



## Partner del Progetto



*Gestione sostenibile delle acque nella bassa Val di Cornia attraverso la riduzione della domanda idrica, la ricarica della falda e la riqualificazione fluviale*

**(LIFE14 ENV/IT/001290)**



*Report sull'impatto delle azioni messe in atto nel progetto LIFE REWAT sullo stato chimico delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia. Terzo anno di monitoraggio (2020-2021)*

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Azione   | C3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Versione | 3.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Data     | 31/12/2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Autori   | Rudy Rossetto (SSSA), Alessio Barbagli (SSSA), Laura Ercoli (SSSA), Alessandra Francini (SSSA), Esteban Rafael Caligaris (SSSA), Franca Palumbo (ASA), Roberta Maggiorelli (ASA), Barbara Papi (ASA), Andrea Rossi (ASA), Claudio Benucci (ASA), Patrizio Lainà (ASA), Bracaloni Leonardo (ASA), Campigli Massimo (ASA) |
| Stato    | Versione finale                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Cofinanziatori del Progetto





***Report sull'impatto delle azioni messe in atto nel progetto  
LIFE REWAT sullo stato chimico delle acque sotterranee nella  
pianura costiera del Fiume Cornia.  
Terzo anno di monitoraggio (2020-2021)***

P

Per citare questo rapporto:

Rossetto, R., Barbagli, A., Ercoli, L., Francini, A., Caligaris, E.R., Palumbo, F., Maggiorelli, R., Papi, B., Rossi, A., Benucci, C., Lainà, P., Bracaloni, L., Campigli, M. (2021). Report sull'impatto delle azioni messe in atto nel progetto LIFE REWAT sullo stato chimico delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia. Terzo anno di monitoraggio (2020-2021). Rapporto Azione C3 (2019-2020). Progetto LIFE REWAT, <https://www.liferewat.eu/c3.html>

## Riassunto

In questo rapporto si dettagliano gli impatti delle azioni intraprese nel progetto LIFE REWAT sulla qualità delle acque sotterranee. In particolare, si presenta: i) l'impatto del terzo anno di attività di ricarica della falda in condizione controllata in località Forni nel Comune di Suvereto, ii) e quindi dell'intero complesso delle azioni del LIFE REWAT sull'acquifero della pianura costiera del Fiume Cornia.

Nel terzo anno di ricarica, si sono infiltrati ulteriori 500000 m<sup>3</sup> di acqua di buona qualità. Le operazioni sono state monitorate prelevando campioni di acqua del Fiume Cornia e acque sotterranee a monte e valle idrogeologica rispetto all'impianto di ricarica, come già eseguito in occasione della progettazione e realizzazione dell'impianto tra il 2016 ed il 2018, e nel primo e secondo anno di ricarica. Si rileva come l'esercizio dell'impianto di ricarica della falda non abbia generato modifiche particolari, ed in negativo, della chimica delle acque sotterranee o criticità. In linea generale, l'area dei Forni nel Comune di Suvereto presenta acque sotterranee con scarse problematiche a livello di qualità chimica rispetto alle aree più occidentali della pianura. E' quindi un'area cui porre particolare attenzione per migliorare la disponibilità e la qualità dell'approvvigionamento idropotabile.

I risultati dei monitoraggi effettuati per caratterizzare le acque sotterranee dell'acquifero della pianura costiera del Fiume Cornia mostrano una situazione molto complessa dal punto di vista idrochimico. Circa l'impatto delle azioni sullo stato qualitativo dell'acquifero, prendendo i risultati delle analisi per singolo parametro – soprattutto nella fascia costiera, nel quarto anno di monitoraggio la situazione appare in leggero miglioramento. Se grazie alla posizione della isolina 2500 µS/cm di conducibilità elettrica delle acque sotterranee è possibile stabilire che durante il periodo di progetto 7 km<sup>2</sup> sono passati in area a qualità migliore, il fenomeno della salinizzazione non sembra invertito completamente. Sulle base dei dati rilevati di conducibilità elettrica e del contenuto in cloruri, si conferma il cuneo salino verso il campo pozzi Coltie presso l'abitato di Venturina, con origine dell'ingressione potenzialmente dalla zona costiera di Rimigliano.

La situazione idrodinamica è invece in netto miglioramento. Per la soluzione strutturale del problema della salinizzazione nella zona di Venturina, si è proposto nella fase di preparazione del Contratto di Fiume del Fiume Cornia (Azione B9) di spostare parte dei prelievi di ASA spa nella zona di Forni, sfruttando i potenziali volumi di ricarica derivanti dall'ampliamento dello stesso (e stimati in circa 1.2/1.5 m<sup>3</sup> annui). In questo modo si andrà di fatto a diminuire i prelievi sull'area a ridosso della fascia costiera e quindi il richiamo di acqua di mare.



## Abstract

This report details the impacts of the actions undertaken in the LIFE REWAT project on the quality of groundwater. In particular, the following are presented the impact: i) of the third year of managed aquifer recharge activity in Forni (Municipality of Suvereto), and ii) of the entire set of LIFE REWAT actions on the coastal plain aquifer of the Cornia River.

In the third year of managed aquifer recharge, an additional volume of 500000 m<sup>3</sup> of good quality water was infiltrated. The operations were monitored by taking samples of water from the Cornia River and groundwater upstream and downstream of the MAR scheme, as already carried out during the design and construction of the system between 2016 and 2018, and in the first and second year of recharge. The MAR operations did not generate particular, and negative, changes in the chemistry of the groundwater or any other critical issue. In general, groundwater in the Forni area in the Municipality of Suvereto shows few problems in terms of chemical quality compared to the westernmost areas of the plain. It is therefore an area to pay particular attention to in order to improve the availability and quality of drinking water supply.

The results of the monitoring carried out to characterize the groundwater of the aquifer of the coastal plain of the Cornia River show a very complex situation from a hydrochemical point of view. Regarding the impact of the actions on the qualitative status of the aquifer, taking the results of the analyzes by single parameter - especially in the coastal strip, in the fourth year of monitoring the situation appears to slightly improve. The present position of the isoline 2500  $\mu\text{S} / \text{cm}$  of electrical conductivity defines a 7 km<sup>2</sup> area with improved quality. However, the groundwater salinization process does not seem to be completely reversed. On the basis of the data collected on electrical conductivity and chloride content, the saline wedge towards the Coltie well field near the town of Venturina is confirmed, potentially originating from the coastal area of Rimigliano.

The hydrodynamic situation, on the other hand, is clearly improving. For the structural solution of the salinization problem in the Venturina area, it was proposed in the preparation phase of the Cornia River Contract (Action B9) to move part of the ASA spa withdrawals to the Forni area, exploiting the potential recharge volumes deriving from its expansion (and estimated at approximately 1.2 / 1.5 m<sup>3</sup> per year). This way, the withdrawals in the area close to the coastal strip will in fact be reduced and hence seawater intrusion.



## **Indice**

|                                                                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. Introduzione                                                                                                   | 2    |
| 2. Materiali e metodi                                                                                             | 4    |
| 2.1 Esecuzione analisi                                                                                            | 8    |
| 3. Risultati                                                                                                      | 10   |
| 3.1 Impatto dell’impianto di ricarica della falda in condizioni controllate sulla qualità delle acque sotterranee | 10   |
| 3.2 Impatto delle azioni intraprese sulla qualità delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia | ..16 |
| 4. Conclusioni                                                                                                    | 27   |
| Bibliografia                                                                                                      | 28   |

## **Allegati**

### **Allegato C3.1**

File .pdf delle determinazioni analitiche effettuate.

## 1. Introduzione

In questo report si dettagliano le attività svolte nell'Azione C3 ed i risultati conseguiti circa l'impatto delle azioni messe in atto nel progetto LIFE REWAT sullo stato chimico delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia nel terzo anno di monitoraggio (2020-2021). Nell'Azione C3 ASA in collaborazione con SSSA ha condotto le campagne di monitoraggio della qualità delle acque per verificare l'efficacia e gli effetti degli interventi in programma (strutturali e non-strutturali) e per analizzare se questi siano osservabili, anche in un breve arco temporale, non solo nelle aree degli interventi, ma anche su porzioni più ampie della pianura. Nel periodo monitorato da questo report le attività hanno continuato ad essere impattate dallo sviluppo della pandemia Covid-19.

Il monitoraggio idrochimico ha seguito due diversi obiettivi. Il primo è stato rivolto a verificare gli impatti derivanti dal funzionamento dell'impianto di ricarica delle falde sullo stato chimico delle acque sotterranee nell'area di Forni, fino a località Campo alla Gera (ove è localizzato un punto di approvvigionamento idropotabile), così come anche richiesto dal DM 100/2016. Il secondo obiettivo invece è stato rivolto al monitoraggio degli impatti delle azioni di progetto sulla qualità delle acque sotterranee sull'intera pianura costiera del Fiume Cornia. Questi due obiettivi guidano lo sviluppo di questo report.

Il programma di monitoraggio, da progetto, prevede l'analisi delle acque del Fiume Cornia, delle acque sotterranee nell'intorno dell'impianto di ricarica e l'esecuzione di transetti attraverso la pianura del Fiume Cornia, per un totale di circa 400 aliquote di acqua (campioni). La ripartizione iniziale dei campioni aveva individuato un prelievo ottimale in 36 campioni di acque superficiali, 230 campioni di acque sotterranee nell'intorno dell'impianto di ricarica della falda in condizioni controllate e 130 campioni nella pianura del Fiume Cornia.

Nel periodo oggetto di questo report, in totale sono stati prelevati 72 campioni nell'area dell'impianto di ricarica (Tab.1.1). Per il monitoraggio degli effetti delle azioni del progetto LIFE REWAT nella restante parte della pianura sono stati prelevati 24 campioni nel 2021. In totale, nel periodo oggetto del presente rapporto sono stati analizzati 72 campioni, di cui 67 di acque sotterranee e 6 di acque superficiali.

|                                                 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | Totale |
|-------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--------|
| <b><i>Pianura costiera del Fiume Cornia</i></b> | 0    | 0    | 41   | 41   | 33   | 24   | 139    |
| <b><i>Area impianto di ricarica</i></b>         | 7    | 54   | 40   | 80   | 57   | 72   | 310    |
| <b><i>Acque Sotterranee</i></b>                 | 5    | 45   | 76   | 113  | 85   | 67   | 314    |
| <b><i>Acque Superficiali</i></b>                | 2    | 9    | 5    | 8    | 5    | 6    | 35     |
| <b><i>Totale</i></b>                            | 7    | 54   | 81   | 121  | 90   | 72   | 449    |

Tabella 1.1. Campioni raccolti negli anni 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021.

Di seguito sono riportate nelle Tabelle 1.2 (a) e (b) il numero di campagne di monitoraggio effettuate negli anni dal 2016 al 2021 rispettivamente per la determinazione della conducibilità elettrica dell'acqua (45 campagne di rilevamento effettuate) e per il numero di campioni prelevati (6 campagne di prelievo effettuate). Nelle tabelle le campagne sono suddivise convenzionalmente in campagne in cui sono stati monitorati più o meno di 12 punti, consistendo i 12 punti nel numero di piezometri prossimi all'impianto di ricarica della falda.

| <b>Conducibilità elettrica</b>          | <b>2016</b> | <b>2017</b> | <b>2018</b> | <b>2019</b> | <b>2020</b> | <b>2021</b> | <b>Totale</b> |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Campagne con punti monitorati $\geq 12$ | 0           | 0           | 4           | 3           | 4           | 7           | 18            |
| Campagne con punti monitorati $< 12$    | 2           | 11          | 6           | 7           | 1           | 0           | 27            |

(a)

| <b>Campioni prelevati</b>               | <b>2016</b> | <b>2017</b> | <b>2018</b> | <b>2019</b> | <b>2020</b> | <b>2021</b> | <b>Totale</b> |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Campagne con punti monitorati $\geq 12$ | 0           | 0           | 3           | 3           | 4           | 6           | 16            |
| Campagne con punti monitorati $< 12$    | 2           | 11          | 3           | 7           | 1           | 0           | 24            |

(b)

Tabella 1.2. Campagne effettuate negli anni 2016-2021 per la determinazione della conducibilità elettrica (a) e la raccolta di campioni di acqua (b).

Nelle successive sezioni riportiamo in Materiali e Metodi le metodologie di campionamento ed analitiche. Nella sezione Risultati sono presentati i dati: a) per l'area relativa all'impianto di ricarica (Forni), b) per la pianura del Fiume Cornia a valle di Campo alla Gera. Per l'inquadramento di dettaglio del dominio di studio e delle tematiche riguardanti le azioni illustrate in questo report, si rimanda il lettore agli altri report prodotti nel contesto del progetto LIFE REWAT, ed in particolare ai documenti relativi alle Azioni A3, A4, A5 ed A6. Per il dettaglio dei risultati dei precedenti periodi di monitoraggio, ed alla parte metodologica (non ripetuta in questo report) si rimanda il lettore ai report C1 (Rossetto et al., 2020; Rossetto et al., 2021) e C3 (Rossetto et al., 2020b; Rossetto et al 2021b) relativi al primo periodo di monitoraggio.

## 2. Materiali e metodi

Come detto in premessa, il monitoraggio idrochimico è stato focalizzato su due diversi obiettivi. Il primo è stato verificare gli impatti derivanti dal funzionamento dell'impianto di ricarica delle falde sullo stato chimico delle acque sotterranee nell'area di Forni, fino a località Campo alla Gera, così come anche richiesto dal DM 100/2016. Il secondo invece è stato il monitoraggio degli impatti delle azioni di progetto sulla qualità delle acque sotterranee sull'intera pianura costiera del Fiume Cornia. Si fa qui presente che l'impianto di ricarica LIFE REWAT è ad oggi uno dei due impianti di ricarica in operatività in Italia e per tale motivo è sottoposto dagli enti di controllo a importanti attività di monitoraggio con cadenza mensile durante il periodo di operatività.

La Figura 2.1 presenta tutti i punti nei quali nel periodo 2020-2021 è stato monitorato almeno una volta il parametro conducibilità elettrica, la Figura 2.2 i punti nei quali è stato prelevato almeno un campione. In detta Figura i punti sono distinti in superficiali, rappresentativi dell'acquifero freatico o dei primi 20 m di colonna d'acqua, ovvero in cui possa esservi influenza delle acque meteoriche, e profondi, rappresentativi di porzioni dell'acquifero non direttamente interessate dalla ricarica meteorica.

Per il monitoraggio dell'intera pianura costiera del Cornia, abbiamo sempre cercato di campionare un numero di 24 punti a campagna. Allo stato attuale ciò non è stato sempre possibile. Infatti, mentre la rete di monitoraggio per l'area dell'impianto di ricarica è costituita nella totalità da punti (piezometri e pozzi) in disponibilità dei partner del progetto, nella rete per l'intera pianura è compreso un alto numero di pozzi privati. Per vari motivi, quali ad esempio, indisponibilità dei proprietari, guasti alle pompe, abbandono del punto di prelievo per cessazione attività, nel tempo, non è sempre stato possibile monitorare gli stessi punti. Si deve inoltre rilevare la diffidenza dei proprietari dei pozzi nel permettere l'accesso ai punti d'acqua di proprietà, causa per cui la definizione della rete ha richiesto un elevato investimento in termini di tempo. La qualità della rete di monitoraggio è andata comunque migliorando nel tempo. Si è cercato di focalizzarla, soprattutto nell'area lungo la costa, su punti che permettessero di investigare, ove possibile, livelli acquiferi a profondità superiore ai 20 m e fenestrati su singoli livelli.

I dati analitici misurati in laboratorio sono archiviati in un Sistema Informatico di Laboratorio (LIMS) Polynfo, fornito dalla società Polysystem Informatica srl e di proprietà di ASA. I dati archiviati comprendono le informazioni relative all'anagrafica del punto, i dati relativi ai parametri analitici misurati ed i risultati ottenuti. Il Laboratorio prevede nelle sue procedure, dopo l'inserimento dei dati, la validazione su due livelli, meccanismo che garantisce il controllo delle registrazioni effettuate. I dati archiviati nel LIMS, sono stati estratti in formato Excel, e allegati alla presente relazione (Allegato C3.1). I dati sono inoltre stati archiviati in un database geografico per procedere all'analisi spaziale degli stessi. Questo database Sqlite, oltre a contenere le informazioni sui rilievi piezometrici, comprende tutti i risultati delle determinazioni effettuate in campo, delle analisi chimiche e microbiologiche delle acque sotterranee e delle acque superficiali eseguite negli anni 2016-2021 (il file, un database Spatialite, è accessibile utilizzando software gratuito e open source, come ad es. il GIS desktop QGIS). Si descrivono qui di seguito le modifiche apportate al protocollo sperimentale di campionamento utilizzato e le determinazioni analitiche eseguite in laboratorio nel periodo oggetto del report. Per la descrizione completa dei materiali e metodi si fa riferimento alla relazione C3 relativa alla prima stagione di monitoraggio (Rossetto et al., 2020b).

Il Laboratorio di Analisi ASA ha la certificazione di Qualità ai sensi della norma UNI EN ISO 9001:2015, ed è accreditato, secondo quanto previsto dalla UNI CEI EN ISO/IEC 17025: 2018.

A partire dal mese di Dicembre 2020, in seguito a confronto con ARPAT dell'Ottobre 2020, si è deciso di applicare ai campioni prelevati il profilo analitico MAR\_3 (dettagliato in Tabella 2.1), in sostituzione dei profili MAR\_1 e MAR\_2 precedentemente utilizzati.

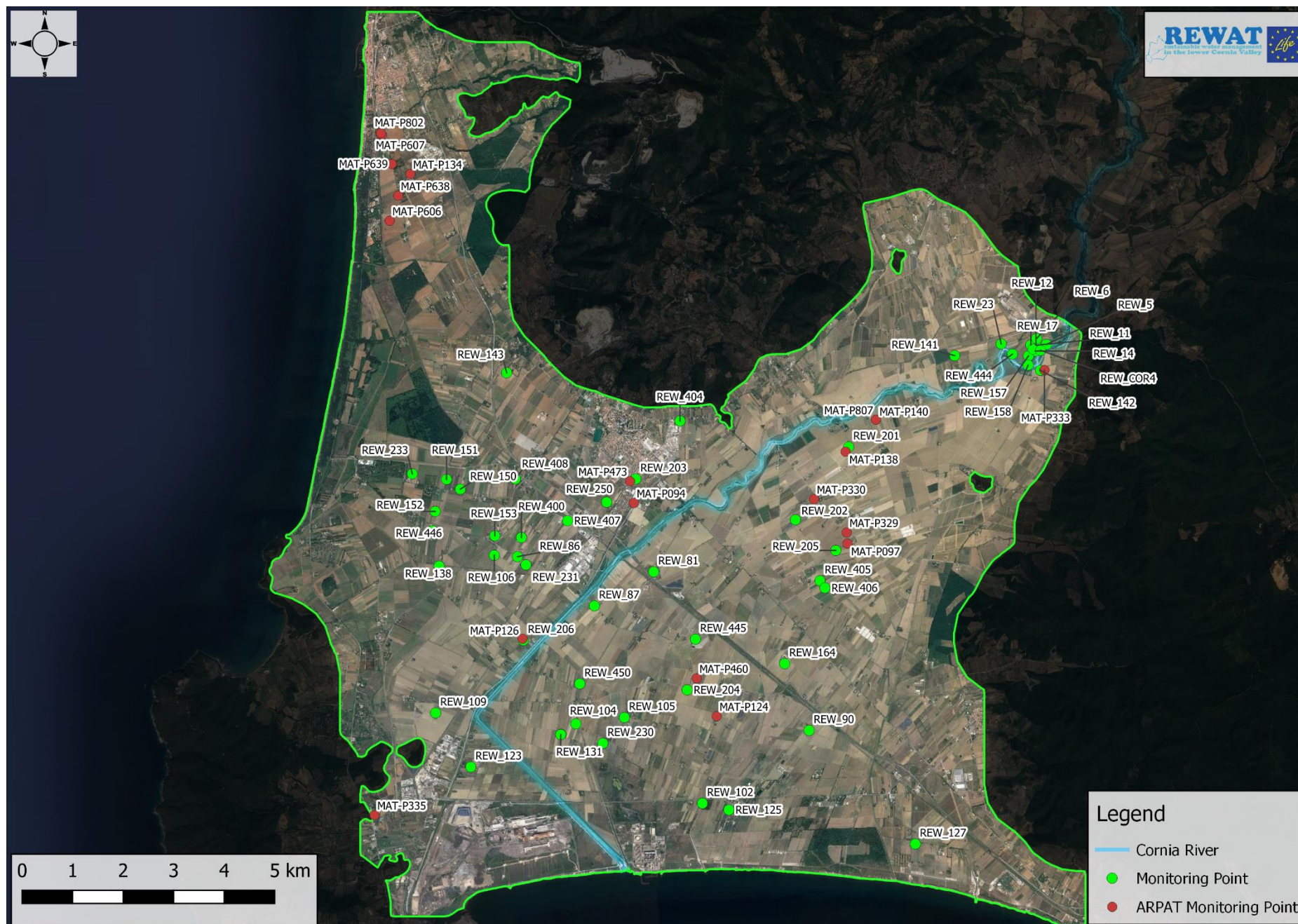


Figura 2.1. Punti ai quali è stata determinata la conducibilità elettrica nel periodo 2020/2021 nel LIFE REWAT e punti monitorati da ARPAT.

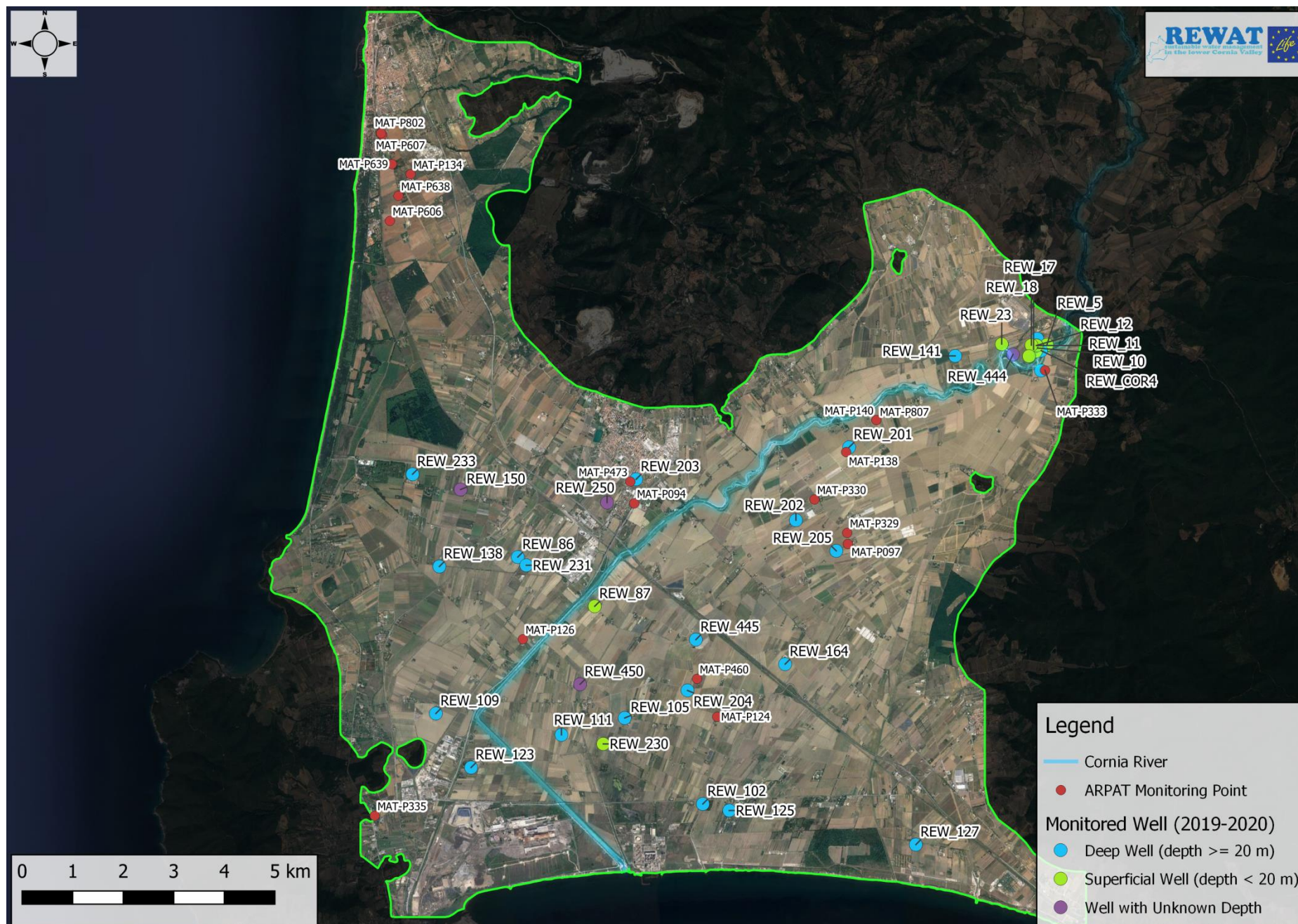


Figura 2.2. Punti ai quali è stato prelevato almeno un campione nel periodo 2018/2021 nel LIFE REWAT e punti monitorati da ARPAT.

| REWAT POST 26/10/2020 |
|-----------------------|
| Stronzio              |
| Bromuri               |
| TOC/DOC               |
| Manganese             |
| Ferro                 |
| Alluminio             |
| Arsenico              |
| Boro                  |
| Calcio                |
| Magnesio              |
| Sodio                 |
| Potassio              |
| Fluoruro              |
| Cloruro               |
| Solfato               |
| Nitrato               |
| Bicarbonati           |

Tabella 2.1. Profilo analitico MAR\_3 utilizzato da Dicembre 2020.

## 2.1 Esecuzione analisi

Il laboratorio di ASA ha eseguito le analisi chimiche e batteriologiche con le proprie dotazioni strumentali e secondo le procedure inserite nel sistema Qualità UNI EN ISO 9001:2015.

### Metodi analitici

Il Laboratorio ASA è certificato secondo la norma UNI EN ISO 9001:2015 e ha avviato l'iter di accreditamento, secondo quanto previsto dalla UNI CEI EN ISO/IEC 17025: 2018. Ha presentato domanda di accreditamento ad ACCREDIA, nel dicembre 2019. I metodi applicati ai parametri richiesti con i relativi LOQ rilevati vengono riportati nella tabella inserita di seguito. Si precisa che per LoQ (*Limit of Quantification*) si intende il valore più basso, di un determinato parametro, che lo strumento è in grado di rilevare. Per ogni parametro è previsto un Metodo di analisi normato: l'elenco completo dei parametri e i relativi metodi utilizzati, sono riportati nella Tabella 2.4 a seguire. Si precisa che non sono stati utilizzati Metodi interni.

### Strumentazione analitica utilizzata

Per le analisi dei Metalli è stato utilizzato un ICP-OES della ditta Varian modello 720 ES con nebulizzatore ad ultrasuoni della ditta CETAC che permette di raggiungere un livello di sensibilità maggiore rispetto ai tradizionali metodi di introduzione del campione utilizzati. E' inoltre associato un autocampionatore e i risultati vengono elaborati tramite un software di gestione, denominato ICP Expert II. Le analisi degli anioni sono eseguite utilizzando un cromatografo ionico della ditta Thermo, modello Integrion con generatore automatico di eluente, dotato di autocampionatore modello AS40 e software di gestione, Chromeleon vers.7.2. Le metodologie analitiche sono illustrate per ogni analita in Tabella 2.2.

Per entrambe le determinazioni, in ogni sessione analitica viene introdotto uno Standard di controllo ad inizio sequenza e uno Standard di controllo alla fine del batch analitico, come da procedure interne del Laboratorio ASA (PRO LAB 01 e PRO LAB 04).

Il sistema qualità dei dati, impone inoltre che i risultati ottenuti vengano inseriti all'interno di Carte di Controllo, per monitorare l'andamento nel tempo di tali misure e garantire che siano allineati con gli standard fissati dal Laboratorio ASA e dai metodi di analisi applicati.

Per verificare la ripetibilità strumentale vengono eseguite prove in doppio, utilizzando Standard di controllo e campioni reali. I risultati di tali prove vengono introdotti in specifiche Carte di controllo, in modo, anche in

questo caso, di garantire la rispondenza con i valori fissati di variabilità fissati dal Laboratorio ASA. La taratura strumentale viene eseguita per entrambi gli strumenti ad ogni sessione analitica. Gli Standard impiegati sia per la curva di taratura che per i controlli utilizzati per la verifica sono standard multiparametrici, che rispondono ai requisiti richiesti dalla norma UNI CEI EN ISO 17034: 2017.

| <b>Parametri</b>                  | <b>Metodo Utilizzato</b>       | <b>Unità di Misura</b>                 | <b>LOQ rilevato</b> |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|---------------------|
| Stronzio                          | ISS CBB 038 rev.00             | microg/l                               | 20                  |
| Manganese                         | UNI EN ISO 11885:2009          | microg/l                               | 1,0                 |
| Litio                             | ISS CBB 038 rev.00             | mg/l                                   | 0,5                 |
| Solfato                           | UNI EN ISO 10304-1:2009        | mg/l                                   | 1,0                 |
| Fosforo Totale                    | SM-4500_P_I                    | microg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 70                  |
| Boro                              | ISS DBA 035 rev.00             | mg/l                                   | 0,05                |
| Ammoniaca                         | ISS BHE 019 rev.00             | mg/l                                   | 0,05                |
| Bicarbonati                       | UNI EN ISO 9963                | mg/l                                   | 5,0                 |
| TOC                               | UNI EN 1484:1999               | mg/l C                                 | 0,5                 |
| Fluoruri                          | UNI EN ISO 10304-1:2009        | mg/l                                   | 0,05                |
| Bromuri                           | ISS CBB 037 rev.00             | microg/l                               | 10                  |
| Cloruri                           | UNI EN ISO 10304-1:2009        | mg/l                                   | 1,0                 |
| Magnesio                          | ISS CBB 038 rev.00             | mg/l                                   | 1,0                 |
| Arsenico                          | UNI EN ISO 11885:2009          | microg/L                               | 1,0                 |
| DOC                               | UNI EN 1484:1999               | mg/l C                                 | 0,5                 |
| Calcio                            | ISS CBB 038 rev.00             | mg/l                                   | 1,0                 |
| Ferro                             | UNI EN ISO 11885:2009          | microg/l                               | 1,0                 |
| Potassio                          | ISS CBB 038 rev.00             | mg/l                                   | 0,5                 |
| Alluminio                         | UNI EN ISO 11885:2009          | microg/l                               | 1,0                 |
| Nitrati                           | UNI EN ISO 10304-1:2009        | mg/l                                   | 1,0                 |
| Batteri coliformi a 37°C          | UNI EN ISO 9308-2:2014         | MPN/100 ml                             |                     |
| Escherichia coli                  | UNI EN ISO 9308-2:2014         | MPN/ 100ml                             |                     |
| Cadmio                            | UNI EN ISO 11885:2009          | microg/l                               | 0,09                |
| Cromo                             | UNI EN ISO 11885:2009          | microg/l                               | 1,0                 |
| Rame                              | ISS DBA 035 rev.00             | microg/l                               | 1,0                 |
| Nichel                            | UNI EN ISO 11885:2009          | microg/l                               | 1,0                 |
| Piombo                            | ISS DBA 035 rev.00             | microg/l                               | 1,0                 |
| Zinco                             | ISS DBA 035 rev.00             | microg/l                               | 1,0                 |
| Mercurio                          | ISS DAB 013 rev.00             | microg/l                               | 0,2                 |
| Mercurio                          | APAT CNR IRSA 3200 MAN.29 2003 | microg/l                               | 0,03                |
| Durezza (mg CaCO <sub>3</sub> /l) | ISS BEC 031 rev.00             | mg/l CaCO <sub>3</sub>                 |                     |

Tabella 2.2. Metodologie analitiche e limite di quantificazione (LoQ) per ogni analita.

### 3. Risultati

In questa sezione si riportano i risultati del monitoraggio dell'efficacia delle azioni intraprese sulla qualità delle acque, suddividendoli in due parti: la prima relativa agli impatti dell'impianto di ricarica della falda, la seconda invece sullo stato delle acque sotterranee della pianura costiera del Fiume Cornia.

#### 3.1 Impatto dell'impianto di ricarica della falda in condizioni controllate sulla qualità delle acque sotterranee

L'impianto di ricarica della falda in località Forni a Suvereto è entrato in piena operatività nel periodo oggetto di questo report il 15 dicembre 2020; le operazioni di ricarica nel terzo anno sono terminate, di fatto a causa dell'assenza di precipitazioni e quindi di un deflusso significativo nel Fiume Cornia, il 17 Maggio 2021. In detto periodo si stima un quantitativo di circa 500000 m<sup>3</sup> di acqua effettivamente infiltrata nell'acquifero freatico. Come richiesto dagli enti di controllo, sono stati effettuati monitoraggi a cadenza mensile sin dalla fase di progettazione esecutiva e realizzazione dell'impianto (2016/2018). Questi sono poi proseguiti, sempre con cadenza mensile (tranne nel periodo legato all'emergenza COVID), durante la fase di operatività dell'impianto con il monitoraggio di almeno 9 punti di acque sotterranee (a monte ed a valle idrogeologica del bacino di infiltrazione e nel bacino stesso) ed un punto di acque superficiali, REW\_COR4, a monte dell'opera di derivazione. In Figura 3.1 sono riportati i punti oggetto di campionamento presso l'area dell'impianto di ricarica della falda (Tab. 3.1). L'esecuzione del monitoraggio in questa fase non ha sofferto delle difficoltà del monitoraggio riguardante l'intera pianura in quanto l'insieme dei punti è in piena disponibilità dei partner del progetto. Per tutti i punti oggetto del monitoraggio è stato utilizzato il profilo analitico MAR\_3 a partire dal dicembre 2020, descritto nella precedente sezione. I monitoraggi si sono svolti in accordo a quanto riportato nella sezione precedente ed al Piano di Gestione e Manutenzione, il Piano di Monitoraggio e di Controllo di Prima Allerta ed il Piano di Emergenza dell'impianto di ricarica. L'ultimo monitoraggio, a chiusura della stagione di ricarica è stato effettuato in data 14 e 15 Giugno 2021, circa un mese dopo la chiusura delle operazioni.

#### Classificazione chimica delle acque

Nella fase progettuale la quasi totalità dei punti ha mostrato la prevalenza di acque ricche nello ione bicarbonato, acque quindi di origine meteorica, chimicamente immature, le cui caratteristiche derivano da dissoluzione di calcite e dolomite, estesamente affioranti nel bacino della pianura del Fiume Cornia e presenti in abbondanza nei sedimenti alluvionali della pianura stessa (primo *end-member* nel dominio di studio). Unica eccezione era costituita dal punto REW\_141 (pozzo idropotabile ASA in località La Gera). Tale punto presentava un tipo chimico in cui il Calcio non sempre era il catione prevalente, e in cui Sodio e Potassio mostravano contenuti rilevanti, con dominante lo ione bicarbonato. In due campionamenti nel 2017 questo punto mostrò la prevalenza dello ione cloruro, ed in uno dei due casi una facies cloruro-sodica. CNR-IGG (2009) riporta la presenza di un punto situato nell'entroterra, nei pressi di Suvereto, il cui chimismo Na-Cl non è imputabile a contributi di origine marina (secondo *end-member*). Si riportava inoltre, la presenza di acque solfato-calciche, con temperatura intorno ai 39°C e conducibilità elettrica intorno ai 2500 µS/cm, molto diverse da quelle campionate nell'acquifero freatico in zona Forni, terzo *end-member* nel dominio investigato.

I dati relativi al primo e secondo periodo di operatività dell'impianto di ricarica (2018-2019) non hanno mostrato alcun cambiamento di facies per i punti campionati in precedenza (con un leggero aumento in Magnesio). La stessa facies bicarbonato-calcica era mantenuta anche dai nuovi punti oggetto del monitoraggio, aggiunti rispetto alla fase di progettazione e realizzazione. REW\_141 mostrava in maniera più marcata il tipo chimico in cui il Calcio non è il catione prevalente, con contenuti rilevanti di Sodio e Potassio, mentre dominante è lo ione bicarbonato. Non veniva più rilevata la dominanza dello ione cloruro. Simile comportamento manifestava il punto REW\_6 in occasione di un monitoraggio.

In Figura 3.2 si presenta il diagramma di Piper relativo ai dati ottenuti dal monitoraggio del terzo periodo di ricarica. Si conferma l'andamento del tipo chimico rilevato nell'anno precedente con anche il caso particolare del punto REW\_141.

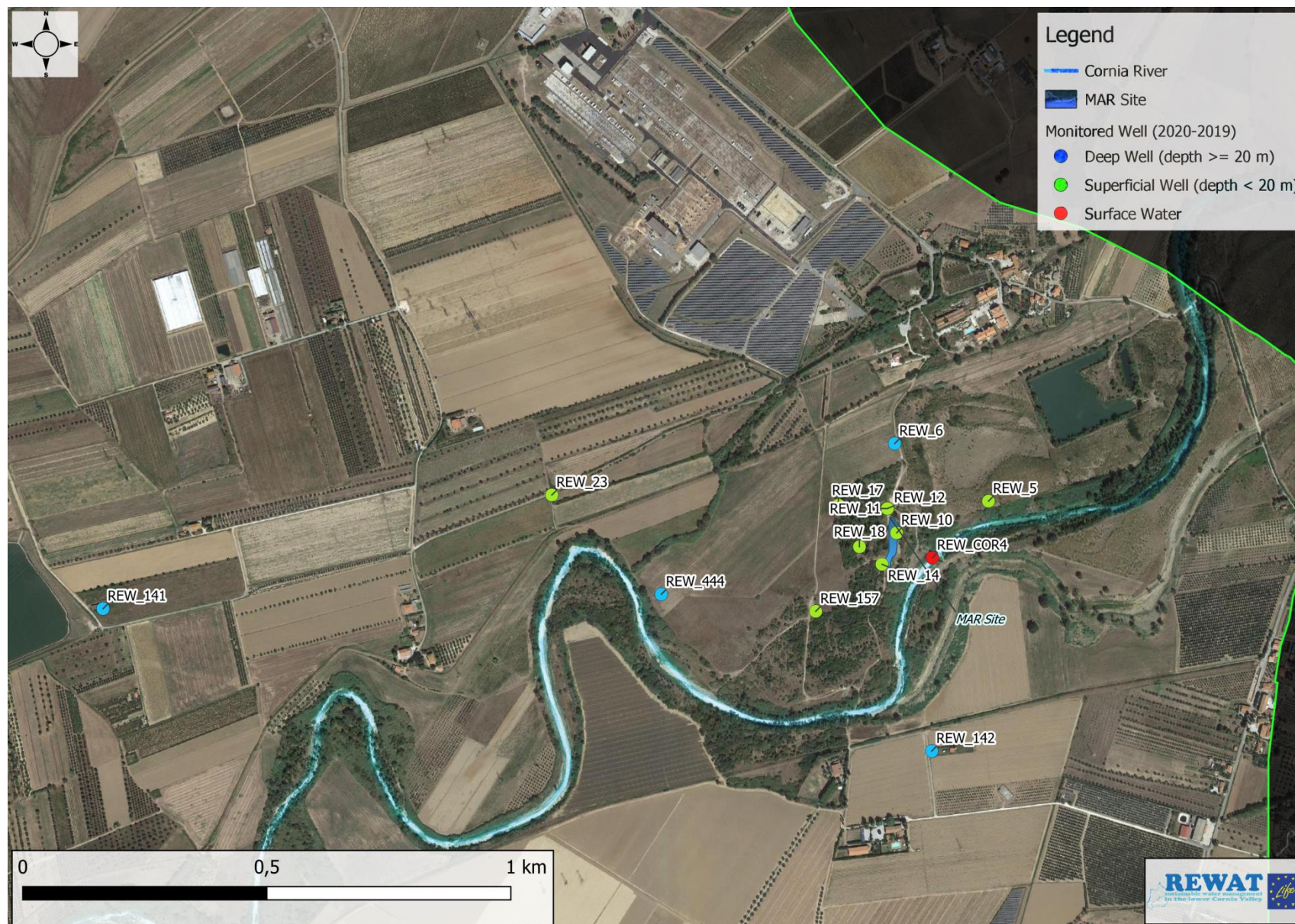


Figura 3.1. Carta dei punti di monitoraggio campionati almeno una volta nell'area dell'impianto di ricarica della falda in condizioni controllate.

| <b>Id punto</b> | <b>Tipo punto</b>  | <b>Profilo analitico</b> |
|-----------------|--------------------|--------------------------|
| REW_141/SU_01   | Acque sotterranee  | MAR_2                    |
| REW_142/SU_08   | Acque sotterranee  | MAR_1                    |
| REW_10          | Acque sotterranee  | MAR_2                    |
| REW_11          | Acque sotterranee  | MAR_1                    |
| REW_12          | Acque sotterranee  | MAR_1                    |
| REW_5           | Acque sotterranee  | MAR_1                    |
| REW_6           | Acque sotterranee  | MAR_1                    |
| REW_14          | Acque sotterranee  | MAR_2                    |
| REWCOR_4        | Acque superficiali | MAR_2                    |
| REW_17          | Acque sotterranee  | MAR_1                    |
| REW_23          | Acque sotterranee  | MAR_1                    |

Tabella 3.1. Elenco punti monitorati per determinazioni di tipo chimico e batteriologico.

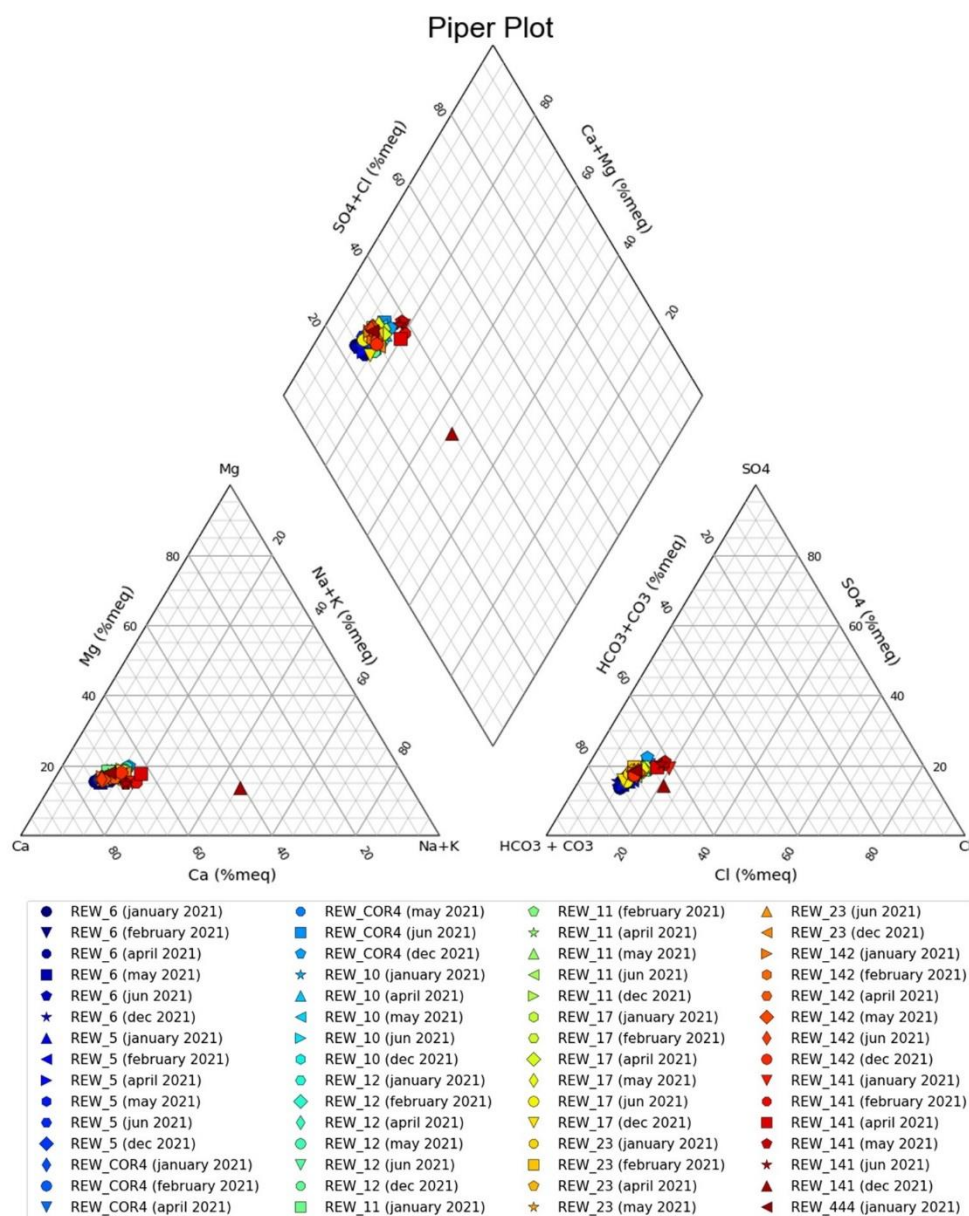


Figura 3.2. Diagramma di Piper per i punti oggetto di campionamento durante la fase operatività dell'impianto di ricarica (Dicembre 2020- Giugno 2021).

### Arsenico e Boro

Nella fase di progettazione non si erano rilevate particolari criticità nella zona dei Forni per Arsenico e Boro, tranne per alcuni punti a valle idrogeologica dell'impianto di ricarica con concentrazioni elevate di Arsenico, quali REW\_6, ed in un caso ciascuno REW\_141 e REW\_142, punti che hanno mostrato anche valori elevati di Boro. Si era anche osservata una stagionalità con tendenza all'aumento delle concentrazioni nel periodo estivo, ad esempio al punto REW\_5, a monte idrogeologico dell'impianto di ricarica.

In Figura 3.3 si osserva l'andamento temporale della concentrazione di Arsenico per il periodo 2016-2021. Rispetto ai periodi precedenti sei campioni hanno concentrazione superiore al limite di legge (10 µg/l). In particolare, ciò si verifica al punto REW\_12, dove arrivano le acque che si infiltrano nello schema di ricarica. Tale fenomeno è al momento investigato nel progetto EU ITN MARSOLUT (<https://www.marsolut-itn.eu/>) da uno studente del corso di dottorato della Scuola Superiore Sant'Anna.

Per quanto riguarda l'andamento temporale delle concentrazioni del Boro (Fig. 3.4), nella stagione di ricarica in oggetto si sono riscontrati superamenti del limite al punto REW\_5, REW\_10 nell'ultimo monitoraggio effettuato con impianto operativo (Maggio 2021) ed ai punti più distanti dall'impianto di ricarica (REW\_23 e REW\_141).

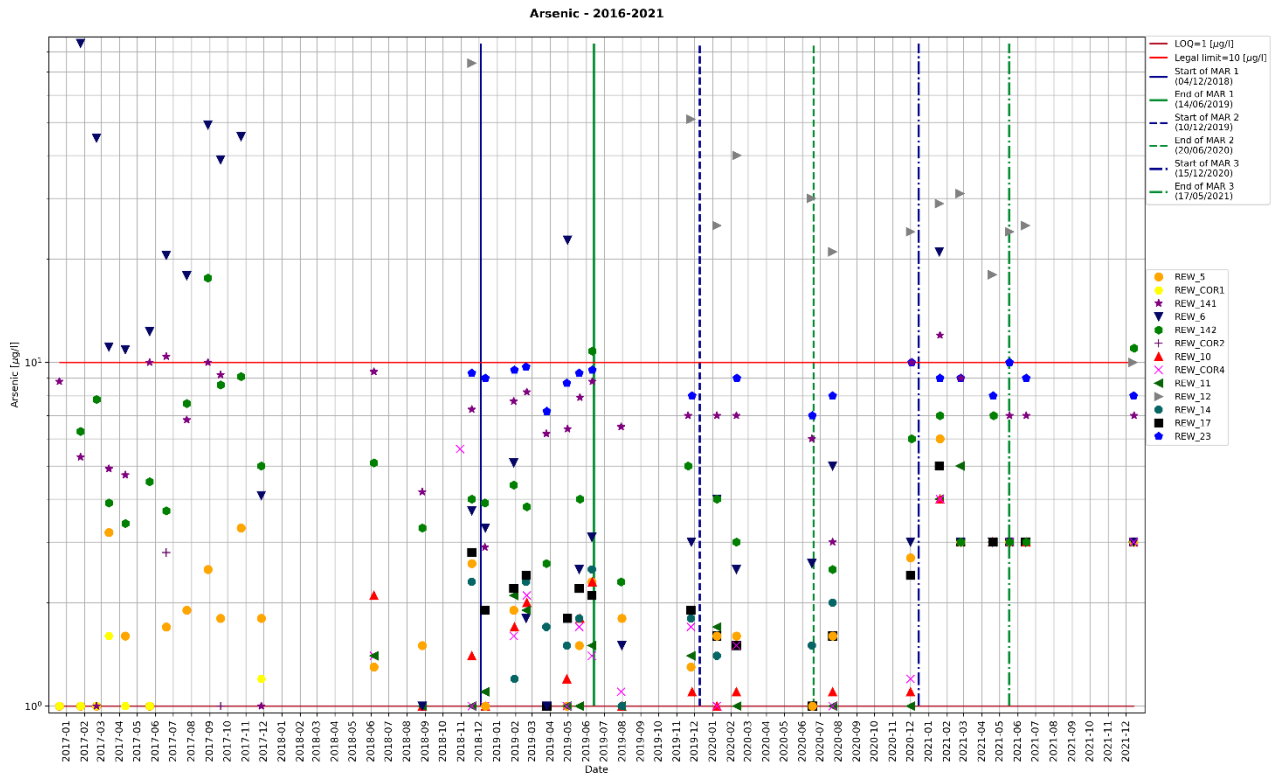


Figura 3.3. Andamento temporale del parametro Arsenico ai punti monitorati.

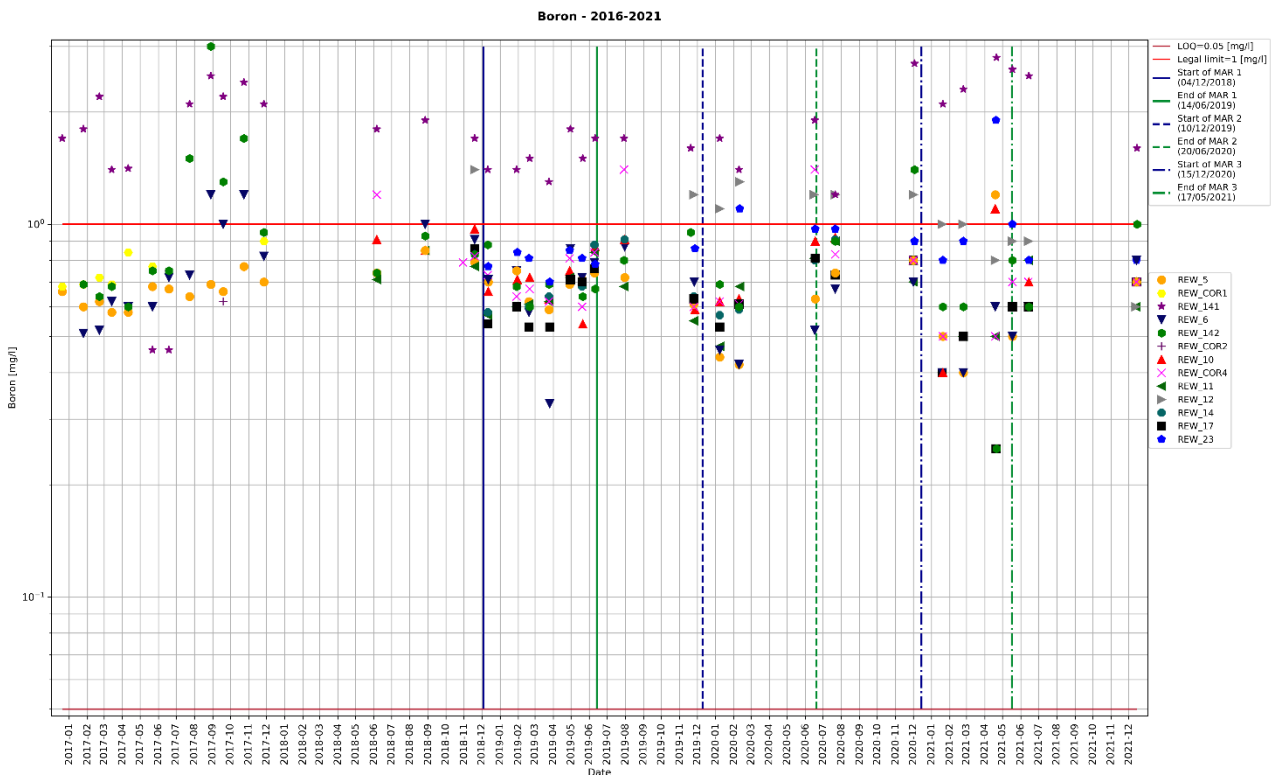


Figura 3.4. Andamento temporale del parametro Boro ai punti monitorati.

### **3.2 Impatto delle azioni intraprese sulla qualità delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia**

Nella presente sezione dettagliamo l’impatto delle misure intraprese nell’ambito del progetto sulla qualità delle acque sotterranee a livello dell’intera pianura costiera del Fiume Cornia.

#### **Classificazione chimica delle acque**

I risultati dei monitoraggi effettuati nella pianura mostrano una situazione molto complessa dal punto di vista idrochimico, con anche variabilità temporale, legata alla distribuzione dei carichi idraulici presenti nell’acquifero. La Figura 3.5 presenta l’andamento del carico idraulico a fine Aprile 2021 (fine della stagione di ricarica) e conferma la riduzione delle aree a carico idraulico sotto lo zero idrometrico del livello del medio mare. Mette comunque in evidenza la presenza di aree in cui si concentrano gli emungimenti. L’esame del diagramma Piper (Fig. 3.6), mostra la prevalenza di acque ricche nello ione bicarbonato, rispetto alle acque in cui prevale lo ione cloruro (e rispetto a quelle in cui prevale lo ione solfato) nella parte alta della pianura. Una dettagliata descrizione delle facies idrochimiche riscontrate può essere consultata nel report Azione C3 relativo al primo anno di monitoraggio (Rossetto et al., 2020b). Rispetto a quanto osservato nel primo e secondo periodo di monitoraggio non si osservano variazioni di rilievo.

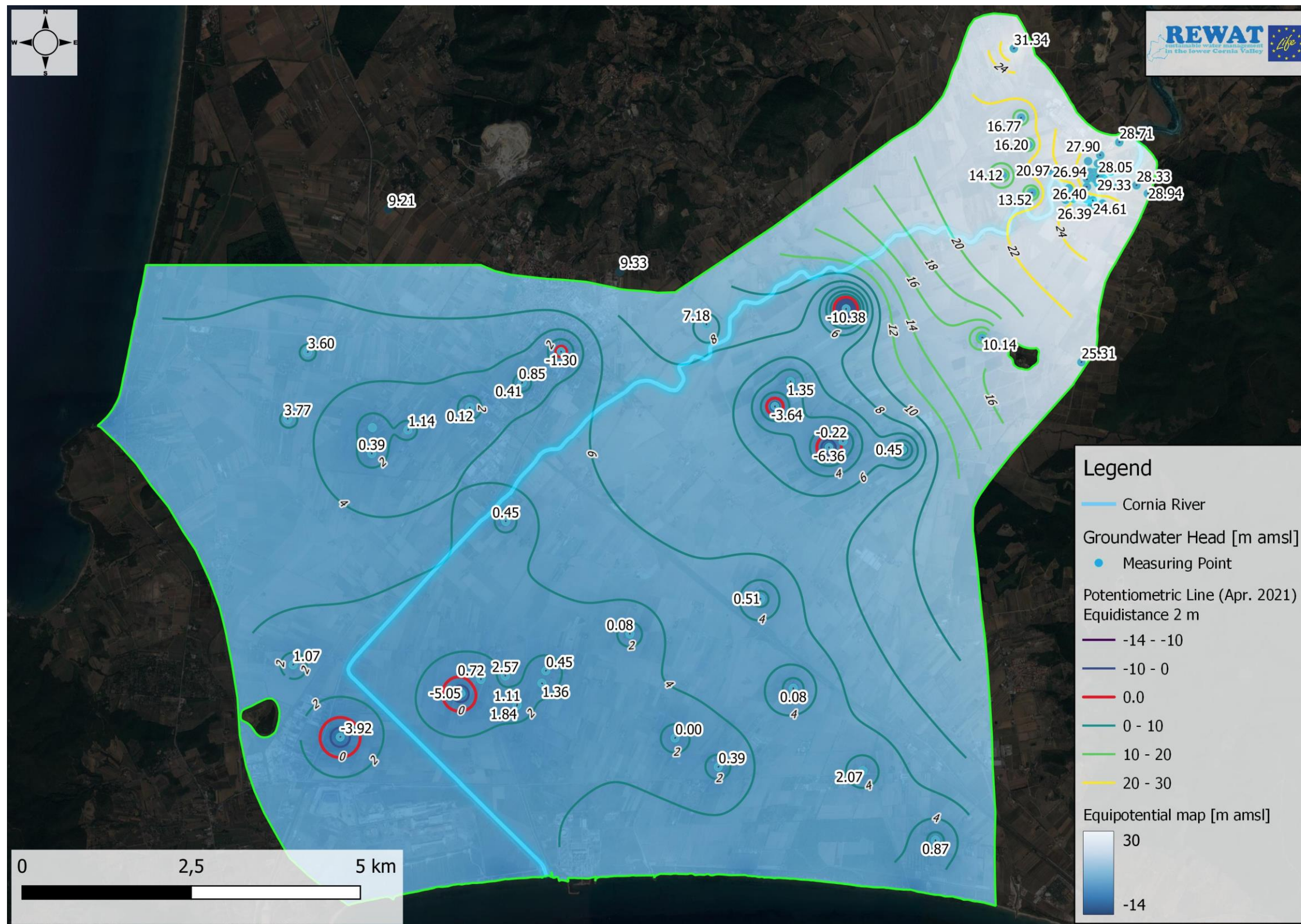


Figura 3.5. Andamento piezometrico nella pianura costiera del Fiume Cornia a fine aprile 2021 (CISS 32CT020 Acquifero della Pianura del Cornia).

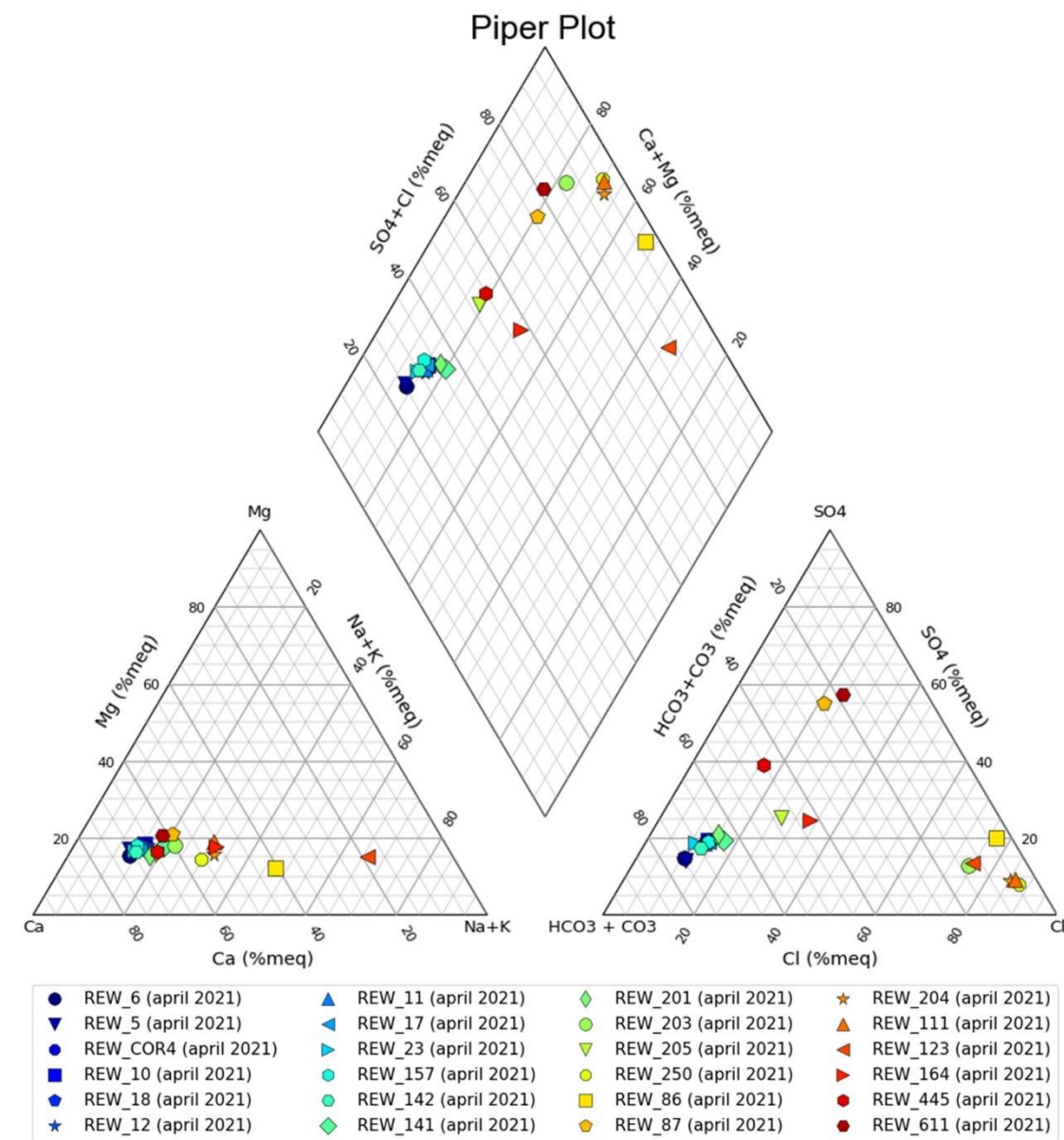


Figura 3.6. Diagramma Piper per le acque sotterranee della pianura costiera del Fiume Cornia (CISS 32CT020 Acquifero della Pianura del Cornia).

## La Salinizzazione della pianura costiera

Una rilevante parte delle attività effettuate è stata ancora dedicata ad analizzare lo stato del ben noto problema della salinizzazione nell'area costiera (Rossetto et al., 2020b). Si presentano di seguito gli andamenti di conducibilità elettrica e concentrazione in cloruri nel dominio investigato.

Nella Figura 3.7 è riportato l'andamento della conducibilità elettrica nell'Aprile 2021. I dati ottenuti in campagna (per quanto riguarda la conducibilità elettrica, e le successive mappe dei cloruri e solfati) sono stati interpolati utilizzando l'algoritmo "Thin Plate Spline (TIN)" implementato in SAGA-GIS (Conrad et al., 2015).

Nel periodo investigato relativo al 2021 i valori di conducibilità elettrica e la concentrazione di cloruri (Figura 3.7, 3.8 e 3.9) si mantengono pressoché stabili rispetto all'anno precedente e localmente mostrano segnali di riduzione della salinizzazione.

Per quanto riguarda i solfati (Fig. 3.10), si osserva un incremento simile a quello per i cloruri lungo l'asse Baratti/San Vincenzo – Venturina.

Sulla base di questi dati, unitamente all'analisi della distribuzione e variazione temporale delle facies idrochimiche, possiamo sinteticamente riassumere che nel periodo monitorato continuano i fenomeni di salinizzazione delle acque sotterranee descritti nel precedente rapporto (Rossetto et al., 2020b). Se questi sono di media intensità nell'area prospiciente il Golfo di Follonica, altrettanto non si può dire della zona di Venturina. Qui la salinizzazione sembra essere in avanzamento tale da potenzialmente mettere in crisi la produzione idropotabile del campo pozzi Coltie, mentre l'utilizzo irriguo è al momento impossibile per gli elevati contenuti in sale.

L'effetto congiunto delle misure strutturali realizzate nell'ambito del progetto LIFE REWAT sulla salinizzazione delle acque sotterranee, è determinabile attraverso gli spostamenti delle isolinee a 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  per la conducibilità elettrica e 250  $\text{mg}/\text{l}$  per la concentrazione dei cloruri. Dette linee sono al Dicembre 2020 sostanzialmente stazionarie, localmente in miglioramento. Se la situazione idrodinamica presentata in Figura 3.5 è in netto miglioramento, non si può parlare di inversione per i fenomeni di salinizzazione. Le cause di questa asincronia sono al momento in analisi. Possibili spiegazioni possono essere dovute all'effetto di elevati emungimenti concentrati per quel che riguarda l'area di Venturina, ed a fenomeni puntuali di *up-coning* per l'area di Franciana.

### Altri analiti di interesse

Nell'area sono di interesse perché possono pregiudicare l'utilizzo dell'acqua a fini idropotabili o irrigui, oltre alla problematica della salinizzazione, anche altri analiti, quali i nitrati ( $\text{NO}_3$ ), l'Arsenico ed il Boro.

Per quanto riguarda  $\text{NO}_3$ , si continua ad evidenziare la presenza in alcuni punti di campionamento con concentrazioni prossimi a 50  $\text{mg}/\text{l}$   $\text{NO}_3$  (Fig. 3.11). Tali concentrazioni sono state rilevate in punti nell'area rurale, dove quindi non si hanno altre potenziali fonti di contaminazione. E' da verificare se derivino da utilizzo di fertilizzanti non conforme alle buone pratiche agronomiche.

Per quanto riguarda l'Arsenico, di origine geogenica, nella pianura costiera del Fiume Cornia, è presente in concentrazioni superiori a 1  $\mu\text{g}/\text{l}$  (limite di quantificazione strumentale) in una vasta area della pianura (come già detto nel precedente rapporto; Fig. 3.12).

Il Boro, anch'esso di origine geogenica (Bianchini et al., 2005; Pennisi et al. 2006), è altresì assai diffuso sull'intera pianura, in tenori comunemente elevati e superiori al limite di legge (1  $\text{mg}/\text{l}$ ; Fig. 3.12). L'unica area in cui i tenori in Boro sono inferiori a 1  $\text{mg}/\text{l}$  è la zona di Forni nel Comune di Suvereto, dove sia nelle acque superficiali che nelle acque sotterranee raramente si riscontrano tenori superiori al limite di legge. Anche in questo caso non si osservano variazioni nella concentrazione rispetto al periodo di monitoraggio precedente.

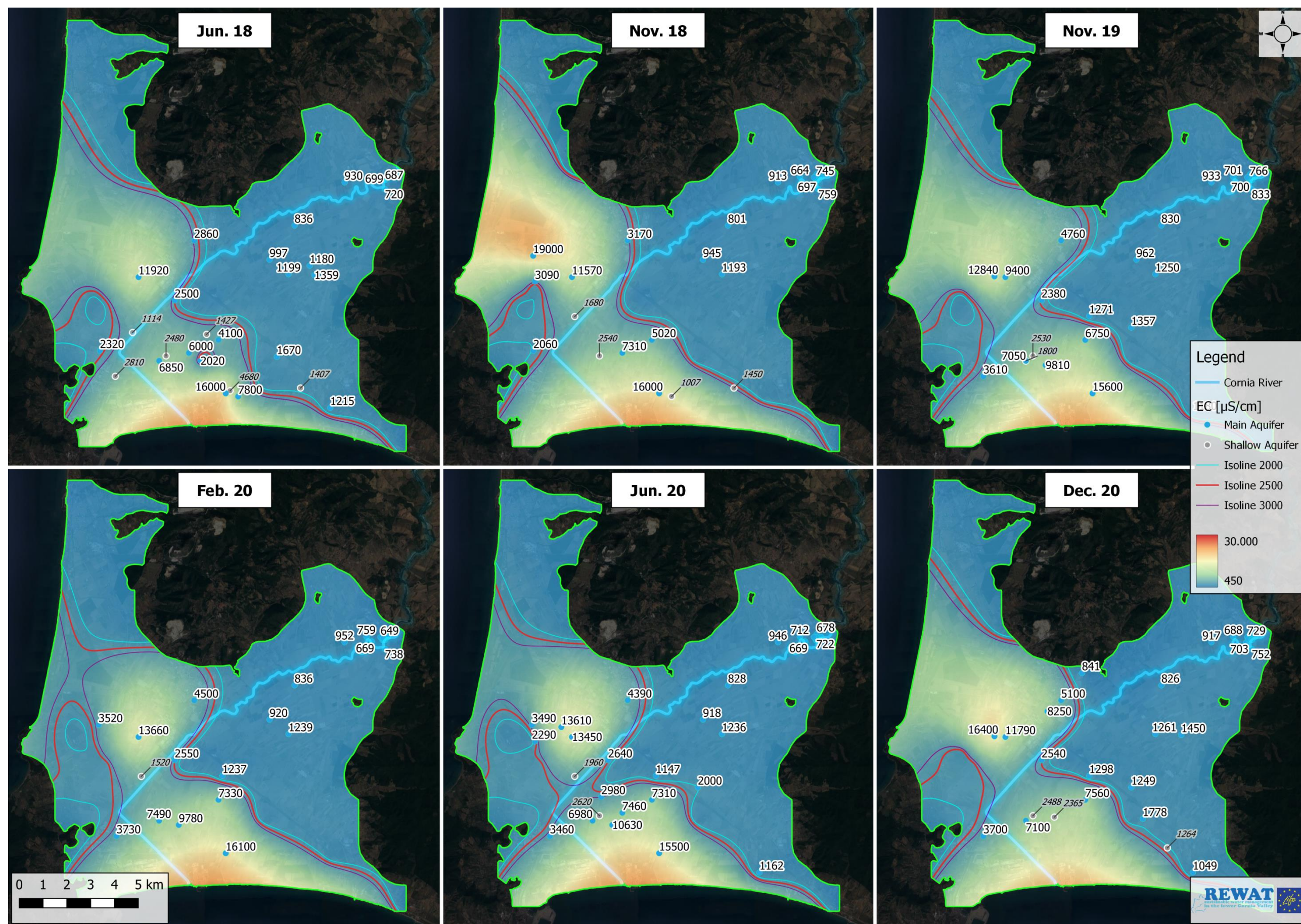


Figura 3.7. Andamento della conducibilità elettrica (periodo 2018/2020) nelle acque sotterranee della pianura costiera del Fiume Cornia (CISS 32CT020 Acquifero della Pianura del Cornia).

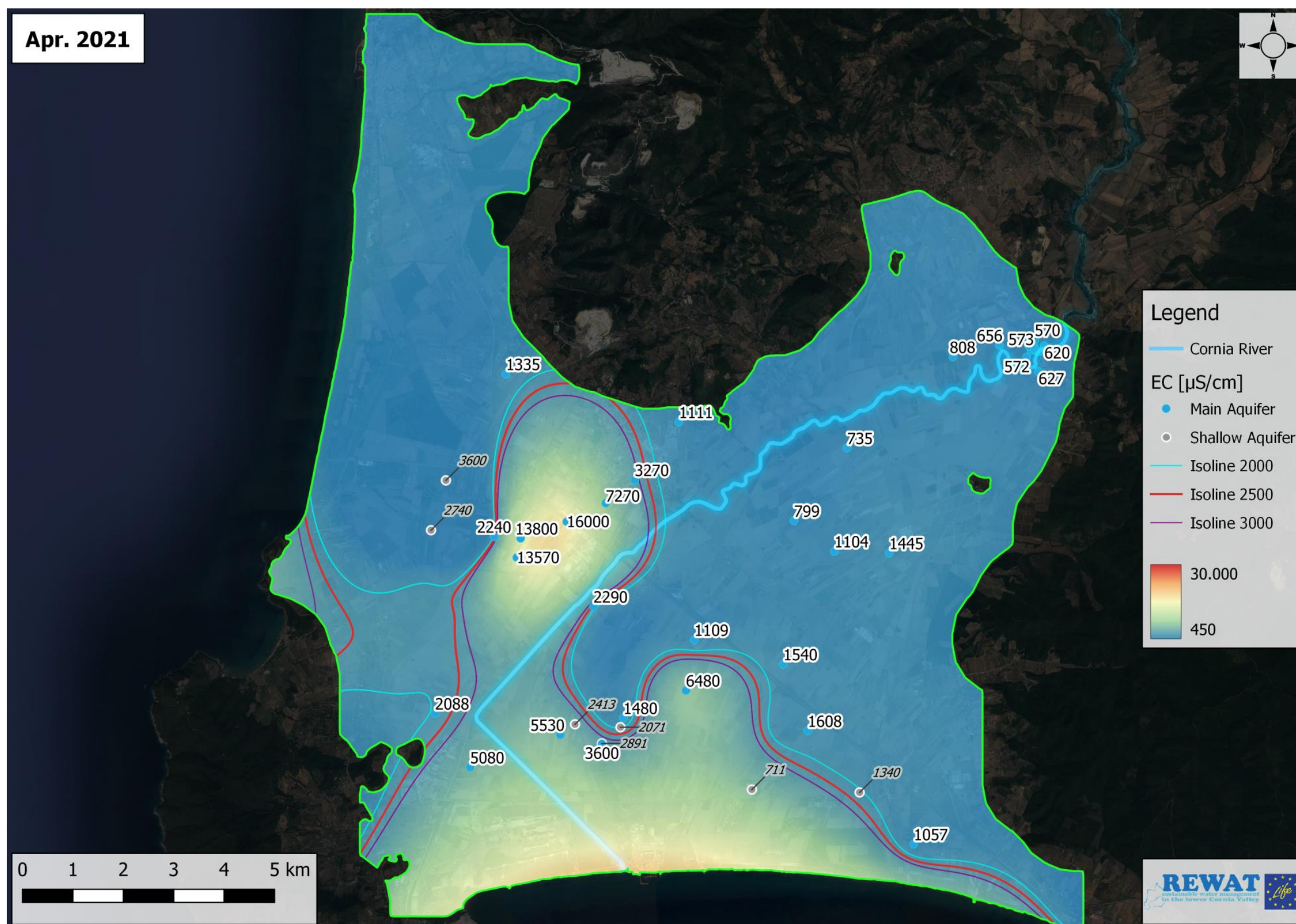


Figura 3.8. Andamento della conducibilità elettrica (aprile 2021) nelle acque sotterranee della pianura costiera del Fiume Cornia (CISS 32CT020 Acquifero della Pianura del Cornia).

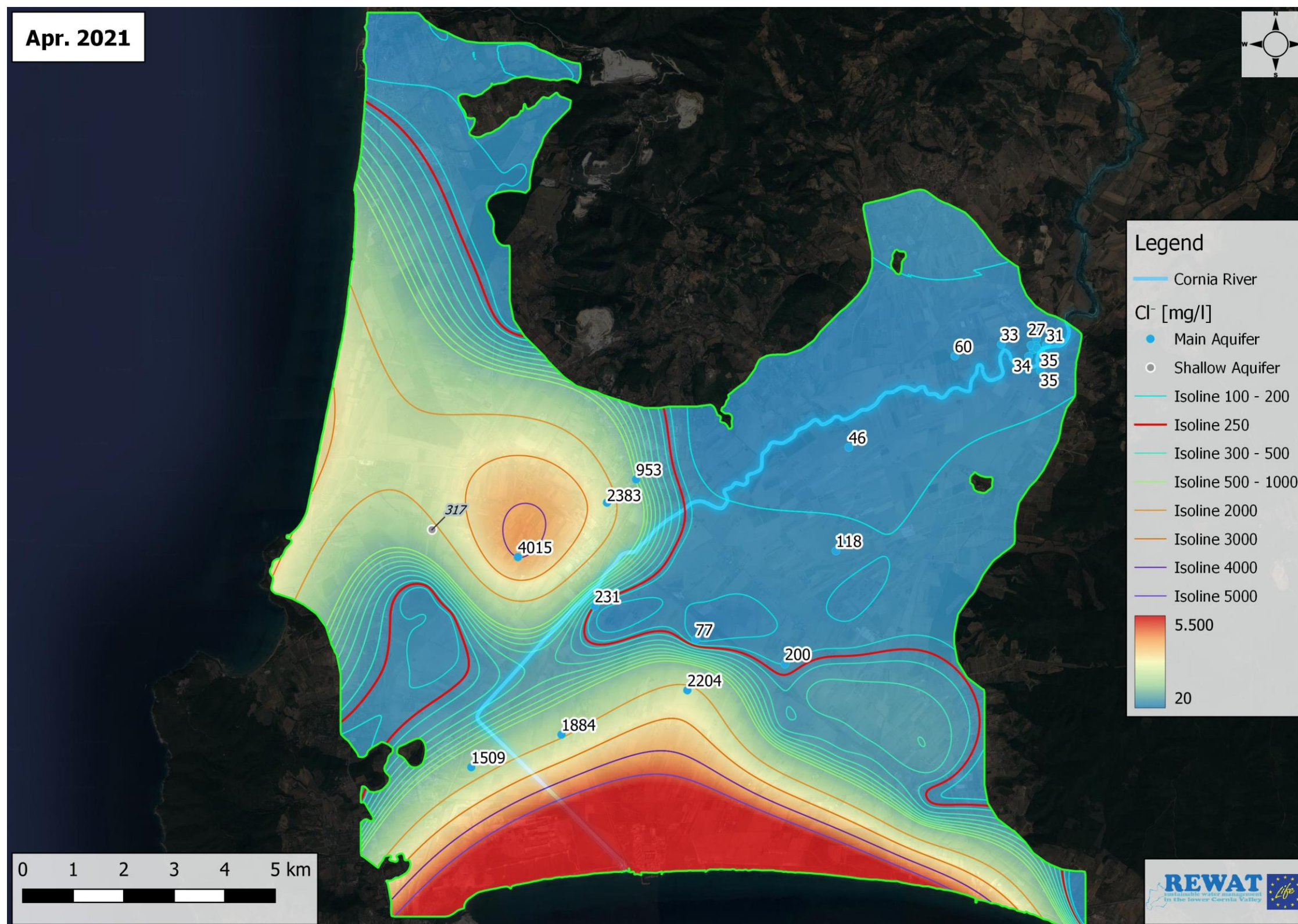


Figura 3.9. Andamento della concentrazione dei cloruri (periodo 2018/2020) nelle acque sotterranee della pianura costiera del Fiume Cornia (CISS 32CT020 Acquifero della Pianura del Cornia).

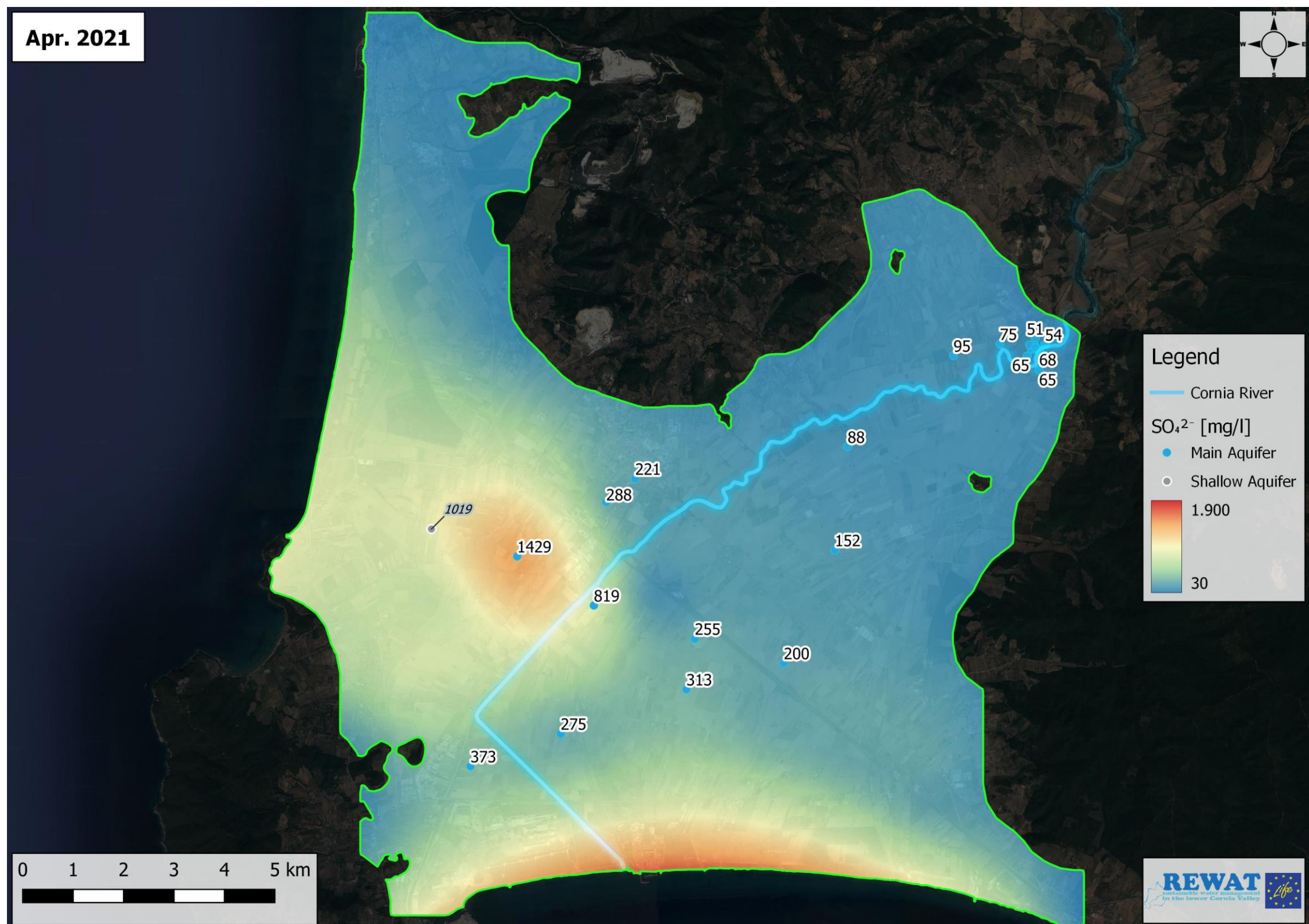


Figura 3.10. Andamento della concentrazione dei solfati (periodo 2018/2020) nelle acque sotterranee della pianura costiera del Fiume Cornia (CISS 32CT020 Acquifero della Pianura del Cornia).

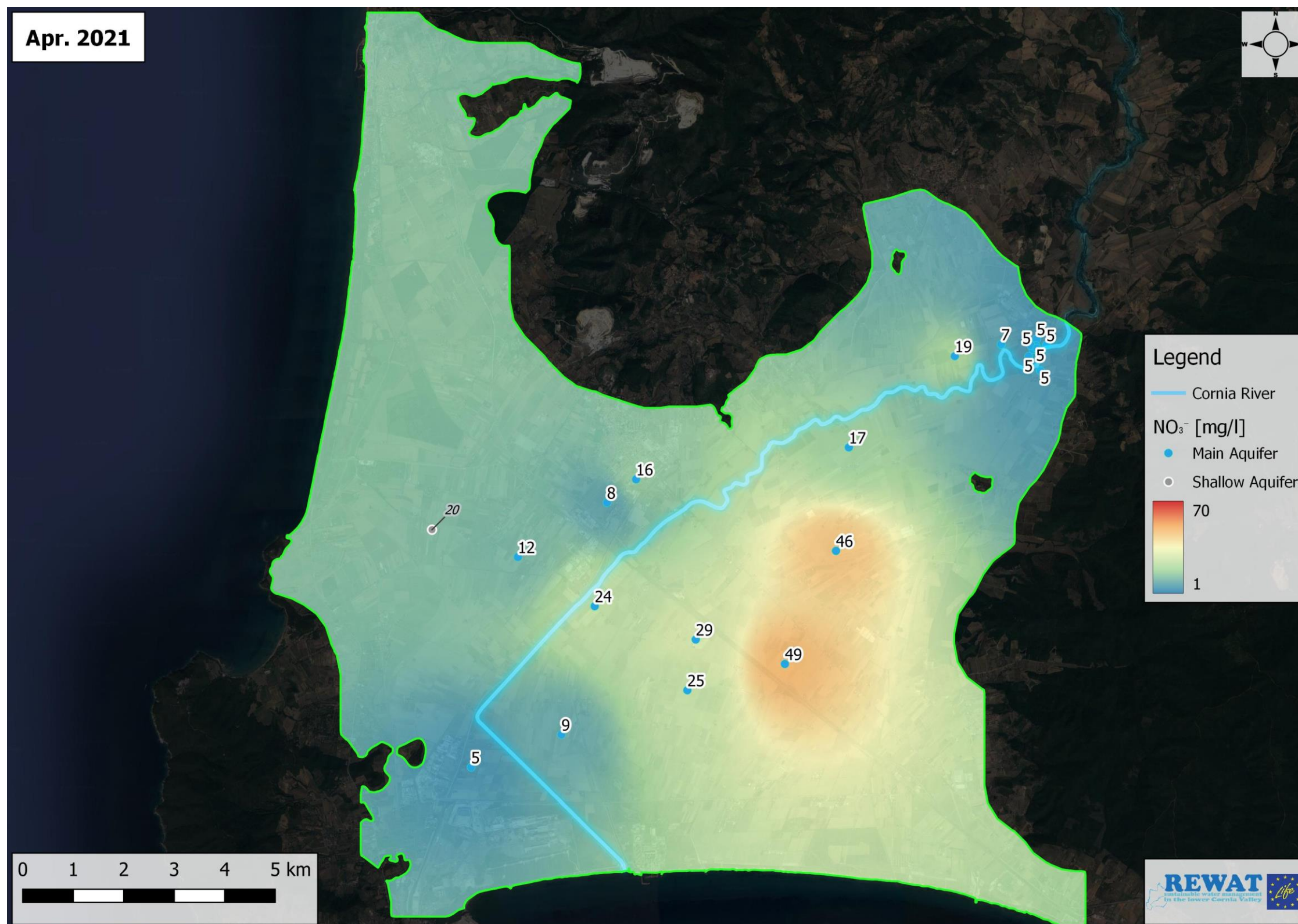


Figura 3.11. Andamento della concentrazione dei nitrati (periodo 2018/2020) nelle acque sotterranee della pianura costiera del Fiume Cornia (CISS 32CT020 Acquifero della Pianura del Cornia).



Figura 3.12. Andamento temporale delle concentrazioni di Arsenico ai punti monitorati.



Figura 3.13. Andamento temporale delle concentrazioni di Boro ai punti monitorati.

## 4. Conclusioni

In questo rapporto sono dettagliati gli impatti delle azioni intraprese nel progetto LIFE REWAT sulla qualità delle acque sotterranee. In particolare, si è presentato l'impatto del terzo anno di attività di ricarica della falda in condizione controllata in località Forni nel Comune di Suvereto e quindi dell'intero complesso delle azioni del LIFE REWAT sull'acquifero della pianura costiera del Fiume Cornia.

Nel secondo anno di ricarica, le operazioni hanno portato a ricaricare la falda per ulteriori 500000 m<sup>3</sup>. Le operazioni sono state mensilmente monitorate, prelevando campioni di acqua del Fiume Cornia e acque sotterranee a monte e valle idrogeologica rispetto all'impianto di ricarica, come già eseguito in occasione della progettazione e realizzazione dell'impianto tra il 2016 ed il 2018, e nel primo anno di ricarica. Si rileva come l'esercizio dell'impianto di ricarica della falda non abbia generato modifiche particolari, ed in negativo, della chimica delle acque sotterranee o criticità. In linea generale, l'area dei Forni nel Comune di Suvereto presenta acque sotterranee con scarse problematiche a livello di qualità chimica rispetto alle aree più occidentali della pianura. E' quindi un'area cui porre particolare attenzione per migliorare la disponibilità e la qualità dell'approvvigionamento idropotabile.

I risultati dei monitoraggi effettuati per caratterizzare le acque sotterranee dell'acquifero della pianura costiera del Fiume Cornia mostrano una situazione molto complessa dal punto di vista idrochimico. Circa l'impatto delle azioni sullo stato qualitativo dell'acquifero, prendendo i risultati delle analisi per singolo parametro – soprattutto nella fascia costiera, nel quarto anno di monitoraggio la situazione appare in leggero miglioramento. Se grazie alla posizione della isolinea 2500 µS/cm di conducibilità elettrica delle acque sotterranee è possibile stabilire che durante il periodo di progetto 7 km<sup>2</sup> sono passati in area a qualità migliore, il fenomeno della salinizzazione non sembra invertito completamente. Sulle base dei dati rilevati di conducibilità elettrica e del contenuto in cloruri, si conferma il cuneo salino verso il campo pozzi Coltie presso l'abitato di Venturina, con origine dell'ingressione potenzialmente dalla zona costiera di Rimigliano.

La situazione idrodinamica è invece in netto miglioramento. Per la soluzione strutturale del problema della salinizzazione nella zona di Venturina, si è proposto nella fase di preparazione del Contratto di Fiume del Fiume Cornia (Azione B9) di spostare parte dei prelievi di ASA spa nella zona di Forni, sfruttando i potenziali volumi di ricarica derivanti dall'ampliamento dello stesso (e stimati in circa 1.2/1.5 m<sup>3</sup> annui). In questo modo si andrà di fatto a diminuire i prelievi sull'area a ridosso della fascia costiera e quindi il richiamo di acqua di mare.

## Bibliografia

- Bianchini, G., Pennisi, M., Cioni, R., Muti, A., Cerbai, N., & Kloppmann, W. (2005). Hydrochemistry of the high-boron groundwaters of the Cornia aquifer (Tuscany, Italy). *Geothermics*, 34(3), 297-319.
- Comune di Suvereto (2012). Impianti per l'abbattimento dell'Arsenico e del Boro in Val di Cornia e all'Elba. [http://www.comune.suvereto.li.it/area\\_letturaNotizia/33727/pagsistema.html](http://www.comune.suvereto.li.it/area_letturaNotizia/33727/pagsistema.html) [Web page in Italian. Accessed on the 14/01/2020]
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
- Norma UNI EN ISO 9001:2015. Sistemi di gestione per la qualità
- Norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025: 2018. Requisiti generali per la competenza dei produttori di materiali di riferimento - UNI CEI EN ISO17034: 2017
- Pennisi, M., Bianchini, G., Muti, A., Kloppmann, W., & Gonfiantini, R. (2006). Behaviour of boron and strontium isotopes in groundwater-aquifer interactions in the Cornia Plain (Tuscany, Italy). *Applied Geochemistry*, 21(7), 1169-1183.
- Rossetto, R., Barbagli, A., Ercoli, L., Francini, A., Piacentini, S.M., Agostini, M., Benucci, C., Brilli, M., Ruggiero, M., La Comba, B., Lainà, P., Bracaloni, L., Campigli, M., Lazzaroni, F., Lorenzini, S., Trotta, G., Menonna, V., Masi, M., Rotelli, L., Fabbrizzi, A. (2020a). Report sull'impatto delle azioni messe in atto nel progetto LIFE REWAT sullo stato quantitativo delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia. Primo anno di monitoraggio (2018-2019). Rapporto Azione C1 (2018-2019). Progetto LIFE REWAT, <https://www.liferewat.eu/c1.html>
- Rossetto, R., Barbagli, A., Ercoli, L., Francini, A., Piacentini, S.M., Agostini, M., Palumbo, F., Maggiorelli, R., Papi, B., Rossi, A., Benucci, C., Lainà, P., Bracaloni, L., Campigli, M. (2020b). Report sull'impatto delle azioni messe in atto nel progetto LIFE REWAT sullo stato chimico delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia. Primo anno di monitoraggio (2018-2019). Rapporto Azione C3 (2018-2019). Progetto LIFE REWAT, <https://www.liferewat.eu/c3.html>
- Rossetto, R., Barbagli, A., Ercoli, L., Francini, A., Piacentini, S.M., Agostini, M., Benucci, C., Brilli, M., Ruggiero, M., La Comba, B., Lainà, P., Bracaloni, L., Campigli, M., Lazzaroni, F., Lorenzini, S., Trotta, G., Menonna, V., Masi, M., Rotelli, L., Fabbrizzi, A. (2021). Report sull'impatto delle azioni messe in atto nel progetto LIFE REWAT sullo stato quantitativo delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia. Secondo anno di monitoraggio (2019-2020). Rapporto Azione C1 (2019-2020). Progetto LIFE REWAT, <https://www.liferewat.eu/c1.html>
- Rossetto, R., Barbagli, A., Ercoli, L., Francini, A., Caligaris, E.R., Palumbo, F., Maggiorelli, R., Papi, B., Rossi, A., Benucci, C., Lainà, P., Bracaloni, L., Campigli, M. (2021b). Report sull'impatto delle azioni messe in atto nel progetto LIFE REWAT sullo stato chimico delle acque sotterranee nella pianura costiera del Fiume Cornia. Secondo anno di monitoraggio (2019-2020). Rapporto Azione C3 (2019-2020). Progetto LIFE REWAT, <https://www.liferewat.eu/c3.html>