



ARPA FVG

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente
DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

**RILEVAMENTO DELLO STATO
DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI
DELLA REGIONE FRIULI
VENEZIA GIULIA**

RELAZIONE FINALE

22 NOVEMBRE 2006

**RILEVAMENTO DELLO STATO DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI
DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA
RELAZIONE FINALE**

1. PREMESSA

Con convenzione di ricerca, l’Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente del Friuli Venezia Giulia (A.R.P.A. F.V.G.) ha effettuato l’esecuzione di prelievi, analisi e ricerche e la strutturazione della gestione informatica dei dati raccolti, il tutto finalizzato al rilevamento dello stato dei corpi idrici sotterranei della Regione Friuli Venezia Giulia sulla base del monitoraggio di acque piovane e sorgive, di falda superficiale e di falda profonda.

E’stata dunque attivata una “Rete di monitoraggio delle acque piovane”, una “Rete di monitoraggio delle acque sorgive montane” e una “Rete di monitoraggio delle acque profonde artesiane e freatiche di pianura”.

Durante i primi due anni di lavoro si è provveduto ad attivare la “Rete di monitoraggio delle acque piovane” e la “Rete di monitoraggio delle acque sorgive montane”, costituite dapprima da 9 stazioni di monitoraggio ed implementate, durante il secondo anno di attività, a 13 stazioni totali. Ad oggi quindi, sono stati attivati 13 punti di monitoraggio delle acque piovane e 13 sono le sorgenti studiate.

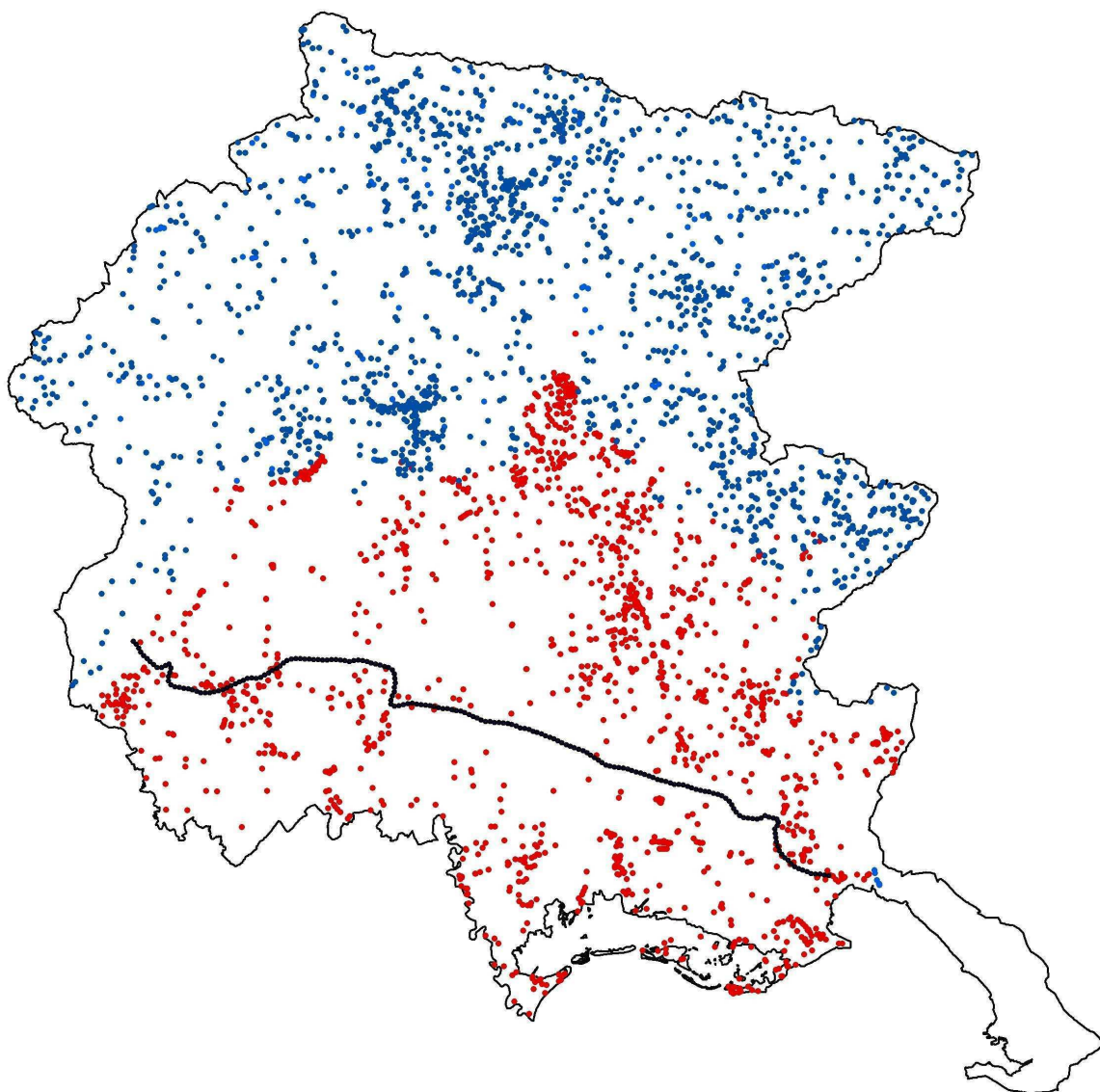


Figura 1: Sorgenti (in blu) e pozzi (in rosso) in Regione.

La maggior parte delle stazioni di prelievo delle acque meteoriche sono state ubicate sui rilievi montani, mentre solo alcune stazioni sono state posizionate nella fascia pedemontana e di pianura del Friuli Venezia Giulia. Tutte le sorgenti monitorate sono di portata a carattere perenne.

Le acque piovane e quelle sorgive montane sono state monitorate procedendo come illustrato di seguito:

- individuazione preliminare delle aree in cui posizionare le stazioni di prelievo,

valutazione della loro funzionalità agli effetti della raccolta, messa in opera nelle stazioni delle attrezzature necessarie alla raccolta ed al campionamento. Nelle stazioni scelte viene eseguito un prelievo mensile delle acque piovane destinato alle analisi di laboratorio per la determinazione dei tenori di: isotopo ^{18}O , Calcio, Magnesio, Sodio, Potassio, Ammonio, Cloruri, Nitrati, Solfati, Bicarbonati, Silice, Fluoruri e Bromuri;

- individuazione delle sorgenti montane ed attivazione di una rete di monitoraggio delle sorgenti prescelte sulla base dei dati bibliografici e di indagini in campo, effettuando prelievi mensili al fine di stabilire la presenza e la quantità di: isotopo ^{18}O , Calcio, Magnesio, Sodio, Potassio, Ammonio, Cloruri, Nitrati, Solfati, Bicarbonati, Silice, Fluoruri e Bromuri;
- elaborazione, tramite software elaborato su supporto GIS compatibile con gli standard regionali, delle "schede di sorgente" e delle "schede di punto acqua", con implementazione di un data-base con dati ed immagini;
- ricerca di dati, con la raccolta bibliografica dei dati qualitativi sulle acque di pioggia inerenti il chimismo e la geochimica; dei dati quantitativi sulle acque di pioggia riferiti alle stazioni pluviometriche esistenti; dei dati geologici e idrogeologici sui bacini montani;
- messa a punto dei metodi di esecuzione delle analisi chimiche e geochimiche;
- rilevamenti di campagna mirati al controllo sul terreno dei dati geologici desunti dalla bibliografia ed utili a realizzare sezioni geologiche rappresentative delle caratteristiche idrogeologiche dei bacini di alimentazione delle sorgenti sotto studio;
- esecuzione di prelievi mensili delle acque piovane per le analisi di laboratorio, atte a determinare la composizione isotopica relativa all'ossigeno (^{18}O) e le concentrazioni degli ioni Calcio, Magnesio, Sodio, Potassio, Ammonio, Bicarbonato, Solfati, Cloruri, Nitrati, Fluoruri, Bromuri e della Silice;
- scelta delle sorgenti montane, sulla base dei dati bibliografici e di indagini in campo, ed attivazione della rete di monitoraggio delle sorgenti prescelte, effettuando prelievi mensili per le analisi di laboratorio, atte a determinare la composizione isotopica relativamente all'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}$) e le concentrazioni degli ioni Calcio, Magnesio, Sodio, Potassio, Ammonio, Bicarbonati, Solfati, Cloruri, Nitrati, Fluoruri e della

Silice;

- elaborazione, in forma tabellare e grafica, ed interpretazione dei dati chimici, chimico-fisici e isotopici raccolti;
- elaborazione, tramite software su supporto GIS, delle "schede monografiche di sorgente", delle "schede di catasto delle sorgenti" e delle "schede monografiche di punto acqua", con implementazione di un data-base con dati ed immagini;
- interpretazione al fine idrogeologico, avvalendosi di tutti i dati a disposizione (bibliografici, geologici, idrogeologici, di rilevamento, isotopici, chimici, chimico-fisici etc.), mediante analisi delle singole categorie di dati e mediante analisi comparata fra le diverse tipologie di informazioni.

Accanto a queste due reti di monitoraggio, se ne è sviluppata una terza, di comune accordo con gli Enti regionali, ovvero la "Rete di monitoraggio delle acque sotterranee di pianura". Le stazioni di pianura consistono in un centinaio di pozzi ubicati in pianura e scelti fra quelli già inclusi nei piani di lavoro di ARPA che prevedono un costante e regolare monitoraggio delle acque mediante analisi chimiche, chimico-fisiche e batteriologiche.

Per queste stazioni di pianura mancavano completamente i dati e le conoscenze sulle caratteristiche geochimiche isotopiche.

Per attivare la rete delle acque profonde di pianura si è dato l'avvio alle seguenti operazioni:

- controllo della funzionalità degli attuali rilievi dell'ARPA al fine di proporre un efficiente piano di monitoraggio di questi pozzi;
- individuazione dei siti idonei per una rete definitiva e ricercare i punti di campionamento sulla base dello stato delle conoscenze (stratigrafia del sottosuolo, armamento dei pozzi, falde monitorate, associazione chimica delle acque, etc.);
- valutazione della necessità di nuovi punti di campionamento nei siti non provvisti di pozzi idonei;
- determinazione dell'isotopo ^{18}O su campioni d'acqua prelevati a frequenza semestrale (2 serie di campionamenti) in 100 pozzi monitorati dall'ARPA e previsti nel piano di lavoro della stessa;

- determinazione delle caratteristiche geochimiche isotopiche delle falde (freatica e artesiane) contenute nella Pianura Friulana in base ai dati isotopici ottenuti;
- elaborazione e interpretazione dei dati chimici e chimico-fisici pregressi forniti da ARPA;
- elaborazione in forma tabellare e grafica ed interpretazione dei dati isotopici raccolti;
- trasferimento dei dati su formato GIS;
- definizione dei bacini di alimentazione delle falde, caratterizzazione delle emergenze e valutazione preliminare della loro vulnerabilità sulla base delle caratteristiche isotopiche e chimiche delle falde, delle conoscenze acquisite e dei rilevamenti effettuati nell'arco dei due anni.

2. MONITORAGGIO DELLE ACQUE PIOVANE

Il clima della Regione, che si può collocare nella fascia temperata boreale, è determinato nella zona montana dall'altitudine e dalla conformazione orografica che danno origine a variazioni climatiche anche notevoli: le Alpi Carniche proteggono la sottostante pianura dai venti freddi e secchi settentrionali, cosa che non fanno la Alpi Giulie disposte in altra direzione. Le Prealpi Carniche a loro volta ostacolano l'afflusso di aria calda ed umida da SE verso le vallate interne, mentre le Prealpi Giulie, scarsamente elevate, sono motivo della ricchezza di precipitazioni nel settore orientale della Regione.

Dall'analisi della carta delle precipitazioni annuali si nota una fascia che presenta la massima piovosità all'interno della regione. Essa si presenta con direzione E-W/NNE-SSW, compresa tra le Alpi e Prealpi Giulie (Massiccio del Monte Canin e Catena dei Monti Musi). Da questa zona procedendo sia verso Nord che verso Sud si assiste ad un decremento delle precipitazioni. Verso meridione il decremento è maggiore in quanto risente della mitigazione del Mare Adriatico, mentre a settentrione il gradiente pluviometrico decresce a causa della vicinanza con l'arco alpino. Da notare inoltre che in queste regioni, per le basse temperature che si registrano durante l'anno, le precipitazioni sono perlopiù a carattere nevoso.

Per caratterizzare le condizioni meteoclimatiche regionali, tra le stazioni di monitoraggio esistenti si sono scelte stazioni di monitoraggio sistemate e tenute sotto osservazione dal Servizio Idraulica della Direzione dell'Ambiente della Regione Friuli Venezia Giulia: esse sono ubicate nella fascia montana e pedemontana e consentono l'analisi puntuale e la ricostruzione storica dell'andamento delle precipitazioni grazie al fatto che gran parte ha cominciato a fornire dati già dal 1948.

La stazione posta nella Catena dei Monti Musi rappresenta la zona interessata dalla massima piovosità: la media annuale di precipitazioni, registrate dal 1948 al 1999, è di 3042 mm, con un picco registrato nel 1960 di ben 4662,10 mm ed un valore minimo di

1874 mm registrato nel 1983. Durante il corso dell'anno i periodi più piovosi risultano quelli autunnali (settembre, ottobre, novembre) e quelli primaverili (aprile, maggio, giugno); il mese più piovoso in assoluto è novembre, mentre quello meno piovoso è febbraio.

Spostandosi nella zona nord orientale della regione dove sono ubicate quattro stazioni, a Pontebba, Camporosso, Tarvisio e Fusine, si nota come le precipitazioni annuali medie siano inferiori a quelle rilevate sulla Catena dei Monti Musi: a Pontebba si attestano sui 1805 mm e decrescono ancora spostandosi verso oriente dove scendono ai 1446 mm di Camporosso, ai 1468 mm di Tarvisio ed ai 1345 mm di Fusine (ove, però, i dati sono disponibili solo dal 1993).

Muovendosi verso sud sono da tenere in considerazione le stazioni di Gemona e di Udine. La piovosità media annuale registrata negli ultimi 50 anni risulta di 1981 mm a Gemona e di 1446 mm a Udine, a conferma del notevole decremento delle precipitazioni andando verso meridione.

Le stazioni ubicate nella zona occidentale della regione, a Forni di Sopra e ad Aviano, presentano rispettivamente una media annuale di piovosità di 1446 mm e di 1599 mm. La riduzione di piovosità che si ha solitamente procedendo da nord a sud qui non si rileva, data la particolare posizione geografica di Aviano, sito immediatamente a ridosso delle Prealpi Carniche, le quali impediscono il passaggio delle masse d'aria e causano una notevole ricchezza di precipitazioni.

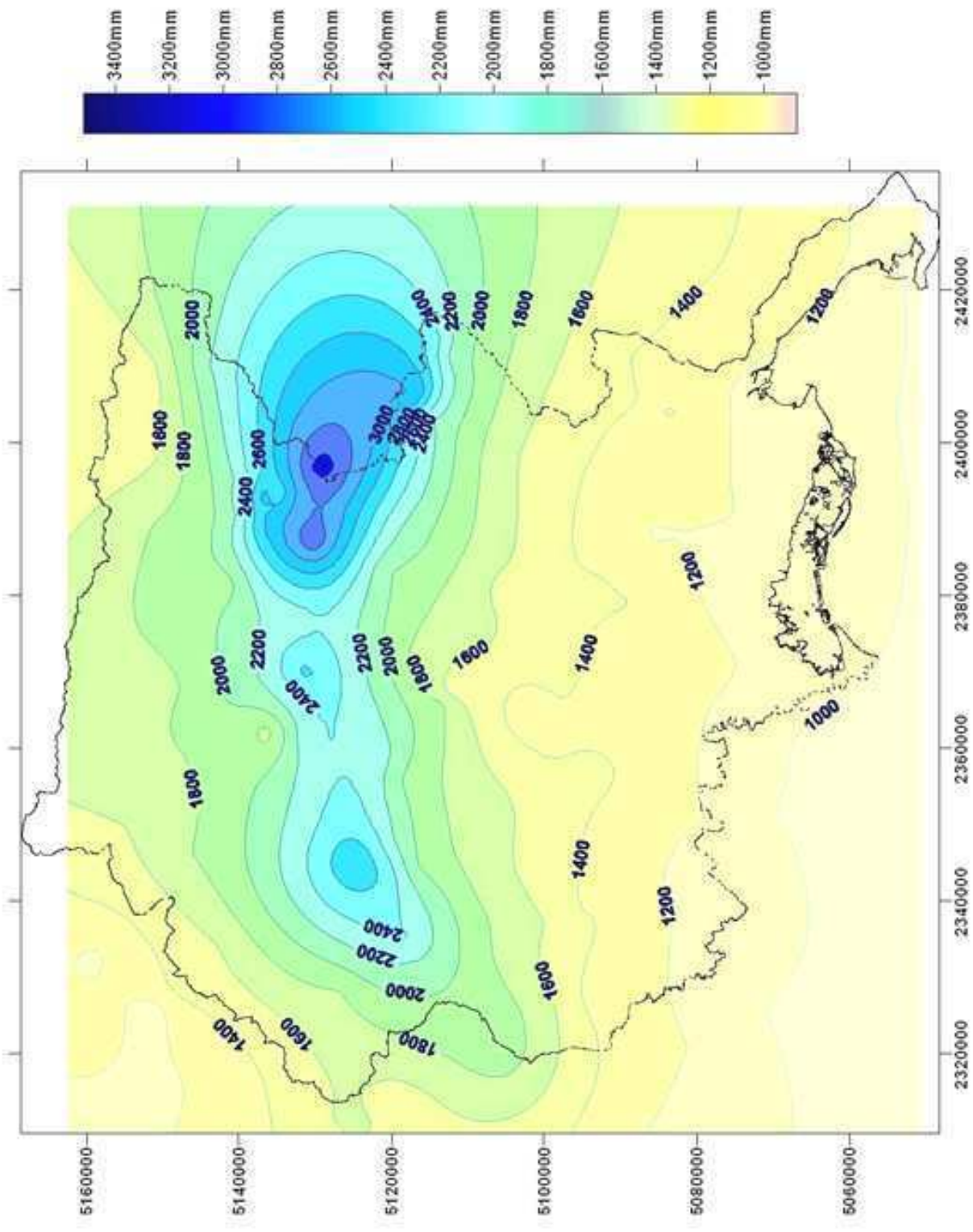


Figura 2.1: Le precipitazioni in mm/anno

2.1. Rete di monitoraggio delle acque piovane

La rete di monitoraggio delle acque piovane consta di 13 stazioni, munite di opportuni pluvio-raccoglitori, distribuite il più possibile uniformemente sul territorio regionale, anche se ubicate prevalentemente in area montana e solo in piccola parte in area pedemontana e di pianura. Otto stazioni sono attive da settembre 2004, quella dei Monti Musi da ottobre 2004, le ultime quattro, aggiunte solo successivamente per una migliore caratterizzazione del territorio, sono attive da luglio 2005.

Stazioni di raccolta delle acque piovane

sigla	località	attiva da:
P1	Tarvisio	Settembre 2004
P2	Saletto (Val Raccolana)	Settembre 2004
P3	Musi	Ottobre 2004
P4	Monte Matajur	Settembre 2004
P5	Gemona	Settembre 2004
P6	Enemonzo	Settembre 2004
P7	Monte Zoncolan	Settembre 2004
P8	Andrazza (Forni di Sopra)	Settembre 2004
P9	Altopiano del Cansiglio	Settembre 2004
P10	Roveredo	Luglio 2005
P11	Barcis	Luglio 2005
P12	Palmanova	Luglio 2005
P13	Paularo	Luglio 2005

I pluvio-raccoglitori sono stati posizionati in prossimità o all'interno dei terreni di pertinenza di stazioni meteorologiche già esistenti, previa concessione dei corrispettivi enti proprietari (OSMER, Protezione Civile e Servizio Idraulica della Direzione dell'Ambiente della Regione Friuli-Venezia Giulia¹). In tal modo, oltre a fruire dei numerosi dati meteorologici, è stato possibile evitare, grazie al monitoraggio quasi in tempo reale dell'entità delle precipitazioni via WEB, gli eventuali trabocchi dei pluvio-raccoglitori prima delle date di campionamento previste.

¹ Si coglie l'occasione per ringraziare tutti i tecnici ed il personale in genere di questi Enti per la disponibilità e per l'aperta collaborazione.

I pluvio-raccoglitori sono stati sostituiti con cadenza pressoché mensile. Dai contenitori ritirati è stata estratta l'acqua piovana solo dopo aver determinato, mediante asta graduata, i quantitativi volumetrici raccolti (espressi in ml). I campioni d'acqua così prelevati sono stati analizzati nel Laboratorio di chimica del Dipartimento Dei Materiali e delle Risorse Naturali (coordinatore dott. Loris Sartore, operatrice dott. Raffaella Piani) e nel Laboratorio di Geochimica Isotopica del Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine (coordinatore dott. Onelio Flora, coadiuvato dalla dott.sa Barbara Stenni e dott.sa Laura Genoni) per la determinazione della composizione isotopica relativamente all'isotopo stabile ^{18}O , dei parametri chimico-fisici quali acidità e conducibilità (riferite a 25 °C), delle concentrazioni, espresse in mg/l, dei principali ioni (Ca, Mg, Na, K, NH_4 , HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3 , F, Br) e della silice.

Considerata la lunga permanenza in loco dell'acqua e le modalità di raccolta, comprensive delle precipitazioni sia umide che secche, va sottolineato che i risultati delle analisi chimiche e chimico-fisiche sono indicativi.

Diversamente, i risultati delle analisi inerenti la composizione isotopica dell'acqua non sono stati compromessi, grazie all'aggiunta nei pluvio-raccoglitori di 500 ml di vaselina liquida che, oltre ad impedire l'evaporazione, evita gli scambi isotopici con l'atmosfera.



Figura 2.1.1: Uno dei raccoglitori installati.

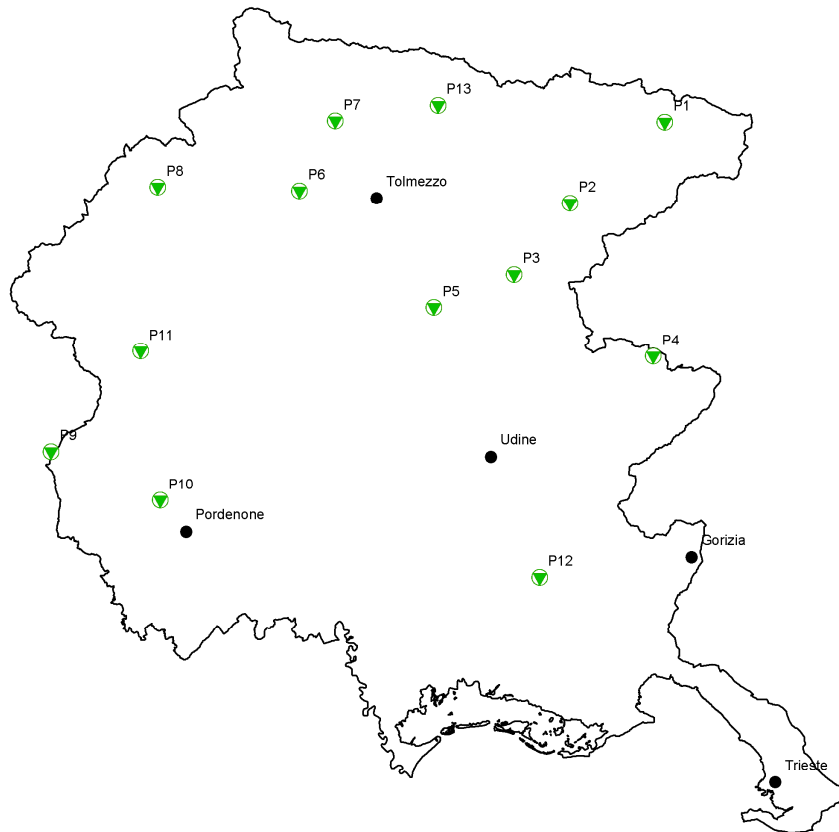


Figura 2.2.1: Ubicazione delle stazioni pluviometriche monitorate.

2.2. Caratteristiche dei siti

Nell'Allegato 1 sono presentate:

- mappa raffigurante i confini regionali con le ubicazioni di tutte le stazioni pluviometriche e le sorgenti monitorate;
- schede monografiche delle stazioni pluviometriche;
- database in formato Access;
- tutti i dati in possesso (fino all'ottobre 2006) e le principali elaborazioni, in forma tabellare e grafica.

Schede monografiche: le schede monografiche riportano i dati di sintesi relativi ad ogni stazione pluviometrica monitorata (Coordinate Gauss-Boaga, Quota, Elemento CTRN, Provincia, Comune, Località, Proprietà, Sigla Proprietario, Mese di attivazione) e sono corredate di fotografia e mappa con l'ubicazione della stazione pluviometrica.

Database: il database strutturato in formato *Access* riporta quasi tutte le informazioni già contenute all'interno delle schede monografiche come Area Geografica, Tipo, Proprietà, Posizionamento, Coordinate Gauss-Boaga, Quota, Note e Data di posizionamento e Data di prelievo).

2.2.1. Tabelle e grafici relativi alla composizione isotopica delle acque piovane

I dati relativi alla composizione isotopica dell'acqua vengono riportati di seguito nelle tabelle 1 e 2.

Nella tabella 1 sono indicati, per ogni stazione, l'ubicazione (coordinate Gauss-Boaga e quota), i periodi di raccolta dell'acqua piovana, i rispettivi quantitativi volumetrici ed i valori del $\delta^{18}\text{O}\%$.

Nella stessa tabella, considerando i valori del $\delta^{18}\text{O}\%$ riscontrati nel periodo campionato, vengono dati i valori minimi e massimi (in termini assoluti), le entità delle escursioni, le medie aritmetiche semplici e le medie ponderate in base ai quantitativi volumetrici raccolti. Quest'ultimo dato rappresenta il valore del $\delta^{18}\text{O}\%$ che si sarebbe ottenuto per ogni stazione mescolando fra loro tutte le precipitazioni fin qui raccolte.

Nella tabella 2 gli stessi parametri sono sintetizzati per il periodo di monitoraggio. Dato che al fine interpretativo sono più significativi i dati relativi ad un ciclo climatico completo, sono anche elencati i valori su base biennale per i primi 9 pluviometri e su base annuale per i 4 attivati in tempi più recenti.

Dalla tabella 1 sono stati ricavati, in ordine di successione, i seguenti grafici:

- per una visione d'insieme, un unico grafico rappresentante le serie temporali dei valori del $\delta^{18}\text{O}\%$ di tutte le stazioni e, per un maggior dettaglio, lo stesso grafico ma considerando una stazione alla volta;
- i grafici, per ogni singola stazione, rappresentanti le serie temporali dei quantitativi

volumetrici di acqua piovana raccolta alle quali sono abbinate, utilizzando un doppio asse delle ordinate, anche le serie temporali dei valori del $\delta^{18}\text{O}\%$. In tal modo è possibile valutare a vista il “peso” di ogni singolo valore del $\delta^{18}\text{O}\%$ ed è possibile evidenziare l'effetto quantità.

Dalla tabella 2 sono ricavati, in ordine di successione, i seguenti elaborati:

- grafico rappresentante i valori massimi, minimi e medi ponderati, calcolati in base ai quantitativi volumetrici, del $\delta^{18}\text{O}\%$. Da questo grafico è possibile valutare visivamente l'entità dell'escursione;
- grafico di correlazione tra le quote altimetriche di ubicazione dei pluviometrici raccoglitori e i valori delle medie ponderate del $\delta^{18}\text{O}\%$. In questo grafico si evidenzia l'effetto altitudine;
- mappa raffigurante i confini comunali e cerchi ubicati come le stazioni e aventi raggi proporzionali ai valori medi ponderati del $\delta^{18}\text{O}\%$. Sono state utilizzate diverse tonalità di blu per differenziare le prime nove sorgenti dalle restanti quattro.

2.2.2. Tabelle e grafici relativi ai parametri chimici e chimico-fisici delle acque piovane

Per quanto riguarda i dati relativi ai parametri chimici e chimico-fisici misurati in laboratorio, nella tabella 3 sono indicati, per ogni stazione e per tutti i campionamenti, i periodi di raccolta dell'acqua piovana e i corrispettivi quantitativi volumetrici rilevati, le concentrazioni espresse in mg/l, degli ioni Ca, Mg, Na, K, NH_4 , HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3 , F, Br e della silice, i valori di acidità (pH) e conducibilità (k_{25}) riferiti a 25 °C. Nella tabella 4 sono invece elencati, per ogni stazione, i valori delle concentrazioni, espresse in mg/l, ricavati dalla media aritmetica semplice estesa su tutto il periodo di campionamento.

Infine, nella tabella 5, vengono dati i valori delle concentrazioni ricavati dalla media ponderata in base ai quantitativi delle acque piovane raccolte durante tutto il periodo in osservazione. Questi valori sono i più significativi e costituiscono i valori medi reali, dato che rappresentano le concentrazioni che si sarebbero ottenute per ogni stazione mescolando fra loro tutte le precipitazioni fin qui raccolte.

Dalle tabelle sono stati ricavati i seguenti grafici:

- per una visione d'insieme, un unico grafico rappresentante le concentrazioni ioniche medie ponderate, espresse in mg/l, relative a tutte le stazioni;
- due grafici per ogni singola stazione, rappresentanti le serie temporali delle concentrazioni, espresse in mg/l e a due scale differenti, dei principali ioni;
- una serie di classici diagrammi utilizzati in idrochimica (ternari, di Durov e di Piper), relativi alle concentrazioni dei principali ioni espresse in meq/l ed ottenuti considerando solo i valori medi degli stessi.

Per evidenziare le variazioni spaziali delle concentrazioni, è raffigurata la mappa dei confini regionali e comunali con sovrapposti diagrammi a torta ubicati in corrispondenza delle stazioni e relativi alle concentrazioni ioniche medie ponderate espresse in meq/l. A questa tipologia di diagrammi è stata apportata una modifica mediante l'inserimento di un cerchio interno avente raggio proporzionale al valore di T.D.S., al fine di dare idea non solo dei rapporti fra le concentrazioni ioniche ma anche del grado di salinità totale. Per questioni di rappresentabilità, il raggio massimo del cerchio interno è stato posto pari a metà del raggio della torta e con valore massimo uguale a 100 mg/l.

Gli stessi diagrammi sono successivamente ripresentati singolarmente, per rappresentare gli ioni presenti in concentrazioni minime e quindi scarsamente visualizzati nelle figure precedenti, con indicati, attorno alle circonferenze delle "torte", i valori percentuali (meq%) delle concentrazioni espresse in meq/l.

2.3. Considerazioni generali sulla composizione isotopica delle acque piovane

Solamente negli ultimi anni stazioni pluviometriche posizionate nel Friuli Venezia Giulia sono state utilizzate per la determinazione dei valori del $\delta^{18}\text{O}\%$ delle precipitazioni atmosferiche allo scopo di raccogliere dati di base da utilizzare per studi idrogeologici.

Nel 1994 uno studio condotto da D'Amelio, Flora e Longinelli evidenziò, sulla base di campioni collezionati in quattro differenti località (Trieste, Basovizza, Feletto Umberto e Rivo), che il gradiente verticale della regione è di circa -0.3% ogni 100 m di incremento di quota. In lavori successivi Longinelli e Selmo (2003) e Longinelli et Al. (2006) hanno

ampliato il quadro di studio (prendendo in esame anche i dati di composizione isotopica delle acque raccolte a Pordenone) ed hanno elaborato valori medi ponderati per le piogge della regione che variano tra -6.60‰ a Trieste (sul livello del mare) e -8.33‰ a Rivo (615 m sul livello del mare). Pur non essendoci dati su pluviometri situati ad alte quote, ipotizzano inoltre un valore medio ponderato per le zone alpine attorno a -9.0‰ estrapolando i dati di un pluviometro sito nella zona di Ortisei (1234 m s.l.m.) in Trentino Alto Adige.

Quanto ottenuto in seguito alla presente convenzione (su base biennale per nove stazioni pluviometriche e annuale per le altre quattro) permette di ampliare e migliorare notevolmente le conoscenze su questi importanti dati di base, di creare le linee di contorno dei valori isotopici medi della Regione e di aggiornare il valore del gradiente verticale.

In figura 2.3.1 sono schematizzate le ubicazioni dei 13 pluviometri e le curve di contorno dei valori medi ponderati delle composizioni isotopiche delle piogge, così come estrapolabili dalle 277 misure elaborate. La carta delle isolinee dei valori isotopici medi ponderati indica che nell'Alta Pianura piovono acque che hanno valori isotopici medi variabili da -7‰ a -7.5‰ . Di conseguenza, visti i gradienti, nella Bassa Pianura i valori orientativamente dovrebbero essere di -7‰ e di -6‰ .

Lungo i rilievi i valori isotopici medi ponderati variano invece da -7.7‰ a -10.5‰ con valori medi rappresentativi di -9.0‰ .

Si rileva altresì un forte effetto di stagionalità, con ampie variazioni dei valori isotopici (ad esempio di 16 unità nel pluviometro P1 posizionato a Tarvisio).

Sulla base dei dati elaborati in questo studio, il valore di gradiente altimetrico è -0.29‰ ogni 100 m, a miglioramento dei dati precedentemente proposti per la Regione. Nelle zone montane questo è un valore di riferimento, in quanto l'orografia delle valli fa sì che si possano ottenere valori differenti anche dell'ordine di una grandezza e inversioni di valore con le piogge sui rilievi che ricevono acque più pesanti delle zone a fondo valle.

Il gradiente verticale ottenuto per la Regione in realtà è anche comprensivo degli effetti di latitudine e continentalità.

In linea generale, il gradiente delle Regione ottenuto da questo studio (-0.29 ‰) è anche in buon accordo con i dati recentemente presentati dai ricercatori austriaci per la parte meridionale delle Alpi Austriache e basati su 8 stazioni pluviometriche ubicate nelle vicinanze del confine di Stato. Risulta infatti che in corrispondenza dei rilievi austriaci, che ormai sono in regime di continentalità, il gradiente verticale è di -0.21‰ (Kralik et Al., 2006).

Anche i dati della vicina Slovenia indicano variazioni di gradiente verticale che vanno da -0.15‰ nelle zone costiere a -0.37‰ nella fascia alpina (Vreca et Al., 2006). Va comunque tenuto presente che questi gradienti variano annualmente, dal che si intuisce l'importanza della creazione di una rete di monitoraggio pluriennale al fine di utilizzare tutti i dati al contorno e compararli a quelli delle acque della nostra Regione.

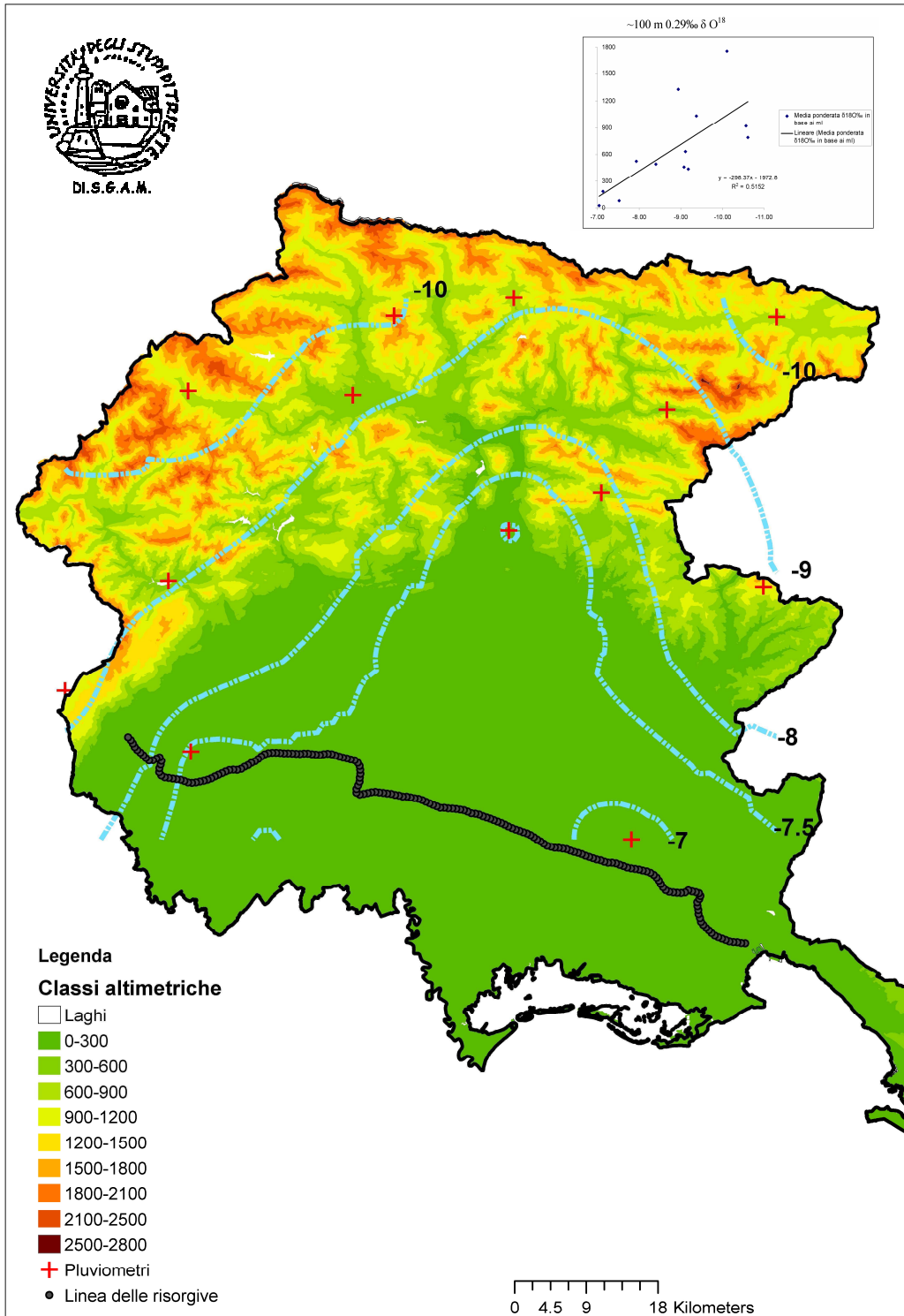


Figura 2.3.1.: Valori medi ponderati di $\delta^{18}O$ ‰ delle precipitazioni.

3. MONITORAGGIO ACQUE SORGIVE

La rete di monitoraggio delle acque sorgive consta di 13 sorgenti. Due sono monitorate dal mese di settembre 2004, sette dall'ottobre 2004, quattro dal giugno 2005.

Stazioni di raccolta delle acque sorgive

sigla	sinonimo	attiva da:
S1	Tarvisio	Settembre 2004
S2	Stretti	Settembre 2004
S3	Musi	Ottobre 2004
S4	Stupizza	Ottobre 2004
S5	Gemona	Ottobre 2004
S6	Verzegnis	Ottobre 2004
S7	Ravaschetto	Ottobre 2004
S8	Forni di Sotto	Ottobre 2004
S9	Santissima	Ottobre 2004
S10	Travesio	Giugno 2005
S11	Barcis	Giugno 2005
S12	Moggio Udinese	Giugno 2005
S13	Paularo	Giugno 2005

La maggior parte delle sorgenti sono captate, in genere solo parzialmente, a fini idropotabili e/o civili, agricoli e industriali: per potervi accedere si sono presi contatti con gli Enti preposti.

Le sorgenti sono state scelte sulla base dei dati bibliografici e fra quelle inserite nel Catasto informatico georeferenziato delle sorgenti montane della Regione Friuli-Venezia Giulia, in maniera tale che alla fine risultassero il più possibile distribuite uniformemente nell'area montana e pedemontana e che fossero, per quanto possibile (considerato l'esiguo numero monitorato) rappresentative delle tipologie e delle diverse condizioni idrogeologiche rinvenibili nel territorio regionale.

Le sorgenti hanno un tipo di emergenza a carattere perenne, il che ha garantito continuità al monitoraggio, e sono di buona accessibilità.

Il monitoraggio, eseguito con cadenza pressochè mensile, è consistito nella misura dei valori di conducibilità (riferita a 25°C) e temperatura all'emergenza e nel prelievo di

campioni d'acqua, secondo le metodologie in uso. I campioni prelevati sono stati avviati al Laboratorio di chimica del Dipartimento Dei Materiali e delle Risorse Naturali (coordinatore dott. Loris Sartore, operatrice dott. Raffaella Piani) e nel Laboratorio di Geochimica Isotopica del Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine (coordinatore dott. Onelio Flora, coadiuvato da Barbara Stenni e Laura Genoni), per la determinazione della composizione isotopica relativamente all'isotopo stabile ^{18}O , dell'acidità (riferita a 25 °C), delle concentrazioni, espresse in mg/l, dei principali ioni (Ca, Mg, Na, K, NH_4 , HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3 , F, Br) e della silice. Da questi dati di ingresso sono stati calcolati successivamente numerosi altri parametri. Al fine di definire la classe di appartenenza dello stato chimico (D. Lgs. 152/99) e della qualità di base delle acque destinate al consumo umano (Civita et Al., 1998), per le acque campionate nell'ottobre 2006 sono state determinate anche le concentrazioni di Ferro e Manganese.

Nell'Allegato 2 sono presentati:

- la mappa raffigurante i confini regionali con le ubicazioni di tutte le sorgenti;
- le schede monografiche delle sorgenti montane monitorate;
- le schede di catasto delle sorgenti montane monitorate;
- i diagrammi relativi allo stato chimico e alla qualità di base delle acque destinate al consumo umano;
- una carta geologica in scala 1:25000, uno stralcio della carta stessa in scala 1:5000 ed una sezione geologica per ogni sorgente;
- tutti i dati raccolti durante le campagne di indagini chimiche e isotopiche, aggiornati al mese di ottobre del 2006, e le principali elaborazioni degli stessi, in forma tabellare e quindi grafica, che hanno agevolato la corretta interpretazione, al fine idreologico, delle sorgenti.

Le schede monografiche riportano i dati di sintesi relativi ad ogni sorgente monitorata (Codice sorgente, Coordinate Gauss-Boaga, Quota, Elemento CTNR, Provincia, Comune, Località, Proprietà, Mese di attivazione) e sono corredate di fotografia e mappa con l'ubicazione dell'emergenza.

Le schede di catasto delle sorgenti montane della Regione Friuli-Venezia Giulia integrano le schede precedenti e constano di tre sezioni:

- dati generali della sorgente, riguardanti le codifiche, le denominazioni in uso e l'ubicazione (Coordinate Gauss-Boaga, Quota, Elemento CTNR, Tavoleta I.G.M., Provincia, Comune, Località). Le coordinate Gauss-Boaga e le quote fanno riferimento ai punti di campionamento delle acque sorgive e sono state ricavate dopo aver georeferenziato gli stessi sugli elementi della Carta Tecnica Numerica Regionale.
- utilizzo della sorgente; questa sezione fa riferimento alla eventuale disponibilità di dati pregressi inerenti le analisi condotte sulle acque (chimiche, fisiche, idrogeologiche e microbiologiche) e all'eventuale utilizzo della sorgente; in caso di captazione viene data anche una breve descrizione riguardo le opere di presa (tipo d'uso e proprietario, portata utilizzata, a captazione totale o parziale, periodo di attivazione e utilizzatore);
- caratteristiche idrogeologiche; questa sezione fa riferimento a dati di interesse prettamente idrologico e idrogeologico. Dapprima sono riportati gli elementi per la caratterizzazione delle emergenze quali tipo di sorgente (perenne, secca stagionalmente, secca eccezionalmente), tipo di emergenza (localizzata, diffusa, lineare, fronte sorgivo), classificazione sintetica della sorgente secondo Civita (prevede sei casi: per limite di permeabilità definito o indefinito, per soglia di permeabilità sottoposta o sovrainposta, per affioramento della superficie piezometrica di falde o reti idriche libere o in pressione). In seguito, oltre a dati relativi ai bacini e sottobacini idrografici di pertinenza, alle portate (massime, minime e medie) e ai periodi di magra e di piena più frequenti, vengono riportate informazioni di interesse idrogeologico quali i complessi idrogeologici affioranti nel bacino di alimentazione e alla sorgente.

Al fine di definire la classe di appartenenza dello stato chimico (D. Lgs. 152/99) e della qualità di base delle acque destinate al consumo umano (Civita et Al., 1998) per le acque campionate nell'ottobre 2006 sono state determinate anche le concentrazioni di Ferro e Manganese.

Per la determinazione dello stato chimico (D.Lgs. 152/99) della risorsa idrica sotterranea, si prendono in considerazione sette parametri di base (conducibilità elettrica

specifica a 20°C, cloruri, nitrati, solfati, ione ammonio, ferro e manganese) e i loro valori limite. La classe chimica del corpo idrico è determinata dalla classe peggiore riscontrata per i diversi parametri.

Le cinque classi qualitative sono definite nella tabella seguente:

Classe 1	Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche.
Classe 2	Impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche.
Classe 3	Impatto antropico significativo con caratteristiche idrochimiche generalmente buone ma con alcuni segnali di compromissione.
Classe 4	Impatto antropico rilevante: caratteristiche idrochimiche scadenti.
Classe 0	Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari <i>facies</i> idrochimiche naturali in concentrazioni al di sopra della Classe 3 (*).
	(*)Per la valutazione dell'origine endogena delle specie idrochimiche presenti dovranno essere considerate anche le caratteristiche chimico-fisiche delle acque.

Per attribuire la qualità di base di una risorsa idrica sotterranea, si prendono in considerazione otto parametri, suddivisi in due gruppi (gruppo 1: durezza totale, conducibilità elettrica specifica a 20°C, cloruri, nitrati, solfati; gruppo 2: ione ammonio, ferro e manganese). La classe del corpo idrico sotterraneo è determinata dalla classe peggiore riscontrata per i diversi parametri.

Per ogni parametro sono stabiliti degli intervalli di valori (il Valore Guida e la Concentrazione Massima Ammissibile riportati nel DPR 236/88) che individuano tre classi di qualità: ottima (classe A), media (classe B) e scadente (classe C). Secondo questa classificazione si individuano sei classi di qualità (tre per ogni gruppo) che, combinate nei diversi modi, originano nove classi di qualità di base: A1A2, A1B2, A1C2, B1A2, B1B2, B1C2, C1A2, C1B2 e C1C2.

Per ogni sorgente sono state realizzate:

- una carta geologica in scala 1:25.000, in cui sono rappresentate l'emergenza e i limiti dei bacini idrografici della regione (fino al sesto ordine);
- uno stralcio della carta precedente, ma in scala 1:5.000 per meglio evidenziare

l'areale, l'ubicazione e le modalità di emergenza;

- una sezione geologica, orientata in modo tale da evidenziare il più possibile le cause di emergenza, l'assetto strutturale e le caratteristiche idrogeologiche del bacino di alimentazione.

Questi elaborati grafici sono stati realizzati sulla base di dati desunti sia dal rilevamento, sia dalla bibliografia ed utilizzando, come base cartografica, la Carta Tecnica Regionale Numerica alla scala 1:25000 e 1:5000. Le denominazioni utilizzate per le diverse unità litologiche sono quelle note in letteratura ed in particolare fanno riferimento a quelle della recente *Carta geologica del Friuli Venezia Giulia*, in scala 1:150.000 (CARULLI G. B. et AL., 2006).

Gli elaborati contengono anche informazioni di carattere idrogeologico: le principali unità geologiche sono distinte tramite differenti colori, sono state utilizzate diverse tonalità di colore per differenziare quattro classi di permeabilità relativa (violetto per quelle impermeabili, marrone per le poco permeabili, verde per le mediamente permeabili, blu per le molto permeabili). I valori di permeabilità attribuiti hanno naturalmente valore indicativo; ai complessi idrogeologici caratterizzati da alternanze di litologie differenti e da caratteristiche di permeabilità variabili, è stata attribuita una classe di permeabilità complessiva.

Le sezioni geologiche contengono, per completezza, elementi aggiuntivi: sono state distinte, per mezzo di differenti retinature, le diverse unità quaternarie o, nel caso di complessi idrogeologici composti ed eterogenei, le singole unità litologiche che li costituiscono.

Per quanto riguarda i dati e le elaborazioni in possesso, nell'Allegato 2 sono presentati dapprima quelli relativi alla composizione isotopica dell'acqua e successivamente quelli inerenti i parametri chimici e chimico-fisici.

3.1. Tabelle e grafici relativi alla composizione isotopica delle acque sorgive montane

Per quanto concerne i dati relativi alla composizione isotopica dell'acqua, questi sono stati utilizzati in duplice maniera. Basandosi sull'andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e soprattutto sull'entità delle escursioni, si sono effettuate delle considerazioni qualitative sulle modalità di circolazione sotterranea delle acque delle singole sorgenti (circuiti più o meno approfonditi e più o meno lunghi, limitata o grande capacità di immagazzinamento della riserva idrica). Dal confronto fra i dati delle singole sorgenti e quelli relativi ai punti della rete di monitoraggio delle acque piovane (utilizzando soprattutto quelli situati più vicino alle emergenze), si sono meglio definite le modalità di circolazione e si sono ottenute informazioni sulle possibili quote medie dei bacini di alimentazione delle sorgenti. Naturalmente queste interpretazioni sono state agevolate e validate dall'analisi comparata con tutti gli altri tipi di dati in possesso (idrogeologici, chimici, chimico-fisici etc.).

Nella tabella 6 sono indicati, per ogni sorgente, l'ubicazione (coordinate Gauss-Boaga e quota), la data di prelievo dell'acqua sorgiva e i valori del $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e, considerando i valori del $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ riscontrati nel periodo campionato, sono esposti i valori minimi e massimi (in termini assoluti), le entità delle escursioni, le medie aritmetiche semplici e le medie aritmetiche ponderate in base al numero dei giorni intercorsi fra un campionamento e l'altro.

Dato che al fine interpretativo sono più significativi i dati relativi ad un ciclo climatico completo su base annuale o pluriennale, nella tabella 7 gli stessi parametri sono stati calcolati su base biennale per le prime 9 sorgenti e su base annuale per le 4 attivate in tempi più recenti.

Dalla tabella 6 sono stati ricavati, in ordine di successione, i seguenti grafici:

- per una visione d'insieme, un unico grafico rappresentante le serie temporali dei valori del $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ di tutte le sorgenti;
- per un maggior dettaglio, considerando una sorgente alla volta.-

Dalla tabella 7 è stato ricavato il grafico rappresentante i valori massimi, minimi e medi ponderati, in base al numero dei giorni intercorsi fra un campionamento e l'altro, del $\delta^{18}\text{O}$ ‰, calcolati su base biennale per le prime 9 sorgenti e su base annuale per le ultime 4. Da questo grafico è possibile anche valutare visivamente l'entità dell'escursione.

3.2. Tabelle e grafici relativi ai parametri chimici e chimico-fisici delle acque sorgive montane

L'interpretazione al fine idrogeologico si è avvalsa di tutti i dati a disposizione (bibliografici, geologici, idrogeologici, di rilevamento, chimici isotopici, chimici, chimico-fisici etc.) mediante analisi delle singole categorie di dati e mediante analisi comparata fra le diverse tipologie di informazioni. Fra tutti i dati a disposizione, quelli chimici e chimico-fisici sono numericamente i più consistenti.

Le tabelle e i grafici presentati nell'Allegato 2 consentono di effettuare l'interpretazione idrogeologica delle singole sorgenti monitorate e dei rispettivi bacini di alimentazione e di trarre considerazioni a livello generale riguardanti gli acquiferi montani, ricordando che le sorgenti montane sono caratterizzate da acquiferi sospesi, discontinui e di limitata estensione areale, con sovente chimismi differenti fra sorgenti ubicate a breve distanza.

Per quanto riguarda i dati relativi ai parametri chimici e chimico-fisici, nelle tabelle 8 e 9 sono elencati, i parametri di ingresso (concentrazioni ioniche, espresse in mg/l, di Ca, Mg, Na, K, NH_4 , HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3 , F, Br e silice, parametri misurati in situ e in laboratorio, quali conducibilità e temperatura all'emergenza e acidità) e numerosi altri dedotti dal calcolo. Questi sono:

- le concentrazioni di tutti gli ioni e della silice espresse in meq/l in quanto, fra tutte le unità di misura con cui è possibile esprimere le concentrazioni, questa è fra le più significative dal punto di vista chimico, idrochimico e idrogeologico;
- le formule ioniche. In idrochimica sono utilizzate diverse formule ioniche che permettono di fornire una rapida caratterizzazione preliminare dell'acqua; quella qui presentata è ottenuta ordinando i cationi, seguiti dagli anioni, in modo decrescente in base alle rispettive concentrazioni espresse in meq% e considerando solo gli ioni con concentrazioni superiori al 10%;

- i principali rapporti caratteristici (Ca/Mg Ca/SO₄ Mg/SO₄) ricavati dai valori delle concentrazioni espresse in meq/l;
- i parametri fisici e chimico-fisici, calcolati dai valori delle analisi chimiche ed espressi in mg/l, quali TDS, durezza totale e alcalinità.

Nelle tabelle 10, 11 e 12 sono invece presentati, per una visione di sintesi, i valori medi degli stessi parametri riportati nelle tabelle 8 e 9, ottenuti dalla media aritmetica semplice estesa a tutto il periodo monitorato.

Dalle tabelle 8 e 9, relative a tutti i campionamenti, sono stati ricavati due grafici per ogni singola sorgente, riguardanti le serie temporali delle concentrazioni, espresse in mg/l e a due scale differenti, dei principali ioni e una serie di grafici singoli, rappresentanti tutte le sorgenti, con le serie temporali relative ad ogni parametro chimico-fisico e fisico (conducibilità, TDS, acidità e temperature).

Dalle tabelle 10, 11 e 12, relative ai valori medi, sono stati invece ricavati i seguenti grafici raffiguranti unitamente tutte le sorgenti esaminate:

- un grafico con le concentrazioni ioniche medie, espresse in mg/l;
- un grafico con le concentrazioni ioniche espresse in meq/l;
- quattro istogrammi con le concentrazioni ioniche espresse in meq/l;
- istogrammi con i rapporti caratteristici medi (Ca/Mg, Ca/SO₄, Mg/SO₄) ricavati dai valori delle concentrazioni espresse in meq/l;
- istogrammi con i valori medi di conducibilità, TDS, durezza totale, alcalinità;
- un grafico con i valori massimi, minimi e medi delle temperature da cui valutare visivamente l'entità dell'escursione termica.

Di seguito è presentata una serie di classici diagrammi utilizzati in idrochimica (ternari, di Durov, di Piper e di Schoeller), relativi alle concentrazioni dei principali ioni espresse principalmente in meq/l ed ottenuti considerando solo i valori medi degli stessi, ed una serie di diagrammi di correlazione, relativi sia a concentrazioni di certi ioni che a parametri chimico-fisici.

Infine, per evidenziare le variazioni spaziali delle concentrazioni degli ioni fra le diverse sorgenti considerate, è raffigurata la mappa dei confini regionali e comunali con sovrapposti dei diagrammi a torta, ubicati come le sorgenti e relativi alle concentrazioni

ioniche medie espresse in meq/l. A questa tipologia di diagrammi è stata apportata una modifica mediante l'inserimento di un cerchio interno avente raggio proporzionale al valore di T.D.S., al fine di poter dare idea non solo dei rapporti fra le concentrazioni ioniche ma anche del grado di salinità totale. Per questioni di rappresentabilità, il raggio massimo del cerchio interno è stato posto pari a metà del raggio della torta e con valore massimo uguale a 1000 mg/l.

Gli stessi diagrammi sono successivamente ripresentati singolarmente, per meglio evidenziare gli ioni presenti in concentrazioni minime e quindi scarsamente visualizzati nella figura precedente, con in aggiunta indicati, attorno alle circonferenze delle "torte", anche i valori percentuali (meq%) delle concentrazioni espresse in meq/l. Queste rappresentazioni sono quelle che riescono meglio a visualizzare, in modo quasi immediato, i diversi tipi di litologie attraversati dalle acque sotterranee.

3.3.Caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dei bacini

3.3.1. BACINO SORGENTE S1

La sorgente è situata nelle Alpi Carniche, in comune di Malborghetto Valbruna, poco a ovest della frazione di Ugovizza e a ridosso della S.S. Pontebbana (Km 211) alla quota di 753 m s.l.m.m.

La sorgente è ubicata in destra orografica del Fiume Fella, alle pendici del versante sud-orientale del Monte Stabet (1527 m) che è una boscosa elevazione compresa tra il Vallone di Malborghetto e la Val Rauna.

Il tratto di versante d'interesse è privo di idrografia superficiale nella parte inferiore, costituita da depositi permeabili, che di norma sono in grado di assorbire sia le acque di precipitazione insistenti su di essi che di ruscellamento provenienti dalla parte sovrastante. In quest'ultima affiora principalmente la Dolomia dello Sciliar che si presenta con stratificazione metrica suborizzontale o massiccia, ma che è interessata da fratture (alcune beanti o aperte e a prevalente sviluppo verticale) e da carsismo (sia pure in modo assai ridotto, tanto è vero che i solchi torrentizi scaricano un'aliquota importante d'acqua). Ciò conferisce alla dolomia un certo grado di permeabilità; le acque di infiltrazione vanno quindi ad alimentare una falda basale. Di conseguenza, i rii cartografati sono effimeri o a regime torrentizio, restando secchi per la maggior parte dell'anno, anche se possono riempirsi notevolmente durante le piogge intense e, in tal caso, avere un trasporto solido, come testimoniato dai conoidi di deiezione venutisi a creare a valle.

Le acque della sorgente sono parzialmente captate. Il vecchio impianto di captazione, risalente al 1928 e con portata di 9 l/s, è stato sostituito da uno più moderno, interrato e ben più capiente, realizzato celermente a cavallo del 2005-2006. I lavori, accompagnati anche da un'ampliamento della sede stradale e da una sistemazione idraulico-forestale del conoide sovrastante, non sembrano aver condizionato l'attendibilità dei parametri misurati nelle acque campionate.

L'emergenza avviene in modo diffuso, a modo di fronte sorgivo; l'acqua sgorga in

ambiente aperto, da più polle sorgentifere collocate lungo il contatto fra i depositi alluvionali del Fiume Fella e quelli del sovrastante conoide di deiezione formato dal Rio Silber (Rio Argento), che ha regime torrentizio.

La portata media complessiva è stimabile in circa $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. L'acqua di emergenza origina due piccoli laghetti (residuali e naturali, solo in parte sistemati dall'intervento dell'uomo) e due piccoli corsi d'acqua che, dopo un breve percorso, confluiscono nel Fiume Fella. Le acque dei due laghetti sono sopraelevate di alcuni metri rispetto al pelo libero del Fella e sono evidentemente sostenute da argilliti fluvio-lacustri sottostanti (ormai non più visibili ma rinvenute nel corso del 2005, in occasione di uno scasso effettuato per la realizzazione di una scogliera in sponda destra del Fiume Fella).

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Assereto, 1961; Venturini, 2002*).

L'area è caratterizzata da una situazione geologica complessa. L'elemento strutturale dominante è dato da una fitta rete di faglie verticali e trascorrenti che ha portato a contatto litologie differenti e ha prodotto sistemi di fratture, specie nella Dolomia dello Sciliar, lungo i quali si è impostato il reticolo idrografico.

Per quanto riguarda i depositi del Quaternario, questi sono costituiti da depositi glaciali di età wurmiana e tardo-wurmiana (molto spesso mobilizzati e quindi mescolati con detriti di versante, dando origine a coltri eluvio-colluviali), da conoidi di deiezione e falde di detrito, costituiti da materiale eterogeneo prevalentemente grossolano, dalle alluvioni del Fiume Fella e dai depositi fluvio-lacustri sopracitati.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili principalmente a due fattori. Uno per l'affioramento della falda idrica di base, contenuta nella Dolomia dello Sciliar, sostenuta in profondità da un limite di permeabilità legato ad una diminuzione della permeabilità relativa dovuta a un minor grado di fratturazione della dolomia.

L'altro è imputabile a un limite di permeabilità definito tra le dolomie e il cono di deiezione sovrastante, che è molto permeabile e contiene a sua volta una falda.

All'innalzamento locale della piezometrica contribuiscono anche le argille fluvio lacustri, creando uno sbarramento ed un effetto tampone alla circolazione idrica sotterranea. In tal senso non è da sottovalutare l'ipotesi che ad alimentare la falda basale contribuiscano anche le acque di subalvea del Fiume Fella, ostacolate nel loro deflusso dalla presenza delle argille. Forse non a caso, poco a monte dell'emergenza, il Fella forma un'improvvisa ansa.

3.3.1.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 386 μ S, T.D.S. pari a 308 mg/l). L'acqua è poco dura (T.H.18 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 8.3; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-Mg-HCO₃.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. Si evidenzia anche un leggero mescolamento a una componente in facies solfato-calcica. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calcico-magnesiache, ma non molto accentuata per i relativi alti valori di sodio e cloro. Il diagramma a torta evidenzia ancor meglio le relazioni e i rapporti caratteristici esistenti tra i quantitativi in reazione e permette di stabilire, insieme alle considerazioni precedenti e agli altri diagrammi, che il chimismo riscontrato è attribuibile ad acque che hanno circolato in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica (dolomitica) e che sono venute a contatto, in piccolissima parte (considerata l'elevata solubilità dei solfati), con litologie aventi anche composizione in parte solfatica. La concentrazione dei solfati, infatti, non è compatibile al solo tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

La presenza di concentrazioni significative degli ioni sodio e cloro, che non ci sembra imputabile a cause antropiche, sarebbe riconducibile alla dissoluzione di sali (contenuti secondariamente in piccole quantità nei litotipi a composizione solfatica) e/o forse al contatto delle acque con vulcaniti, ipotesi supportata anche da una certa

concentrazione di potassio.

3.3.1.2. *Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)*

L'andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ evidenzia una generale tendenza alla negativizzazione del valore del $\delta^{18}\text{O}$ nel tempo. L'effetto di stagionalità delle acque piovane si rinviene solo in alcuni tratti e si presenta più o meno sfasato. Il tempo di risposta sembra ritardato; nel periodo invernale ciò è imputabile anche allo scioglimento delle nevi.

Tra un campionamento e il successivo, si assiste solo a pochi bruschi cambiamenti nei valori, in particolare in quello relativo a ottobre del 2005, conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi successivi ad intense precipitazioni. Nel complesso si ha un andamento modulato, sul quale si sovrappongono solo isolati picchi, a testimonianza di una buona miscelazione delle acque e di una buona capacità della riserva idrica. Tuttavia è evidente anche una componente della circolazione a deflusso rapido e/o superficiale che si fa risentire solo in occasione di abbondanti piogge, dovuta verosimilmente alle macrofratture presenti nelle dolomie e alla falda superficiale contenuta nel conoide di deiezione sovrastante l'emergenza.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale è pari a 0.83 ‰; è elevato, ma è conseguenza del picco riscontrato in ottobre del 2005. Se si esclude quest'ultimo, l'escursione è assai più limitata, a testimonianza di una buona riserva idrica.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base biennale è pari a -10.12 ‰ ed è più negativo di quello che ci si sarebbe atteso considerando la quota di emergenza e i dati relativi alle stazioni pluviometriche, a testimonianza di una quota media dell'area di ricarica abbastanza elevata.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua.

3.3.1.3. *Osservazioni*

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, è ipotizzabile che le acque d'emergenza abbiano attraversato

principalmente le dolomie fratturate dello Sciliar e la Dolomia del Serla-Lusnizza (non affiorante ma presente al di sotto del Gruppo di Braies) secondo una circolazione idrica complicata dall'assetto geologico locale. La circolazione nella Dolomia del Serla-Lusnizza potrebbe spiegare la leggera presenza di solfati nell'acqua sorgiva. Le concentrazioni significative degli ioni Cl, Na e in parte K, testimonierebbero l'avvenuto contatto con le vulcaniti presenti nella Fm. di Buchenstein.

Il bacino di alimentazione, considerate le differenti litologie attraversate dalle acque e soprattutto l'entità delle portate riscontrate, verosimilmente dovrebbe essere ben più ampio di quello idrografico ed estendersi almeno alla Val Rauna e alla Valle di Ugovizza. Tuttavia, per una miglior definizione dello stesso, andrebbe indagata la possibilità di alimentazione da parte delle acque di subalvea del Fiume Fella, che in tal caso giustificerebbe le portate riscontrate.

Si evidenzia la media vulnerabilità del bacino di ricarica, essendo la circolazione riscontrata caratterizzata anche da una componente di tipo superficiale (dovuta al conoide di deiezione) e da una a deflusso rapido (dovuta a macrofratture a prevalente sviluppo verticale presenti nelle dolomie). Inoltre è da considerare la possibilità di un mescolamento con le acque di subalvea del Fiume Fella.

Per questi motivi è opportuno che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata, impedendone la contaminazione, pericolosità per il momento limitata essendo l'area di ricarica poco antropizzata.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S1	Per affioramento della piezometrica e per limite di permeabilità definito	Acqua medio- minerale (T.D.S. 308 mg/l) Acqua poco dura (T.H. 18 mg/l) Ca-Mg-HCO ₃ Facies bicarbonato- calcico- magnesiaca	Rocce carbonatiche (prevalentemente dolomitiche) e in p.p solfatiche	Abbastanza approfondita e/o percorsi mediamente lunghi e/o buona riserva idrica. Presenza di una piccola componente anche di tipo superficiale e/o a deflusso rapido.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) A1B2 (Civita et AL., 1998)

3.3.2. BACINO SORGENTE S2

La sorgente è situata nelle Alpi Giulie e precisamente in Val Raccolana, valle di chiara origine glaciale con morfologia oggi modificata dalle incisioni fluviali e dai depositi di versante e alluvionali.

La sorgente è ubicata in comune di Chiusaforte, poco a ovest della frazione di Stretti, alla quota di 730 m s.l.m. e in destra orografica al Torrente Raccolana (sul quale resta ben sopraelevata), alla base della fascia di detrito posta ai piedi del ripido versante dolomitico che orla a sud-ovest l'altopiano del Montasio. Quest'ultimo, a sua volta, funge da raccordo con le vette carbonatiche del Gruppo dello Jof di Montasio. L'altopiano, la cui morfologia è imputabile alla giacitura suborizzontale delle rocce e all'azione dei ghiacciai, è ricoperto in buona parte da depositi morenici.

Nella parte sommitale calcarea, sovrastante l'altopiano del Montasio, manca una idrografia superficiale e si ha un carsismo diffuso; l'altopiano e la parte inferiore del versante d'interesse sono invece costituiti dalla Dolomia Principale, a giacitura suborizzontale e a struttura a monoclinale immergente leggermente verso SSW. La dolomia è interessata da fratture (alcune beanti o aperte e a prevalente sviluppo verticale) e da carsismo (sia pure in modo assai ridotto, tanto è vero che i solchi torrentizi scaricano un'aliquota importante d'acqua), che conferiscono alla stessa un certo grado di permeabilità. Le acque di infiltrazione, favorite dalla morfologia dell'altopiano, vanno ad alimentare una falda basale (all'interno delle dolomie possono crearsi localmente piccole falde sospese) sostenuta a grande profondità dalla Fm. del Monticello, con direzione preferenziale di deflusso sotterraneo confluyente verso la Val Raccolana.

La sorgente è parzialmente captata tramite due piccole opere di presa per una portata complessiva dell'ordine di alcuni litri al secondo. L'emergenza avviene in modo abbastanza localizzato e in forma di stillicidio, al contatto fra i depositi del cono di detrito, su cui sorge l'abitato di Stretti, e la Dolomia Principale. L'acqua scorre sui piani suborizzontali della Dolomia Principale e, tramite una serie di cascatelle, confluisce nel Torrente Raccolana.

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal

rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Cucchi e Vaia, 1986; Semeraro, 2000; Venturini, 2002; Carulli et Al., 2006*).

L'elemento strutturale e morfologico dominante è dato dalla struttura a monoclinale del Calcare del Dachstein e della Dolomia Principale. Tettonicamente prevalgono faglie verticali e trascorrenti che hanno prodotto sistemi di fratture, lungo i quali si è impostato il reticolo idrografico.

Per quanto riguarda il Quaternario, questo è rappresentato da depositi glaciali, da falde di detrito, costituite da materiale eterogeneo prevalentemente grossolano, e dalle alluvioni del Torrente Raccolana.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono attribuibili a due fattori. Uno dovuto ad un tamponamento parziale conseguente ad un limite di permeabilità indefinito all'interno della Dolomia Principale per una leggera variazione della permeabilità dovuta ad un cambiamento del grado di fratturazione, più elevata in quota, e delle caratteristiche litologiche (stratificazione e tipologia-frequenza delle intercalazioni). L'altro è riconducibile ad un limite di permeabilità definito, rappresentato dal contatto fra le dolomie e il cono di detrito, che è permeabile e in grado di ospitare una falda.

L'acqua di emergenza va quindi attribuita ad una falda sospesa e non a quella basale contenuta nella Dolomia Principale.

3.3.2.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 255 μ S, T.D.S. pari a 218 mg/l). L'acqua è dolce (T.H.14 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 8.1; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-Mg-HCO₃.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calcico-magnesiache. Il diagramma a torta evidenzia ancor meglio le relazioni e i rapporti caratteristici esistenti tra i quantitativi in reazione e permette di stabilire, insieme alle

considerazioni precedenti e agli altri diagrammi, che il chimismo riscontrato è quello di acque che hanno circolato esclusivamente in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica (dolomitica). Infatti, le concentrazioni (in meq%) degli ioni Ca, Mg e HCO_3 costituiscono insieme quasi il 99% degli ioni complessivi.

La bassa concentrazione dei solfati è compatibile col tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

3.3.2.2. *Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)*

La spezzata che unisce i dati relativi ai valori del $\delta^{18}\text{O}$ è caratterizzata da un andamento irregolare che evidenzia una dipendenza dagli impulsi infiltrativi. Si riscontra anche una generale tendenza alla negativizzazione del valore del $\delta^{18}\text{O}$ nel tempo. I tempi di risposta sono abbastanza rapidi tranne che nel periodo invernale, come conseguenza delle precipitazioni nevose.

Tra un campionamento e il successivo si assiste a bruschi cambiamenti nei valori. Si ha quindi un andamento solo in parte modulato, su cui si sovrappongono picchi conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi conseguenti ad intense precipitazioni. Queste variazioni isotopiche sono dovute all'arrivo di acqua drenata dalla parte più superficiale dell'acquifero ed evidenziano anche una riserva idrica non consistente, con conseguente limitata attenuazione del segnale isotopico portato dalle acque di neoinfiltrazione.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale è pari a 0.64 ‰, che pur essendo abbastanza elevato, suggerisce un'alimentazione almeno in parte di tipo profondo.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base biennale (pari a -9.22 ‰) è un po' più negativo di quello atteso considerando la quota di emergenza e i dati relativi alle stazioni pluviometriche.

In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua testimonia la presenza di una circolazione idrica solo in parte approfondita, caratterizzata anche da una componente di tipo superficiale (che trova sede evidentemente nel cono di detrito alla base del quale si trova l'emergenza), e/o di percorsi non eccessivamente lunghi e/o di una capacità della riserva idrica limitata.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto

dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua. In particolare, l'elevata escursione della temperatura denota la possibile parziale percorrenza superficiale delle acque, almeno nel tratto terminale.

3.3.2.3. Osservazioni

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, è ipotizzabile che le acque d'emergenza abbiano attraversato la Dolomia Principale e le falde di detrito (a composizione dolomitica anch'esse).

Il bacino di alimentazione dovrebbe essere poco esteso e contenuto entro il bacino idrografico. La principale zona di alimentazione dovrebbe risiedere nel sovrastante altopiano del Montasio, che per la sua morfologia favorisce il ristagno d'acqua e diminuisce il ruscellamento, e nella falda di detrito immediatamente a monte dell'emergenza.

Si evidenzia quindi l'alta vulnerabilità del bacino di ricarica sotteso, essendo la circolazione riscontrata caratterizzata anche da una forte componente di tipo superficiale (dovuta alle falde di detrito) e a deflusso più rapido (dovuta a macrofratture a prevalente sviluppo verticale presenti nelle dolomie). Per questi motivi è necessario che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata, impedendone la contaminazione. Al proposito va segnalato che l'area di ricarica è in parte antropizzata (casere sull'altopiano e abitato di Stretti sul cono di detrito).

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S2	Per limite di permeabilità indefinito e definito	Acqua medio-minerale (T.D.S. 218 mg/l) Acqua dolce (T.H. 14 mg/l) Ca-Mg-HCO ₃ Facies bicarbonato-calcico-magnesiaca	Rocce carbonatiche (dolomitiche)	Non molto approfondita e/o percorsi non molto lunghi e/o riserva idrica modesta. Presenza di una componente anche di tipo superficiale.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) A1B2 (Civita et Al., 1998)

3.3.3. BACINO SORGENTE S3

La sorgente è situata nelle Prealpi Giulie e precisamente in Alta Val Torre, valle di chiara origine glaciale con morfologia oggi modificata dalle incisioni fluviali e dai depositi di versante e alluvionali.

La sorgente, nota come Sorgente Musi o Sorgente del Torre, è ubicata in comune di Lusevera, poco a sud della frazione di Tanataviele, alla quota di 526 m s.l.m., presso la Piana di Musi che rappresenta il punto di chiusura del bacino idrografico del torrente Mea e l'inizio della Valle del Torre.

Il torrente Mea è un corso d'acqua effimero che scorre principalmente in subalvea nella potente coltre fluvio-glaciale e detritico-alluvionale nel fondovalle della Valle di Musi. Questa valle, nota anche come Val di Mea, si sviluppa in senso est-ovest tra il versante meridionale prevalentemente dolomitico delle Cime del Monte Musi (1869 m), poste a nord, e il versante settentrionale calcareo della catena del Gran Monte (1600 m), posta a sud. La valle è chiusa a oriente da una linea che corre da cima Zaiavor, sui Musi, verso il passo di Tanamea e da qua risale verso SE fino alla cima di Monte Maggiore (1616 m).

La valle del Torre, invece, ha direzione nord-sud a 90° dalla valle precedente ed inizia attraverso una forra fortemente incisa che denota il fenomeno di cattura con cui le acque di un antico lago, posto proprio nella Piana di Musi, sono state raggiunte dall'erosione e fatte defluire nel neo costituito Torre. L'antico lago, che si formò a causa di una paleofrana scesa lungo le superfici di strato a franapoggio delle pareti settentrionali del M. Tanavasagio (catena del Gran Monte), durò da 8300 a circa 4000 anni dal presente (*Garofalo, 1985; Cavallin e Martinis, 1986; Garofalo e Pugliese, 1990*).

La catena delle Cime del Monte Musi, costituita da un complesso di rocce carbonatiche che formano una grande monoclinale con direzione est-ovest e immergente a nord, è nota in letteratura per essere interessata da carsismo di tipo alpino, ma questo ha soprattutto agito nelle facies calcaree presenti sul versante nord. Qui le cavità sono soprattutto sistemi di pozzi e forre, anche inclinati, ma non mancano esempi di antiche condotte freatiche poste alle alte quote e tagliate dall'erosione glaciale e dall'arretramento del versante. Il versante sud, invece, calcareo solo in vetta e per il resto costituito da

dolomia, è stato interessato dal carsismo in modo ridotto (tanto è vero che i solchi torrentizi scaricano un'aliquota importante d'acqua, non esattamente quantificabile, nelle potenti alluvioni della Val di Mea), per la presenza, nella dolomia, di piani di strato e di fratture beanti e per l'alternanza con calcari dolomitici. Questa zona di percolazione drena parte delle acque di precipitazione in profondità, portandole verso le quote dei livelli sorgivi.

Nel complesso l'idrostruttura della catena delle Cime del Monte Musi è costituita da un acquifero che da una parte drena a Nord, verso il canalone di Barman, e dall'altra verso Sud, in corrispondenza delle maggiori sorgenti poste alle quote più basse dell'alto Torre.

Le acque della sorgente del Torre sono parzialmente captate. L'opera di presa è frutto del radicale rinnovamento di impianti preesistenti effettuato nel 1997 da C.A.F.C. S.p.A. Grazie all'uso di strutture antisismiche in cemento armato, l'impianto è ora sicuro nei confronti di eventuali piene o fenomeni tellurici. Per ridurre al massimo l'impatto ambientale, la maggior parte delle opere è stata eseguita sotto il livello di campagna. Oggi la portata captata dichiarata, destinata ai comuni di Buia, Tarcento e Magnano in Riviera, è di 78 l/s.

L'acqua sgorga in modo diffuso e in ambiente aperto, dando origine al Torrente Torre che, alla fonte, ha portata media complessiva stimabile in circa 1.8 m³/s.

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Vaia e Iacuzzi, 1977; Sgobino, 1994; Fantoni et Al., 1998; Anselmi e Semeraro, 2003; Carulli et Al., 2006*).

L'elemento strutturale e geomorfologico dominante della catena montuosa delle Cime del Monte Musi è dato dalla estesa monoclinale con direzione est-ovest e immergente a nord. Essa si chiude a meridione lungo la linea Pinedo-Avasinis, sovrascorrimento con direzione est-ovest e passante lungo la Val di Mea, che ha portato la Dolomia Principale sui calcari giurassici.

Per quanto riguarda i depositi del Quaternario, questi sono costituiti da depositi glaciali e fluvio-glaciali, in parte sepolti da coni e falde di detrito e da alluvioni costituite da materiale prevalentemente grossolano, dai depositi ad assetto caotico della paleofrana sovracitata e dai depositi fluvio-lacustri (sepolti) ad essa connessi.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili ad una soglia di permeabilità sottoposta, rappresentata dalla Linea Pinedo-Avasinis ed alla potente fascia cataclastica venutasi a creare. Un'ulteriore tamponamento alla circolazione idrica, specie superficiale, è dovuto allo sbarramento costituito dal materiale di paleofrana.

All'innalzamento della piezometrica contribuiscono anche le argille fluvio lacustri, non affioranti, che sostengono le acque di subalvea del Torrente Mea nel tratto terminale.

3.3.3.1. *Analisi dei dati chimico-fisici e chimici*

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 222 μS , T.D.S. pari a 182 mg/l). L'acqua è dolce (T.H.11 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 8.0; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-Mg- HCO_3 .

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calcico-magnesiache. Il diagramma a torta evidenzia ancor meglio le relazioni e i rapporti caratteristici esistenti tra i quantitativi in reazione e permette di stabilire, insieme alle considerazioni precedenti e agli altri diagrammi, che il chimismo riscontrato è tipico di acque che hanno circolato esclusivamente in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica (principalmente dolomitica e subordinatamente calcarea). Infatti, le concentrazioni (in meq%) degli ioni Ca, Mg e HCO_3 costituiscono insieme quasi il 97% degli ioni complessivi.

La bassa concentrazione dei solfati è compatibile col tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

3.3.3.2. *Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)*

L'andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ risente dell'effetto di stagionalità rinvenuto nelle acque piovane in modo attenuato e più o meno sfasato, in conseguenza

all'immagazzinamento delle stesse nella riserva idrica. Nel periodo invernale il tempo di risposta è ritardato anche a causa dello scioglimento delle nevi.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale (pari a 0.46 ‰) non è elevato (specialmente considerando che si tratta in parte di un acquifero carsico), a testimonianza di una buona miscelazione delle acque dovuta a una circolazione idrica approfondita e/o percorsi lunghi e/o a una buona capacità della riserva idrica e a un consistente flusso basale, che è in grado di attenuare il segnale isotopico delle acque di neoinfiltrazione.

Pur avendo complessivamente un andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ modulato, tra un campionamento e il successivo si assiste ad alcuni cambiamenti improvvisi, peraltro non eccessivamente bruschi, conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi, successivi ad intense precipitazioni. Queste variazioni isotopiche non sembrano essere imputabili a variazioni della riserva idrica, ma dovuti alla presenza di una componente della circolazione anche di tipo superficiale (imputabile ai depositi quaternari) e/o con deflusso rapido (nelle macrofratture delle dolomie e dei calcari). La presenza di questa componente viene comunque molto attenuata dalla notevole riserva idrica che smorza il segnale isotopico delle acque di neoinfiltrazione. Inoltre la circolazione all'interno della Dolomia Principale è caratterizzata da condotti a pieno carico che si svuotano meno rapidamente del previsto, poichè sostenuti da una falda profonda.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base biennale (pari a -8.44 ‰) è più negativo di quello che ci si sarebbe atteso considerando la quota di emergenza e i dati relativi alle stazioni pluviometriche. A titolo di esempio, considerando la retta di correlazione ottenuta dai dati relativi ai valori medi ponderati dei pluviometri P3, P5, P4 e P7, si otterrebbe una quota media dell'area del bacino di alimentazione posta circa 400 m al di sopra della quota di emergenza.

In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua testimonia la presenza di una circolazione idrica approfondita e/o con percorsi lunghi e/o con una buona capacità della riserva idrica, ma con anche una componente di tipo superficiale e/o a deflusso più rapido, dovuta verosimilmente alle macrofratture delle rocce e ai depositi quaternari presenti.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto

dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua.

3.3.3.3. Osservazioni

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, è ipotizzabile che le acque d'emergenza abbiano attraversato la Dolomia Principale, presente sul versante meridionale delle cime dei Monti Musi e, in parte, i calcari presenti sulla vetta del versante stesso. La sorgente sarebbe inoltre alimentata dalle acque di subalvea del Torrente Mea, che assorbe le acque di ruscellamento dei versanti della valle in cui scorre, nonché quelle di precipitazione insistenti sui depositi quaternari di fondovalle molto permeabili.

Il bacino di alimentazione è verosimilmente esteso, data l'entità delle portate della sorgente e la sua ubicazione nel punto di chiusura del bacino idrografico del Torrente Mea, le cui acque scorrono in subalvea e qui emergono.

L'ipotesi di drenaggi profondi della catena del Musi, con uno spartiacque geologico più avanzato a Nord rispetto a quello idrografico, ipotizzabile per un eccesso di portate rispetto al bilancio idrologico, è stata convalidata con traccianti da Anselmi e Semeraro (2003), accertando importanti zone di alimentazione sul versante nord, in corrispondenza delle aree interessate dai grandi fenomeni carsici ipogei. L'acquifero carbonatico drenerebbe verso SSW, cioè verso il punto di massima depressione della falda, rappresentato dalle Sorgenti del Torre che sarebbero alimentate da acque di risalita profonde, per lo più provenienti dal circuito carsico dei calcari e delle dolomie. Dati relativi a recenti traccianti indicherebbero l'esistenza di uno spartiacque geologico dinamico, in stretta funzione del carico idraulico, che migrerebbe verso sud durante le magre e, probabilmente, verso nord durante le piene, grazie alla maggior trasmissività funzione del carsismo del versante settentrionale.

Si evidenzia la vulnerabilità parziale del bacino di ricarica sotteso, essendo la circolazione riscontrata caratterizzata anche da una componente di tipo superficiale (dovuta agli estesi depositi quaternari) e a deflusso più rapido (dovuta a macrofratture a prevalente sviluppo verticale presenti nelle dolomie e nei calcari).

Per questi motivi è necessario che la risorsa idrica venga adeguatamente

salvaguardata, impedendone la contaminazione anche se l'area di ricarica è poco antropizzata, ad eccezione dell'abitato di Tanataviele e di qualche casera sparsa.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (*D. Lgs. 152/99*) e alla qualità di base dell'acqua (*Civita et Al., 1998*).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S3	Per soglia di permeabilità sottoposta e per sbarramento	Acqua oligo-minerale (T.D.S. 182mg/l) Acqua dolce (T.H. 11 mg/l) Ca-Mg-HCO₃ Facies bicarbonato-calcico-magnesiaca	Rocce carbonatiche (principalmente dolomitiche e subordinatamente calcaree)	Approfondita e/o percorsi lunghi e/o buona riserva idrica. Acquifero fessurato e in parte carsico con falda basale. Presenza di una componente anche di tipo superficiale e a deflusso rapido.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) A1B2 (Civita et Al., 1998)

3.3.4. BACINO SORGENTE S4

La sorgente è situata nelle Prealpi Giulie e precisamente nella Valle del Natisone, valle di chiara origine glaciale con morfologia oggi modificata dalle incisioni fluviali e dai depositi di versante e alluvionali.

La sorgente, nota come Sorgente Arpit o Arpide, è ubicata in comune di Pulfero, poco a nord-est della frazione di Stupizza, a breve distanza dal confine italo-sloveno, in località Arpide, alla quota di 215 m s.l.m.m e pochi metri a valle del km 33 della S.S. 54 del Friuli.

L'emergenza si trova in sinistra orografica del Fiume Natisone, nel cui alveo riversa pressochè direttamente le acque, e alla base del versante nord-occidentale del Monte Nabruna (1144 m) che fa da contrafforte al Monte Matajur verso ovest.

Il versante nord-occidentale del Monte Nabruna è caratterizzato da una struttura a monoclinale immergente verso NE, costituita alla base da una serie di depositi carbonatici, immergenti a reggipoggio, sovrastati da una successione clastica di brecce carbonatiche e da Flysch, costituito da un'alternanza di marne, arenarie, calcareniti e brecce calcaree, che affiora sul versante opposto. L'area è carsica, è assente un vero reticolato idrografico e sono presenti forme sia epigee, quali campi solcati e doline (in quota), che ipogee. Il basamento dolomitico va a costituire una porzione di acquifero meno permeabile, mentre i termini sovrastanti sono permeabili per fessurazione e carsismo (ai calcari compete la carsificabilità più elevata, ai termini intermedi, quali brecce e calcareniti, compete una carsificabilità medio-elevata, mentre al Flysch, che nel complesso è poco permeabile, compete una certa carsificabilità solo nei livelli a composizione carbonatica). La maggior parte delle acque di precipitazione è quindi in grado di infiltrarsi in profondità, secondo direzioni fortemente condizionate dai sistemi di fratture beanti a prevalente sviluppo verticale.

Date queste premesse l'idrostruttura complessiva può essere definita di tipo fratturato-carsico.

Le acque della sorgente Arpit sono captate da una opera di presa interrata, di recente costruzione ma non utilizzata, e quindi emesse di nuovo in circolo.

L'acqua sgorga in modo abbastanza localizzato e in prossimità di una polla, situata al

contatto fra le alluvioni del Natisone, costituite prevalentemente da ghiaie e ghiaie sabbiose, e depositi detritici. Questi, che hanno morfologia a conoide e sono costituiti da elementi grossolani, caratterizzano tutto il basso versante, formando un'ampia fascia di raccordo tra le alluvioni del Natisone e le pareti rocciose sovrastanti.

L'acqua emersa dà origine a un piccolo ruscello, con portata molto variabile (da pochi a centinaia di l/s) e con valore medio dell'ordine di alcune decine di l/s.

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Giorgetti, 1977; Muscio, 1997; Tunis e Venturini, 1984, 1987, 1988 e 1997; Cola, 1998; DiSGAM, 2006; Carulli et Al., 2006*).

L'elemento strutturale e geomorfologico dominante è dato dalla estesa monoclinale del Monte Nabruna, immergente verso nord-est, e da una serie di faglie subverticali. La monoclinale appartiene al fianco sinistro della struttura geologica ben più ampia rappresentata dall'Anticlinale del Monte Mia-Matajur. L'assetto ad anticlinale dell'area è ben evidenziato lungo la valle del Natisone, impostatasi proprio in prossimità del nucleo dell'anticlinale stessa, delimitata a NE dalla linea Barcis-Starò Selo (fuori carta), mentre a SW è chiusa da una serie di faglie correlate a strutture a fiore.

I depositi del Quaternario sono rappresentati da coni e falde di detrito, che caratterizzano tutto il basso versante, e dalle alluvioni del Natisone.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili ad una soglia di permeabilità sottoposta dovuta al tamponamento prodotto dalla Dolomia Principale in contatto stratigrafico con i calcari carsificati.

Nei periodi di magra non è da escludere un leggero contributo da parte delle acque di subalvea del Fiume Natisone.

3.3.4.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 246 μ S, T.D.S. pari a 200 mg/l). L'acqua è dolce (T.H. 12 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 7.8; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-HCO₃.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcica. Si evidenzia anche un piccolo mescolamento a una componente in facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calciche. Il diagramma a torta evidenzia ancor meglio le relazioni e i rapporti caratteristici esistenti tra i quantitativi in reazione e permette di stabilire, insieme alle considerazioni precedenti e agli altri diagrammi, che il chimismo riscontrato è quello di acque che hanno circolato esclusivamente in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica (prevalentemente calcarea e subordinatamente dolomitica). Infatti, le concentrazioni (in meq%) degli ioni Ca, Mg e HCO₃ costituiscono insieme quasi il 95% degli ioni complessivi. La non troppo elevata concentrazione dello ione Mg, sia in termini assoluti che relativi (meq%), esclude un mescolamento significativo con la facies bicarbonato-calcico-magnesiaca ed è compatibile con l'attraversamento di deboli intercalazioni dolomitiche e alla dissoluzione della dolomite presente come componente accessorio dei calcari. La bassa concentrazione dei solfati è compatibile col tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

3.3.4.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}O$) e fisici (T e P)

La spezzata che unisce i dati relativi ai valori del $\delta^{18}O$ è caratterizzata da un andamento molto irregolare che evidenzia una forte dipendenza dagli impulsi infiltrativi. I tempi di risposta sono rapidi tranne che nel periodo invernale. Le variazioni osservate sono quelle tipiche di un acquifero carsico con modesto flusso di base.

Anche il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale (pari a 1.62 ‰), è molto elevato, a testimonianza di uno scarso flusso di base.

Il valore medio del $\delta^{18}O$ calcolato su base biennale (pari a -8.27 ‰) gioca a sostegno di un percorso delle acque lungo e approfondito. Il valore è più negativo di quello che ci si sarebbe atteso considerando la quota di emergenza e i dati relativi alle stazioni pluviometriche. Prendendo in esame i dati ottenuti dal pluviometro P4 (sito sul Monte Matajur a quota 1326 m e con un valore medio ponderato corrispondente pari a -8.83 ‰) si

otterrebbe, per un gradiente di 0.25 ‰ ogni 100 m di dislivello, una quota media dell'area del bacino di alimentazione posta più di 800 m al di sopra della quota di emergenza. In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua evidenzia un percorso lungo ed un reticolo di drenaggio composto a deflusso rapido nei condotti carsici e nelle macrofratture e a deflusso lento nelle microfratture dei blocchi.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua. In particolare, le portate sono molto variabili e presentano massimi nei periodi di forte piovosità dell'ordine delle centinaia di l/s che diminuiscono rapidamente, fino ad arrivare a minimi di pochi l/s. Durante le piene si assiste inoltre ad un notevole intorbidamento delle acque.

3.3.4.3. Osservazioni

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, le acque d'emergenza attraversano litologie a prevalente composizione carbonatica calcarea, quali il Calcarea di Dachstein, i Calcari Grigi e di Soccher, nonché le breccie carbonatiche e la parte del Flysch a composizione calcarea .

Il bacino di alimentazione si estende in direzione sud-est, ed interessa quindi anche i versanti sud orientali della catena attinente il Monte Nabardo.

Si evidenzia l'alta vulnerabilità del bacino di ricarica sotteso, costituito da un acquifero carsico fratturato con circolazione idrica caratterizzata da una forte componente a deflusso rapido e da un flusso di base modesto. La risorsa idrica risulta già contaminata in quanto l'area di ricarica è abbastanza antropizzata sui versanti sud-orientali (malghe e casere, allevamenti di bestiame, piccoli centri abitati, come Zorza, Nabardo e Marseu).

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S4	Per soglia di permeabilità sottoposta	<p>Acqua medio- minerale (T.D.S. 200 mg/l)</p> <p>Acqua dolce (T.H. 12 mg/l)</p> <p>3.3.4.1 Ca-HCO₃</p> <p>Facies bicarbonato- calcica</p>	Rocce carbonatiche (prevalentement e calcaree)	<p>Approfondita e/o percorsi molto lunghi. Riserva idrica variabile.</p> <p>Acquifero carbonatico fessurato e carsificato a drenaggio prevalentemente in in condotta e nelle macrofratture. Flusso di base modesto.</p>	<p>CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99)</p> <p>A1B2 (Civita et Al., 1998)</p>

3.3.5. BACINO SORGENTE S5

La sorgente, nota come Fontana del Turco, è situata nell'estremo limite occidentale delle Prealpi Giulie ed è ubicata in comune di Gemona del Friuli, in località Godo, lungo la S.P. 20 Glemonense ed alla quota di 237 m s.l.m.

L'emergenza si trova alla base del versante sudoccidentale della Pale Furmiarie (942 m, erroneamente indicata come Monte Glemina nelle carte topografiche) che costituisce la propaggine occidentale del Monte Cuarnan. L'acqua fuoriesce da una fontana pubblica in corrispondenza del contatto fra depositi morenici e di versante. Parte dell'acqua va ad alimentare la pianura antistante senza venire a giorno.

Il versante sudoccidentale della Pale Furmiarie, nella parte mediana e inferiore, è costituito da una potente coltre detritica, commista a depositi morenici, ricoprente il Flysch.

Nel tratto superiore del versante, più ripido, affiorano calcari, con giacitura a reggipoggio e sovrascorsi sul Flysch per mezzo della Linea del Monte Cuarnan (ramo meridionale della Linea Barcis - Staro Selo), sovrascorrimento con direzione est-ovest ed immergente a nord.

Il versante è privo di una idrografia superficiale, vista l'alta permeabilità della coltre detritica e il carsismo diffuso, reso visibile da forme epigee, a cui sono sottoposti i calcari situati in quota. Il carsismo è ancora più evidente poco a nord, sul versante opposto, dove è situato il bacino del Rio Glemineit, che è un corso d'acqua del tutto effimero, a regime occasionale e il cui alveo scorre in un'angusta valle sospesa e il cui bacino ha il comportamento endoreico tipico degli acquiferi carsificati.

Da quanto esposto, risulta che le acque di precipitazione insistenti sulla Pale Furmiare si infiltrano in tempi rapidi.

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Martinis et Al., 1977; Broili et Al., 1980; Giorgetti e Stefanini, 1989 e 1989b; Stefanini, 1991; Serravalli, 1991; Treu, 2004; Carulli et Al., 2006*).

L'elemento strutturale e geomorfologico dominante è dato dalla scaglia tettonica,

costituita da rocce carbonatiche immergenti principalmente verso NW, sovrascorsa sul Flysch eocenico per mezzo della Linea del Monte Cuarnan e delimitata a nord dalla Linea Barcis - Staro Selo.

I depositi del Quaternario sono rappresentati da coni e falde di detrito, che caratterizzano tutto il basso versante, e dalle alluvioni del Natisone.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili a due fattori.

Uno è il limite di permeabilità definito rappresentato dal contatto tra il Flysch eocenico, nel complesso poco permeabile, e la falda di detrito sovrastante, permeabile e in grado di ospitare una falda.

L'altro è dovuto alla soglia di permeabilità sottoposta mascherata dalla copertura detritica e rappresentata dalla Linea del Monte Cuarnan, che produce un tamponamento dei calcari, carsificati e fessurati, per mezzo del Flysch e della fascia cataclastica ad essa connessa. Il trabocco dell'acqua da questa soglia, specialmente durante le precipitazioni, va ad alimentare direttamente la falda contenuta nella coltre detritica.

Lungo la Linea del Monte Cuarnan emergono anche altre sorgenti: una (sorgente del Lavatoio) è posta poco ad ovest della Fontana del Turco e presenta caratteristiche chimiche in parte simili ad essa, le altre sono ubicate molto più a est ed in quota (Treu, 2004).

3.3.5.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 205 μ S, T.D.S. pari a 168 mg/l). L'acqua è dolce (T.H. 10 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 7.9; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca- HCO_3 .

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcica. Si evidenzia anche un piccolo mescolamento da parte di una componente in facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume la forma "a catino" tipica delle acque bicarbonato-calciche. Il diagramma a torta evidenzia ancor meglio le relazioni e i rapporti caratteristici esistenti tra

i quantitativi in reazione e permette di stabilire, insieme alle considerazioni precedenti e agli altri diagrammi, che il chimismo riscontrato è quello di acque che hanno circolato esclusivamente in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica (prevalentemente calcarea e molto subordinatamente dolomitica). Infatti, le concentrazioni (in meq%) degli ioni Ca, Mg e HCO_3 costituiscono insieme quasi il 95% degli ioni complessivi. La non troppo elevata concentrazione dello ione Mg, sia in termini assoluti che relativi (meq%), esclude un mescolamento significativo con la facies bicarbonato-calcico-magnesiaca ed è compatibile con l'attraversamento di deboli intercalazioni dolomitiche o alla dissoluzione della dolomite presente come componente accessorio dei calcari. La bassa concentrazione dei solfati è compatibile con il tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione. Si segnala anche una concentrazione significativa, sia in termini assoluti che relativi (meq%), dei nitrati.

3.3.5.2. *Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)*

La spezzata che unisce i dati relativi ai valori del $\delta^{18}\text{O}$ è caratterizzata da un andamento irregolare che evidenzia una dipendenza dagli impulsi infiltrativi. Si riscontra anche una generale tendenza alla negativizzazione del valore del $\delta^{18}\text{O}$ nel tempo. I tempi di risposta sono abbastanza rapidi tranne che nel periodo invernale.

Tra un campionamento e il successivo si assiste a bruschi cambiamenti nei valori. Si ha un andamento solo in parte modulato, su cui si sovrappongono picchi conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi, successivi ad intense precipitazioni. Queste variazioni isotopiche sono dovute all'arrivo di acqua drenata dalla parte più superficiale dell'acquifero ed evidenziano anche una possibile riserva idrica variabile e non molto consistente, con conseguente limitata attenuazione del segnale isotopico portato dalle acque di neoinfiltrazione.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale è pari a 0.62 ‰; che, pur essendo abbastanza elevato, tende ad escludere una alimentazione di tipo solo superficiale.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base biennale è -7.42 ‰.

In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua testimonia la

presenza di una circolazione idrica solo in parte approfondita, caratterizzata anche da una componente di tipo superficiale (che trova sede nella falda di detrito al piede della quale si trova l'emergenza), e/o di percorsi non eccessivamente lunghi e/o di una capacità della riserva idrica limitata.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua. In particolare, l'elevata escursione della temperatura denota la possibile parziale percorrenza superficiale delle acque, almeno nel tratto terminale.

3.3.5.3. Osservazioni

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, le acque d'emergenza attraversano litologie a prevalente composizione carbonatica calcarea, quali i Calcari Grigi del Friuli e il Calcare di Soccher, nonché il detrito di versante (costituito da frammenti litici dei calcari stessi).

Il bacino di alimentazione non dovrebbe essere molto esteso ma potrebbe ampliarsi, specie in occasione di piogge abbondanti, in direzione nord, poco oltre la vetta della Pale Furmiare, ed interessare quindi, anche se marginalmente, parte del bacino idrografico del Rio Glemineit.

Si evidenzia l'alta vulnerabilità del bacino di ricarica sotteso, essendo l'emergenza caratterizzata da una riserva idrica modesta e alimentata principalmente da un acquifero a porosità primaria con circolazione di tipo superficiale (nella coltre detritica) e subordinatamente da un acquifero carsico fratturato (nei calcari). Per questi motivi è opportuno che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata, impedendone la contaminazione, anche approfittando del fatto che ad oggi l'area di ricarica è poco antropizzata.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S5	Per limite di permeabilità definito e per soglia di permeabilità sottoposta	Acqua oligo-minerale (T.D.S. 168 mg/l) Acqua dolce (T.H. 10 mg/l) Ca-HCO ₃ Facies bicarbonato-calcica	Rocce carbonatiche (prevalentemente calcaree)	Non molto approfondita e/o percorsi non molto lunghi e/o riserva idrica modesta. Presenza di una componente di tipo superficiale.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) A1B2 (Civita et Al., 1998)

3.3.6. BACINO SORGENTE S6

La sorgente, nota come Aga dal Paradis, è situata nelle Prealpi Carniche ed è ubicata in comune di Verzegnis, poco sopra l'abitato di Villa, alla quota di 480 m s.l.m.

L'emergenza si trova alla base del versante sud-orientale del Monte Navado (793 m), che è un modesto rilievo costituito interamente da dolomie, soggette a pieghe e a giacitura prevalentemente subverticale, rese moderatamente permeabili per fratturazione. Le acque di precipitazione hanno quindi modo di infiltrarsi solo in parte.

La sorgente è parzialmente captata tramite due piccole opere di presa in cemento e tramite alcuni tubi in polietilene che alimentano anche una fontana pubblica. L'emergenza avviene in modo diffuso, lungo i giunti di strato della dolomia che qui ha giacitura a traversopoggio.

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Martinis et Al., 1977; Ponton e Podda, 1997; Carulli et Al., 2000; Boschini, 2004; Carulli et Al., 2006*).

L'elemento strutturale e geomorfologico dominante nell'areale d'interesse è dato dalla scaglia tettonica compresa tra il sovrascorrimento che passa in prossimità del Lago di Verzegnis, rappresentato dalla Linea del Monte Douf-Monte Auda, e quello che taglia a mezza costa il fianco meridionale del Monte Navado. Quest'ultimo sovrascorrimento, che deriva da uno sdoppiamento della Linea del Monte Douf-Monte Auda, è identificabile con la Linea dell'Alto Tagliamento, struttura di importanza regionale (ad andamento est-ovest ed immergente ad alto angolo verso nord) che in questa zona porta all'accavallamento della Fm. del Monticello sulla Dolomia di Forni. Gli strati interessati da questi fenomeni compressivi appaiono visibilmente piegati, verticalizzati o rovesciati.

I depositi del Quaternario sono rappresentati principalmente da depositi morenici e da limitate falde di detrito.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili ad una soglia di permeabilità sovrainposta, rappresentata dal piano costituito dalla fascia cataclastica e milonitizzata prodotta dalla Linea dell'Alto Tagliamento e da un limite di permeabilità indefinito, rappresentato dal contatto stratigrafico fra le dolomie della Fm. del

Monticello e l'Evaporitico Carnico (qui rappresentato da dolomie cariate, brecce dolomitiche e marne), relativamente meno permeabile e meno fratturato della prima. Nella fascia interposta fra i due tamponamenti, costituita da dolomie fratturate, si è creata una falda ed una circolazione idrica.

3.3.6.1. nalisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 484 μ S, T.D.S. pari a 404 mg/l). L'acqua è mediamente dura (T.H. 25 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 8.1; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-Mg-HCO₃.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. Si evidenzia anche un piccolo mescolamento a una componente in facies solfato-calcica. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calcico-magnesiache. Il diagramma a torta evidenzia ancor meglio le relazioni e i rapporti caratteristici esistenti tra i quantitativi in reazione e permette di stabilire, insieme alle considerazioni precedenti e agli altri diagrammi, che il chimismo riscontrato è quello di acque che hanno circolato in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica (prevalentemente dolomitica) e che sono venute a contatto, in piccolissima parte (considerata l'elevata solubilità dei solfati), con litologie aventi anche una composizione solfatica.

Si segnala una concentrazione significativa dello ione ammonio.

Il relativamente elevato grado di mineralizzazione (che non è imputabile solo alla presenza dei solfati, ma ad una effettiva elevata dissoluzione delle dolomie, come testimonia anche il grado di durezza totale), è indice di superfici di contatto acqua / roccia elevate a causa di microfratturazione. Ipotesi supportata anche da una certa concentrazione della silice.

3.3.6.2. *Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)*

La spezzata che unisce i dati relativi ai valori del $\delta^{18}\text{O}$ è caratterizzata da un andamento irregolare che evidenzia una dipendenza dagli impulsi infiltrativi. Si riscontra anche una generale tendenza alla negativizzazione del valore del $\delta^{18}\text{O}$ nel tempo. I tempi di risposta sono abbastanza rapidi tranne che nel periodo invernale, come conseguenza delle precipitazioni nevose.

Tra un campionamento e il successivo si assiste a bruschi cambiamenti nei valori, in particolare a partire dai campionamenti successivi a ottobre del 2005, a testimonianza di un possibile rinnovo della riserva idrica. Si ha quindi un andamento solo in parte modulato, su cui si sovrappongono picchi conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi, successivi ad intense precipitazioni. Queste variazioni isotopiche sono dovute all'arrivo di acqua drenata dalla parte più superficiale dell'acquifero ed evidenziano una riserva idrica variabile e non molto consistente, con conseguente limitata attenuazione del segnale isotopico portato dalle acque di neoinfiltrazione.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale è pari a 0.96 ‰ che, pur essendo elevato, tende ad escludere una alimentazione di tipo solo superficiale.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base biennale è -7.73 ‰

In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua testimonia la presenza di una circolazione idrica solo in parte approfondita e caratterizzata anche da una componente di tipo superficiale e/o a deflusso rapido, di percorsi non eccessivamente lunghi e/o di una capacità della riserva idrica limitata.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua. In particolare, l'elevata escursione della temperatura denota la possibile parziale percorrenza superficiale delle acque, almeno nel tratto terminale.

3.3.6.3. *Osservazioni*

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, le acque d'emergenza attraversano litologie a prevalente composizione dolomitica, quali le dolomie della Fm. del Monticello e la Dolomia di Forni,

e vengono a contatto con rocce a composizione solfatica, come le dolomie cariate dell'Evaporitico Carnico.

Il bacino di alimentazione non è molto esteso e confinato al versante sudorientale del Monte Navado. La principale zona di alimentazione è costituita dalla fascia di dolomie fratturate interposta fra la Linea dell'Alto Tagliamento e l'Evaporitico Carnico.

Si evidenzia la vulnerabilità del bacino di ricarica sotteso, costituito principalmente da un acquifero fratturato con una componente della circolazione di tipo superficiale e a deflusso rapido e caratterizzato da una riserva idrica modesta. Per questi motivi è necessario che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata, impedendone la contaminazione, anche approfittando del fatto che l'area di ricarica è poco antropizzata.

Infine, si segnala che la sorgente si distingue per un elevato contenuto di radon, comunque sempre al di sotto dei limiti ai quali è consigliato attenersi per l'acqua potabile, raggiungendo valori massimi di 425 Bq/l (*Boschin, 2004*). Ciò sembra dovuto sia ad un maggiore contenuto di radon nelle litologie nelle quali si sviluppa l'acquifero, sia alla vicinanza della Linea dell'Alto Tagliamento che potrebbe fungere da via preferenziale di fuga di questo gas.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S6	Per soglia di permeabilità sovrainposta e per limite di permeabilità indefinito	Acqua medio-minerale (T.D.S. 404mg/l) Acqua mediamente dura (T.H. 25 mg/l) Ca-Mg-HCO₃ Facies bicarbonato-calcico-magnesiaca	Rocce carbonatiche (prevalentemente dolomitiche) e in p.p. a composizione solfatica	Non molto approfondita e/o percorsi non molto lunghi e/o riserva idrica modesta. Presenza di una componente anche di tipo superficiale e/o a deflusso rapido.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) B1B2 (Civita et AL, 1998)

3.3.7. BACINO SORGENTE S7

La sorgente è situata in Valcalda, valle che si sviluppa in senso est-ovest per una quindicina di chilometri tra gli abitati di Cercivento e di Comeglians ed è divisa in due parti dalla Sella Valcalda (960 m), che funge da spartiacque fra i bacini dei torrenti Margò e Gladegna. La valle ha evidente origine glaciale con morfologia oggi modificata dalle incisioni fluviali e dai depositi alluvionali.

La sorgente, non captata, è ubicata a sud-ovest della frazione di Chiavrar, in comune di Ravaschetto, in sinistra orografica del Rio Margò ed alla quota di 870 m s.l.m. La portata media stimata è di alcuni litri al secondo (circa 8 l/s) ed è soggetta a escursione modesta.

L'emergenza avviene in modo puntuale; l'acqua scaturisce da depositi morenici commisti a detrito posti a contatto con l'unghia di un conoide di deiezione situato alle pendici del versante settentrionale del Monte Zoncolan (1750 m). Il versante è ripido alle quote più elevate, mentre verso fondovalle diviene più morbido, le forme sono arrotondate e leggermente ondulate, ricoperte da ricca vegetazione boschiva. Il tratto di versante d'interesse è sostanzialmente privo di idrografia superficiale nella parte medio-inferiore, costituita da depositi quaternari permeabili in grado di assorbire sia le acque di precipitazione che di ruscellamento provenienti dalla parte sovrastante. In quest'ultima, in cui affiora la roccia, le linee di impluvio e i rii cartografati sono effimeri o a regime torrentizio, restando secchi per la maggior parte dell'anno, anche se possono riempirsi notevolmente durante le piogge intense e, in tal caso, avere un trasporto solido notevole.

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Venturini, 2002; Giorgi, 2006*).

L'elemento strutturale e morfologico più importante che attraversa la zona in oggetto è la Linea Comeglians-Ravaschetto, lungo la quale si sviluppa anche la Valcalda. Questa linea, con orientazione est-ovest, è una faglia inversa ad alta immersione verso nord e porta termini del Paleozoico sopra l'Arenaria di Val Gardena e/o la Fm. a Bellerophon (*Selli, 1963; Gortani, 1960*). I fenomeni compressivi hanno determinato lo sviluppo di strutture a pieghe e di sovrascorrimenti minori, anch'essi a sviluppo prevalentemente est-ovest.

I depositi del Quaternario sono costituiti in prevalenza da depositi glaciali di età

wurmiana e tardo-wurmiana in forma di sottile e discontinua coltre di ritiro glaciale (morena di fondo); molto spesso sono stati mobilizzati e quindi mescolati con detriti di versante, dando origine a coltri eluvio-colluviali. Successivamente si sono impostati evidenti conoidi di deiezione, costituiti da materiale eterogeneo prevalentemente grossolano.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili ad una doppia soglia: una sottoposta, dovuta a un tamponamento prodotto dall'Arenaria di Val Gardena (e, parzialmente, dal Mb. inf. della Fm. a Bellerophon) e una sovrainposta, rappresentata dalla Linea Comeglians-Ravaschetto che produce un ulteriore tamponamento per mezzo della Fm. di Dimon.

3.3.7.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 480 μ S, T.D.S. pari a 367 mg/l). L'acqua è mediamente dura (T.H. 23 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 7.9; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-Mg-HCO₃-SO₄.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca, ma con forte affinità a quella solfato-calcica. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma a catino, tipica delle acque bicarbonato-calcico-magnesiache, non molto accentuata per i relativi alti valori di sodio e cloro. Il diagramma a torta evidenzia le relazioni e i rapporti caratteristici esistenti tra i quantitativi in reazione e porta a stabilire, insieme alle considerazioni precedenti e agli altri diagrammi, che il chimismo riscontrato è quello di acque che circolano in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica (sia calcarea che dolomitica) e sono venute a contatto, solo in parte (considerata l'elevata solubilità dei solfati), con litologie a composizione solfatica (gessi). La presenza di concentrazioni significative degli ioni sodio e cloro, non imputabile a cause antropiche, è riconducibile alla dissoluzione di sali contenuti secondariamente in piccole quantità nei litotipi gessosi di origine evaporitica.

Si segnala una concentrazione significativa dei nitrati.

Il relativamente elevato grado di mineralizzazione è imputabile alla dissoluzione dei solfati e solo secondariamente è indice di superfici di contatto acqua / roccia elevate e/o di tempi di residenza e di deflusso relativamente lunghi.

3.3.7.2. *Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)*

L'andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ evidenzia una leggera positivizzazione autunnale ed una negativizzazione tardo-primaverile, come conseguenza dell'effetto di stagionalità rinvenuto nelle acque piovane e dell'immagazzinamento delle stesse nella riserva idrica. Anche il tempo di risposta è ritardato.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale è pari a 0.74 ‰; pur non essendo eccessivamente elevato se rapportato ad esempio a quelli riscontrabili in circuiti superficiali o in acquiferi carsici, nel caso specifico è in parte conseguenza di una generale tendenza alla negativizzazione del valore del $\delta^{18}\text{O}$ nel tempo.

Pur avendo complessivamente un andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ abbastanza modulato, (principalmente dovuto a una discreta capacità della riserva la quale comporta una parziale attenuazione del segnale isotopico), tra un campionamento e il successivo si assiste ad alcuni bruschi cambiamenti nei valori. Si ha quindi un andamento modulato su cui si sovrappongono alcuni picchi conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi, successivi ad intense precipitazioni. Queste variazioni isotopiche sono dovute all'arrivo di acqua drenata dalla parte più superficiale dell'acquifero.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base biennale è -9.07 ‰ ed è molto più negativo di quello che ci si sarebbe atteso considerando la quota di emergenza e i dati relativi alle stazioni pluviometriche. Prendendo in esame i dati ottenuti dal pluviometro P7 (sito sul Monte Zoncolan a quota 1750 m e con un valore medio ponderato corrispondente pari a -10.11 ‰) si otterrebbe, per un gradiente di 0.25 ‰ ogni 100 m di dislivello, una quota media dell'area del bacino di alimentazione posta solamente 450 m al di sopra della quota di emergenza. Il valore quindi è a sostegno di un percorso delle acque non breve.

In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua testimonia la presenza di una circolazione idrica abbastanza approfondita e/o con percorsi mediamente

lunghi e/o con una discreta capacità della riserva idrica, con una limitata componente di tipo superficiale e/o con deflusso un po' più rapido, che trova sede nei depositi quaternari alla base dei quali si trova l'emergenza.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua.

3.3.7.3. Osservazioni

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, le acque d'emergenza attraversano la Fm. di Werfen e quella a Bellerophon (Mb. sup. e solo in parte inf.) nonché i notevoli depositi quaternari. Il bacino di alimentazione è contenuto nel bacino idrografico.

La parte più vulnerabile sottesa dal bacino di alimentazione è rappresentata dai depositi quaternari molto permeabili che conferiscono all'acquifero una componente della circolazione di tipo superficiale e con deflusso un po' più rapido. Per questi motivi è opportuno che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata, impedendone la contaminazione, specie visto che l'area di ricarica è in parte antropizzata nella zona di fondovalle in cui affiorano i depositi quaternari.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (*D. Lgs. 152/99*) e alla qualità di base dell'acqua (*Civita et Al., 1998*).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S7	Per soglia di permeabilità sovrainposta e sottoposta	Acqua medio-minerale (T.D.S. 367 mg/l) Acqua mediamente dura (T.H. 23 mg/l) $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ Facies bicarbonato-calcico-magnesiaca (a forte affinità solfato-calcica)	Rocce carbonatiche (calcaree e dolomitiche) e in parte solfatiche	Abbastanza approfondita e/o percorsi mediamente lunghi e/o discreta riserva idrica. Presenza anche di una piccola componente di tipo superficiale e/o a deflusso rapido.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) B1B2 (Civita et Al., 1998)

3.3.8. BACINO SORGENTE S8

La sorgente è situata nel settore sud-occidentale delle Alpi Tolmezzine e precisamente in sinistra orografica dell'Alta Val Tagliamento.

La sorgente è ubicata in comune di Forni di Sotto, in località Melareit, lungo il sentiero C.A.I. 214 ed alla quota di 818 m s.l.m.m., alle pendici del versante meridionale del Monte Vacca (1824 m), che fa da contrafforte al Monte Zauf (2247 m), e in destra orografica sia al Rio Zuviel che al conoide di deiezione creato dal torrente Auza.

L'emergenza avviene in modo localizzato, al contatto fra la fascia di detrito che borda il versante e i depositi morenici sottostanti; la sorgente è captata, tramite un'opera di presa, per una portata media di circa 10 litri al secondo.

Il tratto di versante che va dall'emergenza fin quasi alla vetta del Monte Vacca è prevalentemente costituito da rocce carbonatiche (dolomie e calcari dolomitici con giacitura immergente a sud) visibilmente fratturate, in grado quindi di assorbire una significativa aliquota delle acque di precipitazione e di ruscellamento provenienti dalle quote superiori e di alimentare una falda basale. Nel tratto superiore, fin quasi alla cima del Monte Zauf, affiorano rocce riferibili alla Fm. di Werfen e complessivamente meno permeabili, sia per la diversa composizione litologica che per il minor grado di

fratturazione. In quest'area il reticolato idrografico è più sviluppato.

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Pisa, 1972; Rota, 1987; Carulli et Al., 1982; Carulli et Al., 2006*).

Nella zona in studio affiorano diverse tipologie di rocce e si ha un quadro strutturale piuttosto complesso, per la presenza di numerosi disturbi tettonici, fra cui alcuni di importanza regionale. Il lineamento principale è dato da un fascio di strutture, che nell'insieme prendono il nome di Linea di Sauris, costituito da una serie di faglie inverse e sovrascorrimenti, ad orientamento est-ovest ed immergenti a nord, che portano i termini della Fm. di Werfen a sovrascorrere su quelli carbonatici medio-triassici e questi, a loro volta, sui termini dell'Evaporitico Carnico (argille siltose, marne, gessi e dolomie cariate). Le scaglie tettoniche sono disturbate da faglie subverticali e da fratture, ad orientazione N-S e NW-SE appartenenti ad un sistema coniugato ai sovrascorrimenti.

I depositi del Quaternario, questi sono rappresentati da depositi morenici, da falde di detrito, da conoidi di deiezione e dalle alluvioni del Tagliamento.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili ad una soglia di permeabilità sovrainposta, dovuta a un tamponamento delle dolomie fessurate da parte delle arenarie e delle marne della Fm. di Durrenstein che le sovrastano in contatto stratigrafico e con giacitura a franapoggio. Al tamponamento contribuisce anche la fascia cataclastica prodotta dalle due faglie subverticali, a piccolo rigetto e con direzione est-ovest, passanti poco a sud dell'emergenza.

3.3.8.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 376 μ S, T.D.S. pari a 300 mg/l). L'acqua è poco dura (T.H. 19 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 8.1; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-Mg-HCO₃-SO₄.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca, ma con forte affinità a quella solfato-calcica. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calcico-magnesiache. Il diagramma a torta evidenzia le relazioni e i rapporti caratteristici esistenti tra i quantitativi in reazione e permette di stabilire, insieme alle considerazioni precedenti e agli altri diagrammi, che il chimismo riscontrato è attribuibile ad acque che hanno circolato in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica (calcareo e dolomitico) e che sono venute a contatto, in piccola parte (considerata l'elevata solubilità dei solfati), con litologie aventi anche composizione solfatica. La concentrazione dei solfati, infatti, non è compatibile al solo tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

Il relativamente elevato grado di mineralizzazione è imputabile principalmente alla dissoluzione dei solfati e solo secondariamente sarebbe indice di superfici di contatto acqua roccia elevate e/o di tempi di residenza e di deflusso relativamente lunghi.

3.3.8.2. *Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)*

L'andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ risente dell'effetto di stagionalità rinvenuto nelle acque piovane in modo attenuato e più o meno sfasato, in conseguenza all'immagazzinamento delle stesse nella riserva idrica. Nel periodo invernale il tempo di risposta è ritardato.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale (pari a 0.30 ‰) non è elevato ed indica una buona miscelazione delle acque per circolazione idrica approfondita e/o percorsi lunghi e/o a una buona capacità della riserva idrica. Tra un campionamento e il successivo si assiste solo ad alcuni picchi, peraltro non eccessivamente bruschi, conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi, successivi ad intense precipitazioni.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base biennale (pari a -10.32 ‰) è indicativo di una quota media dell'area di ricarica abbastanza elevata.

In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua testimonia una circolazione idrica approfondita con una buona capacità della riserva idrica e con una trascurabile componente di tipo superficiale a deflusso un più rapido.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua.

3.3.8.3. Osservazioni

Le acque d'emergenza circolano per poco e in modo superficiale nella Fm. di Werfen per poi attraversare le dolomie e i calcari dolomitici meso-triassici posti nella parte medio inferiore del versante. La circolazione all'interno del Fm. di Werfen e della Fm. di Lusnizza spiega la presenza relativamente elevata di solfati nell'acqua sorgiva. Il bacino di alimentazione, considerate le differenti litologie attraversate dalle acque, dovrebbe estendersi fin oltre la vetta del Monte Vacca.

La vulnerabilità del bacino di ricarica è bassa in quanto, pur essendo in presenza di un acquifero fessurato, la circolazione idrica riscontrata è principalmente di tipo approfondito e caratterizzata da percorsi abbastanza lunghi e da un buon grado di mescolamento delle acque (grazie anche ad una buona capacità della riserva idrica), mentre la componente di tipo superficiale (dovuta a depositi quaternari) e a deflusso un po' più rapido (macrofratture delle dolomie) pare quasi trascurabile. Anche l'acqua di ruscellamento proveniente dalla Fm. di Werfen, infiltrandosi nelle dolomie, sembra essere in grado di mescolarsi e di venire filtrata.

Resta comunque opportuno, visto anche che per il momento l'area di ricarica è poco antropizzata che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S8	Per soglia di permeabilità sovraimposta	Acqua medio- minerale (T.D.S. 300 mg/l) Acqua poco dura (T.H. 19 mg/l) Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄ Facies bicarbonato- calcico- magnesiaca (a forte affinità solfato-calcica)	Rocce carbonatiche (calcree e dolomitiche) e in parte a composizione solfatica	Approfondita e/o percorsi mediamente lunghi e/o buona riserva idrica.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) B1B2 (Civita et AL., 1998)

3.3.9. BACINO SORGENTE S9

La sorgente, nota come La Santissima o Sorgente della Livenza, è situata nella conca di Polcenigo alla base sud-orientale dell'Altopiano del Cansiglio, nelle Prealpi Carniche. In particolare è ubicata nella Valle Palù, che si sviluppa in senso NE-SW interponendosi fra la massa calcarea carsificata del Massiccio Cansiglio-Cavallo e le basse colline che raccordano i monti alla Pianura friulana.

La sorgente, parzialmente captata, emerge presso la località Santissima, in comune di Polcenigo, alla base del versante orientale del Col Major (1242 m) ed alla quota di 35 m s.l.m.m. La portata media stimata è superiore a $6.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (Cucchi et Al., 1998).

L'emergenza avviene in modo diffuso, a modo di fronte sorgivo; l'acqua, che sgorga da più polle sorgentifere alla base dello zoccolo roccioso, si riversa in un ampio bacino palustre di spagliamento in parte bonificato dando origine al Fiume Livenza. Al fiume contribuiscono anche le sorgenti Gorgazzo e Molinetto, poste a breve distanza. La sorgente fa parte, infatti, di un complesso sorgentifero più ampio, costituito da acque che appartengono alla falda carsica presente all'interno del Massiccio Cansiglio-Cavallo, costituito da una potente successione di calcari cretacei e con assetto strutturale caratterizzato da un'ampia anticlinale che a Sud Est confina con la Pianura friulana. Il Massiccio è caratterizzato da una idrografia superficiale pressochè assente, conseguenza di un carsismo diffuso testimoniato dalla presenza di centinaia di doline, inghiottitoi e pozzi e da una idrografia sotterranea sviluppata sino a quote molto basse, tipica degli stadi maturi del ciclo carsico.

Le acque vanno a costituire le falde ipogee che alimentano verso Ovest il lago di S.Croce e verso est le sorgenti di Gorgazzo, Santissima e Molinetto. Le direttrici di infiltrazione ed i percorsi ipogei delle acque, che in più occasioni si è tentato di individuare mediante tracciamenti, rimangono comunque ancora in parte sconosciuti.

Le principali caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (Ferasin, 1960; Cavallin, 1980; Fogato et Al., 1981; Cavallin e Martinis, 1982; Carulli et Al, 2006).

L'elemento strutturale e morfologico più importante che attraversa la zona in oggetto è la Linea di Caneva. Questa linea, con orientazione nord-sud, è una faglia inversa immergente verso ovest che ha portato i calcari cretaci sopra il Conglomerato del Montello. Nell'areale in studio è interposta anche una scaglia tettonica costituita da calcari piegati e rovesciati, che corre con andamento subparallelo alla Linea di Caneva.

In corrispondenza della scaglia tettonica si è impostato un polje, in parte colmato da depositi di versante e alluvionali, in parte da depositi lacustri e torbosi.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili alle due soglie sottoposte costituite dalla scaglia tettonica in calcari rovesciati ed intensamente cataclasiati che produce un tamponamento preliminare, e dalla Linea di Caneva che provoca un ulteriore tamponamento per mezzo del Conglomerato del Montello. I depositi lacustri e i livelli torbosi, che ricoprono la scaglia tettonica, creano una impermeabilizzazione sovrastante.

3.3.9.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 221 μS , T.D.S. pari a 200 mg/l). L'acqua è dolce (T.H. 12 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 7.8; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-HCO_3 , che rappresenta la coppia catione-anione largamente dominate.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcica quasi pura. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calciche. Il chimismo riscontrato è attribuibile ad acque che hanno circolato in litotipi (allo stato sia coerente, semicoerente che sciolto) a composizione carbonatica di tipo prevalentemente calcarea. Le concentrazioni (in meq%) degli ioni Ca, Mg e HCO_3 costituiscono insieme quasi il 97% degli ioni complessivi. La bassa concentrazione dello ione Mg, sia in termini assoluti che relativi (meq%), esclude un mescolamento significativo con la facies bicarbonato-calcico-magnesiaca ed è quindi compatibile con l'attraversamento di deboli

intercalazioni dolomitiche o alla dissoluzione della dolomite presente come componente accessorio dei calcari. La bassa concentrazione dei solfati è compatibile col tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

3.3.9.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)

La spezzata che unisce i dati relativi ai valori del $\delta^{18}\text{O}$ è caratterizzata da un andamento irregolare che evidenzia la dipendenza dagli impulsi infiltrativi. I tempi di risposta sono abbastanza rapidi tranne che nel periodo invernale. Anche il valore dell'escursione isotopica calcolato su base biennale (pari a 0.72 ‰), se rapportato a quelli riscontrabili in altri acquiferi carsici, non è eccessivamente elevato, a testimonianza dell'esistenza di un flusso di base.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base biennale (pari a -9.17 ‰) gioca a sostegno di un percorso delle acque molto lungo e approfondito. Il valore è molto più negativo di quello che ci si sarebbe atteso considerando la quota di emergenza e i dati relativi alle stazioni pluviometriche. I dati ottenuti dal pluviometro P9 (sito sull'altipiano del Cansiglio a quota 1033 m e con un valore medio ponderato corrispondente pari a -9.33 ‰) con un gradiente di 0.29 ‰ ogni 100 m di dislivello, suggeriscono una quota media dell'area del bacino di alimentazione di circa di 1000 m s.l.m.

In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua sembra evidenziare un percorso lungo ed un reticolo di drenaggio composto (a "dreni interdipendenti"): a deflusso rapido nei condotti carsici e nelle macrofratture, e a deflusso lento nelle microfratture dei blocchi (che hanno una diffusività inferiore). In fase di piena, i carichi idraulici sono più alti nei condotti, che possono pertanto cedere acqua ai blocchi; viceversa, in fase di magra il flusso di base dei condotti è alimentato dalla graduale cessione dell'acqua immagazzinata nelle microfratture dei blocchi.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua. In particolare, per la sorgente sono stati consultati i numerosi parametri idrologici (livello delle acque di falda, misure di portata, valutazione delle riserve idriche etc.) acquisiti nell'ambito di un progetto di ricerca del GNDCI (Cucchi et Al., 1998). La sorgente, alimentata da un acquifero carsico, ha

oscillazioni del livello idrico abbastanza contenute e tempi di esaurimento della piena relativamente lunghi a sostegno di una riserva idrica e di un bacino di estensione notevoli e di un reticolo di drenaggio composto (acquifero carsico con sistema di drenaggio a doppia porosità). La portata notevole evidenzia un bacino di alimentazione molto esteso.

3.3.9.3. Osservazioni

Le acque d'emergenza attraversano i calcari cretacici secondo una circolazione idrica complessa, lunga e approfondita. Il bacino di alimentazione è molto ampio e si estende ben oltre quello idrografico del Fiume Livenza, cioè almeno fino all'altopiano del Cansiglio-Cavallo e quindi oltre i confini regionali. Per le basse concentrazioni di Mg riscontrate i tributari dovrebbero essere solo i calcari della parte più meridionale del fronte prealpino e non i calcari dolomitici o le dolomie restrostanti.

La sorgente della Livenza è una risorsa di notevolissima importanza, sia dal punto di vista qualitativo che da quello quantitativo. A fronte di tutto questo, si evidenzia la vulnerabilità medio-alta del bacino di ricarica sotteso e quella altissima degli immediati dintorni: si tratta infatti di un acquifero caratterizzato da medio e alto sviluppo del carsismo profondo, con conseguente alta permeabilità e con deflusso rapido nei condotti e nelle macrofratture, sebbene attenuato dall'esistenza di un flusso di base. Per questi motivi è necessario che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata, guidando le iniziative di utilizzo a fini turistici e silvopasturali.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S9	Per doppia soglia di permeabilità sottoposta	Acqua medio- minerale (T.D.S. 200 mg/l) Acqua dolce (T.H. 12 mg/l) Ca-HCO ₃ Facies bicarbonato- calcica	Rocce carbonatiche (prevalentemente calcaree)	Approfondita e/o percorsi molto lunghi e/o notevole riserva idrica. Acquifero carbonatico carsificato a drenaggio composto (nei condotti e macrofratture e nelle microfratture) con flusso di base.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) A1B2 (Civita et Al., 1998)

3.3.10. BACINO SORGENTE S10

La sorgente è situata nel settore centro-meridionale delle Prealpi Carniche, in sinistra orografica all'ampio conoide del Torrente Meduna, sul quale resta ben sopraelevata, e alla base del pendio costituito dai versanti meridionali del Monte Davanti (940 m), del Col Manzon (743 m) e del Col Taront (742 m), le cui vette orlano a meridione il versante sud-orientale del Monte Ciaurlec (1135 m).

Le zone d'emergenza, note come Sorgenti Val di Drea, sono ubicate al termine dell'omonima valle, presso la località Pra Restans, sita in comune di Travesio, alla base del versante ed alla quota di 250 m s.l.m.m, nel punto di raccordo con la piana antistante, costituita da depositi alluvionali limoso argillosi.

L'emergenza avviene direttamente dalla roccia (calcari e calcari marnosi) in tre punti principali, distanziati alcune decine di metri fra loro ed allineati lungo una profonda incisione posta alla base del versante, orientata nord-sud e fortemente disturbata tettonicamente. In tutti e tre i punti di emergenza le acque sono completamente captate da piccole opere di presa in cemento, per una portata complessiva di 13 l/s. Le acque raccolte sono quindi convogliate in un'ampio serbatoio in cemento posto poco al di sotto delle prese; l'impianto, di fatto, non è utilizzato, salvo in casi del tutto eccezionali, e le acque

vengono scaricate nel Rio Secco tramite apposita tubazione.

Il gruppo del Monte Ciaurlec è costituito da calcari fessurati e carsificati (Calcari del Cellina e di M. Cavallo), caratterizzato dall'assenza del reticolo idrografico e da forme epigee e ipogee sviluppate soprattutto in quota e sul versante sud-orientale. Le acque di precipitazione vanno ad alimentare una profonda falda di base. In vetta e nella parte superiore del versante sud-orientale i calcari immergono a debole pendenza verso sud-est per poi flettersi in corrispondenza di un anticlinale il cui asse passa lungo la cima del Col Manzon; a questo cambio di giacitura corrisponde una variazione nell'orientazione e nella pendenza dei versanti.

L'idrostruttura complessiva può essere definita di tipo fratturato-carsico.

Le caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Ferasin, 1960; Fogato et Al., 1981; Cavallin e Martinis, 1982; Carulli et Al, 2006*).

L'elemento strutturale e morfologico più importante che attraversa la zona in oggetto è il sovrascorrimento, immergente verso nord e che scorre a meridione lungo la base del gruppo del Monte Ciaurlec, che ha portato i calcari del Cellina, la Scaglia Rossa e il Flysch eocenico a sovrascorrere sul Conglomerato del Montello e la Molassa. Nell'areale in studio, nella parte orientale sovrascorsa, si ha interposta al sovrascorrimento anche una scaglia tettonica costituita da Flysch eocenico.

I depositi del Quaternario sono rappresentati da falde di detrito e da depositi aluvionali .

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili a due soglie sottoposte: una rappresentata dal sovrascorrimento, che produce un tamponamento dei Calcari del Cellina e di Monte Cavallo per mezzo della Molassa impermeabile, l'altra, costituita dalla scaglia tettonica che provoca un ulteriore tamponamento laterale.

I limi e le argille presenti immediatamente alla base del versante creano una impermeabilizzazione sovrastante.

3.3.10.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 298 μS , T.D.S. pari a 264 mg/l). L'acqua è poco dura (T.H. 15 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 7.8; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Ca-HCO_3 , che rappresenta la coppia catione-anione largamente dominate. Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcica pura. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume la forma a catino tipica delle acque bicarbonato-calciche. Il chimismo riscontrato è attribuibile ad acque che hanno circolato in litotipi a composizione carbonatica di tipo esclusivamente calcareo. Le concentrazioni (in meq%) degli ioni Ca e HCO_3 costituiscono insieme quasi il 96% degli ioni complessivi. La bassissima concentrazione dello ione Mg, sia in termini assoluti che relativi (meq%), esclude un mescolamento con la facies bicarbonato-calcico-magnesiaca ed è compatibile con la dissoluzione della dolomite presente come componente accessorio dei calcari. La bassa concentrazione dei solfati è compatibile col tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

3.3.10.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)

L'andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ è modulato dalla discreta capacità della riserva idrica che attenua il segnale isotopico. Tra un campionamento e il successivo si assiste solo ad alcuni bruschi cambiamenti nei valori. Si ha un andamento modulato su cui si sovrappongono alcuni picchi, conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi. Queste variazioni isotopiche sono dovute all'arrivo di acqua drenata dalla parte a deflusso più rapido dell'acquifero (macrofratture).

Il valore dell'escursione isotopica calcolato sul periodo indagato (pari a 0.24 ‰), se rapportato a quelli riscontrabili in acquiferi carsici, è basso, a testimonianza dell'esistenza di un forte flusso di base.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base annuale è -7.10 ‰.

L'analisi della composizione isotopica evidenzia una buona capacità di riserva idrica e un drenaggio prevalente a deflusso lento nelle microfratture.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate, che si mantengono abbastanza costanti, sono in accordo con quanto deducibile dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua.

3.3.10.3. Osservazioni

Le acque d'emergenza circolano esclusivamente in rocce carbonatiche di tipo calcareo e il bacino di alimentazione, trattandosi di un acquifero carsico, è difficilmente definibile senza prove di tracciamento. In base al contesto geologico, è probabile che si estenda oltre le cime del Monte Davanti, del Col Manzon e del Col Taront, e che interessi almeno una parte del versante sud-orientale del Monte Ciaurlec.

Anche se si è in presenza di un acquifero fessurato e carsificato, la vulnerabilità del bacino di ricarica è modesta, in quanto la circolazione idrica risulta di tipo approfondito e caratterizzata da percorsi abbastanza lunghi e da un buon grado di filtrazione e mescolamento delle acque grazie alla buona capacità della riserva idrica. La componente a deflusso rapido risulta. Resta comunque opportuno che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata, favorita in ciò dalla scarsa antropizzazione attuale.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S10	Per soglia di permeabilità sottoposta	<p>Acqua medio-minerale (T.D.S. 264 mg/l)</p> <p>Acqua poco dura (T.H. 15 mg/l)</p> <p>Ca-HCO₃</p> <p>Facies bicarbonato-calcica pura</p>	Rocce carbonatiche (esclusivamente calcaree)	<p>Abbastanza approfondita e/o percorsi medio lunghi e/o buona riserva idrica.</p> <p>Acquifero carbonatico a drenaggio composto (macrofratture e microfratture) con flusso di base.</p>	<p>CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99)</p> <p>A1B2 (Civita et Al., 1998)</p>

3.3.11. BACINO SORGENTE S11

La sorgente è situata nel settore sud-occidentale delle Prealpi Carniche nel tratto terminale della Valle del Torrente Pentina, poco prima della confluenza nel Lago di Barcis.

La zona d'emergenza, nota come Sorgenti del Molinat, è in comune di Barcis, al termine della Strada Turistica Lungolago, nei pressi della Forcella Armasio e della località Molinat, e alla quota di 404 m s.l.m.m.

Le sorgenti si trovano in destra orografica del Torrente Pentina, nel cui alveo si riversano le acque alla base del versante nord-occidentale di un modesto rilievo (676m) che separa la valle del Torrente Pentina da quella del Torrente Caltea.

Le emergenze sono in zona fortemente disturbata tettonicamente, avvengono in modo diffuso da più scaturigini e da cavità e fratture della roccia. L'acqua è parzialmente captata, tramite un opera in pietrame fugato, per una portata di 5 l/s. La portata non captata è di una certa entità ed ha regime variabile, passando da una decina fino ad alcune centinaia di litri al secondo. In particolare, pochi metri in quota e ad ovest rispetto all'opera di presa, una scaturigine genera una cascata d'acqua, mentre una decina di metri ad est dell'opera stessa, lungo la scarpata che orla il fianco della Strada Turistica Lungolago, si scorge una piccola fessura nella roccia da cui si ode scorrere acqua di un corso d'acqua ipogeo.

Trattandosi di una sorgente carsica, l'areale da prendere in considerazione è quello rappresentato dai rilievi dei monti il Piz, Castellet e S. Lorenzo e dalla zona di Montelonga, ubicati a sud e sud-est dell'emergenza e costituiti dai calcari del Cellina e di Monte Cavallo. Questi si presentano fessurati e carsificati, è assente un reticolo idrografico e sono presenti forme epigee e ipogee sviluppate soprattutto in quota. Le acque di precipitazione alimentano una falda di base per cui l'idrostruttura è di tipo fratturato-carsico.

Le caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia (*Ferasin, 1960; Cavallin, 1980; Fogato et Al., 1981; Cavallin e Martinis, 1982; Carulli et Al, 2006*).

L'elemento strutturale e morfologico più importante che attraversa la zona in oggetto è la Linea Barcis-Starò Selo. Questa linea, che nella zona in studio ha orientazione est-ovest per flettersi in prossimità dell'emergenza in direzione nord-sud e quindi NW-SE, è un sovrascorrimento che qui ha portato le dolomie triassiche, provenienti da nord, sopra i Calcari del Cellina e di Monte Cavallo. Nell'areale in studio, al fronte del sovrascorrimento principale e poco a nord del Lago di Barcis, si ha interposta anche una scaglia tettonica, che porta i Calcari del Cellina sulla Scaglia Rossa.

Le cause d'emergenza e di formazione della falda idrica sono imputabili ad una soglia di permeabilità sovrainposta, rappresentata dalla Linea Barcis-Starò Selo, che produce un tamponamento dei calcari carsificati per mezzo della Fm. del Monticello e della Dolomia Principale.

3.3.11.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 210 μ S, T.D.S. pari a 186 mg/l). L'acqua è dolce (T.H.11 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 7.9; le acque sono quindi di tipo

alcalino.

La formula ionica è Ca-Mg-HCO₃.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcica con forte affinità a quella bicarbonato-calcico-magnesiaca. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume la forma a catino, tipica delle acque bicarbonato-calciche. Il chimismo riscontrato è quello di acque che circolano esclusivamente in litotipi a composizione carbonatica, prevalentemente calcarea e subordinatamente dolomitica. Infatti, le concentrazioni (in meq%) degli ioni Ca, Mg e HCO₃ costituiscono insieme quasi il 98% degli ioni complessivi. La concentrazione significativa dello ione Mg, sia in termini assoluti che relativi (meq%), indica un mescolamento parziale con la facies bicarbonato-calcico-magnesiaca, imputabile all'attraversamento di dolomie o di intercalazioni dolomitiche. La bassa concentrazione dei solfati è compatibile col tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

3.3.11.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}O$) e fisici (T e P)

L'andamento dei valori del $\delta^{18}O$ è solo in parte modulato dalla discreta capacità della riserva. Si ha un andamento modulato su cui si sovrappongono alcuni picchi, conseguenti ad importanti impulsi infiltrativi. Queste variazioni isotopiche sono dovute all'arrivo di acqua drenata dalla parte a deflusso più rapido dell'acquifero in condotta e nelle macrofratture.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato sul periodo indagato (pari a 0.71 ‰), se rapportato a quelli riscontrabili in altri acquiferi carsici, non pare essere eccessivamente elevato, a testimonianza dell'esistenza di un flusso di base.

Il valore medio del $\delta^{18}O$ calcolato su base annuale è -9.07 ‰ ed indica una quota media dell'area di ricarica abbastanza elevata.

In conclusione, l'analisi della composizione isotopica dell'acqua evidenzia un reticolo di drenaggio a "dreni interdipendenti" a deflusso rapido cui si unisce un deflusso lento nelle microfratture dei blocchi a diffusività inferiore. In fase di piena, i carichi idraulici sono più alti nei condotti, che possono pertanto cedere acqua ai blocchi; viceversa, in fase di magra il flusso di base dei condotti è alimentato dalla graduale

cessione dell'acqua immagazzinata nelle microfratture dei blocchi.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate, queste ultime variabili, sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua.

3.3.11.3. Osservazioni

Le acque d'emergenza circolano in rocce carbonatiche quali i Calcari del Cellina e del Monte Cavallo. Riguardo alla presenza delle relativamente elevate concentrazioni di Mg, è difficile stabilire quanto ciò sia dovuto alla presenza di intercalazioni dolomitiche all'interno dei calcari e quanto (e se) ciò sia conseguenza di un effettivo contatto o attraversamento dell'acqua con formazioni dolomitiche vere e proprie. Trattandosi poi di un acquifero carsico e di un'emergenza con portate cospicue e per di più posta in prossimità di un lago, il bacino di alimentazione è difficilmente definibile senza ulteriori indagini (prove di tracciamento, misure di portata etc). Tuttavia, in base al contesto geologico, è probabile che il bacino di alimentazione vada dai versanti del Monte il Piz e si spinga fin oltre la destra orografica del Torrente Caltea, cioè ai versanti del Monte Castellet e del Monte S. Lorenzo.

Pur non essendo arealmente ben definibile, la vulnerabilità del bacino di ricarica è medio-alta dato che si tratta di un acquifero caratterizzato da medio e alto sviluppo del carsimo profondo. E' quindi opportuno che la risorsa idrica venga adeguatamente salvaguardata, imponendo una bassa fruibilità dell'area, oggi interessata da alcune casere e case in località Losie e Pezzeda.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S11	Per soglia di permeabilità sovrainposta	Acqua oligo-minerale (T.D.S. 186mg/l) Acqua dolce (T.H.11 mg/l) Ca-Mg-HCO ₃ Facies bicarbonato-calcica (ad affinità bicarbonato-calcica-magnesiaca)	Rocce carbonatiche (calcree e in parte dolomitiche)	Approfondita e/o percorsi lunghi e/o buona riserva idrica. Acquifero carbonatico fessurato e carsificato a drenaggio composto (nei condotti e macrofratture e nelle microfratture) con flusso di base.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) A1B2 (Civita et Al., 1998)

3.3.12. BACINO SORGENTE S12

L'emergenza è situata al limite orientale delle Alpi Tolmezzine in Val d'Aupa, in destra orografica all'omonimo torrente, sul quale resta ben sopraelevata.

La sorgente, nota come Sorgente Grauzaria, è ubicata in comune di Moggio Udinese, poco a NW della frazione di Grauzaria, in località Forchiet, nella fascia di detrito posta alla base dei versanti sud e sud-orientali di Creta Grauzaria (2059 m) ed in sinistra orografica del Rio della Forchia. L'emergenza avviene in modo diffuso, sgorgando le acque dalla copertura detritica in più punti situati in un areale abbastanza vasto, compreso tra le quote di 700 e 770 m. Le acque sono captate in tre zone, tramite tre opere di presa in cemento e semi-interrate, per una portata complessiva di 18 l/s. Due di questi impianti di captazione sono di recentissima costruzione (2005-2006) anche per soddisfare le crescenti richieste idriche del comune di Moggio Udinese. Le acque captate sono convogliate, tramite tubazione interrata in polietilene, in un'ampia vasca di raccolta posta più a valle.

Le acque non captate alimentano un piccolo corso d'acqua (Rio Pacol Brausade) che, dopo breve percorso, confluisce nel Rio della Forchia. Quest'ultimo, affluente destro del torrente Aupa, ha un regime di tipo torrentizio ed ha notevole trasporto solido durante le

piene.

La Creta Grauzaria appartiene ad un più ampio areale montuoso di affioramento della Dolomia Principale con struttura a grandi linee definibile a monoclinale immergente debolmente verso sud e sud-ovest. La monoclinale è suddivisa da sistemi di faglie verticali a piccolo rigetto e da fratture (alcune anche beanti) che hanno condizionato lo sviluppo del reticolato idrografico e conferito alla dolomia un certo grado di permeabilità. Le acque di infiltrazione vanno ad alimentare una falda basale anche se all'interno delle dolomie possono crearsi localmente piccole falde sospese, sostenuta in profondità dalla Fm. del Monticello. L'idrostruttura complessiva può essere definita di tipo fratturato.

Le caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Selli, 1963; Carulli et Al., 1982; Carulli et Al., 1987; Carulli et Al., 2006*).

Gli elementi strutturali e morfologici dominanti sono dati dall'assetto a monoclinale della Dolomia Principale e dai sistemi di discontinuità.

L'estesa monoclinale appartiene ad una grande scaglia di scollamento gravitativo costituita in profondità anche dalla Fm. di Monticello e dal Gr. di Raibl. La scaglia tettonica è delimitata a nord dallo scorrimento del Monte Sernio (che è una faglia diretta immergente a sud e ad andamento all'incirca ovest-est) e ad est dalla linea del Cuel di Zouf (che è una faglia a componente anche trascorrente e ad andamento all'incirca nord-sud).

Il Quaternario è rappresentato da estese falde di detrito, poste alla base dei rilievi, da conoidi di deiezione e da depositi alluvionali nei fondovalle.

Le cause d'emergenza sono imputabili ad una soglia sottoposta, rappresentata dalla Linea del Cuel di Zouf, che produce un tamponamento della Dolomia Principale fratturata per mezzo della fascia cataclastica e della Fm. di Buchenstein e di San Cassiano sottostanti. La falda di base contenuta nella Dolomia Principale è sostenuta in profondità dalle formazioni relativamente meno permeabili che si trovano, per contatto stratigrafico, al di sotto della dolomia stessa (Fm. del Monticello e Gruppo di Raibl).

La falda di detrito in cui sono ubicate le sorgenti ha sostanzialmente un ruolo di tipo passivo, mascherando le vere cause d'emergenza.

3.3.12.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 182 μS , T.D.S. pari a 157 mg/l). L'acqua è dolce (T.H.10 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 7.9; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è Mg-Ca- HCO_3 .

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume la forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calcico-magnesiache. Il chimismo riscontrato è quello di acque che hanno circolato esclusivamente in litotipi a composizione carbonatico dolomitica. Infatti, le concentrazioni (in meq%) degli ioni Ca, Mg e HCO_3 costituiscono insieme quasi il 96% degli ioni complessivi.

La bassa concentrazione dei solfati è compatibile col tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

3.3.12.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)

L'andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ risente dell'effetto di stagionalità rinvenuto nelle acque piovane in modo attenuato e più o meno sfasato, in conseguenza all'immagazzinamento delle stesse nella riserva idrica. Nel periodo invernale il tempo di risposta è ritardato.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato sul periodo indagato (pari a 0.34 ‰) non è elevato, a testimonianza di una buona miscelazione delle acque dovuta a una circolazione idrica approfondita e/o a percorsi lunghi e/o a una buona capacità della riserva idrica.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base annuale (pari a -8.58 ‰) è più negativo di quello che ci si sarebbe atteso ed indica una quota media dell'area di ricarica abbastanza elevata.

La composizione isotopica dell'acqua testimonia una circolazione idrica approfondita e/o con percorsi lunghi e/o con una buona capacità della riserva, con una

trascurabile componente di tipo superficiale e/o a deflusso un po' più rapido.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua.

3.3.12.3. Osservazioni

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, risulta che le acque d'emergenza hanno circolato in rocce carbonatiche a composizione esclusivamente dolomitica, quale la Dolomia Principale, seguendo circuiti lunghi e ben approfonditi.

Il bacino di alimentazione, in base al contesto geologico e ai dati rilevati, interessa i versanti dolomitici meridionali e orientali di Creta Grauzaria e probabilmente si estende anche a nord e ad ovest.

La vulnerabilità del bacino di ricarica è modesta, in quanto pur essendo in presenza di un acquifero fessurato la circolazione idrica è di tipo approfondito, caratterizzata da percorsi abbastanza lunghi e da un buon grado di filtrazione e di mescolamento delle acque grazie anche ad una buona capacità della riserva idrica, mentre la componente di tipo superficiale (dovuta soprattutto alla falda di detrito in cui sono situate l'emergenze) e quella a deflusso più rapido (nelle macrofratture della Dolomia Principale) è quasi trascurabile.

Resta comunque opportuno, facilitati in ciò dalla scarsa antropizzazione, salvaguardare adeguatamente la risorsa idrica.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S12	Per soglia di permeabilità sottoposta	Acqua oligo-minerale (T.D.S. 157 mg/l) Acqua dolce (T.H. 10 mg/l) Mg-Ca-HCO ₃ Facies bicarbonato-calcico-magnesiaca	Rocce dolomitiche	Approfondita e/o percorsi mediamente lunghi e/o buona riserva idrica.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) A1B2 (Civita et Al., 1998)

3.3.13. BACINO SORGENTE S13

La sorgente è situata nelle Alpi Tolmezzine nella Valle del Torrente Chiarzò, all'altezza del Canale di Incaroio, alla base del versante sud-orientale del Monte Tersadia (1961 m).

L'emergenza, nota come sorgente Paluzan o Palucian, è in comune di Paularo, fra le frazioni di Lambrugno e Trelli, in località Palucian, pochi metri a monte della S.P. n° 40 ed alla quota di 670 m s.l.m.m.

La sorgente, parzialmente captata tramite una opera di presa, ha una portata media complessiva di circa 15 l/s, di cui 10 captati. L'emergenza avviene in modo localizzato; le acque non captate, dopo un breve percorso superficiale, si riversano nel Rio Benedetto. Questo rio, tributario del Torrente Chiarzò, di fatto acquisisce carattere perenne solo dopo aver ricevuto i contributi della sorgente Palucian e di altre due di cui una a pochi metri di distanza.

Il Monte Tersadia è costituito prevalentemente da rocce dolomitiche ascrivibili alla

Fm. del Serla, a stratificazione decimetrica nella parte inferiore (Mb. inf. s.s. e Fm. di Lusnizza.) e metrica o massiccia in quella superiore (Mb. sup. o Dolomia del Popera), orlate tutt'intorno dalle rocce della Fm. di Werfen. Il monte appartiene ad una più ampia zona caratterizzata da pieghe, complesse e fagliate, che qui hanno determinato una struttura a grandi linee a sinclinorio. L'erosione ha creato un alto morfologico, rappresentato dalla vetta dolomitica del Monte Tersadia, in corrispondenza della conca strutturale. Questa situazione fa sì che le rocce immergano prevalentemente a reggipoggio tutt'intorno al monte stesso. La struttura generale è interessata anche da una serie di pieghe minori sviluppatesi soprattutto nella Fm. di Werfen e da sistemi di faglie interessanti principalmente le dolomie. Questi sistemi di dislocazione hanno condizionato lo sviluppo del reticolato idrografico ed hanno conferito alla dolomia un certo grado di permeabilità nei confronti delle acque di precipitazione. Le acque di infiltrazione vanno quindi ad alimentare una falda basale, sostenuta in profondità dalla Fm. di Werfen che ha permeabilità relativa minore e che crea un catino sotterraneo di raccolta delle acque. L'idrostruttura può quindi essere definita di tipo fratturato.

Le caratteristiche geologiche e strutturali presenti nell'areale in studio sono visibili nella carta geologica e nella sezione, realizzate tramite le informazioni ottenute dal rilevamento e dalla bibliografia preesistente (*Dal Piaz, 1957; Metzeltin, 1973; Carulli et Al., 1982; Ponton, 1984; Carulli et Al., 1987; Carulli e Ponton, 1988; Ferrari, 1990; Venturini, 1990; Simonetti, 1992; Sperne, 1992; Venturini, 2002; Giorgi, 2006; Carulli et Al., 2006*).

Nella carta si notano l'elemento strutturale e geomorfologico dominante dato dal sinclinorio che interessa il Monte Tersadia e dai fenomeni plicativi e disgiuntivi secondari.

Il Quaternario è rappresentato da depositi morenici, da falde di detrito (di cui alcune cementate, come parte di quella posta sotto la vetta del monte Tersadia nel versante sud-orientale) e dalle alluvioni del Torrente Chiarzò.

Le cause d'emergenza della falda idrica sono legate alla situazione geologica generale, caratterizzata dalla struttura a catino che sostiene le acque di infiltrazione per mezzo dei primi orizzonti impermeabili presenti all'interno della Formazione di Werfen. L'emergenza è quindi dovuta ad una soglia sottoposta.

3.3.13.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici

Le acque analizzate hanno un grado di mineralizzazione medio (K_{25} pari a 284 μS , T.D.S. pari a 227 mg/l). L'acqua è dolce (T.H.15 mg/l).

Il pH è basico, con valore medio prossimo a 8; le acque sono quindi di tipo alcalino.

La formula ionica è $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$.

Dal diagramma di Piper emerge che l'acqua appartiene alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca, ma con affinità a quella solfato-calcica. Nel diagramma di Schoeller la rappresentazione del chimismo dell'acqua assume una forma "a catino", tipica delle acque bicarbonato-calcico-magnesiache. Il chimismo riscontrato è attribuibile ad acque che hanno circolato in litotipi a composizione carbonatica prevalentemente dolomitica e che sono venute a contatto, in piccola parte, considerata l'elevata solubilità dei solfati, con litologie aventi anche composizione solfatica. La concentrazione dei solfati, infatti, non è compatibile al solo tasso medio presente nelle acque meteoriche e di percolazione.

Il relativamente elevato grado di mineralizzazione è imputabile alla dissoluzione dei solfati e solo secondariamente è indice di superfici di contatto acqua roccia elevate e/o di tempi di residenza e di deflusso relativamente lunghi.

3.3.13.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P)

L'andamento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ risente dell'effetto di stagionalità rinvenuto nelle acque piovane in modo attenuato e sfasato. Nel periodo invernale il tempo di risposta è ritardato.

Il valore dell'escursione isotopica calcolato sul periodo indagato (pari a 0.22 ‰) non è elevato, a testimonianza di una buona miscelazione delle acque dovuta a una circolazione approfondita e/o a percorsi lunghi e/o a una buona capacità della riserva idrica.

Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ calcolato su base annuale (pari a -8.58 ‰) è più negativo di quello che ci si sarebbe atteso ed indica una quota media dell'area di ricarica abbastanza elevata. La composizione isotopica dell'acqua testimonia la presenza di una circolazione idrica approfondita e/o con percorsi lunghi e/o con una buona capacità della riserva idrica,

con una trascurabile componente di tipo superficiale e/o con deflusso un po' più rapido.

L'andamento dei valori delle temperature e delle portate sono in accordo con quanto dedotto dalle analisi della composizione isotopica dell'acqua.

3.3.13.3. Osservazioni

In base alla conoscenza dei litotipi che hanno veicolato l'acqua e delle modalità di circolazione individuati, risulta che le acque d'emergenza attraversano, seguendo circuiti lunghi e/o profondi, rocce carbonatiche a composizione dolomitica, quale il Mb. sup. e parte di quello inf della Fm. del Serla. e dolomitico-solfatica, quale la Fm. di Lusnizza (qui accorpata alla Fm. inf. del Serla) costituita da dolomie cariate e da lenti e intercalazioni a composizione solfatica. L'arricchimento in solfati avviene dunque nel tratto terminale.

Il bacino di alimentazione, in base al contesto geologico e ai dati rilevati, si sviluppa lungo il versante sud-orientale del Monte Tersadia e si estende sia lateralmente al versante stesso che oltre la vetta del monte, rimanendo tuttavia confinato dagli affioramenti della Fm. di Werfen.

La vulnerabilità del bacino di ricarica è relativamente modesta in quanto, pur essendo in presenza di un acquifero fessurato, la circolazione idrica è di tipo profondo, caratterizzata da percorsi abbastanza lunghi e da un buon grado di filtrazione e mescolamento delle acque. La componente di tipo superficiale e a deflusso un po' più rapido nei depositi quaternari e nelle fratture più ampie delle dolomie è quasi trascurabile.

Dato che poco sopra all'emergenza vi è l'abitato di Trelli e relative frazioni è comunque opportuno prevedere forme di salvaguardia della risorsa idrica.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le considerazioni esposte; in aggiunta sono elencate le classi di appartenenza relative allo stato chimico (D. Lgs. 152/99) e alla qualità di base dell'acqua (Civita et Al., 1998).

ID	Tipo di emergenza	Mineralizzazione Durezza Formula ionica e facies chimica	Possibili litotipi attraversati	Possibili modalità di circolazione idrica	Stato chimico e qualità di base
S13	Per soglia di permeabilità sottoposta	Acqua medio- minerale (T.D.S. 227 mg/l) Acqua dolce (T.H. 15 mg/l) Ca-Mg-HCO₃-SO₄ Facies bicarbonato- calcico- magnesiaca (ad affinità solfato-calcica)	Rocce carbonatiche (dolomitiche e calcaree) e in parte a composizione solfatica	Approfondita e/o percorsi mediamente lunghi e/o buona riserva idrica.	CLASSE 2 (D. Lgs. 152/99) A1B2 (Civita et Al., 1998)

4. MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI FALDA

Nella pianura friulana si identificano principalmente due aree a diverso comportamento idrogeologico divise dalla Fascia delle Risorgive, lungo la quale vengono a giorno acque sorgive: l'Alta pianura, prevalentemente ghiaiosa, che contiene una ricca e potente falda freatica e la Bassa pianura, prevalentemente argilloso sabbiosa, che contiene un articolato sistema di falde artesiane. Vi è poi, a monte, l'area del cosiddetto Campo di Osoppo, piana limitata dai rilievi delle Prealpi e dall'Anfiteatro morenico.

In pratica le acque di falda sono stanzialmente racchiuse in due idrostrutture differenti e scarsamente comunicanti: la Piana di Osoppo con l'Anfiteatro morenico e la Pianura Friulana.

Campo di Osoppo e Gemona ed Anfiteatro morenico del Tagliamento

L'area più settentrionale rappresentata dalla Piana di Osoppo e dal conoide di Gemona del Friuli è sede di una abbondante falda freatica che si distingue decisamente da quella della pianura più a sud. La falda è abbastanza superficiale (da 2 a 12 metri di profondità), è contenuta in terreni ad alta permeabilità e trova alimentazione, oltre che dalle precipitazioni efficaci, dai corsi d'acqua che nella piana si scaricano o che la lambiscono e dalle infiltrazioni profonde dai massicci carbonatici circostanti. La direzione principale di deflusso è grossomodo N-S, parallela a quella del Fiume Tagliamento.

Misure di velocità di percolazione della falda freatica superficiale hanno dato valori compresi tra 1.5 e 2.3 metri all'ora.

In prossimità del bordo settentrionale interno dell'Anfiteatro morenico, le acque di falda vengono a giorno in numerosi punti definendo una locale Linea delle Risorgive, con una fascia di ampiezza variabile in seguito al diverso stato di impinguamento della falda freatica. L'emergenza è dovuta al passaggio dai depositi grossolani posti a monte ai depositi fini posti a valle con conseguente diminuzione della permeabilità, oltre che alla risalita del substrato impermeabile ed alla presenza di una soglia rocciosa sotterranea parallela al bordo interno dell'anfiteatro ed affiorante in corrispondenza di Buia e dintorni.

A valle della Linea delle Risorgive, le acque freatiche del Campo di Osoppo e Gemona

entrano in pressione dando luogo ad una falda artesianica per la presenza di una copertura impermeabile argillosa che caratterizza una fascia parallela al bordo interno dell'Anfiteatro morenico e la piana di Artegna e Buia. Dato lo scarso spessore della copertura (2 - 3 metri) la pressione delle acque è modesta, tanto da essere zampillante solo in casi rarissimi. In quest'area, a Molin del Bosso, attingono i pozzi del Consorzio Acquedotto del Friuli Centrale che, con una portata complessiva dichiarata di 1.8 m³/s, serve direttamente più di 250.000 persone.

Più a sud del Campo di Osoppo e Gemona si estende l'Anfiteatro morenico, sede di falde superficiali solitamente di modesta entità le cui superfici freatiche hanno andamento irregolare anche se seguono, attenuandola, la morfologia superficiale. I deflussi sotterranei superficiali hanno andamento radiale dagli alti ai bassi morfologici. Il quadro idrogeologico è complicato dalle variazioni di permeabilità dei depositi morenici: la non uniformità litologica e la presenza di lenti argillose impermeabili danno luogo talora a locali falde sospese.

Localmente si hanno venute a giorno delle acque sotterranee in prossimità delle vallecicole intramoreniche.

Recenti perforazioni, spinte a profondità superiori a 300 metri dal piano campagna, hanno evidenziato come al di sotto delle morene non poggianti direttamente sul Flysch si sviluppino spesso potenti depositi conglomeratici. E' stato accertato che in profondità questi conglomerati, che per scarsa cementazione o maggior fessurazione sono più porosi, contengono diverse falde cui attingono alcuni pozzi.

Anche nell'area più occidentale, dove le morene poggiano sul complesso conglomeratico-arenaceo miocenico affiorante a Ragogna e a Susans, con ogni probabilità si verifica una circolazione idrica profonda in corrispondenza dei livelli meno cementati prequaternari.

La falda freatica dell'Anfiteatro morenico è notevolmente influenzata dalla morfologia e dalla litologia dei depositi, con acque che dai punti più elevati migrano verso le zone depresse, dove tendono a ristagnare anche a lungo visto lo scarso ricambio legato alle sole precipitazioni locali. I valori di durezza, in tali aree, risultano elevati soprattutto per l'apporto delle acque di percolazione meteorica e per la natura dei terreni. Lo scarso ricambio idrico favorisce l'inquinamento dimostrato dall'analisi delle carte dei nitrati e

degli erbicidi, due classi di sostanze in correlazione tra loro

Alta pianura e falda freatica

Il processo di alimentazione della falda freatica dell'Alta pianura è determinato dalle precipitazioni meteoriche e dalle dispersioni che si verificano lungo gli alvei ghiaiosi, soprattutto allo sbocco in pianura delle valli montane.

Le falde risentono dell'andamento delle precipitazioni ma anche della permeabilità propria dei terreni che convogliano più o meno rapidamente le acque meteoriche in profondità, cosicché le fluttuazioni del livello piezometrico sono sfalsate rispetto agli andamenti delle portate dei fiumi.

I parametri relativi alla permeabilità dei depositi alluvionali contenenti la falda freatica possono variare da zona a zona, in funzione delle caratteristiche litologico-granulometriche dei terreni, anche se nel complesso il comportamento idrogeologico dei depositi si presenta discretamente omogeneo come risulta da diverse indagini e da prove in situ e in laboratorio.

Per quanto riguarda la granulometria nell'Alta pianura i depositi, sia in superficie che in profondità, in genere presentano una percentuale di ghiaia superiore al 65-70%, con valori di porosità efficace attorno all'8-10% sui materiali del conoide del Cellina - Meduna e del 20% sui depositi in alveo. Alcune prove di permeabilità superficiale (primi metri dal piano campagna) hanno evidenziato valori di k dell'ordine 10^{-3} - 10^{-4} m/s, mentre la permeabilità in alveo risulta più elevata, valutata dell'ordine di 10^{-2} m/s lungo il tratto del conoide del Cellina - Meduna.

Tali valori di permeabilità si riferiscono alle alluvioni grossolane prevalentemente ghiaiose e sono molto simili ai dati di permeabilità riscontrati negli acquiferi profondi, freatici e/o confinati, costituiti da ghiaie pulite. Prove di pompaggio effettuate fino a profondità di 200 metri hanno evidenziato in varie aree, dove prevale nettamente la frazione ghiaiosa, valori di k attorno a 10^{-3} m/s. Analoghi ordini di grandezza sono stati rilevati nei conglomerati ad elevato grado di fratturazione, mentre valori di permeabilità di 10^{-5} m/s sono caratteristici delle ghiaie sabbioso-limose.

I gradienti idraulici generalmente sono compresi tra il 2 ed il 3 per mille, con pendenze che aumentano in corrispondenza del raccordo fra pianura e fascia dei rilievi.

Le escursioni della falda durante l'anno sono molto differenti da zona a zona: dai valori più bassi riscontrabili all'estremità meridionale della pianura lungo la Linea delle Risorgive con pochi metri di oscillazione, si passa alle decine di metri della parte centrale, fino ai 40-50 metri riscontrati nei pozzi posti al limite settentrionale del conoide Cellina - Meduna a ridosso degli alvei torrentizi.

Una specifica ricerca, basata sull'analisi dei valori freaticometrici della falda freatica nella Alta pianura friulana acquisiti nel trentennio 1967-1998, evidenzia un generale abbassamento nel tempo del livello di falda: i valori estremi caratterizzano la fascia a ridosso dei rilievi (fino a 12 metri di abbassamento nel periodo considerato), quelli minimi la fascia delle Risorgive (3 metri circa in sinistra Tagliamento, nel tratto Codroipo - Palmanova). In particolare si ha il massimo abbassamento nell'area centro-settentrionale dell'Alta pianura, là dove si riconosce una tendenza alla diminuzione del livello freatico molto decisa, con valori che arrivano a 35-40 cm/anno.

Una concausa degli abbassamenti, in buona parte dovuti agli intensi prelievi a scopi agricoli, industriali e idropotabili, è il decremento generale delle precipitazioni atmosferiche in quest'ultimo trentennio.

Linea delle Risorgive

La Linea delle Risorgive è caratterizzata da abbondanti affioramenti di acque sotterranee e costituisce una fascia che si sviluppa da est a ovest a quote comprese tra 30 e 40 m. La larghezza di questa fascia è variabile in funzione del livello piezometrico della falda e risulta dell'ordine di qualche centinaio di metri fino a quasi 1 km. La sua lunghezza, dal Golfo di Panzano fino a ovest di Pordenone, è di circa 100 km di cui 40 in destra e 60 in sinistra Tagliamento.

La falda freatica, nella zona delle Risorgive, affiora parzialmente per la presenza di depositi alluvionali via via più fini costituiti da lenti argilloso-limose di notevole estensione e spessore, cosicché le acque dei tratti finali dei principali fiumi regionali possono essere considerate in buona parte acque di risorgiva. In profondità comunque permangono, anche a sud della Linea delle Risorgive, strati e lenti di materiali permeabili che costituiscono le falde acquifere della Bassa pianura caratterizzate da artesianità più o meno elevata.

Il valore medio delle portate di risorgiva in sinistra Tagliamento risulta essere circa 80-100 m³/s, valore che si suppone valido anche per la fascia in destra, che alimenta normalmente il Livenza, il basso Meduna e gli altri corsi di risorgiva del sistema Reghena - Lemene.

Bassa pianura e falde artesiane

Man mano che ci si sposta verso meridione, partendo dalla Linea delle Risorgive, la falda freatica non é più presente con continuità, non essendoci depositi sufficientemente permeabili negli strati superficiali, e l'acquifero freatico si suddivide in un complesso multifalda caratterizzato da livelli ghiaioso-sabbiosi variamente intercalati a depositi argillosi sempre più frequenti e più potenti.

Per completezza tuttavia, va detto che in quasi tutta la Bassa pianura e specialmente là dove affiorano orizzonti ghiaioso-sabbiosi, a scarsa profondità dal piano campagna è presente in genere dell'acqua contenuta in una falda freatica "sospesa" che, se riveste un'importanza solo relativa nel quadro dell'assetto idrogeologico globale, ha una certa rilevanza per le problematiche relative al territorio (utilizzo, inquinamento, ecc.).

Per la comprensione dello schema idrogeologico della Bassa pianura friulana conviene analizzare preliminarmente lo schema di circolazione idrica riconosciuto nel sottosuolo della zona di Lignano Sabbiadoro e di Latisana dove le informazioni in profondità sono più numerose e consentono una visione abbastanza completa.

In questa zona sono individuabili i caratteri generali di sette falde artesiane "superficiali" (per praticità descrittiva denominate A - B - C - D - E - F - G) comprese tra 30 e 300 metri di profondità e, per quanto noto al momento, di tre falde "profonde" (denominate H - I - L) comprese tra 400 e 600 metri di profondità.

Tale situazione naturalmente non é sempre riscontrabile nel sottosuolo della Bassa pianura in quanto le caratteristiche litostratigrafiche mutano sia arealmente che verticalmente, tanto verso nord quanto verso est ed ovest. Le correlazioni tra le varie falde artesiane non risultano significative a monte della fascia delle Risorgive ove si riscontrano in profondità successioni sensibilmente diverse da quelle presenti più a valle.

Le dieci unità idrologiche principali, riconosciute e contraddistinte con lettere maiuscole, non sono quindi falde uniformi e continue ma sono contenute in acquiferi che

variano in spessore e in profondità oltre che in litologia, e risultano spesso suddivisi in diversi, e a volte modesti, orizzonti (si veda anche la figura 4.2.1)

Falda A

Si riconosce una prima falda dall'andamento articolato, la falda "A", posizionata generalmente fra 30 e 80 metri dal piano campagna e sempre presente. Si tratta di una falda contenuta in livelli abbastanza permeabili, da sabbiosi a ghiaioso-sabbiosi. La potenza degli orizzonti talvolta presenta valori anche superiori alla decina di metri, ma più spesso tale falda superficiale risulta variamente suddivisa in deboli orizzonti permeabili intercalati da livelli argilloso-limosi impermeabili mediamente potenti.

Falda B

Una seconda falda, la falda "B", è posizionata generalmente fra 80 e 110 metri di profondità dal piano campagna, è abbastanza continua ed è contenuta in depositi sabbiosi. La potenza dell'acquifero è mediamente di 8 metri e solo localmente supera i 10 metri.

Falda C

La terza falda, la falda "C", pur sviluppandosi in modo discontinuo, è posizionata mediamente fra 120 e 140 metri di profondità. Generalmente risulta ben sviluppata nell'area perilagunare e nella retrostante Bassa pianura. L'acquifero risulta essere poco potente (5-7 metri) e contenuto in materiali prevalentemente sabbiosi.

Falda D e falda E

Da 160 a 200 metri di profondità talora sono distinguibili due differenti falde (falda "D" fra 160 m e 170 m e falda "E" tra 190 m e 200 m) mentre altre volte gli acquiferi sono articolati in modo da sembrare un'unica falda digitata sia in senso verticale che orizzontale.

In particolare la quarta falda "D" è generalmente abbastanza continua, con potenze comprese tra 4 e 12 metri, è contenuta in materiali prevalentemente ghiaiosi e subordinatamente ghiaioso-sabbiosi.

La quinta falda "E", quando distinguibile dalla precedente, è contenuta in materiali essenzialmente sabbiosi, distribuiti in tutta l'area con omogeneità e potenza in genere superiore a una decina di metri.

Falda F e falda G

Una sesta falda, la falda “F”, è posizionata fra 240 e 260 metri di profondità, è contenuta in depositi a granulometria variabile, da prevalentemente ghiaiosi a prevalentemente sabbiosi. E' una falda con buona continuità areale, ben definita e potente.

Pochi metri al di sotto si rinviene la settima falda, la falda “G”, posizionata nel sottosuolo di Lignano Sabbiadoro fra 280 e 300 metri di profondità. Questa falda, che nella zona della Laguna di Grado é ubicata a quote lievemente superiori (260 metri di profondità) e immediatamente al di sopra del basamento roccioso, si presenta localmente discontinua e si sviluppa in depositi prevalentemente sabbiosi con potenza variabile da alcuni metri fino a una decina di metri.

Un certo termalismo caratterizza le acque di queste due falde nel sottosuolo dell'area lagunare in comune di Grado, con valori di temperatura mediamente poco elevati (30°C - 34°C).

Falda H, falda I e falda L

Al di sotto dei sovracitati sistemi artesiani multifalda, si riscontra uno strato di argille potente mediamente 80 metri al di sotto del quale le perforazioni spinte fino a 600 metri di profondità hanno evidenziato la presenza di almeno tre falde profonde, le falde “H”, “I” e “L”. Queste tre falde risultano contenute in terreni prequaternari e sono caratterizzate da un deciso termalismo (40°C - 50°C).

In particolare, l'ottava falda, la falda “H”, è posizionata ad una profondità variabile tra 380 e 420 metri dal piano campagna (ed in pratica dal livello del mare) in depositi sabbiosi fini. Essa ha un andamento abbastanza complesso in quanto talora si presenta digitata in numerosi deboli orizzonti.

La nona falda, la falda “I”, è stata per il momento rinvenuta in pochi pozzi e risulta potente una trentina metri, si trova a circa 460 metri di profondità ed è contenuta in terreni prettamente sabbiosi talora debolmente cementati. Interessa sicuramente anche la zona perilagunare e il sottosuolo di Palazzolo dello Stella.

La decima falda, la falda “L”, è ubicata fra 530 e 570 metri di profondità dal piano campagna e si trova in terreni quasi esclusivamente sabbioso-arenacee.

4.1. Considerazioni chimiche sulle acque della Regione Friuli Venezia Giulia

Il principale apporto idrico alle falde della pianura della Regione è dato, oltre che dalle abbondanti precipitazioni, dalle perdite di subalveo dei principali fiumi regionali quali Livenza, Cellina, Meduna, Tagliamento, Torre, Natisone, Isonzo e di alcuni corsi d'acqua minori. Questi corsi d'acqua, tipicamente a regime torrentizio, hanno tuttavia visto drasticamente modificata la loro naturalità da canalizzazioni e opere di bonifica, per cui, specie nell'Alta Pianura non sempre sono nette le competenze idriche dei diversi corsi d'acqua.

Le principali caratteristiche fisico-chimiche dei maggiori fiumi della Regione sono note da tempo e schematizzate nella tabella seguente.

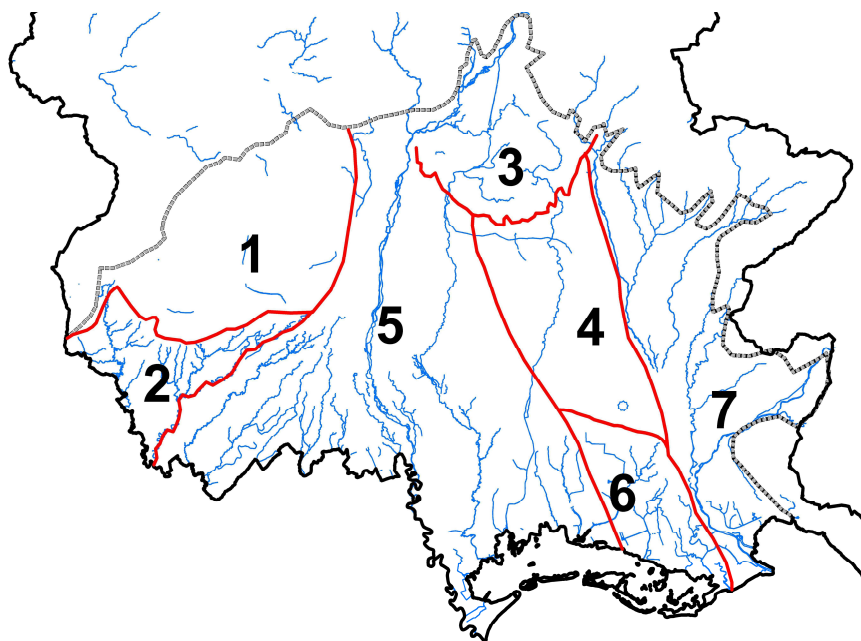
	Tagliamento <i>Ragogna</i>	Torre <i>Reana del Roiale</i>	Livenza <i>Sacile</i>	Natisone <i>Cividale</i>	Cellina <i>Montereale</i>	Meduna <i>Meduno</i>	Isonzo <i>Cassegliano</i>
pH	8	8,3	8	8,2	8,5	8,2	8,2
Ca (mg/l)	80	38	53	51	33	29	43
Mg (mg/l)	20	9,4	8,1	5,1	10	11	10
Na (mg/l)			1,4		0,9	0,6	3
K (mg/l)	0,9		0,6		0,3	0,3	0,7
HCO ₃ (mg/l)	167	153	193	172	144	135	173
NO ₃ (mg/l)	4,4	5,1	6,6	4,4	6	3,5	4,4
SO ₄ (mg/l)	141	8,3	7,6	7	6,2	7,6	7
Cl (mg/l)	3,4	2,8	2,9	2,6	1,3	0,4	2,5

Valori di chimismo delle acque fluviali della Regione FVG(tratti da Lutman et Al, 2004).

In linea generale, le principali caratteristiche chimiche e chimico-fisiche sono abbastanza simili, tuttavia le acque del fiume Tagliamento sono ben distinguibili dalle altre per l'alto contenuto di solfati e la bassa alcalinità. I valori del rapporto tra le concentrazioni di Ca e Mg (Ca/Mg) identificano ad esempio le acque del Livenza e del Natisone che hanno un elevato valore di Ca/Mg e quelle dei fiumi Cellina e Meduna per i bassi valori di questo rapporto.

Dal punto di vista idrogeologico, con particolare riferimento al chimismo delle acque

profonde, era stata proposta una suddivisione in sette province, di seguito riportata, che è stata modificata sulla base dei risultati di questo studio (vedi capitolo 5).



Le province idrogeologiche riconosciute nel 1999 (da Cucchi et Al., 1999)

Al fine di evidenziare le caratteristiche fisico e chimico delle acque ipogee della pianura del Friuli Venezia Giulia e di meglio definire i diversi bacini di alimentazione, oltre che per un confronto con i risultati della campagna geochimica, si sono elaborati i risultati delle analisi chimiche eseguite nei Laboratori provinciali dalle varie unità dall'ARPA sulle acque dei pozzi confrontandoli con quanto emerso dalla campagna di misure delle caratteristiche geochimiche.

I dati numerici forniti dai Laboratori provinciali sono stati organizzati utilizzando il software Microsoft Excel e le medie dei dati così ottenute (tabella 4.1.1), sono state importate in ArcGIS 9.1 che permette l'elaborazione delle informazioni derivanti da un database geografico. Con il pacchetto Geostatistico di ArcGIS 9.1, che ha gestito i dati usando il metodo Kriging, sono state elaborate numerose carte tematiche di isoconcentrazione (figure da 4.1.1 a 4.1.10).

Si sono presi in considerazione i parametri più rappresentativi, seguendo le linee guida

attualmente in uso presso la comunità scientifica internazionale. Si sono così analizzati 10 parametri (4 anioni - solfati, cloruri, nitrati, bicarbonati -, 4 cationi - calcio, magnesio, sodio, potassio - temperatura e conducibilità) per i quali viene presentata la distribuzione areale mediante l'utilizzo delle isolinee dei valori medi. Per ogni parametro si ha una carta comprendente l'insieme di tutti i punti di prelievo su dati prelevati da acque monitorate in quello specifico pozzo.

Solfati

I solfati sono considerati il migliore tracciante naturale delle acque della pianura del Friuli Venezia Giulia, in quanto sono praticamente propri del solo Tagliamento ed hanno un valore di SO_4 di circa 141 mg/l a Ragogna, allo sbocco in pianura. La distribuzione areale dei solfati (figura 4.1.1) è dunque un valido indice per esaminare le perdite del Tagliamento che vanno ad alimentare le acque freatiche della pianura.

Il valore medio dei solfati nella falda freatica in Regione è di 25 mg/l (tabella 4.1.2).

Nelle acque delle falde artesiane di tipo A e B il valore medio dei solfati è di 42 mg/l; nella falda di tipo C i valori medi sono di 14 mg/l, nella falda di tipo D sono di 44 mg/l e nella falda E quasi raggiungono i 46 mg/l (tabella 4.1.2).

Si nota peraltro abbastanza chiaramente l'influenza del Tagliamento su questi valori: si ha quasi un pennacchio, che dalla stretta di Ragogna si amplia verso S e verso SE raggiungendo una trentina di chilometri di larghezza in corrispondenza di Cordovado e Teor.

Cloruri

L'origine dei cloruri dolci è raramente imputabile alla dissoluzione di cloruri evaporitici, è invece molto comune che l'elevata presenza di cloruri sia da imputarsi a mescolamento con acque marine o fossili (Civita, 2005) che hanno tenori in cloruri molto elevati (circa 105 mg/l).

Il valore medio dei cloruri nella falda freatica è di 5 mg/l (tabella 4.1.2), mentre ci sono delle diminuzioni significative delle ione cloro nelle falde artesiane. Le acque dei pozzi che pescano in falda AB hanno un valore medio dei cloruri di 5 mg/l mentre le falde artesiane profonde hanno dei valori di 2,77 nella falda D e di 1,28 nella falda E (tabella 4.1.2). La

figura 4.1.2 individua i valori più elevati dello ione cloro nella zona orientale del torrente Torre fino alla confluenza con il fiume Natisone/Isonzo.

Nitrati

I composti organici ed inorganici dell'azoto, oltre a trovarsi in quantità abbondanti nelle acque reflue, vengono estesamente utilizzati in agricoltura come fertilizzanti. La normativa corrente prevede un valore massimo di 25 mg/l di nitrati nelle acque destinate al consumo umano (D.Lgs. 152/2006). Nel sottosuolo i nitrati vengono rimossi solo attraverso processi di riduzione, in condizione anaerobica. Poiché i nitrati sono facilmente presi in carico dalle precipitazioni percolanti il suolo agrario, la loro concentrazione nelle acque sotterranee è un buon indice dell'entità degli apporti superficiali rispetto all'alimentazione da parte dei corsi d'acqua superficiali, che ne contengono solo piccolissime quantità.

Nella falda freatica della nostra regione i nitrati hanno un valore medio di 18,8 mg/l (tabella 4.1.2). L'andamento delle linee d'isoconcentrazione (figura 4.1.3) rispecchia fedelmente le modalità di alimentazione dell'acquifero superficiale, con una area di massima concentrazione che si sviluppa nella zona centrale della pianura e con valori che aumentano avvicinandosi alla linea delle risorgive. Nelle aree più vicine ai maggiori corsi d'acqua della Regione la situazione si capovolge, per l'infiltrazione di acque non contaminate da nitrati che diluisce quelle presenti. Nel caso del Tagliamento si vede che i valori dei nitrati sono bassissimi (figura 4.1.3).

Le acque dei pozzi che pescano in falda artesianiana di tipo AB hanno dei valori medi di 13,94 (tabella 4.1.2) molto simili ai valori riscontrati nelle acque della falda freatica. Nelle falde artesiane profonde il valore medio dei nitrati diminuisce con la profondità (tabella 4.1.2) in maniera significativa, fino ad un valore minimo di 1.3 mg/l nella falda profonda di tipo E (tabella 4.1.2).

Bicarbonati

I valori dei bicarbonati sono in relazione con la natura dei materiali con i quali l'acqua viene a contatto. Dall'esame della carta riassuntiva sui bicarbonati per la regione Friuli Venezia Giulia (figura 4.1.4) si evidenzia che i valori più bassi si hanno in corrispondenza delle dispersioni del fiume Tagliamento, ed in generale nella bassa pianura a valle delle

risorgive. I bassi valori di bicarbonato nella zona del Tagliamento sono controbilanciati da un aumento dei solfati che come detto in precedenza provengono dalla soluzione di gessi.

Il valore medio dei bicarbonati nelle acque della falda freatica della Regione è 228 mg/l (tabella 4.1.2) mentre i valori delle falde artesiane non variano significativamente con la profondità (con variazioni che vanno da 249 mg/l nella falda AB a 219 mg/l nella falda E, tabella 4.1.2).

Calcio

Il valore medio del calcio nella falda freatica della Regione Friuli Venezia Giulia è di 71 mg/l (tabella 4.1.2) mentre nelle falde artesiane i valori variano dai 64 mg/l rilevati nelle falde A e B, ai 57 mg/l nella falda C, ai 52 mg/l nella falda D fino ad un minimo di 45 mg/l nella falda E (tabella 4.1.2). Nella carta delle isolinee della distribuzione del calcio nelle acque freatiche ed artesiane della regione si vede che le acque con maggior calcio disciolto sono posizionate a nord della linea delle risorgive (figura 4.1.5).

Magnesio

Il valore medio del magnesio (tabella 4.1.2) nella falda freatica della Regione Friuli Venezia Giulia è di 19 mg/l. Nelle falde artesiane i valori non variano con la profondità e oscillano sui 23 mg/l. Nella carta delle isolinee della distribuzione del magnesio nelle acque ipogee della Regione si vede che le acque con maggior magnesio disciolto si trovano tra i torrenti Torre ed Isonzo (figura 4.1.6).

Sodio

Il valore medio del sodio nella falda freatica della Regione Friuli Venezia Giulia è di 3.43 mg/l (tabella 4.1.2) mentre le falde artesiane hanno valori che aumentano con la profondità. Infatti, le acque dei pozzi di tipo E hanno dei valori medi di 13.98 mg/l soprattutto per via del pozzo 1340 (Brugnera) che ha un valore medio di sodio estremamente alto (43 mg/l, tabella 4.1.2) come si vede chiaramente dalla figura 4.1.7 e tabella 4.1.3.

Potassio

Il valore medio del potassio nella falda freatica della Regione Friuli Venezia Giulia è di 0.92 mg/l (tabella 4.1.2). Nelle falde artesiane ha valori variabili ma in genere inferiori a 1.5 mg/l.

Conducibilità

La conducibilità delle acque è legata al grado di mineralizzazione per cui è un parametro importante. Dalla figura riassuntiva 4.1.9 sulla distribuzione areale della conducibilità nelle acque ipogee della Regione risulta che i valori medi di conducibilità decrescono nelle acque delle varie falde artesiane con la profondità. Tutte le acque esaminate presentano una conducibilità piuttosto bassa, con valori tipici delle acque bicarbonatiche poco mineralizzate. Le acque della falda freatica hanno un valore di conducibilità media di 438 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quelli della falda artesiane AB di 440 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quella della falda artesiane C di 420 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quelli della falda artesiane D di 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e quelli della falda artesiane E di 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$. In figura 4.1.10 la distribuzione areale della conducibilità nella pianura della Regione evidenzia come i valori di conducibilità minore si trovino a valle della linea delle Risorgive.

Temperatura

Ai fini dell'interpretazione delle analisi chimiche, la conoscenza della temperatura di emergenza delle acque è fondamentale: essa infatti influisce direttamente sulla solubilità dei sali disciolti e quindi sulla conducibilità elettrica. La temperatura media delle acque dei pozzi aumenta con l'aumentare della profondità e con l'allontanarsi dal letto dei fiumi Tagliamento e Cellina/Meduna. Inoltre, le temperature delle acque dei pozzi aumentano allontanandosi verso sud dalla Linea delle Risorgive (figura 4.1.11) raggiungendo i 19°C a 200 metri di profondità.

I valori medi delle concentrazioni ioniche delle acque ipogee dei pozzi presi in considerazione nell'ambito di questa ricerca sono presentati sinteticamente negli schemi delle figure 4.1.12, 4.1.13 e 4.1.14 che proiettano su sezioni geologiche rappresentative i

valori riscontrati.

Sulla base dei diagrammi elaborati (Piper, Durov e Schoeller, figure 4.1.15, 4.1.16 e 4.1.17) è possibile distinguere chimicamente le diverse famiglie idrogeologiche e trarre alcune considerazioni.

Tutte le acque ipogee della Regione hanno una facies bicarbonato calcico e calcico magnesiacca (figure 4.1.15 e 4.1.16) ed alcune hanno un certo grado di mescolamento con la facies solfato calcica.

Dal diagramma di Schoeller si nota che le acque ipogee che pescano in falde artesiane profonde (segnate in rosso in figura 4.1.17) hanno una tendenza all'aumento del sodio e alla diminuzione dei cloruri.

4.2. Considerazioni generali sui valori isotopici delle acque di falda della Regione Friuli Venezia Giulia

Come previsto dalla convenzione, è stata attivata, in sinergia con ARPA, la “Rete di monitoraggio delle acque sotterranee di pianura”, al fine di effettuare una campagna di analisi isotopiche con cadenza semestrale. I risultati di queste analisi, unitamente alle analisi chimico-fisiche effettuate dall’ARPA, consentono una prima definizione dei bacini di alimentazione delle falde, la caratterizzazione delle emergenze e la valutazione preliminare della loro vulnerabilità.

I tre Dipartimenti Provinciali ARPA hanno eseguito due campagne di prelievo delle acque freatiche e artesiane di pianura, fornendo complessivamente 249 campioni d’acqua (86 da Pordenone, 146 da Udine e 9 da Gorizia) provenienti da 146 pozzi monitorati due o una sola volta: in particolare, 103 sono stati monitorati in entrambe le campagne (tabella 4.2.1 vedi allegato), 22 solo nella prima e 21 solo nella seconda. Si è determinato la composizione isotopica dell’ossigeno delle acque sui campioni forniti dai tre dipartimenti ARPA per un totale complessivo di 249 analisi (tabella 4.2.2 vedi allegato).

Gli stessi Dipartimenti Provinciali Arpa hanno messo a disposizione le analisi chimiche, biologiche, microbiologiche e fisiche dei campioni prelevati dalle acque freatiche e artesiane della pianura. I Dipartimenti Provinciali Arpa di Udine e Gorizia hanno fornito le analisi dal 2002 al 2005; mentre, il Dipartimento Provinciale di Pordenone dal 2002 al 2006.

Per una maggior chiarezza nella rappresentazione dei dati si è deciso di rappresentare in questa fase finale un file nel quale vengono riportate le principali analisi chimiche e chimico-fisico dei pozzi campionati (tabella 4.1.1 vedi allegato) ossia: conducibilità, PH, temperatura, Cl, SO₄, HCO₃, Na, K, Mg, Ca e NO₃.

Dei 103 pozzi campionati due volte (tabella 4.2.1) 37 pozzi sono stati forniti della Provincia di Pordenone, 18 pescano nella falda freatica, 14 sono alimentati da falde artesiane e 5 sono privi di ubicazione, tipo di falda e profondità della stessa (tabella 4.2.1). Dei 58 campioni pervenuti dal Dipartimento ARPA di Udine, 31 pescano nella falda

freatica, 27 sono alimentati da falde artesiane (tabella 4.2.1). Il Dipartimento ARPA di Gorizia ha fornito 8 campioni provenienti dai pozzi attualmente monitorati, i quali hanno una profondità variabile dai 13 ai 70 metri ed attingono tutti dalla falda freatica presente sopra la linea delle risorgive.

Nella presente relazione, gli isotopi stabili dell'ossigeno sono stati studiati statisticamente per evidenziare le correlazioni tra i dati isotopici delle piogge e quelli dei campioni prelevati nelle acque delle falde freatiche ed artesiane. Nell'elaborazione dei dati si sono tenuti presenti i risultati riportati in altre pubblicazioni sulla caratterizzazione delle risorse idriche mediante dati geochimici in situazione idriche analoghe (Agarwal et al., 2006; Pilla et al., 2006; Zuppi e Sacchi, 2004; Martinez e Bocanegra, 2002; Vandenschrick et al., 2002, Conti et al., 2000).

La figura 4.2.2 presenta un quadro riassuntivo delle medie dei valori isotopici del $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ su 100 pozzi (57 in falda freatica e 43 in falda artesiane) per i quali sono stati elaborati i valori isotopici di due stagioni di campionatura (tabelle 4.2.3 e 4.2.4 –allegato-).

I valori medi ponderati delle piogge in pianura nella Regione si aggirano attorno a -7.0‰ .

I valori isotopici medi (dati DiSGAM) dei fiumi sono di -8.0‰ per il Natisone, di -9.28‰ per il Livenza di -9.45‰ per Meduna e Cellina, di 8.86‰ per il Tagliamento.

Le acque della falda freatica hanno un valore medio di $\delta^{18}\text{O}$ di -7.8‰ con una deviazione standard tra i due campionamenti (il primo autunnale/invernale ed il secondo primaverile/estivo) di 0.12.

Le acque artesiane hanno valori di $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ che diminuiscono con l'aumentare della profondità di pescaggio del pozzo. Le acque delle falde A e B non presentano variazioni significative: le acque in falda A hanno valori isotopici medi di -8.1‰ , quelle in falda B valori isotopici medi di -8.0‰ . Tutte le acque delle falde A e B sono quindi state raggruppate in una sola categoria (che da ora in seguito è definita "falda artesiane AB") che ha un valore isotopico medio rappresentativo di -8.1‰ (figura 4.2.2).

Le acque dei pozzi di falda artesiane C hanno un valore medio di -8.4‰ con una deviazione standard tra i dati dei due prelievi di 0.11.

Le acque della falda artesianiana di tipo D hanno invece un valore medio di -9.0‰ con una deviazione standard di 0.05, mentre le acque di falda di tipo E hanno un valore medio di $\delta^{18}\text{O}$ di -9.2‰ ed una deviazione standard di 0.04 tra le due stagioni di campionamento.

Nella figura 4.2.2 è rappresentata anche l'escursione delle medie dei campioni prelevati nelle diverse falde. Le acque dei pozzi di falda profonda D ed E hanno escursioni minori tanto rispetto alle falde artesianiane più superficiali AB e C quanto a quelle che caratterizzano la falda freatica, ed è la falda C, quella che presenta le escursioni più elevate (da -6.9‰ a -10.3‰).

Dall'analisi geochimica dei dati dei campioni prelevati nei pozzi e si possono trarre ulteriori considerazioni:

Le acque della *falda freatica* hanno valori geochimici molto simili sia ai valori del $\delta^{18}\text{O}$ delle acque delle piogge locali, sia ai valori isotopici medi dei fiumi che percorrono la pianura (in particolare del Tagliamento).

Le acque della *falda artesianiana AB* non presentano differenziazioni geochimiche e hanno un valore medio di -8.1‰ molto simile al valore medio delle acque della falda freatica (-7.8‰). Il che indica che questi pozzi sono anch'essi direttamente legati alle piogge che cadono in pianura e nella pedemontana, all'alimentazione dalla falda freatica e agli apporti dei corsi d'acqua superficiali.

Le acque delle *falde profonde D ed E* hanno valori isotopici medi di -9.0‰ e -9.2‰ , nettamente più negativi delle falde più superficiali. La negativizzazione dei valori con la profondità può essere legata alla presenza di circuiti profondi alimentati direttamente dalla zona montana oppure alla tendenza delle acque a frazionarsi naturalmente dal punto di vista isotopico, oppure ancora alla presenza di acque fossili nella parte profonda delle falde. Nella zona della foce del Po, Pilla et Al., (2006) rilevano la presenza di *acque fossili* nelle falde profonde basandosi su 25 campioni di acqua profonda nella quale sono state eseguite analisi del decadimento del carbonio radioattivo. Al momento nessuna ipotesi può considerarsi definitiva per spiegare la negativizzazione dei valori isotopici delle acque con la profondità.

I valori medi hanno variazione standard molto bassa: 0.04 (contro valori di deviazione di 0.11 o 0.12 per i campioni prelevati nella falda artesianiana AB e nella falda freatica). Questo dato indica che i pozzi delle falde più profonde non risentono delle variazioni di stagione.

La figura 4.2.3 schematizza tutti i dati geochimici ottenuti da questo studio con le medie ponderate delle piogge che cadono nelle zone montuose (valori compresi tra -10.5% e -7.0%) e nell'Alta Pianura (valori compresi tra -7.7% e -7.0%). Sono inoltre indicate le medie ed i periodi di campionamento delle sorgenti montane che hanno valori medi ponderati molto simili a quelli delle piogge che cadono nelle zone montuose circostanti e che sono compresi tra -10.1% e -10.5% .

I valori del $\delta^{18}\text{O}$ delle acque di falda freatica hanno variazioni più elevate, in quanto i valori sono compresi tra -9.0% e -6.3% .

Le acque delle falde artesiane più superficiali hanno forti differenze tra i valori minimi e massimi nelle falde più superficiali (in AB sono tra -6.9% e -9.1% , e in C tra -7.0% e -10.2%) mentre hanno variazioni più contenute nelle falde più profonde (in D tra -8.3% e in E tra -10.3%).

Le isolinee dei valori isotopici per le acque della falda freatica sono rappresentate in figura 4.2.4. Le isolinee sono state ottenute con il metodo statistico Kriging usando il software ArcGIS 9.1 che ha elaborato i dati medi delle acque dei 53 pozzi considerati che attingono dalla falda freatica. Dalla figura si nota che i valori più negativi (tra -8.6% e -9.0%) sono presenti nelle vicinanze del fiume Tagliamento.

I valori isotopici delle acque che pescano in falda A e B (30 pozzi) sono rappresentati in figura 4.2.5. Anche in questo caso i valori più negativi si trovano in prossimità del letto del fiume Tagliamento.

In figura 4.2.6 sono schematizzate le isolinee dei valori medi delle acque dei 13 pozzi che attingono dalle falde artesiane C, D ed E. Si nota come le zone con i valori isotopici più negativi (minori di -9.5%) si trovano nella bassa pordenonese, circa 7 km a sud della Linea delle Risorgive.

Nella figura 4.2.7 sono state riportate anche le isolinee dei valori medi ponderati di

$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ delle piogge per evidenziare che nella bassa pianura le piogge hanno valori più positivi rispetto a quelle rilevate nelle falde profonde, a conferma del fatto che queste ultime non sono alimentate direttamente dalle precipitazioni.

La figura 4.2.8 nel prendere in considerazione i valori competenti alla falda freatica ed alla falda artesiani AB evidenzia come ci sia una buona correlazione tra le due serie di dati e che come discusso in precedenza, i valori più negativi seguono l'andamento del fiume Tagliamento.

5. CONSIDERAZIONI FINALI

5.1.Premessa

Per quanto riguarda la conoscenza ed il monitoraggio delle acque sotterranee nel territorio regionale va ricordato che, fin dalla sua istituzione, la Regione Autonoma Friuli - Venezia Giulia ha rivolto particolare attenzione all'approfondimento delle conoscenze sulla situazione idrogeologica regionale, rendendosi conto di come questa materia rappresentasse uno degli aspetti più importanti nella gestione del territorio.

Uno degli interventi più significativi fu senz'altro quello di dotare la Regione di una rete di stazioni di rilevamento, grazie alla quale da quasi quarant'anni ormai si analizza con buona continuità l'andamento della falda freatica nella Pianura Friulana. Dal 1967, sono state attivate centinaia di stazioni di misura in corrispondenza di pozzi freatici nei quali vengono effettuate le misurazioni del livello piezometrico. Di queste, quelle che presentano una serie di dati più significativa e temporalmente continua risultano essere una cinquantina.

I dati raccolti per un certo periodo con continuità e sistematicità consentono di individuare con attendibilità le caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo della pianura e di definire i valori minimi e massimi di impinguamento della falda. Le stazioni sono state oggetto di livellazione di precisione per consentire una buona attendibilità della ricostruzione dell'andamento della falda, specialmente là dove la superficie piezometrica è prossima al piano campagna.

Non esiste invece una vera rete di monitoraggio per il controllo delle caratteristiche idrauliche delle differenti falde artesiane: i rari dati esistenti sulla potenzialità delle falde in pressione si riferiscono a puntuali ed occasionali misure che spesso risultano inficiate dal fatto che le misure a bocca pozzo registrano situazioni dipendenti dal collegamento tra differenti livelli acquiferi.

Su numerosi pozzi freatici e artesiani vengono effettuati con una certa regolarità sin dagli anni settanta prelievi per analisi chimico-fisiche e batteriologiche. Di questi un centinaio sono monitorati con una certa continuità e con analisi complete a cura delle ASL

competenti per territorio. Si tratta della cosiddetta rete regionale di controllo della qualità delle acque sotterranee, dalla quale emergono le eventuali situazioni di contaminazione.

La Regione Friuli Venezia Giulia, in ottemperanza a quanto previsto dalla legge 319/76 si è dotata del Catasto dei pozzi per acqua e delle perforazioni realizzato una ventina d'anni orsono. Risultano individuati e catalogati oltre 6.000 pozzi, rappresentativi della situazione nella Pianura friulana, il che ha consentito una buona conoscenza delle caratteristiche del sottosuolo, sia per quanto riguarda gli aspetti litostratigrafici sia per quelli idrogeologici. Si tratta di uno strumento aggiornabile, molto utile per la conoscenza e la gestione delle risorse idriche sotterranee. In breve tempo è possibile recuperare i dati significativi e indispensabili per fronteggiare le emergenze idrogeologiche, individuare la profondità delle falde e la tipologia prevalente degli attingimenti negli immediati dintorni.

Tuttavia, avviate con lungimiranza e tempestività, le numerose iniziative non hanno portato ad una gestione integrale, coordinata e moderna della risorsa acque sotterranee. Così come si è appena iniziato il coordinato studio delle risorse nelle aree montane: se è disponibile il Catasto dei pozzi per acqua, anche se non completamente aggiornato è limitato alle poche emergenze captate quello delle sorgenti.

Non è stato infatti realizzato il censimento delle sorgenti sul territorio, per cui al di là di quelle che vanno ad alimentare gli acquedotti, ben poco si sa sulle caratteristiche idrologiche delle altre numerosissime sorgenti della regione montana e collinare.

Inoltre il pur valido Catasto dei pozzi per acqua non è inserito in un moderno G.I.S. e l'aggiornamento dei dati idrologici, chimici, biologici risulta saltuario e disorganizzato. Ad esempio non si è ancora sentita l'esigenza di una univoca siglatura dei punti di osservazione e/o di prelievo.

5.2.Considerazioni riassuntive generali sulla rete e sul biennio di studio

Sulla base degli studi pregressi e dei risultati del monitoraggio espletato negli ultimi due anni, è possibile dividere in linea di massima, la più ampia idrostruttura "Pianura Friulana" in quattro province idrogeologiche, idrostrutture secondarie adiacenti e parzialmente interconnesse, la "Pianura pordenonese del conoide Cellina Meduna", la Pianura friulana

centrale in destra e sinistra Tagliamento", la "Pianura friulana orientale dei conoidi Torre-Natisone", la "Pianura dell'Isonzo".

L'alta e bassa pianura pordenonese del conoide Cellina Meduna, si estende nel settore occidentale della Pianura friulana, dal limite dei rilievi sino al territorio di competenza del Fiume Tagliamento. E' sede di una falda freatica molto potente, alimentata dai bacini montani e di falde artesiane alimentate dalla freatica, da acque provenienti dai torrenti Cellina e Meduna con direzione di deflusso verso sud e sud-ovest oltre che da venute, spesso sepolte, provenienti dai rilievi pedemontani.

Nel Pordenonese, in destra Tagliamento, le caratteristiche litostratigrafiche del materasso alluvionale determinano condizioni idrogeologiche differenti da monte a valle così come variano le composizioni granulometriche.

Nell'Alta pianura, dove il materasso é essenzialmente ghiaioso, in linea di massima esiste un'unica falda freatica continua. Nella zona settentrionale del conoide Cellina-Meduna il livello freatico si rinviene a notevole profondità (circa 125 metri dal piano campagna presso S. Martino di Campagna in Comune di Aviano). Verso sud la profondità della falda libera diminuisce dapprima gradatamente (circa 65 metri nella fascia mediana in corrispondenza di S. Quirino), poi rapidamente fino alla emersione in corrispondenza delle Risorgive.

Anche nella parte settentrionale del conoide Cellina-Meduna recenti e profondi sondaggi di ricerca hanno evidenziato la presenza di potenti depositi prevalentemente conglomeratici fino a notevole profondità (circa 300 metri dal piano campagna). Tuttavia sono ancora pochi i pozzi che attingono da tali livelli spesso confinati e che appaiono distinti dalla falda freatica sovrastante. Allo stato attuale delle conoscenze non è tuttavia possibile correlare i pochi dati profondi a disposizione.

I rapporti esistenti tra le acque sotterranee e le acque superficiali dei torrenti Cellina e Meduna sono messi in evidenza dalle analogie strettissime tra il regime fluviale e il regime della falda: ad ogni fase di piena o di magra dei deflussi superficiali corrisponde una fase simile nell'acquifero sotterraneo, naturalmente con un certo ritardo. Lo sfasamento tra le culminazioni di piena sarebbe, secondo alcuni studi, dell'ordine del mese, mentre la velocità di propagazione dell'acqua in falda durante le piene risulta di 3-4 km al giorno.

Recenti indagini eseguite nella parte alta del conoide Cellina-Meduna hanno evidenziato, soprattutto in condizioni di scarso impinguamento, come le dispersioni del Colvera assumano notevole importanza per l'alimentazione della falda.

La parte più settentrionale dell'Alta pianura pordenonese è caratterizzata da uno scarso ricambio idrico e da contaminazioni antropiche. Nella zona di Pordenone, sia superficialmente (sorgenti del Noncello) che a grandi profondità, prevale l'alimentazione del Cellina, mentre le acque del Meduna sembra vadano in gran parte a mescolarsi verso est con quelle di dispersione in destra del Tagliamento.

La Bassa pianura pordenonese si estende a sud-ovest di Pordenone, dove le falde artesiane sono alimentate principalmente dalle acque disperse nei conoidi dei torrenti Cellina e Meduna (nell'area di Pordenone sia superficialmente che a grandi profondità) e da quelle disperse dal Tagliamento che raggiungono la zona di Zoppola e quindi, oltre a ravvenare tutti i corsi d'acqua fino al Medusa, alimentano le falde più superficiali.

Nell'alta e bassa pianura friulana centrale in destra e in sinistra Tagliamento, l'acqua del Tagliamento rimpingua sia la falda freatica sia le falde artesiane. La dispersione si verifica in maniera più accentuata in sinistra Tagliamento che in destra perché le acque sotterranee del Tagliamento sono bloccate ad ovest dalle acque disperse del conoide Cellina-Meduna.

Di fatto il Tagliamento disperde le sue acque in maniera più accentuata in sinistra (fino alla zona ad ovest di Gonars) che in destra (fino ad est di Fiume Veneto). Si trova riscontro di ciò dallo studio della distribuzione dei solfati che si disperdono con un asse circa NNE-SSO, in depositi a granulometria variabile dal decisamente ghiaioso al limoso-argilloso.

A est del basso Meduna i paleoalvei in destra Tagliamento, rinvenibili nei primi 60 m di profondità, sono a tutt'oggi via di deflusso preferenziale in profondità delle acque tilaventine. La concentrazione di solfati nelle falde più profonde diminuisce più rapidamente allontanandosi dal Tagliamento. In particolare nei terreni delle zone di Azzano X, di Brugnera, di Sacile e di Prata di Pordenone si riconoscono reazioni di ossidoriduzione che modificano il chimismo delle acque delle falde profonde.

Alta e Bassa pianura friulana orientale compresa tra l'alto Corno, il Torre e il Natisone.

In questa zona la falda freatica risente solamente in parte degli apporti del Tagliamento (alti solfati) mentre il maggior apporto è dato dalla percolazione meteorica e dalle perdite del fiume Torre e del Natisone (elevato rapporto tra Ca/Mg). La parte meridionale di questa provincia, in pratica quella a valle della Linea delle Risorgive, risente della diminuzione del deflusso sotterraneo del Tagliamento, dell'alimentazione proveniente dall'alta pianura, del tamponamento delle acque di falda dell'Isonzo.

Anche in sinistra Tagliamento, l'Alta pianura è in genere costituita da potenti depositi ghiaioso-sabbiosi molto permeabili sede di una falda freatica che già in corrispondenza della fascia meridionale dell'Anfiteatro morenico presenta profondità di 60-80 metri.

L'alimentazione di questa falda freatica è dovuta principalmente alle precipitazioni atmosferiche, ai deflussi sotterranei dell'Anfiteatro morenico, ma anche, e non subordinatamente, ai deflussi provenienti dalle falde profonde individuate nei conglomerati al di sotto delle morene.

Man mano che si scende verso meridione, la superficie freatica si avvicina al piano campagna fino a venire a giorno in continuità con quella presente in destra Tagliamento, nei pressi di Valvasone.

Tra il Tagliamento e il Corno è prevalente l'influenza delle acque disperse dal Tagliamento che rimpinguano direttamente la falda freatica.

Tra il Corno ed il Natisone la falda freatica risente solamente in parte degli apporti del Tagliamento (riconoscibili per l'elevato tenore dei solfati) mentre il maggior apporto è dato dalla percolazione meteorica e dalle perdite subalveo dei T. Torre e Natisone (acque con elevato rapporto Ca/Mg).

L'Alta pianura centro-orientale immediatamente a Sud dell'Anfiteatro morenico, povera di apporti acquiferi superficiali, vede rimpinguata la falda freatica principalmente dalle acque meteoriche che, percolando nel terreno, si caricano, tra l'altro, dei prodotti utilizzati in agricoltura. Si delinea così una vasta zona in cui le acque sotterranee sono a maggior rischio di contaminazione, corrispondente all'area centro-orientale della pianura friulana e ad una "lingua" allungata verso sud che, alimentandosi nell'Alta pianura, dalla zona di Gonars-Palmanova si espande fino a nord di Aquileia.

La Bassa pianura centro-orientale, dai dintorni di Talmassons verso Ruda espandendosi verso sud fino ad Aquileia, definisce un areale che risente dell'alimentazione proveniente

dall'Alta pianura centro-orientale e della diminuzione del deflusso sotterraneo del Tagliamento. Poiché gli acquiferi artesiani si caricano di quanto trasportato dalle acque freatiche, le falde profonde sono contaminate anche a notevole profondità.

Per quanto riguarda le falde artesiane, le linee di isoconcentrazione dei parametri chimici presentano un andamento simile a quelle dei valori di durezza, con concentrazioni elevate nell'area tra il Cormor e Palmanova, per la probabile diminuzione del deflusso sotterraneo del Tagliamento e per l'apporto di acque provenienti dall'Alta pianura centro-orientale, alimentate soprattutto dalle precipitazioni locali.

La parte più orientale dell'Alta pianura, che si estende dal Torrente Torre fino ai primi rilievi collinari e montuosi delle Prealpi Giulie, è geneticamente legata al corso inferiore del Fiume Natisone il quale ha condizionato non poco la morfologia dell'area. Particolarmente intensi e frequenti sono infatti i fenomeni erosivi nella sequenza alluvionale che spesso è caratterizzata da potenti livelli conglomeratici. Tutta quest'area pianiziale a sud della stretta di Cividale del Friuli sino alla confluenza Torre-Natisone, è sede di una ricca falda freatica alimentata principalmente dalle infiltrazioni dei corsi d'acqua superficiali e dalle precipitazioni.

L'abbondanza di acqua sotterranea è anche dovuta alla presenza del basamento impermeabile in facies di Flysch ad una profondità tale da "sostenere" la falda. Ciò non avviene nella zona più meridionale ove il basamento roccioso, oltre ad approfondirsi rapidamente, diviene talora parzialmente permeabile.

L'area caratterizzata dal deflusso sotterraneo delle acque provenienti dal sistema Torre-Natisone è riconoscibile per il generale basso contenuto di solfati e per l'elevato rapporto Ca/Mg. La distribuzione areale del rapporto Ca/Mg mostra valori elevati in corrispondenza delle acque con una maggior concentrazione calcica provenienti dai bacini montani del Malina e del Natisone.

Parte a se fa la Pianura dell'Isonzo caratterizzata dal deflusso sotterraneo delle acque freatiche ed artesiane provenienti oltre che dall'Isonzo, dallo Judrio e dal Versa, corsi d'acqua che si sviluppano principalmente su materiali marnoso-arenacei con un quasi nullo contenuto di solfati ed un elevato rapporto Ca/Mg.

5.3. Analisi validità e proposte migliorative

Si evince come la rete di monitoraggio attuale consente di controllare con buona significatività le acque relative alla falda freatica e quelle competenti alla falda A, la prima delle falde artesiane che sono quelle più facilmente sfruttabili.

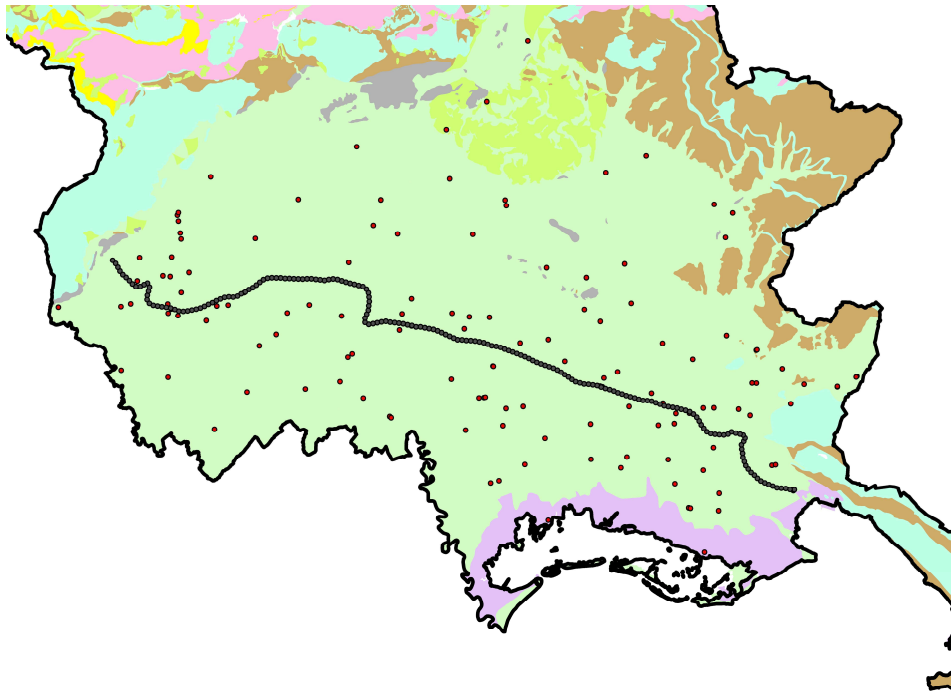
Se si considera tuttavia che le falde più utilizzate a fini idropotabili sono quelle più profonde, ben si comprende come al momento i punti di monitoraggio delle falde artesiane siano poco numerosi e, dato che i pozzi monitorati relativi alle falde profonde sono spesso d'acquedotto, siano generalmente concentrati in poche aree ristrette.

Va inoltre ricordato che non risultano monitorate le limitate falde freatiche "sospese" variamente distribuite a valle della Linea delle Risorgive.

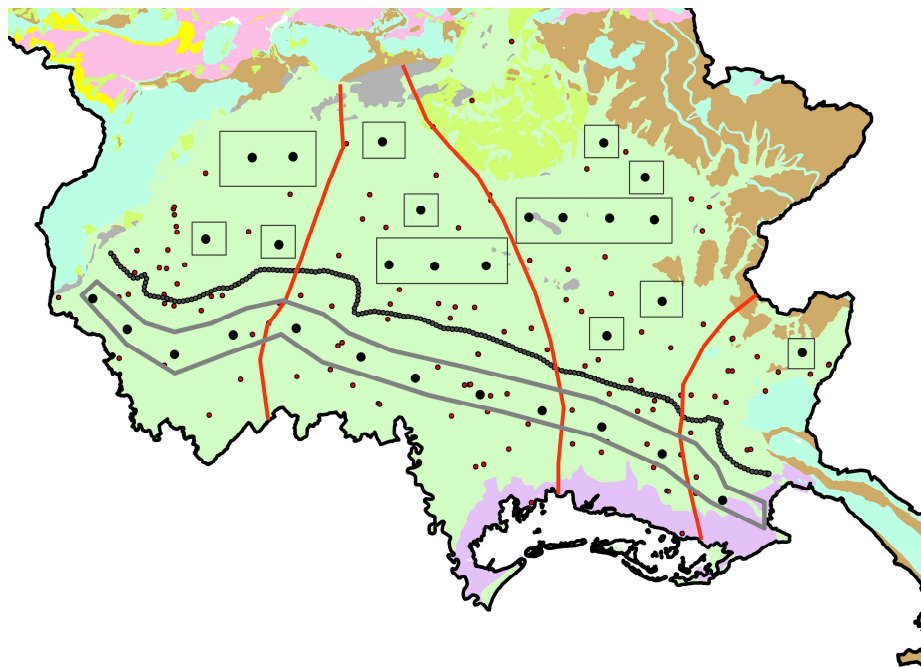
Sulla base dei risultati dell'analisi stratigrafica ed idrogeologica dei pozzi sotto osservazione si desume che sono numerosi quelli che hanno sicuramente attitudine al monitoraggio. L'operazione di confronto, analisi e omogeneizzazione delle conoscenze di questi pozzi consente di predisporre con buona attendibilità la cartografia necessaria alla mappatura della distribuzione sul territorio dei dati raccolti e dell'entità dei valori dei parametri chimici. È possibile tuttavia riconoscere alcune situazioni particolari di sfavorevole distribuzione territoriale.

In particolare la collocazione territoriale dei pozzi sotto controllo copre in maniera abbastanza uniforme il territorio regionale nell'Alta pianura relativamente alla falda freatica, ma vi sono areali che risultano poco indagati (in particolare quelli in destra Tagliamento) ed altri che lo sono più intensamente (in particolare a sud di Udine e nell'Alta pianura isontina). Il comportamento delle acque di falda è tale che i dati di caratterizzazione non sono mai troppi e resta comunque opportuno migliorare la distribuzione sul territorio dei punti di monitoraggio.

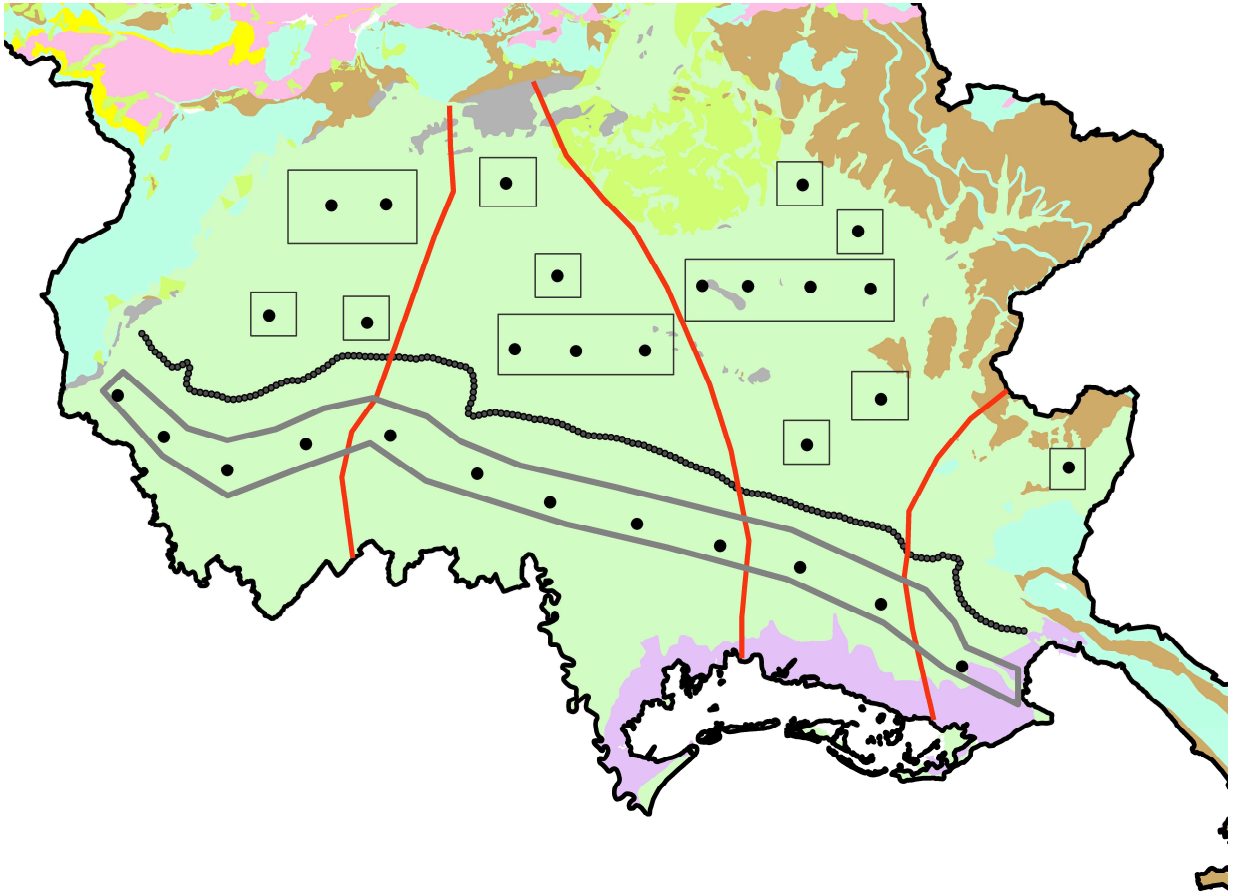
Dall'analisi della distribuzione areale dei pozzi nell'Alta pianura, si possono fare le seguenti considerazioni.



Punti di monitoraggio per le analisi del biennio 2005-2006



Distribuzione degli areali non ben monitorati



Proposta di localizzazione dei nuovi punti di monitoraggio per l'implementazione della rete di monitoraggio delle acque.

A monte della Linea delle Risogive si propone un'implementazione della rete esistente, a valle la creazione di una nuova e moderna rete di monitoraggio delle falde artesiane, da A a G, site fino a 300 metri di profondità.

Alta Pianura pordenonese del conoide Cellina Meduna:

Si propongono almeno quattro siti di monitoraggio, due ubicati fra Tesis e Dandolo all'apice del conoide, uno nel comune di S. Quirino in prossimità dell'abitato, uno presso Domanins.

Alta Pianura friulana centrale in destra e sinistra Tagliamento,

Si propongono almeno cinque siti, uno allo sbocco in pianura presso Valeriano, uno in

comune di Coseano, tre allineati Ovest - Est fra Sedegliano e Basiliano.

Alta Pianura friulana orientale dei conoidi Torre-Natisone

Fermo restando che le acque di falda nell'Anfiteatro morenico non sono sotto controllo e quindi che per questa zona il sistema di monitoraggio andrebbe discusso a parte, data la non ottimale distribuzione areale della rete di monitoraggio delle acque freatiche si propone di aggiungere un sito allo sbocco in pianura del T. Torre, presso Qualso, un sito a caratterizzazione delle acque del T. Malina dalle parti di Povoletto, una serie di quattro siti allineati Ovest-Est fra San Vito di Fagagna e Remanzacco, un sito a Percoto, a sud delle colline di Buttrio e Manzano, un sito presso Bicinicco.

Alta Pianura dell'Isonzo

La falda freatica risulta essere sufficientemente monitorata anche se si potrebbe integrare la rete aggiungendo un pozzo allo sbocco in pianura dell'Isonzo, presso Lucinicco.

Dall'analisi della distribuzione areale dei pozzi per quanto riguarda la *Bassa pianura*, dove non sono monitorate tutte le sette falde utilizzate fino alla profondità di 300 metri, si possono fare le seguenti considerazioni, fermo restando che non sono monitorate le acque freatiche superficiali.

Per quanto riguarda le falde artesiane, in *provincia di Pordenone*, la falda A risulta ben monitorata lungo una fascia posta a valle della Linea delle Risorgive e tra Casarsa della Delizia e Ramuscello. Al di fuori di queste aree vi è un solo pozzo di monitoraggio ubicato ad Azzano Decimo. Per quanto riguarda le falde più profonde i pozzi sono rari e mal distribuiti. In *provincia di Udine*, la falda A risulta ben monitorata con una distribuzione uniforme dei pozzi, fatta eccezione per l'area compresa tra Camino al Tagliamento, Palazzolo della Stella e Talmassons. La falda B è monitorata solamente in una ristretta fascia da Palazzolo della Stella a S. Giorgio di Nogaro e Aquileia. I pozzi di monitoraggio delle falde più profonde si presentano rari e mal distribuiti. In *provincia di Gorizia*, la falda A risulta abbastanza ben monitorata con una distribuzione uniforme che lascia scoperta

solo l'area tra S. Canzian d'Isonzo e Grado.

Si propone quindi, di attivare una prima struttura di monitoraggio delle falde artesiane completamente nuova, terebrando ex novo una dozzina di nuovi punti di monitoraggio nella Bassa pianura distribuiti circa 5-8 km a valle della Linea delle Risorgive, lungo una fascia ad andamento est- ovest da Villa Vicentina a Sacile e posti ad una distanza media tra loro di 10/9 km.

Per ogni punto si propone la terebrazione di pozzi in grado di controllare separatamente le 7 falde artesiane presenti fino alla profondità di 260 – 270 m.

Si deve inoltre considerare l'opportunità di provvedere ad un monitoraggio, almeno occasionale delle acque di falda freatica superficiali presenti nella Bassa pianura, ipotizzando in via del tutto preliminare, una trentina di punti di prelievo.

Nel quadro dell'affinamento delle conoscenze sugli acquiferi, sembra opportuno proporre di continuare, allargando ad altri punti sorgentizi, l'articolata campagna di misure di chimismo delle sorgenti (già mentre se ne esegue il censimento), ed iniziare nel contempo una campagna di misure di portata. Per quanto riguarda la caratterizzazione dal punto di vista geochimico isotopico delle acque di pioggia, necessaria per definire i parametri di ingresso del ciclo idrogeologico, anche se con l'acquisizione dei dati risultanti dal monitoraggio in corso il quadro conoscitivo è aumentato significativamente, si consiglia di continuare, almeno per due anni, il monitoraggio.

Inoltre pare utile programmare, per definire il rapporto fra precipitazioni, evapotraspirazione, ruscellamento e infiltrazione, la redazione di carte dell'infiltrazione efficace, anche intensificando gli studi geologici mirati, con particolare attenzione alle coperture sciolte, specie in montagna.

In particolare, si consiglia

- di continuare la campagna di analisi geochimiche (e magari anche di quelle chimiche) dei pluviometri posizionati in pianura (Roveredo, Palmanova, Gemona),
- di posizionare due o tre nuovi pluviometri nella Bassa pianura non lontani dalla linea di costa (al fine di evidenziare i valori isotopici delle piogge che alimentano le falde della bassa pianura),
- e di selezionare almeno sette degli undici pluviometri attualmente monitorati nella fascia montuosa, al fine di ottenere i valori medi delle piogge nelle zone montane.

Palmanova, 22 novembre 2006

1. PREMESSA	1
2. MONITORAGGIO DELLE ACQUE PIOVANE	6
2.1. RETE DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE PIOVANE	9
2.2. CARATTERISTICHE DEI SITI.....	11
2.2.1. <i>Tabelle e grafici relativi alla composizione isotopica delle acque piovane.....</i>	<i>12</i>
2.2.2. <i>Tabelle e grafici relativi ai parametri chimici e chimico-fisici delle acque piovane</i>	<i>13</i>
2.3. CONSIDERAZIONI GENERALI SULLA COMPOSIZIONE ISOTOPICA DELLE ACQUE PIOVANE.....	14
3. MONITORAGGIO ACQUE SORGIVE	18
3.1. TABELLE E GRAFICI RELATIVI ALLA COMPOSIZIONE ISOTOPICA DELLE ACQUE SORGIVE MONTANE	23
3.2. TABELLE E GRAFICI RELATIVI AI PARAMETRI CHIMICI E CHIMICO-FISICI DELLE ACQUE SORGIVE MONTANE	24
3.3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DEI BACINI	27
3.3.1. <i>BACINO SORGENTE S1</i>	<i>27</i>
3.3.1.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	29
3.3.1.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	30
3.3.1.3. Osservazioni	30
3.3.2. <i>BACINO SORGENTE S2</i>	<i>33</i>
3.3.2.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	34
3.3.2.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	35
3.3.2.3. Osservazioni	36
3.3.3. <i>BACINO SORGENTE S3</i>	<i>38</i>
3.3.3.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	40
3.3.3.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	40
3.3.3.3. Osservazioni	42
3.3.4. <i>BACINO SORGENTE S4</i>	<i>44</i>
3.3.4.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	45
3.3.4.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	46
3.3.4.3. Osservazioni	47
3.3.5. <i>BACINO SORGENTE S5</i>	<i>49</i>
3.3.5.1. Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	50
3.3.5.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	51
3.3.5.3. Osservazioni	52
3.3.6. <i>BACINO SORGENTE S6</i>	<i>54</i>
3.3.6.1. analisi dei dati chimico-fisici e chimici	55
3.3.6.2. Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	56
3.3.6.3. Osservazioni	56

3.3.7.	<i>BACINO SORGENTE S7</i>	59
3.3.7.1.	Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	60
3.3.7.2.	Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	61
3.3.7.3.	Osservazioni	62
3.3.8.	<i>BACINO SORGENTE S8</i>	63
3.3.8.1.	Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	64
3.3.8.2.	Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	65
3.3.8.3.	Osservazioni	66
3.3.9.	<i>BACINO SORGENTE S9</i>	68
3.3.9.1.	Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	69
3.3.9.2.	Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	70
3.3.9.3.	Osservazioni	71
3.3.10.	<i>BACINO SORGENTE S10</i>	72
3.3.10.1.	Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	74
3.3.10.2.	Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	74
3.3.10.3.	Osservazioni	75
3.3.11.	<i>BACINO SORGENTE S11</i>	76
3.3.11.1.	Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	77
3.3.11.2.	Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	78
3.3.11.3.	Osservazioni	79
3.3.12.	<i>BACINO SORGENTE S12</i>	80
3.3.12.1.	Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	82
3.3.12.2.	Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	82
3.3.12.3.	Osservazioni	83
3.3.13.	<i>BACINO SORGENTE S13</i>	84
3.3.13.1.	Analisi dei dati chimico-fisici e chimici	86
3.3.13.2.	Analisi dei dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}$) e fisici (T e P).....	86
3.3.13.3.	Osservazioni	87
4.	MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI FALDA	89
4.1.	CONSIDERAZIONI CHIMICHE SULLE ACQUE DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA	96
4.2.	CONSIDERAZIONI GENERALI SUI VALORI ISOTOPICI DELLE ACQUE DI FALDA DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA	103
5.	CONSIDERAZIONI FINALI	108
5.1.	PREMESSA	108
5.2.	CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE GENERALI SULLA RETE E SUL BIENNIO DI STUDIO	109
5.3.	ANALISI VALIDITÀ E PROPOSTE MIGLIORATIVE	114

BIBLIOGRAFIA

- ANSELMINI M., SEMERARO M., 2003. *Carsismo e idrogeologia delle cime del Monte Musi (Prealpi Giulie occidentali)*. 19° Congresso Nazionale di Speleologia. Bologna, 27-31 agosto 2003.
- APAT IRSA CNR, 2004. *Metodi analitici per le acque*. Roma.
- ARGAWAL M., GUPTA S.K., DESHAPANDE R.D. e YADAVA M.G. 2006. *Helium, radon and radiocarbon of regional aquifer system of the north Gujarat-Cambay region, India*. Chemical Geology 228, 209-232.
- ARPA, 2001. *Indagine sull'idrogeologia del bacino della sorgente Arpit (comune di Pulfero, alta valle del Natisone), e sulla sua vulnerabilità, utilizzando tecniche di geochimica isotopica*.
- ASSERETO R., 1961. *La geologia della Valle di Ugovizza*. Boll. Serv. Geol. Ital., 82 (1960-61), 109-148, Roma.
- BOSCHIN W., 2004. *Carsismo e idrogeologia del gruppo del Monte Verzegnis (Prealpi Carniche)*. Relatore Prof. F. Cucchi, Univ. Trieste.
- BRAMBATI A., 1989. *Relazione geologico-tecnica sul territorio del comune di Ravascletto (Udine) a supporto dello strumento urbanistico regionale*. Trieste.
- BROILI L., CARRARO F., CUCCHI F., ONOFRI F., STEFANINI S., ULCIGRAI F., 1980. *Studio geologico per la ricostruzione*. Comune di Gemona, Gemona del Friuli.
- BROILI L., CARULLI G.B., MENCHINI G., 1984. *Note illustrative della carta geologico tematica del territorio provinciale*. Provincia di Udine. Provincia di Udine.
- CALMBACH L., 1984. *Hydrowin, an interactive computer program for storing and processing Hydrochemical data. User's manual version 3.0*.
- CARNIEL A. et AL., 1991. *Precipitazioni meteoriche*. Rassegna Tecnica n° 4.
- CARULLI G. B. et AL., 2000. *Geologia delle Prealpi Carniche*. Pubblicazione n. 44. Edizioni del Museo Friulano di Storia Naturale, Udine.
- CARULLI G. B. et AL., 2006. *Carta geologica del Friuli Venezia Giulia*. Scala 1:150000. S.E.L.C.A., Firenze.
- CARULLI G. B., CUCCHI F., MAROCCO R., MASETTI D., PERUZZA L., PONTON M., TUNIS G., 2000. *Guida alle escursioni. 80ª riunione estiva. Trieste, 6-8 settembre 2000*. Società Geologica Italiana. Edizioni Università di Trieste.

- CARULLI G. B., FRASCARI F., SEMENZA E., 1982. *Geologia delle Alpi Tolmezzine (Carnia)*. In: Castellarin A. e Vai G. B. (a cura di) *Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale*, Guide geol. reg. S.G.I., Bologna, 337-348.
- CARULLI G.B., FRIZZO P., LONGO SALVADOR G., SEMENZA E., BHIANCHIN G., MANTOVANI F., MEZZACASA G., 1987. *La geologia della zona tra il T. Chiarzò e il Fella (Alpi Carniche)*. Giorn. Geo., Bologna.
- CARULLI G.B., FRIZZO P., LONGO SALVADOR G., SEMENZA E., BHIANCHIN G., MANTOVANI F., MEZZACASA G., 1987. *Carta geologica della zona tra il T. Chiarzò e il Fella (Alpi Carniche)*. Scala 1:20000. In *La geologia della zona tra il T. Chiarzò e il Fella (Alpi Carniche)*. Giorn. Geo., Bologna.
- CARULLI G.B., PONTON M., 1988. *Assetto tettonico dell'area di Paularo (Carnia)*. Rend. Soc. Geol. It., 3, 49/1
- CARULLI G.B., PONTON M., 1993. *Interpretazione strutturale profonda del settore centrale carnico-friulano*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1992/2 CROP 1 - 1A.
- CASTELLARIN A., 1981. *Carta tettonica delle Alpi Meridionali alla scala 1:200 000*. Pubbl. n° 441, P.F. Geodinamica, CNR.
- CASTIGLIONI G.B., 1986. *Geomorfologia*. UTET, Torino.
- CAVALLIN A., 1980. *Assetto strutturale del Massiccio Cansiglio-Cavallo (Prealpi Comiche Occidentali)*. Atti del II Convegno Studi sul terr. Prov. di Pordenone.
- CAVALLIN A., MARTINIS B., 1982. *Gli scorrimenti del Margine Settentrionale della Piattaforma Carbonatica Adriatica*. In: Castellarin A., VAI G.B. (a cura di): "Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale". Guide geol. reg. S.G.I., Bologna.
- CAVALLIN A., MARTINIS B., 1986. *Le sismite nelle Prealpi friulane*. In *Alto*, 68, 104-113, Udine.
- CELICO P., 1986. *Prospezioni idrogeologiche*. Volume I e II. Liguori editore, Napoli.
- CIVITA M., 2005. *Idrogeologia applicata e ambientale*. Casa editrice ambrosiana, Milano.
- CIVITA M., DAL PRA' A., FRANCANI V., GIULIANO G., OLIVIERO G., PELLEGRINI M., ZAVATTI A., 1993. *Proposta di classificazione e mappatura della qualità delle acque sotterranee*, *Inquinamento* n. 12, dic. 1993, pp. 8-17.
- CIVITA M., FIORUCCI A., 1999. *Diagrammi di qualità delle acque sotterranee: aggiornamenti e discussioni*, Atti del 13° Convegno Nazionale sulla Protezione e

- Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio, Parma, 13-15 ottobre 1999, pp. 1207-1215.
- CIVITA M., FIORUCCI A., OLIVIERO G., 1998. *I diagrammi di qualità per l'utilizzazione delle acque sotterranee destinate al consumo umano e all'agricoltura*, GEAM, XXXV, 4, 1998, pp. 259-266.
- COLA R., 1998. *Lavori di ripristino dell'adduttrice principale ed opere relative alla sorgente "Arpit"*. Consorzio acquedotto Poiana. Cividale del Friuli. Commissione Comunale per l'Acquedotto di Cividale (1998) – L'acquedotto di Cividale, relazione.
- CONTI. A., SACCHI, E., CHIARLE, M., MARTINELLI, G., ZUPPI, G.M., 2000. *Geochemistry of the formation water in the Po Plain (Northern Italy): an overview*. Applied Geochemistry 15, 51-65, Elsevier Science, 2000.
- CRAIG E. DIVINE, JEFFREY J. McDONNELL, *The future of applied tracers in hydrogeology*, Hydrogeol Journal n. 13: pp.255-258, 2005.
- CUCCHI F., FORTI P., 1991. *Dissoluzione sottocutanea nei gessi: analisi e considerazioni*. Le Grotte d'Italia, 4, XV, 1990-1991.
- CUCCHI F., FORTI P., GIACONI M., GIORGETTI F., 1998. *Note idrogeologiche sulle sorgenti del fiume Livenza*. Atti della Giornata Mondiale dell'Acqua, Roma, 23 marzo 1998. Pubblicazione CNR-GNDCI n. 1955.
- CUCCHI F., GIORGETTI F., GEMITI F., MASSARI G., OBERTI S., 1998. *Caratterizzazione geochemica delle falde acquifere della pianura friulana*.
- CUCCHI, F., MASSARI, G., e OBERTI, S. 1999. *Il chimismo delle falde freatiche e artesiane della Pianura friulana*. Quaderno del Museo Carsico Geologico e Paleontologico, 3-20.
- CUCCHI F., PIANO C., 2002. *Ipercarsismo nelle evaporiti del Friuli Venezia Giulia*. In: *Le voragini catastrofiche. Un nuovo problema per la Toscana*. 35-46, Ediz. Reg. Toscana.
- CUCCHI F., PIANO C., 2000. *Studi per una carta idrogeologica del Friuli Venezia Giulia*. Pubblicazione n.XXXX del Gruppo nazionale per la difesa delle catastrofi idrogeologiche del CNR U.O. 4.7
- CUCCHI F., VAIA F., 1986. *Nota preliminare sull'assetto strutturale della Val Raccolana (Alpi Giulie)*. Gortania. Atti Mus. Friul. St. Nat., n.8, Udine.

- D'AMELIO L., FLORA O., LONGINELLI A., 1994. *Environmental isotope data: oxygen isotope concentration in precipitation in N-E Italy (Friuli Venezia Giulia)*. Special Vol. dedicated to M. Fornaseri; Mineral. Petrogr. Acta, 37.
- DAL PIAZ G., 1957. *Studio geologico dell'alta valle del Torrente Chiarzò (Carnia Orientale) presa in esame per la costruzione di un impianto idroelettrico*. Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova. Padova.
- D'AMELIO, L., FLORA, O., LONGINELLI, A., 2006. *Environmental isotope data: oxygen isotope concentration in precipitation in N-E Italy (Friuli-Venezia Giulia)*. Miner Petrogr. Acta 37, 113-124.
- DIPARTIMENTO DI SCIENZE GEOLOGICHE, AMBIENTALI E MARINE, 1999. *Relazione illustrativa sul modello idrogeologico delle zone montane e di pianura dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento e Livenza*. Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta – Bacchiglione. Trieste.
- DIPARTIMENTO DI SCIENZE GEOLOGICHE, AMBIENTALI E MARINE, 2006. *Progetto di studio sulle potenzialità idriche dell'Alta Valle del Natisone*. Convenzione di ricerca per Acquedotto Pojana S.p.A.Trieste.
- FANTONI R., LONGO SALVADOR G., PODDA F., PONTON M. e SCOTTI P., 1998. *L'unità a laminiti organiche nel Nerico del Rio Resartico (Val Resia, Prealpi Giulie)*. Atti Ticin. Sc. Terra, serie spec., 7,109-123, Pavia.
- FERASIN F., 1960. *Il "complesso di scogliera" Cretacico del Veneto - Orientale*. Mem. Ist. di Geol. e Min. dell'Università di Padova, Vol. XXI, 1959-60.
- FERASIN F., BRAGA G.P, CORSI M., LOCATELLI D., 1969. *La "linea dell'alto tagliamento" fra la Val Cimoliana ed il gruppo del Verzegnis in Carnia*. Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova, 27, 1-15, Padova.
- FERRARI P., 1990. *La geologia della bassa valle del torrente Chiarzò (Carnia Centrale)*. Tesi di laurea in rilevamento geologico. Univ. Trieste.
- FOGATO M., VAIA F., SERIANI F., 1981. *Carta litologica della provincia di Pordenone*. Scala 1:25000, I., S.TE., GEAP, Pordenone.
- FONTANA, A., MOZZI, P., e BORDESAN, A., 2004. *L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana*. In Geomorfologia della provincia di Venezia, a cura di Bondesan A. e Meneghel, Esedra Editrice, 113-136.

- GAROFALO M.L., 1985. *L'evoluzione quaternaria dell'alto bacino del torrente Torre (Prealpi Giulie)*. Tesi di laurea. Rel. G.B. Carulli. Univ. Trieste.
- GAROFALO M.L. e PUGLIESE N., 1990. *I sedimenti paleolacustri nell'alta valle del torrente Torre*. Atti Museo Geol. Paleontolog. Monfalcone, Quad. Spec., 133-142.
- GIORGETTI F., 1977. *Ricerche idrogeologiche nella sorgente dell'Arpit*. Cividale del Friuli.
- GIORGETTI F., STEFANINI S., 1989. *Vulnerabilità degli acquiferi del Campo di Osoppo-Gemona all'inquinamento (Provincia di Udine)*. Cons. Naz. Delle Ric., Gr. Naz. Difesa Catastrofi Idrogeologiche – Reg. Aut. Friuli-Venezia Giulia, Direz. Reg. Ambiente; 11 Tavv., Trieste.
- GIORGETTI F., STEFANINI S., 1989b. *Composizione e provenienza delle acque di risorgiva del Campo di Osoppo Gemona e della Piana di Artegna e Buia (Provincia di Udine)*. Gortania. Atti Mus. Friul. St. Nat., n.11, Udine.
- GIORGI E., 2006. *Idrogeologia dei bacini delle sorgenti Braida e Palucian*. Tesi di laurea in geologia applicata. Relatore Prof. F. Cucchi. Univ. Trieste.
- GORTANI M., 1920. *I bacini del But, del Chiarsò e della Vinadia in Carnia*. Geologia, morfologia, idrografia, carta della permeabilità delle rocce. Uff. Idr. R. Mag. Acque Venezia. Venezia.
- GORTANI M., 1926. *Guida geologica del Friuli*. Tolmezzo, Stabilimento Tipografico Carnia.
- GORTANI M., 1960. *Bibliografia geologica d'Italia. Voi. VI: Friuli*. C.N.R. pp. 228, Napoli.
- LONGINELLI, A., ANGLÉSIO, E., FLORA, O., IACUMIN, P., e SELMO, E., 2006. *Isotopic composition of precipitation in Northern Italy: Reverse effect of anomalous climatic events*. Journal of Hydrology 329, 471-476.
- LONGINELLI, A., SELMO, E., 2003. *Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map*. Journal of Hydrology 270, 75-88.
- LONGINELLI A., DEGANELLO S., 1999. *Introduzione alla geochemica*. UTET.
- KILCHMANN, S, WABER, H. N., PARRIAUX, A., BENSIMON, M., 2004, *Natural traces in recent groundwaters from different Alpine aquifers*, Hydrogeol Journal n. 12: pp. 643-661, 2004.

- LUTMAN, A., AVOSCAN, W., CIANI, I., COAN, P., GAVA, G., NARDINI, R., PRESSELLO, L., *Inquinamento di tipo agricolo nelle falde acquifere della provincia di Udine*, Rapporti ISTISAN 04/14, 2004.
- KRALIK, M., PAPESCH, W., STICHELER, W., 2006. *Austrian network of isotopes in precipitation (ANIP) and the good status in Alpine Karst water*. International Conference in Vienna (October 2006), 5 pp.
- MANCA P., 1999. *Idrogeologia del massiccio del Monte Canin (Alpi Giulie)*. Tesi di laurea. Relatore prof. Cucchi F., Università degli studi di Trieste.
- MARTINEZ, D.E. e BOCANEGRA, E.M., 2002. *Hydrogeochemistry and cation-exchange processes in the coastal aquifer of Mar Del Plata, Argentina*. Hydrogeology Journal 10, 393-408.
- MARTINIS B. (a cura di) et Al., 1977. *Studio geologico dell'area maggiormente colpita dal terremoto friulano del 1976*. C.N.R., Comm. Sc. Geol. e Min., P.F. Geodinamica. Riv. It. Paleont. e Strat., 83, Milano.
- MARTINIS B., 1971. *Geologia generale e Geomorfologia del Friuli Venezia Giulia*. In: Enciclopedia monografica del Friuli-Venezia Giulia, v.1, Udine.
- MARTINIS B., 1993. *Storia Geologica del Friuli*. Editrice La Nuova Base, Udine.
- MAURUTTO E., 2002. *Qualità delle acque dei piccoli acquedotti montani della provincia di Udine ed informazioni idrogeologiche acquisibili sulle loro sorgenti*. Tesi di Laurea. Relatori prof. Bontempelli, dott.ssa Lutman e prof. Cucchi. Facoltà di Agraria dell'Università di Udine.
- MERLAK E., 1999. *Rapporto sulla presenza dei solfati nelle acque carsiche della provincia di Trieste e delle aree circostanti*. Atti del dell'VIII Convegno Regionale di Speleologia del Friuli Venezia Giulia. Ronchi dei Legionari 4-5-6 giugno 1999.
- METKA PETRIČ, 2002. *Characteristics of recharge – discharge relations in karst aquifer*. Carsologica, Založba ZRC, Postojna-Ljubljana, 154pp.
- METZELTIN S., 1973. *Stratigrafia del Trias medio nel massiccio del M. Tersadia (Carnia)*. Istituti di geologia e paleontologia dell'Università degli Studi di Milano, pubbl. n.127. Milano.
- MOSETTI F., 1983. *Sintesi sull'idrologia del Friuli Venezia Giulia*. Pubblicazione n. 6. Edizioni dell' Ente tutela pesca del Friuli Venezia Giulia, Udine.

- MUSCIO G. (a cura di), 1997. *Il fenomeno carsico delle Valli del Natisone (Prealpi Giulie - Friuli)*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, vol. IX
- PANIZZA M., 1992. *Geomorfologia*. Pitagora Editrice Bologna.
- PIANO C. & CARULLI G.B., 2002. *Sedimentazione e tettonica giurassica nella successione del gruppo del Monte Verzegnis (Prealpi Carniche nord-orientali)*. Mem. Soc. Geol. It., 57: 115-122.
- PIANO C., 1997. *Analisi di facies giurassiche delle Prealpi Carniche nord-orientali*. Tesi di laurea. Rel. G.B. Carulli, correl. M. Ponton. Univ. Trieste.
- PILLA G., SACCHI E., ZUPPI G., BRAGA G. e CIANCETTI G., 2006. *Hydrochemistry and isotope geochemistry as tools for groundwater hydrodynamic investigation in multilayer aquifers: a case study from Lomellina, Po Plain, South-Western Lombardy, Italy*. Hydrogeology Journal 14, 795-808.
- PIRINI RADRIZZINI C., TUNIS G., VENTURINI S., 1986. *Biostratigrafia e paleogeografia dell'area sud-orientale dell'anticlinale M. Mia – M. Matajur*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia.
- PISA G., 1972. *Geologia dei Monti a Nord di Forni di Sotto (Carnia occidentale)*. Scala 1:20000. Giorn. Geol., Ser 2, 38 (1970), II, 543-688, Bologna
- PONTON M., 1984. *La conca di Paularo (Carnia): il limite Permo-Trias nel suo contesto geologico*. Tesi di laurea in Rilevamento geologico. Univ. Trieste.
- PONTON M., PODDA F., 1997. *Evoluzione paleogeografica e paleostrutturale delle Prealpi Carniche Settentrionali al passaggio Trias-Giur*. Atti Tic. Sc. Terra, 39, 269-280.
- PONTON M., 2000. *La tettonica dei gruppo del M. Canin e la linea Val Resia-Val Coritenza (Alpi Giulie occidentali)*. Mem. Soc. Geol. It., 57 (2002), 283-292.
- ROTA S., 1987. *La geologia dei monti a nord di Forni di Sopra (Udine)*. Tesi di laurea. (rel. G.B.Carulli, correl. G. Longo Salvador). Univ. Trieste.
- SELLI R., 1963. *Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali*. Giornale di Geologia, Bologna.
- SEMERARO R. (2000). *Ipotesi sulla paleogeografia delle Alpi Giulie occidentali e suo ruolo nello sviluppo del carsismo del Monte Canin*. Ipogea, 3: 117-166.
- SERAVALLI M., 1991. *La geologia dei rilievi ad oriente di Gemona del Friuli*. Tesi di laurea. Rel. G.B. Carulli. Univ. Trieste.

- SGOBINO F. 1994. *Parco naturale delle Prealpi Giulie: 2/Geologia e clima*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Comuni di Chiusaforte, Moggio Udinese, Resia, Resiutta e Venzone. pp. 48, Coop. Utopie Concr., Venzone.
- SGOBINO F., MAINARDIS G., CHIUSSE E., 1983. *Geologia, flora, fauna e paesaggio del Gemonese*. Comunità Montana del Gemonese, Gemona del Friuli.
- SIMONETTI D., 1992. *La geologia del Gruppo dei Monti Tersadia e Cucco (Carnia Centrale)*. Tesi di laurea in geologia. Univ. Trieste.
- SPERNE G., 1992. *Aspetti morfogenetici del bacino del torrente Chiarsò tra Paularo e Cedarçjs*. Tesi di laurea in geografia fisica. Univ. Trieste.
- STEFANINI S., 1991. *Il bilancio idrologico del F. Ledra e della falda freatica del Campo di Osoppo-Gemona*. Quaderni Ente Tutela Pesca del F.V.G., n.19, Udine.
- STEFANINI, S., e CUCCHI, F., 1977. Le ghiaie nel sottosuolo della Pianura veneta ad oriente del F. Piave. Quaderni IRSA, 34 (6), Roma.
- STEFANINI, S., e CUCCHI, F., 1978. *Gli acquiferi nel sottosuolo della Pianura veneta fra i fiumi Piave e Tagliamento*. Quaderni IRSA, 34 (12), Roma.
- TREU F., 2004. *Geomorfologia ed idrogeologia del Monte Cuarnan (Prealpi Giulie)*. Tesi di laurea in geologia applicata. Relatore Prof. F. Cucchi. Univ. Trieste.
- TUNIS G., VENTURINI S., 1997. *La geologia delle valli del Natisone*. In: MUSCIO G, (a cura di): *Il fenomeno carsico delle valli del Natisone*. Mem. Ist. Ital. Speleologia, s. II, 9, pp. 168, Udine.
- TUNIS G., VENTURINI S., 1984. *Stratigrafia e sedimentologia del flysch maastrichtianopaleocenico del Friuli orientale*. Atti del Museo Friulano di Storia Naturale, Gortania.
- TUNIS G., VENTURINI S., 1987. *Nuove osservazioni stratigrafiche sul mesozoico delle valli del Natisone (Friuli orientale)*. Atti del Museo Friulano di Storia Naturale, Gortania.
- TUNIS G. e VENTURINI C., 1997. *Schema geologico delle valli del Natisone*. Scala 1:50000. In MUSCIO G, (a cura di): *Il fenomeno carsico delle valli del Natisone*. Mem. Ist. Ital. Speleologia, s. II, 9, pp. 168, Udine
- TUNIS G., VENTURINI S., 1988. *Nuovi dati ed interpretazioni sulla tettonica del settore meridionale delle Prealpi Giulie e della regione al confine tra Italia e Jugoslavia*. Atti del Museo Friulano di Storia Naturale, Gortania.

- VAI G.B., VENTURINI C., CARULLI G.B., ZANFERRARI A., 2002. *Alpi e Prealpi Carniche e Giulie – Friuli Venezia Giulia, a cura della Società Geologica Italiana*. BE-MA editrice.
- VAIA F., IACUZZI R., 1977. *Studio geomorfologico dell'Alto bacino del Torre*. Istituto di Geologia, Trieste.
- VANDENSCHIRICK, G., van WESEMAEL, B., FROT, E., PULIDO-BOSCH, A., MOLINA, L., STIEVENARD, M. e SOUCHEZ. *Using stable isotope (δD - $\delta^{18}O$) to characterize the regional hydrology of the Sierra de Gador, south east Spain*. Journal of Hydrology 165, 43-55.
- VENTURINI C., 1990. *Geologia delle Alpi Carniche Centro Orientali*. Pubblicazione n. 36. Edizioni del Museo Friulano di Storia Naturale, Udine.
- VENTURINI C., 1981. *Carta tettonica delle Alpi Meridionali alla scala 1:200 000*, 19-22. Pubbl. n° 441, P.F. Geodinamica, CNR.
- VENTURINI C., 2002. *Carta geologica delle Alpi Carniche*. 2 fogli in scala 1:25 000, Ed. Museo Friul. di Storia Nat., Udine.
- VRECA P., BRONCI I.K., HORVATINCIC N. e BARESIC J., 2006. *Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: comparison of continental and maritime stations*. Journal of Hydrology 330, 457-469.
- ZUPPI G.M., e SACHI E., 2004. *Hydrogeology as climate recorder: Sahara (North Africa) and the Po Plain (Northern Italy)*. Glob Planet Change 40 (1/2), 79-91.