punti in accordo con le linee guida ISPRA n. 114/2014. I punti sono stati distribuiti nei CIS del Lazio ricadenti nel territorio di competenza dell'AUBAC, secondo le seguenti fasi operative:

- Fase conoscitiva: raccolta e analisi di informazioni preliminari mediante approfondimenti bibliografici, consultazione dei database esistenti e analisi dei dati pregressi; definizione delle peculiarità geologiche e idrogeologiche dei diversi CIS; individuazione di sorgenti e pozzi ricadenti nei relativi ambiti territoriali;
- Fase di scouting: attività di campo comprendenti rilievi fotografici, redazione di verbali, schede tecniche e popolamento di database dedicati; formulazione di valutazioni e considerazioni tecniche finalizzate all'individuazione di n.120 punti ricadenti nei CIS Vulcanici (anno 2023), n.205 punti nei CIS delle Unità Detritico-Alluvionali e Alluvionali (anno 2024) e n.35 punti nei CIS Carbonatici (anno 2025). L'identificazione univoca di ciascun punto è stata realizzata mediante un codice alfanumerico progressivo, costituito dal codice europeo del CIS seguito da un numero progressivo accompagnato dalla lettera P se pozzo/piezometro o S se sorgente/fontanile (p.e. DQ001_S001);
- Fase operativa: individuazione dei punti idonei (classificati ulteriormente come UTILI, RISERVE e NON UTILI) sulla base della rappresentatività rispetto al singolo CIS e in conformità a criteri tecnici e protocolli operativi ufficiali. La valutazione ha tenuto conto dell'accessibilità dei siti (in particolare in aree private), della sicurezza dei luoghi, e delle caratteristiche tecniche delle opere di captazione (tipologia, anno installazione, uso della risorsa, allestimento tecnico, ecc.). Tutte le informazioni acquisite sono state digitalizzate mediante applicativi GIS.

Le attività, in fase di completamento, hanno consentito di strutturare una rete di monitoraggio regionale calibrata alle esigenze conoscitive del territorio laziale, complesso per la sua variabilità geologica, strutturale e idrogeologica.

Monitoraggio qualitativo

In funzione del contesto ambientale, ciascun punto di monitoraggio è stato campionato con cadenza semestrale o trimestrale, qualora ricadente in Zona Vulnerabile ai Nitrati (ZVN). Le attività di campionamento sono state condotte nel rispetto dei protocolli tecnici e dei riferimenti normativi, e hanno previsto il prelievo diretto di acqua (da pozzo o sorgente) mediante rubinetto oppure tramite elettropompa da 2", dotata di regolatore di flusso.

Contestualmente ai prelievi sono stati rilevati i principali parametri di campo fisico-chimici (temperatura, pH, conducibilità elettrica, potenziale redox, ossigeno disciolto), mediante sonde multiparametriche in dotazione ad ARPA Lazio (modello YSI Professional plus).

I campioni sono stati analizzati per la ricerca dei principali anioni (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) e cationi (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) ed ulteriori sostanze specifiche elencate nelle Tabelle 2 e 3, lettera B, Parte A, Allegato 1, Parte Terza del D.lgs. 152/2006 e s.m.i.

Tutte le analisi sono state eseguite presso i laboratori di ARPA Lazio, accreditati ACCREDIA. Le determinazioni analitiche sono state gestite secondo le procedure interne dell'Agenzia mediante il sistema L.I.M.S. (Laboratory Information Management System). I dati raccolti vengono periodicamente estratti e validati prima di essere utilizzati per la redazione di report o resi disponibili per la consultazione pubblica.

L'elaborazione dei risultati analitici, effettuata con l'ausilio dell'applicativo open source "Diagrammes" (sviluppato dall'Università di Avignone) e l'eliminazione dei c.d. outliers ha consentito di definire le facies idrochimiche dei diversi CIS.

Installazione data-logger

Sulla base dei dati bibliografici e dei risultati delle analisi svolte in passato da ARPA Lazio, sono stati selezionati 5 settori della costa laziale su cui concentrare, in questa fase, le indagini relative ad eventuali fenomeni di intrusione salina. Dalla primavera 2024 sono stati individuati 21 punti in cui installare i data-logger (Diver®), per l'acquisizione in continuo dei parametri di temperatura, conducibilità elettrica

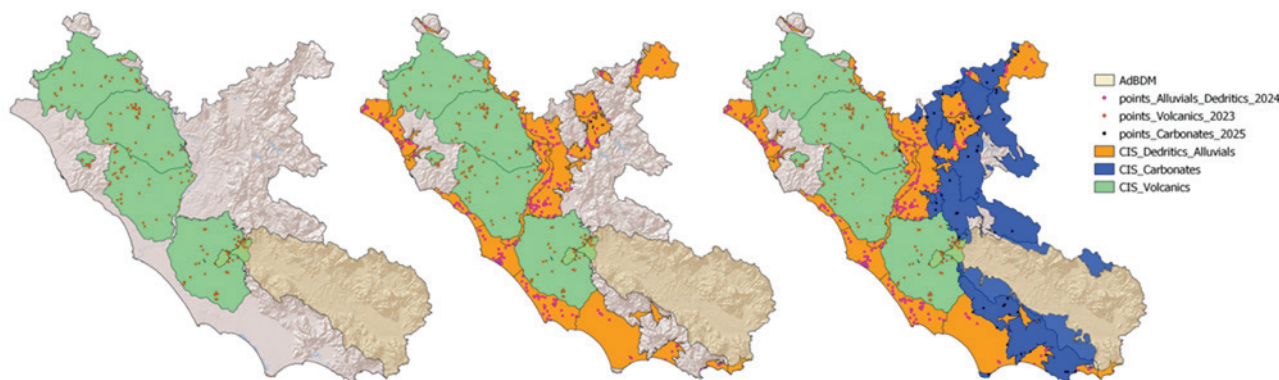


Fig. 2 - Implementation of the monitoring network in the Central Apennine Hydrographic District. 558 inspections activities, 360 points selected, 123 points excluded, 75 reserves.

Fig. 2 - Implementazione della rete di monitoraggio afferente al distretto idrografico dell'Appennino Centrale. 558 attività di sopralluogo, 360 punti selezionati, 123 punti esclusi, 75 riserve

e pressione idrostatica. Analogamente alle altre attività di campo, tutte le operazioni sono state documentate mediante rilievi fotografici e redazione di appositi verbali.

I data-logger sono stati monitorati ad intervalli temporali prestabiliti per verificarne il corretto funzionamento e per scaricare i dati registrati. Lo storico delle misure è stato elaborato utilizzando il software Diver-Office SW®, al fine di identificare eventuali anomalie chimico-fisiche.

La scarsa disponibilità di punti idonei all'installazione della strumentazione impedisce ancora il monitoraggio in continuo, del settore a nord della foce del Tevere (Maccarese/Fiumicino), nonostante i dati analitici evidenzino anomalie di conducibilità elettrica.

Analisi delle pressioni sui CIS

Ad inizio marzo 2024, con l'avvio delle attività di cui all'Azione A.2.1.Lazio1, sono state valutate 19 sorgenti in concessione ai gestori della derivazione, già incluse nella rete di monitoraggio regionale e ricadenti nei CIS carbonatici del Lazio ricompresi nel perimetro di competenza dell'AUBAC. A seguito di sopralluoghi ed approfondimenti tecnici, 12 di esse (Fig. 3) sono state selezionate per il monitoraggio, sulla base dei criteri descritti nel paragrafo "Implementazione della rete".

Contaminanti emergenti – Ogni sorgente è stata campionata con frequenza trimestrale per la determinazione delle microplastiche e con frequenza semestrale per la ricerca di PFAS.

Per il campionamento delle microplastiche, in assenza di procedure e linee guida specifiche per le acque sotterranee e considerata la natura dei contaminanti ricercati e la sito-specificità delle sorgenti indagate, i tecnici ARPA Lazio hanno impiegato attrezzature realizzate ad hoc, quali elettropompe in acciaio e/o derivazioni con tubi metallici, equipaggiati con filtri in maglia metallica da 0.3 mm (Fig. 4). Le procedure

di campionamento hanno incluso specifiche misure di decontaminazione dell'attrezzatura, l'esecuzione di campioni di bianco preliminare laddove necessario e, per quanto possibile, l'impiego di strumentazione priva di componenti in plastica (Fig. 4). In laboratorio, il materiale trattenuto dai filtri è stato selezionato allo stereomicroscopio e sottoposto ad analisi quali-quantitativa consistente nel conteggio e nella classificazione su base morfologica e cromatica. Tutte le particelle prelevate sono state documentate con foto e schede tecniche dedicate.

Monitoraggio quantitativo - Mensilmente vengono effettuate misure di portata, alcune delle quali con correntometro OTT MF Pro e relativo applicativo QReview, per determinare quanto del volume erogato dalla polla sorgiva viene immesso in rete dal gestore e quanto va ad alimentare il deflusso naturale. L'elaborazione delle portate misurate ha consentito di definire le oscillazioni mensili, le tendenze stagionali, una prima valutazione sulla ricarica del CIS e, soprattutto, quale pressione viene esercitata sul medesimo CIS attraverso la singola sorgente.

Risultati preliminari e prospettive future

I dati delle misurazioni ed analisi finora elaborati (2023-2024), per i quali si riportano le considerazioni preliminari, saranno oggetto di ulteriori esami e confronti con i dati raccolti fino alla conclusione del progetto (31 Dicembre 2025), al fine di confermare o meno le criticità attualmente emerse, elencate di seguito.

Facies idrochimica - I dati sulla speciazione ionica emersi dall'analisi di 650 campioni di acqua prelevati dai CIS Vulcanici e Detritico-Alluvionali, hanno consentito di definirne la facies idrochimica, come meglio dettagliato nell'esempio di Figura 3. La rappresentazione dei dati sul diagramma di Piper sta mettendo in evidenza alcuni aspetti idrochimici dei CIS legati a particolari fenomeni quali, ad

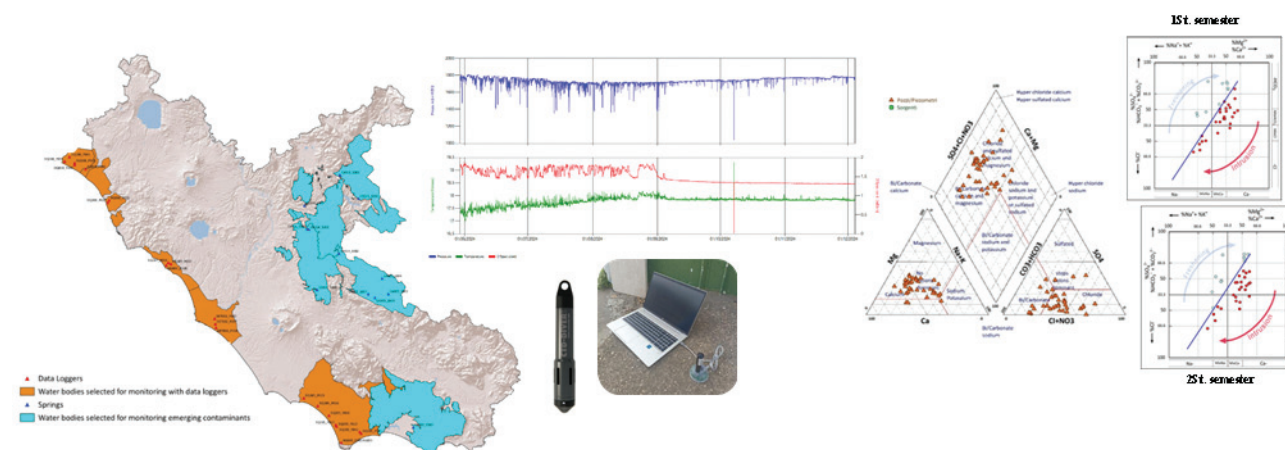


Fig. 3 - Location of automatic acquisition systems in wells along the Lazio coast and location of the springs selected for the study of pressures and impacts on the carbonate groundwater complexes. On the right graphical representation of the information recorded by data logger DQ005_P025 (Pontina Plain) and hydrochemical facies of Pontina Plain (Piper diagramme) and its related Hydrochemical Facies Evolution Diagram (HEF-D) proposed by Giménez-Forcada.

Fig. 3 - Ubicazione dei sistemi di acquisizione automatica nei pozzi lungo la costa laziale e localizzazione delle sorgenti selezionate per lo studio delle pressioni e degli impatti sui corpi idrici sotterranei carbonatici. A destra rappresentazione grafica delle informazioni registrate dal data logger DQ005_P025 (Pianura Pontina) e delle facies idrochimiche della Pianura Pontina (diagramma Piper) e del relativo Diagramma Evolutivo delle Facies Idrochimiche (HEF-D) proposto da Giménez-Forcada.

esempio, i travasi tra un CIS ed uno contiguo od il loro eccessivo sfruttamento.

Intrusione salina—L'elaborazione dei dati finora rilevati con il monitoraggio in continuo (10 mesi) focalizzato sui 5 settori costieri del Lazio, sta ponendo in risalto alcuni aspetti critici legati al sovrasfruttamento della risorsa idrica.

I valori misurati stanno mostrando locali e stagionali anomalie, sia in termini di ricarica delle falde che per la qualità chimico-fisica, imputabili a momenti di particolare stress indotto da esigenze irrigue nel periodo asciutto (aumento della temperatura e della conducibilità elettrica), riscontrate in una porzione costiera della Piana pontina, localmente nella Maremma laziale o nel settore litoraneo a nord di Roma.

Le anomalie sembrano annullarsi progressivamente nella stagione umida, ma devono essere un campanello d'allarme, tali da giustificare monitoraggi approfonditi in considerazione dei cambiamenti in atto (variazione degli apporti meteorici e fabbisogno idrico).

Valutazione pressioni - Le portate mensili rilevate sulle 12 sorgenti nei complessi carbonatici fanno riferimento al periodo marzo 2024-settembre 2025, sufficientemente lungo da porre in evidenza la necessità di un monitoraggio esteso nel tempo, che consenta di studiare alcuni aspetti emersi dalle recenti elaborazioni. Ad esempio: variazioni nella ricarica (comprendere quale sia l'impatto associato alle pressioni antropiche da quello dei cambiamenti climatici), sfruttamento della risorsa, garanzia di deflusso ecologico di cui al PGA.

Contaminanti emergenti – La tematica delle microplastiche rappresenta un ambito completamente nuovo dal punto di vista normativo ed estremamente complesso sul piano scientifico, costituendo uno degli aspetti su cui lo studio ha posto particolare attenzione. L'esperienza acquisita nel corso delle attività ha consentito ad ARPA Lazio di elaborare una procedura tecnica che sta agevolando le fasi operative. Tale procedura sarà a breve oggetto di una specifica pubblicazione, con l'auspicio di fornire un contributo alla definizione di future linee guida relative alla preparazione, al campionamento, alla conservazione e all'analisi dei campioni di microplastiche delle acque sotterranee.



Fig. 4 - Typical source sampling with a metal branch tube and a 0.3 mm metal filter. Microplastics observed on the sample under a microscope.

Fig. 4 - Tipico campionamento da sorgente con tubo metallico di derivazione e filtro in metallo da 0,3mm. Microplastiche osservate su campione da microscopio.