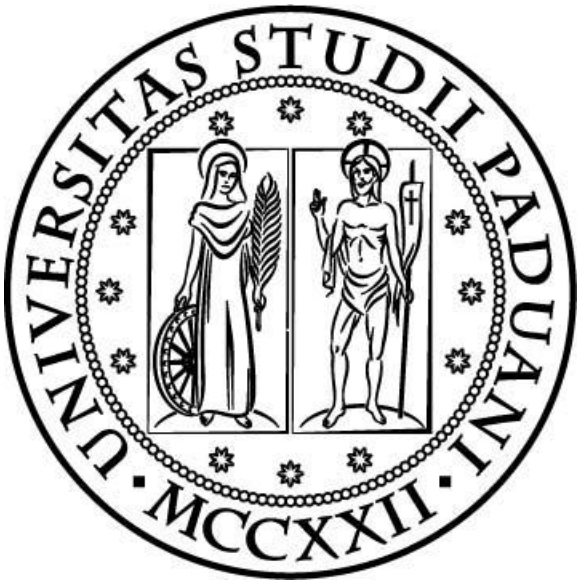
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

SCUOLA DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale (DICEA)

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

TESI DI LAUREA MAGISTRALE



Studio quali-quantitativo del sistema delle risorgive della provincia di Vicenza

RELATORE:

Chiar.mo Prof. Ing. Andrea Rinaldo

CORRELATORI

Dr. Geol. Silvia Bertoldo

Dr. Ing. Giulia Passadore

LAUREANDO

Picci Massimiliano

MATRICOLA

1057312

Anno accademico 2014-2015

Sommario

1 Capitolo 1 3

1.1 Il progetto AQUOR ed il monitoraggio delle risorgive 3

1.1.1 Il progetto AQUOR 3

1.1.2 Le opere di infiltrazione artificiale in falda 5

1.1.3 Le attività di monitoraggio 10

1.1.4 Il censimento delle risorgive 12

1.2 Le risorgive 12

1.2.1 Caratterizzazione geologica 15

1.2.2 Le risorgive nella provincia di Vicenza 16

1.2.3 Situazione idrogeologica delle risorgive vicentine 18

1.2.4 Caratteristiche delle acque 22

1.2.5 Risorgive e ambiente 22

2 Capitolo 2 25

2.1 Le attività di censimento ed analisi delle risorgive 25

2.1.1 Censimento ed ispezione dei siti 25

2.1.2 Descrizione, georeferenziazione e misurazione di alcuni parametri fondamentali delle risorgive 26

2.1.3 L'indice di funzionalità di risorgiva – IFR 32

2.1.4 Database 37

2.2 Elaborazione dati acquisiti 37

2.2.1 Distribuzione ed attività delle risorgive 37

2.2.2 Parametri qualitativi di base 39

2.2.3 IFR e stato dell'ambiente 49

3 Capitolo 3 53

3.1 Valutazione preliminare delle portate 53

3.2 Monitoraggio delle portate 62

3.2.1 Stazione di monitoraggio presso la risorgiva n. 53 di Bressanvido 68

3.2.2 Stazione di monitoraggio presso la risorgiva n. 339 di Dueville 73

3.2.3 Stazione di monitoraggio presso la risorgiva 1046 di Caldogno 77

4 Capitolo 4 83

4.1 Monitoraggio qualitativo 83

4.2 Analisi risultati monitoraggio parametri chimico-fisici 86

4.2.1 Premesse 86
4.2.2 Distribuzione spaziali di alcuni microinquinanti 87
4.2.3 Caratterizzazione idrogeochimica delle acque 94
5 Conclusioni 101
6 Bibliografia 103

Figura 1: dominio progetto AQUOR e posizione dei siti di ricarica 4
Figura 2: realizzazione delle trincee presso Carmignano di Brenta (da lifeaquor.org) 7
Figura 3: sezione tipo trincea d'infiltrazione (Veneto Agricoltura, 2013) 8
Figura 4: sezione tipo di una trincea di sub-infiltrazione. (Veneto Agricoltura, 2013) 9
Figura 5: roggia artificiale ad Ancignano di Sandrigo (lifeaquor.org) 9
Figura 6: pozzi di infiltrazione in fase di realizzazione (lifeaquor.org) 10
Figura 7: risorgiva di sbarramento (Baraldi, 1978) 13
Figura 8: risorgiva di affioramento (Baraldi, 1978) 14
Figura 9: inquadramento geografico dell'area di studio (fonte Sinergeo) 17
Figura 10: rete idrografica dell'area in esame 18
Figura 11: schema del funzionamento idrogeologico della pianura veneta (Dal Prà, 1980). 19
Figura 12: schema del modello idrogeologico dell'Alta e Media pianura vicentina (Sottani,1982) 21
Figura 13: ubicazione dei siti visitati 26
Figura 14: esempi di risorgive circolari 27
Figura 15: esempi di risorgive lineari 28
Figura 16: esempi di risorgive irregolari 28
Figura 17: picchetto e palmare GPS durante la fase di acquisizione di coordinate 28
Figura 18: sonda multiparametrica in acquisizione in tempo reale 29
Figura 19: sonda multiparametrica in acquisizione in remoto 29
Figura 20: esempio modulo per scheda IFR con le voci considerate per ogni singola categoria ed i rispettivi punteggi. (Modena,, 2005)) 37
Figura 21: esempio di scheda riassuntiva del database di una risorgiva (fonte Sinergeo) 37
Figura 22: distribuzione delle risorgive secondo attività (non sono raffigurate le risorgive di Altavilla, Creazzo e Bressanvido) 39
Figura 23: suddivisione delle risorgive con attività classificata come perenne o periodica secondo aree come adottato da Rinaldo, 2010. 42
Figura 24: box-plot relativo ai dati raccolti sull'ossigeno nelle varie aree 43
Figura 25: box-plot relativo ai dati raccolti sul pH nelle varie aree 44
Figura 26: box-plot relativo ai dati raccolti sula conducibilità elettrica nelle varie aree 44
Figura 27: box-plot relativo ai dati raccolti sul potenziale redox nelle varie aree 45
Figura 28: distribuzione conducibilità 46
Figura 29: conducibilità, livello di falda e assi drenaggio forniti da Dal Prà, 1980 47
Figura 30: distribuzione spaziale del valore del pH per le risorgive censite 48
Figura 31: distribuzione spaziale del valore del pH per le risorgive censite 49
Figura 32: operazioni di rilevamento della velocità tramite l'utilizzo di correntometro doppler 54
Figura 33: correntometro ADC (da ott.com) 55
Figura 34: Carta delle precipitazioni (in mm) cadute nell'estate 2014 sul Veneto (sinistra) e differenza (in mm) con la media 1993-2012 delle precipitazioni dell'estate 2014 (destra) (fonte ARPAV). 57
Figura 35: Regime di falda presso alcuni piezometri posti nei pressi delle risorgive e arco temporale di misura e censimento delle risorgive (indicate con regione colorata nel grafico (fonte Sinergeo) 58
Figura 36: posizione del pozzo 27 58
Figura 37: confronto tra livello del pozzo nel 2014 e nel 1998. 59
Figura 38: rilevazione dell'andamento della falda presso il pozzo dal 1970 ad oggi (fonte C.I.N.) 60
Figura 39: suddivisione delle portate in sottobacini 61
Figura 40: Rete di controllo delle portate di deflusso 64
Figura 41: portate di alcune delle risorgive censite-portata maggiore di 40 l/s 64

Figura 42: portate di alcune delle risorgive censite-portata compresa tra 20 e 40 l/s 65
Figura 43: portate di alcune delle risorgive censite-portata minore di 20 l/s 65
Figura 44: confronto tra risorgive site nel comune di Caldogno e andamenti piezometrici 66
Figura 45: posizione idrometri 68
Figura 46: gabbia di calma e datalogger. 69
Figura 47: installazione della strumentazione si misura. 70
Figura 48: scarico che immette portata presso la risorgiva 53, a valle della stazione di misura 70
Figura 49: andamento del livello idrometrico della risorgiva 53 71
Figura 50: scala delle portate per risorgiva 53 72
Figura 51: andamento delle portate presso la risorgiva 53 72
Figura 52: stazione di misura presso la risorgiva 339 73
Figura 53: evoluzione del livello idrometrico della risorgiva nel tempo e precipitazioni nel periodo 74
Figura 54: andamento falda presso il pozzo di rilevamento sito a Caldogno (pozzo A di Figura 35) 75
Figura 55: correlazione tra livello falda e tirante risorgiva 339 75
Figura 56: correlazione tirante portata per risorgiva 339 76
Figura 57: andamento portate stimate per risorgiva 339 77
Figura 58: stramazzo prima di essere messo a dimora nell'asta della risorgiva. È possibile vedere il foro dal quale l'acqua defluisce e, sulla sinistra, gli alloggiamenti dove è stata inserita la strumentazione. 78
Figura 59: lavori di installazione dello stramazzo 79
Figura 60: stramazzo in funzione 79
Figura 61: evoluzione del tirante sul periodo 80
Figura 62: andamento delle portate nel periodo di rilevamento 80
Figura 63: relazione tra livello risorgiva 1046 e pozzo di Caldogno 81
Figura 64: rete monitoraggio qualitativo 83
Figura 65: contenitori utilizzati per i campionamenti: nella foto a sinistra si vedono il contenitore in HDPE, la bottiglia in PET e le due vial. 85
Figura 66: operazione di campionamento 86
Figura 67: distribuzione dei nitrati nelle risorgive (valori medi) 88
Figura 68: Distribuzione dei solfati nelle risorgive (valori medi) 90
Figura 69: Distribuzione dei cloruri nelle risorgive (valori medi) 90
Figura 70: Distribuzione del PCE nelle risorgive 92
Figura 71: Distribuzione del cromo totale nelle risorgive 93
Figura 72: Distribuzione dell'arsenico nelle risorgive 94
Figura 73: Distribuzione dei campionamenti per la classificazione di Piper 95
Figura 74: operazioni di campionamento presso il torrente Laverda. 95
Figura 75: diagramma di Piper 96
Figura 76: Diagramma di Piper relativo alle acque del settore Ovest (a sx i risultati del campionamento del 4-5.02.15; a dx gli esiti del progetto SAMPAS (ARPAV, 2008) 99
Figura 77: Diagramma di Piper relativo alle acque del settore Est (a sx i risultati del campionamento del 4-5.02.15; a dx gli esiti del progetto SAMPAS (ARPAV, 2008) 99

Introduzione

La presente tesi di laurea ha come oggetto lo studio delle risorgive ubicate in provincia di Vicenza.

L'opportunità che ha portato allo svolgimento del presente elaborato è stata offerta dal incarico di censimento delle risorgive che l'Amministrazione Provinciale di Vicenza ha affidato allo studio Sinergeo s.r.l. di Vicenza nell'ambito del Progetto AQUOR (LIFE+ 2010 ENV/IT/380)

Il progetto è stato avviato grazie al finanziamento della Comunità Europea ed è stato concepito come azione sperimentale / pilota finalizzata all'inversione dei trend di sfruttamento delle risorse idriche sotterranee e all'incremento della ricarica idrogeologica degli acquiferi, con lo scopo di riequilibrare le falde dell'alta pianura vicentina. Il progetto ha previsto varie strategie per ottenimento degli obiettivi prefissati che comprendono studi di pre-analisi del territorio di indagine, attività sperimentali di ricarica e di monitoraggio.

Tra le varie azioni di monitoraggio è stato previsto il censimento delle risorgive: queste infatti rivestono un ruolo molto importante nel sistema della falda oggetto dello studio. La loro esistenza è infatti dovuta all'affioramento in superficie delle acque sotterranee nel settore di media pianura posto a valle del dominio del Progetto Aquor e risultano quindi un indicatore dello stato dell'acquifero.

Per questa ragione, oltre che gli aspetti che riguardano la conformazione e le valutazioni ecologico-ambientali, il censimento ha previsto la rilevazione delle portate fluenti dalle risorgive e una caratterizzazione qualitativo-analitica della risorsa idrica.

Sono stati infatti raccolti numerosi dati tramite l'utilizzo di misuratori di portate, sonde multiparametriche, analisi chimiche in modo da avere un quadro il più possibile chiaro sullo stato di salute delle risorgive, e di riflesso dell'acquifero in generale.

In conclusione il lavoro di tesi ha avuto lo scopo di indagare gli aspetti quantitativi collegati agli aspetti idraulici ed idrogeologici ed i legami che intercorrono tra falda e risorgive, nonché la situazione qualitativa delle risorgive.

Capitolo 1

1.1 Il progetto AQUOR ed il monitoraggio delle risorgive

Il sistema idrologico dell'alta pianura vicentina ha avuto una grande importanza sullo sviluppo sociale, agricolo ed economico di buona parte del territorio della Regione Veneto.
In particolare la presenza di abbondante risorsa idrica fluente nella zona a nord di Vicenza ha fornito sostegno all'agricoltura e dato, soprattutto dagli anni '60 in poi, una robusta spinta alla nascita di numerose realtà industriali, soprattutto di medio-piccole dimensioni, che caratterizzano anche in questi anni di profonda crisi l'economia vicentina.
Non solo la provincia di Vicenza trae vantaggio dalla risorsa se si pensa infatti che l'acquedotto che alimenta la città di Padova, oltre che quello della città di Vicenza, trae origine sin dal 1885 dalle fonti situate nel comune di Dueville, quando fu realizzata un'opera di presa in galleria alla quale venivano convogliate le acque raccolte da 131 pozzi ed un'adduzione in condotta a superficie libera di oltre 42 km di lunghezza.
Nella zona sono poi presenti numerosi pozzi privati (si stima siano più di 8000) che, a varie profondità, attingono acqua dal sottosuolo. Tali emungimenti assumono nel complesso valori tutt'altro che trascurabili, ma che anzi sono paragonabili a quelli destinati ad alimentare i vari acquedotti: si sono stimati infatti 1.17 m^3/s emunti dai pozzi privati, mentre per l'alimentazione del sistema acquedottistico di Padova servono 1.7 m^3/s e per quello di Vicenza 0.65 m^3/s (Rinaldo, 2009).
Tale intenso sfruttamento ha provocato sin dagli anni '60 un lento e progressivo abbassamento del livello freatimetrico a nord di quella che viene chiamata "*fascia delle risorgive*.

1.1.1 Il progetto AQUOR

Il progetto AQUOR è iniziato nel settembre 2011 con un programma di lavoro pluriennale che sta giungendo a conclusione in questo periodo (aprile 2015). Tale progetto è coordinato dalla Provincia di Vicenza in collaborazione con altri enti e con il finanziamento dell'Unione Europea, tramite il programma *LIFE+*.
Il progetto ha natura di azione sperimentale-dimostrativa: con esso si vuole dimostrare la fattibilità sia tecnica che economica di implementazione di impianti di ricarica della falda in condizioni controllate (Figura 1). Tali obbiettivi sono perseguiti tramite l'aumento del tasso di

ricarica idrogeologico degli acquiferi e con una promozione di un utilizzo e gestione sostenibile della risorsa.

L'esaurimento progressivo delle risorse idriche che ha interessato l'alta pianura veneta soprattutto nel periodo tra gli anni '70 e '90, non è dovuto esclusivamente all'intensivo sfruttamento di essa, ma anche ad altri fenomeni che ne sono in parte collegati.

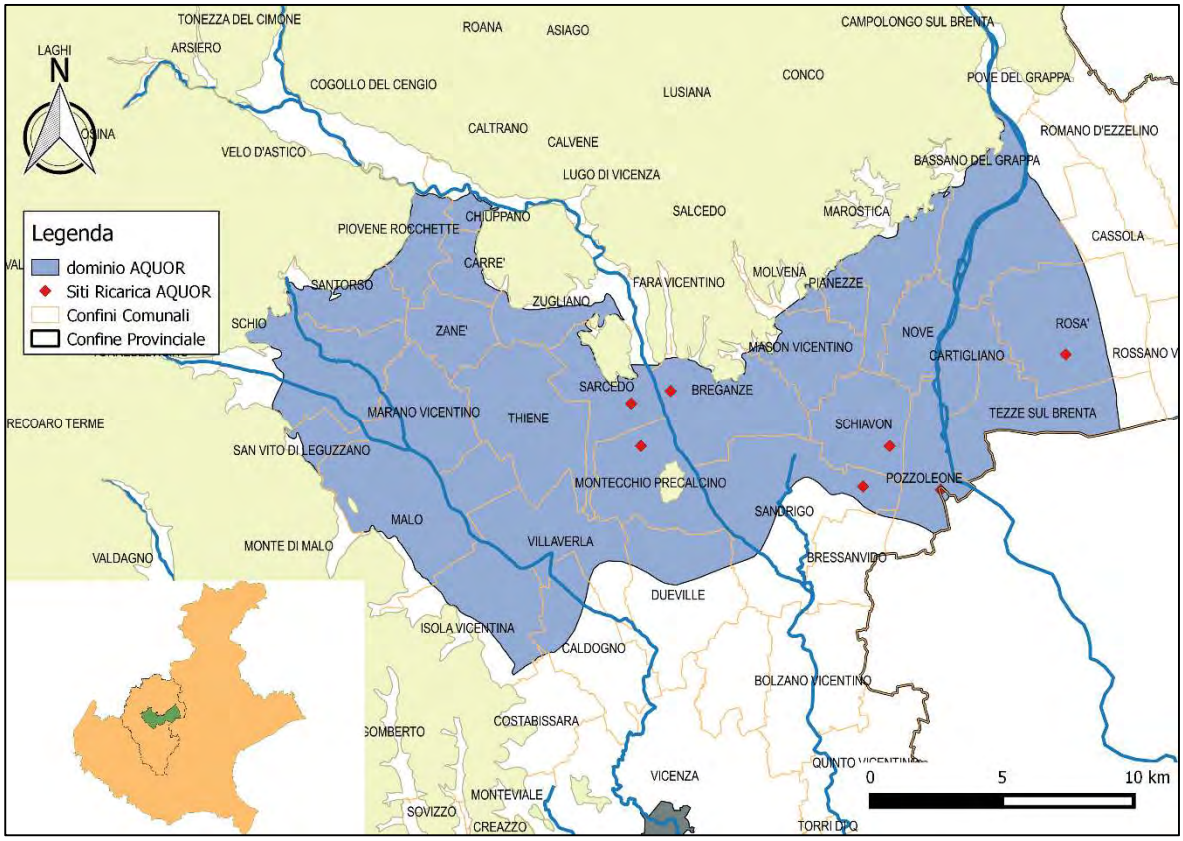


Figura 1: dominio progetto AQUOR e posizione dei siti di ricarica

Il forte aumento delle superfici impermeabilizzante, soprattutto negli ultimi 30 anni, durante i quali le superfici permeabili sono diminuite nell'area dell'alta pianura veneta di oltre il 30%, ha ridotto notevolmente la capacità d'infiltrazione propria del suolo. Si ha infatti che per effetto dell'impermeabilizzazione, i volumi di pioggia vanno ora verso valle molto più rapidamente, riducendo così di molto i tempi di corrivazione ed alterando la capacità d'infiltrazione del suolo. Un'altra voce che contribuisce notevolmente alla ricarica della falda è quella dovuta all'infiltrazione di acque irrigue. Il contributo di tale infiltrazione è tutt'altro che trascurabile se si pensa che è stato stimato per il sistema irriguo del medio Astico una portata di circa 1.5 m^3/s medi annui e di circa 6 m^3/s per il sistema irriguo destra Brenta (Sottani N., 1982). Negli ultimi anni la progressiva trasformazione delle tecniche irrigue da un sistema a scorrimento ad un sistema di distribuzione a pioggia ha fatto diminuire la quota di acqua infiltrata. Oltre alla

diminuzione dei contributi delle acque irrigue, l'abbassamento degli alvei fluviali e la loro artificializzazione ha diminuito pure il contributo alla ricarica della falda dato da quest'ultimi.
Tali fenomeni, come già detto, hanno provocato una diminuzione lenta ma progressiva delle riserve idriche (stimate in una diminuzione media di 3.8 cm all'anno, per una diminuzione complessiva di 1.3 m in 35 anni).
L'impoverimento della risorsa idrica sotterranea provoca l'insorgenza di numerose problematiche ad esso connesse: innanzitutto si ha una sensibile depressurizzazione delle falde artesiane, con un importante incremento dei costi per l'emungimento della risorsa idrica che ha pesanti ricadute sul sistema economico della zona. Si ha inoltre una riduzione della portata totale dei fiumi e una complessiva riduzione della risorsa idrica disponibile per le varie attività.
Tale diminuzione della risorsa idrica non solo danneggia le attività umane, ma finisce anche per intaccare l'integrità ambientale del territorio. La riduzione del potenziale idraulico della zona infatti provoca un arretramento ed una diminuzione delle aree umide, che sono luoghi idonei per la vita e la riproduzione di varie specie animali, nonché importanti presidi per la biodiversità della zona. Tutto questo finisce per arrecare una grave perdita al valore sia economico che culturale di tutto il territorio.
Partendo dall'osservazione che l'elevato grado di urbanizzazione e le condizioni di profonda antropizzazione che caratterizzano quest'area della provincia di Vicenza rendono ormai irrecuperabile la passata capacità di infiltrazione e dispersione delle acque, il Progetto AQUOR prevede la sperimentazione della ricarica della falda in condizioni controllate mediante impianti pilota.
Una parte del progetto prevede studi preliminari delle caratteristiche pedologiche, geologiche ed idrogeologiche dell'area interessata. A titolo di esempio si segnala che è stato condotto uno studio sulle caratteristiche dei terreni superficiali, con l'obbiettivo di redigere una carta geopodologica al fine di individuare nell'alta pianura vicentina le aree più idonee a realizzare le opere di ricarica artificiale della falda. Si è inoltre eseguito un censimento e fatta una caratterizzazione delle aree demaniali di pertinenza dei corsi d'acqua, con lo scopo di identificare quelle aree che meglio si adattavano alla ricarica naturale.

1.1.2 Le opere di infiltrazione artificiale in falda

Il progetto AQUOR ha previsto la realizzazione di alcune opere di infiltrazione forzata a scopo sperimentale-dimostrativo.

Questo tipo di opere hanno oggi una diffusione abbastanza ampia su quasi tutto il territorio europeo, con applicazioni su larga scala in paesi come Svezia, Germania e Olanda (Amsterdam è rifornita per i due terzi del suo fabbisogno di acqua potabile grazie a impianti di ricarica in condizioni controllate).

La ricarica artificiale delle falde si basa sull'applicazioni di soluzioni atte a favorire l'infiltrazione controllata in specifici siti deputati a questo scopo e attivi in periodi dove la risorsa idrica si trova in surplus. Per il Progetto AQUOR sono stati realizzati in sei siti di ricarica artificiale, per i quali sono state adottate diverse tecnologie tra quelle presenti in letteratura. La scelta della tecnologia utilizzata è stata influenzata da alcuni parametri quali le caratteristiche pedologiche ed idrogeologiche del terreno, la destinazione d'uso dell'area e l'accessibilità al lotto, la possibilità tecnica di addurre acqua al sito e la vicinanza di corsi d'acqua.

Nella Tabella 1 sono riportati i comuni dove sono collocati i siti di ricarica, le tecnologie adottate e gli enti di riferimento per la progettazione e la gestione degli impianti.

Comune	Tecnica di ricarica	Ente responsabile
Carmignano di Brenta (PD)	Area forestale di infiltrazione	Consorzio di Bonifica Brenta
Schiavon (VI)	Area forestale di infiltrazione	Consorzio di Bonifica Brenta
Rosà (VI)	Campo di sub-infiltrazione	Consorzio di Bonifica Brenta
Breganze (VI)	Pozzi di infiltrazione	Alto vicentino Servizi
Montecchio Precalcino (VI)	Pozzi di infiltrazione	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta
Sandrigo (VI)	Roggia di infiltrazione	Consorzio di Bonifica Brenta
Sarcedo (VI)	Trincea di infiltrazione	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta

Tabella 1: posizione dei siti di ricarica, tecnologia adottata ed ente responsabile del manufatto.

Nel seguito viene fornita una breve spiegazione del funzionamento di alcuni di questi siti (uno per tipologia). (Veneto Agricoltura, 2013)

Area Forestale di Infiltrazione (AFI) di Carmignano di Brenta.

L'acqua utilizzata dal manufatto viene fornita da una condotta interrata in calcestruzzo che tramite un'opera di presa provvista di paratoia metallica deriva da una roggia irrigazione preesistente. L'impianto dimostrativo è composto da due campi di infiltrazione che ospitano al loro interno 10 scoline disperdenti longitudinali (Figura 2) con andamento sinusoidale a curvatura molto ampia. Le scoline hanno una lunghezza pari a circa 93 metri ciascuna e una distanza fra gli interassi delle stesse di circa 14 metri; 4 di queste hanno direzione est-ovest (primo campo) e 6 direzione nord-sud (secondo campo). L'acqua viene distribuita nelle aree di ricarica mediante un sistema di regolazione a livelli, che permette una ripartizione uniforme tra le singole linee di infiltrazione. All'interno di ogni linea di infiltrazione, alla distanza di 30 metri l'uno dall'altro, sono posizionati dei manufatti di controllo del livello dell'acqua. A monte dell'area di ricarica è presente una trappola per sedimenti, ovvero un piccolo bacino di superficie pari a circa 50 m^2 con funzione di dissabbiatore.

Figura 2: realizzazione delle trincee presso Carmignano di Brenta (da lifeaquor.org)

Trincea di infiltrazione di Sarcedo

La risorsa idrica utile all'alimentazione del sistema viene prelevata dalla roggia Verlata, canale irriguo che scorre affianco all'area dove sorge il sito, che a sua volta deriva da una presa dal torrente Astico. Tale canale riesce a fornire, al netto degli altri utilizzi, circa 200 l/s alla trincea di infiltrazione. L'adduzione avviene a gravità tramite un tubo in calcestruzzo di diametro 500 mm. Innestato con pozzetto partitore con setto sfiorante ad una condotta di derivazione preesistente. L'adduzione termina ai 3 pozzetti di distribuzione presenti alla testa della trincea che determina la ripartizione del flusso in egual misura alle linee di infiltrazione.

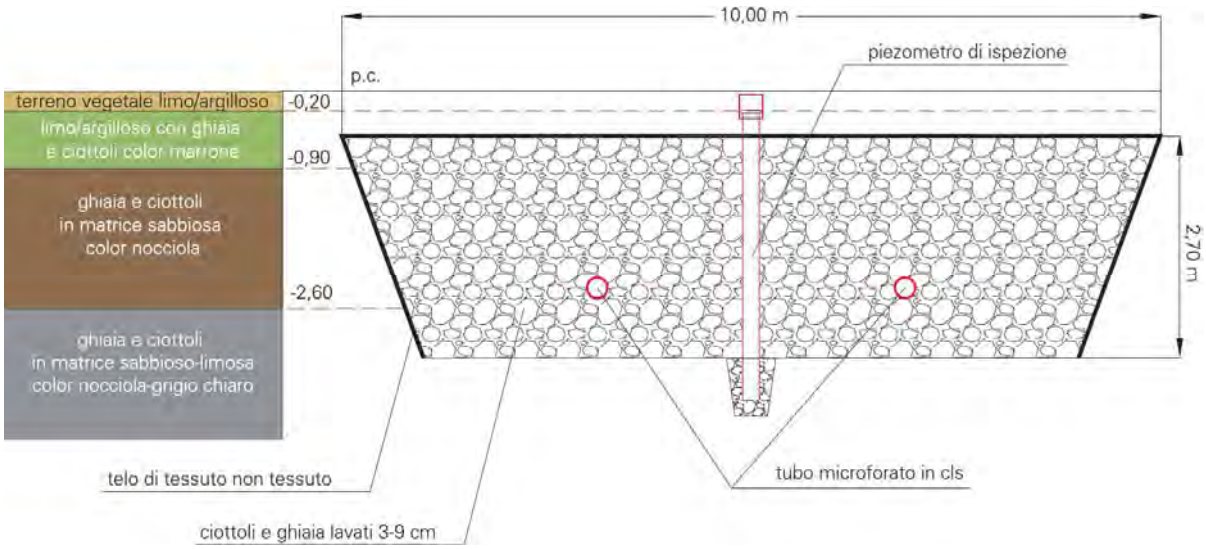


Figura 3: sezione tipo trincea d'infiltrazione (Veneto Agricoltura, 2013)

La trincea di infiltrazione consiste in uno scavo di forma trapezoidale posto alla profondità di 3 metri in modo tale da intercettare lo strato di terreno più permeabile, larghezza di circa 10 metri e lunghezza di quasi 70 metri. All'interno di questa trincea si trovano le linee di distribuzione, ovvero due tubi microfessurati in calcestruzzo da 300 mm di diametro, adagiati su un letto di ghiaia ad una profondità di circa 260 cm, ricoperti da materiale grossolano, integrato con altro materiale per riempire il volume di scavo a meno del ricoprimento superficiale di terreno vegetale per uno spessore di circa 50 cm. Lungo l'asse dell'opera sono collocati 4 piezometri d'ispezione di 100 mm di diametro per il controllo dei livelli idrici.

Campo di sub-infiltrazione di Rosà

L'impianto di sub-infiltrazione si trova al di sotto di alcuni terreni agricoli ed è costituito da un sistema di drenaggi inversi attraverso i quali l'acqua viene immessa nella falda. L'acqua vene prelevata direttamente dalla rete irrigua che serve la zona. Il campo di sub-infiltrazione è servito da una canaletta in calcestruzzo, collegato ad un opera di presa fornita di paratoia metallica. A valle dell'opera di presa un pozzetto ripartitore suddivide la portata disponibile tra le due linee di sub-infiltrazione che formano il sistema. Tali linee sono costituite da due trincee a sezione trapezoidale (Figura 4) di profonde circa 90 cm e larghe 50 cm alla base. All'interno di ogni trincea è collocata una condotta disperdente di 250 mm di diametro in PVC per una lunghezza di circa 200 metri. Ad intervalli di 25 m sono posti lungo ogni condotta pozzetti d'ispezione da cui partono ulteriori condotte di diametro 160 mm e lunghezza 9 m, con lo scopo di aumentare la diffusione. Le condotte posano su un materasso di ghiaia dello spessore di 30 cm formato da pietrisco di dimensione 3-6 cm. L'impianto è dimensionato per infiltrare efficacemente 20 l/s, ma a massimo regime può infiltrare portate anche superiori. Tale soluzione permette di

mantenere, al completamento della realizzazione dei manufatti, l'uso agricolo dei terreni e ha il pregio di richiedere pochissima manutenzione.

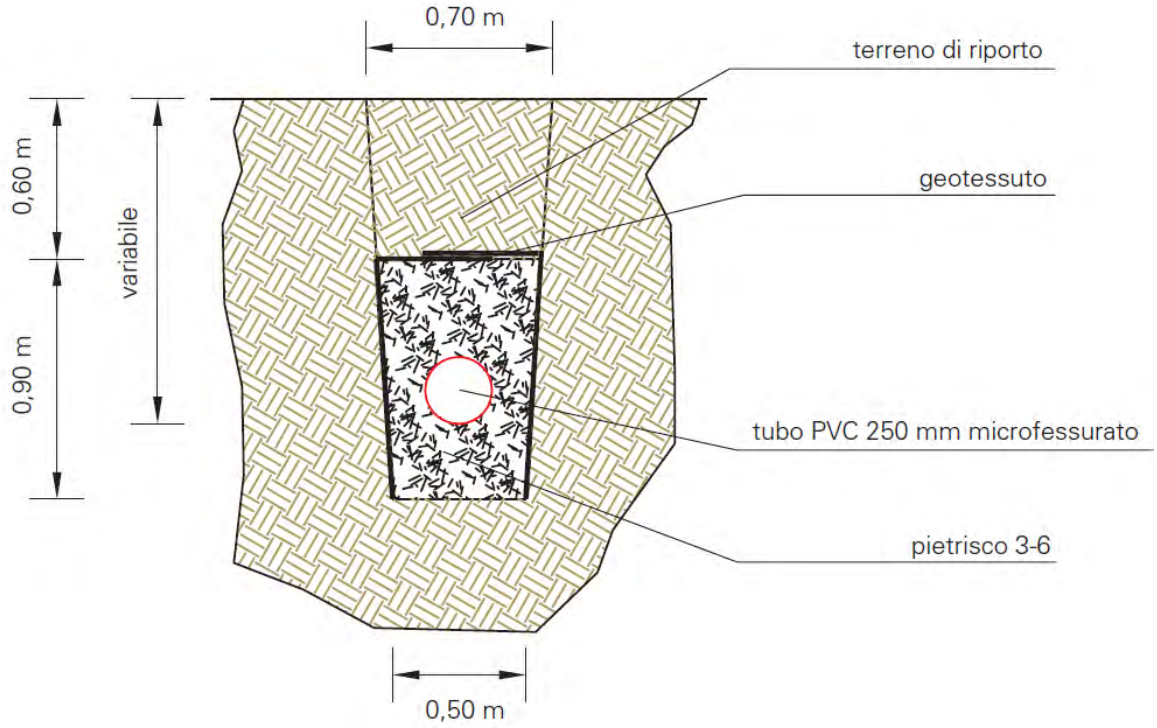


Figura 4: sezione tipo di una trincea di sub-infiltrazione. (Veneto Agricoltura, 2013)

Roggia di infiltrazione ad Ancignano di Sandrigo.

Il sito è caratterizzato da un canale disperdente scavato ex novo lungo la destra idrografica di un corso d'acqua preesistente (rogia Vitella) gestita dal Consorzio di Bonifica Brenta, dal quale tramite un'opera di presa con paratoia mobile deriva la portata che lo attraversa. Tale opera (Figura 5), oltre a garnatire la ricarica della falda, permette l'aumento della cpacità fitodepurativa e la formazione di nuovi habitat per flora e fauna selvatica. La presenza di vegetazione lungo il corso del canale fa si che lo scorrimento dell'acqua sia rallentato, aumentandone così il tempo di permanenza, con benefici effetti sia sulla qualità che sulla quantità dell'acqua infiltrata. Il nuovo corso d'acqua è lungo 225 metri e lungo le sue sponde sono state piantate carie specie arbustive autoctone. Alla fine del canale è posta una paratoia a stramazzo che restituisce eventuale acqua in eccesso alla rete irrigua esistente.

Figura 5: roggia artificiale ad Ancignano di Sandrigo (lifeaquor.org)

Pozzi di infiltrazione a Breganze.

Sono stati realizzati quattro pozzi per disperdere l'acqua. L'alimentazione dei pozzi avviene mediante opera di presa posta lungo un canale irriguo esistente posto a poca distanza dal sito. L'opera di presa è formata da un manufatto scatolare allinato al fondo della roggia, presidiato da una griglia grossolana per fermare i detriti più grossolani e presidiato da una paratoia metallica: tale opera garantisce una portata di 100 l/s. Prima di arrivare ai pozzi l'acqua viene fatta transitare in un manufatto dissabbiatore, di sezione 150x75 cm e lunghezza 10m, realizzato con lo scopo di impedire ai sedimenti fini di intasare i pozzi stessi e minarne la capacità drenante.

Figura 6: pozzi di infiltrazione in fase di realizzazione (lifeaquor.org)

I pozzi sono profondi circa 4 metri rispetto al piano campagna, posati su uno strato di pietrisco ed i pozzi distano uno dall'altro 3 metri, disposti a formare un quadrato. La ricarica della falda avviene tramite l'infiltrazione dell'acqua sul fondo e lungo i fori presenti sulle pareti del pozzo. Per favorie l'infiltrazione attorno ai pozzi è stato posto del pietrisco di cava di dimensione superiore a quella dei fori, al dine di evitare eventuali intasamenti. Ogni pozzo viene alimentato con una portata di 25 l/s.

1.1.3 Le attività di monitoraggio

Strettamente collegata a questa fase sperimentale-dimostrativa di ricarica attiva della falda, il Progetto AQUOR prevede una serie di attività di monitoraggio volte a verificare la qualità delle acque, l'efficacia degli interventi messi in campo e l'evoluzione delle condizioni idrogeologiche dell'area di studio.

È stato previsto

- un monitoraggio delle portate in ingresso ai siti di ricarica e del livello dei piezometri a valle dei siti al fine di valutare il tasso d'infiltrazione che si veirifica nei pozzi; per registrare i volumi infiltrati tutti i siti di ricarica sono stati attrezzati con misuratori di livello ad ultrasuoni posti lungo la condotta di alimentazione dei sistemi;
- un monitoraggio della qualità delle acque di infiltrazione con campionamenti periodici e verifiche in continuo dei parametri chimico-fisici delle acque e valutazioni qualitative medie attraverso bioindicatori (muschi) posizionati lungo le rogge di alimentazione

- monitoraggio chimico delle acque di falda poste a valle dei siti di ricarica; a valle idrogeologico di ogni impianto sono stati posti alcuni piezometri a profondità tale da intercettare l'acquifero; i campionamenti delle acque di falda sono stati eseguiti mensilmente.
- censimento delle risorgive: le risorgive infatti costituiscono un'importante spia indicatrice dello stato di salute delle risorse idriche del sistema acquifero vicentino; ad una elevata portata di sfioro dalle risorgive corrisponde un più alto livello della tavola d'acqua nell'acquifero indifferenziato e in queste condizioni aumenta la quantità di risorsa disponibile stoccata nel serbatoio; dalla portata delle risorgive dipende anche la vitalità del diffuso reticolo idrografico superficiale originato dalle stesse; in buona sostanza l'elemento indicativo della condizione dell'intero sistema geo-idrologico vicentino è proprio la portata di sfioro e lo stato qualitativo delle risorgive.

Tale attività ha avuto due fasi, una precedente all'attivazione dei siti di ricarica, ed una ancora in corso di svolgendo (ad oggi) sulla qualità delle acque con i siti in attività. I risultati mostrano che sotto il profilo chimico, tutte le acque presentano una bassa salinità, un basso contenuto di cloruri, nitrati e solfati, assenza di ammoniaca e nitriti, assenza di metalli pesanti mentre sotto il profilo microbiologico si evidenzia una presenza di Escherichia coli ed Enterococchi, plausibile nelle acque superficiali.

Con l'entrata in azione dei siti di ricarica non si sono evidenziate variazioni dei parametri.

Viene effettuato anche un monitoraggio delle portate in ingresso ai siti di ricarica e del livello dei piezometri a valle dei siti al fine di valutare il tasso d'infiltrazione che si veirifica nei pozzi. Per registrare i volumi infiltrati tutti i siti di ricarica sono stati attrezzati con misuratori di livello ad ultrasuoni posti lungo la condotta di alimentazione dei sistemi.

Una delle azioni più importanti di verifica prevista nel progetto AQUOR è il monitoraggio delle risorgive e della portata da esse fluente. Le risorgive infatti costituiscono un'importante spia indicatrice dello stato di salute e di gestione delle risorse idriche contenute nel sistema acquifero vicentino. Ad una elevata portata di sfioro dalle risorgive corrisponde un più alto livello della tavola d'acqua nell'acquifero indifferenziato e quindi una maggior capacità di regolazione: in queste condizioni aumenta la quantità di risorsa disponibile stoccata nel serbatoio.

Dalla portata delle risorgive dipende anche la vitalità del diffuso reticolo idrografico superficiale originato dalle stesse: in particolare la portata dei corsi d'acqua che fluiscono in città, come il Bacchiglione, il Retrone, l'Astichello e, un tempo, anche la Seriola.
In buona sostanza l'elemento indicativo della condizione dell'intero sistema geo-idrologico vicentino è proprio la portata di sfioro e lo stato qualitativo delle risorgive.

Il presente lavoro di tesi andrà ad approfondire questa fase del monitoraggio, sarà quindi incentrato sullo studio, il censimento e la valutazione delle portate delle risorgive della provincia di Vicenza.

1.1.4 Il censimento delle risorgive

Il censimento delle risorgive si è svolto su più fasi.
Una prima fase ha previsto delle estese sessioni di rilevamento e misurazione sul campo, nella quale abbiamo potuto acquisire informazioni sul numero delle risorgive in attività, la portata uscente e su alcuni parametri chimico-fisici.
Dopo questa prima fase si è svolta una seconda campagna che ha coinvolto un numero ristretto di risorgive, selezionate in base alla loro distribuzione, alle loro dimensioni e alla facilità d'accesso. Su queste risorgive si sono svolte misurazioni delle portate settimanali per nove sessioni consecutive. Inoltre su ulteriori tre risorgive sono state installate tre stazioni fisse di misurazione.
In concomitanza con i rilevamenti delle portate sono state organizzate delle operazioni di campionamento delle acque delle risorgive al fine di formulare una valutazione dello stato di salute delle acque.
La mole di dati raccolta è stata così elaborata ed analizzata, ed i risultati ottenuti sono raccolti nel presente elaborato.

1.2 Le risorgive

Con il termine "risorgiva" si definisce l'emersione in superficie di acqua sotterranea legata alla variazione della permeabilità dei sedimenti. Associato al termine "risorgiva" si trova spesso quello di "fontanile": tipicamente il nome risorgiva indica un affioramento naturale mentre fontanile fa riferimento ad una sorgente di origine antropica, realizzata tramite l'infissione di pozzi di piccolo diametro (detti pozzi Norton) nel terreno che sfruttano l'artesianità naturale della falda in queste zone. La sovrapposizione dei due termini deriva dal fatto che spesso i

fontanili vengono realizzati in aree già interessate da risorgive allo scopo da incrementarne la portata. Nel seguito si useranno i due termini come sinonimi.

Si possono distinguere due principali meccanismi con cui avviene la risorgenza: uno per sbarramento e una per affioramento.

Man mano che si scende dall'alta pianura verso la bassa pianura si ha un graduale passaggio da sedimenti caratterizzati da una forte permeabilità a sedimenti più fini che presentano una minore permeabilità. Questa variazione di permeabilità dà luogo alla risorgenza per sbarramento (Figura 7).

Le risorgive per affioramento (Figura 8) si hanno al piede di terrazze fluviali, dove la fuoriuscita dell'acqua è causata dall'intersezione della superficie freatica con quella topografica, quando questa risulti a quota più bassa a causa dell'opera di scavo dovuta al corso del fiume. Quest'ultima tipologia non è presente nel territorio vicentino, per cui nel corso del censimento si sono incontrate solo risorgive per sbarramento.

Le risorgive sono costituite da una "testa" e da un canale di deflusso o "asta" o "cavo".

La testa è una cavità, di forma, dimensioni e profondità variabili, nella quale confluiscono le polle sorgive. Nella maggior parte dei casi la testa è tondeggiante, ma in altri può essere indistinguibile dal canale di deflusso, di cui può costituire la terminazione a fondo cieco, o diverticolo laterale, oppure può presentare forme irregolari.

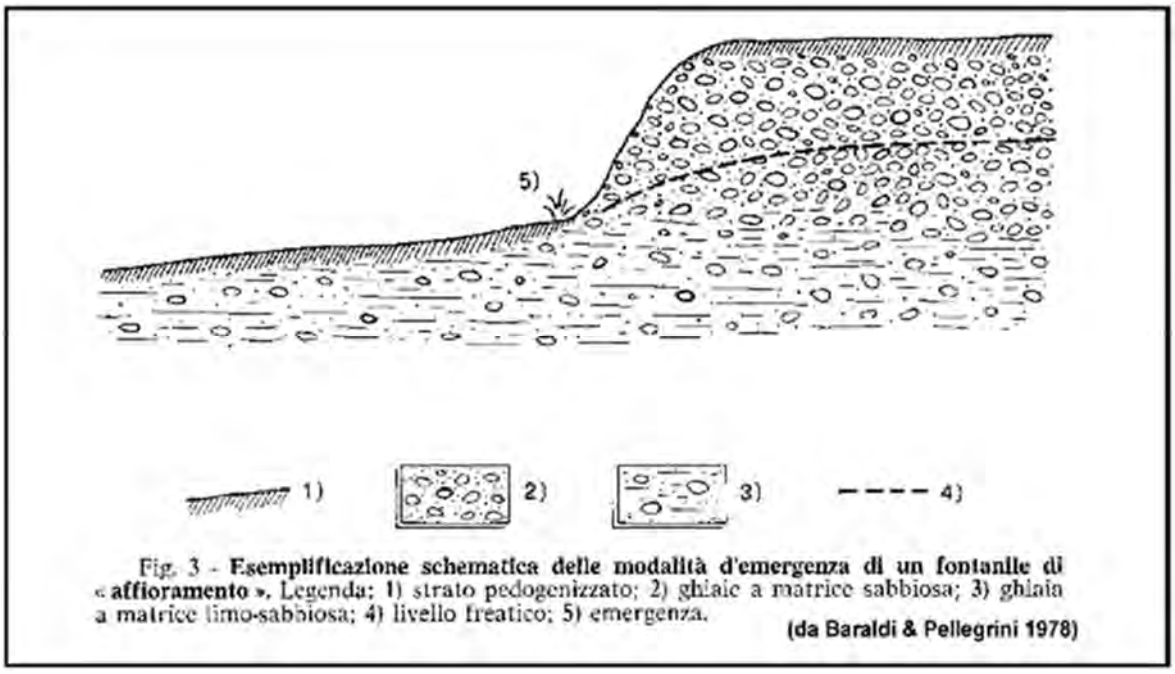


Fig. 3 - **Esemplificazione schematica delle modalità d'emergenza di un fontanile di «affioramento».** Legenda: 1) strato pedogenizzato; 2) ghiaie a matrice sabbiosa; 3) ghiaia a matrice limo-sabbiosa; 4) livello freatico; 5) emergenza.

(da Baraldi & Pellegrini 1978)

Figura 7: risorgiva di sbarramento (Baraldi, 1978)

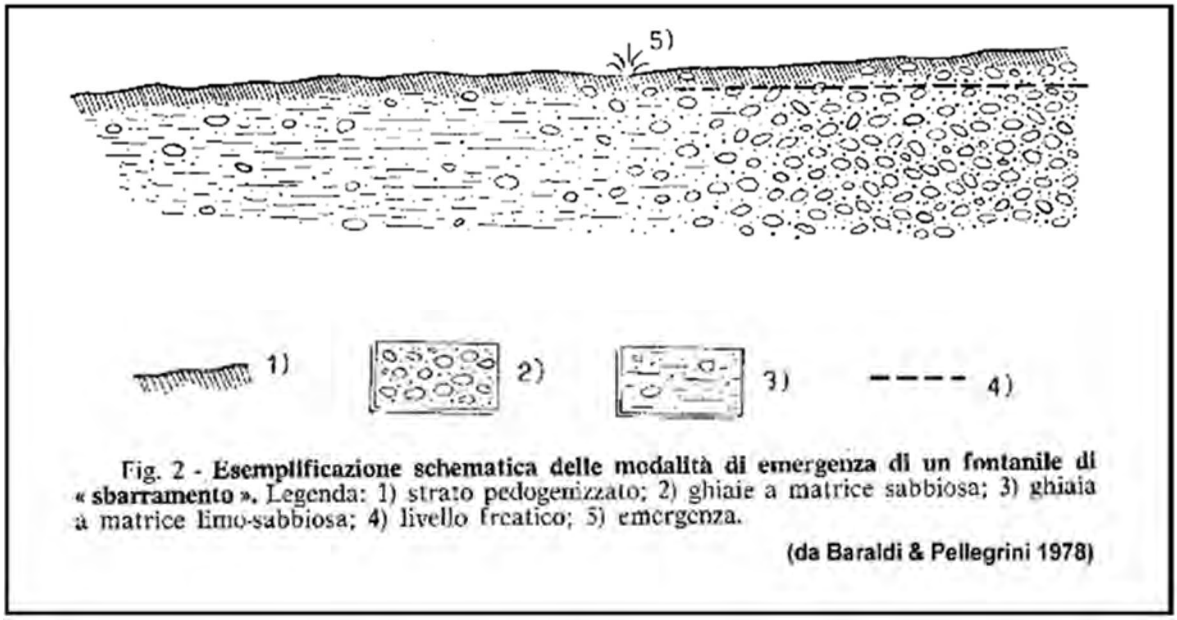


Fig. 2 - **Esemplificazione schematica delle modalità di emergenza di un fontanile di « sbarramento »**. Legenda: 1) strato pedogenizzato; 2) ghiaie a matrice sabbiosa; 3) ghiaia a matrice limo-sabbiosa; 4) livello freatico; 5) emergenza.

(da Baraldi & Pellegrini 1978)

Figura 8: risorgiva di affioramento (Baraldi, 1978)

La testa va a rastremarsi verso il canale di deflusso, il quale si unisce solitamente con quello di altre risorgive o fontanili, più o meno vicini, originando corsi d'acqua perenni di maggiore o minore portata e dimensioni, caratterizzati da un decorso rettilineo o variamente tortuoso a seconda che la sua origine sia del tutto artificiale o segua tracciati naturali.

La fascia delle risorgive si estende in modo pressoché continuo ai piedi delle alpi, dal Friuli al Piemonte, ed ha un'ampiezza che varia da pochi chilometri ad oltre venti. Aree di risorgiva si riscontrano poi anche al di fuori di questa fascia, come ad esempio nella pianura che in Friuli si estende tra l'Anfiteatro Morenico del Tagliamento e gli ultimi rilievi alpini (Campo di Osoppo). Si trovano risorgive inoltre a nord di Voghera, presso Piacenza, Parma, Modena ed a est di Bologna.

Le risorgive sono quindi un fenomeno che interessa gran parte del nord Italia, essendo presente in buona parte della Pianura Padana. Tale massiccia presenza è dovuta alla particolare condizione geologica e geomorfologica del territorio.

1.2.1 Caratterizzazione geologica

Questa conformazione è dovuta prevalentemente all'azione modellatrice dei ghiacciai avvenuta soprattutto durante la glaciazione Würm[1] (100-10 mila anni fa), che alternò movimenti di espansione e di ritiro dei ghiacci in corrispondenza delle diverse variazioni climatiche, trascinando con se i materiali detritici montani. Il definitivo arretramento dei ghiacci alla fine di questa fase di glaciazione, lasciò il posto ad un'area collinare a settentrione con presenza di ampi depositi morenici e a deposizioni alluvionali, generati dai bacini e corsi d'acqua originatesi dallo scioglimento del fronte dei ghiacci, in corrispondenza della zona di pianura.

La fascia dell'alta pianura corrisponde ad una riduzione della pendenza dei corsi d'acqua, che a seguito di questa riduzione di pendenza, perdono il loro potenziale cinetico di trasporto dei detriti ed iniziano l'attività di deposito dei detriti prima costituiti da ciottoli, ghiaie e rare sabbie, poi nella bassa pianura da materiali sabbiosi e limosi-argillosi. Nel corso di migliaia di anni dove si sono alternate fasi di piena e di magra, hanno determinato l'attuale conformazione della Pianura Padana. Si ha così che la suddivisione tra parte alta, parte media e parte bassa della pianura.

Gli elementi strutturali che rivestono una fondamentale importanza nell'analisi dei caratteri idrogeologici e stratigrafici del materasso quaternario che costituisce la pianura veneta sono le conoidi alluvionali ghiaiose.

Si tratta di estese strutture a ventaglio depositate dai fiumi in tempi diversi, quando il loro regime era differente da quello attuale e caratterizzato da portate molto più elevate, conseguenti allo scioglimento dei ghiacciai.

Lungo il tratto pedemontano dell'Alta Pianura le conoidi fluviali più recenti si sono non solo sovrapposte tra loro, ma anche compenetrate lateralmente con quelle degli altri corsi d'acqua, cosicché ne risulta nel complesso un sottosuolo interamente ghiaioso per tutto lo spessore del materasso alluvionale. La larghezza di questa fascia pedemontana a materasso indifferenziato varia dai 5 ai 20 km a partire dal piede dei rilievi montuosi prealpini. Le conoidi ghiaiose si sono spinte verso valle per distanze variabili, evidentemente in dipendenza dei differenti caratteri idraulici di ciascun fiume. Esse hanno inoltre raggiunto distanze diverse, in funzione del regime che caratterizzava il corso d'acqua in quel momento: spesso quelle più antiche, e quindi più profonde, hanno invaso aree più lontane.

[1] Glaciazione Würm: rappresenta l'ultima grande glaciazione avvenuta approssimativamente in un periodo tra 110000 anni fa e 10000 anni fa, essa prende il nome dal fiume Würm sito nella zona alpina della Baviera che segna il limite di avanzamento della glaciazione in questo periodo.

Dalla coltre alluvionale indifferenziata della fascia pedemontana si dipartono verso valle i lembi più avanzati delle conoidi che originano un materasso non più uniformemente ghiaioso ma costituito da alternanze di orizzonti ghiaiosi e limoso-argillosi di origine marina o dovuti ad episodi di sedimentazione lacustre o palustre.
In definitiva si osserva che, scendendo verso valle dalla zona indifferenziata, in cui si osservano accumuli di materiali sciolti a pezzatura grossolana fino ad alcune centinaia di metri di profondità, lo spessore complessivo delle ghiaie diminuisce progressivamente, fino a che tali livelli giungono ad esaurirsi entro i materiali fini. È questa la conformazione del sottosuolo della Media Pianura veneta, che si estende lungo una fascia di ampiezza variabile dai 5 ai 10 km a valle della linea dei fontanili.
Segue infine la fascia della Bassa Pianura che si spinge fino alla costa adriatica con larghezza di 10 – 20 km. In questo ultimo settore il sottosuolo appare formato in prevalenza da orizzonti limoso-argillosi alternati a livelli sabbiosi generalmente fini.

1.2.2 Le risorgive nella provincia di Vicenza

Nel territorio vicentino la fascia si estende a Sud dell'area di intervento AQUOR, e comprende i comuni di Vicenza, Creazzo, Altavilla Vicentina, Brendola, Costabissara, Monticello C. Otto, Caldogno, Villaverla, Dueville, Montecchio Precalcino, Sandrigo e Bressanvido. L'area di interesse, collocata entro la Media Pianura Veneta, è delimitata ad Est dall'alveo del fiume Brenta e ad Ovest dalla Valle del Chiampo. Tale dominio si estende per una lunghezza di circa 20km in direzione SO-NE. Uno schema dell'area in esame viene riportato in Figura 9.

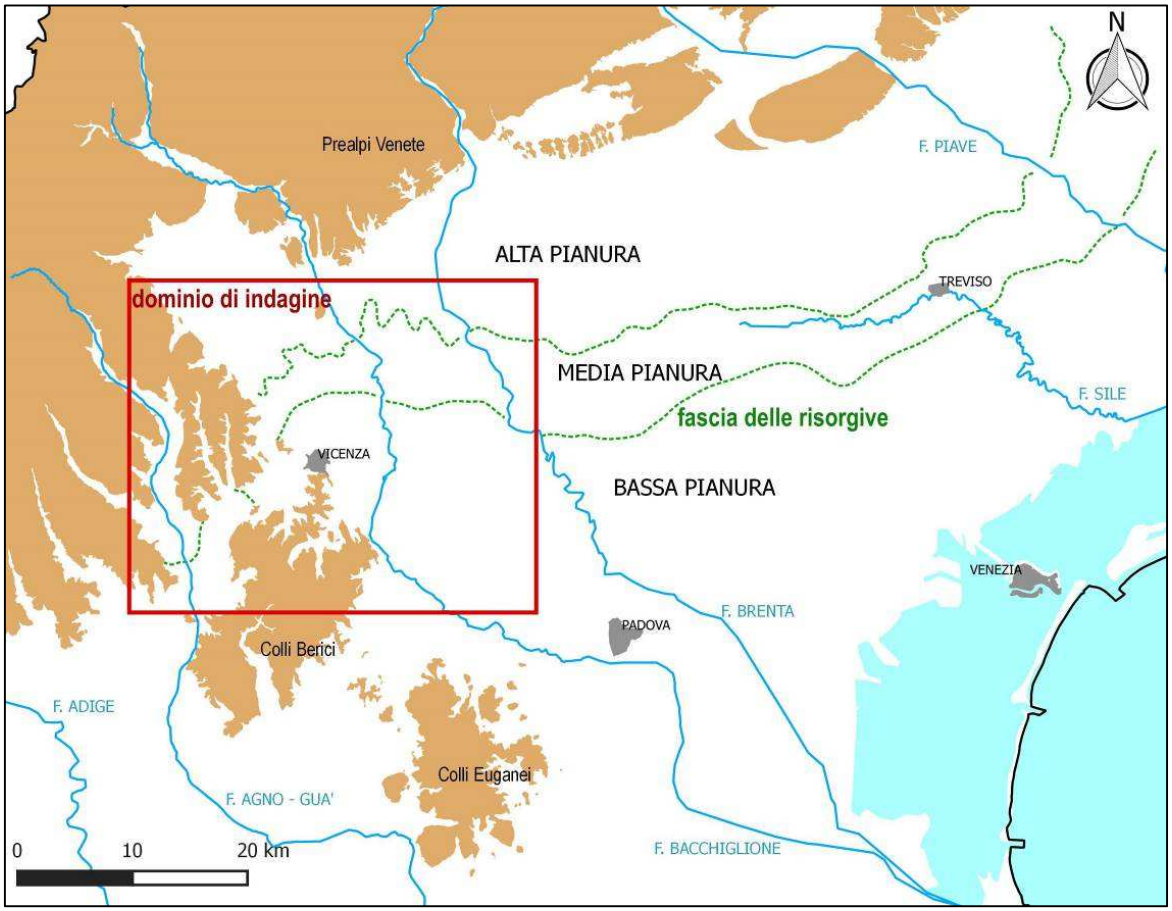


Figura 9: inquadramento geografico dell'area di studio (fonte Sinergeo)

La pianura è caratterizzata dal punto di vista idrologico dalla presenza di una serie di corsi d'acqua ad andamento subparallelo che, usciti dalle valli montane, la attraversano in direzione approssimativamente meridiana, fino a riversarsi nel Mare Adriatico.

La provincia di Vicenza è attraversata da corsi d'acqua il cui bacino idrografico è particolarmente esteso; tra questi, il fiume Astico con un bacino tributario a monte dello sbarramento di Meda di 556 km^2; il Leogra-Timonchio con un bacino di 105 km^2; il fiume Brenta con un bacino tributario a monte di Bassano di 1567 km^2 e l'Agno-Chiampo-Guà con un bacino di circa 200 km^2.

Il fiume Bacchiglione, invece, nasce dalla confluenza, situata poco a monte della città di Vicenza, tra il fiume Leogra-Timonchio e il Bacchiglioncello, fiume di risorgiva che nasce nei comuni di Dueville e Villaverla. In Figura 10 viene presentato uno schema del reticolo idrografico principale nell'area in esame.

I siti in oggetto dell'indagine si collocano nella Media Pianura vicentina. Complessivamente il sottosuolo è caratterizzato da un potente materasso alluvionale prevalentemente ghiaioso con spessori che superano i 350 – 400 m nella parte centrale dell'area.

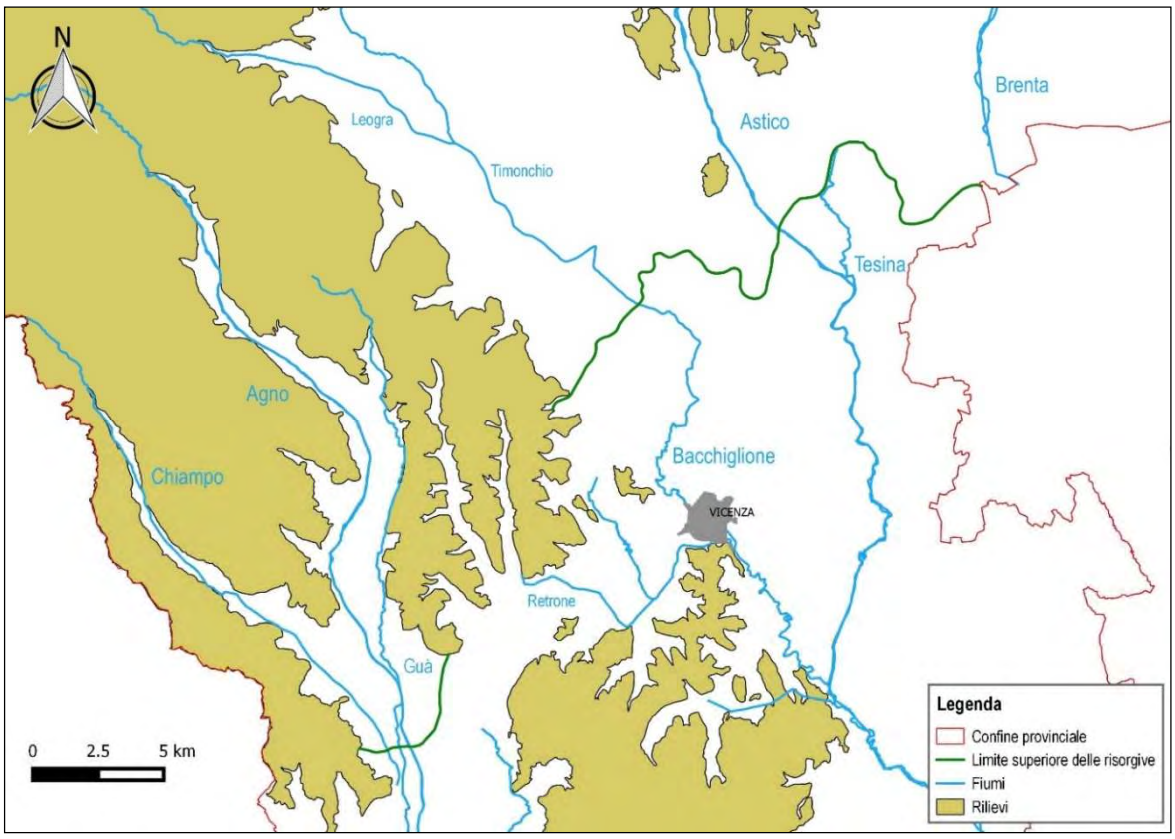


Figura 10: rete idrografica dell'area in esame.

1.2.3 Situazione idrogeologica delle risorgive vicentine

La situazione idrogeologica del sottosuolo è evidentemente condizionata dalle caratteristiche granulometriche e strutturali del materasso alluvionale e soprattutto dalla differente distribuzione dei materiali ad elevata permeabilità. Lungo la fascia settentrionale, dove il sottosuolo è costituito dal materasso indifferenziato a carattere ghiaioso, esiste un'unica e potente falda idrica a carattere freatico. Essa è sostenuta dal substrato roccioso ed oscilla liberamente all'interno dell'acquifero indifferenziato a grande permeabilità, in relazione alle fasi di piena e di magra del proprio regime. Le acque sotterranee di tale acquifero sono localmente utilizzate principalmente a scopo potabile, industriale ed irriguo. In questa fascia si colloca la zona di ricarica della falda attraverso i depositi alluvionali del quaternario ad elevata permeabilità. Tutti gli apporti citati concorrono, nell'area dell'alta pianura, alla ricarica dell'acquifero freatico, il quale provvede a rifornire il sistema multi-falde con cui è strutturalmente connesso. Ai piedi dei rilievi la falda si trova tra i 100 e i 50 metri di profondità. L'area collocata all'interno del bacino del Leogra-Timochio e dell'Astico è interessata da dispersioni rilevanti, che sono tra i principali fattori di alimentazione della falda nella zona dell'Alta pianura vicentina.

Procedendo verso valle la superficie freatica si avvicina progressivamente al piano campagna, fino a venire a giorno nei punti topograficamente più depressi, lungo una fascia praticamente continua, a sviluppo circa est-ovest e di ampiezza compresa tra 2-8 km (fascia dei fontanili o delle risorgive). La naturale fuoriuscita dell'acqua si manifesta nelle zone di risorgiva ed individua il passaggio tra acquifero indifferenziato e la comparsa delle lenti limo-argillose.

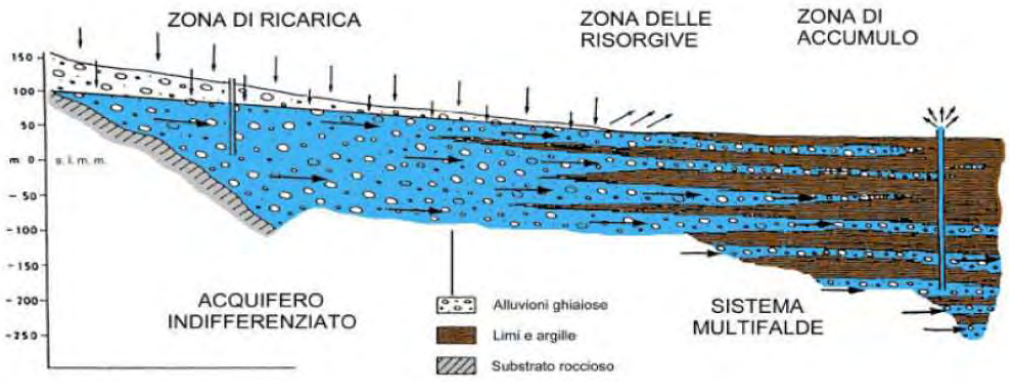


Figura 11: schema del funzionamento idrogeologico della pianura veneta (Dal Prà, 1980).

A partire dalla fascia delle risorgive, le condizioni idrogeologiche cambiano in conseguenza della differenziazione del materasso alluvionale ghiaioso. Nella zona di accumulo il sottosuolo è strutturato in fitte alternanze di livelli ghiaiosi e di letti limoso-argillosi, che determinano l'esistenza di un complesso idrogeologico multi-falde ad acquiferi sovrapposti. Tale sistema multistrato contiene falde idriche in pressione, alloggiate entro gli orizzonti a granulometria grossolana e confinate al tetto e al letto tra livelli praticamente impermeabili, formati appunto da limi e argille. In questa fascia i corsi d'acqua, in genere arginati artificialmente, incidono terreni limoso-argillosi per cui la loro influenza sull'alimentazione diretta delle falde è praticamente trascurabile.

Più a valle, dove l'acquifero indifferenziato si evolve in acquifero multi-falde in pressione, si sono riconosciuti 6 orizzonti produttivi, di cui il più importante è il quarto, posto tra i 90 e 120 m (Passadore, 2010). La presenza della faglia Schio-Vicenza e di altre faglie a direzione N-S, complicano notevolmente la struttura idrogeologica variando lo spessore dell'acquifero in senso O-E che diminuisce avvicinandosi al fiume Brenta.

Nella zona di indagine inoltre, sulla base della presenza di questi elementi morfologico - strutturali del basamento dell'acquifero e della presenza di uno spartiacque dinamico (asse Breganze-Sandrigo), viene distinto un "sub-bacino dell'Astico" (Sottani, 1982) ed un "sub-bacino del Brenta". Lo spartiacque separa i deflussi sotterranei propri dei due bacini. Nel primo

il substrato raggiunge una profondità superiore ai 160 m, nel secondo la base impermeabile si localizza mediamente attorno ai 70m dal piano campagna. La Figura 12 mostra uno schema del modello idrogeologico dell'alta e media pianura vicentine.

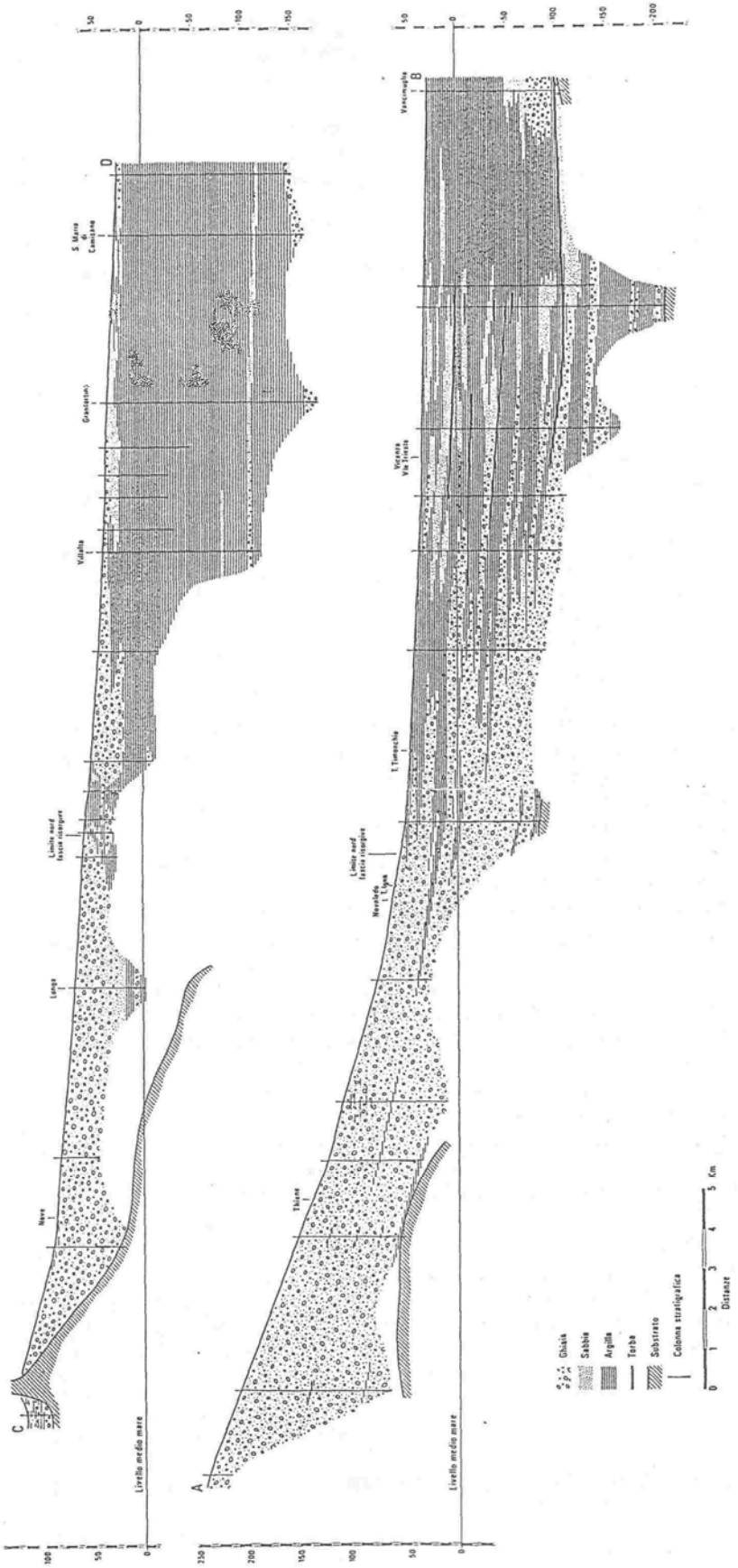


Figura 12: schema del modello idrogeologico dell'Alta e Media pianura vicentina (Sottani,1982)

1.2.4 Caratteristiche delle acque

L'acqua di risorgiva presenta generalmente un profilo chimico – fisico relativamente costante perché deriva da una lunga filtrazione compiuta a contatto dei minerali dei materiali alluvionali. Le portate sono stabili ed evolvono lentamente nel tempo, mentre sono scarsi i solidi sospesi. La loro temperatura al punto d'affioramento presenta variazioni stagionali molto contenute rispetto a quelle atmosferiche principalmente dovute al fatto che durante la permanenza in falda le acque sono svincolate dalle variazioni climatiche esterne. La temperatura misura di solito 12°-13° C costanti, con un'escursione non superiore ai 2°-3° C, e risulta fresca d'estate e calda d'inverno. Le temperature minime sono raggiunte all'inizio della primavera da marzo ad aprile, mentre quelle massime sono misurabili in autunno, tra i mesi di ottobre-novembre. La temperatura dell'acqua segue comunque quella dell'aria, con uno sfasamento di 2-4 mesi dovuto alla lentezza con cui la temperatura esterna si propaga nel sottosuolo e alla lentezza di circolazione delle acque freatiche. L'ossigeno disciolto presenta concentrazioni notevolmente inferiori al valore di saturazione nelle polle, ma questi valori crescono già nella testa per aumentare ulteriormente nel canale di fuoriuscita dove, grazie ad un più o meno intenso rimescolamento, viene favorita l'aerazione e la conseguente ossigenazione idrica. Il pH mediamente assume valori di poco superiori a 7, o comunque alcalini. La limpidezza e la scarsa profondità delle acque dei fontanili, associate alla limitata escursione termica annuale, consentono lo sviluppo di una vegetazione acquatica rigogliosa i cui resti, depositandosi, possono talora favorire la formazione di torbiere.

La disponibilità delle acque dipende in massima parte dall'andamento della falda e dagli eventi meteorici (Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta, 1997).

1.2.5 Risorgive e ambiente

Le risorgive costituiscono dei biotipi di grande importanza naturalistica. La loro particolarità fa sì che esse diano origine ad un ambiente umido dove si ha la presenza di una forte biodiversità; la loro ricchezza sia di fauna che di flora, le rende ambienti pressoché unici, dove molti animali trovano un ambiente assai accogliente e la forte disponibilità di acqua rende prospera la vegetazione.

Fino a circa gli anni '80 questi ambienti erano fortemente messi a rischio da due fattori: da un lato la continua necessità di terreni agricoli spingeva gli agricoltori del luogo ad interrare i fontanili e a provvedere al drenaggio tramite tubazioni sotterranee, dall'altro l'ambiente umido della risorgiva le rendeva habitat adatto per il proliferare delle zanzare portatrici di malaria o

altre malattie si tratta quindi di ragioni sia economiche che di salute pubblica, che negli anni passati hanno però ridotto di molto l'ambiente di risorgiva in tutto il nord Italia e la provincia di Vicenza non si è sottratta a questa tendenza.
Negli ultimi vent'anni però si è registrata una decisa inversione di tendenza; si è preso coscienza dell'importanza ecologica e paesaggistica che ha questo ambiente peculiare, e per tale ragione sono state messe in campo numerose azioni e studi con lo scopo di proteggerle e tutelarle.

Capitolo 2

L'attività di censimento e monitoraggio delle risorgive si è svolta in più fasi. Dopo un'analisi attenta della documentazione prodotta da precedenti studi sulle risorgive del territorio, si è provveduto a visitare tutti i luoghi dove si era a conoscenza della presenza di capifonte. Non ci si è limitati a visitare solo i punti già conosciuti, ma si è provveduto anche ad esaminare le aree circostanti ai siti noti. Tali fasi esplorative hanno permesso di scoprire nuove risorgive rispetto a quelle già precedentemente note. Durante questa fase si è provveduto a fornire una descrizione di ogni singola risorgiva, georeferenziarla ed analizzare alcuni parametri fondamentali.

2.1 Le attività di censimento ed analisi delle risorgive

2.1.1 Censimento ed ispezione dei siti

In una prima fase preparatoria si è preso visione della documentazione disponibile sulle risorgive, in modo tale da poter pianificare i successivi sopraluoghi di campo.

Il lavoro ha avuto come base di partenza la pubblicazione Modena P., Zangheri P. (2005) – *Tutela e valorizzazione delle risorgive della Provincia di Vicenza*. Questo infatti è l'ultimo lavoro di censimento svolto delle risorgive di questo territorio, per cui è stato il punto di riferimento per pianificare il lavoro di campagna.

Altre publicazioni analizzate in questa fase sono state:

- Dal Pra' A., 1980 – *Restituzione freatica ai fontanili nell'alta pianura veneta, tra il fiume Piave e i Monti Lessini*
- Sottani N., 1982 - *Gli acquiferi nella pianura a nord di Vicenza.*

Sono inoltre stati presi contatti con i due consorzi di bonifica interessati per competenza territoriale (Consorzio di Bonifica Brenta e Alta Pianura Veneta). I consorzi hanno messo a disposizione per alcuni loro tecnici in alcune zone del territori di indagine.

Il Consorzio di Bonifica Brenta inoltre, ha negli anni passati prodotto alcuni studi sulle risorgive, *Censimento delle risorgive* (1997) e *Le risorgive un patrimonio da salvare… se siamo ancora in tempo* (2004) che sono stati presi in considerazione in fase di pianificazione.

Un contributo è stato fornito anche dal Comitato delle risorgive di Bressanvido. Nel Giugno – Luglio 2014 il Comitato ha condotto un censimento di tutte le risorgive del comune con georeferenziazione dei punti, descrizione naturalistica e ambientale dei vari siti con la produzione anche di una mappa in scala 1:5000 che ne riporta l'ubicazione. Durante le fasi di

rilevamento nelle risorgive del comune hanno talvolta contribuito anche portando la loro esperienza e conoscenza delle risorgive locali.

Il censimento ha coinvolto un numero considerevole di siti. In particolare sono stati svolti sopraluoghi presso 405 siti.

In Figura 13 sono mostrati i siti visitati e la loro collocazione.

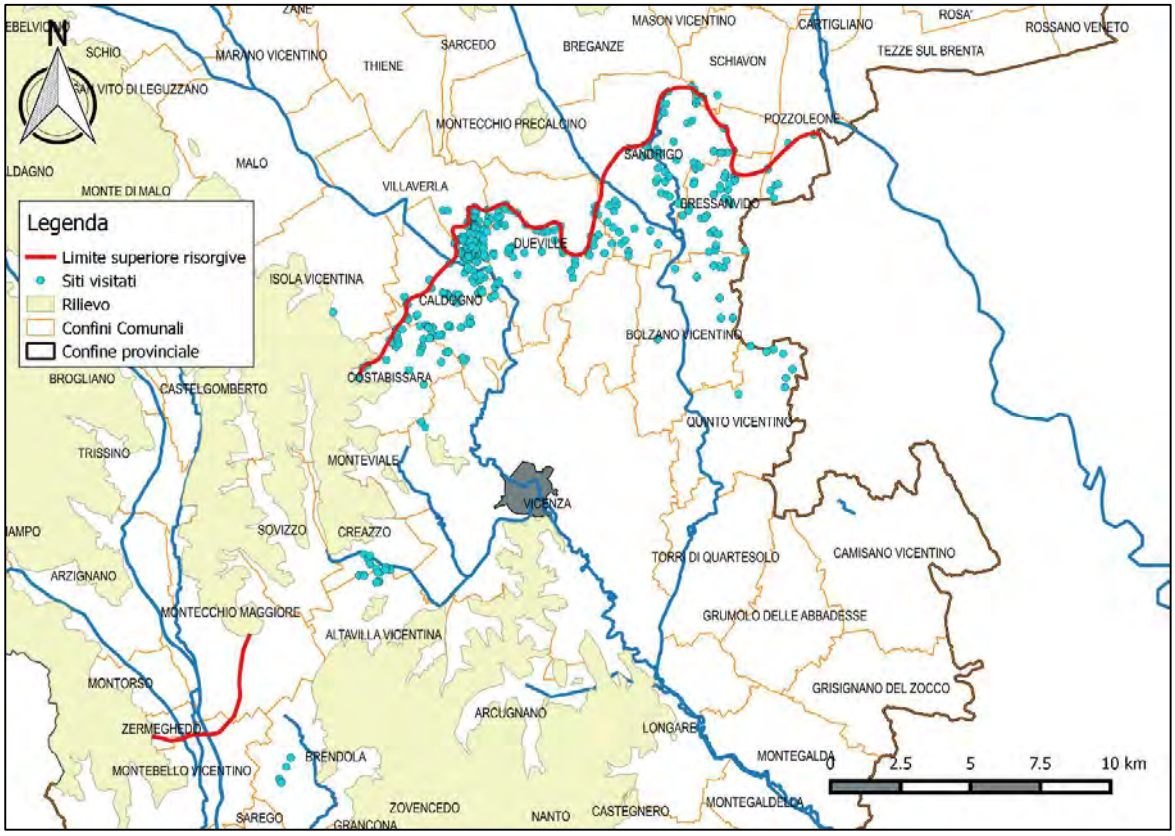


Figura 13: ubicazione dei siti visitati

2.1.2 Descrizione, georeferenziazione e misurazione di alcuni parametri fondamentali delle risorgive

Una volta giunti sul sito di una risorgiva, la prima operazione che si svolgeva era quella di classificarne l'attività.

Non tutti i punti visitati sono risultati essere risorgive attive; in molti casi l'abbassamento del livello di falda o la naturale evoluzione del territorio ne hanno provocato l'esaurimento; in altri casi invece le risorgive sono state interrate per lasciare spazio a nuove edificazioni oppure per ricavarvi nuovo terreno agricolo.

Si sono così classificate le risorgive secondo quattro possibili classi di attività:

- Perenne: quando tramite riferimenti bibliografici o da testimonianze dirette si ha conferma che le portate effluenti sono costanti durante tutto l'anno
- Periodica: per tutti quei siti dove si hanno notizie di periodi di secca durante l'anno.
- Estinta: si sono classificate come estinte tutte quelle risorgive che risultavano da censimenti precedenti, ma che attualmente non mostrano segni di attività.
- Durante i sopraluoghi è statoinoltre valutato di non considerare come risorgiva alcuni siti definiti tali nei censimenti precedenti per accorpamento con altri punti di cui condividono la stessa asta o perché risultano essere altre tipologie di risorgenza (ad esempio pozzi artesiani).

Dopo aver valutato l'attività, si è passati a caratterizzare la risorgiva da un punto di vista geometrico-descrittivo. Le risorgive trovate sono state classificate utilizzando le seguenti categorie di forma:

- Circolari: quando presentano una testa tondeggiante di dimensioni maggiori rispetto a quelle dell'asta (Figura 14)
- Lineari: quando non è stato possibile identificare con precisione un capofonte, ma si è in presenza di una formazione lineare con fenomeni di risorgenza diffusa (Figura 15)
- Irregolare: quando non si può classificarla in nessuna delle due tipologie precedenti (Figura 16).

Figura 14: esempi di risorgive circolari

Figura 15: esempi di risorgive lineari

Figura 16: esempi di risorgive irregolari

Successivamente si è provveduto, con l'ausilio di cordelle metriche a misurarne profondità ed il diametro, in caso di risorgiva circolare, lunghezza e larghezza se in caso di risorgiva di tipo lineare.

Già in queste prime fasi di misurazione si è potuto osservare una grandissima variabilità. È infatti possibile incontrare fontanili con diametri di circa un metro ed altri con diametri superiori anche ai 30 metri, mentre la profondità può variare da una decina di centimetri a quasi due metri.

La fase successiva consisteva nella georeferenziazione della posizione della risorgiva tramite uno strumento palmare che permette di calcolare e registrare, tramite segnale GPS, la posizione del sito (Figura 17). Per avere un riferimento a terra, ovvero un riferimento materiale del punto registrato dal GPS, si è provveduto a piantare un picchetto in legno verniciato in corrispondenza del punto misurato. I dati raccolti hanno permesso di realizzare una cartografia GIS accurata di tutti i punti censiti e delle successive elaborazioni.

Figura 17: picchetto e palmare GPS durante la fase di acquisizione di coordinate

Le attività di censimento sono state completate con l'acquisizione di alcune foto e dei video della testa e dell'asta della risorgiva.

Una volta conclusa questa fase, per ogni singola risorgiva si è provveduto a valutare alcuni parametri qualitativi delle acque, ovvero Temperatura, Ossigeno disciolto, Conducibilità elettrica, pH, potenziale di ossidoriduzione e torbidità, tramite l'utilizzo di una sonda multiparametrica (nello specifico la sonda Hydrolab 4A / 5 minisonde). Questa sonda ha la possibilità di lavorare in due modalità di acquisizione: la prima in tempo reale, la seconda di acquisizione in remoto.

La misurazione in tempo reale (Figura 18) avviene con la sonda collegata tramite cavo ad un Personal Computer munito di apposito software; in questo modo è possibile acquisire dati ad intervalli di 5 secondi per tutti i parametri e monitorare la convergenza dello strumento ai valori esatti. Si ha infatti che la misurazione esatta, specialmente di alcuni parametri come l'ossigeno disciolto, richiede alcune decine di secondi per stabilizzarsi attorno al valore esatto, e ciò è dovuto al funzionamento del sensore di rilevamento che richiede un certo intervallo temporale per far convergere la misura al valore esatto.

L'altra modalità di misurazione (Figura 19) è quella in remoto; in questo caso la sonda registra i valori misurati in una memoria interna, per poi scaricarli in un secondo momento quando viene collegata ad un PC. In tale modalità d'acquisizione non è possibile verificare la convergenza della misura sul campo, per cui si è costretti a lasciare la sonda immersa per un tempo maggiore, in modo tale da assicurare la convergenza.

Figura 18: sonda multiparametrica in acquisizione in tempo reale

Figura 19: sonda multiparametrica in acquisizione in remoto

A seguire si descrivono più nello specifico i parametri considerati per la caratterizzazione delle risorgive.

pH

Il pH è un'indicazione di acidità di una sostanza. È determinato dal numero di ioni di idrogeno liberi (H^+) in una sostanza: infatti è definito pH il logaritmo negativo in base 10 della concentrazione di ioni di idrogeno in una soluzione: $pH = -\log(H_3O^+)$. Il termine pH deriva dall'abbreviazione di "*pondus Hydrogenum*", ovvero letteralmente peso dell'idrogeno. L'acqua pura ha un indice di pH=7, tale valore è quello di riferimento per una sostanza neutra: valori tra 0 e 7 sono propri di sostanze acide, valori tra 7 e 14 sono valori di sostanze basiche. Le acque ad uso potabile hanno di solito un valore di pH compreso tra 5 e 9, possono essere quindi o leggermente acide o leggermente basiche.

L'acidità o la basicità sono tra parametri più importanti per determinare la qualità dell'acqua; la vita di molti organismi animali o vegetali è infatti regolata da una determinata concentrazione di ioni idrogeno e una sua variazione può addirittura provocare la sparizione di questi organismi.

Temperatura [°C]

Si conosce da dati presenti in letteratura che la temperatura delle acque di risorgive è di solito compresa in un intervallo tra 9 e 15 gradi, valori diversi possono essere indice di immissione di acqua da fonti diverse da quella freatica.

Conducibilità elettrica [µS/cm]

La conducibilità elettrica, è una misura dell'attività ionica di una soluzione in termini di capacità di trasmettere una corrente, esso può ragionevolmente comparata con SDT, che rappresenta il valore totale dei soliti disciolti, ovvero degli ioni totali disciolti. In soluzioni diluite, l'SDT e la conducibilità elettrica sono ragionevolmente comparabili. L'SDT di un campione d'acqua sulla base del valore misurato di conducibilità può essere calcolato usando la seguente equazione: $SDT = 0.5 * EC$. L'acqua pura non è un buon conduttore di elettricità. La normale acqua distillata in equilibrio con il diossido di carbonio dell'aria ha una conduttività di circa 10 x 10^{-6} $W^{-1}*m^{-1}$ (2 S/m o Siemens su metro). Visto che la corrente elettrica è trasportata dagli ioni in soluzione, la conduttività aumenta all'aumentare della concentrazione degli ioni. Valori tipici di conduttività sono, per l'acqua ultrapura $5.5 \cdot 10^{-6}$ S/m, per l'acqua potabile 0.005 – 0.05 S/m mentre per l'acqua di mare 5 S/m

Potenziale di Ossidoriduzione [mV]

Il potenziale di ossidoriduzione o potenziale redox indica la capacità di acquisire elettroni da parte dell'acqua durante una reazione chimica. Il potenziale redox dipende dall'attività degli ioni idrogeno, dal valore di PH della soluzione in cui tali reazioni si compiono oltre che, in misura minore, dalla temperatura. Anche la concentrazione di acido cianurico influenza il potenziale redox. Se il grado di contaminazione aumenta il potenziale redox si abbassa. Via via che il valore del potenziale redox aumenta, i tempi di sopravvivenza dei batteri diminuiscono, fino a diventare minimi o addirittura non più rilevabili ad alti valori. Per garantire la sopravvivenza degli organismi è necessario che venga rispettato un determinato valore del potenziale redox, se questo valore viene innalzato molto, il microrganismo muore. Modificazioni critiche del potenziale redox inattivano le membrane citoplasmatiche, impedendo la sopravvivenza delle cellule.

Ossigeno disciolto (OD) [mg/l]

E' un parametro di fondamentale importanza per descrivere la capacità dell'acqua di ospitare la vita, ed è in grado di fornire un indicazione sul suo livello di inquinamento. Gli organismi acquatici infatti, per la loro respirazione necessitano dell'ossigeno disciolto nell'acqua, in quanto non possono assumerlo se esso si trova legato ad altri elementi per formare molecole organiche od inorganiche; alla sua presenza risulta quindi legata la possibilità di avere una fiorente vita acquatica.

L'ossigeno presente nell'acqua deriva in massima parte dal mescolamento dell'acqua con lo strato di atmosfera che vi viene a contatto ed in quantità minore dalla fotosintesi attuata dai vegetali acquatici. Valori sotto i 3 mg/l rappresentano valori proibitivi per la sopravvivenza di specie animali o vegetali nell'acqua.

Il valore dell'ossigeno disciolto dipende dalla temperatura e dalla salinità dell'acqua. A temperature maggiori corrispondono concentrazioni di ossigeno minori, in quanto con il crescere della temperatura l'ossigeno tende a sfuggire dalla soluzione e tornare in atmosfera con maggiore facilità. A parità di temperatura poi un'acqua ad alta salinità ha un contenuto di ossigeno minore rispetto una a bassa salinità. Tra i fattori che più possono contribuire alla riduzione dell'ossigeno disciolto si ha l'eutrofizzazione, ovvero l'eccessivo accrescimento di organismi vegetali per effetto di dosi elevate di sostanze quali zinco, azoto, fosforo e zolfo che provengono di prodotti come i pesticidi usati nell'agricoltura o da prodotti detergenti. Un'altra causa di diminuzione dell'ossigeno disciolto è l'instaurarsi di processi di ossidoriduzione.

Torbidità

Le particelle più grandi, con dimensioni dell'ordine di 10^{-6} m non sono in grado di alterare la composizione chimica dell'acqua, tuttavia la presenza di sostanze solide non solubili come ossidi metallici, alghe e altri microrganismi può essere sintomo di grave contaminazione del corpo idrico. Nonostante la torbidità non sia una proprietà dell'acqua, questo parametro fornisce un buon indicatore della qualità della risorsa idrica.

Nell'acqua infatti un'eccessiva torbidità può essere un chiaro segnale di presenza di contaminati patogeni. Un'accentuata torbidità può inoltre provocare un arresto della fotosintesi clorofilliana delle piante acquatiche, con conseguente impoverimento della percentuale di ossigeno disciolto con grave danno alla vita acquatica, ed un surriscaldamento dell'acqua dovuto all'assorbimento dell'energia termica da parte delle particelle in sospensione.

La torbidità si misura in NTU (Nephelometric Turbidity Units) o in FNU (Formazione Nephelometric Units).

Le acque di risorgive sono per loro natura caratterizzate da una bassissima torbidità.

2.1.3 L'indice di funzionalità di risorgiva – IFR

Come si è già detto, le risorgive sono di grande interesse naturalistico, in quanto sono siti che riescono a mantenere una grande biodiversità in zone dove la forte antropizzazione ha danneggiato l'ambiente naturale. Non è un caso infatti se molti siti di interesse comunitario localizzati nella pianura veneta siano aree di risorgiva, come ad esempio il bosco di Dueville, le sorgenti del Sile, le paludi di Morgano e Santa Cristina o i fontanili di Povegliano Veronese.

Tuttavia i fontanili hanno subito, soprattutto in passato, alcuni fenomeni di degrado quali l'escavazione o l'interramento, la canalizzazione e l'immissione di scarichi anche di acque reflue in alcuni casi. A tali atti di degrado si è sommata la diminuzione del livello di falda, che ha portato ad avere un bilancio idrologico per le risorgive in forte passivo negli anni, con molte risorgive che hanno cessato completamente la loro attività.

Viste le molteplicità delle situazioni che caratterizzano i diversi siti, per avere una valutazione complessiva sufficiente standardizzata, chiara e di semplice lettura ma al contempo completa e rappresentativa dello stato della risorgiva è nata la necessità di elaborare un indicatore ambientale che prende il nome di l'indice di Funzionalità di Risorgiva (IFR).

L'indice IFR nasce dall'esperienza di numerose rilevazioni svolte lungo il fiume Adige e presso altri ambiti fluviali, (Modena, 1984), zone umide planiziali (Modena, 1981) e campagne di studio in aree sorgentizie (Crema, 1996). Tale indice è inoltre già stato utilizzato per la valutazione delle

risorgive nella pianura veronese (Modena, 2002) e nel precedente censimento delle risorgive Vicentine (Modena, 2005).

La valutazione è basata su una serie di parametri ai quali vengono attribuiti dei valori numerici che sono stabiliti con un ispezione del sito eseguita in base ad un manuale di rilevamento. I punteggi attribuiti ai vari parametri vanno poi a costituire la valutazione complessiva.

La valutazione basata su scheda IFR non si limita alla sola analisi ambientale, ma si pone come scopo quello di fornire una base conoscitiva per eventuali azioni di recupero e riqualificazione dei siti di risorgiva.

Per raggiungere tali scopi è stata fatta un accurata scelta dei parametri che compongono l'indicatore in modo da renderlo il più efficiente possibile, ma al contempo abbastanza semplice. I parametri scelti sono stati suddivisi in sei categorie principali:

- stato dell'ambiente circostante,
- stato dell'area del rilievo (cioè il sito della risorgiva),
- stato delle ripe,
- stato della risorgenza,
- stato della vegetazione,
- elementi di degrado.

Stato dell'ambiente circostante

Lo stato dell'ambiente circostante influisce notevolmente sulla stabilità dell'ecosistema. In particolare la valutazione IFR prevede una scala di punteggio da 1 a 5, dove il punteggio minore viene dato quando l'area circostante alla risorgiva è formata da aree urbanizzate o importanti infrastrutture, mentre il massimo corrisponde ad un ambiente boschivo naturale.

Stato dell'area di rilievo

L'area immediatamente circostante alle polle dove si presenta la risorgenza condiziona in maniera fondamentale l'ambiente e la biodiversità delle risorgive. I fattori che vengono tenuti in conto sono due in questo caso, ovvero che tipologia di utilizzo caratterizza il suolo e a che distanza media si trovano le colture dalla risorgiva.

Stato delle ripe

La morfologia dello scavo, in particolar modo la pendenza delle sue scarpate, e le condizioni geomorfologiche influenzano fortemente la struttura della vegetazione e la tipologia che vi si può insediare, la stabilità delle sponde e la modalità di risorgenza dell'acqua. Le caratteristiche che vengono valutate sono la pendenza del profilo, dove a pendenza minore corrisponde vota

maggiore e lo stato del terreno, che viene valutato più positivamente se trattenuto da vegetazione, che ne evita eventuali smottamenti.

Stato della risorgenza

Le risorgive tendono naturalmente ed in tempi abbastanza rapidi ad evolversi verso condizioni di graduale incremento della copertura vegetale fino ad arrivare al loro totale interrimento. La manutenzione attuata dall'uomo permette non solo di mantenere la funzionalità irrigua dei fontanili, ma anche di preservare la vita di numerosi organismi legati a questi biotipi. I parametri valutati in questa voce sono il substrato del fondale e lo stato della risorgenza.

Stato della vegetazione

Sono qui valutati alcuni parametri che caratterizzano la varietà e la struttura della vegetazione, come il numero di specie acquatiche e la superficie che esse ricoprono, il numero di specie arboree e la loro copertura, nonché se esse sono indigene od esotiche.

Elementi di degrado

Questa voce serve a segnalare eventuali elementi di degrado, come ad esempio la presenza di rifiuti e la presenza di scarichi, oppure l'utilizzo della risorgiva a fini di itticoltura.

Per una visione complessiva delle voci e dei relativi punteggi che vanno a formare la scheda IFR si veda la Figura 20, dalla quale risulta chiaro quali siano le voci che compongono l'indicatore, i singoli punteggi e come viene calcolato il punteggio complessivo.

Oltre a queste voci la compilazione della scheda IFR prevede di annotare altre caratteristiche che consentono di fornire una visione completa dello stato della risorgiva. In particolare è richiesto di segnalare se vengono effettuati lavori di manutenzione quali lo sfalcio delle rive o la potatura delle piante sulle ripe, la presenza di palizzate lungo le rive e la presenza di fauna ittica.

Un ultimo commento va fatto sul criterio di attribuzione dei punteggi scelto per la valutazione IFR. Bisogna notare come la conservazione della risorgiva sia in buona parte dovuta all'intervento umano, infatti una risorgiva per sua natura nasce e viene interrata nell'arco di alcuni anni. In questo senso le risorgive sono quasi un ambiente artificiale, che viene mantenuto integro dall'azione dell'uomo; questo fattore rende difficile e complessa la scelta dei valori numerici da assegnare in quanto viene a mancare la possibilità di un confronto con una situazione completamente naturale e priva di interventi dell'uomo. In tale contesto si è quindi scelto di considerare come situazione ottimale per la conservazione della risorgiva quella che garantiva una maggiore complessità ecosistemica, anche se a questa situazione corrisponde spesso un pesante intervento umano. Si deve notare che questa situazione ottimale di intervento

corrisponde ad una pratica di manutenzione che evita l'interramento senza diminuire la biodiversità, dall'altro ricerca una situazione di equilibrio che evita lo sfruttamento eccessivo della risorsa idrica (Modena, 2005).

SCHEDA IFR N° Data: Operatori:
Regione: Provincia: Comune:
Località: Quota slm: C.T.R. Coordinate:
Bacino: Corso d'acqua Denominazione risorgiva
Tipo di risorgiva: □ sbarramento □ affioramento Dimensioni testa: □ 1-5m □ 5-10m □ 10-30m □ >30 m
Profondità da p.c.: □ 0-2m □ 2-5m □ 5-10m □ >10m Ombreggiamento: ● ● ○

1) STATO DELL'AMBIENTE CIRCOSTANTE	Punteggio medio	
Coperto da foreste e boschi		5
Prati, pascoli, boschi, pochi arativi ed incolti		3
Colture stagionali in prevalenza e/o arativi misti		2
Aree urbanizzate e/o colture permanenti e/o vicinanza ad importanti infrastrutture		1

2) STATO DELL'AREA DI RILIEVO	Punteggio medio	
Tipologia di usi del suolo prevalenti	Foreste naturali, prati umidi, pascoli magri	5
	Prati stabili	4
	Vigneti, pioppeti e frutteti non irrigui	3
	Colture intensive, anche irrigue; vigneti, pioppeti e frutteti irrigui	2
	Terreno impermeabilizzato	1
Distanza media delle colture e/o del terreno impermeabilizzato dalla risorgiva	>50 m	5
	10<->50 m	3
	<10 m	1

3) STATO DELLE RIPE	Punteggio medio	
Profilo	1:2	5
	1:1	3
	2:1	1
Stato del terreno	Trattenuto da vegetazione arborea e/o arbustiva	5
	Sciolto trattenuto da vegetazione erbacea	3
	Instabile, sciolto, facilmente erodibile	2
	Impermeabilizzato	1

4) STATO DELLA RISORGIVA	Punteggio medio	
Substrato del fondale	Misto (grossolano-fine)	5
	Prevalentemente grossolano (ghiaioso-sabbioso)	3
	Prevalentemente fine (argilloso-limoso)	1
Stato della risorgenza	Naturale dalle ripe e dal fondo	5
	Naturale dal fondo	4
	Artificiale con pozzo artesiano	1

5) STATO DELLA VEGETAZIONE	Punteggio medio	
Specie acquatiche	Più di 1	5
	1	1
	Assenza di vegetazione acquatica	0
Estensione della vegetazione erbacea	>50%	5
	10-50%	3
	<10%	0
Specie arboree e/o arbustive presenti	>4	5
	2<->4	3
	1	1
	Assenza di specie arboree e/o arbustive	0
Copertura della vegetazione arboreo-arbustiva	>50%	5
	10-50%	3
	<10%	0
Origine della vegetazione arborea e/o arbustiva	Completamente indigena	5
	Prevalentemente indigena con qualche esemplare esotico e/o extrazonale	4
	Prevalentemente esotica e/o extrazonale con qualche esemplare indigeno	2
	Completamente esotica e/o extrazonale	1

6) ELEMENTI DI DEGRADO	Punteggio medio	
Assenti		5
Taglio della vegetazione riparia		4
Discariche ed escavazioni puntiformi		3
Scarichi diretti e/o indiretti		2
Utilizzo a fini di ittiocoltura e/o pesca sportiva		1
Altro (specificare):		

PUNTEGGIO COMPLESSIVO	

Figura 20: esempio modulo per scheda IFR con le voci considerate per ogni singola categoria ed i rispettivi punteggi. (Modena,, 2005))

2.1.4 Database

L'insieme dei dati raccolti per ogni singola risorgiva e la classificazione IFR sono stati utilizzati per realizzare un database. Per ogni risorgiva si è realizzata una scheda di riepilogo (Figura 21) con foto del fontanile, disegno schematico, mappa con posizione del punto georeferenziato e una serie di tabelle riassuntive dei parametri geometrici, chimico-fisici e della classificazione IFR in modo tale da rendere facilmente fruibili le informazioni raccolte. I dati sono stati processati con l'ausilio del software Microsoft Access ed ottimizzati per la fruizione GIS.

Figura 21: esempio di scheda riassuntiva del database di una risorgiva (fonte Sinergeo)

2.2 Elaborazione dati acquisiti

2.2.1 Distribuzione ed attività delle risorgive

Sono stati visitati in tutto 405 punti, dei quali 298 presentavano, al momento in cui sono stati visitati, attività di risorgenza: di questi punti 185 sono stati classificati come siti di risorgive ad attività perenne, gli altri 113 sono stati classificati come siti di risorgive ad attività periodica.

In Tabella 2 sono riportati il numero di risorgive suddivise per attività e le relative percentuali. Si può osservare come in oltre il 73% dei punti visitati si siano rilevate risorgive in attività, sia perenni che periodiche. Si sono però trovate ben 64 risorgive non più in attività e quindi estinte, mentre altri 43 punti sono stati eliminati dal computo totale (per le ragioni spiegate al paragrafo 2.1.2).

Tabella 2: numero di risorgive per categoria e percentuale

Tipo	N°	%
Perenne	185	45.7%
Periodica	113	27.9%
Estinta	64	15.8%
Eliminata	43	10.6%
Siti totali visitati	**405**	**100%**

I punti vistati sono sparsi sul territorio di 15 comuni della provincia, dei quali 14 hanno risorgive ad oggi attive. In Tabella 3 sono riportati i dati relativi ai singoli comuni.

Tabella 3: distribuzione delle risorgive per comune

Comune	N°	Attive (Perenni e Periodiche)	Estinte
Altavilla Vicentina	7	6	0
Bolzano Vicentino	11	6	5
Brendola	5	5	0
Bressanvido	41	33	3
Caldogno	55	46	7
Costabissara	25	11	11
Creazzo	14	12	0
Dueville	62	41	15
Isola Vicentina	1	1	0
Pozzoleone	8	7	1
Quinto Vicentino	8	6	2
Sandrigo	53	29	10
Schiavon	4	0	1
Vicenza	2	2	0
Villaverla	109	93	9
Siti totali visitati	**405**	**298**	**64**

Il comune che presenta il maggior numero di risorgive è Villaverla, con 93 risorgive attive. Il fenomeno assume notevole importanza territoriale anche nei comuni di Bressanvido, Caldogno, Dueville e Sandrigo. Gli altri comuni presentano invece indici più contenuti. Si tiene a segnalare che le 4 risorgive a suo tempo documentate nel comune di Schiavon risultano ad oggi estinte (Figura 22).

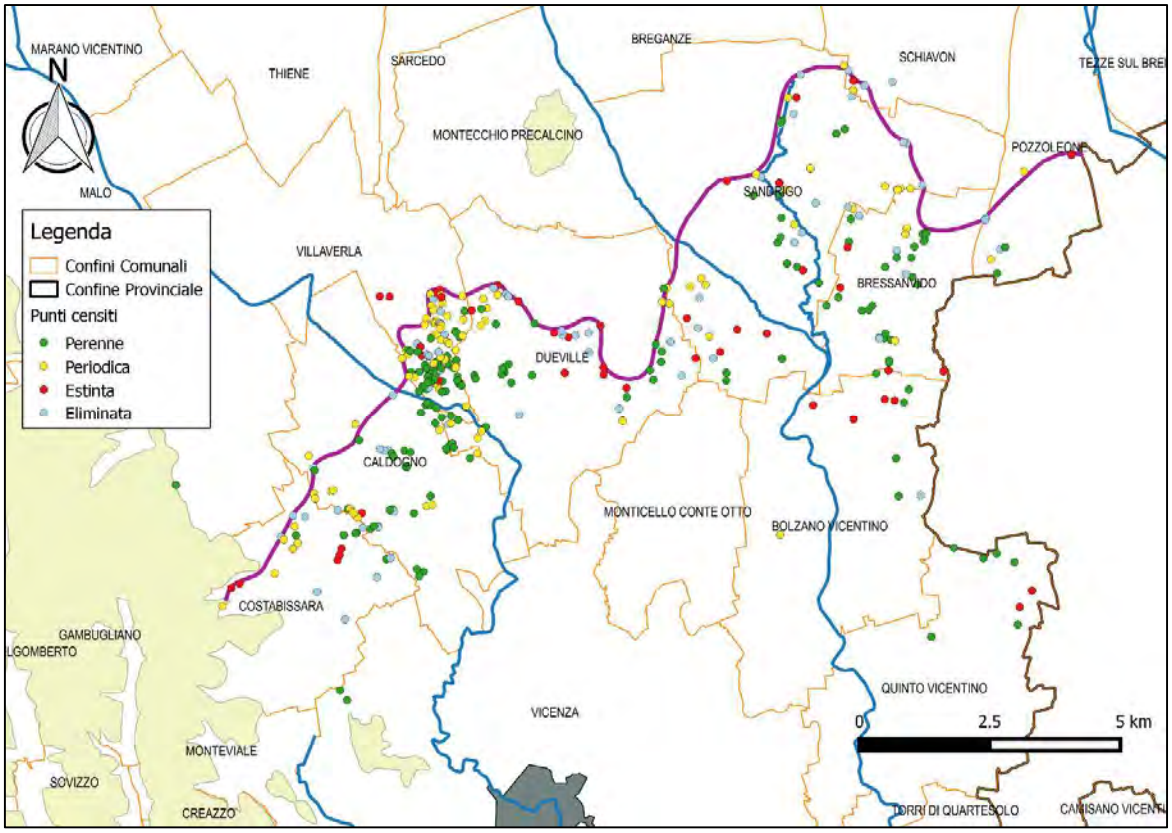


Figura 22: distribuzione delle risorgive secondo attività (non sono raffigurate le risorgive di Altavilla, Creazzo e Bressanvido)

2.2.2 Parametri qualitativi di base

Nella Tabella 4 e nella Tabella 5 sono raccolte le elaborazioni effettuate con i dati raccolti dalla sonda multiparametrica. Sono state svolte 279 rilevamenti ai capifonte, mentre i rilevamenti lungo l'asta sono stati 277, in quanto presso due risorgive non è stato possibile effettuare l'analisi in un caso per un troppo esiguo battente, nell'altro perché per conformazione la risorgiva era priva d'asta ed la testa era direttamente connessa ad una roggia.

Tabella 4: analisi statistica dati chimico-fisici presso la testa (monte) delle risorgive

Parametro	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Deviazione standard (SD)	Deviazione standard della media (SEM)
Temperatura(°C)	8.8	21.8	14.1	13.8	1.6	0.1
pH	6.86	8.77	7.66	7.74	0.34	0.02
ORP (mV)	19.3	380.0	220.0	226.6	62.9	3.8
EC (µS/cm)	267.0	771.5	580.3	586.2	76.7	4.6
DO (mg/l)	1.12	9.34	5.11	4.95	1.54	0.09
Torbidità (NTU)	0.0	8.6	0.3	0.2	0.6	0.0

Tabella 5: analisi statistica dati chimico-fisici lungo l'asta (valle) delle risorgive

Parametro	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Deviazione standard (SD)	Deviazione Standard della media (SEM)
Temperatura(°C)	9.4	19.4	13.	13.6	1.4	0.1
pH	6.82	8.92	7.68	7.78	0.33	0.02
ORP (mV)	11.0	378.9	219.0	222.0	60.1	3.6
EC (µS/cm)	266.5	772.0	577.4	585.0	76.3	4.6
DO (mg/l)	1.66	9.59	5.48	5.10	1.53	0.09
Torbidità (NTU)	0.0	7.4	0.2	0.1	0.5	0.0

Da quanto sopra si evince che i valori sperimentali riferibili alla testa di una risorgiva sono molto simili a quelli validi per il primo tratto di asta, anche se nel breve percorso idrico si nota un aumento dell'ossigeno disciolto ed una diminuzione della torbidità. L'aumento dell'ossigeno disciolto è con ogni probabilità legato all'arricchimento provocato dallo scambio con l'atmosfera dopo che l'acqua fuoriesce in superficie, mentre la diminuzione della torbidità è ascrivibile alla generale diminuzione di alghe e/o materiale solido in sospensione, per la minore turbolenza, allontanandosi dalle polle di sifonamento.

Per quanto riguarda la misura della temperatura si tenga presente che i dati sono stati raccolti nell'ambito di diverse settimane di rilievo (tra ottobre e dicembre 2014) e quindi il parametro risente della variazione stagionale della temperatura atmosferica.

Preso atto che le differenze tra le misurazioni effettuate al capofonte e quelle lungo l'asta non differiscono in modo significativo, nel seguito ci si riferirà solo alle misure effettuate in testa alle risorgive.

Per effettuare un'elaborazione sui dati raccolti si è provveduto a suddividere le risorgive in gruppi in base alla loro ubicazione. La suddivisione utilizzata è, in massima parte, quella già considerata in Rinaldo, 2010. In tale lavoro le risorgive interessate dal progetto AQUOR sono state suddivise in sei gruppi, denominati Astico 1, Astico 2 Astico 3, Astico 4, Brenta 1 e Brenta 2. La suddivisione utilizzata differisce qui leggermente nel gruppo chiamato Brenta 2, in quanto l'area d'interesse del presente censimento e solo quella di competenza della provincia di Vicenza, mentre nel succitato lavoro si prendevano in considerazione anche le risorgive presenti in provincia di Padova e Treviso. Oltre a questa differenza nel presente elaborato si sono aggiunte due zone nelle quali sono state raggruppate le risorgive dei comuni di Altavilla Vicentina, Creazzo e Bressanvido.

Nello specifico si son individuate:

- 4 risorgive per l'area Brendola
- 18 risorgive per l'area Altavilla – Creazzo
- 44 risorgive per l'area denominata Astico 1
- 115 risorgive per l'area Astico 2
- 17 risorgive per l'area Astico 3
- 17 risorgive per l'area Astico 4
- 24 risorgive per l'area Brenta 1
- 43 risorgive per l'area Brenta 2

Per chiarezza si veda Figura 23.

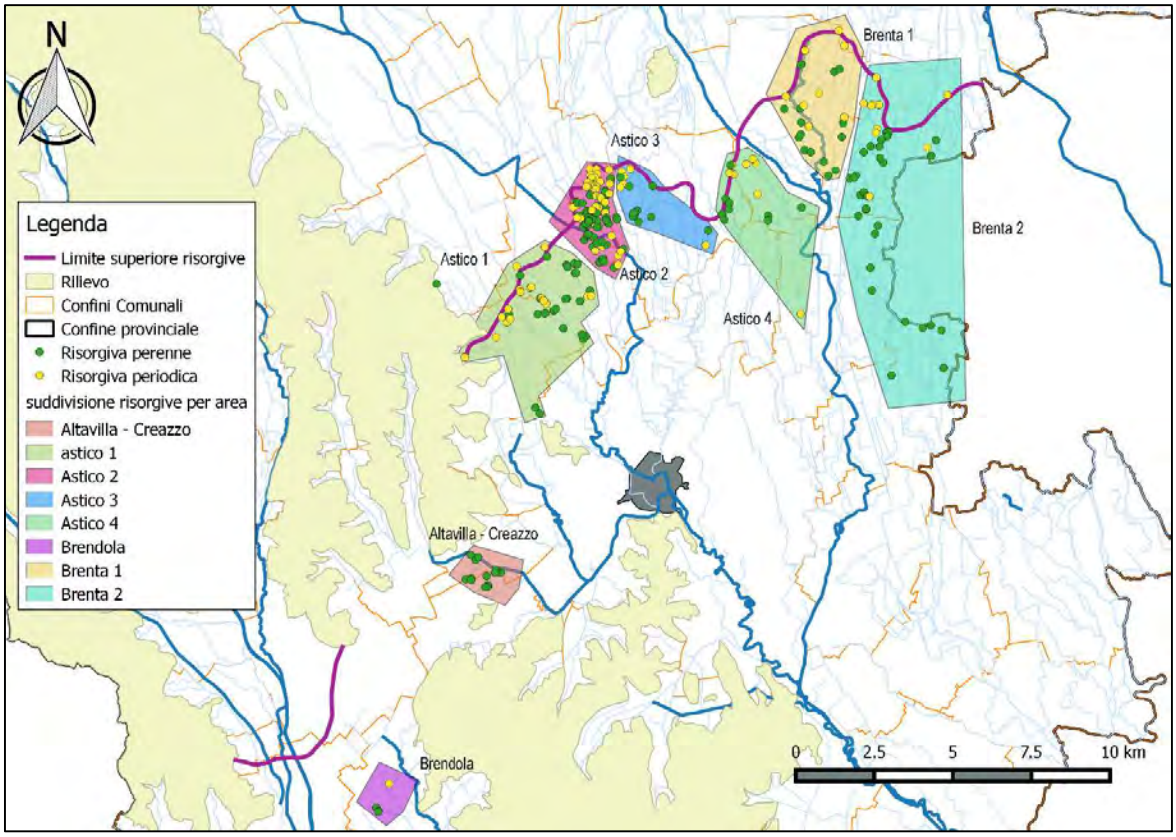


Figura 23: suddivisione delle risorgive con attività classificata come perenne o periodica secondo aree come adottato da Rinaldo, 2010.

Tale suddivisione ha permesso di organizzare in modo migliore e significativo la corposa mole di dati raccolta. Si sono infatti suddivisi i dati raccolti con la sonda multiparametrica relativi al pH, alla conducibilità elettrica, al potenziale redox e all'ossigeno disciolto per i vari domini che si sono creati con la suddivisione in aree. Tramite una semplice analisi realizzata utilizzando il software Matlab, si sono realizzati i box-plot relativi alle quattro serie di dati raccolti per ogni risorgiva di ogni rispettiva zona.

Il box-plot è uno strumento molto utilizzato nell'analisi statistica per mostrare la distribuzione di un campione. Il campione viene raffigurato come un rettangolo i cui estremi sono rispettivamente il 25mo e 75mo percentile, mentre la mediana viene raffigurata tramite una linea che taglia il rettangolo in due parti. Dagli estremi del rettangolo partono due segmenti ("*whiskers*" o "*baffi*") che sono delimitati dal valore massimo e minimo. Eventuali outliers[2] vengono rappresentati tramite l'ausilio di punti.

[2] In statistica si definisce outlier un valore anomalo in un gruppo di dati, un valore cioè evidentemente diverso dalle altre osservazioni effettuate. Viene definito outlier un valore che cade fuori dall'intervallo:

$$[q_1 - k(q_3 - q_1), q_3 - k(q_3 - q_1)]$$

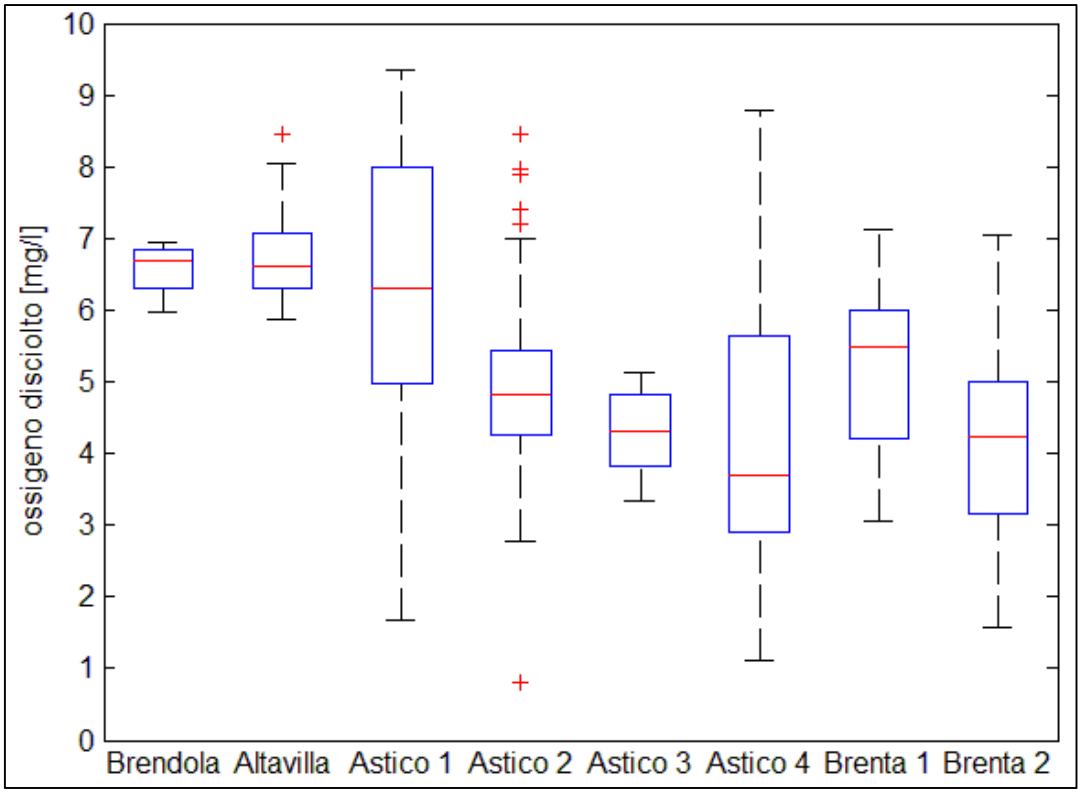


Figura 24: box-plot relativo ai dati raccolti sull'ossigeno nelle varie aree

---

Dove q_1 e q_3 sono il primo e il terzo quartile e k è una costante posta pari a 1.

I valori outlier sono valori numericamente distanti dal resto dei valori raccolti. Tale diversità può far sì che un analisi statistica che tenga conto anche di questi parametri risulti fuorviante.

Un outlier può segnalare come un dato appartenga ad una popolazione differente rispetto a quella del resto del campione.

La presenza di outliers può essere dovuto ad un errore sistematico durante la raccolta dati, all'errore fatto nell'assumere nel assumere una data distribuzione di probabilità o semplicemente al caso. Possono essere sintomo di dati errati, procedure erronee ma la presenza di outlier è ritenuta scontata dalla teoria statistica per i grandi campioni.

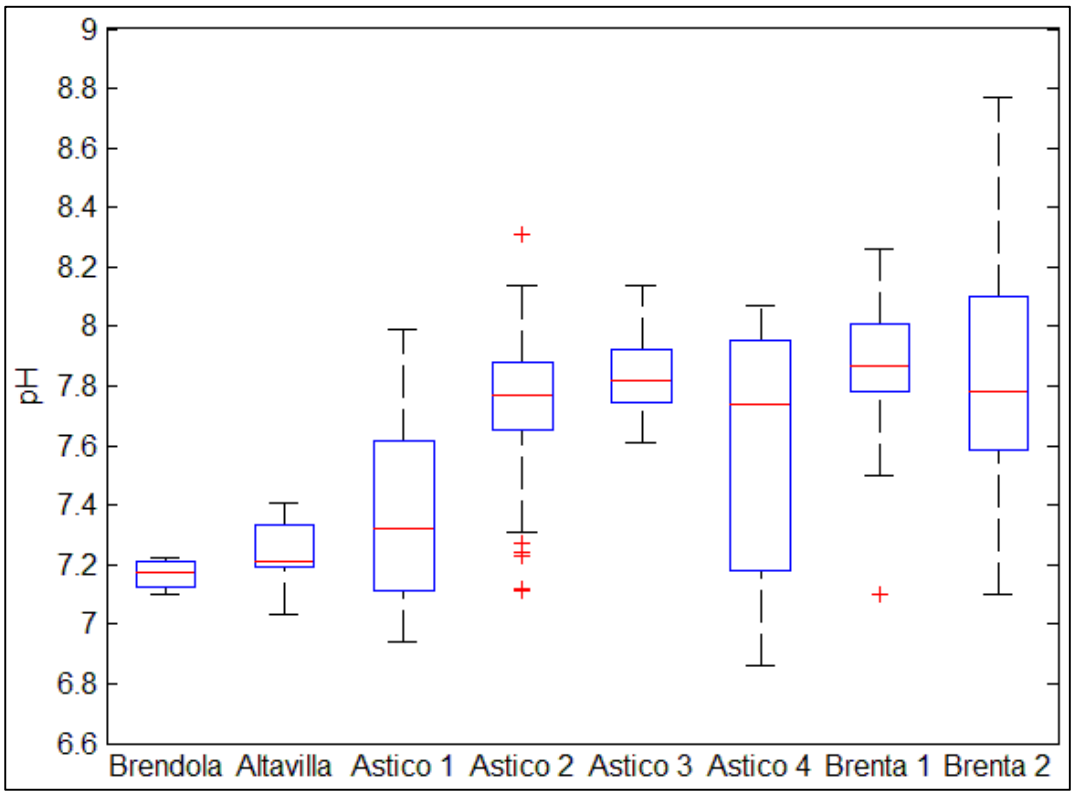


Figura 25: box-plot relativo ai dati raccolti sul pH nelle varie aree

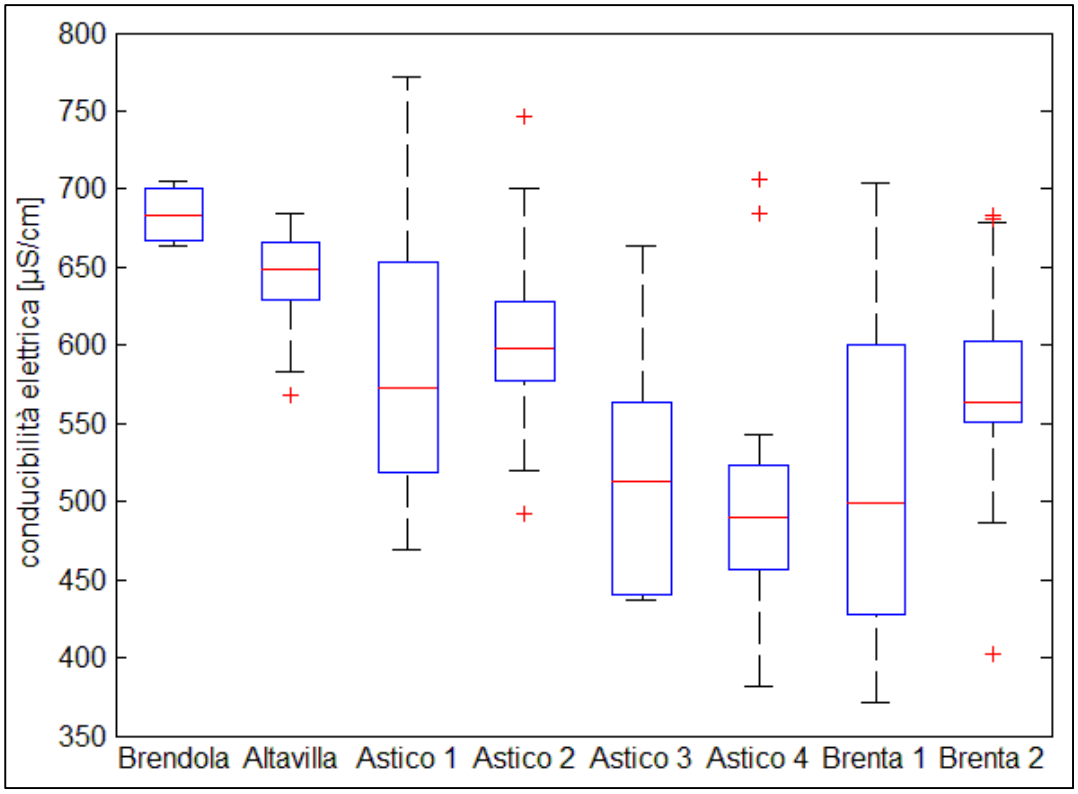


Figura 26: box-plot relativo ai dati raccolti sula conducibilità elettrica nelle varie aree

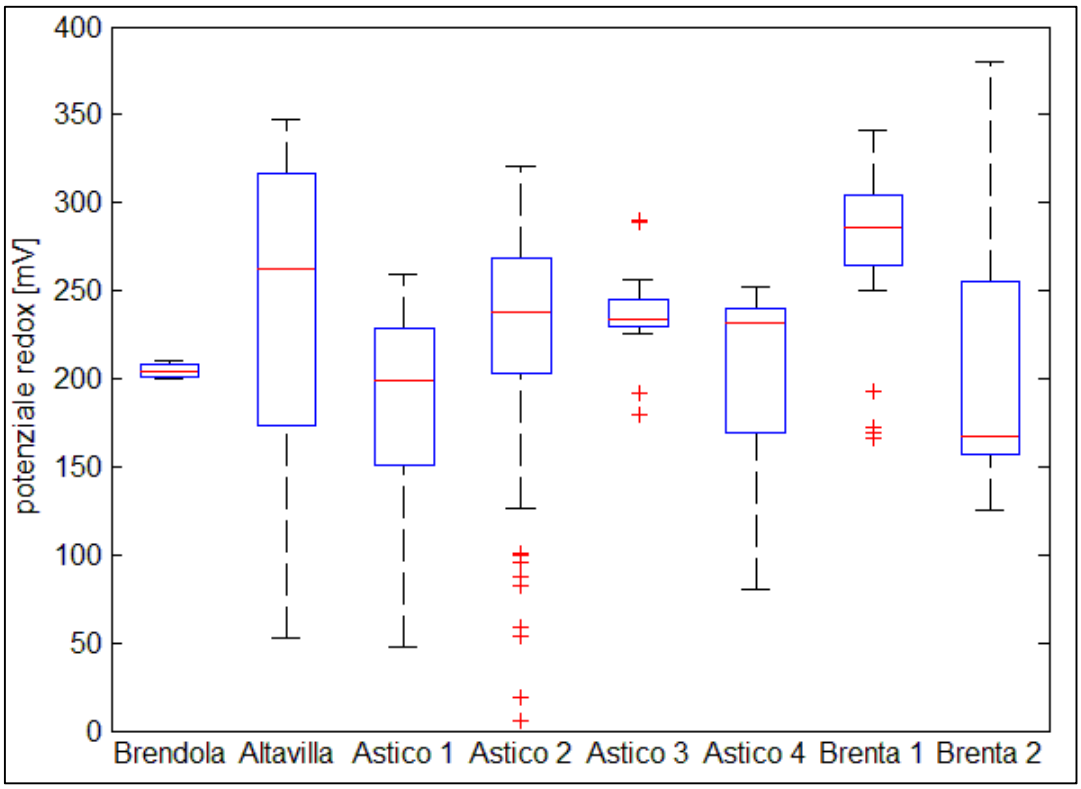


Figura 27: box-plot relativo ai dati raccolti sul potenziale redox nelle varie aree

L'analisi di questi grafici permette di evidenziare alcune tendenze.

Si può vedere come nei grafici relativi ai valori del pH, dell'ossigeno disciolto e della conducibilità elettrica le risorgive delle area di Altavilla e Brendola abbiano un comportamento sostanzialmente diverso rispetto a quelle degli altri gruppi delle zone Astico e Brenta. Tuttavia se questa affermazione è assolutamente vera per i gruppi dell'area Brenta e per i gruppi Astico 2, Astico 3 e Astico 4, soprattutto nei valori dell'ossigeno disciolto e del pH, nel gruppo Astico 1 le differenze con i gruppi delle risorgive di Brendola ed Altavilla sono molto meno evidenti. Tale somiglianza può essere dovuta all'influenza del bacino idrologico del Monti Lessini.

I valori del potenziale invece sembrano essere più uniformi e non evidenziare particolari tendenze in questa tipologia d'analisi.

A seguire l'analisi è stata limitata ai dati raccolti presso le risorgive site a nord di Vicenza[3], escludendo quindi quelle di Brendola ed Altavilla – Creazzo.

Osservando la distribuzione spaziale dei dati raccolti (Figura 28), si può vedere come ci siano due aree dove il parametro mostri valori più alti (compresi tra 600 e 800 µS/cm). In particolare lungo la direttrice N-S Bressanvido-Bolzano Vicentino, nella zona di confine tra Caldogno e Dueville presso il torrente Timonchio e nella zona agricola tra Caldogno e Costabissara. Nella

[3] Presso le quali è stato possibile approfondire maggiormente il quadro conoscitivo

fascia centrale (comune di Dueville) si riscontrano i valori più bassi compresi tra 400 e 500 µS/cm.

La conducibilità elettrica dell'acqua è condizionata dal suo contenuto di sali, e la distribuzione ottenuta potrebbe indicare in arricchimento dovuto alle attività agricole ed industriali di queste aree, mentre nella fascia centrale, dove si ha un urbanizzazione maggiore i valori tendono ad essere inferiori.

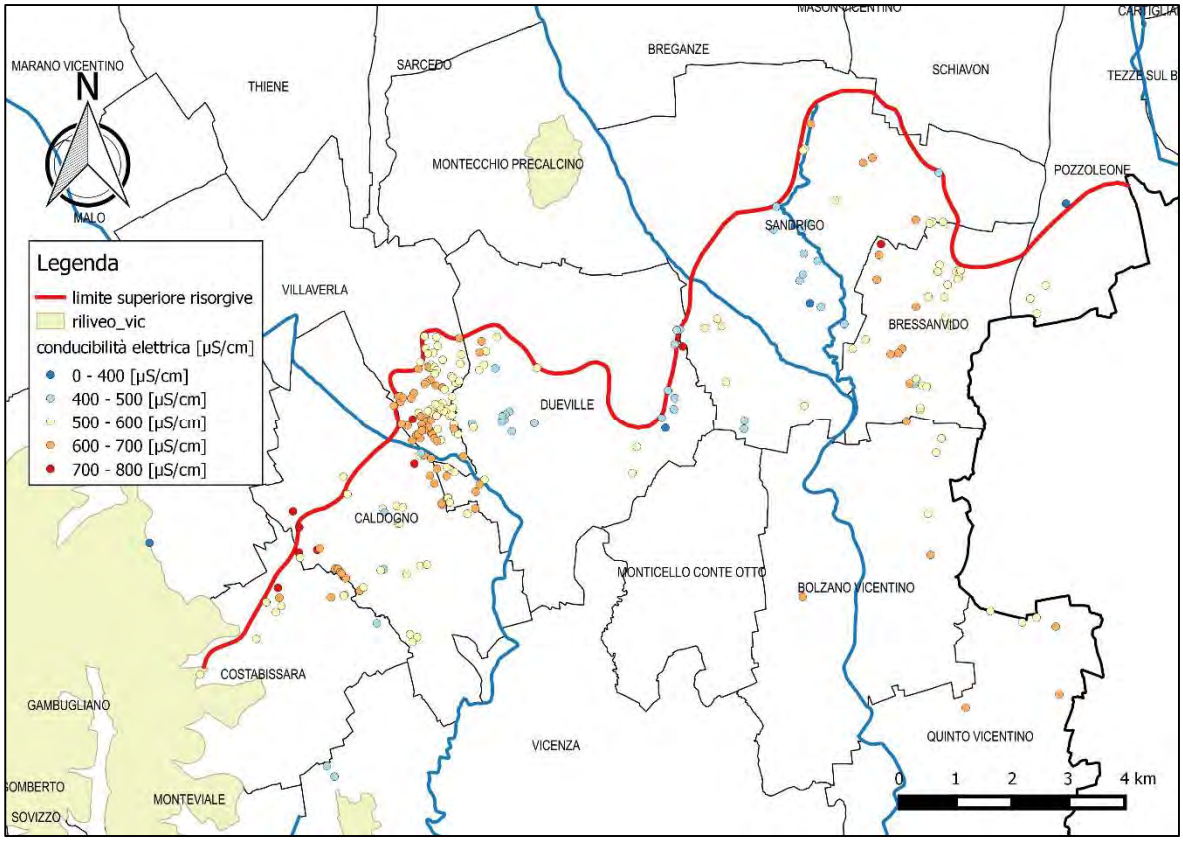


Figura 28: distribuzione conducibilità

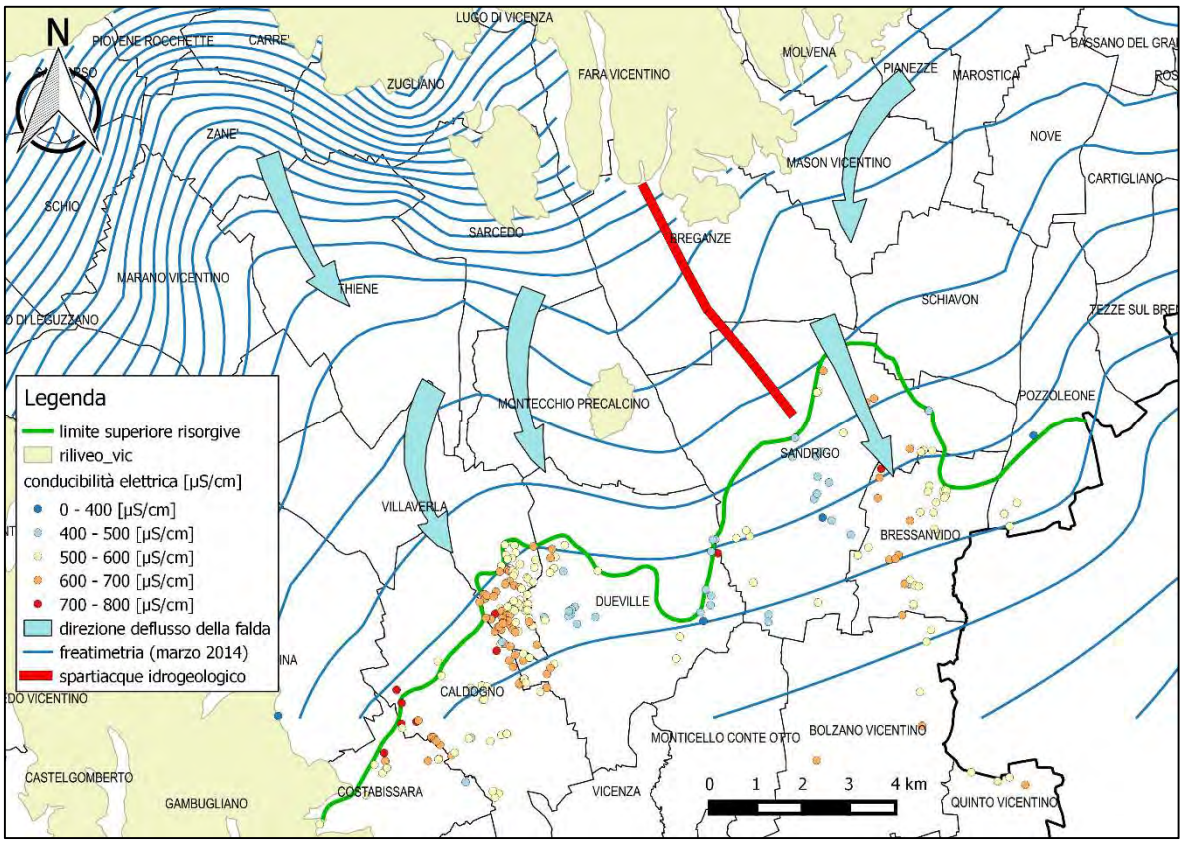


Figura 29: conducibilità, livello di falda e assi drenaggio forniti da Dal Prà, 1980

Osservando la Figura 29 si può inoltre osservare come le zone dove la conducibilità elettrica è più elevata siano allineate lungo le direzioni di deflusso ricavate dalla carta delle isofreatiche (Dal Prà, 1980). Sempre nella figura di cui sopra è evidenziato lo spartiacque dinamico che segue un asse NO-SE tra i comuni di Breganze e Sandrigo. Tale spartiacque separa i deflussi profondi del settore occidentale, anche detto sub-bacino Astico da quelli del settore orientale, chiamato anche sub-bacino Brenta (Sottani, 1982). La diversità di valori nella conducibilità elettrica tra le risorgive che si trovano alla destra ed alla sinistra dello spartiacque nel comune di Sandrigo mostra come i deflussi siano effettivamente indipendenti tra i due sottobacini.

È possibile inoltre confrontare i valori della conducibilità presso 153 risorgive con i valori del censimento del 2005 (Modena e Zangheri, 2005): da tale confronto risulta come la conducibilità elettrica media sia aumentata in 9 anni del 12% circa, passando da un valore medio di 510 µS/cm nel 2005 ad un valore per la popolazione in oggetto di 580 µS/cm. La distribuzione spaziale è rimasta pressoché immutata; in particolare sono rimaste immutate la risorgiva dove si è registrato il valore massimo della conducibilità (risorgiva 309 sita nel comune di Caldogno con una conducibilità pari a 747 µS/cm) ed il minimo (risorgiva 13 sita in comune di Pozzoleone, conducibilità rilevata pari a 267 µS/cm).

In Figura 30 è raffigurata la distribuzione spaziale del valore del pH. Si può notare come le acque più acide siano state rilevate nella zona a ovest del torrente Timonchio, che corrisponde circa all'area che precedentemente era stata chiamata Astico 1. Le acque più basiche si trovano invece nella parte est, in quella che era stata definita come area Brenta 2.

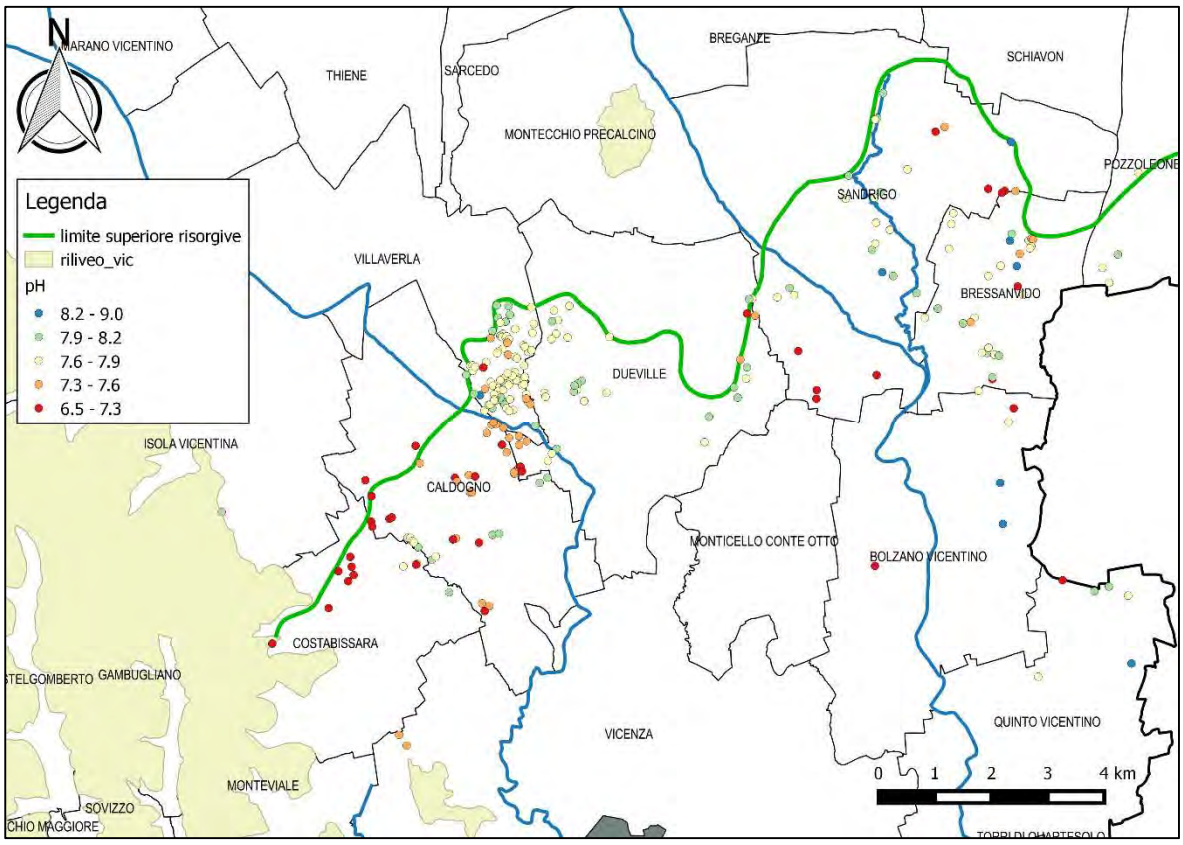


Figura 30: distribuzione spaziale del valore del pH per le risorgive censite

In Figura 31 si può osservare la distribuzione spaziale del potenziale di ossidoriduzione. La tendenza generale del parametro è quella di mostrare i valori più alti in prossimità del limite superiore delle risorgive e di diminuire scendendo verso sud.

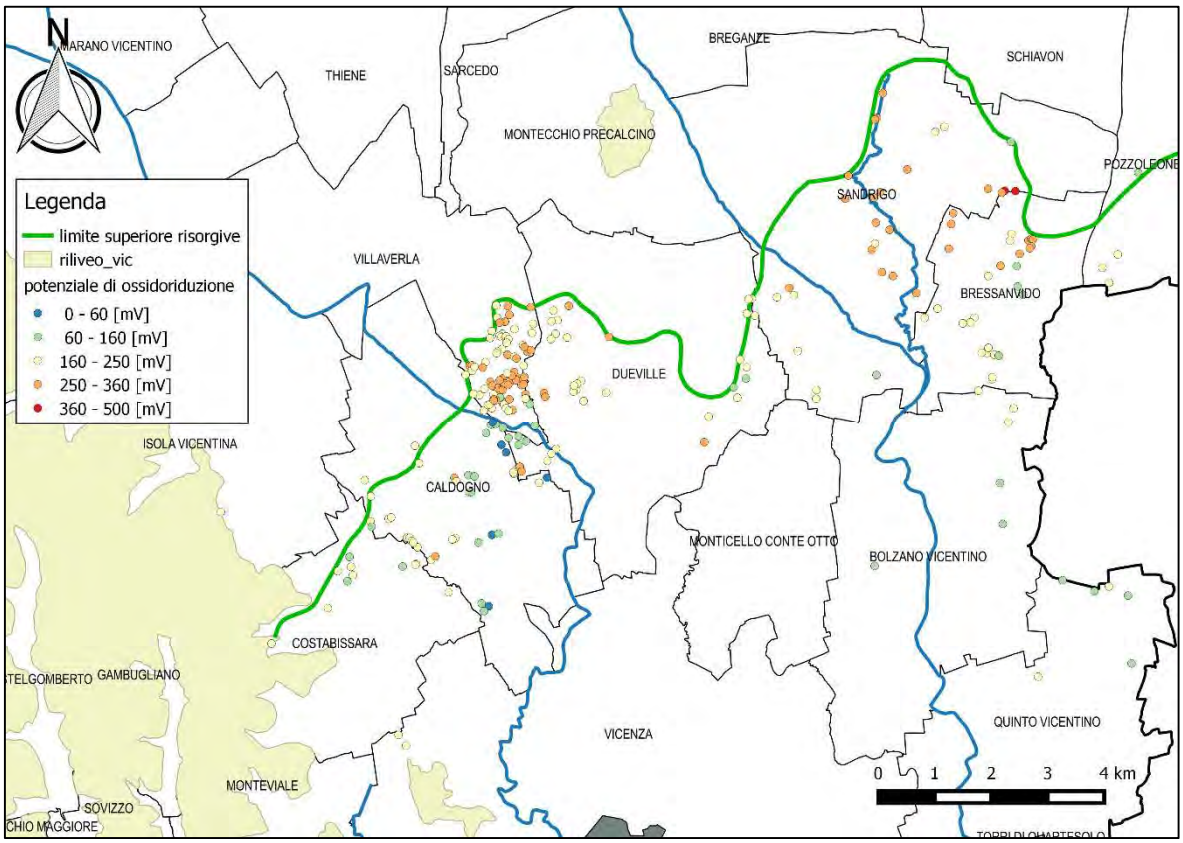


Figura 31: distribuzione spaziale del valore del pH per le risorgive censite

2.2.3 IFR e stato dell'ambiente

L'indice IFR delle risorgive visitate è stato realizzato seguendo le modalità operative indicate paragrafo 2.1.3; è stato possibile calcolare l'indice IFR per 279 risorgive.

Per poter classificare in modo semplice le risorgive in base alla qualità ambientale è stata utilizzata una scala di valori con livelli crescenti di qualità, reimpiegando 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

Con questa suddivisione:

- 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%).

Le risorgive in classe pessima sono concentrate lungo il corso del Torrente Timonchio (soprattutto in destra idrografica) ed al confine tra i comuni di Caldogno e Costabissara, mentre le risorgive con classe buona o ottima si trovano nei pressi dell'area del Bosco di Dueville e nel comune di Bressanvido. L'alternanza di situazioni di degrado e di casi con buoni standard di qualità è abbastanza uniforme e diffusa: oltre alla collocazione geografica sui punteggi influiscono quindi fattori di "eterogeneità" quali l'urbanizzazione, la litologia del substrato, ovvero la manutenzione / gestione delle polle da parte dei proprietari.

È stato effettuato un confronto tra i valori dell'indice IFR trovati nel censimento del 2005 su 168 risorgive trovate attive in entrambi i censimenti. Da tale confronto si evince (Tabella 6) come in più della metà delle risorgive ci sia stato un miglioramento delle condizioni di conservazione.

Tabella 6: confronto tra IFR 2005 e 2014.

Variazione	N°	%
Miglioramento	89	53%
Invarianza	29	17%
Peggioramento	50	30%
Totale	*168*	*100%*

Nello specifico i criteri per valutare un miglioramento o peggioramento del punteggio sono stati:

- miglioramento = indice IFR 2014 > indice IFR 2005
- invarianza = indice IFR 2014 differisce di un valore compreso tra +0.5 e -0.5 rispetto al valore 2005.
- peggioramento = indice IFR 2014 < indice IFR 2005

I miglioramenti sono stati dovuti ad alcuni interventi significativi realizzati da vari enti e soggetti, che testimoniano come negli ultimi anni ci sia stata una nuova e proficua attenzione verso la conservazione di questi preziosi ambienti. In particolare sono da segnalare la nascita del

comitato di tutela delle risorgive nel comune di Bressanvido nel 2006, la riqualificazione ambientale effettuata nell'area delle sorgenti di Dueville – Villaverla ed il progetto LIFE+ SOR.BA. 09/NAT/IT000213, finalizzato alla riqualificazione delle sorgenti del fiume di risorgiva Bacchiglione, mediante la riconversione naturalistica del sito utilizzato precedentemente come piscicoltura.

La bontà di questi interventi è confermata dal fatto che la quasi totalità dei miglioramenti registrati è distribuita tra i comuni di Villaverla, Dueville e Bressanvido.

Capitolo 3

Una parte importante nel monitoraggio è stata l'analisi delle portate totali effluenti dal sistema delle risorgive. Va subito precisato che la valutazione quantitativa delle portate che escono dalle risorgive è un operazione complessa, nella quale per raggiungere un'accettabile grado di precisione vanno profusi non pochi sforzi.

Le difficoltà a cui si va in contro sono numerose. Anzitutto i punti da cui le acque affiorano sono molteplici, ed anche nel caso si riesca a rintracciare e raggiungere tutti i capifonte, si deve tenere presente che il fenomeno della risorgenza non interessa solo il punto dove viene fissata l'origine del fontanile. Oltre a questo va detto che fenomeni di risorgenza diffusa sono propri anche della rete di canali che collega le risorgive con la rete irrigua e di bonifica che caratterizza il territorio ed è in connessione con il reticolo idraulico principale, formato dai corsi d'acqua principali.

La misura in campo di tali portate va incontro, oltre che alle difficoltà insite nella conformazione del sistema, anche in difficoltà tecniche di misura. L'esiguità delle portate di molte risorgive fa sì che con l'utilizzo della strumentazione da campo sia difficile attribuire un valore corretto al deflusso. La mancanza di sezioni note e quotate dove rilevare le velocità poi, fa sì che le operazioni siano sempre molto complesse e complesse, e dagli esiti in qualche caso incerti.

Per tutti questi fattori, il monitoraggio delle portate in questo censimento si è svolto su tre fasi distinte e complementari.

Durante la fase di censimento si è provveduto a rilevare la portata uscente presso ogni risorgiva, in modo da aver una valutazione preliminare sul totale della portata uscente dal sistema risorgiva.

Una volta terminato il censimento si sono scelte 51 risorgive significative, di facile accesso e dove la misura della portata risultasse agevole, sulle quali effettuare un rilevamento settimanale del valore della portata.

Oltre a queste 51, su tre ulteriori risorgive si è provveduto ad installare una stazione di misura automatizzata per il rilevamento continuativo delle portate uscenti.

3.1 Valutazione preliminare delle portate

Le risorgive rappresentano un importante elemento idrogeologico, anche dal punto di vista quantitativo: esse infatti possono essere considerate come il troppo pieno del sistema idrico sotterraneo che si sviluppa a monte.

Il regime delle portate è strettamente connesso con il livello / portata dell'acquifero freatico: per questo legame esse fungono da indicatore della potenzialità idrogeologica complessiva.
Il sistema delle risorgive contribuisce in maniera sostanziale alla formazione del fitto reticolo idrologico che caratterizza la zona a nord di Vicenza: sono moltissime le rogge che vengono alimentate dalle acque provenienti dalle risorgive, ed anche alcuni tra i corsi d'acqua più importanti, come il Bacchiglione, traggono la loro origine da acqua di risorgiva.
Questa prima fase di valutazione complessiva delle portate si è svolta in concomitanza con il censimento generale, dove oltre alle misurazioni di cui si è parlato nei capitoli precedenti, si è provveduto per ognuna delle polle trovate in attività a rilevare la portata di deflusso superficiale.

La misurazione è stata effettuata per ogni risorgiva a valle del capofonte lungo la sua asta, e per la misurazione si è utilizzato un correntometro doppler.
Lo strumento utilizzato (Figura 33) nello specifico è stato un misuratore di velocità dell'acqua basato su tecnologia ADC (*Acoustic Digital Current meter*). Lo strumento è composto da due trasduttori che emettono ultrasuoni con frequenza 6 MHz. Ogni trasduttore è in grado di rilevare la velocità di una micro-particella in sospensione nel fluido collocata a 10 – 15 cm di fronte a lui: essi infatti sono in grado di rilevare la velocità dei corpi sospesi analizzando la riflessione che il segnale ad ultrasuoni subisce rimbalzando su questi tramite l'effetto doppler.

Figura 32: operazioni di rilevamento della velocità tramite l'utilizzo di correntometro doppler

Tali misurazioni hanno presentato però alcune criticità. Innanzitutto non è sempre stato agevole rintracciare lungo l'asta della risorgiva una sezione il più possibile regolare e il cui l'efflusso dell'acqua non fosse in qualche modo ostacolato o turbato da vegetazione e detriti di varia natura. L'estrema variabilità nella morfologia dell'alveo e l'assenza di sezioni quotate sono stati ulteriori fattori di errore nella misurazione.

Figura 33: correntometro ADC (da ott.com)

L'utilizzo di uno strumento di misurazione basato sulla tecnologia laser – doppler (Figura 32) ha permesso di rilevare con relativa facilità e buona precisione le velocità, cosa che sarebbe risultata assai più difficile se si fossero utilizzate strumentazioni più semplici, come ad esempio quelli che utilizzano un mulinello. Tuttavia le basse portate e le basse velocità che caratterizzano alcune risorgive hanno fatto sì che la strumentazione abbia dovuto operare in situazioni molto vicine al suo limite di sensibilità.

Per limitare al massimo l'errore in questa fase, per le risorgive che presentavano le maggiori criticità, sono state effettuate più misure della portata, in modo da facilitare la convergenza verso il valore esatto.

Questa prima fase ha permesso di stimare un valore della portata effluente per le risorgive a nord di Vicenza pari a 6.7 m^3/s.

Sul valore stimato sono doverose alcune considerazioni. Innanzitutto tale valore è da ritenersi indicativo in quanto la misurazione delle portate per ogni capofonte è stata completata in una arco temporale di circa due mesi (da ottobre 2014 a dicembre 2014); per cui il valore non può ritenersi come istantaneo in riferimento alla variabilità delle condizioni di regime entro il serbatoio freatico.

Il valore stimato è stato confrontato con i dati rilevati in censimenti precedenti, in modo da poter trarre alcune considerazioni sull'effettiva salute quantitativa del sistema falda-risorgive.

Si segnala che gli studi pregressi differiscono in quanto a metodo di misurazione adottato: alcuni censimenti hanno stimato la portata affluente dalle risorgive tramite misure di portata eseguite

lungo i corsi d'acqua originati dalle stesse mentre altri hanno considerato misurazioni al singolo capifonte, similmente a quanto svolto nell'ambito del presente studio.
Di seguito vengono elencati i valori di portata stimati dai singoli studi riportati in bibliografia, unitamente a specifiche sul metodo di misurazione ed al periodo temporale cui riferire i valori.

- 12.66 m^3/s, portata estiva anni '60, misura effettuata ai capifonte (Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta, 1997)
- 6.93 m^3/s portata autunno-inverno 1975, misurata in sezioni dei corsi d'acqua originati da risorgive (Dal Pra' A., Antonelli R., 1980),
- 5.80 m^3/s portata misurata da febbraio ed aprile 1986 con misura presso i capifonte (Cons. di Bonifica Pedemontano Brenta, 1994),
- 3.55 m^3/s portata estiva 1997 misurata ai capifonte (Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta, 1997),
- 2.65 m^3/s portata estiva 1998 misurata ai capifonte (Romanello, 1999),
- 9.82 m^3/s settembre 2001, misura effettuata nei corsi d'acqua originati da risorgive (Perin, 2002),
- 6.37 m^3/s marzo 2002, misura in sezioni dei corsi d'acqua originati da risorgive (Perin, 2002),
- 2.06 m^3/s agosto 2008 misura ai capifonte (Pallaro R., 1999).

In aderenza alle tendenze di depauperamento che hanno portato all'avvio del progetto AQUOR è possibile osservare come dagli anni '60 in poi la portata risulti in complessiva diminuzione.
Il valore di 6.7 m^3/s osservato nel presente studio risulta più elevato di quelli registrati negli ultimi censimenti, specialmente se rapportato a quelli dove la portata è stata rilevata nelle singole risorgive.
Tale differenza, anche molto marcata se ad esempio si considera il censimento del 1998 dove la portata misurata era di 2.65 m^3/s, fornisce informazioni molto significative sull'attuale stato della falda e ci permette di trarre alcune importanti conclusioni.
Innanzi tutto va specificato che il numero di risorgive considerato in questo censimento è molto maggiore rispetto a quello considerato in altri censimenti pregressi. Questo maggior numero di fontanili rilevati e censiti ha contribuito ad incrementare il valore della portata misurata.
Il censimento oggetto di questo lavoro è stato condotto come già detto nel periodo tra ottobre e dicembre, ovvero nel periodo tardo autunnale – invernale. Tale periodo dell'anno è in media

caratterizzato da un regime di falda più sostenuto rispetto a quello estivo nel quale gli altri sondaggi hanno avuto luogo.

Va poi evidenziato come le condizioni climatiche del 2014 siano risultate anomale: alcuni eventi pluviometrici di forte intensità hanno provocato un sostenuto aumento del livello della falda freatica in molte zone del Veneto.

L'estate 2014, in aggiunta, è stata caratterizzata da una piovosità ben superiore alle medie del periodo, cosicché in Veneto nel trimestre giugno-agosto sono caduti circa 470 mm di precipitazione, superiore del 70% rispetto al valore medio[4] di 276 mm.

Particolarmente colpita da tali afflussi è stata proprio la zona pedemontana vicentina[5] (Figura 34), che si configura come area di ricarica del sistema.

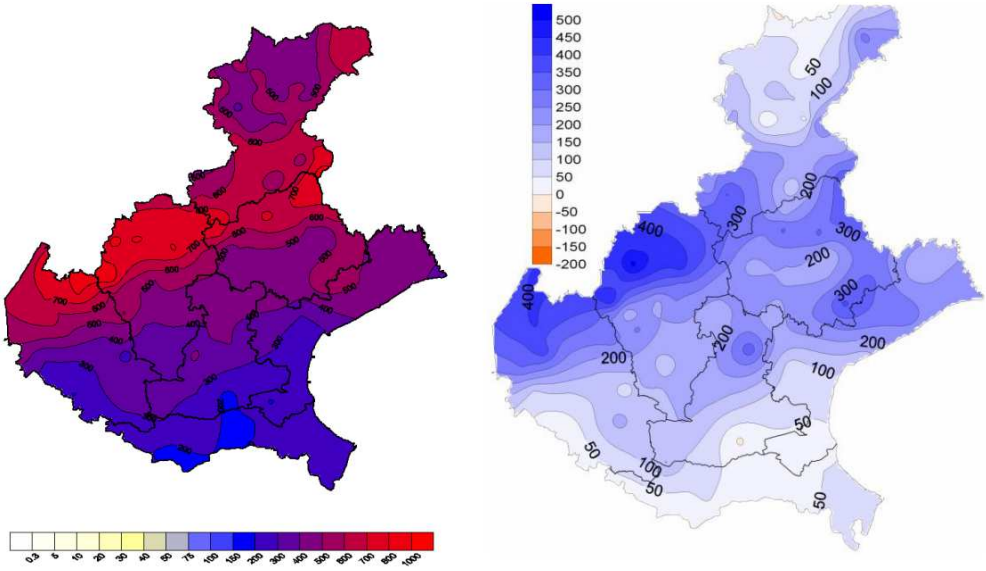


Figura 34: Carta delle precipitazioni (in mm) cadute nell'estate 2014 sul Veneto (sinistra) e differenza (in mm) con la media 1993-2012 delle precipitazioni dell'estate 2014 (destra) (fonte ARPAV).

[4] Riferita al periodo 1993 – 2012

[5] Dati forniti da ARPAV

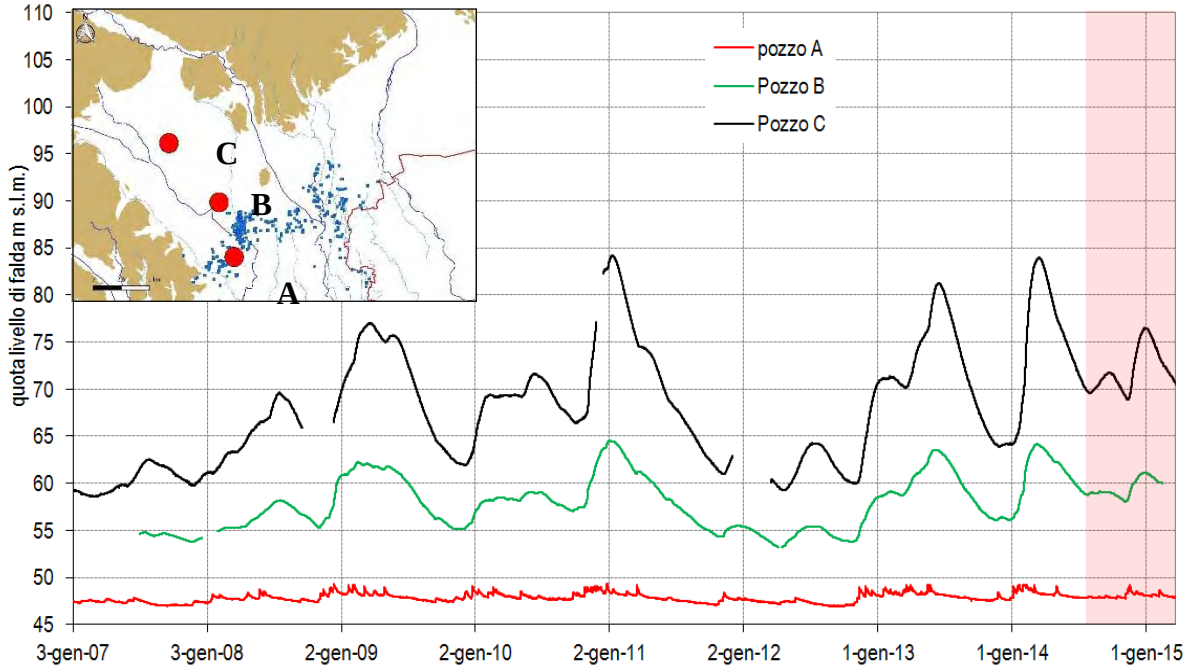


Figura 35: Regime di falda presso alcuni piezometri posti nei pressi delle risorgive e arco temporale di misura e censimento delle risorgive (indicate con regione colorata nel grafico (fonte Sinergeo)

In Figura 35 sono riportati gli andamenti della falda registrati presso tre pozzi piezometrici situati nell'alta pianura vicentina. Si può vedere come nel periodo nel quale si è effettuato il censimento (evidenziato in rosso nel grafico) i livelli freatici siano risultati in media più elevati.

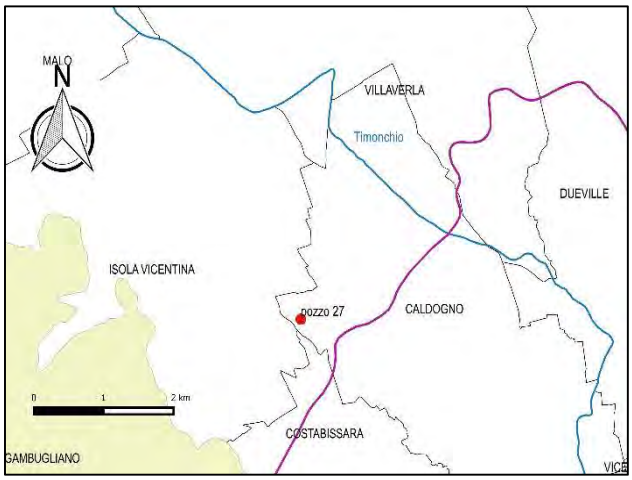


Figura 36: posizione del pozzo 27

I dati rappresentati in Figura 35 coprono un periodo temporale fino al 2006. Tale intervallo è sufficiente a mostrare come il censimento del 2014 sia stata condotto in un periodo nel quale la falda aveva un livello particolarmente sostenuto, ma risulta un arco temporale troppo breve per confrontare la situazione della falda con quella presente al momento degli altri censimenti citati. A tale proposito si sono utilizzati i dati piezometrici di un pozzo (chiamato pozzo 27) il cui andamento è monitorato sin dagli anni '70 dal C.I.N. (Centro Idrico Novoledo). (Figura 36) Dall'analisi di questi dati si possono trarre alcune interessanti constatazioni sulla condizione del sistema risorgive, e più in generale sulla potenza attuale dell'acquifero.

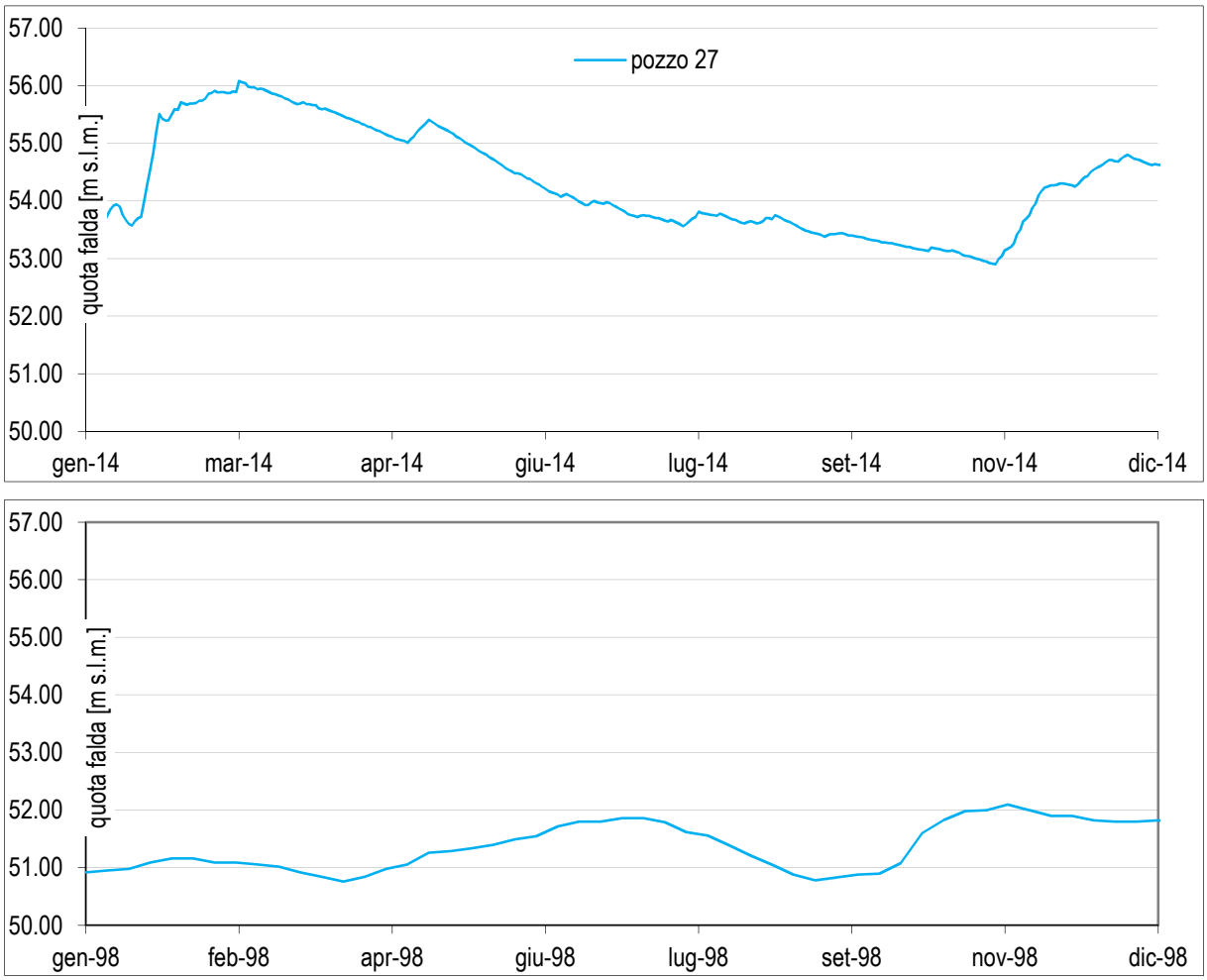


Figura 37: confronto tra livello del pozzo nel 2014 e nel 1998.

In Figura 37 sono riportati i grafici dell'andamento sull'anno del pozzo 27 nell'anno 2014 e nell'anno 1998. Risulta subito evidente come il livello di falda tra il 2014 e il 1998 sia notevolmente aumentato. Infatti il valore minimo registrato nel 2014, ovvero circa 53 m s.l.m. risulta superiore al valore massimo registrato nel 1998 che è stato di poco superiore ai 52 m s.l.m.; non risulta quindi difficile giustificare la diversità dei valori trovati.

Analizzando i valori registrati dal pozzo 27 nella sua intera serie storica, è possibile evidenziare alcune tendenze molto significative. In Figura 38 è possibile osservare l'andamento della falda presso il pozzo 27 su tutta la serie storica disponibile, ovvero dal 1970 al febbraio 2015.

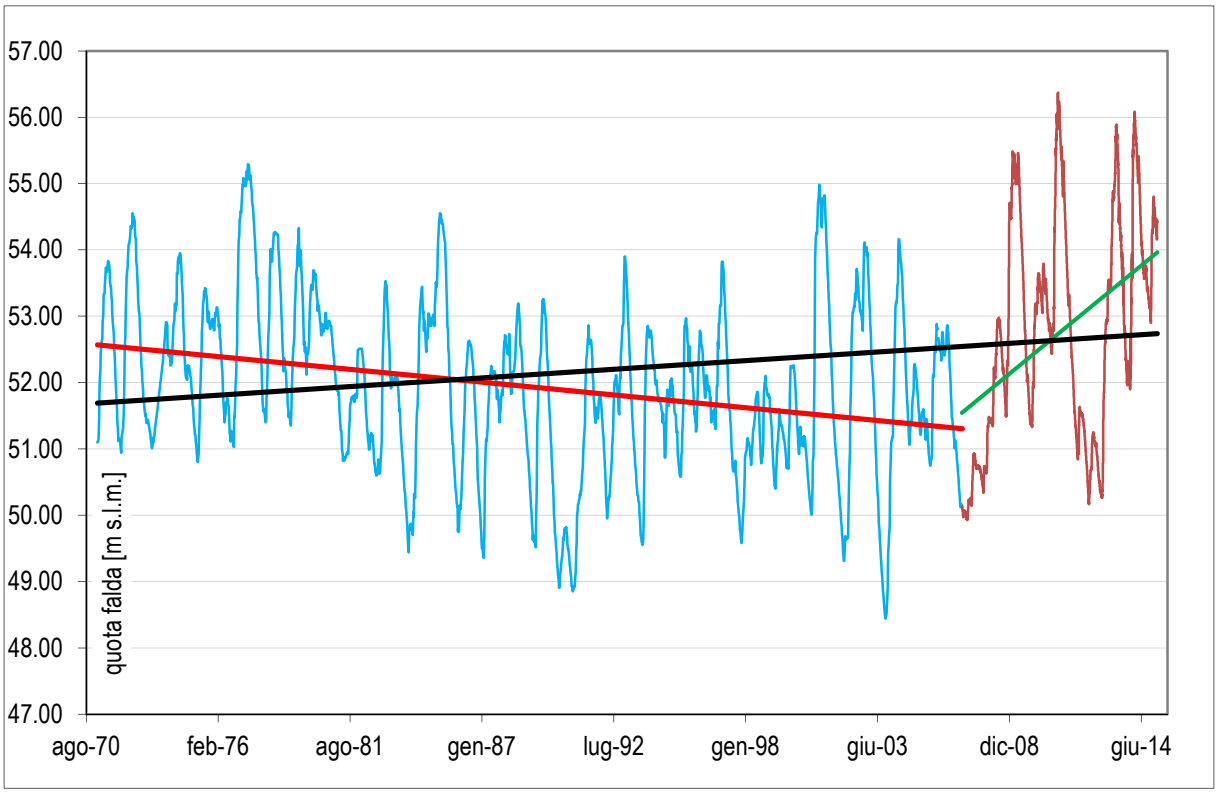


Figura 38: rilevazione dell'andamento della falda presso il pozzo dal 1970 ad oggi (fonte C.I.N.)

Risulta evidente come a partite dal 1970 fino al 2006 (curva blu) il livello medio della falda risulta in costante diminuzione, infatti la relativa linea di tendenza (retta rossa nel grafico di equazione y = -1E-04x + 55.076) ha coefficiente angolare negativo.

Dal 2006 (curva rossa) mostra invece una tendenza decisa all'aumento. Se infatti si analizza la linea di tendenza relativa al solo periodo 2006 – 2015 (retta verde nel grafico e di equazione y = 0.0008x + 19.623) sì ha un coefficiente angolare positivo.

Se si analizza la serie nel complesso (retta di tendenza nera di equazione y = 7E-05x + 49.995) si vede addirittura come il livello nel pozzo sia considerabile come in aumento.

Dalla Figura 38 si può vedere come il livello massimo assoluto sia stato raggiunto nel 2010 con un valore di poco superiore ai 56 m s.l.m.: nello specifico tale valore è stato raggiunto nei mesi successivi all'alluvione dell'ottobre 2010.

Si può quindi affermare che negli ultimi anni il trend piezomentrico appare in controtendenza rispetto alla diminuzione di livello che ha caratterizzato l'acquifero in questione sin dagli anni '70. Tuttavia i dati raccolti non riescono a chiarire se questa sia una tendenza consolidata, oppure siamo di fronte solo ad un fenomeno temporaneo, dovuto a particolari condizioni.

Riesaminando ora la suddivisione in sottobacini illustrato nel paragrafo 2.2.2, si può analizzare quale contributo dà il singolo bacino in termini di portate.
I 6.7 m^3/s sono ripartiti come indicato in Figura 39.

Tabella 7: distribuzione percentuale delle portate tra le aree

Area	Portata [m^3/s]	Percentuale [%]
Astico 1	1.29	19.5
Astico 2	2.13	32.1
Astico 3	0.13	1.9
Astico 4	0.43	6.5
Brenta 1	1.19	18.0
Brenta 2	1.46	22.0
Totale	6.63	100

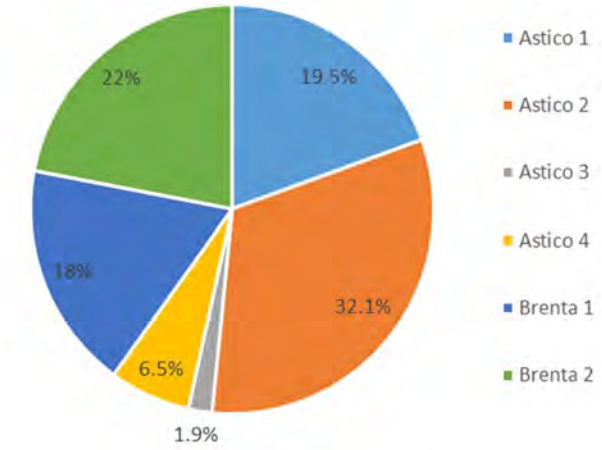


Figura 39: suddivisione delle portate in sottobacini

Le risorgive site nell'area chiamata Astico 2 risultano essere quelle che forniscono un contributo maggiore alla portata totale uscente dal sistema (32% del totale). Tale area corrisponde a quella del parco delle risorgive nel comune di Villaverla, ed è anche la zona che conta il maggior numero di risorgive in attività.
Le risorgive appartenenti all'area Brenta 1 e Brenta 2 contribuiscono al totale della portata per il 40%, mentre l'area che risulta meno importante sotto gli aspetti del deflusso è l'area Astico 3, con solo 1.9%, nonostante abbia lo stesso numero di risorgive in attività dell'area Astico 4.
In conclusione si è registrata come uscente dall'area Astico una portata di 3.98 m^3/s, mentre dall'area Brenta una portata di 2.65 m^3/s.

In alcuni studi (Sottani, 1982 e Rinaldo, 2008) è stata proposta una correlazione tra il livello nel pozzo 27 e la portata uscente dalle risorgive nel sub-bacino dell'Astico. È stata calcolata un'equazione di correlazione (Sottani, 1982), che per i dati disponibili allora ha fornito:

$$Q_{out} = 3.019\left(H_{pozzo\ 27} - 51.65\right)$$

Nel periodo tra ottobre e dicembre 2014 il livello medio sul periodo al pozzo 27 è stato di 53.83 m s.l.m. dal quale è risultato possibile calcolare un valore di portata stimata pari a 6.5 m^3/s.

Il valore ricavato da questa retta interpolatrice risulta essere sovrastimato rispetto a quello misurato durante il censimento, che infatti è per l'area Astico di 3.98 m^3/s.
Tale differenza è parzialmente giustificabile con la considerazione che i valori con cui la retta interpolatrice è stata ricavata furono misurati su sezioni della rete di canalizzazione e non ai capifonte delle singole polle; tale metodologia permise di tenere in conto anche gli importanti fenomeni di risorgenza che avvengono in modo diffuso lungo tutta la rete, ma risulta meno significativa nel caso si vogliano studiare le condizioni dei singoli fontanili, come nel presente studio.
Negli studi citati era presente anche una curva di interpolazione delle risorgive afferenti al sub-bacino Brenta. Tale curva non è utilizzabile in questo censimento perché più della metà delle risorgive che formano il sistema Brenta si trovano nella provincia di Padova, per cui non sono state considerate in questo censimento.

Nel censimento 2014 sono state rilevate anche le risorgive situate nei comuni di Altavilla Vicentina, Brendola e Creazzo. Tali emergenze si trovano fuori dalla zona considerata nell'analisi dai precedenti censimenti e comunque risultano minori in numero e soggette ad un regime di portate inferiori; infatti per questo settore si è stimata una portata complessiva di risorgiva dell'ordine di 0.5 m^3/s.

In conclusione, con i dati raccolti in questa fase, si può dire che la portata uscente dalle risorgive è diminuita rispetto ai livelli degli anni '60 – primi anni '70, ma tuttavia la tendenza attuale sembra essere in netto miglioramento dopo i picchi negativi raggiunti all'inizio degli anni 2000.

3.2 Monitoraggio delle portate

Il valore di 6.7 m^3/s è come già detto un valore indicativo della potenzialità idrogeologica delle risorgive nel periodo di osservazione. Tale valore va quindi inteso come un indicatore della potenzialità del sistema più che come un effettivo valore di deflusso istantaneo.
Infatti, avendo le misurazioni avuto luogo su di un intervallo di più di due mesi, le condizioni geoidrologiche di riferimento hanno subito variazioni che hanno provocato inevitabili mutamenti nelle portate delle singole risorgive.
Per superare tale problematica si è ritenuto utile selezionare un campione ristretto di risorgive, sulle quali effettuare più misurazioni di portata nell'arco di 9 settimane.

Nello specifico sono state scelte 51 risorgive, in modo tale da avere un campione abbastanza ristretto da permettere di terminare le misurazioni delle rispettive portate in un'unica giornata, ma di essere al contempo rappresentativo dell'intera popolazione analizzata. Le 51 risorgive rappresentano infatti circa il 20% del totale delle risorgive in attività tra perenni e periodiche, per cui rappresentano un campione statistico significativo, e sono state scelte in modo tale da essere ben distribuite sul territorio di analisi (Figura 40).

La portata uscente dalle 51 risorgive registrata durante il censimento era di circa 2.2 m^3/s, cioè il 32% della portata totale stimata.

I valori rilevati sono stati poi messi in relazione con i dati pluviometrici forniti da ARPAV relativi alla stazione pluviometrica di Montecchio Precalcino e con quelli freatimetrici misurati presso un piezometro sito nel comune di Caldogno.

Per maggiore chiarezza i dati sono stati suddivisi in tre differenti grafici, per classi di portata. Nello specifico:

- In Figura 41 per le portate maggiori di 40 l/s,
- In Figura 42 per le portate comprese tra 20 e 40 l/s,
- In Figura 43 per le portate inferiori a 20 l/s.

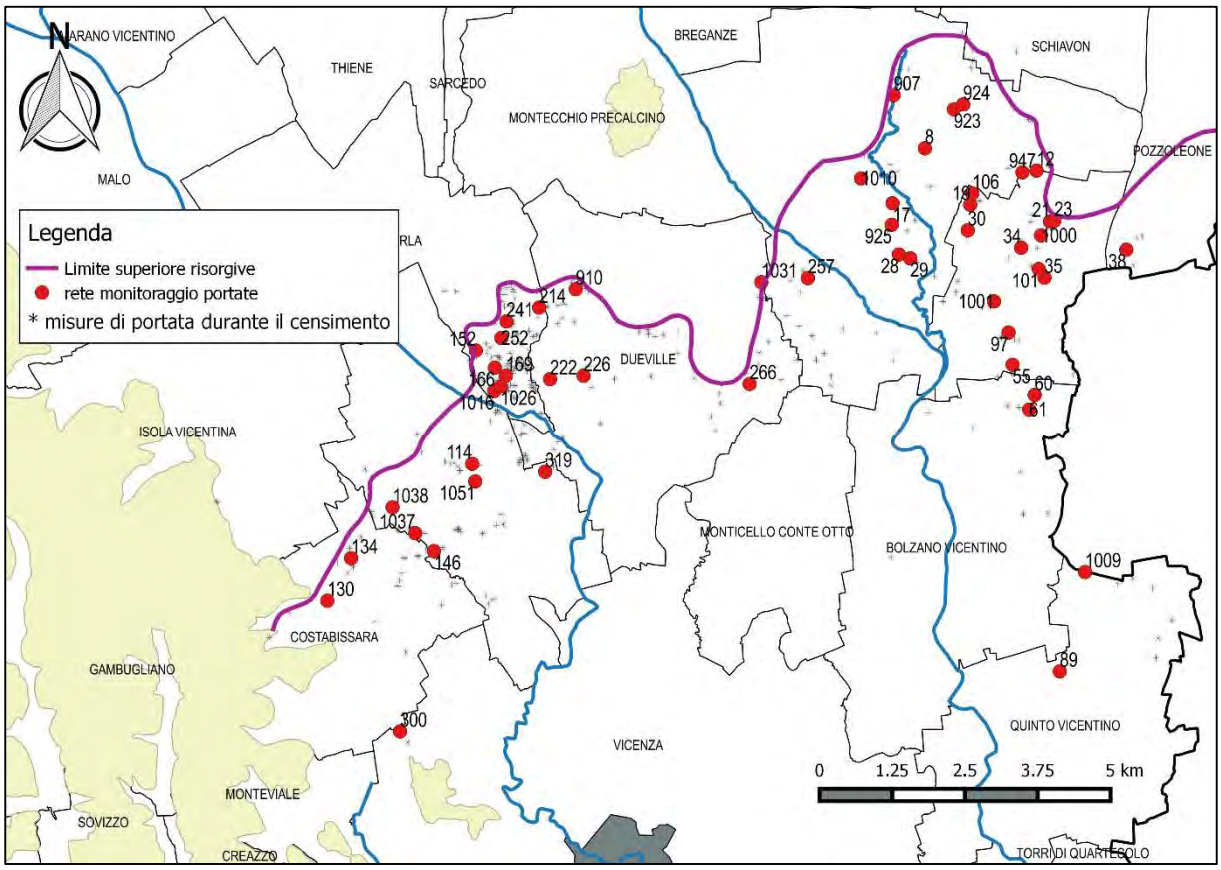


Figura 40: Rete di controllo delle portate di deflusso

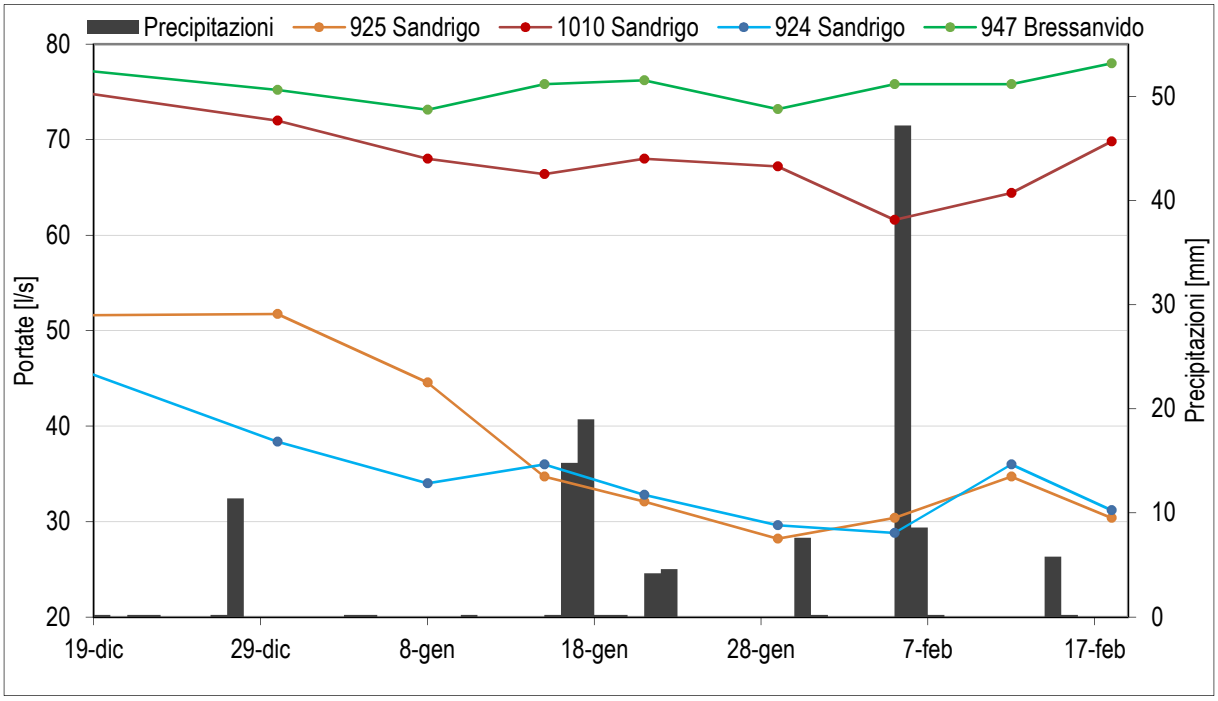


Figura 41: portate di alcune delle risorgive censite-portata maggiore di 40 l/s

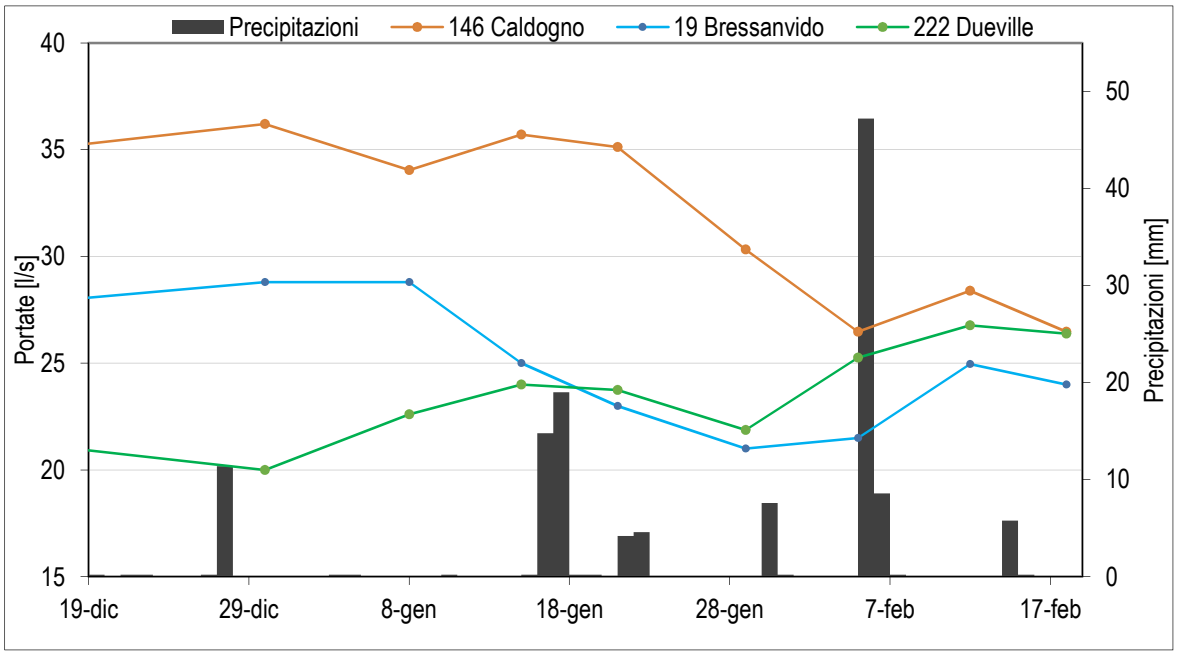


Figura 42: portate di alcune delle risorgive censite-portata compresa tra 20 e 40 l/s

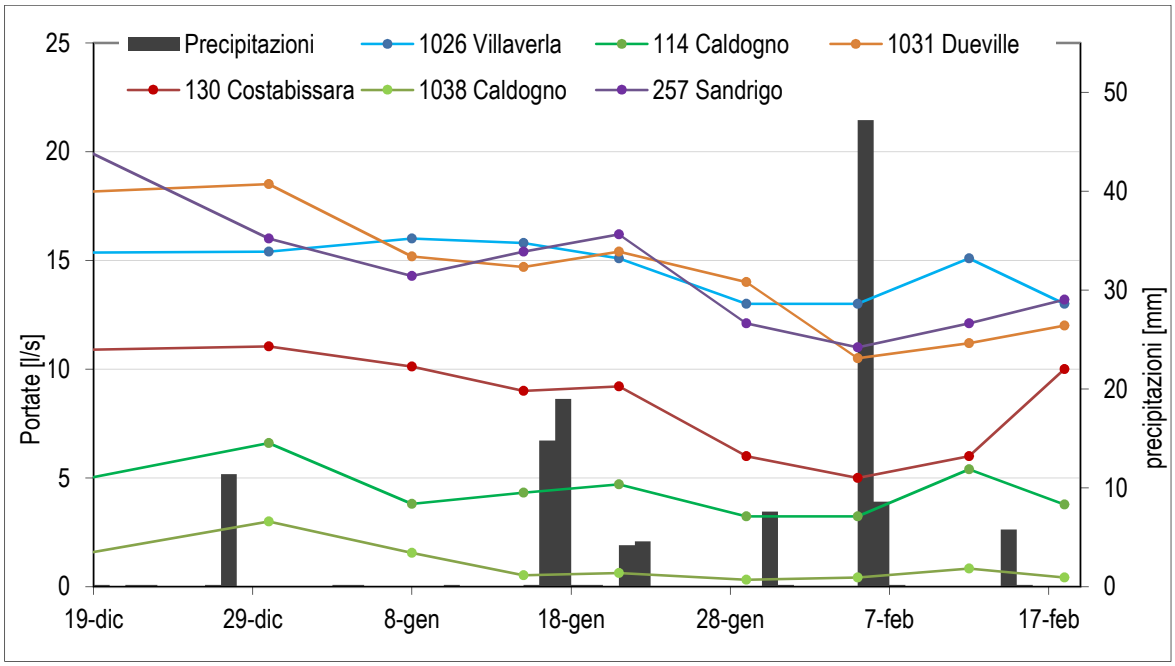


Figura 43: portate di alcune delle risorgive censite-portata minore di 20 l/s

Osservando i grafici è possibile vedere come la portata delle risorgive sia stata in costante diminuzione dall'inizio del monitoraggio fino all'evento di pioggia del 5 febbraio 2015. In corrispondenza di tale evento la stazione di Montecchio Precalcino ha registrato 47.2 mm di pioggia giornaliera, una quantità molto maggiore rispetto agli altri eventi misurati nel periodo considerato, che non hanno mi superato i 15 mm. A seguito di tale evento si è evidenziata un'inversione di tendenza, con le portate uscenti che sono tornate ad aumentare: questa

considerazione è valida per tutte le risorgive monitorate indipendentemente dalla loro grandezza.

Sembra allora corretto affermare che eventi di minore importanza non siano in grado di influenzare significativamente il livello della falda, e di conseguenza quindi non abbiano la capacità di influenzare la portata uscente dalle risorgive.

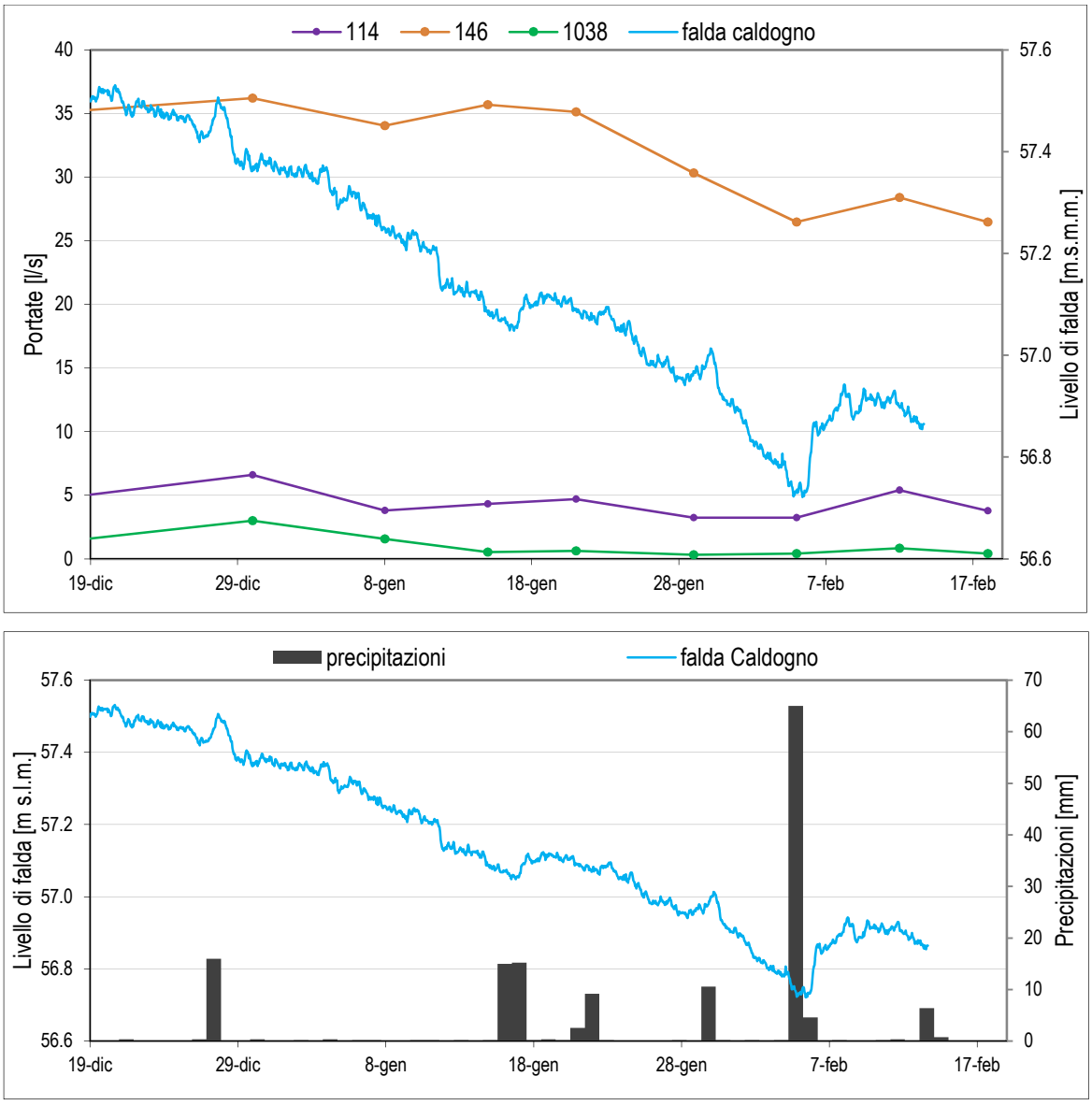


Figura 44: confronto tra risorgive site nel comune di Caldogno e andamenti piezometrici

Per verificare tale affermazione si osservi la Figura 44.

Nello specifico il pozzo è sito nel comune di Caldogno, ed al fine di avere valori più significativi, si è scelto di confrontare il livello di falda con le sole risorgive monitorate nell'area dello stesso comune.
È abbastanza evidente come le portate delle risorgive seguano la tendenza all'abbassamento della falda nel primo periodo del monitoraggio, ovvero fino all'evento del 5 febbraio, con un generale calo delle portate sul periodo. In seguito a questo evento il livello di falda registra però una inversione di tendenza rispetto a quella di diminuzione costante che aveva caratterizzato il periodo precedente. Si nota infatti un netto incremento del livello in corrispondenza del suddetto evento di precipitazione, cosa che non era avvenuta per gli eventi precedenti, che avevano provocato solo piccole oscillazioni di quota piezometrica. Nei rilevamenti successivi si è registrato un incremento della portata effluente dalle risorgive.
La misura settimanale delle portate quindi, ancorché condotta con metodica discreta, ha fornito un'indicazione rappresentativa degli andamenti, correlabile in modo evidente con i trend piezometrici.

Al fine di avere una misurazione ancora più accurata si è provveduto ad installare tre stazioni fisse di misurazione, due formate da idrometri fissi, un altro formato da uno stramazzo appositamente costruito.
Le risorgive sulle quali collocare le stazioni di misura sono state scelte in base a diversi criteri. Innanzi tutto si è cercato di distribuire omogeneamente le risorgive sul dominio di analisi (Figura 45).

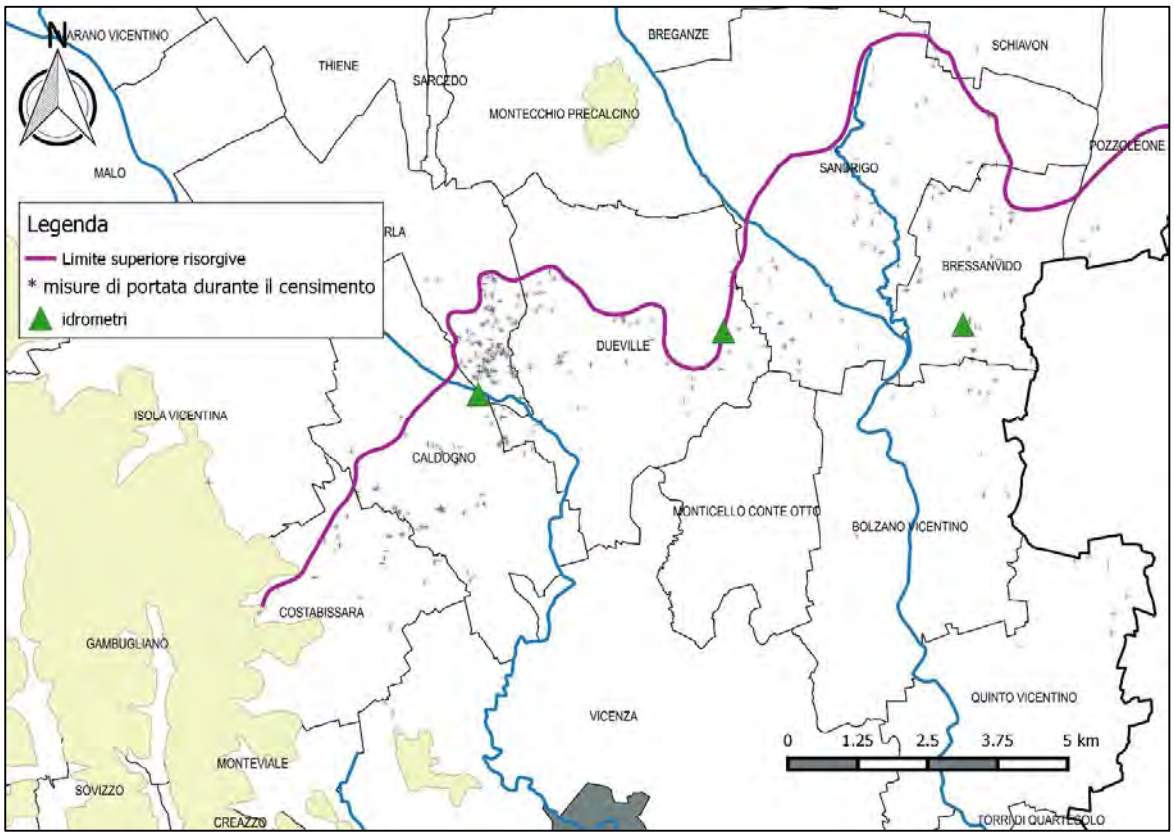


Figura 45: posizione idrometri

Importante per l'accuratezza delle misure poi è stato selezionare quelle risorgive che presentavano, per interventi precedenti, sezioni regolari: in questo modo è stato possibile tarare una curva di correlazione tra livelli-portate.

Sono state però rintracciate solo due risorgive che presentavano queste caratteristiche; si è reso così necessario realizzare presso una risorgiva del comune di Caldogno uno stramazzo fisso.

Nel seguito si andranno ad analizzare nel dettaglio le tre stazioni di misura ed i risultati raccolti.

3.2.1 Stazione di monitoraggio presso la risorgiva n. 53 di Bressanvido

La risorgiva n.53 è stata selezionata per il posizionamento di una stazione di misura fissa in quanta presenta una sezione rettangolare in calcestruzzo, realizzata in seguito a dei lavori di sistemazione: nonostante tale soluzione non sia da considerarsi ideale sotto l'aspetto della conservazione ambientale si è rilevata ottimale per gli scopi dello studio.

La risorgiva si trova nel comune di Bressanvido, all'interno di una proprietà privata, ma di facile accesso. È stato possibile installare la stazione di misurazione in quanto il proprietario del terreno ha accordato il permesso al transito ed all'installazioni delle apparecchiature lungo l'asta della risorgiva.

Essa fa già parte di un percorso turistico pensato dal comune di Bressanvido per valorizzare le risorgive del proprio territorio, ed è conosciuta dalla cittadinanza come una delle risorgive storicamente più importanti della zona.

L'apparecchiatura di misurazione è composta da due datalogger, posizionati all'interno di una gabbia metallica allo scopo di evitare disturbi alle misurazioni dovuti ad eventuali corpi galleggianti o turbolenze superficiali. La gabbia metallica è stata fissata alla parete in calcestruzzo (Figura 46 e Figura 47).

Il datalogger è un registratore di dati elettronico-digitale in grado di catturare dati attraverso un sensore interno. Grazie ad una batteria ed ad un microprocessore e memoria interna è in grado di registrare ed immagazzinare i dati raccolti dal sensore al suo interno, fino al momento in cui un operatore provveda a scaricarli su di un elaboratore.

Nello specifico i datalogger utilizzati sono muniti di trasduttore di pressione, in grado di registrare il valore della pressione agente sopra lo strumento, espressa in mBar. È stato quindi necessario utilizzarne due in quanto uno strumento è stato utilizzato per registrare la pressione atmosferica, mentre l'altro ha registrato la pressione sul fondo al fondo del canale.

Figura 46: gabbia di calma e datalogger.

Lo strumento infatti non è in grado di distinguere la pressione esercitata dal fluido da quella atmosferica. Esso infatti registra solamente la pressione totale che agisce nel punto in cui si trova il sensore. Si ha così che lo strumento al fondo del canale registra la pressione dovuta alla componente idrostatica che agisce sopra di lui, a cui va sommata la pressione atmosferica. La necessità di posizionare anche un barometro nasce dal fatto che in fase di elaborazione dei dati risulterebbe impossibile altrimenti, senza una misurazione accurata della pressione atmosferica, risalire al valore del

tirante d'acqua. In questo modo con una semplice sottrazione è possibile ricavare il valore della pressione dovuta alla colonna d'acqua agente al fondo del canale e da qui il tirante d'acqua.

Figura 47: installazione della strumentazione si misura.

La sensibilità dello strumento utilizzato è di 0.01 mbar, mentre l'errore strumentale è di 0.1% del fondo scala: è stato infatti necessario utilizzare della strumentazione molto precisa, in quanto le variazione del tirante lungo l'asta della risorgiva sono dell'ordine di qualche centimetro e con della strumentazione non sufficientemente sensibile non sarebbe stato possibile cogliere tali escursioni.

La risorgiva presentava però uno scarico poco più a valle di dove è stata installata la stazione di misura. Prima di scegliere tale risorgiva come sede dei rilevamenti si erano ricevute rassicurazioni dal proprietario sul fatto che lo scarico funzionasse con costanza durante tutto il periodo dell'anno. Durante le misurazioni si è però potuto constatare come lo scarico fosse attivo ma con picchi di portata in grado di influenzare il livello della risorgiva. A seguito di alcune indagini condotte sul sito si è scoperto che tale scarico fa parte di una rete irrigua che preleva acqua dal fiume Tergola, che è un fiume che nasce dalle risorgive site in provincia di Padova e non considerate nel censimento oggetto dello studio. L'utilizzo agricolo di tale rete fa sì che le portate uscenti dallo

Figura 48: scarico che immette portata presso la risorgiva 53, a valle della stazione di misura

scarico siano legate al loro sfruttamento, e che subiscano variazioni anche importanti durante i momenti in cui viene richiesto un maggiore apporto d'acqua.

I rilevamenti si sono svolti in un periodo che va dal 19 dicembre 2014 al 24 marzo 2015, periodo in cui la richiesta d'acqua per l'agricoltura non è particolarmente elevata; tuttavia le misurazioni sono state influenzate in modo evidente dalla presenza di questo scarico come è facilmente osservabile nella Figura 49, dove sono riportate le misurazioni registrate dalla stazione di misura nel periodo, confrontate con le precipitazioni registrate a Montecchio Precalcino nel periodo in oggetto.

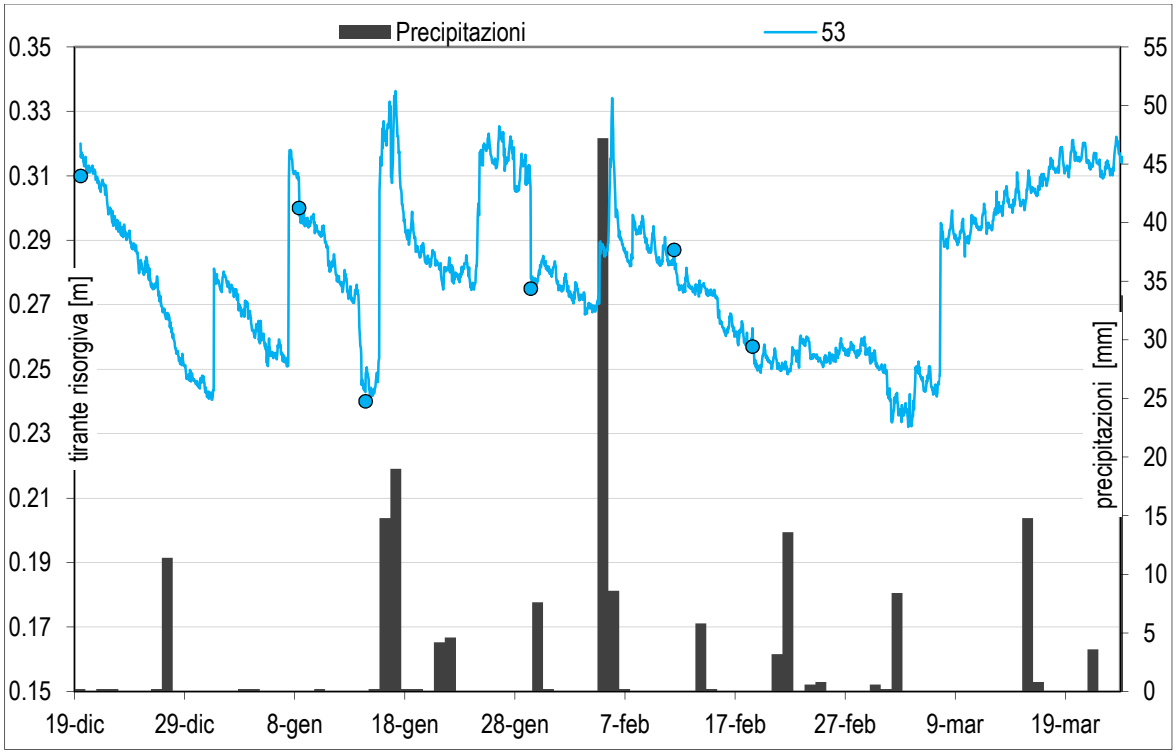


Figura 49: andamento del livello idrometrico della risorgiva 53

Risultano evidenti le rapide escursioni che sono avvenute quando lo scarico ha subito una variazione della portata uscente.

I marcatori puntuali raffigurati in Figura 49 rappresentano i giorni in cui sono stati scaricati i dati dalle sonde: durante tali sopralluoghi si è provveduto ad effettuare delle misurazioni di controllo del tirante per verificare la precisione di misura delle sonde e a rilevare la velocità nella sezione dove è stata collocata la stazione di misura.

In questo modo è stato possibile stimare la portata uscente dalla risorgiva in diverse condizioni idrometriche e da questi valori stimare una scala delle portate propria della risorgiva.

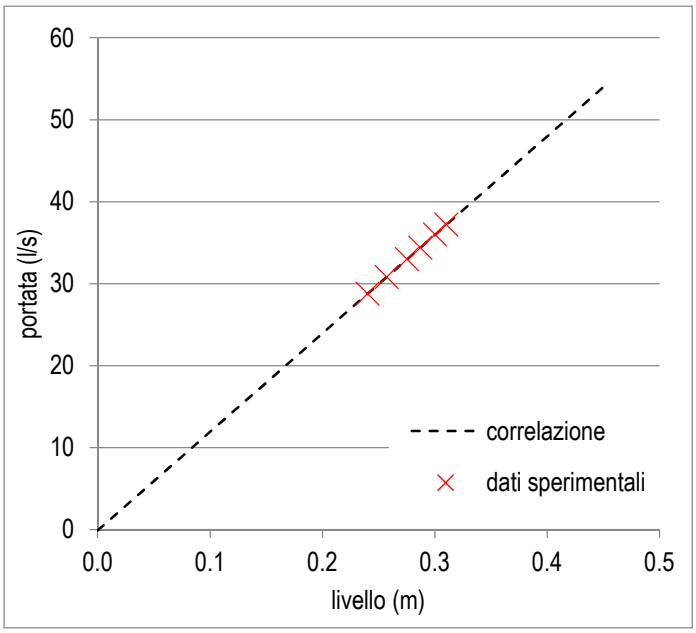


Figura 50: scala delle portate per risorgiva 53

La retta così stimata ha equazione (Figura 50):

$$Q = 120.2h - 0.07$$

Con l'utilizzo di questa retta si è provveduto a ricavare un grafico delle portate nel dominio del tempo per la risorgiva.

Su questa retta vanno fatte però alcune precisazioni. Va detto infatti che la presenza dello scarico ha in qualche modo reso meno precise le misure ottenute, in quanto le differenze idrometriche riscontrate sono state causate più dalla variabilità che l'immissione di portata ha costituito che a differenze dovute all'evoluzione del livello di falda.

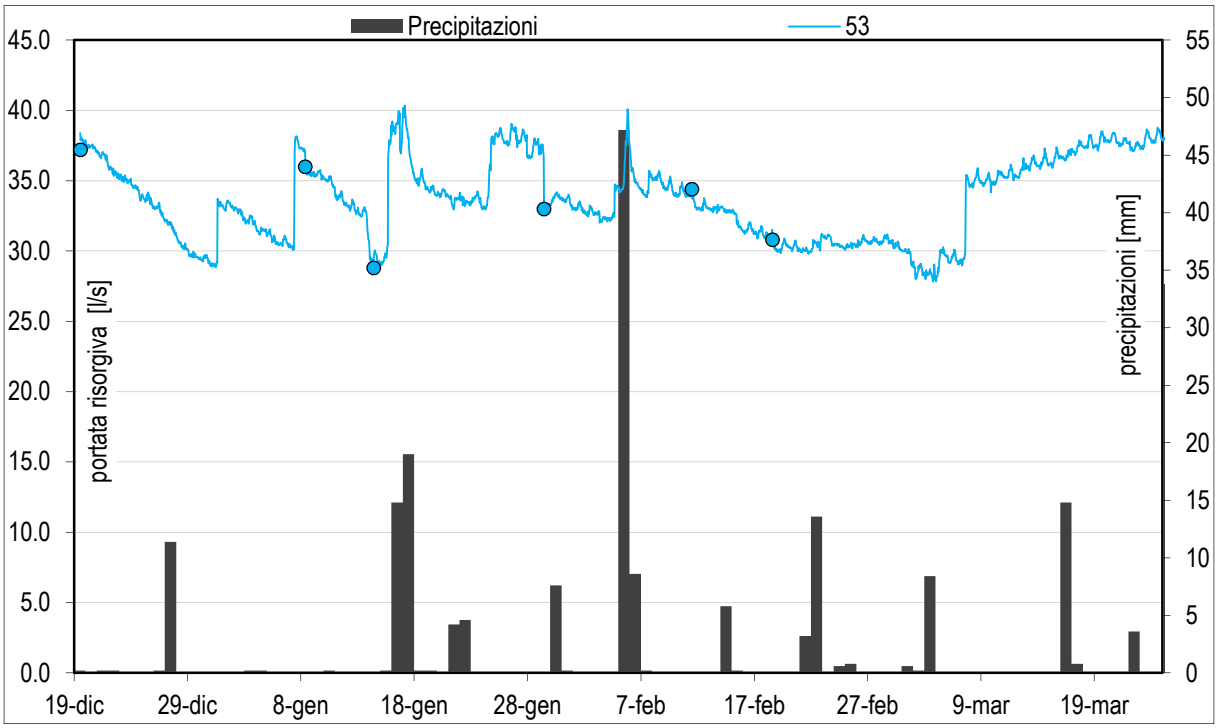


Figura 51: andamento delle portate presso la risorgiva 53

3.2.2 Stazione di monitoraggio presso la risorgiva n. 339 di Dueville

Anche la risorgiva 339, sita nel comune di Dueville, presenta una sezione estremamente regolare in calcestruzzo, e per tale ragione è stata scelta come luogo adatto per l'installazione della seconda stazione di misura.

La risorgiva si trova all'interno del giardino di una villa storica della frazione di Povolaro di Dueville, realizzata nel '600 e conosciuta come villa Carletti. La risorgiva è in attività da moltissimi anni; si narra infatti che i conti veneziani che la fecero costruire e che ne furono i primi residenti, utilizzassero proprio la risorgiva in questione come punto di partenza delle ispezioni ai loro possedimenti agricoli per mezzo di una piccola imbarcazione, utilizzando proprio quel fitto reticolo di canali che caratterizza l'area e i cui la risorgiva fa parte.

Figura 52: stazione di misura presso la risorgiva 339

L'installazione nella risorgiva della stazione di misura è stata possibile in seguito al permesso accordato dal proprietario.

Presso questa risorgiva è stato installato un unico datalogger, in quanto si è ritenuto di utilizzare i dati barometrici rilevati dalla sonda posta presso la risorgiva 53, che vista la relativa vicinanza tra i due siti, è in grado di fornire dati significativi per entrambe le stazioni di misura (Figura 52).

Dalla Figura 53 è possibile osservare l'evoluzione del livello della risorgiva nel periodo di monitoraggio, che va dal 19 dicembre 2014 al 24 marzo 2015.

Il comportamento di questa risorgiva mostra un andamento meglio definito rispetto alla precedente. Si ha infatti che dall'inizio del monitoraggio il livello idrometrico è continuamente sceso, mostrando solamente delle oscillazioni in corrispondenza degli eventi di precipitazione più significativi. Tali eventi non hanno però mai influenzato la tendenza alla diminuzione del livello idrometrico; si sono registrati infatti degli aumenti localizzati nell'escursione del livello in corrispondenza della precipitazione, ma subito dopo il livello è tornato a scendere.

Il tirante misurato il 19 dicembre 2014 alle ore 16:00 era di 0.30 m mentre al 24 marzo 2014 alle ore 14:00 era di 0.25 m, con una diminuzione totale di 0.05 m dall'inizio del monitoraggio.

In Figura 54 è rappresentato l'andamento del livello freatico misurato presso il pozzo A di Caldogno (si veda Figura 35).

Già dalla semplice osservazione di questi grafici è possibile osservare come il livello della falda abbia la stessa tendenza a diminuire nel periodo di rilevamento e abbia picchi improvvisi verso l'alto in corrispondenza degli eventi di precipitazione.

In particolare è possibile osservare come l'evento del 5 febbraio 2015 abbia provocato nel pozzo in questione un innalzamento del livello di ben 60 cm.

Per evidenziare meglio la correlazione che esiste tra il livello della falda e quello della risorgiva in analisi, si è provveduto a realizzare un grafico di dispersione (o *scatter plot*).

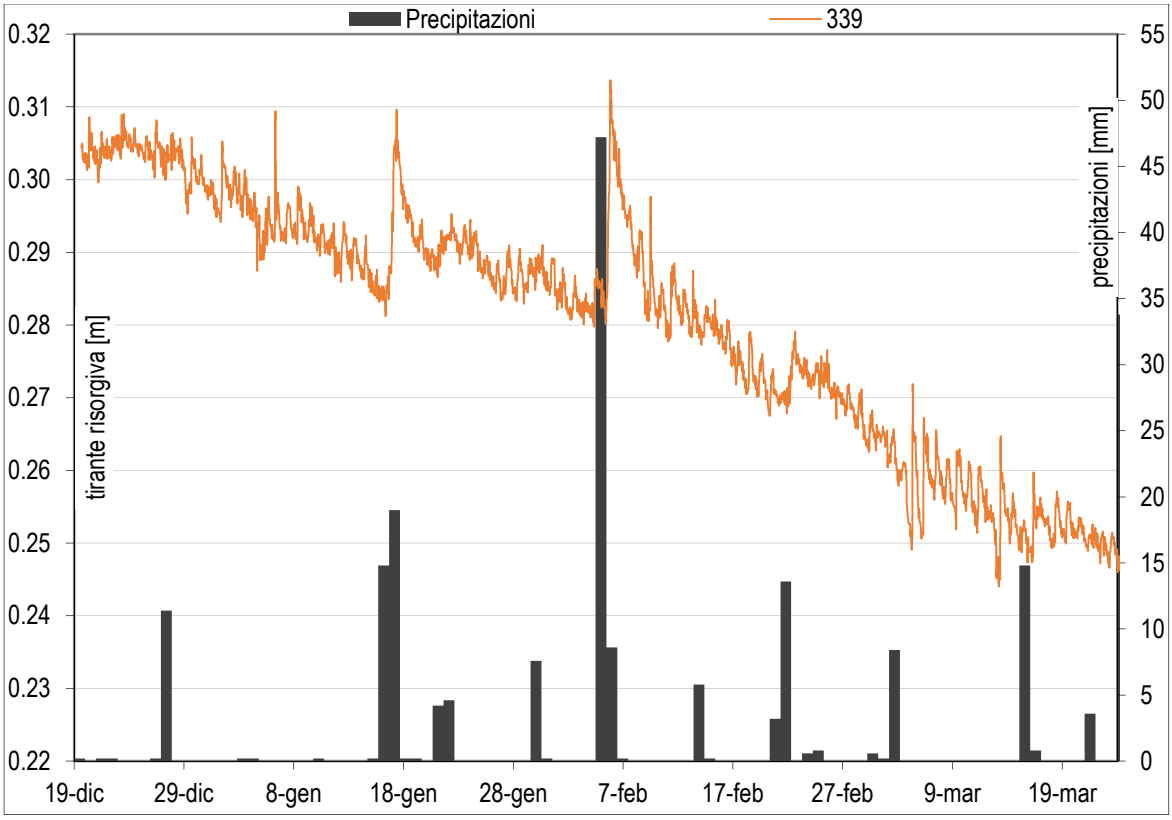


Figura 53: evoluzione del livello idrometrico della risorgiva nel tempo e precipitazioni nel periodo

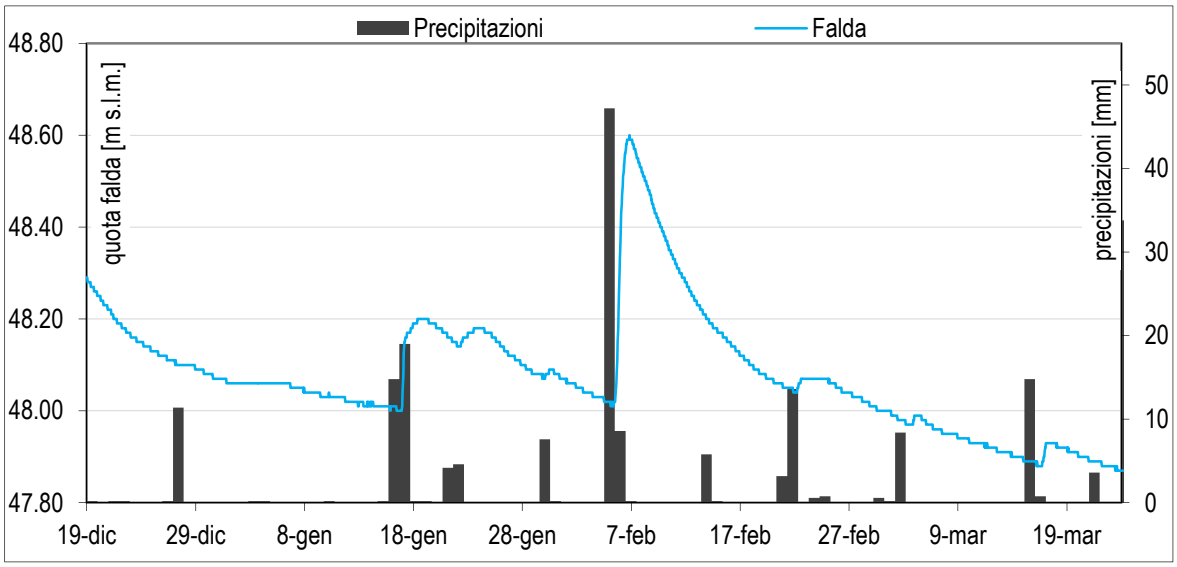


Figura 54: andamento falda presso il pozzo di rilevamento sito a Caldogno (pozzo A di Figura 35)

Il grafico di dispersione dove due variabili sperimentali di un set di dati vengono riportati sul piano cartesiano: in particolare uno dei due valori viene definito parametro di controllo ed è il parametro indipendente posto arbitrariamente sull'asse orizzontale, l'altro viene chiamato parametro misurato e viene posto sull'asse verticale. Se non esistono variabili dipendenti la scelta di quali valori mettere sull'asse verticale e quali su quello orizzontale è puramente arbitraria.

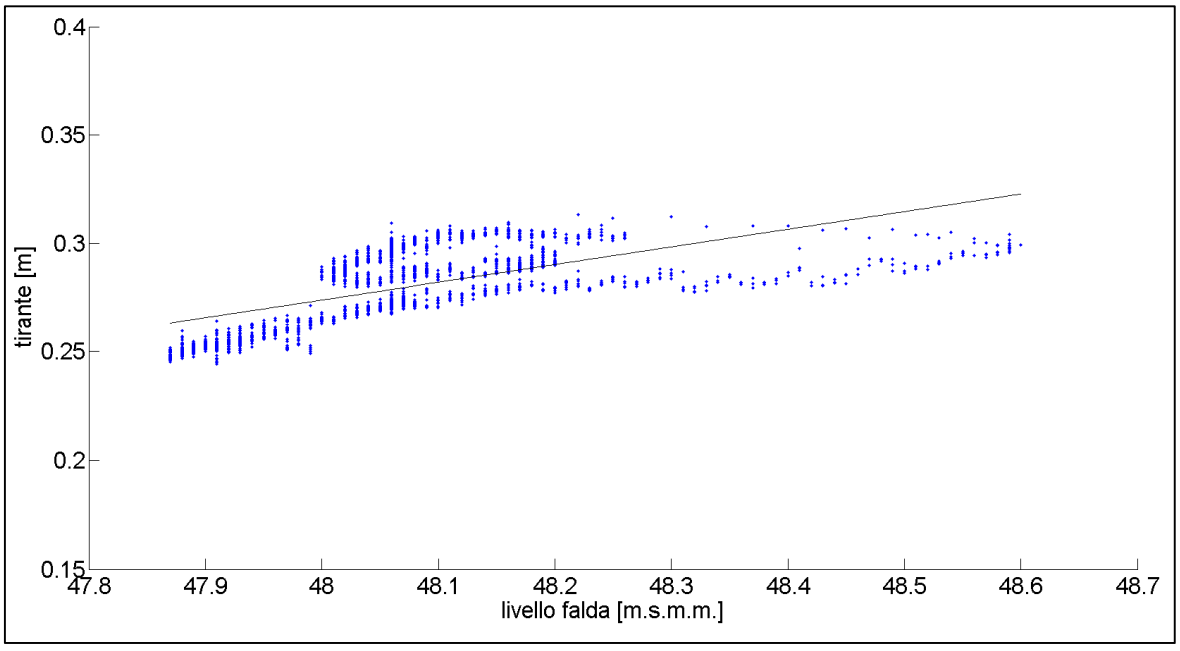


Figura 55: correlazione tra livello falda e tirante risorgiva 339

In Figura 55 è riportato il grafico di dispersione per il tirante idrometrico la risorgiva 339 e il livello di falda. In questo grafico si è scelto di riportare il livello di falda nelle asse delle ascisse e

il tirante misurato come variabile dipendente. Risulta infatti quasi ovvio per quanto detto fin ora, che il livello idrometrico della risorgiva, e quindi la portata da essa fluente, sia dipendente dal livello della falda e non viceversa.

Nel grafico sono riportati in blu i punti di corrispondenza tra il livello della falda e il tirante idrometrico registrato: il grafico mostra abbastanza bene l'esistenza di una correlazione tra i due valori. Si ha infatti che al crescere del livello della falda il livello della risorgiva cresca di conseguenza. Va detto comunque che ad un escursione di 10 cm nel livello della falda mediamente corrisponde un aumento di meno di 1 cm nel livello della risorgiva.

Sempre in Figura 55 è possibile vedere tracciata in nero la retta di tendenza. Tale retta è stata calcolata con il software Matlab, è rappresenta la retta d'interpolazione ricavata con il metodo dei minimi quadrati.

La retta d'interpolazione ricavata ha equazione:

$$h_{risorgiva\,339} = 0.0816 h_{falda} - 3.6416$$

Anche per questa risorgiva si è provveduto ad effettuare alcune misurazioni di portata per calibrare una scala delle portate (Figura 566)

La retta di correlazione livello portata così calcolata è:

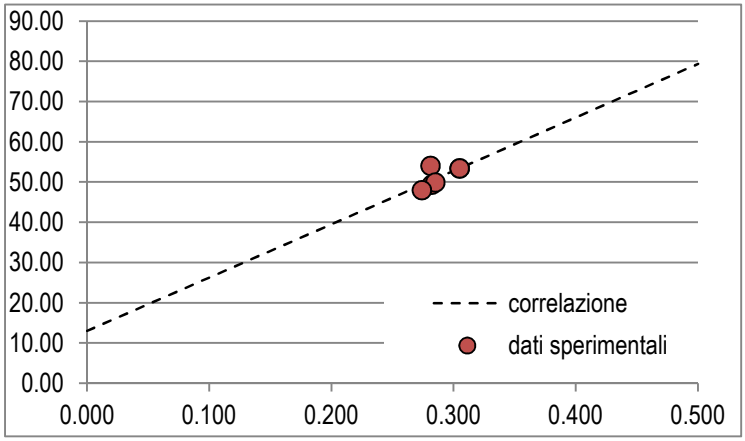


Figura 56: correlazione tirante portata per risorgiva 339

$$Q_{339} = 137.2 h_{339} + 13.2$$

In questo modo è stato possibile ricavare la stima delle portate uscenti dalla risorgiva lungo tutto il periodo di rilevamento.

In Figura 57 è possibile osservare come le portate abbiano ovviamente tendenza a diminuire nel periodo di rilevamento, essendo legate al livello nella risorgiva.

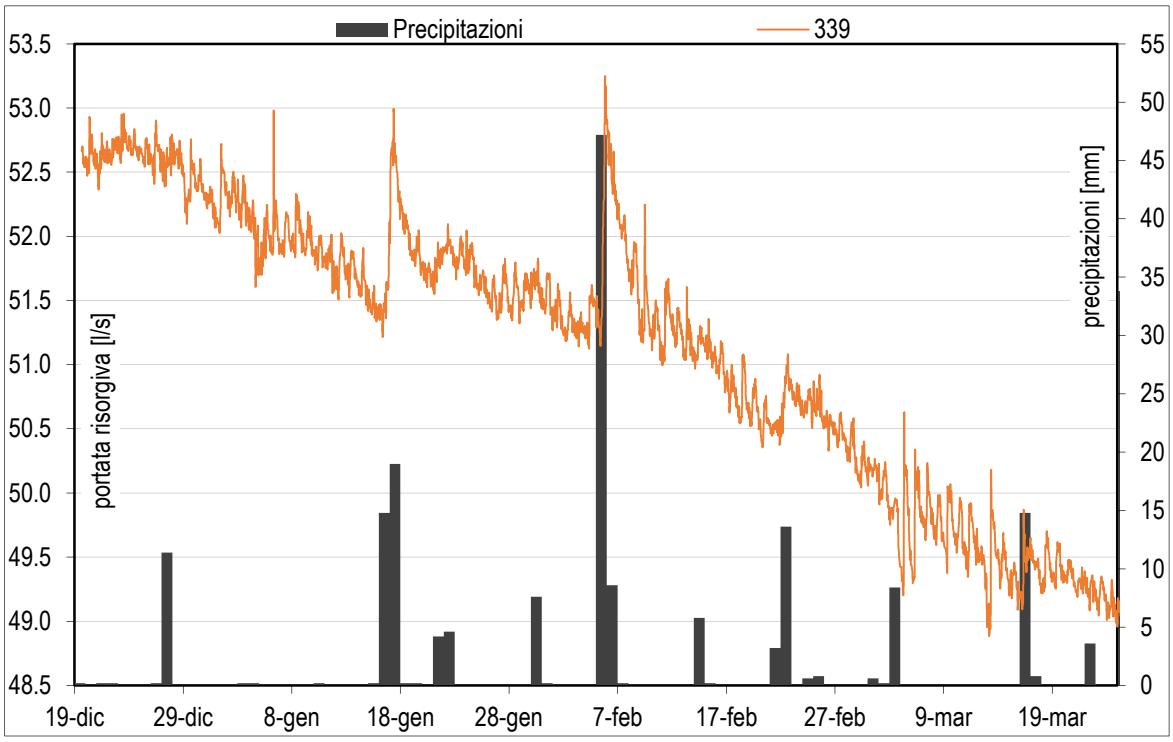


Figura 57: andamento portate stimate per risorgiva 339

3.2.3 Stazione di monitoraggio presso la risorgiva 1046 di Caldogno

La ricerca di un terzo sito per l'installazione di una stazione di misurazione ha creato alcune difficoltà rispetto alla localizzazione dei primi due siti. Nella zona ovest del dominio di studio non è stata trovata nessuna risorgiva che presentasse una sezione artificiale o quantomeno sufficientemente regolare per l'installazione della strumentazione; si sono anzi avute difficoltà a trovare risorgive di facile accesso o sul quale si potesse intervenire.

Molte infatti appartengono a zone di tutela, come le numerose risorgive del bosco di Villaverla, e tra quelle non soggette a vincoli paesaggistico-ambientali non è stato facile avere il permesso per l'installazione della strumentazione da parte dei proprietari.

Si è infine individuata la risorgiva 1046 come sito idoneo.

Tale risorgiva è un piccolo fontanile sito all'interno di una proprietà privata, ma che tuttavia è di facile accesso. Contrariamente poi alle altre due risorgive questa presenta un'asta molto limotata ed ha una portata in uscita molto più ridotta rispetto alle altre. Non presentava poi una

sezione regolare o comunque adatta all'installazione delle apparecchiature precedentemente considerate.

Per tutte queste ragioni si è reso necessario intervenire in modo tale da rendere il sito idoneo. Si è così realizzato uno stramazzo con una lamiera di acciaio dello spessore 5 mm. Lo stramazzo ha un'apertura di larghezza 20 cm ed è munito di una gabbia di calma dove è possibile inserire i datalogger per registrare il tirante (Figura 58).

Figura 58: stramazzo prima di essere messo a dimora nell'asta della risorgiva. È possibile vedere il foro dal quale l'acqua defluisce e, sulla sinistra, gli alloggiamenti dove è stata inserita la strumentazione.

È stato così possibile ricavare la portata uscente dalla risorgiva utilizzando le note leggi della foronomia che regolano il funzionamento dello stramazzo.

Si è utilizzata la formula:

$$Q = 0.41 b' \sqrt{2g} h_0^{3/2}$$

Dove h_0 è il tirante sopra il petto dello stramazzo mentre b' rappresenta una larghezza ridotta introdotta per tener conto dell'effetto della contrazione laterale che influisce sul defluire della vena. Tale larghezza ridotta b' è stata calcolata con la formula proposta da J.B. Francis nel 1883 (Ghetti, 1977)

$$b' = b - 0.10 n h_0$$

Dove n=2 oppure n=1, a seconda che la contrazione laterale della vena avvenga in modo completo per entrambi i lati o per uno solo.

Con l'applicazione di tale formula e le registrazioni in continuo del valore del tirante fornite dal datalogger è stato possibile ricavare il valore esatto della portata per tutto l'intervallo di misurazione.

Le misurazioni in questo caso sono partite con un certo ritardo rispetto a quelle delle due stazioni di misura precedenti.

Infatti, come si è già detto, l'individuazione di tale sito come idoneo per le misurazioni, non è stata un operazione immediata ed ha richiesto più sopraluoghi per preparare tutta la strumentazione del caso. I lavori per l'installazione dello stramazzo hanno richiesto inoltre un

certo tempo (Figura 59). In conclusione le misurazioni per questo sito sono iniziate il 15/01/2015, un mese in ritardo rispetto agli altri siti.

Figura 59: lavori di installazione dello stramazzo

Si sono effettuate visite settimanali allo stramazzo sia per effettuare lo scarico dei dati raccolti dalla sonda, sia per verificare lo stato di funzionamento dell'opera. In particolare si è cercato di evitare che possibili detriti o ramaglie andassero ad intasare l'apertura dello stramazzo, finendo per innalzare il tirante misurato dalla sonda e rovinare la bontà delle misure effettuate.

Figura 60: stramazzo in funzione

I dati, sia quelli relativi al livello idrometrico all'aperura dello stramazzo che quelli calcolati della portata uscente sono stati messi anche in questo caso in relazione con le precipitazioni che hanno interessato il periodo di rilevamento.

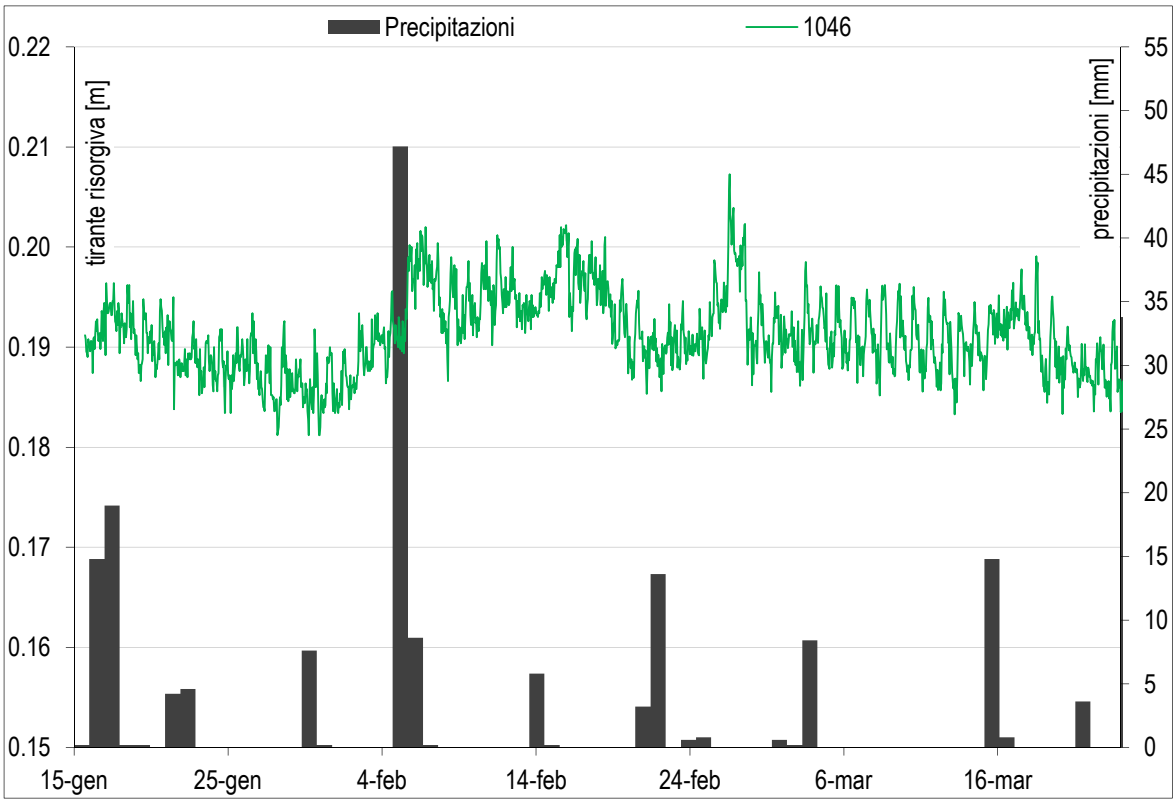


Figura 61: evoluzione del tirante sul periodo

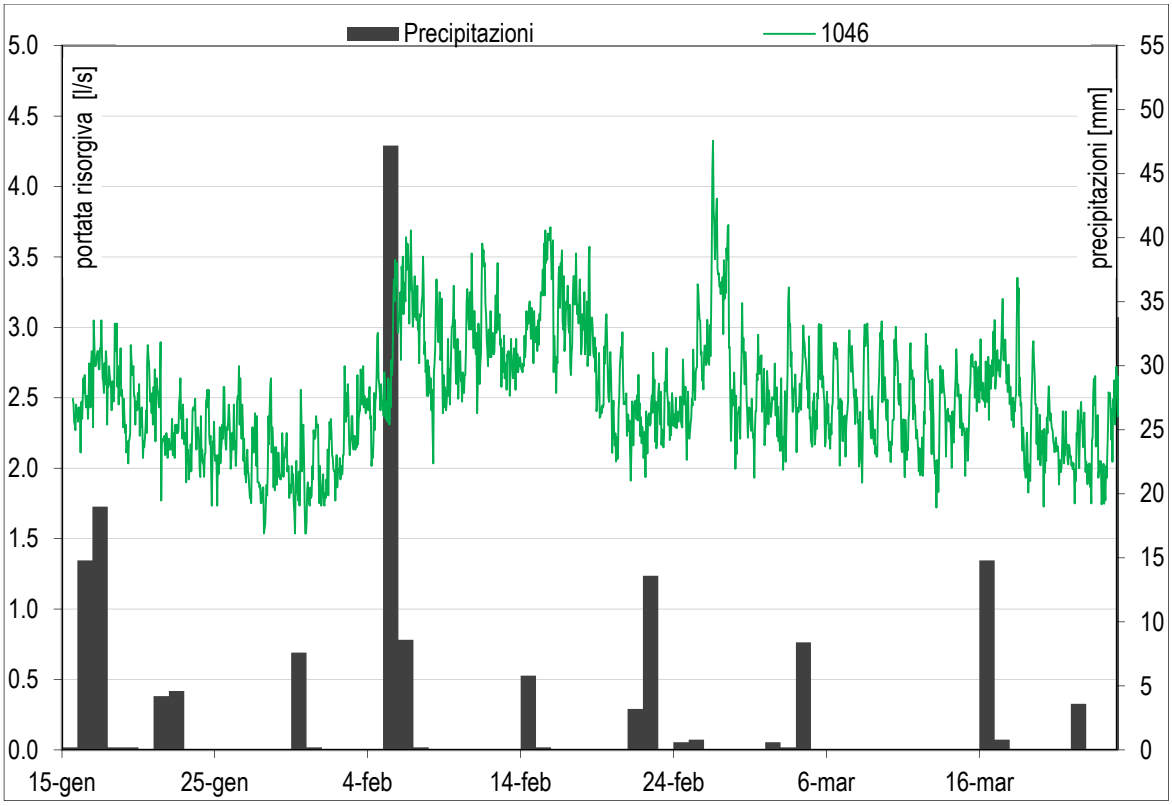


Figura 62: andamento delle portate nel periodo di rilevamento

Osservando i grafici di Figura 61 è possibile vedere come dall'inizio delle rilevazioni, il 15 gennaio 2015, fino all'evento di pioggia del 5 febbraio 2015 il livello della risorgiva sia sceso, anche se di pochi millimetri. Dopo l'evento di pioggia in questione il livello registrato presso la risorgiva è risultato maggiore per alcuni giorni. Questa differenza di livello è comunque minima, infatti le escursioni nel tirante sono state quantificabili nell'ordine del millimetro.

Nello specifico se si osserva la Figura 54, dove è riportato l'andamento del livello freatico della falda presso Caldogno, si può osservare come l'aumento del livello della risorgiva, corrisponda al picco subito dal livello freatico nei 10 giorni seguenti all'evento di pioggia.

Anche in questo caso gli eventi di pioggia minori che hanno caratterizzato il periodo si sono rilevati praticamente ininfluenti per i livelli della risorgiva.

In Figura 62 è rappresentata l'evoluzione delle portate nel periodo. Essa chiaramente segue lo stesso andamento del tirante della risorgiva, in conseguenza a come è stata strutturata la stazione di misura ed il relativo stramazzo.

Le portate effluenti dalla risorgiva 1046 sono di piccola entità, con un minimo di circa 1.5 l/s toccato nei giorni precedenti alla precipitazione del 5 febbraio e dei massimi di circa 4 l/s misurati nei periodi successivi all'evento.

Anche per questa risorgiva i dati del tirante idrometrico registrati nel periodo sono stati messi in relazione con quelli relativi alla falda. I risultati ottenuti sono osservabili in Figura 63.

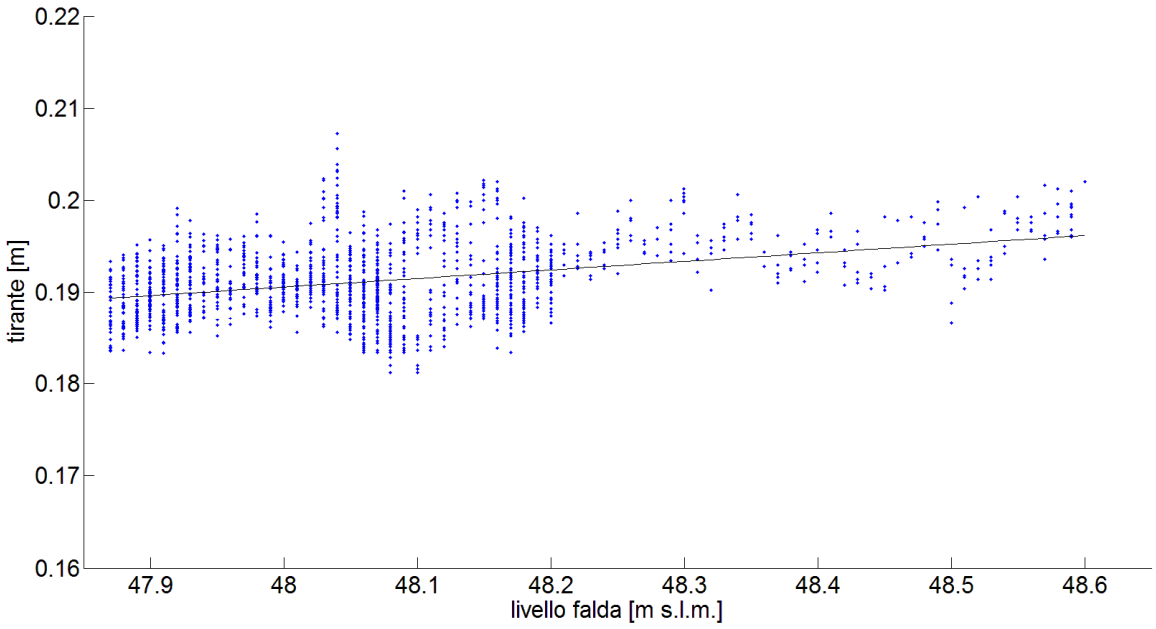


Figura 63: relazione tra livello risorgiva 1046 e pozzo di Caldogno

I dati raccolti mostrano una buona correlazione tra i dati idrometrici e quelli freatimetrici. In nero nel grafico è disegnata la retta di correlazione, stimata anche in questo caso direttamente dal software Matlab con il metodo dei minimi quadrati.
In particolare la retta stimata in questo caso è:

$$h_{risorgiva\ 1046} = 0.0936 h_{falda} - 0.2563$$

Si ha così che anche per questa risorgiva come per la precedente i dati misurati mostrano un'ottima correlazione tra i livelli di falda registrati e quelli del tirante delle risorgive.

Capitolo 4

Il censimento ha previsto anche un'attività di monitoraggio qualitativo delle acque di risorgiva. Sono state infatti eseguite operazioni di campionamento ed analisi chimiche di laboratorio per individuare eventuali contaminazioni che possono interessare l'area.

Oltre che analisi volte alla ricerca di eventuali contaminanti, sono state eseguite analisi finalizzate alla caratterizzazione idrogeochimica (diagramma d Piper)[6].

4.1 Monitoraggio qualitativo

Per l'attività di monitoraggio sono state scelte 50 risorgive (Figura 64) sule quali sono state eseguite 300 operazioni di campionamento ed analisi chimiche. Le 50 risorgive sono di fatto le stesse risorgive su cui si è fatto il monitoraggio delle portate.

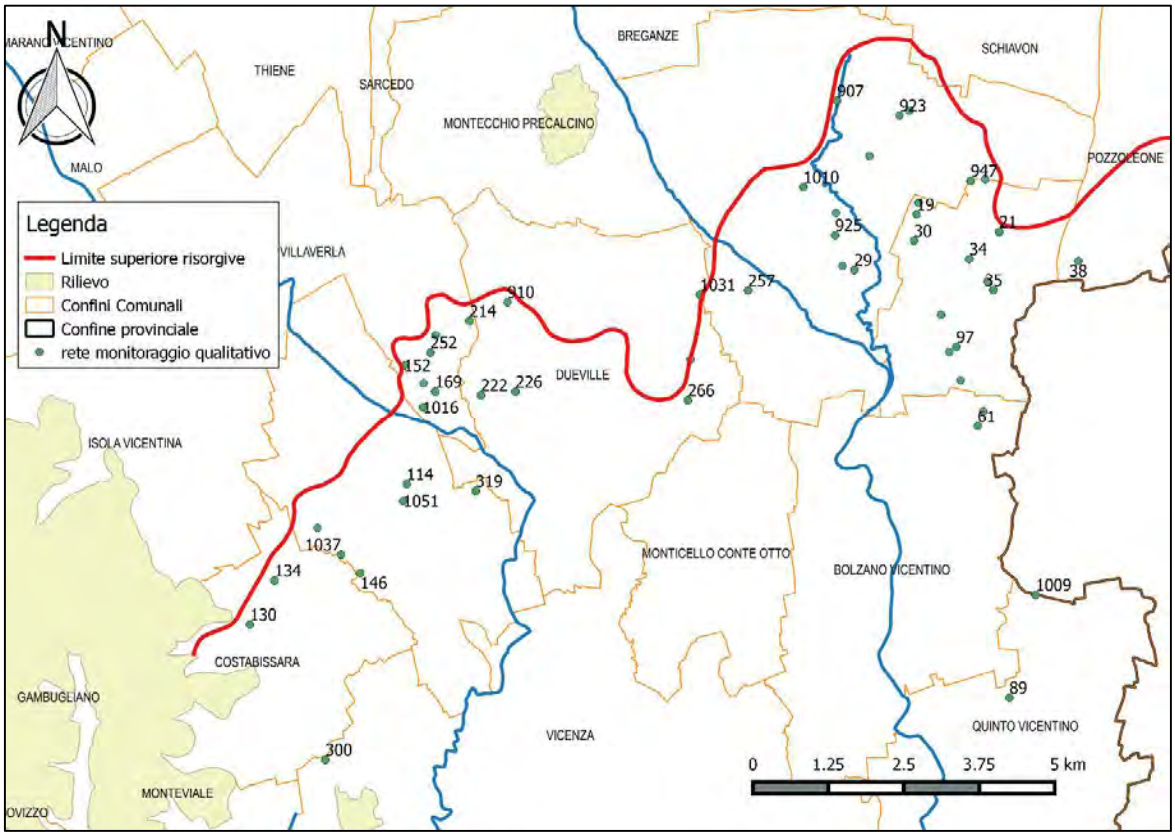


Figura 64: rete monitoraggio qualitativo

[6] oltre a quanto indicato nel presente lavoro sono state eseguite anche alcune verifiche analitiche di tipo isotopico

Le attività di campionamento si sono svolte su più fasi:

- per tutte le 50 risorgive è stato svolto un set di analisi ridotto nel quale si è ricercato solo un numero limitato di parametri; il set ridotto è stato ripetuto 4 volte per tutte le risorgive ad intervalli di circa 20 giorni;
- su un sottoinsieme di 35 risorgive si sono svolte analisi più approfondite per due volte a distanza di un mese (utilizzando un set analitico esteso, indicato come set_esteso_1),
- su un sottoinsieme di 30 risorgive è stata infine svolta un'analisi approfondita ad ampio spettro per la ricerca di possibili altri inquinanti (set analitico esteso_2 e set per l caratterizzazione idrogeochimica).

In Tabella 8 sono riporte le date in cui sono state svolte le operazioni di campionamento. Dalla tabella è possibile capire quale tipo di campionamento ha avuto luogo ed il numero di prelievi fatti per tipologia.

Tabella 8: numero dei punti campionati per tipologia, sono contate anche le analisi isotopiche e quelle per realizzare il diagramma di Piper

Data	Set ridotto	Set esteso 1	Set esteso 2	Set caratterizzazione idrogeochimica
17-18/12/2014	50			
07-08/01/2015		35		
14-15/01/2015	50			
20-21/01/2015		35		
28-29/01/2015	50			
04-05/02/2015			30	8
11-12/02/2015	50			

Si specificano a seguire i parametri e gli analiti considerati nei vari set:

- set ridotto: parametri chimico-fisici (ph, EC, durezza potenziale redox), cloruri, composti azotati, solfati e cromo totale;
- set esteso_1: parametri chimico-fisici (ph, EC, durezza potenziale redox), cloruri, composti azotati, solfati, cromo totale, alifatici alogenati cancerogeni e alifatici clorurati;
- set esteso_2: parametri chimico-fisici (ph, EC, durezza potenziale redox), cloruri, composti azotati, solfati, alifatici alogenati cancerogeni e alifatici clorurati, metalli;

- set caratterizzazione idrogeochimica: bicarbonati, solfati, cloruri, calcio, magnesio, potassio, sodio.

Sono state campionate anche le acque di due corsi d'acqua superficiali (T. Laverda e T. Timonchio) con lo scopo di verificare i possibili legami tra le risorgive ed i corsi d'acqua presenti nel territorio.

Per la raccolta dei campioni si sono utilizzate dei contenitori in PET da 500 ml, o da un litro quando sono state effettuate anche le analisi specifiche per il diagramma di Piper, provette in vetro tipo vial per la ricerca dei solventi per i set estesi.

Figura 65: contenitori utilizzati per i campionamenti: nella foto a sinistra si vedono il contenitore in HDPE, la bottiglia in PET e le due vial.

Il campionamento è avvenuto per ogni risorgiva prestando attenzione a raccogliere l'acqua nel punto più vicino possibile alle fonti di risorgenza (Figura 66), in modo da evitare che possibili fattori esterni influenzassero le condizioni chimico-fisiche dell'acqua raccolta.

Figura 66: operazione di campionamento

4.2 Analisi risultati monitoraggio parametri chimico-fisici

4.2.1 Premesse

Considerando il set analitico più esteso si sono ricercati 67 parametri diversi; di questi 29 hanno presentato almeno in una sessione di campionamento un valore superiore al limite di rilevabilità strumentale mentre 38 parametri hanno presentato valori sempre minori a quello di rilevabilità e pertanto non sono stati considerati nelle elaborazioni successive.

Tra i parametri rilevati dalle analisi invece 3 presentano un'anomalia / superamento della concentrazione media annua[7] presso sei risorgive:

- cromo totale presso le risorgive 130,134, 146,257,
- esaclorobutadiene presso le risorgive 152,
- mercurio presso la risorgiva 300.

Tra questi figura un superamento dei valori di concentrazione massima ammissibile per i parametri:

- esaclorobutadiene (SQA-CMA pari a 0.5 ug/l), presso la risorgiva n. 152, nel comune di Villaverla (C=2.2 ug/l);

[7] Per la valutazione di qualità sono stati presi in considerazione i riferimenti tabellari di cui all'Allegato 1 (Tab.1/A e Tab.1/B) della Parte Terza del D.152/06 smi, così come modificato dal D.M. 260/2010. 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 come standard fanno riferimento alla classe di appartenenza delle acque superficiali interne.

- mercurio (SQA-CMA pari a 0.06 ug/l), presso la risorgiva n. 300, nel comune di Vicenza (C=0.9 ug/l); si consideri al riguardo che la corrispondente CSC per le acque sotterranee per il mercurio è, se pur di poco, superiore al dato sperimentale e pari a 1.0 ppb.

Per avere ulteriori informazioni a riguardo e poter formulare un giudizio completo sarebbe necessario effettuare ulteriori e mirate analisi su questi parametri.
Anche nel caso del cromo totale i superamenti sono stati riscontrati solo in occasione di un preciso campionamento mentre il valore analitico medio, calcolato sull'intero periodo di acquisizione (quasi 2 mesi), rientra nei limiti della normativa.
I superamenti degli standard di qualità sono stati registrati nelle risorgive presenti nei comuni di Caldogno, Costabissara, Sandrigo, Villaverla e Vicenza. In entrambe le risorgive campionate nel comune di Costabissara (risorgive 130 e 134) si è riscontrato almeno un superamento di parametro soglia medio (SQA-MA).

4.2.2 Distribuzione spaziali di alcuni microinquinanti

Nel seguito vengono fatte alcune considerazioni interpretative preliminari su alcuni traccianti analizzati.

Composti azotati

I nitrati sono di origine prevalentemente antropica e derivano da sorgenti puntuali (i.e. scarichi di acque reflue) o diffuse (i.e. uso di fertilizzanti azotati). Essi costituiscono l'ultimo stadio del processo di ossidazione dei composti azotati, tra cui si trovano anche lo ione ammonio ed i nitriti.
Nella fascia delle risorgive la rimozione dei nitrati dalla falda è resa difficile dalla presenza di litologie con prevalente composizione ghiaiosa e dalla rara presenza di materiale organico, condizione quest'ultima che sfavorisce in modo particolare il processo riduttivo.
La maggior parte dei punti campionati, nello specifico 32 risorgive, presentano una concentrazione media compresa tra 10 mg/l e 25 mg/l e le aree che presentano maggiori concentrazioni sono quelle interessate da intensa attività agricola nei comuni di Bressanvido, nei pressi delle risorgive del Tergola, e nella zona a sud di Caldogno.

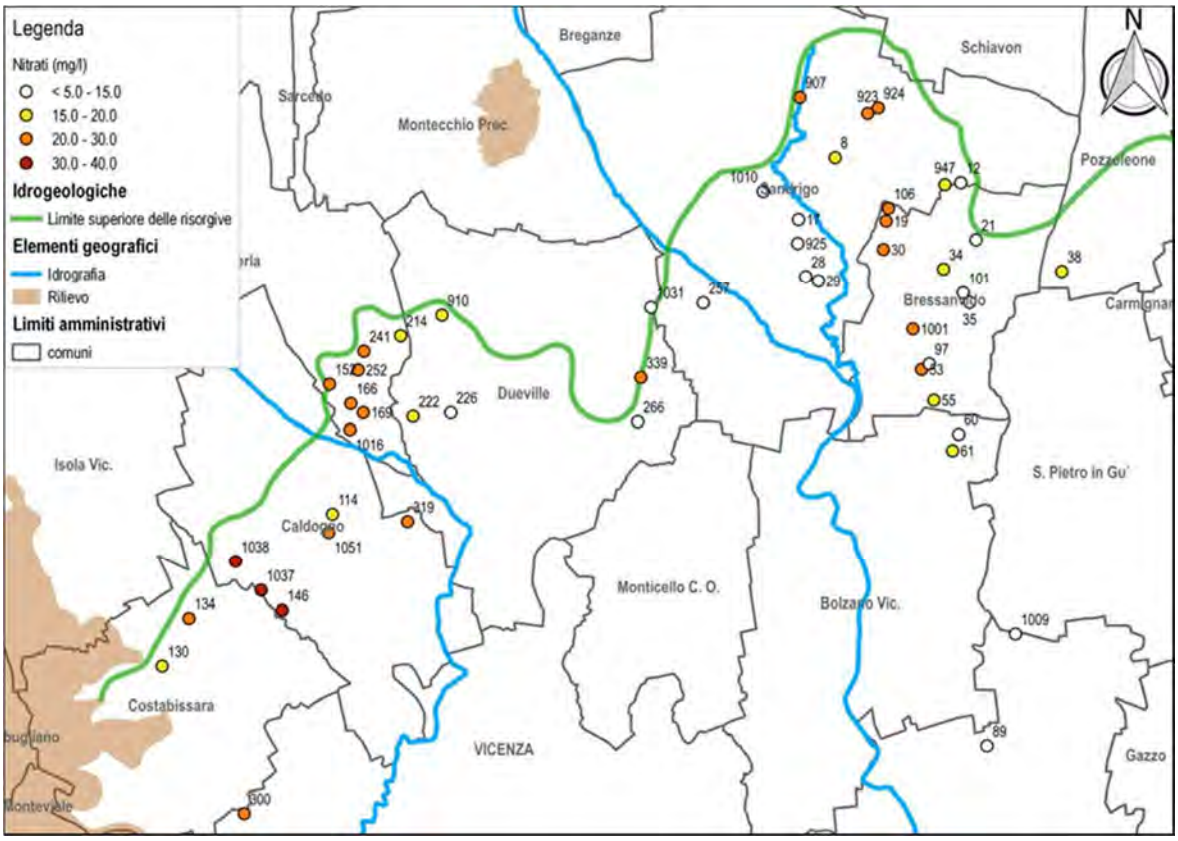


Figura 67: distribuzione dei nitrati nelle risorgive (valori medi)

Cloruri e Solfati

La presenza dello ione solfato ($SO4^{--}$) in falda è legato principalmente a sorgenti antropiche di tipo industriale ma può essere dovuto anche all'attraversamento, da parte dell'acqua di falda, di orizzonti geologici, con dissoluzione di gesso o anidrite o lisciviazione di argille.

La distribuzione spaziale della concentrazione media dei solfati riscontrata nel periodo di osservazione è in linea con quella dei nitrati, rilevandosi alte concentrazioni nei pressi del torrente Timonchio e nella fascia, con orientamento N-S, localizzata tra il fiume Brenta ed il torrente Astico (i.e. zona orientale della provincia).

La concentrazione maggiore, pari a 64 mg/l, è stata misurata nel punto di campionamento sul Timonchio nel comune di Villaverla: di conseguenza le risorgive localizzate nelle vicinanze del corso d'acqua, che in quel tratto disperde in falda (Sottani N., 1982) presentano concentrazioni non trascurabili di solfati (Figura 68).

Le aree densamente abitate sono di solito causa di alte concentrazioni di cloruri nella falda idrica. I cloruri infatti possono essere anch'essi indicatori della presenza di scarichi fognari civili ed industriali.

In queste analisi i cloruri si rinvengono in concentrazioni relativamente maggiori nel T. Timonchio (C=31.7 mg/l) e nelle risorgive adiacenti (risorgiva 1016 con 19 μg/l), oltre che nei punti di campionamento nei pressi delle sorgenti del Tesina e del Laverda. In Figura 69 è rappresentata la distribuzione dei cloruri entro il dominio di indagine.

Solventi organoclorurati

Le analisi chimiche effettuate hanno rilevato la presenza di composti alifatici clorurati in alcune risorgive. Queste sostanze sono inequivocabilmente di origine antropica: esse si suddividono in composti cancerogeni e non cancerogeni e la loro pericolosità è legata anche alla bassa biodegradabilità, riconducibile alla stabilità del legame carbonio-cloro.

I solventi clorurati tendono quindi ad accumularsi nell'ambiente ed i composti più densi (DNAPL - *Dense Non Aqueous Phase Liquids*) a depositarsi sul fondo dell'acquifero.

Tracce di importanti contaminazioni storiche avvenute negli anni '60-'80 ad opera di industrie operanti principalmente nel settore tessile, metalmeccanico e puliture a secco, sono state rinvenute nelle risorgive vicentine, dove emergono composti organoclorurati come TCE (Tricloroetilene), PCE (Tetracloroetilene), Esaclorobutadiene, 1-1-dicloroetilene, 1-2-dicloroetilene e tetracloruro di carbonio.

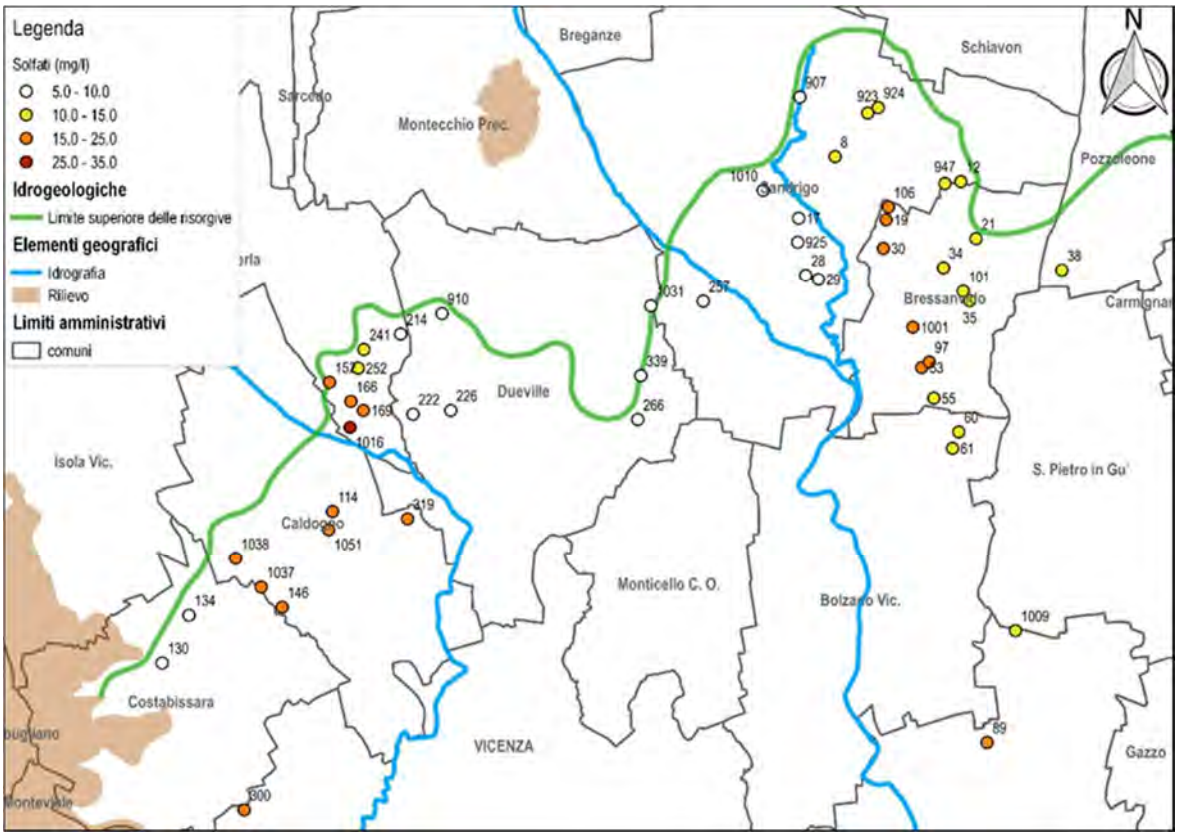


Figura 68: Distribuzione dei solfati nelle risorgive (valori medi)

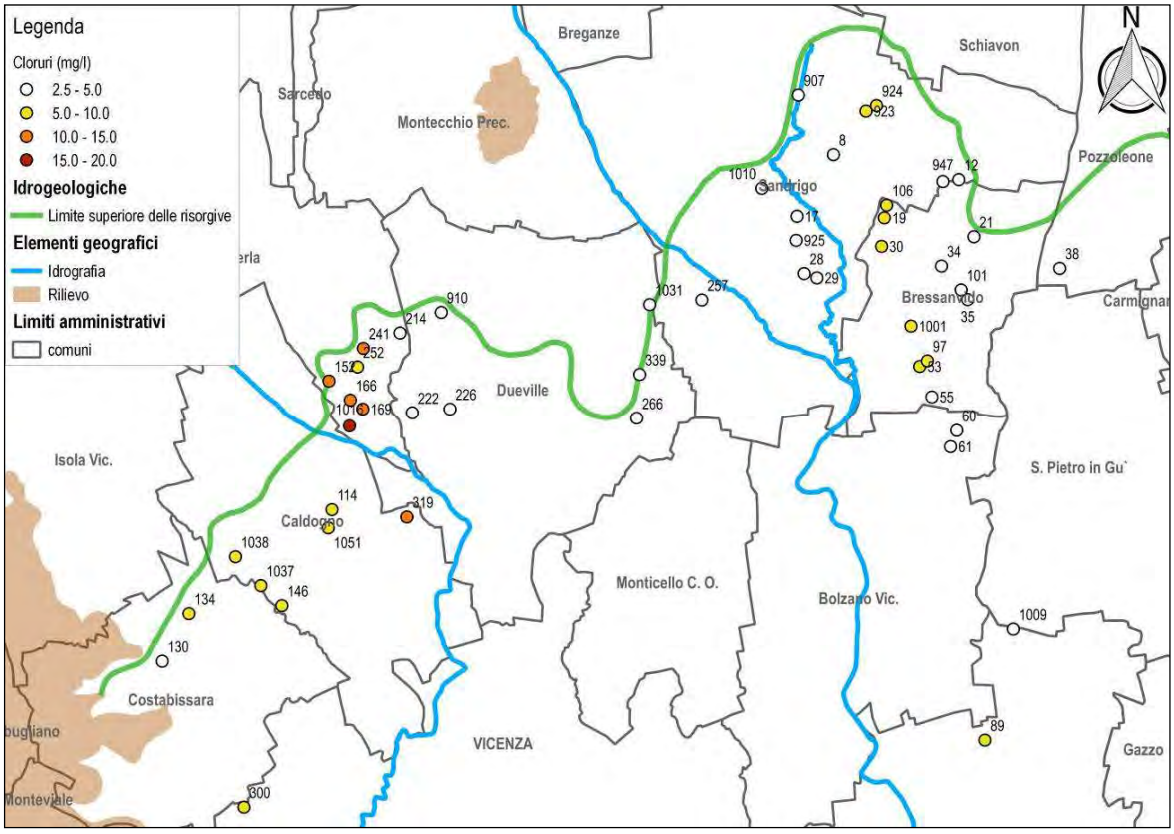


Figura 69: Distribuzione dei cloruri nelle risorgive (valori medi)

Le contaminazioni storiche avvenute nell'alta pianura vicentina nelle zone industriali di Schio-Thiene e Breganze-Sandrigo derivano dalla immissione quantitativi considerevoli di solventi (i.e. aree di colore grigio in figura) nell'ambiente sotterraneo: a partire dalle varie zone di sverso i plume si sono successivamente propagati verso valle, lungo la direzione di deflusso di falda fino ad interessare la fascia delle risorgive, dove ad oggi se ne riscontrano ancora gli effetti.

La risorgiva n.319, localizzata nel comune di Caldogno, presenta la maggiore concentrazione di TCE: la risorgiva si pone lungo la direttrice di deflusso che da Schio-Thiene verge a S-E, in direzione di Villaverla - Caldogno.

In tutte le campagne eseguite nell'ambito della presente iniziativa la risorgiva in argomento ha mostrato concentrazioni di TCE misurabili (i.e. C= 0.6 μg/l).

La stessa risorgiva è risultata essere impattata anche dal composto PCE, in concentrazione media pari a 7.67 μg/l e massima di 7.9 μg/l: ai sensi del D. Lgs. 31/01 la somma di TCE e PCE è di poco inferiore agli standard di qualità per il consumo umano (VdP = 10 μg/l).

Alte concentrazioni dello stesso composto sono state rinvenute anche nelle sorgenti del F. Tesina (risorgiva n.947) con concentrazioni medie pari a 6.2 μg/l e massime pari a 7.4 μg/l.

In generale la presenza di PCE risulta più importante rispetto a quella del TCE: una percentuale assai elevata (70%) delle risorgive oggetto di screening per i solventi clorurati mostra concentrazioni residuali dei suddetti composti organici.

Concentrazioni misurabili di PCE sono state riscontrate anche nei comuni di Villaverla e Bressanvido, come mostrato in Figura 70.

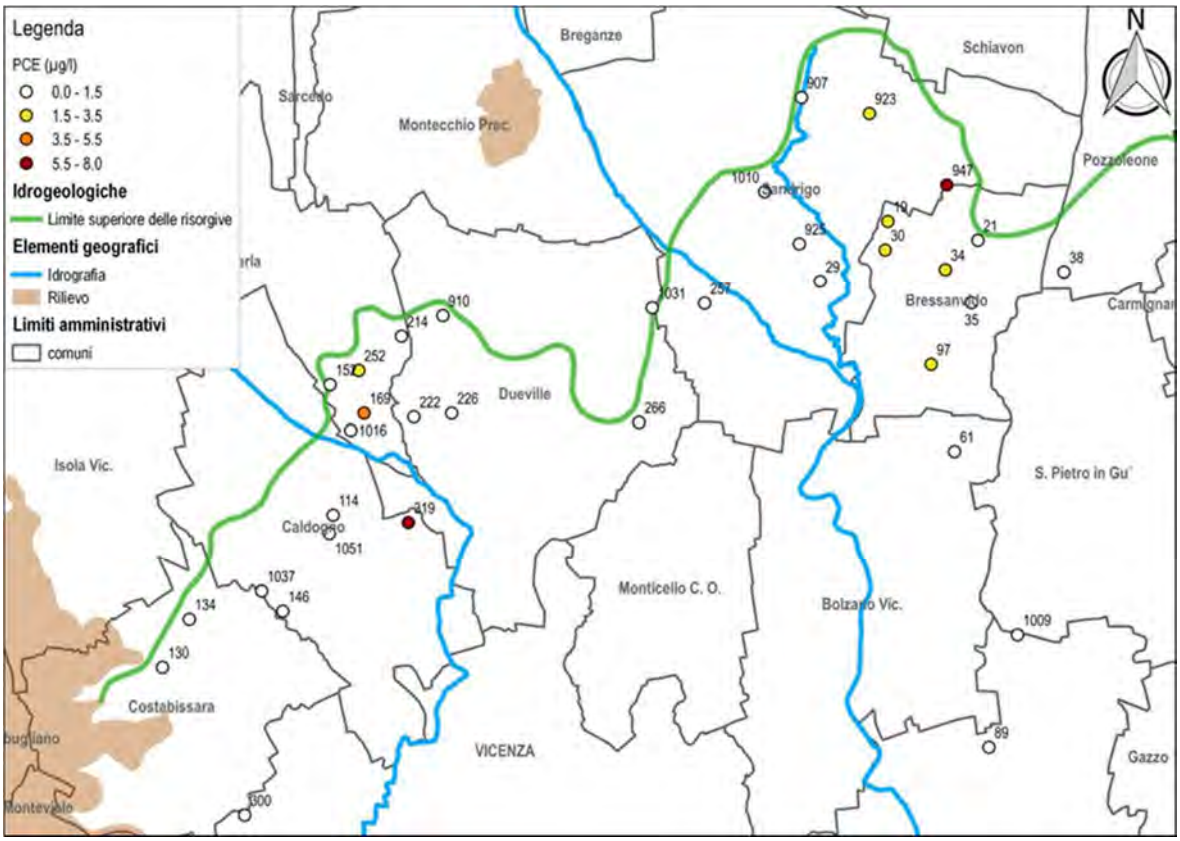


Figura 70: Distribuzione del PCE nelle risorgive

Metalli

Tra tutti i metalli ricercati, quello che ha destato le maggiori evidenze è stato il cromo totale.

In tutti i punti campionati, infatti, la concentrazione media di cromo totale è risultata essere superiore al limite di rilevabilità con un picco di 3.25 µg/l rilevata nella risorgiva n.339 sita nel comune di Dueville.

Tra i vari stati di ossidazione che l'atomo di cromo può assumere, il cromo VI (esavalente) è il più conosciuto per la sua tossicità e per il suo effetto cancerogeni sull'uomo. Il parametro è stato studiato separatamente nel set esteso 2 su 30 risorgive senza mostrare alcun superamento dei limiti di rilevabilità.

In Figura 71 si riporta la distribuzione spaziale delle concentrazioni medie di cromo totale rilevate durante le attività di campionamento nel periodo di osservazione.

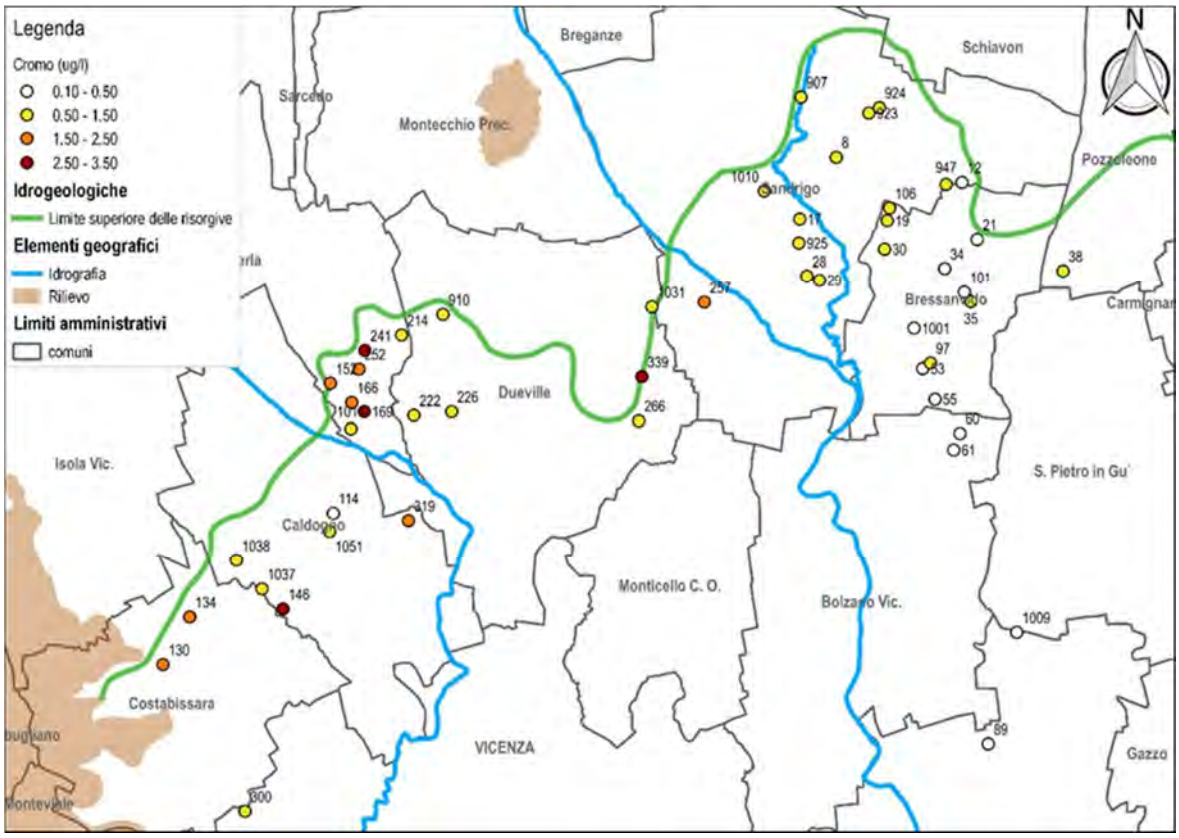


Figura 71: Distribuzione del cromo totale nelle risorgive

Le risorgive che presentano concentrazioni maggiori sono localizzate nella zona Ovest della provincia nei comuni di Villaverla, Caldogno, Dueville e Costabissara.

La presenza di arsenico è confermata anche da studi ufficiali, che hanno messo in luce concentrazioni diffusa negli acquiferi superficiali nella pianura veneta. L'arsenico è stato rilevato in concentrazioni massime di 8.2 µg/l nella risorgiva n.89 nel comune di Quinto Vicentino e di 4.5 µg/l nella risorgiva n.34 nel comune di Bressanvido.

Al contrario del cromo, l'arsenico risulta essere maggiormente diffuso nelle zone orientali della provincia come descritto da Figura 72.

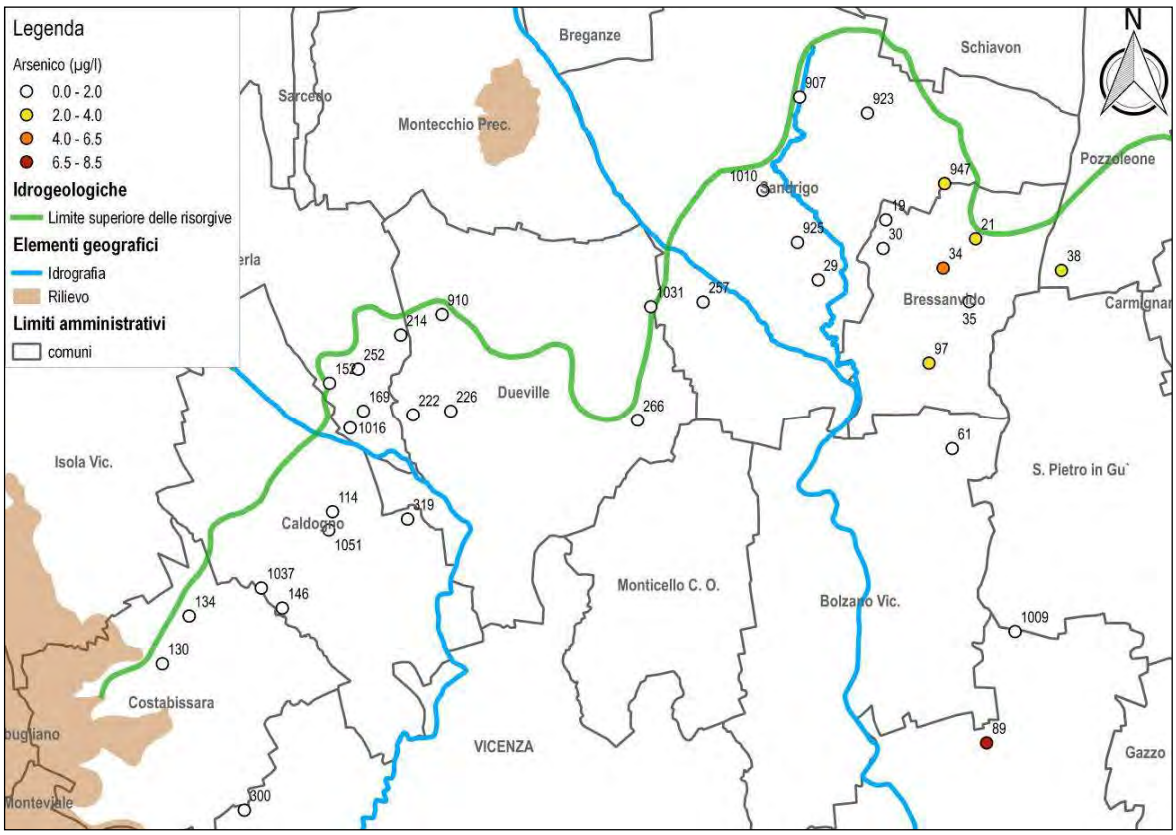


Figura 72: Distribuzione dell'arsenico nelle risorgive

4.2.3 Caratterizzazione idrogeochimica delle acque

Durante la campagna del 4–5 febbraio 2015 è stato prelevato un ulteriore campione di acqua dalle polle di 8 risorgive e da due corsi d'acqua, il T. Timonchio e il T. Laverda, in punti collocati a monte della fascia delle risorgive, per la costruzione del diagramma di Piper ai fini della caratterizzazione idrogeochimica.

I campioni in questione sono stati sottoposti ad analisi chimiche per la ricerca dei seguenti analiti:

- cloruri,
- solfati,
- bicarbonati,
- calcio,
- magnesio,
- potassio,
- sodio.

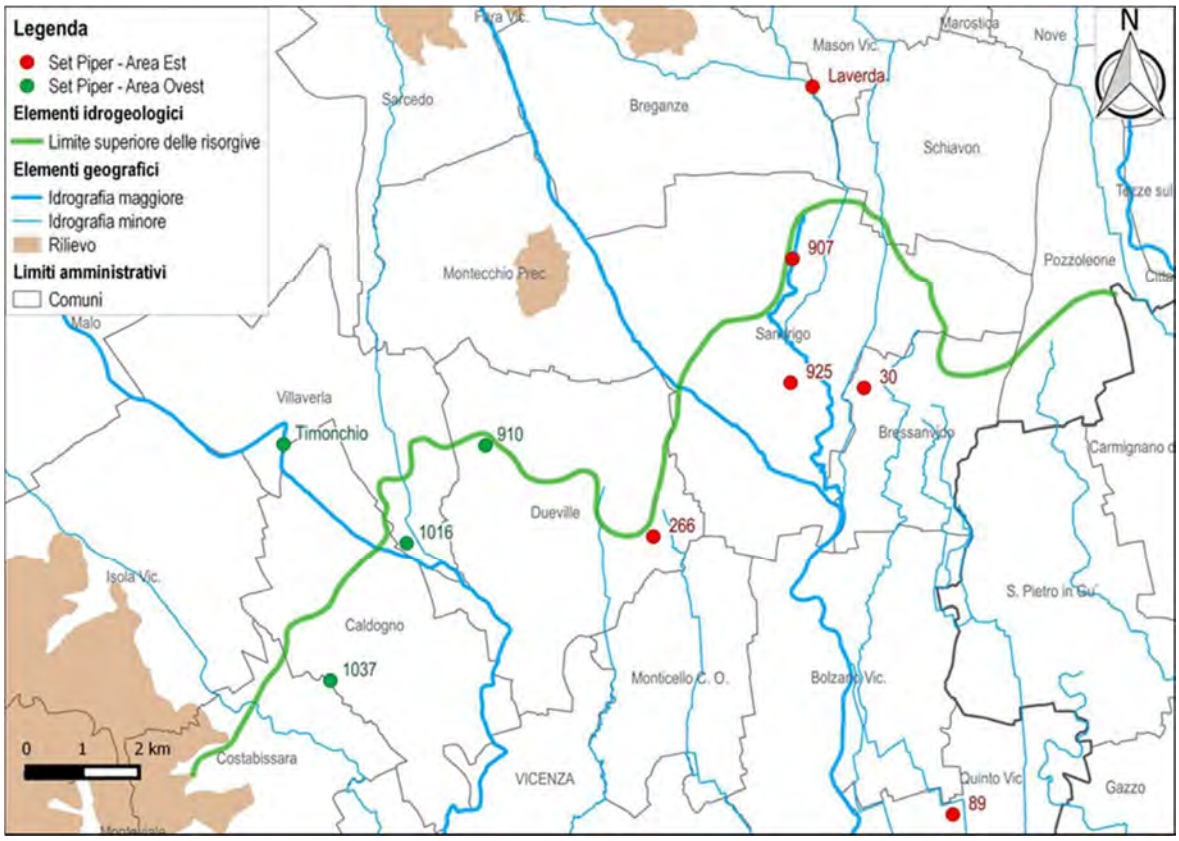


Figura 73: Distribuzione dei campionamenti per la classificazione di Piper

Figura 74: operazioni di campionamento presso il torrente Laverda.

Nel dettaglio il diagramma di Piper (Figura 75) costituisce un rapido metodo grafico di caratterizzazione delle acque sotterranee in gruppi aventi caratteristiche chimico-fisiche omogenee e distinguibili da altri gruppi; esso è costituito da due triangoli equilateri sormontati da un rombo; il triangolo di sinistra rappresenta i cationi, quello di destra gli anioni. Il vertice inferiore sinistro del triangolo sinistro è occupato dal Ca^{++}, quello di destra dalla somma di Na^{+} e K^{+}, quello superiore dal Mg^{++}; il vertice inferiore sinistro del triangolo di destra è occupato dai HCO_3^{-}, quello di destra dalla somma di Cl^{-} e NO_3^{-} quello superiore dai SO_4^{--}.

Ogni analisi origina tre punti, due posizionati nei due triangoli, uno per i cationi ed uno per gli anioni (proporzionalmente al contenuto relativo dei vari ioni) ed uno nel rombo localizzato all'intersezione delle rette originate dagli altri due punti e tracciate parallelamente alla retta congiungente Ca^{++} e Mg^{++} per i cationi e parallelamente alla retta congiungente la somma di Cl^{-} e NO3^{-} e SO4-- per gli anioni.

È indispensabile effettuare un controllo della posizione dei punti anche nei due triangoli in quanto nel rombo sono riportate le somme di SO4^{--} e Cl^{-} e di Ca^{++} e Mg^{++}, quindi acque con mineralizzazioni anche diverse possono occupare la medesima posizione.

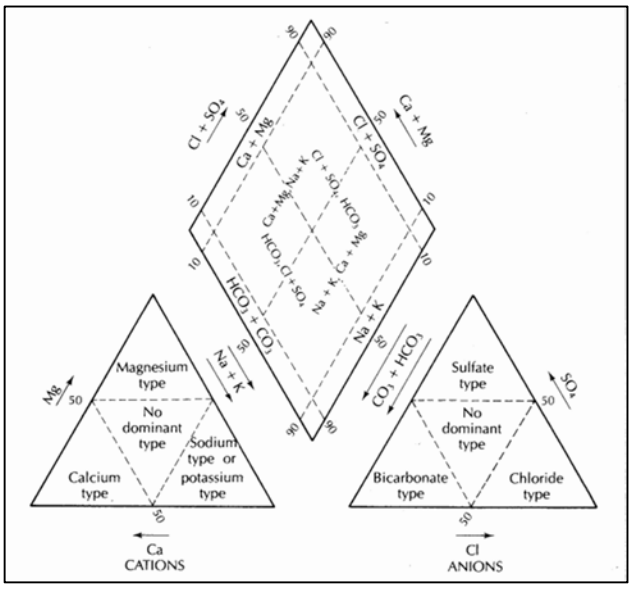


Figura 75: diagramma di Piper

All'interno del rombo le acque sono suddivise in quattro categorie tramite la suddivisione del rombo in altrettanti rombi più piccoli. Il rombo più in alto è quello delle acque cloruro e solfato calciche e magnesiache, quello di destra è quello delle acque cloruro-sodiche e potassiche o solfato sodiche, quello in basso è quello delle acque carbonato-sodiche e potassiche, quello di sinistra è quello delle acque bicarbonato-calciche e magnesiache. Tutte le concentrazioni sono espresse in meq/l (milliequivalenti[8] su l).

[8] L'equivalente (eq), o grammo-equivalente, è una quantità che, per una stessa sostanza, può essere variabile in funzione delle proprietà chimiche che tale sostanza esplica in una determinata reazione. Pertanto, la definizione di equivalente dipende dal tipo di reazione. Nelle reazioni di neutralizzazione, un equivalente di acido è la quantità di sostanza che fornisce una mole di ioni H^{+}; un equivalente di base è la quantità di sostanza che neutralizza una mole di ioni H^{+}, ossia fornisce una mole di ioni OH^{-}; un equivalente di sale è la quantità di sale che per dissociazione fornisce una mole di cariche elettriche positive e una mole di cariche elettriche negative.

È possibile quindi rintracciare quattro tipologie (o facies) idrochimiche:

- acqua solfato-calcica,
- acqua cloruro – alcalina,
- acqua bicarbonato – alcalina e
- acqua bicarbonato – calcica – magnesiaca

L'identificazione della facies di appartenenza del campione d'acqua permette di ricavare importanti informazioni relativamente ai meccanismi di circolazione sotterranea e sull'idrodinamica degli acquiferi. La maggior parte degli ioni è presente in acqua a seguito della dissoluzione di sali e di fenomeni di scambio ionico per adsorbimento da parte di minerali argillosi presenti nel terreno; per queste motivazioni campioni di acqua di falda prelevati dallo stesso bacino idrogeologico sono localizzati, in genere, all'interno della stessa facies idrochimica.

I punti soggetti a campionamento per il diagramma di Piper sono stati suddivisi in due gruppi definiti dalla posizione geografica. In particolare sono state identificate le risorgive dell'area ovest come punti all'interno del bacino idrogeologico del torrente Timonchio, mentre le risorgive dell'area est come afferenti al bacino idrogeologico dell'Astico.
Nel seguito vengono riportate le tabelle nelle quali sono riassunti i risultati delle determinazioni analitiche del campionamento eseguito in data 4-5 febbraio 2015, espressi in meq/l.
Nella

Tabella 9 sono riportati i valori ottenuti per i punti ricadenti entro il bacino del torrente Timonchio nell'Area Ovest, mentre nella Tabella 10 sono riepilogati i dati relativi all'Area Est del bacino del torrente Astico.
Si fa presente che nelle elaborazioni svolte si è assunta nulla la concentrazione dei carbonati, in quanto la loro presenza è risultata trascurabile.

Nelle reazioni redox, un equivalente di ossidante è la quantità di sostanza che acquista una mole di elettroni; un equivalente di riducente è la quantità di sostanza che cede una mole di elettroni. Il numero di equivalenti è sempre un multiplo intero del numero di moli.

Tabella 9: Concentrazioni analiti [meq/l] per costruzione diagramma Piper dei punti appartenenti alla Zona Ovest

ID	Calcio [meq/l]	Magnesio [meq/l]	Sodio [meq/l]	Potassio [meq/l]	Bicarbonati [meq/l]	Cloruri [meq/l]	Solfati [meq/l]
910	4.24	2.00	0.20	0.04	5.39	0.13	0.18
1016	3.99	1.97	0.86	0.05	4.90	0.64	0.81
1037	4.54	2.23	0.23	0.04	5.70	0.27	0.54
Timonchio	2.79	1.45	1.91	0.22	2.46	1.55	1.52

Tabella 10: Concentrazioni analiti [meq/l] per costruzione diagramma Piper dei punti appartenenti alla Zona Est

ID	Calcio [meq/l]	Magnesio [meq/l]	Sodio [meq/l]	Potassio [meq/l]	Bicarbonati [meq/l]	Cloruri [meq/l]	Solfati [meq/l]
30	5.09	2.46	0.35	0.03	5.75	0.30	0.46
89	4.49	1.90	0.29	0.14	5.70	0.28	0.43
266	2.12	1.36	0.15	0.02	3.29	0.14	0.22
907	4.09	1.80	0.20	0.03	5.19	0.15	0.21
925	3.49	1.58	0.14	0.04	4.29	0.12	0.17
Laverda	2.99	1.41	0.42	0.05	3.16	0.16	0.32

In Figura 76 è riportato il diagramma di Piper per l'Area Ovest che identifica una facies idrochimica di tipologia bicarbonatica calcica magnesiaca per tutti i punti di risorgiva.
Il campione prelevato dal torrente T. Timonchio rientra nella facies delle acque solfato-calciche.
Per confronto viene riportato anche il diagramma di Piper realizzato da Arpav nell'ambito del progetto SAMPAS (Sistema Attrezzato di Monitoraggio per la Protezione delle Acque sotterranee) nel 2008.
La facies identificativa dei punti indagati corrisponde ad acqua con una dominante presenza di calcio e magnesio e dell'anione bicarbonato. Nelle acque sotterranee il principale arricchimento di ione calcio è dovuto alla dissoluzione di rocce carbonatiche in presenza di anidride carbonica. La presenza di grandi quantità di ioni di calcio, magnesio e bicarbonati è indice di una falda circolante in acquiferi carbonatici, mentre la posizione del punto identificativo del Torrente Timonchio è imputabile piuttosto all'anomala abbondanza di solfati e cloruri probabilmente dovuti a scarichi industriali. Proprio per quanto appena descritto, il punto identificativo della risorgiva n. 1016, localizzata nei pressi del torrente in questione, tende a discostarsi dalla facies bicarbonatica calcica magnesiaca caratterizzante le altre risorgive e avvicinarsi alla facies di appartenenza del Torrente Timonchio.

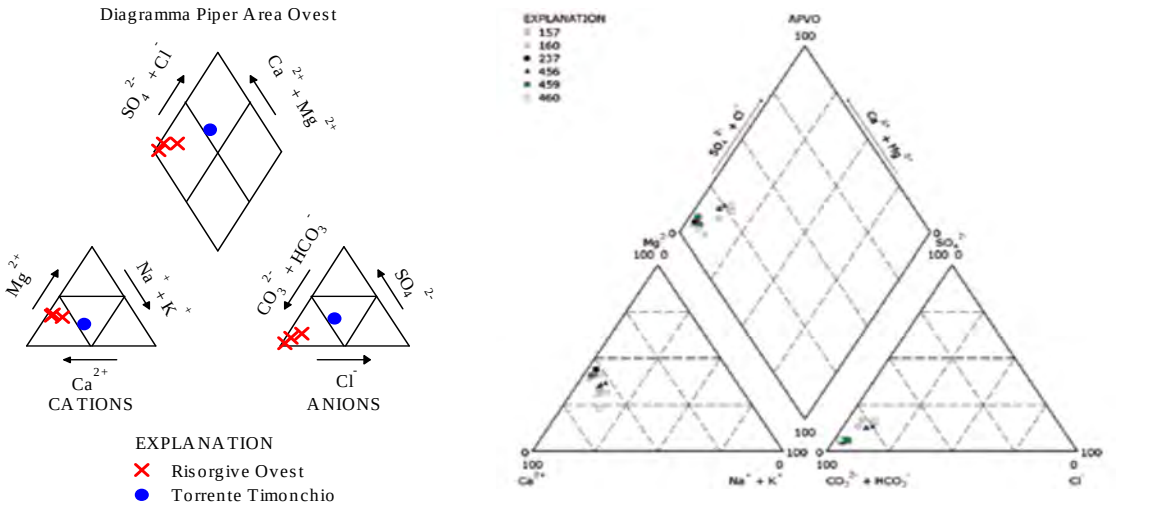


Figura 76: Diagramma di Piper relativo alle acque del settore Ovest (a sx i risultati del campionamento del 4-5.02.15; a dx gli esiti del progetto SAMPAS (ARPAV, 2008)

In Figura 77 è riportato il diagramma di Piper relativo all'Area Est che identifica una facies idrochimica bicarbonatica calcica prevalente per tutti i punti indagati compreso il campione prelevato dal torrente Laverda.

Rispetto ai campioni prelevati nell'Area Ovest i campioni dell'Area Est presentano una minore concentrazione di sodio, cloruri e solfati.

Anche in questo caso il diagramma Piper del progetto SAMPAS nell'area dell'alta pianura vicentina orientale conferma i risultati ottenuti (Figura 77).

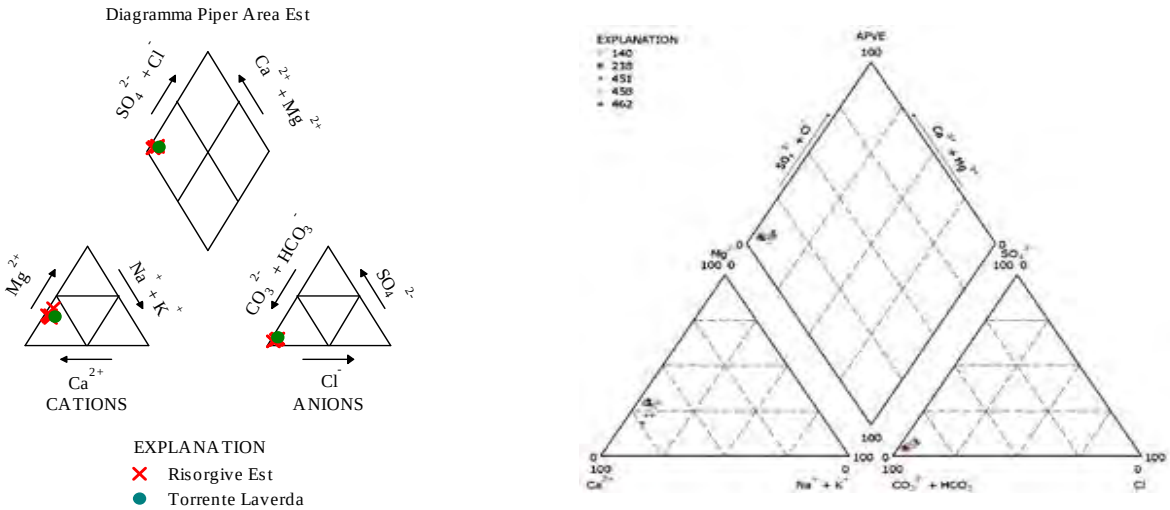


Figura 77: Diagramma di Piper relativo alle acque del settore Est (a sx i risultati del campionamento del 4-5.02.15; a dx gli esiti del progetto SAMPAS (ARPAV, 2008)

L'analisi dei dati porta ad accumunare l'acquifero di alimentazione delle risorgive nell'Area Est a quello presente nell'area dell'alta pianura vicentina orientale. La facies di appartenenza del campione di acqua del torrente Laverda è similare a quella relativa alle risorgive, indice dell'importante ruolo di alimentazione della falda indifferenziata svolto dai torrenti nella fascia dell'alta pianura.

Conclusioni

Tale studio ha avuto come prima finalità quello di dare un rapporto preciso e puntuale su quello che è ad oggi lo stato di salute delle risorgive della Provincia di Vicenza, e da qui trarre alcune evidenze che permettessero di interpretare la situazione quali-quantitativa complessiva.
I risultati possono essere così riassunti

- Da un punto di vista quantitativo le risorgive sembrano godere attualmente di un discreto stato di salute. Nei censimenti precedenti si era registrata un'inesorabile tendenza alla diminuzione delle portate rispetto ai picchi misurati negli anni '60. Il censimento condotto tra ottobre 2014 e febbraio 2015 mostra qualche segnale positivo; tale evidenza è supportata anche dall'analisi dei livelli freatimentrici, che negli ultimi anni hanno visto un trend di generale crescita. Ciò non significa che la tendenza di impoverimento dell'acquifero sia definitivamente invertita e in tal senso è necessario continuare con le azioni di monitoraggio. In particolare si ritiene utile eseguire verifiche periodiche delle risorgive, in modo tale da poter controllare l'attività e la portata di deflusso in funzione dei fattori alimentanti. A tale scopo poi risulterebbe utile prolungare le rilevazioni presso le stazioni di misura in continuo almeno per una stagione idrologica. Questo infatti si prefigurerebbe come il primo monitoraggio di questo tipo fatto su di una risorgiva nella zona e potrebbe fornire importanti indicazioni su quella che è la salute del sistema falda-risorgiva.
- Da un punto di vista qualitativo l'analisi delle acque ha evidenziato superamenti dei parametri indicati dalla attuale normativa (esaclorobutadiene e mercurio). Si tratta comunque si superamenti limitati nel tempo e che richiederebbero verifiche ulteriori.Più significativa invece è stata la presenza di sostanze come nitrati e cloruri. Pur non essendosi mai registrati superamenti dei valori massimi tollerati per legge, si è tuttavia riscontrata una presenza rilevabile in molti siti di risorgiva. Tale fatto trova spiegazione nelle intense attività agricole che caratterizzano l'economia di buona parte del territorio vicentino e che utilizzano sostanze a base di tali composti. L'area di ricarica dell'acquifero è stata soggetta in passato ad alcune importanti contaminazione di solventi, dovute a sversamenti industriali. Di tali contaminazioni si è riscontrata traccia in alcune risorgive, segno che tali contaminati sono tuttora presenti nelle acque sotterranee.

- Infine anche caratterizzazione idrogeochimica ha messo in evidenza che le acque di risorgiva prelevate hanno tutte una forte componente bicarbonatica-calcica, segno che provengono da una falda circolante in acquiferi carbonatici.

In conclusione si può affermare come le risorgive godano attualmente di un buono stato di salute. Le valutazioni condotte sulle portate uscenti e soprattutto le considerazioni fatte in rapporto al livello freatimetrico ci portano a dire che le risorgive della Provincia di Vicenza non sembrano soffrire di nessuna criticità dal punto di vista idrogeologico.
Le analisi chimiche condotte hanno evidenziato sì la presenza di alcuni composti contaminanti, ma gli sforamenti dei limiti di legge sono stati sporadici, per cui anche la qualità delle acque è classificabile nel complesso come buona.

Bibliografia

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

BARALDI F., PELLEGRINI M. (1978) - *I fontanili della pianura compresa tra i fiumi Chiese e Mincio (provincie di Brescia e Mantova).* Quad. Ist. Ric. Sulle Acque C.N.R., 34(18):439-445.

BERTOLDO S.,- *La ricarica artificiale delle falde,* atti del corso di formazione, 8-9 aprile 2014

Bertoldo S., Sottani A., Rigato L. (2015) - *Censimento delle risorgive in provincia di Vicenza (azione d4 – progetto life+10/env/it/000380 aquor): indagini geologiche, idrogeologiche ed ambientali – rapporto tecnico conclusivo.* Relazione conclusiva censimento svolta da Sinergeo s.r.l. per conto dell'amministrazione provinciale di Vicenza.

BORTOLAMI G., FONTES J. CH. (1974) – *Idrogeologia isotopica in un sistema multifalde: la pianura veneta.*

CAMPAGNOLO F., *Idrogeologia della pianura veneta*, atti del corso di formazione, 8-9 aprile 2014

CREMA S., FERRARESE U., GOLO D., MODENA P., (1996). *Ricerche sulla fauna bentonica ed interstiziale di ambienti sorgentizi di area alpina e prealpina.* Centro di ecologia alpina, report n.8 Trento

CONSORZIO BONFICIA PEDEMONTANO BRENTA e ZOLLET INGEGNERIA, (1994), *Studi per la salvaguardia del patrimonio idrico sotterraneo del Bacino del Brenta; la ricarica artificiale della falda nel territorio consortile.*

CONSORZIO DI BONIFICA PEDEMONTANO BRENTA (1997), *Censimento delle risorgive*

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

GHETTI A., (1977). *Idraulica*, libreria internazionale Cortina, Padova

KENDALL C. McDONNELL J. J.(1998), *isotope tracers in catchment hydrology*, Elsevier's science & technology system, Oxford UK

MODENA P., OSELLA G., (1980). *La coleotterofauna di due stazioni umide della basa pianura veronese.* Boll. Mus. Civ. Stat. Nat. Verona VII

MODENA P., SOLBIATI C., (1984). *Le qualità delle acque del fiume Fibbio (VR), con particolare riferimento agli Efemerotteri ed ai Molluschi.* Boll. Mus. Civ. Stat. Nat. Verona 11:403-425

MODENA P., ZANGHERI P., BASSO B., TAROCCO S., - *risorgive del padovano: un percorso naturalistico e di educazione ambientale,* studi sul territorio: l'ambiente e il paesaggio N°13, Provincia di Padova, assessorato all'ambiente.

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

PALLARO R., (1999), *Analisi delle restituzioni dei fontanili tra Astico e Brenta*. Università di Padova, facoltà di ingegneria, relatore prof. Ing. Marani M., correlatori ing. Passadore G., ing. Moniego

M. 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

PERIN J., (2002), *Studio idrogeologico dei fontanili della pianura vicentina tra i fiumi Astico e Brenta*. Università degli studi di Padova, facoltà di Geologia.

RINALDO A., Altissimo L., Putti M., Passadore G., Monego M., Sottani A (2008). *Modello matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'autorità di ambito territoriale ottimale "A.T.O. Brenta" –prima relazione.* Centro internazionale di idrologia Dino Tonini – università degli studi di Padova.

RINALDO A., Altissimo L., Putti M., Passadore G., Monego M., Sottani A (2009). *Modello matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'autorità di ambito territoriale ottimale "A.T.O. Brenta" – seconda relazione intermedia.* Centro internazionale di idrologia Dino Tonini – università degli studi di Padova.

RINALDO A., Altissimo L., Putti M., Passadore G., Monego M., Sottani A (2010). *Modello matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'autorità di ambito territoriale ottimale "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*. Università di Padova, Facoltà di Agraria, Diploma universitario in gestione tecnica ed amministrativa in agricoltura, relatore prof Mario Aristide Lenzi.

SOTTANI N., Pretto L., Viero C., Marcolongo B. (1982*). Gli acquiferi nella pianura a nord di Vicenza*. Tipolitografica sociale artegrafica Cittadella di Padova

SOZZA N., *Studio e riqualificazione delle risorgive del fiume retrone tra i comuni di Altavilla Vicentina e Creazzo*, Tesi di laurea Università degli studi di Padova, facoltà di Agraria, relatore Prof. Mario Aristide Lenzi.

VENETO AGRICOLTURA (2013). *Tecniche dimostrative di ricarica artificiale per il riequilibrio quantitativo della falda dell'alta pianura vicentina.*

Sitografia

http://www.arpaveneto.it

http://comitatorisorgive.it

http://www.lifeaquor.org

http://www.lifesorba.eu

htttp://www.qgis.org

htttp://www.nist.gov

htttp://www.iaea.org

http://www.ott.com