



# SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>EXECUTIVE SUMMARY.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>INTERVENTI DI RICARICA .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>MONITORAGGIO DELLE AZIONI DI RICARICA .....</b>	<b>7</b>
4.1	PREMESSE.....	7
4.2	ASPETTI QUANTITATIVI.....	8
4.2.1	<i>Monitoraggio del tasso di infiltrazione .....</i>	<i>8</i>
4.2.2	<i>Valutazioni modellistiche in merito alla risposta idrogeologica dei bacini sotterranei .....</i>	<i>10</i>
4.3	QUALITÀ DELLE ACQUE IN INGRESSO AI SITI DI RICARICA .....	13
4.3.1	<i>Monitoraggio sperimentale con bio-indicatori (muschi).....</i>	<i>13</i>
4.3.2	<i>Monitoraggio in continuo dei parametri chimico-fisici.....</i>	<i>17</i>
4.3.3	<i>Campionamenti delle acque per le determinazioni analitiche di laboratorio .....</i>	<i>19</i>
4.4	QUALITÀ DELLE ACQUE DI FALDA A VALLE DEI SITI DI RICARICA.....	21
4.5	CENSIMENTO DELLE RISORGIVE.....	26
4.5.1	<i>Aspetti morfologici-naturalistici .....</i>	<i>27</i>
4.5.2	<i>Monitoraggio quantitativo .....</i>	<i>29</i>
4.5.3	<i>Monitoraggio qualitativo.....</i>	<i>30</i>
<b>5</b>	<b>VALUTAZIONI COSTI BENEFICI.....</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>RIFERIMENTI.....</b>	<b>39</b>

## INDICE FIGURE

FIG. 1 – ANDAMENTO DELLA QUOTA DI FALDA PRESSO SCHIAVON .....	5
FIG. 2 – UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DEI SITI DI RICARICA ALL'INTERNO DEL DOMINIO DEL PROGETTO AQUOR .....	7
FIG. 3 – CURVA DI CORRELAZIONE TRA PORTATA E LIVELLO NELL'ADDUTTRICE (SITO DI MONTECCHIO PRECALCINO) .....	8
FIG. 4 – VOLUME GIORNALIERO E CUMULATIVO DI INFILTRAZIONE PRESSO IL SITO DI BREGANZE (OTTOBRE 2013- APRILE 2014) .....	9
FIG. 5 – CONDIZIONI AL CONTORNO, PIEZOMETRI DI MONITORAGGIO E PORTATE DISPERSE DAL FIUME ASTICO (15 MARZO 2012 – 19 GIUGNO 2014).....	11
FIG. 6 – SCENARIO DI RICARICA (PORTATA IMMESA NELLA SIMULAZIONE PARI A 42 MILIONI DI METRI CUBI)...	13
FIG. 7 – ESEMPIO DI STAZIONE DI MONITORAGGIO CON BIO-INDICATORI DELLA RETE IDRICA SUPERFICIALE ....	15
FIG. 8 – DENDROGRAMMA (DIAGRAMMA AD ALBERO OTTENUTO COL METODO DI WARD) DEI DATI MEDI DI CONCENTRAZIONE NEI MOSS BAGS DEI SITI AQUOR E DI ALTRI CORSI D'ACQUA DELLA PROVINCIA DI VICENZA: IL GRADIENTE VA DAL BLU (-) AL ROSSO (+).....	16
FIG. 9 – DISTRIBUZIONE DELL'INDICE IFR .....	28
FIG. 10 – MISURA DELLA PORTATA LUNGO L'ASTA D UNA RISORGIVA .....	29
FIG. 11 – DISTRIBUZIONE DEI NITRATI NELLA FASICA DELLE RISORGIVE (VALORI MEDI, 2015).....	31
FIG. 12 – DISTRIBUZIONE DEI PUNTI DI CAMPIONAMENTO PER COMUNE E PER BACINO IMBRIFERO .....	31

## INDICE TABELLE

TAB. 1 – PARAMETRI DI ESERCIZIO DEGLI IMPIANTI DI RICARICA (PERIODO 2013-2015) .....	9
TAB. 2 – VALORI MEDI DELL'INDICE PALLADIO DI NATURALITÀ/ALTERAZIONE NEI SITI AQUOR .....	17
TAB. 3 – VALORI DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI DELLE ACQUE MISURATI IN INGRESSO AI SITI PILOTA .....	18
TAB. 4 – MEDIA DEI VALORI CHIMICI RISULTANTI DALLE ANALISI SULLE ACQUE DI ROGGIA DEL 2013.....	19
TAB. 5 – MEDIA DEI VALORI CHIMICI RISULTANTI DALLE ANALISI SULLE ACQUE DI ROGGIA TRA IL 2014 IL 201520	
TAB. 6 – MONTECCHIO PRECALCINO: ALIMENTAZIONE IMPIANTO DA ROGGIA MONZA .....	22
TAB. 7 – SARCEDO: ALIMENTAZIONE IMPIANTO DA ROGGIA VERLATA .....	23
TAB. 8 – BREGANZE: ALIMENTAZIONE IMPIANTO DA ROGGIA SERIOLA .....	23
TAB. 9 – SCHIAVON: ALIMENTAZIONE IMPIANTO DA ROGGIA COMUNA .....	23
TAB. 10 – ROSÀ: ALIMENTAZIONE IMPIANTO DA ROGGIA BROLLA .....	24
TAB. 11 – COSTI ANNUI DELLE DIVERSE TIPOLOGIE DI OPERE IN 3 SCENARI: SENZA COSTI DELL'AREA (A), CON AFFITTO AREA (B), CON ACQUISTO AREA (C). .....	35
TAB. 12 – POTENZIALI BENEFICI CONNESSI AI DIVERSI INTERVENTI DI RICARICA ARTIFICIALE .....	36

# 1 PREMESSA

Il progetto AQUOR (LIFE+10/ENV/IT/000380) si è sviluppato a partire dal 2011 sulla scorta di un programma operativo complesso, mirato ad implementare una strategia partecipata di risparmio idrico e ricarica in condizioni controllate (MAR<sup>1</sup>), per il riequilibrio quantitativo delle falde dell'alta pianura vicentina.

A partire da alcuni presupposti<sup>2</sup> metodologici di base e stante la necessità di acquisire nuovi dati e di condividere le informazioni, il progetto ha inteso promuovere inizialmente il valore del risparmio idrico.

A seguire è stata focalizzata l'attenzione sulla possibilità di correttivi concreti, riconducibili a tecnologie impiantistiche, scelte tecnologiche e soluzioni operative in grado di contrastare la tendenza regionalizzata al depauperamento delle falde idriche sotterranee nel distretto vicentino.

Il raggiungimento dei suddetti obiettivi è stato subordinato all'adozione di azioni:

- preparatorie e di sensibilizzazione,
- di intervento e monitoraggio,
- di governo delle acque e di comunicazione,

sia in ordine al perfezionamento di una strategia adattativa ai cambiamenti climatici che per favorire, sul medio lungo termine, una gestione maggiormente sostenibile delle risorse idrogeologiche.

In questo contesto hanno preso avvio sperimentazioni in differenti siti pilota, atte a valutare l'applicabilità di tecnologie di ricarica e di sistemi impiantistici in grado di aumentare l'infiltrazione idrica nel sottosuolo.

Per le finalità di collaudo, sono state inoltre intraprese attività di controllo *ex-ante* ed *in-itinere*, finalizzate all'ottimizzazione delle opere e dei campi prova sperimentali e, soprattutto, all'accertamento tecnico economico ("*cost-effective*") circa l'efficacia delle azioni svolte.

Il presente documento<sup>3</sup> costituisce il report conclusivo del progetto AQUOR. Esso riassume alcuni contributi tematici che approfondiscono:

- i risultati quali-quantitativi dei monitoraggi espletati,

---

<sup>1</sup> *Managed Aquifer Recharge*

<sup>2</sup> riconducibili al valore della conoscenza territoriale e dell'approccio scientifico

<sup>3</sup> consegue alla pubblicazione dei documenti tecnici di progetto intermedi, relativi alle Azioni Preparatorie ed alla descrizione delle Attività di Intervento e di Monitoraggio (rispettivamente pubblicati nel settembre 2012 e nel dicembre 2013), cui si rimanda per maggiori dettagli

- le valutazioni ambientali sulla sostenibilità delle iniziative di ricarica in condizioni controllate,
- gli scenari tecnico-economici, basati sulla simulazione dei rapporti costi benefici e riferibili, in accezione di prefattibilità, al passaggio dalle esperienze sito-specifiche ad applicazioni “*full-scale*”, di valenza territoriale estensiva.

## 2 EXECUTIVE SUMMARY

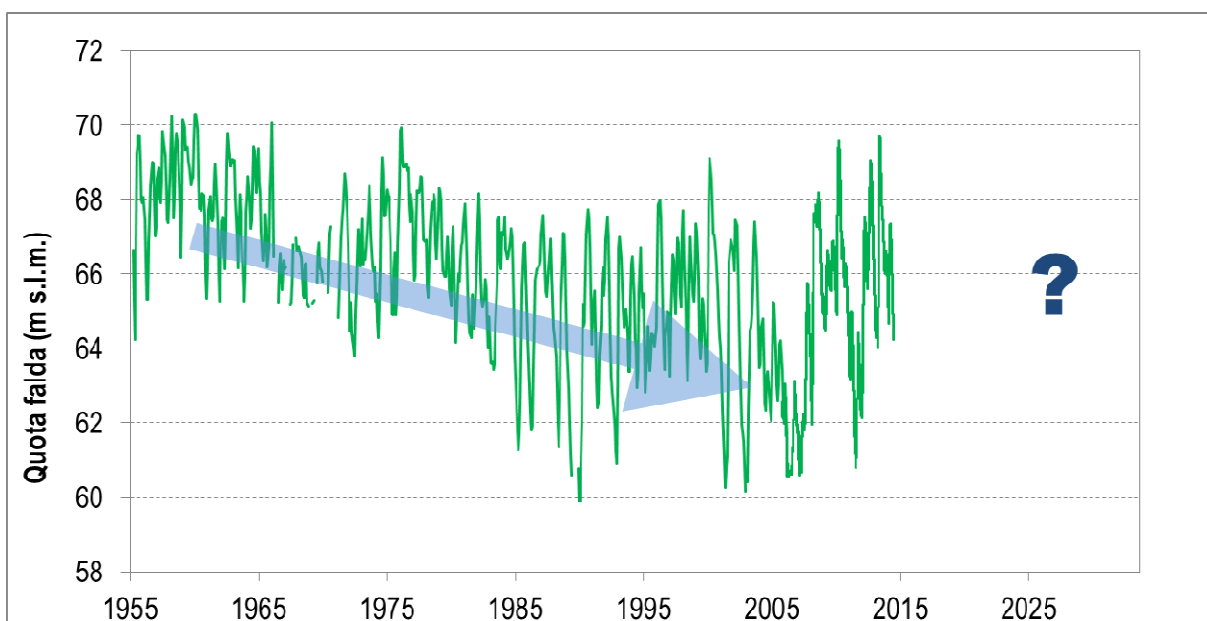
The Project AQUOR (LIFE + 10 / ENV / IT / 000380) has been in development since 2011, following a complex operative program aimed at water saving and managed aquifer recharging for the groundwater balance of Vicenza’s high plains aquifers. In order to reduce the aquifer depletion, the project has the objective to promote water saving principles and relative concrete interventions, starting from territorial knowledge, data sharing and scientific approach. The achievement of targets were preceded by three basic actions:

- preparatory and awareness actions,
- monitoring and intervention actions,
- water management and stakeholders information actions.

These actions were achieved in order to refine a long-term strategy able to adapt to climate changes and to promote a sustainable management of groundwater resources. In this context, several different plants have been installed to evaluate the recharge feasibility and possible implementation of systems able to increase the water infiltration. *Ex-ante* and *In-itinere* monitoring actions have been also performed, with the aim to optimizing existing works and to evaluating processes. This report is a final document of AQUOR project that summarizes results of monitoring and costs and benefits analysis. The activities have been carried out on a small scale study but are the key in determining the results of these recharge interventions. In order to obtain concrete results in critical water conditions, these plants should actually be extended to a full scale scenario and be built based on the results of these studies.

### 3 INTERVENTI DI RICARICA

L'area di interesse per le azioni di ricarica della falda è rappresentata dall'alta pianura vicentina. Per conformazione geoambientale, potenzialità idrogeologica ed in quanto a bacino di utenza, il dominio di analisi è sede di uno dei corpi idrici sotterranei più rilevanti del distretto idrografico delle Alpi Orientali. Gli acquiferi di questo settore di pianura, infatti, alloggiavano importanti riserve idriche, che costituiscono la fonte di approvvigionamento per la maggior parte della provincia di Vicenza, contribuendo, in aggiunta, ad alimentare anche la rete acquedottistica padovana. Questa notevole disponibilità idrica naturale ha favorito la nascita e lo sviluppo di innumerevoli attività industriali, oltre alla crescita sul territorio delle pratiche agricole e zootecniche, che annualmente esprimono fabbisogni d'acqua altrettanto rilevanti del comparto produttivo. Il problema ambientale da cui trae origine l'esigenza di implementare le azioni previste dal progetto Aquor si riconduce al fatto che le risorse stoccate entro il sistema idrogeologico alluvionale hanno mostrato nei decenni scorsi una netta tendenza al progressivo depauperamento.



**Fig. 1** – Andamento della quota di falda presso Schiavon

Il grafico di Fig. 1, elaborato sulla base di misure piezometriche acquisite nel corso di 60 anni, mostra l'andamento della falda registrato nei pressi dell'abitato di Schiavon (VI). Si osserva una diminuzione pressoché costante della tavola d'acqua dall'inizio della serie storica disponibile. Anche eventi piovosi molto intensi ovvero periodi piovosi di lunga durata e di intensità eccezionale, come quelli registrati negli ultimi anni, non consentono alla falda di raggiungere un completo riequilibrio rispetto alle condizioni iniziali.

In epoca recente si registra peraltro una maggiore oscillazione stagionale di regime, con valori di picco estremi: con riferimento agli obiettivi della ricarica, condizioni di magra anche prolungate possono comportare periodi assai delicati, che non di rado impongono regolamentazioni transitorie dei prelievi, evolvendo verso fasi di autentica criticità per gli usi pregiati, come l'approvvigionamento acquedottistico.

La sperimentazione preventiva, tramite applicazione di iniziative di ricarica in condizioni controllate, permette di mettere in campo azioni correttive appropriate a preservare la disponibilità della risorsa, utilizzando l'acquifero come ambito di immagazzinamento e bacino regolatore.

Nel corso del progetto ha preso avvio una serie di iniziative inedite per la realtà locale e di impronta scientifica che, a partire da ricerche preliminari su area vasta e da caratterizzazioni di dettaglio della situazione geostrutturale, ha condotto alla progettazione ed alla realizzazione di alcuni siti pilota di ricarica. Quest'ultimi sono stati messi in esercizio previa dotazione di rigorosi sistemi di controllo e di protocolli analitici adeguati per assicurare il monitoraggio pre- e post-operam rispetto agli effetti attesi sull'ambiente circostante. Gli interventi sperimentali sono stati implementati utilizzando diverse tecniche, che si ispirano in parte ai criteri dell'ingegneria naturalistica, talora a principi di idraulica agraria, in altri casi alle regole della idrologia sotterranea.

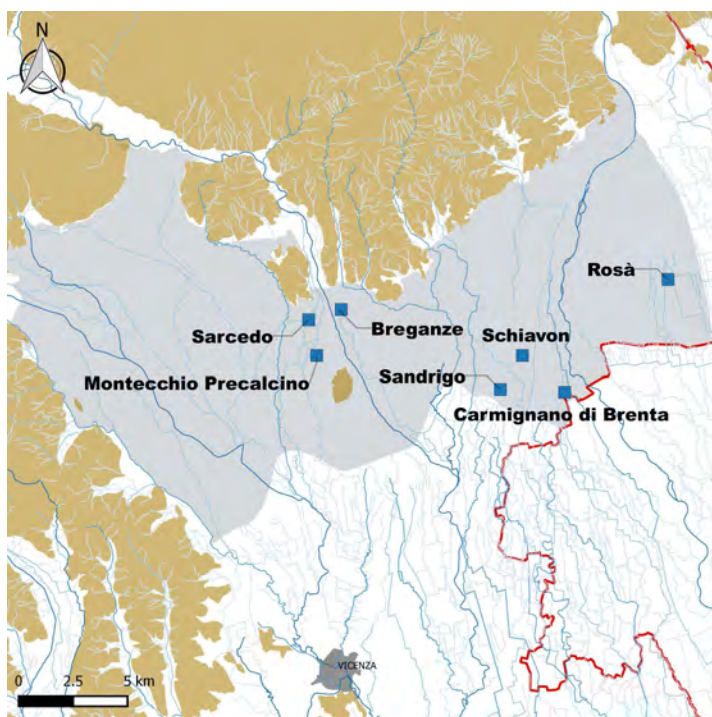
L'acquisizione di numerosi dati di gestione, organizzati in serie omogenee di informazioni<sup>4</sup> quali-quantitative, risulta oggi prodromica ad una parametrizzazione delle varie soluzioni impiantistiche, che vengono ad essere contestualizzate entro la realtà specifica del territorio vicentino. Il quadro conoscitivo messo a punto porta infine a stabilire, per confronto dei risultati, i vantaggi applicativi ed i limiti di funzionalità delle varie iniziative di MAR, sia in termini di efficacia che del rapporto costi-benefici.

In Fig. 2 sono indicati l'ubicazione e le caratteristiche principali degli interventi realizzati alla scala del progetto Aquor.

Si rimanda ai precedenti report per quanto concerne le informazioni costruttive di dettaglio dei singoli siti pilota ed altri particolari esecutivi.

---

<sup>4</sup> acquisite con metodiche differenti e spesso complementari



Sito (Comune)	Intervento Realizzato
Montecchio Precalcino (VI)	2 pozzi di infiltrazione
Breganze (VI)	4 pozzi di infiltrazione
Sarcedo (VI)	trincea di infiltrazione
Schiavon (VI)	area forestale di infiltrazione (AFI)
Carmignano di Brenta (PD)	area forestale di infiltrazione (AFI)
Sandrigo (VI)	roggia di infiltrazione
Rosà (VI)	campo di infiltrazione (sub-dispersione)

Fig. 2 – Ubicazione e caratteristiche dei siti di ricarica all'interno del dominio del progetto AQUOR

## 4 MONITORAGGIO DELLE AZIONI DI RICARICA

### 4.1 Premesse

Il progetto Aquor ha previsto attività specifiche per il monitoraggio degli impianti di ricarica e dell'ambiente circostante. Nel dettaglio sono stati attuati i seguenti interventi di controllo / verifica:

- monitoraggio del tasso di infiltrazione dei siti e valutazione della risposta idrogeologica del bacino idrogeologico;
- monitoraggio delle acque destinate ad infiltrazione, mediante:
  - o bioindicatori (muschi),
  - o analisi chimiche,
  - o acquisizione dei parametri chimico –fisici;
- monitoraggio delle acque di falda a valle dei siti di ricarica;
- censimento e monitoraggio quali-quantitativo del sistema delle risorgive posto a valle dei siti di ricarica.

Orientativamente gli impianti sono stati mantenuti attivi tra:

- ✓ l'autunno 2013 e la primavera 2014 (1° stagione) e
- ✓ tra l'autunno 2014 e la primavera 2015 (2°stagione).

Durante la stagione estiva le azioni di ricarica sono state interrotte, in quanto la rete idrica superficiale alimentante viene ad essere completamente asservita al soddisfacimento del fabbisogno irriguo: si ribadisce in tal senso che i siti di ricarica traggono alimentazione dal sistema di irrigazione consortile presente sul territorio. Le azioni di monitoraggio sono state programmate per acquisire informazioni sia nel periodo precedente alla realizzazione degli interventi (ex-ante) sia nei periodi di attivazione degli stessi (in itinere): i presidi di controllo sono rimasti attivi fino ai più recenti periodi di esercizio dei siti pilota.

## 4.2 Aspetti quantitativi

### 4.2.1 Monitoraggio del tasso di infiltrazione

Per monitorare con sistematicità le portate immesse nei sistemi “disperdenti” sono stati installati alcuni misuratori di portata in corrispondenza alle linee adduttrici che, come appena visto, sono costituite da canalette, collettori o condotte, in cui si articola la rete irrigua dei consorzi di bonifica competenti. Il livello idrometrico, registrato tramite dispositivi ad ultrasuoni, è stato quindi correlato con le portate come a seguire descritto:

- a Breganze è stato realizzato uno stramazzo con soglia verticale, che funge da sezione fissa di controllo; il sensore di livello misura pertanto l'altezza del pelo libero: utilizzando di specifiche funzioni analitiche, si può calcolare la portata fluente;
- negli altri siti sono state invece eseguite campagne di misura della portata istantanea mediante idonea strumentazione; i dati acquisiti sono stati elaborati al fine di poter associare ad ogni livello idrometrico il corrispondente valore di portata, attraverso curve<sup>5</sup> di correlazione come quella in Fig. 3.

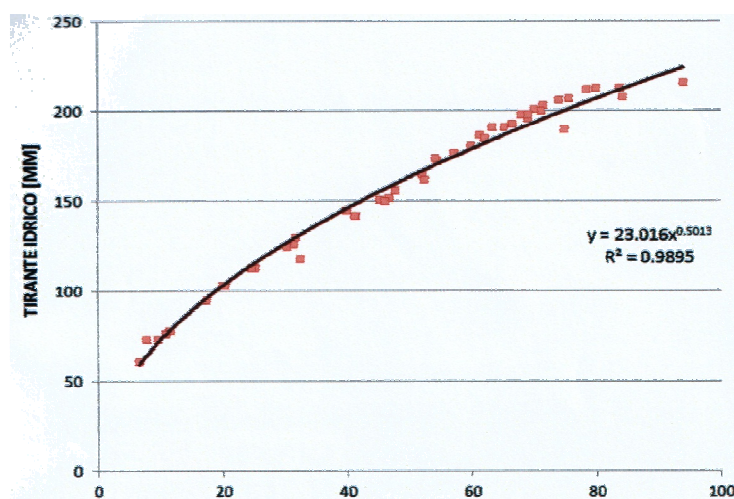
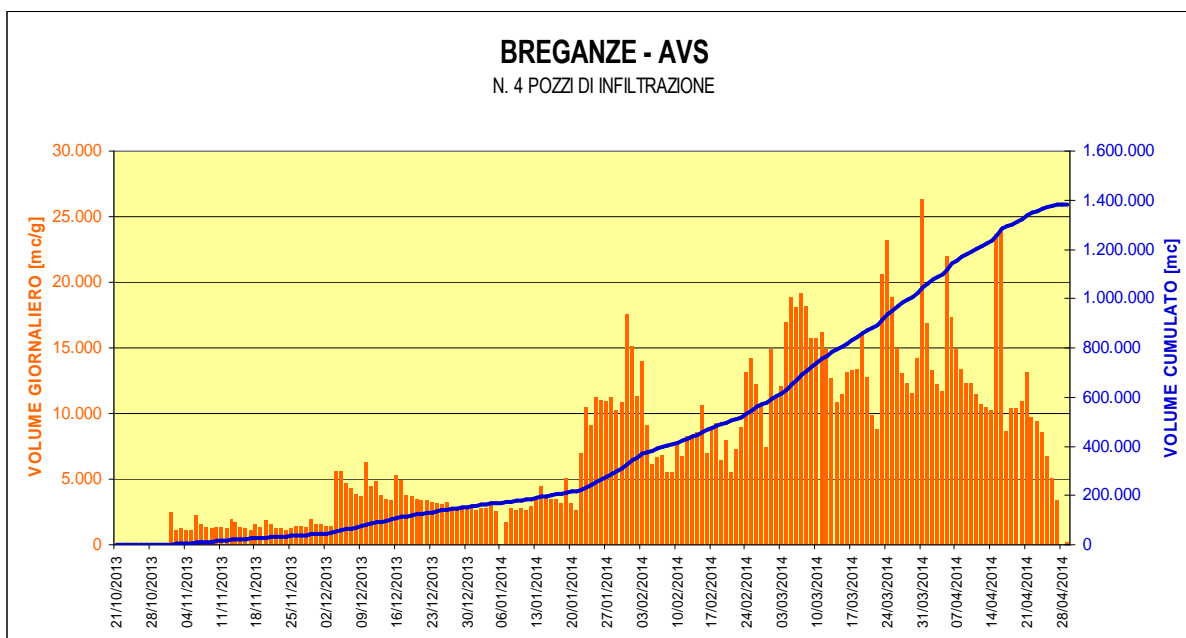


Fig. 3 – Curva di correlazione tra portata e livello nell'adduttrice (sito di Montecchio Precalcino)

<sup>5</sup> scala delle portate: in ordinata il battente idraulico in mm; in ascissa la portata in l/s

I dati registrati dalle sonde hanno permesso di tenere sotto controllo continuo le portate immesse e di monitorare il volume idrico cumulativo infiltrato nel sottosuolo presso i singoli siti. La Fig. 4 mostra, a titolo esemplificativo, il trend dei volumi immessi giornalmente presso il sito di Breganze (istogramma) e la curva cumulata (linea continua) risultante dalla loro integrazione entro il periodo complessivo degli esercizi di ricarica.



**Fig. 4** – Volume giornaliero e cumulativo di infiltrazione presso il sito di Breganze (ottobre 2013- aprile 2014)

Per effettuare un bilancio globale delle portate immesse nell’ambito del progetto si riportano in Tab. 1 i dati acquisiti nell’ambito della prima e della seconda stagione.

Sito	Intervento realizzato	Roggia alimentante	Portata progetto (l/s)	Periodo di riferimento					Portata (l/s)		Volume (mc)
				stagione	da	-	a	giorni	max	media giorn.	totale
Montecchio Precalcino (VI)	2 pozzi di infiltrazione	Roggia Monza	200	1°	29/10/13	-	30/01/14	52	214	18	80,500
				2°	20/10/14	-	27/02/15	131	54	14	66,700
Breganze (VI)	4 pozzi di infiltrazione	Canale Seriola	100	1°	21/10/13	-	30/04/14	191	783	86	1,424,400
				2°	19/10/14	-	27/02/15	132	206	81	907,500
Sarcedo (VI)	trincea di infiltrazione	Roggia Verlata	200	1°	28/10/13	-	29/01/14	73	226	20	125,700
				2°	21/11/14	-	16/12/14	26	25	6	10,900
Schiavon (VI)	area forestale di infiltrazione (AFI)	Bocchetto Silvagni Cogo	100	1°	01/10/13	-	25/02/14	116	131	23	234,700
				2°	03/10/14	-	27/02/15	148	87	46	434,100
Carmignano di Brenta (PD)	area forestale di infiltrazione (AFI)	Bocchetto San Giovanni Grimana Nuova	200	1°	17/10/13	-	15/02/14	99	141	65	555,300
				2°	01/10/14	-	20/02/15	165	165	169	1,958,100
Sandrigo (VI)	roggia di infiltrazione	Roggia Vitella	100	1°	22/10/13	-	25/02/14	92	84	17	133,800
				2°	20/10/14	-	27/02/15	131	42	20	178,500
Rosà (VI)	campo di infiltrazione (sub-dispersione)	Roggia Brolla	50	1°	22/10/13	-	17/02/14	88	50	19	144,400
				2°	01/10/14	-	27/02/15	150	50	33	361,600

**Tab. 1** – Parametri di esercizio degli impianti di ricarica (periodo 2013-2015)

Il maggior tasso di infiltrazione si registra presso i siti di Breganze (pozzi disperdenti a largo diametro) e di Carmignano di Brenta (AFI). Con volumi idrici medi giornalieri in entrata pari rispettivamente a circa 7200 e 9500 mc i campi prova citati accorpano, in termini di volume d'acqua dispersi, oltre il 70% della ricarica effettivamente espletata da tutti gli impianti.

Complessivamente sono stati immessi nel sottosuolo 6.6 milioni di metri cubi: la prima stagione di ricarica ha comportato un'infiltrazione complessiva di 2.7 milioni di metri cubi d'acqua mentre nella seconda il funzionamento di MAR è stato ottimizzato, portando ad una infiltrazione in condizioni controllate di 3.9 milioni di metri cubi. Il miglioramento delle prestazioni di ricarica (+ 40 % ca.) conseguito nel secondo anno di gestione è da ricondurre anche alla ottimizzazione di conduzione degli impianti, a seguito delle informazioni acquisite e dell'esperienza gestionale maturata durante la prima stagione della sperimentazione.

In particolare e per quanto attiene la seconda stagione si consideri in aggiunta che:

- nella maggior parte dei casi è stato prolungato il periodo di attivazione degli impianti (ad eccezione di Breganze e Sarcedo),
- per i siti di Carmignano, Schiavon e Rosà, inoltre, le portate medie rese disponibili<sup>6</sup> per le iniziative risultano relativamente maggiori.

#### **4.2.2 Valutazioni modellistiche in merito alla risposta idrogeologica dei bacini sotterranei**

Per approfondire la tematica degli effetti relativi alla sollecitazione indotta dalla ricarica nell'ambito del dominio di interesse, è stato condotto uno studio tramite modellazione numerica.

La verifica è stata condotta in un settore limitato del progetto Aquor, comprendente i siti di ricarica di Montecchio Precalcino, Sarcedo e Breganze.

Nel dettaglio la modellazione ha permesso di:

- ricostruire il modello concettuale del settore considerato,
- calibrare le risposte del codice di calcolo, tramite confronti con i dati reali e ritaratura dei parametri caratteristici e delle condizioni al contorno,
- simulare i processi di infiltrazione in falda da parte della trincea e dei pozzi disperdenti presenti presso il sito di Sarcedo;
- stimare gli impatti delle portate effettivamente disperse in falda nel periodo marzo 2012 – giugno 2014 nei 3 siti;
- valutare gli effetti della dispersione del fiume Astico sugli assetti piezometrici;
- stimare gli effetti di possibili incrementi di portata infiltrabile.

---

<sup>6</sup> in ingresso ai sistemi

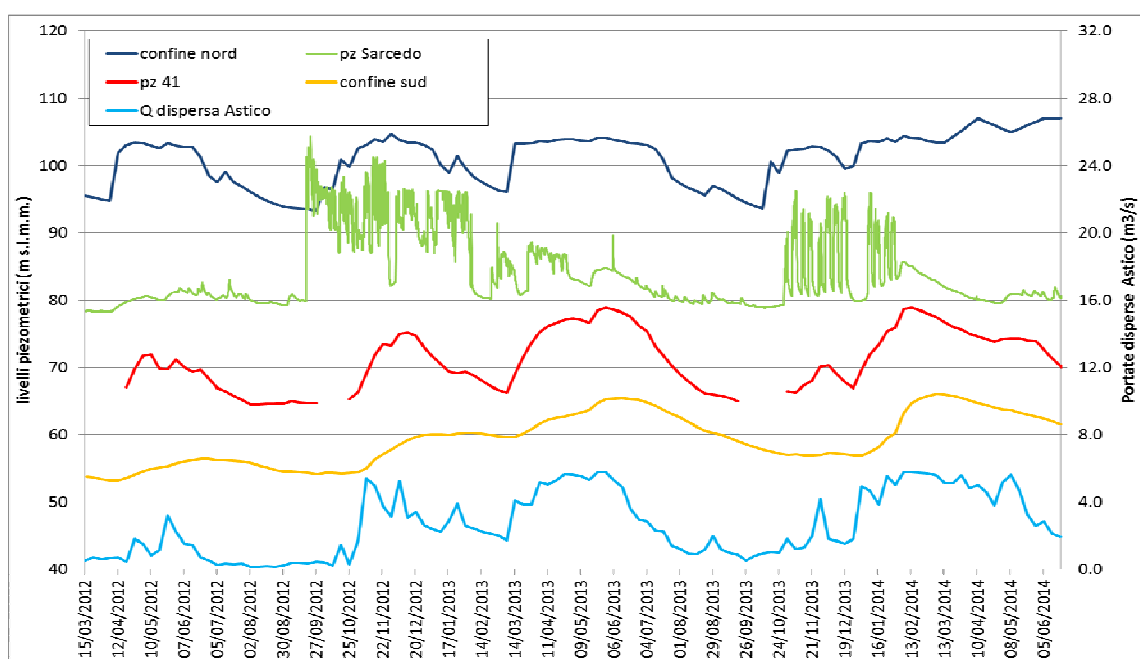
Per l'implementazione del modello, sviluppato mediante il codice FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system), è stato necessario innanzitutto:

- delimitare il dominio di calcolo,
- definire il modello concettuale del sito,
- valutare le condizioni al contorno,
- circoscrivere le condizioni di ricarica naturale (F. Astico e precipitazioni efficaci).

Tra i flussi in ingresso al modello matematico, si sono calcolati i volumi infiltrati nel periodo marzo 2012 – giugno 2014 da parte dei 3 siti di ricarica<sup>7</sup> che corrispondono in particolare a:

- Sarcedo (4 pozzi disperdenti e trincea di infiltrazione): 1'860'000 m<sup>3</sup>;
- Breganze (4 pozzi disperdenti): 1'460'000 m<sup>3</sup>;
- Montecchio Precalcino (2 pozzi bevitori): 80'500 m<sup>3</sup>.

Il modello è stato tarato sia in regime stazionario, riproducendo il campo di flusso naturale della falda, sia in transitorio, utilizzando dati di stazioni<sup>8</sup> automatiche di monitoraggio disponibili presso punti d'acqua rappresentativi per le finalità precitate.



**Fig. 5** – Condizioni al contorno, piezometri di monitoraggio e portate disperse dal fiume Astico (15 marzo 2012 – 19 giugno 2014).

Il modello matematico sviluppato ha permesso di approfondire le conoscenze in merito ai termini del bilancio idrologico.

<sup>7</sup> nel sito di Sarcedo è stata considerata l'influenza anche di un impianto di ricarica realizzato precedentemente (attivo dal 2012) e strutturato in 4 pozzi di infiltrazione: esso si trova in prossimità della trincea drenante progettata successivamente nell'ambito del Progetto Aquor

<sup>8</sup> fonte dei dati: Sinergo

Occorre evidenziare, su questo specifico aspetto, che il fiume Astico nel suo percorso a valle di Sarcedo si dimostra essere di fondamentale importanza per la ricarica degli acquiferi, influenzando profondamente la geometria del cielo piezometrico e l'assetto dei livelli circostanti. Per contro, la ricarica conseguente alla attivazione del sito pilota, nel periodo ottobre 2012 – maggio 2013 e ottobre 2013 – febbraio 2014, si dimostra essere, in termini volumetrici, quasi trascurabile, ininfluente rispetto agli altri fattori del bilancio idrico.

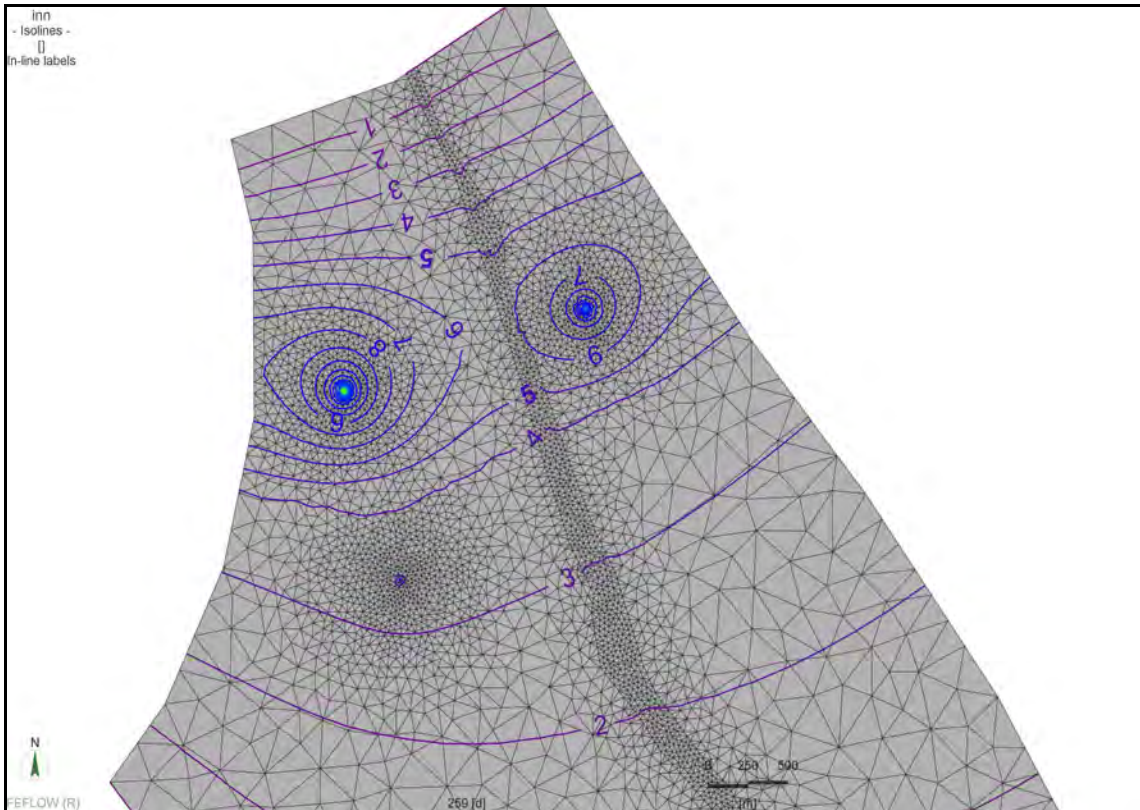
Nonostante le portate infiltrate relativamente modeste, gli innalzamenti piezometrici simulati dal modello evidenziano un'area di interferenza di ampiezza variabile, che si sviluppa in asse con la zona di infiltrazione artificiale, assumendo una dimensione del raggio di influenza tra 300 e 600 m circa. Si sottolinea che tali innalzamenti sono temporanei e tendono a smorzarsi velocemente non appena subentra una riduzione delle portate immesse ovvero l'arresto dell'impianto.

Alla luce delle simulazioni modellistiche, si può affermare che l'attivazione dei 3 siti di ricarica artificiale non ha apportato sostanziali variazioni dei livelli piezometrici dei sistemi acquiferi dell'area. Quest'ultimi, per contro, risultano notevolmente ricaricati dalle abbondanti precipitazioni degli ultimi anni e, soprattutto, dalle dispersioni fluviali, che si configurano come fattore primario per il rimpinguamento delle falde sotterranee.

In ragione di quanto sopra la persistenza e la ricorrenza di condizioni di alto piezometrico osservata negli ultimi anni anche nei luoghi oggetto di studio non è quindi da imputare agli impianti in oggetto, che a tutt'oggi nel periodo marzo 2012 – giugno 2014, hanno infiltrato volumi decisamente inferiori rispetto a quelli dispersi dal fiume Astico, tramite le proprie strutture naturali di subalveo.

Nel caso in cui questi impianti venissero utilizzati per infiltrare volumi maggiori rispetto agli attuali (volumi per i quali gli impianti sono stati progettati) oppure nel caso in cui fosse significativamente incrementato il numero dei siti di MAR potenzialmente attivabili sul territorio, l'impatto potrebbe divenire rappresentativo, determinando, solo in questi scenari di tipo "full-scale" innalzamenti della falda dell'ordine di anche 1 m nel dominio di calcolo.

In questo contesto i volumi immessi artificialmente in falda giungerebbero a modificare concretamente il bilancio idrogeologico locale, contribuendo, quindi, a conseguire tassi di ricarica degli acquiferi considerevoli alla scala provinciale.



**Fig. 6** – Scenario di ricarica (portata immessa nella simulazione pari a 42 milioni di metri cubi)

In conclusione, appare evidente che questi impianti debbano essere adeguatamente gestiti e attentamente monitorati, per consentirne un impegno sostenibile ed efficace, calibrato per mitigare gli effetti negativi che derivano dalla variabilità dei regimi geoidrologici attuali.

La loro funzione strutturale si conferma di indubbia importanza, contribuendo ad immagazzinare<sup>9</sup> acqua nei periodi di surplus ed a riequilibrare<sup>10</sup> il sistema sotterraneo, prima che esso evidenzi segnali deficitari ovvero tendenze di irreversibile esaurimento delle riserve sfruttabili.

### **4.3 Qualità delle acque in ingresso ai siti di ricarica**

#### **4.3.1 Monitoraggio sperimentale con bio-indicatori (muschi)**

##### **Introduzione**

La sorveglianza sulla qualità delle acque destinate alla ricarica delle falde nell'ambito del Progetto Aquor è stata realizzata anche attraverso l'utilizzo di muschi acquatici.

<sup>9</sup> con positivi effetti collaterali circa la regimazione di acque superficiali, che inibisce fenomeni di dissesto idrogeologico

<sup>10</sup> compensando i prelievi o altri fattori negativi tipici del depauperamento regionalizzato

La Provincia di Vicenza si avvale di questo strumento a partire dal 2009, sia per individuare fonti di contaminazione non rilevabili con le tradizionali tecniche d'indagine, sia per osservare con maggior dettaglio l'andamento spaziale e temporale di fenomeni già noti, come suggerito dalle Linee Guida d'implementazione delle Direttive Comunitarie 2000/60 e 2008/105.

Il principio su cui si basa il funzionamento di tali organismi risiede nella loro capacità di accumulare gli inquinanti in traccia (e.g. i metalli pesanti) in quantità proporzionali alla concentrazione nell'ambiente ed al tempo di contatto (Cesa, 2012).

I muschi hanno la capacità di attrarre grandi quantità di ioni carichi positivamente (cationi) sui siti di scambio della parete e della membrana cellulari. Il fattore di bioaccumulo, ossia il rapporto fra la concentrazione di un elemento accumulata dalla pianta e quella nell'ambiente circostante, è dell'ordine di  $10^{-3}$ - $10^{-5}$ , a seconda della sostanza e del tempo di esposizione. Ciò consente di lavorare su dati ben più consistenti di quelli derivanti dall'analisi diretta dell'acqua (spesso inferiori ai limiti di quantificazione strumentale) e, soprattutto, integrati nel tempo.

### **Materiali e metodi**

Il monitoraggio viene eseguito con il posizionamento di muschio *Platyhypnidium riparioides* lungo nei corsi d'acqua oggetto di studio. Il muschio è raccolto da un sito di riferimento incontaminato ed inserito in appositi sacchetti di rete, chiamati *moss bags*. Il captore è lasciato in esposizione per un periodo di 4 settimane, durante il quale le cellule della pianta catturano ed immobilizzano qualsiasi sostanza sia in grado di legarsi chimicamente alla loro superficie (processi di scambio ionico e di co-precipitazione degli ossidi), determinando un forte innalzamento della concentrazione interna (Cesa, 2015).

Al momento della raccolta, i muschi vengono lavati, selezionati, essiccati, pesati, mineralizzati ed analizzati mediante ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*): la concentrazione di ciascun inquinante nel campione viene prima rapportata al valore di riferimento valutato per il bacino dell'Astico/Bacchiglione (Cesa, 2010 e Cesa, 2013) e poi convertita nel valore di un indice - chiamato Palladio - che può essere classificato mediante una scala a 5 livelli (Tab. 2).

Nel corso del progetto lungo i corsi d'acqua alimentanti i siti di ricarica sono state installate stazioni di monitoraggio fisse. Un esempio di queste installazioni è riportato in Fig. 7: la stazione è costituita da un paletto di ferro, infisso nell'alveo, ed è attrezzata con 3 *moss bags* (particolare evidenziato nel riquadro), il cui contenuto viene combinato per confezionare il campione analitico.



**Fig. 7** – Esempio di stazione di monitoraggio con bio-indicatori della rete idrica superficiale

Inizialmente la sostituzione dei muschi è avvenuta con frequenza mensile mentre a partire da ottobre 2013 è diventata trimestrale (con 1 mese di esposizione seguito da 2 mesi di pausa).

In totale in circa 2 anni di monitoraggio sono stati raccolti ed inviati ad analisi n. 193 campioni.

### **Risultati**

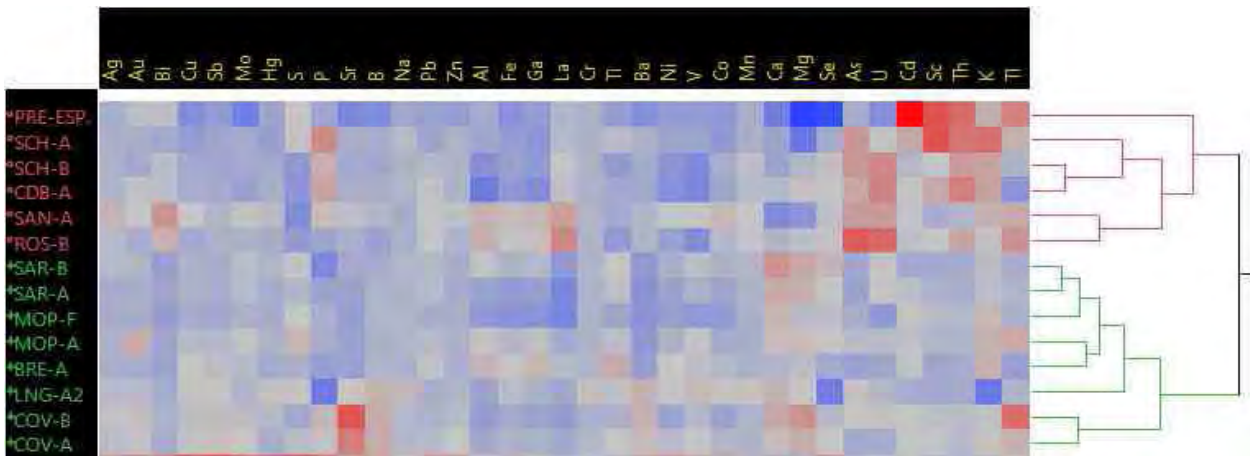
Il set analitico per le determinazioni di laboratorio ha considerato 37 parametri.

Per tellurio e tungsteno sono state rilevate concentrazioni quasi sempre inferiori al limite di rilevabilità strumentale; questi elementi sono stati perciò esclusi dall'elaborazione dei risultati.

Per gli altri parametri i risultati ottenuti hanno permesso di ricavare innanzitutto una valutazione analitica generale delle acque superficiali appartenenti ai bacini idrografici del Brenta e dell'Astico/Bacchiglione:

- nelle acque del bacino del F. Brenta si riscontra una maggiore biodisponibilità di elementi in traccia quali arsenico, uranio, cadmio, scandio, torio, potassio e tallio, probabilmente legata alla dissoluzione di rocce prevalentemente granitiche;

- o nelle acque del T. Astico, dove prevalgono invece substrati calcarei, si nota una minore biodisponibilità dei metalli e metalloidi indagati;
- o tali risultati sono illustrati dal diagramma di Fig. 8, in cui si osserva che i muschi esposti nel bacino del Brenta (da SCH-A a ROS-B) presentano concentrazioni simili a quelle di pre-esposizione (PRE-ESP) e si distinguono nettamente dai muschi esposti nel bacino dell'Astico/Bacchiglione (da SAR-B a BRE-A) o dell'Agno/Chiampo (da LNG-A2 a COV-A) per il maggior contenuto degli elementi sulla destra del diagramma (da As a Tl).



**Fig. 8** – Dendrogramma (diagramma ad albero ottenuto col metodo di Ward) dei dati medi di concentrazione nei moss bags dei siti AQUOR e di altri corsi d'acqua della provincia di Vicenza: il gradiente va dal blu (-) al rosso (+)

Come già accennato lo studio ha permesso una stima del livello di naturalità/alterazione ambientale formulato mediante l'Indice Palladio (Tab. 2). In particolare:

- nelle acque del sistema Astico/Bacchiglione si osserva l'assenza di condizioni di alterazione ambientale, ad eccezione di isolati superamenti per i parametri argento, oro e piombo, ritenuti comunque trascurabili;
- per le acque del sistema del F. Brenta, non disponendo di valori di riferimento come per quelle del T. Astico, si è scelto inizialmente di interpretare i dati secondo i riferimenti del bacino idrografico attiguo: non si sono riscontrate condizioni di alterazione ambientale, nonostante le concentrazioni di diversi elementi fossero tendenzialmente maggiori (come spiegato precedentemente); successivamente si è quindi deciso di adottare la media totale delle concentrazioni di ciascun elemento chimico negli stessi siti Aquor del Brenta come valore di riferimento: i valori dell'indice ricalibrato risultano quindi pari a 1 ma la banca dati servirà a classificare i risultati dei successivi monitoraggi.

Derivazione	Ubicazione (attivazione)	Sito	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	K	La	Mg
Astico	Canale Seriola a Breganze (ott. 2012)	BRE-A	1.2	1.3	0.8	1.2	1.0	1.1	0.9	0.7	0.6	3.8	2.0	1.5	2.9	1.5	1.0	1.1	1.4	0.8
	Roggia Monza a Montecchio P. (ott. 2012)	MOP-F	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8	0.9	0.6	2.0	1.2	1.0	1.7	0.9	0.9	1.1	1.0	0.8
	Roggia Verlatà a Sarcedo (giu. 2012)	SAR-B	2.0	1.2	0.9	1.6	0.9	1.0	0.9	1.1	0.5	3.3	1.6	1.1	2.5	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0
Brenta	Roggia Grimana Nuova a Carmignano di B. (ott. 2012)	CDB-A	0.7	0.7	0.9	1.3	1.0	0.9	0.7	1.2	1.0	0.7	0.7	0.9	0.8	0.7	1.0	1.0	0.9	1.3
	Roggia Comuna a Rosà (feb. 2013)	ROS-B	0.9	1.3	1.3	0.7	0.9	1.1	1.3	1.1	1.0	1.0	1.1	0.9	1.2	1.2	1.0	0.9	1.3	1.1
	Roggia Vitella a Sandrigo (ott. 2012)	SAN-A	1.9	1.2	0.9	1.4	1.1	1.1	1.5	0.8	1.0	1.6	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	1.1	0.8
	Roggia Grimana Vecchia a Schiavon (ott. 2012)	SCH-B	0.6	0.8	1.0	0.5	0.9	0.9	0.7	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	1.0

Sito	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Se	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	Zn
BRE-A	1.8	1.0	1.0	1.9	1.0	3.7	1.0	1.3	0.9	0.9	1.0	0.8	1.3	0.9	0.8	1.1	0.7
MOP-F	1.4	0.9	1.1	1.1	1.0	2.1	1.1	0.9	1.0	0.9	0.9	1.5	0.8	1.0	0.7	0.7	0.6
SAR-B	2.4	1.0	1.2	1.4	0.9	2.8	1.0	1.0	0.9	1.1	1.1	0.9	1.1	1.0	1.0	1.1	0.6
CDB-A	0.8	0.9	1.1	0.7	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.3	1.0	0.8	1.0	0.7	0.9
ROS-B	1.2	1.0	1.0	1.0	0.9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.2	1.0	1.3	1.2	0.9	1.0
SAN-A	1.3	1.1	0.9	1.5	1.0	1.2	1.0	1.1	0.7	1.0	1.1	0.3	1.0	1.1	0.9	1.4	1.1
SCH-B	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0	0.8	0.9	0.8	0.9	1.1	0.9	1.2	0.9	0.9	1.0	0.8	0.9

Classificazione Indice Palladio:	
Naturalità (assenza di alterazione)	IP<2.5
Incertezza	2.5≤IP<5
Alterazione ambientale	5≤IP<10
Alterazione forte	10≤IP<25
Alterazione estrema	IP>25

**Tab. 2** – Valori medi dell'Indice Palladio di naturalità/alterazione nei siti AQUOR

Le informazioni acquisite hanno permesso infine di analizzare le tendenze temporali mediante regressione lineare sui dati di concentrazione nel biennio di monitoraggio.

Sebbene questo approccio richieda serie temporali più estese, al fine di cogliere reali e significative variazioni delle condizioni chimiche dei siti, i dati non hanno messo in evidenza tendenze di peggioramento dello stato qualitativo (livello di significatività del test pari a 95%). La qualità delle acque utilizzate per l'infiltrazione dei siti di ricarica risulta dunque elevata e costante.

#### 4.3.2 Monitoraggio in continuo dei parametri chimico-fisici

Un altro programma di controllo assunto a garanzia della qualità dell'acqua immessa in falda, ha riguardato l'acquisizione in continuo<sup>11</sup> di parametri chimico-fisici.

Presso ciascun sito di ricarica è stata installata, lungo la condotta / adduttrice di alimentazione, una stazione di monitoraggio, appositamente allestita con sensori che misurano i seguenti parametri: temperatura, pH, ossigeno disciolto, potenziale redox, conducibilità elettrica e torbidità.

Le sonde sono collegate ad una centralina di acquisizione dei dati, che registra i valori in modalità automatica e continuo e, mediante un sistema di telecontrollo, invia i valori in tempo reale, sia ai gestori degli impianti di ricarica che al laboratorio chimico (Centro Idrico di Novoledo).

<sup>11</sup> con step di acquisizione strumentale pari a 2 minuti

Nell'ambito del piano di monitoraggio sono state definite inoltre le soglie di allarme e il protocollo per le verifiche e l'eventuale chiusura della paratoia di alimentazione, al fine di tutelare la falda da eventuali situazioni di criticità qualitative. In particolare i soggetti gestori dei siti di ricarica hanno convenuto un protocollo tecnico per l'esercizio dei relativi impianti, che prevede l'interruzione dell'alimentazione idrica in caso di avverse condizioni meteorologiche al fine di consentire la piena operatività delle squadre per il presidio idraulico del territorio.

Con riferimento ai parametri qualitativi misurati in continuo in ingresso all'impianto dimostrativo, sono stati riscontrati i seguenti valori mensili medio, massimo e minimo.

		Conducibilità Elettr. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Ossigeno Disciolto (mg/l)	pH	Potenziale Redox (mV)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
Breganze (VI)	Max	431	14.7	9.4	460	18.2
	Media	310	11.5	7.8	363	9.3
	Min	142	5.1	6.2	211	3.3
Sarcedo (VI)	Max	360	12.9	8.8	474	12.2
	Media	311	10.3	8.5	400	9.3
	Min	110	9.4	8.1	374	7.1
Montecchio (VI)	Max	520	13.8	8.8	468	22.4
	Media	377	10.7	8.1	356	9.7
	Min	190	7.6	7.6	79	5.4
Schiavon (VI)	Max	530	13.2	9.1	680	15.0
	Media	347	10.8	7.9	394	8.3
	Min	190	7.4	6.3	109	3.0
Sandrigo (VI)	Max	490	14.2	8.9	784	24.0
	Media	349	10.2	7.9	447	8.5
	Min	190	1.8	6.1	130	1.5
Carmignano (VI)	Max	620	13.9	8.8	508	22.4
	Media	309	11.6	7.9	400	9.1
	Min	160	8.7	6.9	68	5.0
Rosà (VI)	Max	330	16.4	8.8	470	14.7
	Media	264	12.0	7.9	328	8.7
	Min	100	7.8	6.7	101	3.4

**Tab. 3** – Valori dei parametri chimico-fisici delle acque misurati in ingresso ai siti pilota

Dai valori sopra riportati si evince come tutti i parametri monitorati siano risultati sempre entro un *range* accettabile. Sono state registrate alcune anomalie puntuali e sporadiche ascrivibili ad alterazioni non significative dei rispettivi parametri.

### 4.3.3 Campionamenti delle acque per le determinazioni analitiche di laboratorio

La valutazione della qualità delle acque delle rogge alimentanti i corsi d'acqua è stata completata attraverso campionamenti periodici, finalizzati alle analisi chimiche di laboratorio.

Le attività sono iniziate nel settembre 2013 (controllo ex-ante), proseguite per tutto il 2014 e concluse a fine febbraio 2015 (controllo in itinere) con sopralluoghi, prelievo di campioni di acque superficiali ed analisi di laboratorio.

Per quanto riguarda la valutazione ex ante, prima dell'attivazione dei sistemi di ricarica artificiale della falda (tra gennaio e ottobre 2013), si è provveduto a un primo *screening* analitico. Le tabelle seguenti riportano le medie dei valori misurati nell'ambito delle analisi effettuate in questa prima fase<sup>12</sup>.

Roggia	numero campionamenti	Cond. spec. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Torb. NTU	pH $\text{pH}$	Dur. tot. $^{\circ}\text{Fr}$	Residuo $\text{mg}/\text{l}$	Kubel $\text{mg}/\text{l}$
R. Monza	8	299	2,4	8,0	17,3	199	1,13
R. Breganze	9	298	3,2	8,1	17,1	198	1,59
R. Verlata	9	298	1,8	8,1	17,2	198	0,91
R. Grimana	2	255	2,7	7,7	13,4	168	1,37
R. Molina	1	260	3,3	7,8	14,9	170	1,06
R. Vitella	2	273	10,6	7,8	15,2	180	1,26
R. Brolla	0	--	--	--	--	--	--

Roggia	numero campionamenti	Cl <sup>-</sup> $\text{mg}/\text{l}$	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> $\text{mg}/\text{l}$	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> $\text{mg}/\text{l}$	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> $\text{mg}/\text{l}$	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> $\text{mg}/\text{l}$	As $\mu\text{g}/\text{l}$	Cd $\mu\text{g}/\text{l}$	Cr $\mu\text{g}/\text{l}$	Ni $\mu\text{g}/\text{l}$	Pb $\mu\text{g}/\text{l}$	Cu $\text{mg}/\text{l}$
R. Monza	8	4	5	7	<0,05	<0,02	< 1	<0,1	< 1	< 1	< 1	<0,1
R. Breganze	9	5	5	7	<0,05	<0,02	< 1	<0,1	1	< 1	< 1	<0,1
R. Verlata	9	4	5	7	<0,05	<0,02	< 1	<0,1	< 1	< 1	< 1	<0,1
R. Grimana	2	3	4	22	<0,05	<0,02	2	<0,1	< 1	< 1	< 1	<0,1
R. Molina	1	3	4	23	<0,05	<0,02	2	<0,1	< 1	< 1	< 1	<0,1
R. Vitella	2	4	4	20	<0,05	<0,02	2	<0,1	< 1	< 1	< 1	<0,1
R. Brolla	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Roggia	numero campionamenti	Escherichia coli UFC in 100 ml	Enterococchi UFC in 100 ml	Coliformi totali UFC in 100 ml
R. Monza	8	280	200	4.200
R. Breganze	9	2.700	3.000	28.600
R. Verlata	9	270	300	5.100
R. Grimana	2	3.200	670	7.900
R. Molina	1	640	920	3.100
R. Vitella	2	640	560	18.500
R. Brolla	0	--	--	--

Tab. 4 – Media dei valori chimici risultanti dalle analisi sulle acque di roggia del 2013

<sup>12</sup> relativamente al sito di Rosà si sottolinea che fino al termine della stagione irrigua non è mai stata rilevata acqua nella roggia che alimenta l'impianto di sub-irrigazione

Successivamente all'attivazione degli impianti di ricarica tra gennaio 2014 e marzo 2015 sono stati prelevati e analizzati 58 campioni di acque superficiali (controllo in itinere).

La tabella seguente riporta in modo sintetico, per ogni impianto, il numero di campioni prelevati nel periodo 2014-2015 e le medie dei valori misurati nell'ambito dell'attività di monitoraggio dell'acqua delle rogge che alimentano gli impianti di infiltrazione.

n° imp.	Roggia	n. camp.	Cond. spec. $\mu S/cm$	Torb. NTU	pH	Dur. tot. ° Fr	Residuo mg/l	Kubel mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	As $\mu g/l$	Cd $\mu g/l$	Cr $\mu g/l$	Ni $\mu g/l$
1	R. Monza	11	285	4,2	8,1	17,0	190	1,26	3	4	6	<0,05	<0,02	< 1	<0,1	< 1	< 1
2	R. Breganze	12	290	8,8	8,1	17,1	191	1,77	3	5	6	<0,05	<0,02	< 1	<0,1	< 1	< 1
3	R. Verlata	12	285	5,3	8,1	16,9	188	1,33	3	5	6	<0,05	<0,02	< 1	<0,1	< 1	< 1
4	R. Comuna	7	265	22,1	8,0	14,,8	175	2,43	3	4	16	<0,05	<0,02	1	<0,1	< 1	< 1
6	R. Vitella	9	256	8,1	7,9	14,5	168	1,78	3	4	14	<0,05	<0,02	2	<0,1	< 1	< 1
7	R. Brolla	7	261	5,5	8,1	14,7	172	1,55	3	4	16	<0,05	<0,02	1	<0,1	< 1	< 1

n° imp.	Roggia	n. camp.	Pb $\mu g/l$	Cu mg/l	Escherichia coli UFC in 100 ml	Enterococchi UFC in 100 ml	Coliformi totali UFC in 100 ml
1	R. Monza	11	< 1	<0,1	238	411	2.489
2	R. Breganze	12	< 1	<0,1	1.102	500	7.665
3	R. Verlata	12	< 1	<0,1	915	266	3.705
4	R. Comuna	7	< 1	<0,1	201	207	2.310
6	R. Vitella	9	< 1	<0,1	1.064	323	5.309
7	R. Brolla	7	< 1	<0,1	486	204	3.368

**Tab. 5** – Media dei valori chimici risultanti dalle analisi sulle acque di roggia tra il 2014 il 2015

A conferma dei dati acquisiti nel corso del 2012 e 2013, anche le analisi effettuate nel corso del 2014-15 mostrano che le acque utilizzate nei siti di ricarica forzata della falda possiedono ottime caratteristiche chimiche e peculiarità microbiologiche più che accettabili.

Più in particolare, sotto il profilo chimico tutte le acque presentano una bassa salinità (residuo fisso compreso tra 170 – 190 mg/L), un basso contenuto di cloruri, nitrati e solfati (le rogge Comuna, Vitella e Brolla, alimentate con acque del f. Brenta, mostrano una concentrazione di solfati doppia rispetto alle acque derivate dal t. Astico), assenza di ammoniaca e nitriti, assenza di metalli pesanti (la presenza di tracce minime di arsenico nelle acque derivate dal f. Brenta è un fatto del tutto naturale).

Sotto il profilo microbiologico si conferma una presenza di Escherichia coli ed Enterococchi nell'ordine di 102 - 103 UFC/100 mL, mentre i Coliformi totali sono presenti nell'ordine di 103 - 104 UFC/100 mL, ma la circostanza è da ritenere del tutto normale in contesti idrografici come quelli in argomento.

#### **4.4 Qualità delle acque di falda a valle dei siti di ricarica**

La valutazione degli effetti qualitativi indotti dalla ricarica è stata eseguita attraverso il campionamento periodico delle acque di falda, prelevate da idonei punti di controllo (piezometri) realizzati appositamente nell'ambito del progetto e situati a valle degli impianti pilota.

In particolare i piezometri spia sono stati terebrati a valle idrogeologico degli impianti di ricarica di Breganze, Sarcedo, Montecchio Precalcino, Schiavon e Rosà.

Le attività di prelievo sono state eseguite in osservanza della normativa vigente e rispettando i protocolli esecutivi internazionali più accreditati.

Dopo la prima campagna di monitoraggio di fine settembre 2013, realizzata ai fini del controllo ex-ante, dal mese di novembre è stato avviato un piano di controllo mensile, per valutare la risposta idrologica ed idrochimica della falda rispetto all'azione di ricarica (misura di livello e verifica qualitativa).

L'azione di monitoraggio è proseguita fino all'avvio della stagione irrigua (maggio 2014), quindi anche dopo la fermata degli impianti che, come detto, con la sola esclusione dell'impianto di Breganze, è stata messa in atto a fine gennaio 2014 ed è proseguita durante la stagione irrigua 2014.

L'azione di ricarica è poi ripartita a dicembre 2014.

I controlli di gennaio ed inizio febbraio 2015, relativi al piezometro di valle degli impianti di Sarcedo e Montecchio Precalcino, si riferiscono ad una ulteriore fase di "fermo impianto" per attività di manutenzione del Canale Mordini.

Gli altri impianti hanno sempre funzionato regolarmente anche se, per quanto riguarda la sub-irrigazione, la portata infiltrata nel sito di Rosà ha avuto nei primi mesi del 2015 delle variazioni significative<sup>13</sup>. Da ultimo si evidenzia che, nel sito di Breganze, a seguito del riscontro di un'alterazione dei parametri microbiologici rilevata nel corso del 2014 nel piezometro di valle durante il periodo di funzionamento dell'impianto, nell'autunno 2014 è stato realizzato un secondo piezometro integrativo, posto alla distanza di circa 60 m rispetto ai pozzi di infiltrazione, in assetto sotto gradiente rispetto alla direttrice di scorrimento. La nuova struttura di controllo è risultata utile per verificare le modalità auto-depurative che conseguono alla filtrazione delle acque di falda in seno al mezzo poroso saturo. La disponibilità di 2 piezometri spia, posti a valle del punto di ricarica ed a distanze crescenti da esso, consente di formulare interessanti considerazioni spazio-temporali circa il ritorno alla normalità di detti parametri per le fenomenologie precitate.

---

<sup>13</sup> i valori di portata sono inseriti in tabella

Nel periodo settembre 2013 - febbraio 2015 sono state organizzate e condotte 12 campagne di monitoraggio, per un totale di 60 campioni di acque sotterranee analizzati:

- n. 1 campagna (settembre 2013) prima dell'avvio degli impianti;
- n. 3 campagne con impianti di ricarica attivi (novembre, dicembre e gennaio 2014);
- n. 4 campagne dopo il fermo degli impianti di Sarcedo, Montecchio Prec.no, Schiavon, Rosà (febbraio, marzo, aprile, maggio 2014);
- n. 4 campagne di monitoraggio dopo la ripresa dell'attività di ricarica, tranne gli impianti di Sarcedo e Montecchio Prec.no (dicembre 2014-febbraio 2015).

L'impianto di Breganze ha sempre funzionato.

Come detto, scopo di questa azione è quello di verificare se l'infiltrazione di acqua nei diversi impianti di ricarica determina una variazione anche significativa del chimismo e del profilo microbiologico dell'acqua nel piezometro di valle e se questa variazione è in qualche modo legata alla diversa tipologia degli impianti.

Per una migliore comprensione dei risultati di questa attività di monitoraggio, nelle tabelle seguenti sono messi a confronto per ogni sito di ricarica le medie aritmetiche dei valori misurati per i singoli parametri nel piezometro di valle nelle due fasi di attività del sito di ricarica: impianto fermo (OFF) e impianto in funzione (ON).

Nella tabella del sito di Breganze è inserita una ulteriore riga, i cui dati si riferiscono al piezometro n. 2, realizzato più a valle rispetto al piezometro n. 1.

#### Montecchio Precalcino: alimentazione impianto da Roggia Monza

funzion. impianto	Cond. spec. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Torb. NTU	pH $\text{pH}$	Durez. totale $^{\circ}\text{Fr}$	Residuo $\text{mg}/\text{l}$	Kubel $\text{mg}/\text{l}$	$\text{Cl}^-$ $\text{mg}/\text{l}$	$\text{NO}_3^-$ $\text{mg}/\text{l}$	$\text{SO}_4^{=}$ $\text{mg}/\text{l}$	$\text{NH}_4^+$ $\text{mg}/\text{l}$	$\text{NO}_2^-$ $\text{mg}/\text{l}$	As $\mu\text{g}/\text{l}$
OFF	404	2,6	7,5	23,2	272	0,68	3	10	8	< 0,05	< 0,02	< 1
ON	289	1,5	7,8	16,7	191	0,72	3	5	6	< 0,05	< 0,02	< 1

funzion. impianto	Cd $\mu\text{g}/\text{l}$	Cr $\mu\text{g}/\text{l}$	Ni $\mu\text{g}/\text{l}$	Pb $\mu\text{g}/\text{l}$	Cu $\text{mg}/\text{l}$	MC $\mu\text{g}/\text{l}$	TCE $\mu\text{g}/\text{l}$	PCE $\mu\text{g}/\text{l}$	VOCs $\mu\text{g}/\text{l}$	Escherichia coli UFC % mL	Enterococchi UFC % mL	Coliformi totali UFC % mL
OFF	< 0,1	1	1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	1	0	14
ON	< 0,1	1	1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	147	70	894

Tab. 6 – Montecchio Precalcino: alimentazione impianto da Roggia Monza

funzion. impianto	Cond. spec. $\mu\text{S/cm}$	Torb. NTU	pH	Durez. totale $^{\circ}\text{Fr}$	Residuo mg/l	Kubel mg/l	$\text{Cl}^-$ mg/l	$\text{NO}_3^-$ mg/l	$\text{SO}_4^{=}$ mg/l	$\text{NH}_4^+$ mg/l	$\text{NO}_2^-$ mg/l	As $\mu\text{g/l}$
<b>OFF</b>	491	7,4	7,4	27,6	334	0,99	7	28	12	< 0,05	< 0,02	< 1
<b>ON</b>	288	2,0	7,8	16,6	190	0,66	2	5	6	< 0,05	< 0,02	< 1

funzion. impianto	Cd $\mu\text{g/l}$	Cr $\mu\text{g/l}$	Ni $\mu\text{g/l}$	Pb $\mu\text{g/l}$	Cu mg/l	MC $\mu\text{g/l}$	TCE $\mu\text{g/l}$	PCE $\mu\text{g/l}$	VOCs $\mu\text{g/l}$	Escherichia coli UFC % mL	Enterococchi UFC % mL	Coliformi totali UFC % mL
<b>OFF</b>	< 0,1	1	1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,0	1,0	0	1	19
<b>ON</b>	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1,0	< 1,0	93	32	628

Tab. 7 – Sarcedo: alimentazione impianto da Roggia Verlata

Comune	funzion. impianto	Cond. spec. $\mu\text{S/cm}$	Torb. NTU	pH	Durez. totale $^{\circ}\text{Fr}$	Residuo mg/l	Kubel mg/l	$\text{Cl}^-$ mg/l	$\text{NO}_3^-$ mg/l	$\text{SO}_4^{=}$ mg/l	$\text{NH}_4^+$ mg/l	$\text{NO}_2^-$ mg/l	As $\mu\text{g/l}$
pz. n. 1	<b>OFF</b>	345	1,9	7,4	19,5	230	0,50	5	7	8	< 0,05	< 0,02	< 1
	<b>ON</b>	304	2,0	7,6	17,2	202	0,60	3	6	7	< 0,05	< 0,02	< 1
pz. n. 2	<b>ON</b>	322	0,7	7,6	18,2	215	0,51	3	6	7	< 0,05	< 0,02	< 1

Comune	funzion. impianto	Cd $\mu\text{g/l}$	Cr $\mu\text{g/l}$	Ni $\mu\text{g/l}$	Pb $\mu\text{g/l}$	Cu mg/l	MC $\mu\text{g/l}$	TCE $\mu\text{g/l}$	PCE $\mu\text{g/l}$	VOCs $\mu\text{g/l}$	Escherichia coli UFC % mL	Enterococchi UFC % mL	Coliformi totali UFC % mL
Breganze pz. n. 1	<b>OFF</b>	< 0,1	5	2	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	0	0	70
	<b>ON</b>	< 0,1	1	< 1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	16	9	134
pz. n. 2	<b>ON</b>	< 0,1	1	< 1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	0	0	0

Tab. 8 – Breganze: alimentazione impianto da Roggia Seriola

funzion. impianto	Cond. spec. $\mu\text{S/cm}$	Torb. NTU	pH	Durez. totale $^{\circ}\text{Fr}$	Residuo mg/l	Kubel mg/l	$\text{Cl}^-$ mg/l	$\text{NO}_3^-$ mg/l	$\text{SO}_4^{=}$ mg/l	$\text{NH}_4^+$ mg/l	$\text{NO}_2^-$ mg/l	As $\mu\text{g/l}$
<b>OFF</b>	472	3,2	7,3	27,2	320	0,52	5	18	18	< 0,05	< 0,02	1
<b>ON</b>	418	5,8	7,4	23,3	282	0,65	4	10	17	< 0,05	< 0,02	1

funzion. impianto	Cd $\mu\text{g/l}$	Cr $\mu\text{g/l}$	Ni $\mu\text{g/l}$	Pb $\mu\text{g/l}$	Cu mg/l	MC $\mu\text{g/l}$	TCE $\mu\text{g/l}$	PCE $\mu\text{g/l}$	VOCs $\mu\text{g/l}$	Escherichia coli UFC % mL	Enterococchi UFC % mL	Coliformi totali UFC % mL
<b>OFF</b>	< 0,1	1	< 1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	0	0	1
<b>ON</b>	< 0,1	1	< 1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	0	0	181

Tab. 9 – Schiavon: alimentazione impianto da Roggia Comuna

funzion. impianto	Cond. spec. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Torb. NTU	pH pH	Durez. totale $^{\circ}\text{F}$	Residuo mg/l	Kubel mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	As $\mu\text{g}/\text{l}$
OFF	479	5,0	7,4	27,8	326	0,72	4	30	19	< 0,05	< 0,02	1
ON	497	3,2	7,3	28,7	338	0,69	4	22	19	0,08	0,02	1

funzion. impianto	Cd $\mu\text{g}/\text{l}$	Cr $\mu\text{g}/\text{l}$	Ni $\mu\text{g}/\text{l}$	Pb $\mu\text{g}/\text{l}$	Cu mg/l	MC $\mu\text{g}/\text{l}$	TCE $\mu\text{g}/\text{l}$	PCE $\mu\text{g}/\text{l}$	VOCs $\mu\text{g}/\text{l}$	Escherichia coli UFC % mL	Enterococchi UFC % mL	Coliformi totali UFC % mL
OFF	< 0,1	1	1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	0	26	244
ON	< 0,1	1	1	< 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	0	0	2

Tab. 10 – Rosà: alimentazione impianto da Roggia Brolla

## Risultati

### A. Variazione del chimismo

Con la sola esclusione dell'impianto di Rosà, dove viene utilizzata la tecnica della sub-irrigazione e dove la portata infiltrata è stata in alcuni periodi particolarmente bassa, negli altri quattro impianti l'immissione in falda di acqua di minore contenuto salino comporta una significativa diminuzione di tutti i parametri che caratterizzano sotto il profilo chimico le acque sotterranee: ciò è ben rilevabile nel piezometro di controllo posto "sotto gradiente" lungo la direttrice del deflusso prevalente.

A Montecchio Precalcino, dove l'impianto è costituito da due pozzi disperdenti a largo diametro e a Sarcedo (trincee disperdenti) la diminuzione di conducibilità elettrica e durezza totale, con impianto in funzione, è del 30-40%.

Per i nitrati la diminuzione è del 50% a Montecchio Prec.no, mentre è addirittura del 70-80% a Sarcedo. Più contenuta è invece la diminuzione dei solfati (25 e 50%, rispettivamente).

A Breganze, dove l'impianto è costituito da quattro pozzi disperdenti, nel piezometro n. 1 (posto circa 30 m sotto gradiente) la diminuzione di conducibilità elettrica e durezza totale, con impianto in funzione, è del 12% circa, mentre per cloruri, nitrati e solfati la diminuzione è compresa tra il 15 e il 40%.

Nel piezometro n. 2 (posto altri 30 m più a valle) si misurano invece valori intermedi tra quelli del piezometro n. 1 e quelli rilevati con impianto di ricarica fermo, a dimostrazione che l'effetto "diluizione" si esaurisce in 50-60 m dal punto di infiltrazione.

Del tutto simile è la diminuzione del contenuto salino a Schiavon, dove l'impianto di ricarica utilizza la tecnica delle AFI: conducibilità e durezza diminuiscono del 12-15%; cloruri e nitrati, rispettivamente del 20 e 45%; solfati del 5%.

I dati acquisiti nel piezometro “di valle” di Rosà mostrano un andamento in contro-tendenza. Pur avendo l’acqua d’infiltrazione un contenuto salino decisamente più basso rispetto a quanto misurato in falda con impianto fermo (conducibilità roggia Brolla: 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , conducibilità acqua di falda: 480  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), con l’avvio dell’azione di ricarica nel piezometro di valle si misura un incremento di tutti i parametri che caratterizzano l’acqua sotto il profilo chimico.

Ciò potrebbe dipendere da una collocazione del piezometro di valle in posizione non perfettamente “sotto-gradiente” rispetto all’impianto stesso o, data la bassa portata, ad un’azione di “diluizione” del tutto trascurabile.

## **B. Variazione dei parametri microbiologici**

Anche per questo gruppo di parametri si osserva, dopo l’avvio degli impianti di ricarica, una variazione significativa nel piezometro “di valle”, con andamenti diversi in funzione della tipologia di impianto.

In estrema sintesi si nota che:

- a. negli impianti dove si sfrutta la tecnica dei pozzi disperdenti (Montecchio Prec.no e Breganze) o delle trincee disperdenti (Sarcedo), durante il periodo di funzionamento dell’impianto nel piezometro di controllo aumenta in modo significativo il n° delle UFC in 100 mL (unità formanti colonie) di tutti i microrganismi (Escherichia coli, Enterococchi, Coliformi totali).

Ciò potrebbe dipendere da una minore efficienza di rimozione dei microrganismi conseguente ad una diminuzione del percorso auto-depurativo nel tratto filtrante sopra la falda (spessore insaturo).

La realizzazione del piezometro n. 2 a Breganze, posto più “a valle” di altri 30 m, mostra tuttavia, come già si è osservato per i parametri chimici, che la presenza di microrganismi si esaurisce in 50-60 m di filtrazione.

- b. nell’impianto dove si utilizzano le AFI (Schiavon), ovvero laddove l’acqua viene rilasciata poco al di sotto del piano-campagna, il n° di UFC, con l’avvio dell’impianto di ricarica la variazione di contenuto microbico è più contenuta (compaiono solo i coliformi totali) e ciò induce a ritenere che lo spessore insaturo sia ancora in grado di intercettare tutti o quasi i microrganismi presenti nell’acqua della roggia;
- c. appaiono contraddittori i risultati rilevati nel sito di Rosà dove addirittura il contenuto di enterobatteri è più elevato con impianto fermo, mentre praticamente si azzerava durante l’azione di ricarica forzata.

Per questo sito sussiste il dubbio circa la rappresentatività<sup>14</sup> del piezometro di controllo “di valle”, sia di un “effetto diluizione” realmente misurabile, data la bassa portata infiltrata.

## 4.5 Censimento delle risorgive

Con il termine “risorgiva” si definisce l'emersione in superficie di acqua sotterranea, legata ad una variazione composizionale del sottosuolo, che determina il contatto tra sedimenti alluvionali a differenti permeabilità. Anche per il sistema acquifero vicentino, dove si rinvencono abbondantemente rappresentate, le risorgive costituiscono quindi una spia dello stato di salute e, in qualche modo, un indicatore del quadro di gestione delle risorse idriche.

In provincia di Vicenza i fontanili sono localizzati principalmente entro una fascia di media pianura, che si estende pressoché parallela al piede dei rilievi, per una larghezza variabile tra 2 e 10 km e con quote topografiche delle emergenze idriche comprese tra 30 m e 65 m s.l.m. circa. Nel territorio vicentino l'area interessa

- il settore a nord di Vicenza, che comprende i territori comunali di Isola Vicentina, Vicenza, Costabissara, Caldogno, Villaverla, Dueville, Sandrigo, Bressanvido, Quinto Vicentino, Bolzano Vicentino, Pozzoleone e Schiavon;
- il territorio pianeggiante posto tra i Monti Lessini ed i Colli Berici, che si estende tra i comuni di Brendola, Altavilla Vicentina e Creazzo.

Le indagini presso la fascia delle risorgive sono state condotte tra ottobre 2014 e marzo 2015 e sono state finalizzate all'aggiornamento della situazione del dominio geoidrologico di media pianura, prendendo come riferimento studi bibliografici precedenti ed eseguendo un capillare censimento del territorio. In particolare nel settore di interesse del Progetto Aquor (area a nord di Vicenza) le indagini sono state approfondite per gli aspetti che riguardano il monitoraggio quali-quantitativo dei deflussi sorgivi.

Lo studio ha previsto una fase di preanalisi delle informazioni disponibili, a seguito della quale sono state pianificate numerose indagini sperimentali in campo, misure e rilievi, talora inediti.

Le attività hanno previsto un esame di tipo:

- geografico - topografico (georeferenziazione): il controllo è stato realizzato con strumenti GPS e tramite appositi software di gestione delle immagini ortofotogrammetriche e delle basi cartografiche di supporto;

---

<sup>14</sup> in termini di corretta ubicazione, sulla scorta della direttrice locale di scorrimento e della variabilità angolare dei deflussi

- geomorfologico: ogni risorgiva è stata contestualizzata con la descrizione dei parametri morfologici e dimensionali, sia nel settore di testa che per la parte iniziale del canale di scolo;
- geologico: è stato condotto un controllo speditivo delle peculiarità tessiturali e granulometriche dei terreni affioranti in corrispondenza alla polla;
- idrogeologico-idrochimico: sono stati raccolti elementi utili per la classificazione dell'emergenza, sia per quanto concerne le misure di portata che relativamente alla caratterizzazione idrochimica delle acque di sfioro.

Tutte le informazioni sono state elaborate ed organizzate in una banca dati omogenea, che aggiorna ed integra gli esiti di precedenti iniziative ricognitive (Dal Pra', Antonelli 1980; Sottani, 1994; Consorzio bonifica Pedemontano Brenta, 1997; Perin, 2002; Romanello, 1999; Modena Zangheri, 2005; Comitato Risorgive di Bressanvido, 2008).

L'indagine è stata sviluppata al fine di approfondire il quadro conoscitivo dal punto di vista

- geomorfologico – naturalistico (assetto ecologico, faunistico-vegetazionale),
- quantitativo (portata e regimi di deflusso),
- qualitativo (situazione analitica).

#### **4.5.1 Aspetti morfologici-naturalistici**

In base ai rilievi condotti su circa 400 punti di indagine e sulla base dei caratteri del deflusso, le risorgive sono state distinte secondo le seguenti tipologie:

- perenne: nei casi in cui risulta evidenza da documenti e testimonianze dirette (e.g. proprietari o tecnici di riferimento) che la risorgiva non presenta periodi di secca; in tutti questi punti è stato possibile eseguire un rilevamento completo, acquisendo dati di tipo morfologico, naturalistico e, soprattutto, misure quali-quantitative regolari;
- periodica: anche a seguito di documenti pregressi e/o testimonianze dirette la risorgiva in determinate condizioni di regime presenta portata nulla; il rilievo completo è stato possibile solamente per i punti di indagine in cui, al momento dell'uscita in campo, è stata rilevata la presenza di acqua fluente;
- estinta: siti per cui si ha documentazione di presenza storica di una risorgiva ma che attualmente risulta scomparsa (pur riconoscendosi forme della passata attività).

La prima fase dello studio ha riguardato oltre gli aspetti morfologici anche una caratterizzazione di tipo ambientale-naturalistica.

In questa fase delle operazioni ci si è prefissi il compito di analizzare aspetti e collezionare elementi che possono essere utilizzati a medio lungo termine, per valutare eventuali fenomeni di degrado geidrologico o paesaggistico. Tale fase del lavoro ha previsto l'aggiornamento dell'Indice di Funzionalità della Risorgiva (I.F.R.), in base ad una metodologia derivata da precedenti lavori in materia (Modena, Zangheri, 2005). Il protocollo si basa su vari parametri ed indicatori, che vengono considerati elementi ambientali ricorrenti, con variazioni tipologiche facilmente quantificabili.

Per poter classificare in modo semplice i siti in base alla qualità ambientale è stata utilizzata una scala di valori con livelli crescenti di qualità, reimpiegando con le stesse classi utilizzate nel censimento del 2005:

IFR < 15	Pessima (qualità ambientale)
15 < IFR < 20	Scarsa
20 < IFR < 25	Buona
25 < IFR < 30	Ottima

Secondo questa suddivisione ad oggi 34 risorgive possono essere classificate con qualità ambientale pessima (12%), 129 con qualità scarsa (46 %), 110 con qualità buona (40 %) e 6 con qualità ottima (2%).

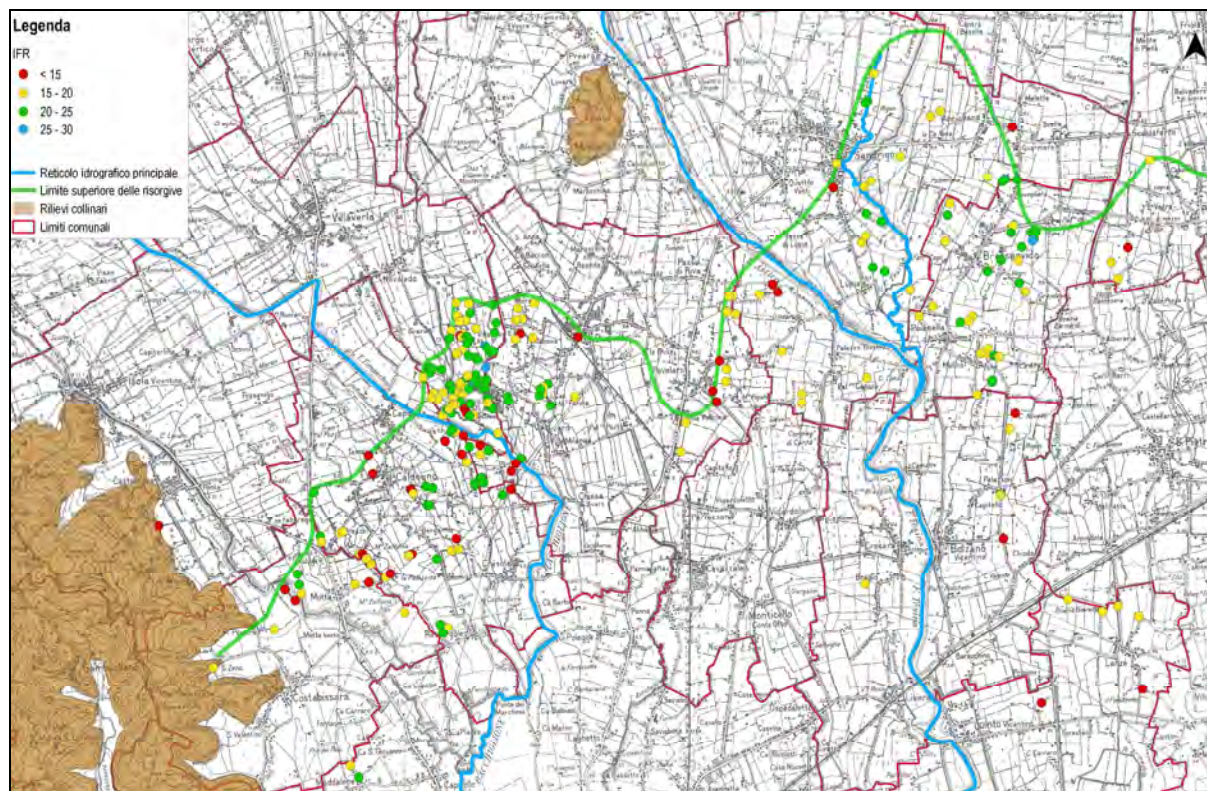


Fig. 9 – Distribuzione dell'indice IFR

## 4.5.2 Monitoraggio quantitativo

Dal punto di vista quantitativo, lo studio del regime idraulico del sistema delle risorgive è stato strutturato per fasi progressive di approfondimento, tramite:

- valutazione preliminare e manuale della portata, durante il primo sopralluogo, presso tutti i punti di risorgiva attivi,
- monitoraggio mediante n. 9 campagne di misura manuale su un campione di 51 risorgive (misure periodiche),
- monitoraggio continuo in corrispondenza di n. 3 sezioni significative, per mezzo della istituzione di altrettante stazioni fisse di misura automatica ed in continuo.



Fig. 10 – Misura della portata lungo l'asta d una risorgiva

La prima fase dello studio quantitativo ha permesso di trovare un valore indicativo della portata effluente dalle risorgive situate tra Astico e Brenta, che, alla data dei rilievi, viene stimato in complessivi  $6.7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tale valore è da ritenersi indicativo, in quanto la misurazione delle portate per ogni polla è stata completata in un arco temporale di circa due mesi, che può non ritenersi non istantaneo se confrontato con la variabilità idrogeologica dell'acquifero.

La valutazione degli aspetti quantitativi mediante monitoraggio manuale ed automatico su un ristretto numero di risorgive, scelte in modo tale da coprire in modo omogeneo l'area di indagine, ha dato inoltre valori più o meno accurati, a seconda del metodo di misura adottato, sull'andamento nel tempo delle portate. In questo modo è stato possibile ipotizzare in via preliminare<sup>15</sup> una correlazione tra l'evoluzione delle portate di sfioro delle risorgive e gli eventi pluviometrici, con le relative oscillazioni di falda, in ordine al poter evidenziare una tendenza nel comportamento del sistema idrico globale.

<sup>15</sup> le valutazioni sono state effettuate considerando un periodo limitato mentre sarebbe opportuno avere dati relativi ad almeno un anno idrologico

### 4.5.3 Monitoraggio qualitativo

Dal punto di vista qualitativo lo studio espletato ha invece previsto una prima caratterizzazione chimico-fisica sulle acque delle risorgive attive.

In base ai risultati dei primi sopralluoghi in sito è stata a seguire pianificata una serie di campagne di campionamento delle acque di sfioro su alcuni punti di indagine.

Le risorgive selezionate per il campionamento e per le successive analisi di laboratorio sono state scelte sulla base di criteri di rappresentatività delle condizioni di progetto, in quanto a significatività spaziale, geoidrologica e di ricarica, anche in funzione della distanza dei siti di ricarica in condizioni controllata, istituiti con il Progetto Aquor.

L'attività di campionamento è stata espletata organizzando n. 7 campagne di prelievo ed altrettante sessioni di analisi in laboratorio, distribuite tra dicembre 2014 e febbraio 2015.

Le analisi chimiche sono state condotte adottando set analitici differenziati a seconda della campagna e del numero di risorgive considerate (per ogni campagna variabile da 30 a 50 polle). Il set analitico a più ampio spettro è stato articolato in 67 parametri, di cui 29 hanno presentato, almeno in una sessione di campionamento, il superamento del limite di rilevabilità strumentale.

Ai fini di una prima valutazione di qualità sono stati presi in considerazione i riferimenti tabellari di cui all'Allegato 1 della Parte Terza del D. Lgs. 152/06 s.m.i, così come modificato dal D.M. 260/2010 evidenziando alcuni superamenti (isolati e di modesta entità) dei valori di riferimento<sup>16</sup>.

Tutti i dati acquisiti sono stati elaborati sia in termini di distribuzione spaziale che di trend idrochimici temporali. Sono state analizzate le distribuzioni dei composti, utilizzando come metodo di rappresentazione mappe categorizzate, considerando i diversi parametri suddivisi per classi di concentrazione.

A titolo di esempio si riporta a seguire l'elaborazione grafica eseguita per il composto "nitrati".

---

<sup>16</sup> si è fatto riferimento in particolare alla terza colonna di Tab.1/A riferita agli standard di qualità ambientale espressi come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA) per le sostanze inserite nell'elenco di priorità e alla seconda colonna di Tab.1/B riferita agli standard di qualità ambientale espresso come concentrazione media annua (SQA-MA) per le sostanze non inserite nell'elenco di priorità; tutti i valori considerati fanno riferimento alla classe di appartenenza delle "acque superficiali interne"

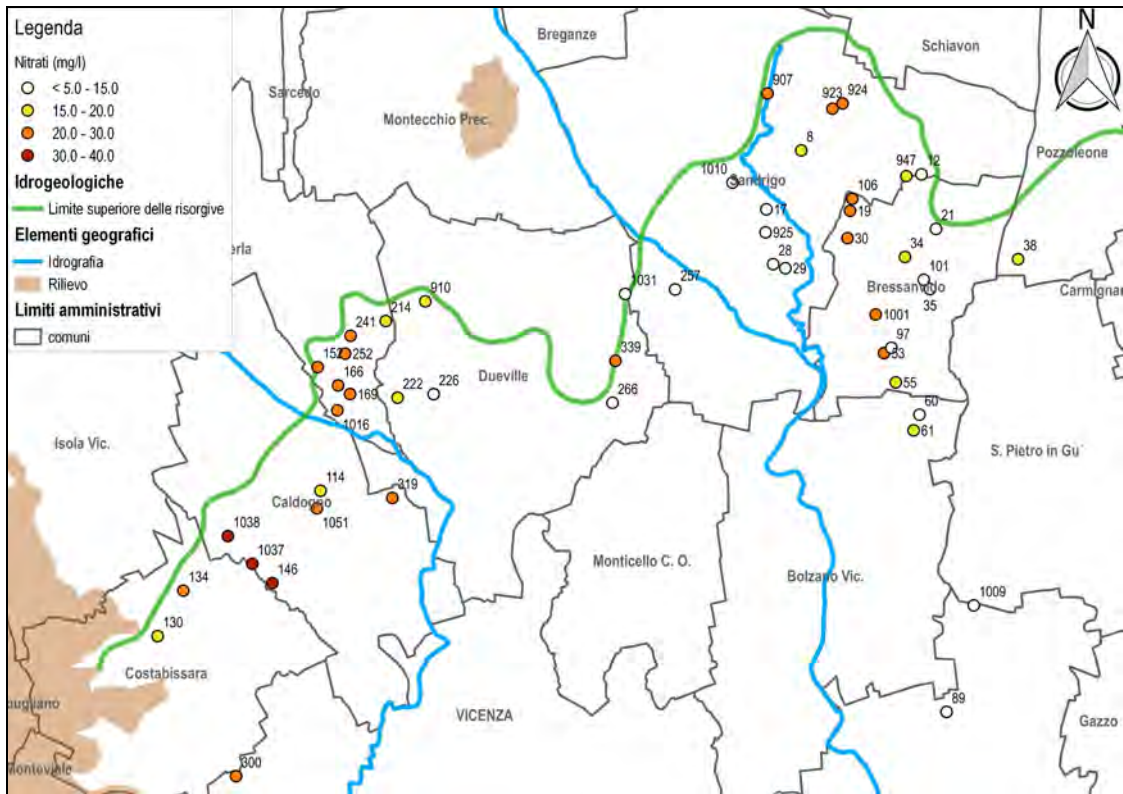


Fig. 11 – Distribuzione dei nitrati nella fascia delle risorgive (valori medi, 2015)

Tali elaborazioni sono state condotte per tutti i parametri più rappresentativi ed in particolare per i parametri chimico-fisici, la durezza, i composti azotati, gli anioni, i solventi organoalogenati ed i metalli.

Dall'esame dei dati si è potuta osservare una distribuzione dei tenori in stretta relazione con sorgenti e fenomenologie di contaminazione della falda già note e poste a monte della fascia di indagine.

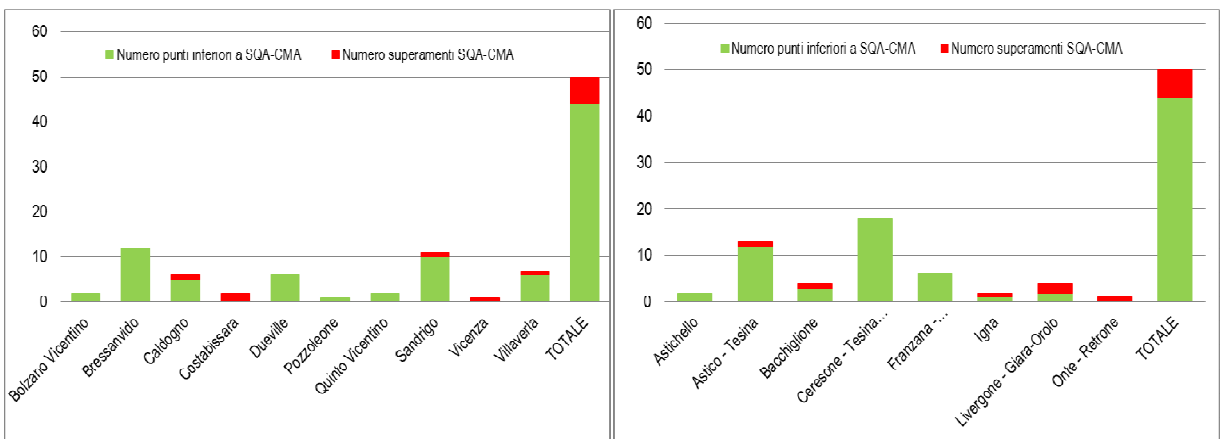


Fig. 12 – Distribuzione dei punti di campionamento per comune e per bacino imbrifero

In particolare si sono notati effetti di tipo estensivo in corrispondenza di aree caratterizzate da intensa attività agricola o da plume di contaminazioni storiche ed impatti maggiormente circoscritti riconducibili a sorgenti di tipo puntiforme (i.e. scarichi di impianti di depurazione). E' stata anche approssimata un'analisi dell'andamento degli esiti analitici in funzione del tempo, verificando, seppur in via preliminare, connessioni tra i trend e le precipitazioni efficaci. Tali relazioni potranno essere perfezionate e validate con successive verifiche protratte sul medio-lungo termine, laddove anche a seguito delle investigazioni sperimentali riferibili alla azione "D4", potesse essere intrapreso un piano di controllo sistematico sul comparto in argomento. Superamenti degli standard di qualità sono stati registrati nelle risorgive presenti nei comuni di Caldogno, Costabissara, Sandrigo, Villaverla e Vicenza; in risorgive campionate nel comune di Costabissara si è riscontrato almeno un superamento del parametro soglia (SQA-MA).

La caratterizzazione analitica è stata anche completata con valutazioni supplementari, finalizzate ad approfondire i meccanismi, le origini ed i percorsi delle circolazioni idriche ipogee, rispettivamente alimentate da acque piovane, dispersioni fluviali, pratiche irrigue ovvero iniziative pilota di MAR.

L'approfondimento idrogeochimico, condotto secondo la metodologia di Piper, ha condotto ad una zonazione del dominio di studio sulla base delle facies idrochimiche predominanti: in questo frangente le acque di risorgiva sono state classificate sulla base dei rapporti quantitativi intercorrenti tra cloruri, solfati, bicarbonati, calcio, magnesio, potassio, e sodio. I risultati conseguiti si pongono in buon accordo con gli esiti di precedenti ricerche riferibili al progetto SAMPAS (ARPAV, 2008). Per approcciare in maniera innovativa sul merito dei rapporti causa-effetto che intercorrono tra le aree di alimentazione (ivi compresi i siti di ricarica Aquor) e le risorgive sono state eseguite alcune analisi isotopiche di acque sotterranee e superficiali. Per il caso specifico sono stati analizzati gli isotopi stabili:  $^{18}\text{O}$ : $^{16}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$ , che risultano traccianti impiegabili ai fini della valutazione dell'origine e del grado di mescolamento delle acque sotterranee che sfiorano alla/e risorgiva/e, dell'età delle acque, dei tempi di residenza nella porzione insatura e satura del sottosuolo (area di infiltrazione), della stima della ricarica relazionabile a determinati apporti (ad es. dispersione da siti pilota). L'iniziativa di tracciamento isotopico, che potrà essere portata avanti in eventuali prosiegui delle ricerche, mira a comprendere se presso le risorgive vicentine siano visibili effetti di ricarica artificiale (*groundwater footprint*), nel caso di specie rappresentati da afflussi idrici concentrati nelle acque sotterranee, derivanti da rogge o canali del reticolo irriguo.

## 5 VALUTAZIONI COSTI BENEFICI

Ai fini della valutazione dell'azione di ricarica della falda condotta nell'ambito del progetto è stata anche eseguita una analisi economica dal punto di vista del rapporto costi-benefici.

La stima è stata compiuta sulle diverse opzioni di ricarica sperimentate ed è stata suddivisa in 3 parti: la prima parte è dedicata all'analisi dei costi delle diverse soluzioni tecniche di ricarica artificiale, la seconda parte affronta il tema dell'analisi costi-benefici in termini qualitativi e l'ultima parte è dedicata alle possibili modalità di copertura dei costi della ricarica artificiale.

L'analisi dei costi delle diverse soluzioni tecniche di ricarica artificiale della falda è stata condotta in due fasi. In una prima fase sono stati analizzati i costi dichiarati dai diversi partner del progetto, responsabili della realizzazione delle opere di ricarica, andando a calcolare l'investimento specifico per unità di infiltrazione. In una seconda fase, si è proceduto alla stima di costi standard di costruzione e di gestione. Per ciascuna tipologia di intervento, sono stati stimati i costi per opere tali da infiltrare 100 l/s in contesti con permeabilità differenti. Il *range* di variazione della permeabilità è quello riscontrabile nell'area di studio di AQUOR. Nella fase di definizione dei costi "standard" dei progetti realizzati, è stata condotta preliminarmente una *survey* bibliografica su progetti di ricarica della falda (o *Managed Aquifer Recharge* – MAR). La letteratura tecnico-scientifica internazionale è ampia e descrive esperienze realizzate in paesi aridi e semi-aridi o comunque a rischio scarsità (es. Australia, Israele, Africa, stati meridionali USA). Le valutazioni economiche sono meno frequenti ma ci sono interessanti studi sia empirici che metodologici.

Nella seconda parte dell'analisi è stata effettuata un'analisi costi benefici qualitativa delle opere di ricarica artificiale. La fase di identificazione dell'ambito di analisi è stata condotta sulla base delle valutazioni tecnico-scientifiche effettuate nell'ambito del progetto AQUOR.

L'analisi finanziaria si è limitata alla stima dei costi annui, non avendo ancora definito i potenziali ricavi del servizio di ricarica. Il costo totale annuo è stato stimato mediante un approccio semplificato, descritto dalla seguente formula:

$$C_{OMR} = \frac{I}{T} + OM$$

dove  $I$  è l'investimento per realizzare l'intervento, espresso in [euro],  $T$  è la vita utile dell'opera, espressa in [anni] e  $OM$  sono i costi di gestione e manutenzione, espressi in [euro/anno]. Non sono considerati i costi del debito. Nel caso le opere fossero effettuate attraverso il prestito di fondi da parte di istituti bancari, si dovrebbe aggiungere la quota annua di interessi.

Sono state fatte inoltre le seguenti ipotesi:

- le aree utilizzate siano destinate a seminativo, quindi i costi di affitto e acquisto sono riferiti a questo tipo di terreno;
- per i campi di sub-irrigazione è supposto che non sia necessario acquistare o affittare l'area, in quanto dopo la fase di cantiere, è possibile riprendere le attività di coltivazione;
- nel caso di acquisto dell'area, il relativo costo annuo è stato stimato dividendo l'investimento per la vita utile delle opere.

Avendo stimato i costi totali annui delle diverse opzioni tecniche, dimensionate per un'infiltrazione di 100 l/s, è possibile confrontarle. Dall'analisi effettuata si evince che gli interventi di tipo estensivo (AFI e rogge) sono le più costose rispetto agli altri interventi considerati. Tali interventi, tuttavia, possono dare luogo a benefici connessi, ad esempio, ad una valorizzazione del paesaggio rurale di pianura e ad una tutela della biodiversità locale. Inoltre, nel caso di ripristino dell'area, lo smantellamento delle opere (non quantificato economicamente) potrebbe essere più significativo negli interventi con più manufatti (pozzi, trincee e sub-infiltrazione). La sub-infiltrazione risulta essere l'intervento più conveniente in quanto si è ipotizzato che non sia necessario acquistare o affittare l'area (Tab. 11). L'analisi socio-economica è stata limitata all'identificazione dei benefici potenziali dovuti alla ricarica artificiale della falda e ad una serie di indicazioni pratiche su come stimare i valori monetari dei benefici. E' importante sottolineare che, a fronte di costi locali (nelle aree dove vengono realizzate le opere), i benefici possono diffusi spazialmente, sia locali ma anche dei benefici in altre aree (Tab. 12). Infine si è affrontato il tema della copertura dei costi. La Direttiva Quadro Acque richiede, al comma 1 dell'art. 9, che *gli Stati membri tengano conto del principio del recupero dei costi dei servizi idrici, compresi i costi ambientali e relativi alle risorse, secondo il principio «chi inquina paga»*. Il principio "chi inquina, paga" e la sua declinazione "chi usa, paga" sono stati re-interpretati per adattarli al tema della gestione sostenibile della falda, ottenendo i seguenti enunciati: "chi impedisce la ricarica naturale della falda, paga" oppure "chi beneficia dell'acqua immessa artificialmente in falda, paga". Questo ha permesso di individuare delle possibili modalità di finanziamento del "servizio" di ricarica artificiale delle falda. Nel primo caso si vuole andare a imputare i costi su chi impedisce la ricarica naturale della falda. Si apre quindi il filone connesso all'uso del territorio e alla conseguente impermeabilizzazione del suolo. Gli strumenti economici da utilizzare potrebbero essere: tasse sulla proprietà (IMU) differenziate in base alla permeabilità; contributi ai consorzi di bonifica. Nel caso di nuove edificazioni, norme tecniche dei PGT che impongono l'invarianza idraulica e/o oneri di urbanizzazione differenziati in funzione della permeabilità. Nel secondo caso si dà enfasi su chi usa la risorsa idrica sotterranea, facendogli quindi pagare il "servizio" di ricarica. Questo potrebbe avvenire attraverso le tariffe

dei servizi idrici (quello urbano e quello di irrigazione). Il ricorso alla finanza pubblica è consigliato nel caso non sia possibile individuare in maniera certa chi usufruisce del “servizio”, quindi quando si hanno dei servizi indivisibili, ad esempio gli aspetti ricreativi o di tutela della biodiversità. La tendenza europea ed internazionale sull'uso dei fondi pubblici è quella di non finanziare più “a fondo perduto” la realizzazione di progetti infrastrutturali (anche se con forti ripercussioni positive sull'ambiente) ma attraverso la creazione di circuiti finanziari agevolati con destinazione specifica (es. fondi rotativi). Il ricorso a finanziamenti a fondo perduto potrebbero essere utilizzati per supportare la sperimentazione di approcci innovativi come il pagamento dei servizi ecosistemici.

<b>Costi senza area (a)</b>	<b>Euro/anno</b>		
<b>Tipologia di intervento</b>	k 10 <sup>-4</sup> m/s	k 5x10 <sup>-4</sup> m/s	k 10 <sup>-3</sup> m/s
Campo di sub infiltrazione	10.250	7.750	6.825
Trincee di dispersione	10.800	7.900	6.600
Pozzi di dispersione	12.500	8.300	6.860
Aree forestali di infiltrazione	18.500	14.000	12.500
Riqualficazione di rogge	20.125	14.750	12.425

<b>Costi annui con affitto area (b)</b>	<b>Euro/anno</b>		
<b>Tipologia di intervento</b>	k 10 <sup>-4</sup> m/s	k 5x10 <sup>-4</sup> m/s	k 10 <sup>-3</sup> m/s
Campo di sub infiltrazione	10.250	7.750	6.825
Trincee di dispersione	10.895	7.932	6.613
Pozzi di dispersione	12.626	8.363	6.892
Riqualficazione di rogge	20.283	14.813	12.457
Aree forestali di infiltrazione	21.650	14.630	12.815

<b>Costi annui con acquisto area (c)</b>	<b>Euro/anno</b>		
<b>Tipologia di intervento</b>	k 10 <sup>-4</sup> m/s	k 5x10 <sup>-4</sup> m/s	k 10 <sup>-3</sup> m/s
Campo di sub infiltrazione	10.250	7.750	6.825
Trincee di dispersione	10.995	7.965	6.626
Pozzi di dispersione	12.760	8.430	6.925
Riqualficazione di rogge	20.531	14.913	12.506
Aree forestali di infiltrazione	29.333	16.167	13.583

**Tab. 11** – Costi annui delle diverse tipologie di opere in 3 scenari: senza costi dell'area (a), con affitto area (b), con acquisto area (c).

Intervento	BENEFICI		
	Area dell'intervento	Locali	Diffusi
Pozzi di infiltrazione	Riqualificazione ambientale (nel caso di utilizzo area brown-field)	Maggiore disponibilità acqua per utenti SII o altri utilizzatori che prelevano acqua dal sottosuolo	Maggiore disponibilità acqua per <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utenti SII (o altri utilizzatori che prelevano acqua dal sottosuolo)</li> <li>• Utenti irrigui delle risorgive</li> </ul> Benefici per uso ricreativo dovuti alle risorgive attive
Trincee drenanti			
Campo di sub infiltrazione			
Aree Forestali di Infiltrazione (AFI)	<p>Se AFI area produttiva: da terreno seminativo a bosco (SRF)</p> <p>Incremento/tutela della biodiversità (piante e animali)</p> <p>Stoccaggio CO<sub>2</sub></p> <p>Riduzione apporto nutrienti</p> <p>Acqua infiltrata minore dell'acqua prelevata per irrigazione</p>	Diluizione di inquinanti presenti in falda	Tutela della biodiversità per il ripristino delle rogge
Riqualificazione morfologica di rogge	<p>Uso ricreativo</p> <p>Incremento/tutela della biodiversità</p>		

**Tab. 12** – Potenziali benefici connessi ai diversi interventi di ricarica artificiale

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le attività di ricerca e sperimentazione condotte nell'ambito del Progetto Aquor sono state finalizzate a comprendere gli effetti idrogeologici ed ambientali degli interventi di ricarica in condizioni controllate nell'ambito dell'alta pianura vicentina. L'iniziativa, intrapresa alla scala di alcuni siti pilota realizzati con differenti soluzioni tecnologiche ed impiantistiche, ha evidenziato alla scala locale molteplici ed interessanti motivi di approfondimento scientifico. Le risultanze conseguite nei vari comparti interdisciplinari del progetto possono ad oggi supportare in modo sostenibile ed efficace uno sviluppo dei sistemi di reintegro alla scala provinciale.

Le attività di monitoraggio, descritte nel presente report, sono state fondamentali in questa fase dei lavori, in quanto hanno permesso di:

- confrontare le scelte progettuali in termini di efficienza degli impianti,
- accertare dal punto di vista idrochimico la qualità delle acque infiltrate, ai fini della protezione del sistema acquifero,
- comprendere, anche per tramite di simulazioni numeriche, gli eventuali impatti negativi associati agli interventi pilota da attendersi sul sistema idrogeologico naturale,
- approfondire la conoscenza sull'ambiente idrico e sulla situazione ambientale ed ecologica circostante, per poter riprodurre scenari di valutazione tecnica e proiezioni di fattibilità economica, conseguenti ad una eventuale applicazione su larga scala di interventi di MAR.

Le attività di controllo espletate nel corso degli esercizi pilota di ricarica in condizioni controllate risultano senza dubbio rappresentative in quanto a:

- criteri esecutivi e metodiche strumentali applicate,
- validazione dei risultati e consistenza del database acquisito,
- tipologia degli ambiti e completezza delle matrici considerate.

Indistintamente per tutti i siti indagati e per le varie differenti soluzioni<sup>17</sup> impiantistiche realizzate, si evidenzia la facilità e l'efficacia dei controlli quali-quantitativi di gestione, rispettivamente a supporto delle stime di bilancio ma soprattutto dei più rigorosi criteri di igiene e salute pubblica per la salvaguardia delle risorse idropotabili.

---

<sup>17</sup> dotabili di sistemi di allerta e di acquisizioni in continuo in grado di allarmare fino ad interrompere il flusso di ricarica in condizioni di rischio

Solo all'esito di prosiegui delle linee di ricerca presentate, di ulteriori approfondimenti tematici in accezione multidisciplinare e di nuove sperimentazioni territoriali è ipotizzabile il conseguimento di futuri importanti risultati in materia di tutela della risorsa.

L'approccio programmatico conclusivo che, in buona sostanza, sintetizza alcune componenti basilari del progetto Aquor, deve suggerire attività di salvaguardia ma anche azioni innovative di governo del territorio per:

- dare concretezza ai risultati e continuità agli studi eseguiti,
- assicurare la valenza degli accertamenti e dei relativi protocolli metodologici,
- garantire la rappresentatività delle stime e delle previsioni da esse formulabili,

atteso che, ogni indirizzo desumibile dal disposto normativo comunitario, privilegia la fruibilità della risorsa idrica sotterranea per l'uso umano.

## 7 RIFERIMENTI

### BIBLIOGRAFIA

ALTISSIMO L., MARCOLONGO B., PRETTO L., RIGHETTO G., SILVESTRI R., 1990 - **Carico inquinante degli acquiferi dell'Alto Vicentino: valutazione della sua potenzialità e riscontro di alcuni valori reali in falda.** G.N.D.C.I. pubbl. n. 243, C.N.R., Padova.

ALTISSIMO, F. ARCA, DAL PRA' A., FERRONATO A., FUMAGALLI F., MARANGONI L., MUSSATO A., ZANGHERI P. – **Processi di inquinamento chimico-industriale delle acque sotterranee nella media e alta pianura veneta.** Memorie Scienze Geologiche, Univ. Padova, Vol 47. 1995.

ARPAV, 2008 - **Le acque sotterranee della pianura Veneta - I risultati del progetto SAMPAS.**

BENFATTI D., MODENA P., TAROCCO S., ZANGHERI P., 2002. **Tutela e valorizzazione delle risorgive: una scheda per il censimento e la valutazione qualitativa.** Ambiente Risorse Salute, 85.

BERTOLDO S., CAMPAGNOLO F., CAPPELLARI G., PETTINA' R., SOTTANI A., 2012 – **Progetto Aquor. La ricarica artificiale della falda mediante la gestione integrata della risorse idriche.** Rapporto di aggiornamento (settembre 2012) - Azioni preparatorie. Villaverla (VI).

BERTOLDO S., CAMPAGNOLO F., CAPPELLARI G., PETTINA' R., SOTTANI A., 2013 – **Progetto Aquor. La ricarica artificiale della falda mediante la gestione integrata della risorse idriche.** Rapporto di aggiornamento (dicembre 2013) - Azioni di intervento e di monitoraggio. Villaverla (VI).

C.N.R. - DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G., GOVI M. RUSCONI A., CONCHETTO E., MATTICCHIO B., DE GIROLAMO R., BALDIN G – **Salvaguardia del patrimonio idrico sotterraneo del Veneto: cause del depauperamento in atto e provvedimenti urgenti da adottare.** CNR, Pubbl. 2063. 2000, Venezia.

C.N.R., REGIONE VENETO, U.L.L.S. 5, U.L.S.S. 19, 1988 – **Difesa degli acquiferi dell'alta pianura veneta. Stato di inquinamento e vulnerabilità delle acque sotterranee del bacino del Brenta.** Pubbl. 207, Venezia.

CESA M., BERTOSSI A., CHERUBINI G., GAVA E., MAZZILIS D., PICCOLI E., VERARDO P., NIMIS P.L., 2015 (in stampa) - **Development of a standard protocol for monitoring trace elements in continental waters with moss bags: inter- and intra-specific differences.** Environmental Science and Pollution Research, DOI: 10.1007/s11356-015-4129-z.

CESA M., BIZZOTTO A., FERRARO C., FUMAGALLI F., NIMIS P.L., 2010 - **Palladio, an index of trace element alteration for the River Bacchiglione based on Rhynchostegium riparioides moss bags.** Water, Air and Soil Pollution 208: 59-77.

CESA M., NIMIS P.L., BIZZOTTO A., DAINESE E., FERRARO C., VERARDO P., BELLI M., 2012 - **Trapianti di briofite acquatiche per il biomonitoraggio dei metalli in traccia: risultati e prospettive della tecnica dei moss bags dopo 10 anni di studi fra Veneto e Friuli-Venezia Giulia.** Atti seminario celebrativo del 25° anniversario del CISBA, Firenze, 16 e 17 Nov. 2011, "La bioindicazione come strumento di conoscenza e di gestione degli ecosistemi". A cura di Arnaud E., Genoni P., Orlandi C. *Biologia Ambientale* 26 (1): 45-54.

COMITATO RISORGIVE DI BRESSANVIDO, 2008 – **Le risorgive a Bressanvido e Sandrigo.** Edizioni CIRF.

CONSORZIO BONIFICA PEDEMONTANO BRENTA, 1997 – **Censimento delle risorgive.**

CONSORZIO BONIFICA PEDEMONTANO BRENTA, 2004 - **Le risorgive un patrimonio da salvare... se siamo ancora in tempo.**

DAL PRA' A., 1983 - **Carta idrogeologica dell'alta pianura veneta.** Grafiche Erredici, Padova.

DAL PRA' A., ANTONELLI R., 1980 – **Restituzione freatica ai fontanili nell'alta pianura veneta, tra il fiume Piave e i Monti Lessini.**

MARCOLONGO B., PRETTO L., 1991 - **Rischio potenziale intrinseco di inquinamento degli acquiferi alloggiati nell'Alta Pianura Vicentina.** G.N.D.C.I., pubbl. n.407, C.N.R., Padova.

MODENA P., ZANGHERI P., 2005 – **Tutela e valorizzazione delle risorgive della Provincia di Vicenza.**

PASSADORE G., MONEGO M., ALTISSIMO L., SOTTANI A., PUTTI M., RINALDO A., 2010 - **Modello matematico generale del flusso della risorsa idrica sotterranea del veneto centrale.** – Atti XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Palermo, 14-17 settembre 2010.

PASSADORE G., MONEGO M., ALTISSIMO L., SOTTANI A., PUTTI M., RINALDO A., 2012 - **Alternative conceptual models and the robustness of groundwater management scenarios in the multi-aquifer system of the Central Veneto Basin, Italy** – Hydrogeology Journal DOI 10.1007/s10040-011-0818-y, 2012.

PASSADORE G., MONEGO M., SARTORI M., PUTTI M., ALTISSIMO L., SOTTANI A., RINALDO A., 2007 - **Uno strumento per la gestione delle risorse idriche sotterranee: modello matematico generale del flusso nei sistemi acquiferi del veneto centrale.** – Approvvigionamento e Distribuzione Idrica: Esperienza, Ricerca ed Innovazione. Ferrara, 28 - 29 Giugno 2007.

PERIN J., 2002.- **Studio idrogeologico dei fontanili della pianura vicentina tra i fiumi Astico e Brenta.** Tesi di Laurea, Università di Padova, Dipartimento di Geologia.

RINALDO A., ALTISSIMO L., MARANI M., PUTTI M., PASSADORE G., SARTORI M., MONEGO M., DONATO M., SOTTANI A., 2005/2006 – **Bacino del Bacchiglione: Studi e ricerche idrologiche finalizzati alla messa a punto di modelli matematici per la tutela e la gestione delle risorse idriche sotterranee.** Università degli Studi di Padova, Centro internazionale di Idrologia D. Tonini, Provincia di Vicenza, AATO Bacchiglione.

RINALDO A., ALTISSIMO L., PUTTI M., PASSADORE G., MONEGO M., SOTTANI A., 2010 - **Modello matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale A.A.T.O. Brenta.** Relazione finale, Centro Internazionale di Idrologia "Dino Tonini", Università degli Studi di Padova.

ROMANELLO A., 1999 – **Studio sulle portate delle risorgive tra Brenta ed Astico, problematiche connesse al loro esaurimento.** Tesi di Laurea Università di Padova, Facoltà di Agraria, Diploma Universitario in Gestione tecnica e amministrativa in agricoltura, relatore prof. Mario Aristide Lenzi.

SOTTANI A., 1994 - Studi per il Piano di Bacino Brenta – Bacchiglione. **Regime idrologico delle falde pedemontane (risorgive) ai fini del bilancio idrico.** Sinergico Studio Associato per conto di Getas Petrogeo / Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta – Bacchiglione), Inedito.

SOTTANI A., CAMPAGNOLO F., BERTOLDO S., 2014 - **Progetto di ricarica sperimentale della falda tramite pozzi disperdenti presso il sito di Sarcedo.** Sinergico s.r.l. per conto del Consorzio Alta Pianura Veneta. Interim Report. Inedito

SOTTANI N., PRETTO L., E MARCOLONGO B., 1982 - **Gli acquiferi nella pianura a nord di Vicenza.** CNR-AIM, Roma.

## SITOGRAFIA

DESCRIZIONE	SITO WEB
ARPAV	<a href="http://www.arpaveneto.it">http://www.arpaveneto.it</a>
Comitato risorgive	<a href="http://comitorisorgive.it">http://comitorisorgive.it</a>
EPA	<a href="http://www.epa.vic.gov.au/~media/Publications/1290.pdf">http://www.epa.vic.gov.au/~media/Publications/1290.pdf</a>
ARPAV	<a href="http://www.arpaveneto.it">http://www.arpaveneto.it</a>
IAH	<a href="http://recharge.iah.org/recharge/">http://recharge.iah.org/recharge/</a>

**Iniziativa finanziata con il contributo dello strumento finanziario LIFE+ dell'Unione Europea (LIFE 2010 ENV/IT/380)**

**Responsabile del Progetto**

Teresa Muraro - *Provincia di Vicenza, Servizio Risorse Idriche*

**Coordinatore tecnico-scientifico del Progetto**

Giancarlo Gusmaroli - *Studio Ecoingegno*

**Autori**

Raffaella Pettinà, Giovanni Cappellari – Acque Vicentine  
Silvia Bertoldo, Andrea Sottani – Sinergeo  
Giancarlo Gusmaroli - Studio Ecoingegno  
Lorenzo Altissimo – Centro Idrico di Novoledo  
Giulia Passadore – DICEA Università degli Studi di Padova  
Mattia Cesa  
Alessandro de Carli

**Hanno collaborato**

Alto Vicentino Servizi  
Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta  
Consorzio di Bonifica Brenta  
Veneto Agricoltura

**Foto e disegni**

Mattia Cesa, Giulia Passadore, Giancarlo Gusmaroli, Sinergeo

**Per eventuali approfondimenti contattare:**

Provincia di Vicenza  
Servizio Risorse Idriche  
Contrà Gazzolle,  
36100 Vicenza  
Tel. 0444.908515  
e-mail: [life.aquor@provincia.vicenza.it](mailto:life.aquor@provincia.vicenza.it)

**Sito web del progetto**

<http://www.lifeaquor.org/>

**Pubblicazione edita da**

Acque Vicentine  
Viale dell'Industria, 23  
36100 Vicenza  
Tel. 0444.955211  
e-mail: [posta@acquevicentine.it](mailto:posta@acquevicentine.it)  
<http://www.acquevicentine.it/>

**Stampa**

S.G.V. s.r.l. - Villaverla  
Aprile 2015

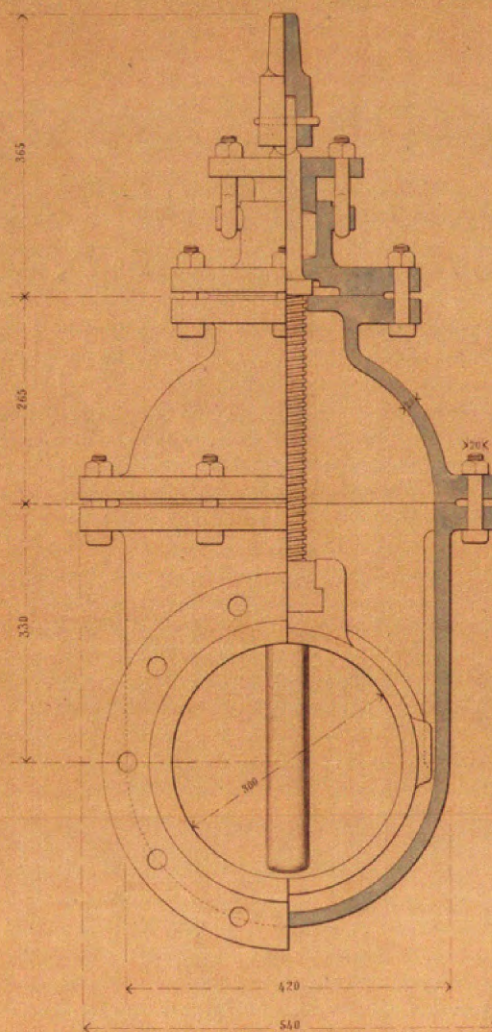
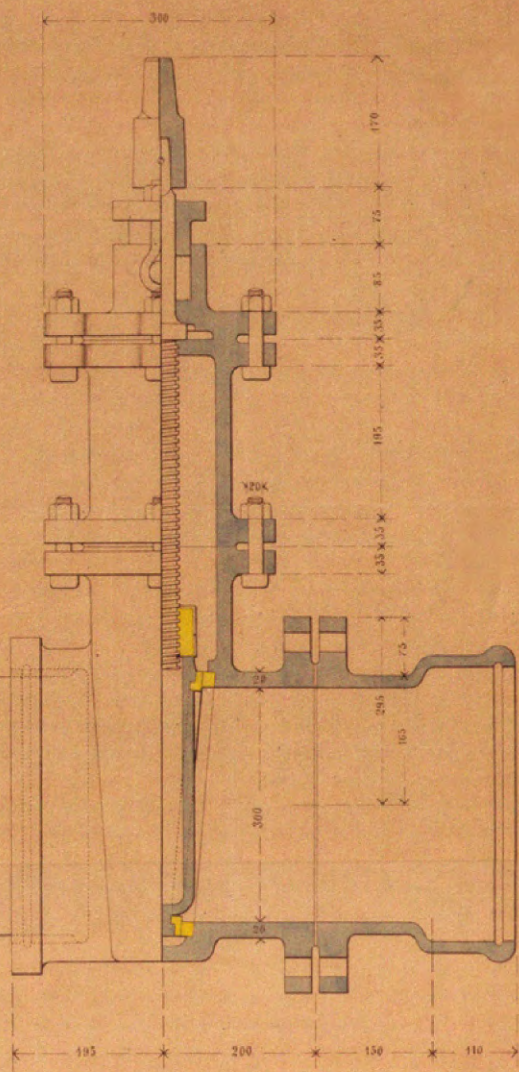
Viale dell'Industria, 23



## *Tipo delle Saracinesche d'arresto*

*Prospetto e Sezione longitudinale*

*Prospetto e Sezione trasversale*



*Scala di 1 a 5*



Abbiamo a cuore  
l'acqua

### CONTATTI

[www.lifeaquor.org](http://www.lifeaquor.org)

Provincia di Vicenza - Servizio Risorse Idriche  
Palazzo Nievo, contrà Gazzolle n. 1 - 36100 Vicenza

Responsabile di progetto  
Provincia di Vicenza  
dott.ssa Muraro Teresa  
e-mail: [life.aquor@provincia.vicenza.it](mailto:life.aquor@provincia.vicenza.it)  
tel. 0444.908310 - fax. 0444.908538