

GIORTANIA - Atti Museo Friul. di Storia Nat.	30 (2008)	5-30	Udine, 31.VII.2009	ISSN: 0391-5859
--	-----------	------	--------------------	-----------------

L. ZINI

con la collaborazione di F. CUCCHI, G. FRANCESCHINI, F. TREU

CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E GEOCHIMICHE DELLE RISERVE ACQUIFERE SOTTERRANEE DELLA PIANURA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

GEOCHEMICAL AND HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE GROUNDWATER AQUIFERS IN THE ALLUVIAL PLAIN OF FRIULI VENEZIA GIULIA

Riassunto breve - Si tratteggiano sinteticamente le conoscenze geochimiche sulle caratteristiche delle acque di falda, sia freatiche che artesiane, della Pianura Friulana, anche alla luce di una recente campagna di studio. Prendendo in considerazione la distribuzione areale delle concentrazioni dei solfati, dei bicarbonati, dei nitrati, di Ca, Mg, Cl, Na, K, i valori di conducibilità e temperatura e quelli di $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e ^{14}C , si propone una zonazione delle acque in funzione delle alimentazioni. Si possono riconoscere quattro province idrogeologiche ben delineate nel primo sottosuolo, meno nette più in profondità. Visti in particolare i risultati della campagna di datazione delle acque, si pone in evidenza come gran parte delle acque artesiane più profonde abbia scarsi scambi con le acque superficiali e tempi di permanenza notevoli. Ciò significa che ad una alta qualità di queste acque si contrappone una altissima vulnerabilità agli emungimenti.

Parole chiave: Idrogeologia, Geochimica, Falde freatiche ed artesiane, Pianura Friulana.

Abstract - *The constantly increasing of water demand for human consumptions has necessitated a reconstruction of the hydrogeologic properties and isotopic features of the aquifers of the Friuli Venezia Giulia Plain. These aquifers are composed of a phreatic aquifer and numerous confined aquifers containing both shallow and deep confined groundwaters. Four hydrogeological provinces have been recognised based on the distribution of the major ions (Ca, Mg, Cl, Na, K, NO_3 , SO_4 , CO_3) as well as on electric conductivity data, temperatures and environmental isotopes ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e ^{14}C). The data from this work allows the mapping of these different provinces that are related to the groundwater recharge areas. These provinces have been well recognised for the surface groundwaters but they become less distinguishable with increasing depth. The groundwater resources of the shallow confined and phreatic aquifers are highly vulnerable to contamination. Deeper confined groundwaters contain older waters with very low recharge rates, consequently, they could be severely impacted by over abstraction.*

Key words: Hydrogeology, Geochemistry, Groundwaters, Friuli Plain (Italy).

1. Premessa

La Pianura Friulana si estende a meridione delle Prealpi Carniche e Giulie tra i fiumi Livenza e Isonzo. Dal punto di vista idrogeologico è divisibile in due zone principali, l'Alta

pianura e la Bassa pianura separate dalla Linea delle risorgive, stretta fascia ad andamento circa WNW-ESE dalla base del Cansiglio alle foci del Timavo (fig. 1). Nel sottosuolo dell'Alta pianura, caratterizzato da elevata permeabilità, è riconosciuta una falda freatica abbastanza continua che verso meridione si avvicina alla superficie per diminuzione progressiva della permeabilità; nella Bassa pianura, racchiuse tra livelli impermeabili o semipermeabili, sono state riconosciute una decina di falde artesiane delle quali le più profonde sono caratterizzate da termalismo. Le caratteristiche litostratigrafiche di massima sono note da tempo (STEFANINI & CUCCHI, 1976; 1977; 1978) così come quelle idrogeologiche (DELLA VEDOVA et al., 1992; 2008).

Di seguito si riportano sinteticamente i dati idrologici, chimici e geochimici noti e divenuti patrimonio comune, integrandoli con i risultati dell'opera di rivisitazione ed implementazione delle conoscenze avviata a partire dal 2005 in parte su sollecitazione dei Servizi Geologico e Idraulica della Regione Friuli Venezia Giulia e di ARPA FVG, in parte come attività istituzionale del Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste (DiSGAM).

Si sono utilizzati, oltre ai dati bibliografici sull'assetto geologico ed idrogeologico dell'area, quelli chimici relativi a 149 pozzi dei quali ARPA monitorizza il chimismo (dal 1995, per un totale di 3.495 analisi)⁽¹⁾, quelli relativi agli isotopi stabili dell'ossigeno delle acque di falda (per un totale di 768 analisi relative a 128 pozzi in gran parte monitorati dal 2005), quelli relativi alla composizione isotopica delle acque pluviali raccolte in 13 pluviometri posizionati in diverse parti della Regione (468 analisi di acque campionate con cadenza mensile)⁽²⁾, quelli riguardanti l'età delle acque sotterranee definita utilizzando il metodo del geocronometro del ^{14}C su 9 pozzi.⁽³⁾

Caratteri idrogeologici

La Pianura Friulana, per le sue caratteristiche geologiche, deve essere considerata indipendente dalle vicissitudini della Pianura Padana di cui, in teoria, è il lembo orientale.

La potente coltre di sedimenti che la costituiscono è prevalentemente quaternaria, con un basamento roccioso che nei pressi di Latisana è a più di 600 metri di profondità, si eleva progressivamente verso Est (arriva a -250 metri nel sottosuolo di Grado) e si alza bruscamente verso Nord ove si raccorda con i rilievi delle Prealpi Carniche e Giulie.

(1) I dati chimici sono stati forniti dalla Sezione centrale di Palmanova dell'ARPA Regione Friuli Venezia Giulia.

(2) Gran parte dei dati geochimici sono il risultato di una campagna biennale di analisi promossa da ARPA FVG (Convenzione "Rilevamento dello stato dei corpi idrici sotterranei della Regione Friuli Venezia Giulia") ed effettuata da Onelio Flora, Barbara Stenni e Laura Genoni (Laboratorio Geochimica del DiSGAM).

(3) Le analisi sono state eseguite per conto del DiSGAM presso il laboratorio Hydroisotop GmbH in Germania tramite l'AMS.

Il Fiume Tagliamento divide la pianura in due aree differenti dal punto di vista idrostrutturale: nella parte orientale la pianura ha morfologia complessa interrotta da modesti rilievi isolati di varia natura, i depositi quaternari sono meno potenti e frutto dell'interdigitazione di diversi conoidi oltre che dell'attività glaciale e poggiano su un substrato ondulato ed interessato da faglie e sovrascorrimenti in parte ancora attivi. La zona occidentale è costituita invece dal conoide dei torrenti Cellina e Meduna che interagisce con quello del Tagliamento e sovrasta quello del Paleo Tagliamento; i depositi sono molto potenti e poggiano su un substrato che pare in approfondimento.

Alta pianura e falda freatica

I processi di alimentazione della falda freatica dell'Alta pianura dipendono in maniera determinante dalle rilevanti dispersioni che si verificano lungo gli alvei ghiaiosi allo sbocco in pianura, mentre le precipitazioni rivestono un ruolo molto più modesto (MARTELLI & GRANATI, 2007; CUCCHI et al., 2008). Non quantificabili, ma certamente importanti sono sicuramente anche gli apporti profondi dai rilievi sepolti.

I parametri di permeabilità dei depositi contenenti la falda freatica variano notevolmente, così come variano le caratteristiche litologico-granulometriche, ma nel complesso il comportamento idrogeologico pare discretamente omogeneo. La percentuale di ghiaia nella parte a monte dell'Alta pianura è superiore al 65-70% con punte dell'80-90%: alcune prove di permeabilità superficiale hanno tuttavia evidenziato valori medi di k variabili fra 10^{-3} e 10^{-4} m/s. Prove di pompaggio effettuate fino a profondità di 200 metri là dove prevale nettamente la frazione ghiaiosa, indicano valori di permeabilità attorno a 10^{-3} m/s, mentre valori di 10^{-5} m/s sono caratteristici delle ghiaie sabbioso-limose che si rinvergono in prossimità della Linea delle risorgive (DiSGAM, 1999).⁽⁴⁾

In linea di massima, nel sottosuolo dell'Alta pianura, esiste un'unica falda freatica continua contenuta in depositi sciolti prevalentemente grossolani. Sondaggi profondi hanno evidenziato la presenza, un centinaio di metri sotto il piano campagna, di depositi prevalentemente conglomeratici, fratturati, con acqua, fino a notevole profondità. Sono ancora pochi i pozzi che attingono da tali livelli che appaiono talora confinati e distinti dalla falda freatica sovrastante, per cui allo stato attuale non pare il caso di distinguere anche nell'Alta pianura falde artesiane da quella freatica.

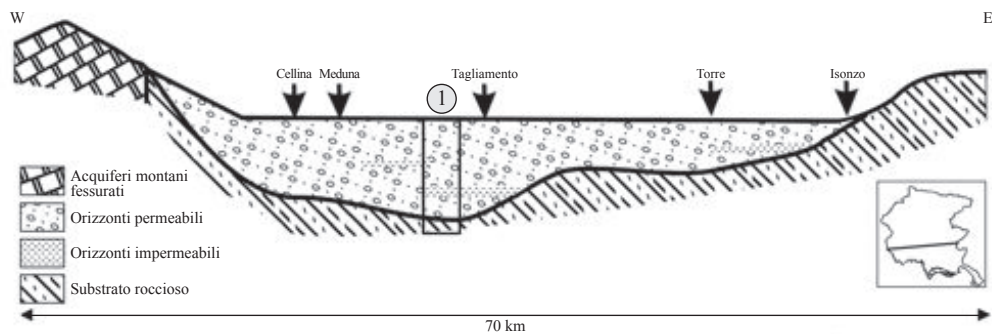
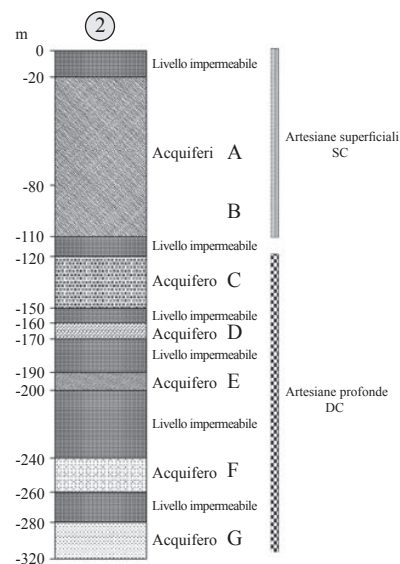
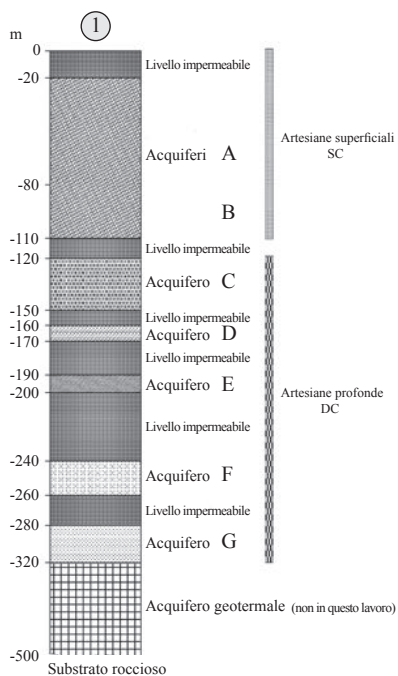
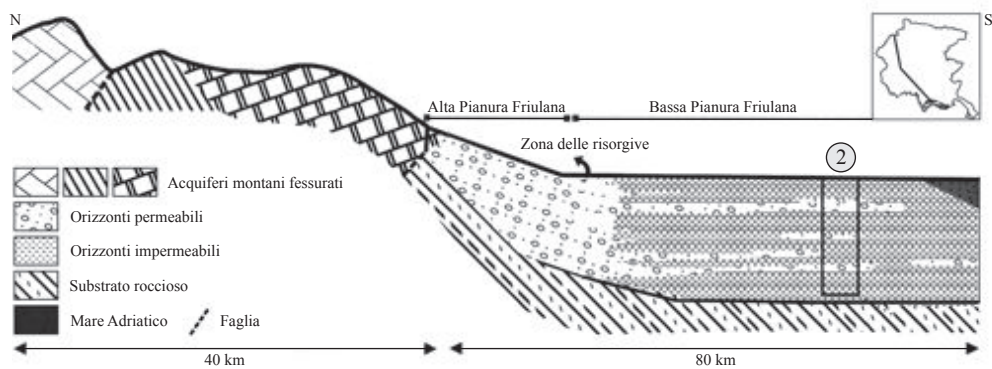
In sinistra Tagliamento l'alimentazione della falda è dovuta alle dispersioni dei corsi d'acqua che attraversano la pianura, alle precipitazioni atmosferiche, ma anche, e non subordinatamente,

(4) Nel 1999, per conto dell'Autorità di bacino dell'Alto Adriatico, il DiSGAM ha condotto una campagna di quantificazione della permeabilità superficiale del conoide del T. Meduna con infiltrometri, sondaggi e prove in pozzo.



Fig. 1 - a) Punti di campionamento (modificata da CUCCHI et al., 2008). Con P sono indicati i pluviometri, con numeri i corsi d'acqua di cui si hanno dati geochimici, con crocette i punti di campionamento delle acque freatiche, con triangolini quelli delle falde artesiane superficiali (falda A e falda B), con cerchietti quelli delle falde profonde (falde da C a F). b) Nella pagina a fianco, schema delle unità idrogeologiche presenti nel sottosuolo (da CUCCHI et al., 2007).

- a) Location of the groundwater samples (after CUCCHI et al., 2008). P = Pluviometer; crosses = phreatic well samples; triangles = shallow confined well samples and circles = deep confined well samples; 1-6 = FVG rivers. b) By the other page, simplified cross sections indicating the hydrogeological units found in the study area (after CUCCHI et al., 2007).



ai deflussi provenienti da falde profonde individuate nei conglomerati al di sotto dell'Anfiteatro morenico (CUCCHI et al., 1998; 1999; MARTELLI & GRANATI, 2006; 2007).

I rapporti tra le acque sotterranee e le acque superficiali (del Tagliamento ma specialmente dei torrenti Cellina e Medusa) 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 nell'ordine del mese e la velocità di propagazione dell'acqua in falda durante le piene risulta di circa 3-4 km al giorno (DISGAM, 1999). Le escursioni durante l'anno sono molto differenti da zona a zona: dai valori più bassi, ovviamente riscontrabili poco a monte della Linea delle risorgive con pochi metri di oscillazione, si passa alle decine di metri della parte centrale, fino ai 40-50 metri riscontrati al limite settentrionale del conoide Cellina-Meduna.

L'analisi dell'andamento delle isofreatiche nel tempo, permette di riscontrare, attualmente, una fase di un generale abbassamento del livello di falda, più cospicuo nella zona settentrionale laddove anche la variazione tra escursioni massime e minime è più elevata (CUCCHI et al., 1998; MARTELLI et al., 2007; MARTELLI & GRANATI, 2007). Le cause di tale abbassamento vanno ricercate nella minor piovosità registrata nell'ultimo trentennio, nel maggior sfruttamento della falda freatica per scopi domestici, agricoli ed industriali, nell'eccessivo sfruttamento delle falde artesiane a valle delle Risorgive e nell'intenso utilizzo per scopi irrigui ed idroelettrici delle acque montane (DISGAM, 2006).

Linea delle risorgive, Bassa pianura e falde artesiane

La Linea delle risorgive è quell'area di pianura caratterizzata da abbondanti affioramenti di acque sotterranee: costituisce una fascia che si sviluppa da Est a Ovest per un centinaio di km, di cui una quarantina in destra ed una sessantina in sinistra Tagliamento, a quote comprese tra 30 e 40 m; l'ampiezza varia di alcune centinaia di metri in funzione del livello piezometrico della falda freatica a monte. Anche le acque dei tratti finali dei principali fiumi regionali possono essere considerate in buona parte acque di risorgiva.

Man mano che ci si sposta verso meridione l'acquifero freatico si innesta in un complesso multifalda caratterizzato da livelli ghiaioso-sabbiosi variamente intercalati a depositi argillosi sempre più frequenti e più potenti. In quasi tutta la Bassa pianura, là dove affiorano in maniera discontinua orizzonti più ghiaioso-sabbiosi, a minima profondità dal piano campagna è presente una sorta di falda freatica "sospesa" che ha una certa rilevanza per le problematiche relative al territorio (utilizzo, inquinamento, ecc.).

Lo schema idrogeologico finora adottato nel sottosuolo della Bassa pianura friulana prevede la presenza di sette falde artesiane "fredde" (per praticità descrittiva denominate A, B, C, D, E, F,

G nel senso della profondità crescente), comprese tra 10 e 400 metri di profondità e, per quanto noto al momento, tre falde con acque interessate da geotermalismo (denominate H, I, L).

Tale situazione schematica naturalmente non è sempre riscontrabile in quanto le caratteristiche litostratigrafiche mutano sia arealmente che verticalmente, tanto verso Nord quanto verso Est ed Ovest. Le dieci unità idrologiche principali riconosciute non sono falde uniformi e continue ma spesso sono contenute in acquiferi che variano in spessore e profondità, oltre che in litologia, e risultano suddivisibili in diversi e a volte modesti orizzonti. Come non bastasse, in alcune occasioni vi è da considerare la possibilità di interconnessioni fra le falde per sostanziale non impermeabilità di alcuni acquicludi locali.

In linea di principio, la falda A, posizionata generalmente fra 30 e 80 metri dal piano campagna, è 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 la falda risulta variamente suddivisa in deboli orizzonti permeabili intercalati a livelli argilloso-limosi impermeabili mediamente potenti.

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 solo localmente supera i 10 metri.

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

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 questi acquiferi sono articolati in modo da sembrare un'unica falda digitata sia in senso verticale che orizzontale. In particolare la falda D è abbastanza continua, con potenze comprese tra 4 e 12 metri ed è contenuta in materiali prevalentemente ghiaiosi o ghiaioso-sabbiosi. La 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.

Una sesta falda, la falda F, è posizionata fra 240 e 260 metri di profondità, è contenuta in depositi prevalentemente ghiaiosi a prevalentemente sabbiosi ed è una falda con buona continuità areale, ben definita e potente. Pochi metri al disotto 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 è ubicata immediatamente al di sopra del basamento roccioso a quote lievemente superiori (260 metri), si presenta localmente discontinua e si sviluppa in depositi prevalentemente sabbiosi con potenza variabile da alcuni metri fino a una decina di metri. Un debole geotermalismo caratterizza le acque di queste due ultime falde nel sottosuolo dell'area lagunare in Comune di Grado, con valori di temperatura mediamente poco elevati (30°C - 34°C).

Tab. I - Analisi chimiche e composizione isotopica dei 149 pozzi monitorati (valori medi).
 - *Chemical and isotopic composition of 149 groundwater samples (average values).*

Pozzo	Tipo	Quota (m a.s.l.)	Prof. (m)	n _{ch}	EC (μS/cm)	pH	TDS (mg/L)	Alk (mg/L)	TH (mg/L)	SAR (meq/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
637	P	3	2	6	606	7,2	590	328	371	0,12	89,4	35,9	5,2	0,9
255	P	19	12	12	597	7,4	569	316	348	0,09	105,2	20,7	4,0	1,4
204	P	40	15	11	563	7,4	506	211	329	0,11	89,3	25,7	4,4	0,9
236	P	82	15	15	489	7,6	441	163	286	0,08	82,4	19,4	3,2	0,9
449	P	61	15	7	936	6,9	928	535	562	0,20	149,6	45,8	10,7	0,7
610	P	20	15	8	605	7,4	556	265	343	0,14	87,2	30,4	6,1	1,8
613	P	30	17	8	626	7,3	578	268	366	0,09	94,9	31,2	4,0	1,1
609	P	24	18	8	631	7,4	584	294	361	0,12	94,5	30,3	5,4	1,7
612	P	21	19	7	607	7,4	556	270	346	0,15	88,2	30,6	6,3	1,0
611	P	20	20	8	651	7,3	607	299	375	0,14	99,2	31,0	6,3	2,0
3776	P	51	20	9	588	7,4	568	303	352	0,07	97,4	26,5	3,2	1,1
31126	P	28	20	3	260	-	212	115	148	0,07	44,5	9,0	2,0	0,6
1524	P	37	22	9	505	7,6	480	261	303	0,06	81,2	24,4	2,5	0,7
1357	P	34	23	12	348	7,9	325	186	200	0,05	49,5	18,5	1,6	0,3
624	P	60	25	5	506	7,5	447	178	289	0,09	77,5	23,3	3,5	0,9
639	P	25	25	8	639	7,3	592	310	373	0,09	101,6	28,9	4,1	1,7
1298	P	17	25	14	589	7,4	567	302	353	0,07	95,7	27,6	3,3	1,0
1305	P	16	25	14	557	7,4	529	272	326	0,13	83,1	28,9	6,4	1,0
234	P	141	26	17	548	7,4	518	288	321	0,07	92,4	21,8	2,8	1,1
211	P	46	27	11	506	7,5	452	200	289	0,11	80,7	21,3	4,3	1,0
31055	P	32	27	10	298	7,9	265	137	167	0,07	50,4	10,1	2,2	0,9
43	P	41	30	7	495	7,4	470	256	292	0,09	81,9	21,3	3,5	1,2
202	P	41	31	12	484	7,6	425	167	278	0,09	76,6	21,1	3,4	0,8
206	P	33	31	11	589	7,4	537	245	346	0,08	90,2	29,3	3,3	0,8
31107	P	9	31	12	295	7,7	251	138	166	0,11	47,7	11,3	3,4	0,6
219	P	27	32	11	643	7,3	591	296	371	0,14	98,4	30,3	6,3	1,8
209	P	50	33	11	604	7,4	546	235	348	0,14	96,0	26,3	5,8	0,9
212	P	44	33	11	585	7,4	527	237	341	0,08	89,7	28,4	3,3	0,8
588	P	111	33	5	617	7,2	575	317	357	0,15	104,6	23,1	6,5	0,9
216	P	38	35	11	619	7,3	573	288	366	0,08	95,2	31,1	3,5	0,8
638	P	24	35	8	643	7,1	600	330	368	0,10	108,7	23,4	4,4	0,8
205	P	37	36	11	549	7,4	495	213	321	0,08	85,8	25,9	3,4	0,8
1303	P	21	36	13	663	7,3	621	300	386	0,12	102,8	31,2	6,1	1,5
203	P	47	37	11	491	7,6	427	162	280	0,13	77,8	20,8	5,1	0,8
208	P	24	38	11	682	7,2	636	308	403	0,14	107,0	33,0	6,6	1,8
213	P	44	40	11	588	7,3	535	249	345	0,09	91,8	28,1	3,6	1,0
246	P	47	40	17	477	7,5	455	254	273	0,12	86,4	13,9	4,7	2,1
1322	P	18	40	12	414	7,6	395	223	239	0,07	66,9	17,4	3,2	1,2
1369	P	85	40	9	443	7,8	378	138	254	0,07	73,8	16,9	2,5	0,7
31012	P	18	40	4	367	-	306	163	214	0,09	62,9	13,8	2,9	1,4
1523	P	42	43	9	408	7,8	381	215	241	0,04	62,5	20,7	1,3	0,4
218	P	50	44	10	566	7,3	509	254	319	0,18	81,8	27,8	7,4	1,1
252	P	35	45	18	274	7,8	253	145	152	0,07	47,6	7,9	2,0	0,8
269	P	55	45	30	599	7,3	592	315	357	0,11	91,3	31,2	4,8	1,6
618	P	20	48	8	581	7,4	538	270	329	0,20	83,4	29,2	8,2	1,9
1348	P	36	48	8	375	7,9	347	196	219	0,03	55,4	19,7	1,2	0,3
463	P	25	50	8	510	7,6	474	246	291	0,12	80,8	21,7	4,8	2,0

Abbreviazioni: P=freatica; SC=falde artesiane superficiali A e B; DC=falde artesiane profonde C, D, E e F; n_{sh} =numero delle analisi chimiche; n_{is} =numero delle analisi isotopiche; SI=indice di saturazione (subscript dol=dolomite; cal=calcite, gyp=gesso, ani=anidrite, hal=halite); VSMOW=Vienna Standard Mean Ocean Water.

Pozzo	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Tipo di acqua	SI _{dol}	SI _{cal}	SI _{gyp}	SI _{ani}	SI _{hal}	n_{is}	$\delta^{18}O$ (‰VSMOW)
637	10,3	399	48,3	0,2	Ca-Mg-HCO ₃	0,08	0,14	-1,88	-2,13	-8,84	2	-7,30
255	8,2	386	17,3	23,3	Ca-Mg-HCO ₃	0,23	0,36	-2,23	-2,48	-9,06	2	-6,81
204	7,0	257	106,0	14,1	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,16	0,10	-1,51	-1,76	-9,07	1	-8,44
236	3,8	199	124,6	2,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,16	0,14	-1,45	-1,70	-9,48	1	-8,63
449	17,1	652	17,6	33,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,12	0,21	-2,18	-2,43	-8,33	-	-
610	11,2	324	53,9	42,3	Ca-Mg-HCO ₃	0,14	0,19	-1,83	-2,07	-8,73	2	-6,80
613	8,7	327	72,7	38,0	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,04	0,16	-1,67	-1,92	-9,03	2	-7,61
609	10,4	359	38,6	44,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,21	0,25	-1,94	-2,19	-8,85	2	-7,33
612	12,3	329	39,4	48,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,04	0,15	-1,95	-2,20	-8,68	2	-6,82
611	12,4	365	48,4	43,0	Ca-Mg-HCO ₃	0,16	0,23	-1,83	-2,08	-8,67	2	-7,01
3776	8,0	370	13,6	47,8	Ca-Mg-HCO ₃	0,16	0,25	-2,38	-2,63	-9,18	-	-
31126	2,8	140	7,4	5,2	Ca-Mg-HCO ₃	-1,78	-0,68	-2,81	-3,05	-9,81	1	-8,55
1524	5,8	319	14,5	32,2	Ca-Mg-HCO ₃	0,20	0,26	-2,39	-2,64	-9,40	2	-7,66
1357	3,6	227	7,1	15,2	Ca-Mg-HCO ₃	0,17	0,21	-2,83	-3,08	-9,94	2	-8,09
624	5,3	218	107,0	11,5	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,13	0,10	-1,54	-1,79	-9,30	1	-8,64
639	12,2	378	24,5	40,7	Ca-Mg-HCO ₃	-0,02	0,17	-2,11	-2,36	-8,88	1	-7,02
1298	9,3	369	24,7	34,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,18	0,26	-2,12	-2,37	-9,09	2	-6,84
1305	10,6	332	32,9	32,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,15	0,20	-2,04	-2,29	-8,73	2	-7,19
234	7,2	351	18,4	19,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,08	0,27	-2,24	-2,49	-9,27	2	-7,03
211	5,9	244	86,2	7,5	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,33	0,04	-1,61	-1,86	-9,15	1	-8,64
31055	3,4	167	6,2	6,4	Ca-Mg-HCO ₃	-1,73	-0,60	-2,86	-3,11	-9,67	2	-8,43
43	6,7	312	16,1	27,9	Ca-Mg-HCO ₃	-0,02	0,19	-2,33	-2,58	-9,22	2	-6,80
202	4,6	203	106,6	7,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,27	0,06	-1,54	-1,79	-9,37	1	-8,59
206	8,1	299	76,2	29,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,08	0,11	-1,65	-1,91	-9,13	1	-7,87
31107	7,2	168	7,0	5,4	Ca-Mg-HCO ₃	-1,58	-0,57	-2,83	-3,08	-9,27	-	-
219	11,5	360	48,3	32,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,04	0,18	-1,83	-2,08	-8,71	1	-7,23
209	9,3	286	100,6	19,7	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,10	0,14	-1,51	-1,76	-8,86	1	-8,45
212	8,0	289	79,2	26,5	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,15	0,09	-1,64	-1,89	-9,14	1	-8,04
588	4,8	386	14,5	34,8	Ca-Mg-HCO ₃	-0,16	0,15	-2,31	-2,56	-9,10	2	-6,25
216	9,2	351	44,8	34,8	Ca-Mg-HCO ₃	-0,12	0,10	-1,87	-2,12	-9,05	1	-7,48
638	15,9	402	13,3	31,6	Ca-Mg-HCO ₃	-0,35	0,07	-2,34	-2,59	-8,74	1	-6,52
205	6,6	259	93,5	18,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,11	0,12	-1,57	-1,83	-9,21	1	-8,33
1303	10,5	366	53,7	47,9	Ca-Mg-HCO ₃	-0,02	0,15	-1,78	-2,03	-8,73	2	-7,12
203	5,6	197	110,8	7,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,21	0,09	-1,52	-1,77	-9,11	1	-8,73
208	11,8	376	57,4	41,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,03	0,17	-1,74	-1,99	-8,69	1	-7,34
213	7,4	304	71,0	27,0	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,13	0,11	-1,67	-1,93	-9,13	1	-7,70
246	6,3	310	15,3	11,9	Ca-HCO ₃	0,06	0,33	-2,31	-2,56	-9,09	2	-6,76
1322	5,0	272	11,8	15,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,19	0,28	-2,54	-2,79	-9,45	1	-8,19
1369	2,9	168	108,7	4,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,33	0,07	-1,53	-1,79	-9,70	2	-8,90
31012	4,4	199	9,3	12,4	Ca-Mg-HCO ₃	-1,37	-0,47	-2,61	-2,86	-9,45	-	-
1523	4,4	262	8,4	21,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,10	0,19	-2,69	-2,94	-9,79	2	-8,03
218	12,4	309	43,8	24,1	Ca-Mg-HCO ₃	-0,21	0,04	-1,91	-2,17	-8,60	1	-7,34
252	2,1	177	7,3	4,0	Ca-Mg-HCO ₃	-0,16	0,20	-2,80	-3,04	-9,92	2	-7,59
269	7,4	384	30,2	37,2	Ca-Mg-HCO ₃	0,21	0,22	-2,07	-2,31	-9,02	2	-6,74
618	13,5	329	39,3	33,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,08	0,17	-1,97	-2,22	-8,52	2	-7,19
1348	3,8	238	8,9	19,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,09	0,17	-2,70	-2,95	-9,91	2	-7,35
463	7,8	300	41,3	16,0	Ca-Mg-HCO ₃	0,33	0,35	-1,93	-2,18	-8,98	2	-7,24

Pozzo	Tipo	Quota (m a.s.l.)	Prof. (m)	n_{ch}	EC (μ S/cm)	pH	TDS (mg/L)	Alk (mg/L)	TH (mg/L)	SAR (meq/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
633	P	59	50	8	450	7,6	412	221	257	0,13	64,8	23,0	4,7	1,4
634	P	59	50	7	552	7,5	492	243	300	0,27	77,2	26,1	10,8	0,9
1527	P	54	50	9	456	7,7	409	228	260	0,04	66,2	23,1	1,6	0,3
31009	P	51	50	8	269	-	227	126	154	0,10	45,8	9,7	2,8	0,7
31136	P	20	50	5	333	-	270	144	186	0,11	54,7	12,0	3,4	1,1
278	P	62	55	8	400	7,7	370	203	229	0,10	58,9	19,9	3,4	0,8
Ab. Capuzzo	P	68	56	5	441	7,8	380	150	238	0,08	64,7	18,6	2,8	1,2
1374	P	95	60	6	512	7,9	431	136	288	0,11	83,3	19,4	4,2	0,8
31002	P	41	60	8	640	-	551	285	373	0,08	113,9	21,5	3,5	1,0
31101	P	3	60	6	427	-	335	157	216	0,43	58,5	17,0	14,4	1,0
614	P	21	61	8	552	7,4	504	249	313	0,14	79,0	28,1	5,7	1,0
620	P	30	62	8	492	7,6	434	176	282	0,06	70,4	25,8	2,3	1,2
1520	P	76	62	10	528	7,6	486	265	305	0,04	80,2	25,4	1,7	0,4
608	P	24	63	8	618	7,3	580	301	356	0,13	92,7	30,2	5,7	1,7
31067	P	64	65	7	407	-	336	175	229	0,13	66,4	15,3	4,7	2,0
619	P	20	67	8	613	7,4	565	271	349	0,17	88,6	31,0	7,4	1,6
237	P	95	70	12	514	7,5	467	211	286	0,18	78,2	22,0	6,8	4,4
1365	P	87	70	6	504	7,6	487	262	298	0,04	73,1	28,0	1,6	0,3
31004	P	43	70	4	494	-	424	223	293	0,08	85,2	19,4	3,0	1,0
250	P	73	72	13	538	7,4	497	255	308	0,19	80,1	26,2	7,8	0,9
27	P	129	75	6	478	7,5	464	257	273	0,16	83,3	15,9	6,5	3,3
235	P	123	80	17	337	7,7	318	182	187	0,10	61,4	8,3	3,2	1,6
746	P	39	84	5	460	7,7	429	234	265	0,08	70,9	21,4	3,1	0,9
233	P	139	86	13	363	7,7	341	192	208	0,07	54,3	17,6	2,4	0,7
35	P	125	90	8	591	7,4	544	276	345	0,09	86,9	31,1	3,8	2,3
38	P	118	90	8	577	7,4	529	261	339	0,10	86,5	29,9	4,4	1,8
169	P	101	90	9	487	7,7	455	254	290	0,05	75,3	24,6	2,0	0,3
Forgiarini	P	140	90	2	477	8,0	401	215	270	0,04	65,6	25,9	1,4	0,4
240	P	76	91	11	498	7,5	459	235	291	0,09	73,4	26,2	3,5	1,2
1528	P	124	91	9	548	7,6	531	279	327	0,12	83,9	28,4	4,8	0,2
L	P	35	96	1	351	7,9	336	187	208	0,03	51,1	19,4	1,1	0,2
Vacile Acq.	P	153	104	4	329	7,9	300	168	183	0,04	55,0	11,2	1,3	0,5
605	P	134	120	9	351	7,9	326	186	204	0,04	52,2	17,9	1,2	0,8
230	P	142	126	10	543	7,5	493	231	319	0,07	82,4	27,5	3,0	0,8
177	P	118	132	8	423	7,8	389	214	242	0,05	62,3	21,0	1,7	0,7
225	P	197	135	17	524	7,7	477	190	305	0,11	84,3	22,8	4,3	0,7
1518	P	150	136	8	482	7,7	446	246	276	0,04	69,5	24,8	1,4	0,4
601	P	154	150	8	427	7,7	395	224	248	0,03	66,1	20,1	1,0	0,3
171	P	224	176	9	575	7,7	534	280	339	0,05	81,2	33,1	1,9	0,4
1315	SC	10	20	14	396	7,8	339	132	229	0,05	52,5	23,8	2,1	0,6
1319	SC	11	20	13	396	7,8	341	129	230	0,05	52,9	23,8	2,0	0,6
1516	SC	48	20	10	643	7,6	607	327	366	0,16	117,2	17,9	7,1	3,1
1354	SC	32	22	9	367	7,9	338	197	211	0,03	53,5	18,8	1,1	0,4
1525	SC	30	24	9	365	8,0	338	196	211	0,04	52,9	19,2	1,3	0,3
1358	SC	24	25	9	418	7,8	389	221	241	0,04	60,6	21,9	1,6	0,5
Ab. Zanin	SC	29	25	4	391	7,8	350	203	216	0,03	53,9	19,8	1,1	0,3
1301	SC	5	30	11	418	7,5	388	220	239	0,09	65,3	18,3	3,6	1,0
cim_s_vito	SC	34	30	3	457	7,9	383	134	259	0,05	63,1	24,6	1,8	0,4
1302	SC	2	31	15	389	7,6	366	208	222	0,06	58,7	18,4	2,8	0,9
torrate_35	SC	18	35	6	471	7,9	408	157	270	0,06	69,5	23,4	2,3	0,5
1327	SC	6	37	14	499	7,5	472	264	288	0,09	82,3	20,0	3,9	1,1

Pozzo	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Tipo di acqua	SI _{dol}	SI _{cal}	SI _{gyp}	SI _{ani}	SI _{hal}	n _{is}	δ ¹⁸ O (‰VSMOW)
633	7,2	270	20,4	20,9	Ca-Mg-HCO ₃	0,08	0,17	-2,30	-2,55	-9,04	-	-
634	15,1	297	43,2	21,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,11	0,19	-1,96	-2,21	-8,35	-	-
1527	5,1	277	10,1	24,8	Ca-Mg-HCO ₃	0,07	0,18	-2,59	-2,85	-9,63	2	-7,74
31009	3,2	154	6,3	5,2	Ca-Mg-HCO ₃	-1,96	-0,73	-2,87	-3,12	-9,59	2	-8,60
31136	4,4	176	10,0	8,9	Ca-Mg-HCO ₃	-1,79	-0,64	-2,62	-2,87	-9,39	2	-8,38
278	5,7	248	16,5	16,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,14	0,21	-2,41	-2,66	-9,27	2	-7,14
Ab. Capuzzo	2,9	183	101,9	5,0	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,15	0,25	-1,63	-1,88	-9,65	2	-7,73
1374	4,1	165	149,0	4,6	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	-0,32	0,05	-1,38	-1,62	-9,36	2	-8,66
31002	7,9	347	18,4	36,4	Ca-Mg-HCO ₃	-0,68	-0,07	-2,18	-2,43	-9,11	2	-6,43
31101	25,6	192	13,8	13,1	Ca-Mg-HCO ₃	-1,58	-0,59	-2,47	-2,73	-7,97	2	-7,73
614	10,9	304	40,5	35,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,09	0,17	-1,97	-2,22	-8,77	2	-7,14
620	5,2	215	101,5	13,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,01	0,11	-1,61	-1,86	-9,48	2	-8,59
1520	6,4	324	13,7	34,2	Ca-Mg-HCO ₃	0,21	0,26	-2,42	-2,67	-9,53	-	-
608	11,4	367	34,2	36,9	Ca-Mg-HCO ₃	0,07	0,18	-2,00	-2,25	-8,77	2	-7,19
31067	5,7	213	13,2	15,9	Ca-Mg-HCO ₃	-1,44	-0,49	-2,47	-2,72	-9,16	2	-7,55
619	12,9	331	53,9	38,8	Ca-Mg-HCO ₃	0,26	0,25	-1,82	-2,07	-8,59	2	-7,31
237	9,3	258	69,2	16,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,00	0,19	-1,74	-1,99	-8,81	2	-7,65
1365	8,5	319	13,4	43,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,04	0,13	-2,47	-2,72	-9,43	-	-
31004	6,0	272	11,2	28,0	Ca-Mg-HCO ₃	-0,98	-0,27	-2,49	-2,74	-9,30	2	-8,47
250	13,0	310	36,0	19,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,07	0,18	-2,00	-2,25	-8,60	2	-7,18
27	8,6	313	11,1	22,0	Ca-Mg-HCO ₃	0,09	0,31	-2,50	-2,75	-9,19	-	-
235	3,1	222	8,8	6,0	Ca-HCO ₃	-0,23	0,22	-2,63	-2,88	-9,55	2	-7,43
746	6,1	285	17,2	24,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,33	0,33	-2,35	-2,60	-9,28	-	-
233	4,0	234	12,9	9,5	Ca-Mg-HCO ₃	0,07	0,18	-2,54	-2,79	-9,59	-	-
35	10,3	337	33,7	39,3	Ca-Mg-HCO ₃	0,18	0,21	-2,02	-2,27	-8,98	2	-7,06
38	10,2	319	51,6	26,5	Ca-Mg-HCO ₃	0,04	0,16	-1,84	-2,09	-8,93	2	-7,43
169	4,9	309	13,2	25,5	Ca-Mg-HCO ₃	0,31	0,30	-2,45	-2,70	-9,58	2	-7,02
Forgiarini	4,5	263	18,9	22,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,82	0,53	-2,33	-2,59	-9,75	-	-
240	7,5	286	35,4	25,2	Ca-Mg-HCO ₃	0,01	0,14	-2,05	-2,30	-9,15	2	-7,22
1528	7,0	341	17,2	48,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,18	0,23	-2,33	-2,58	-9,07	2	-7,58
L	5,3	228	7,7	22,9	Ca-Mg-HCO ₃	0,74	0,44	-2,80	-3,04	-9,79	-	-
Vacile Acq.	2,2	205	16,4	8,0	Ca-Mg-HCO ₃	0,13	0,34	-2,43	-2,68	-10,08	-	-
605	3,1	227	10,0	13,9	Ca-Mg-HCO ₃	0,57	0,41	-2,67	-2,91	-9,99	2	-7,33
230	7,8	282	61,0	28,9	Ca-Mg-HCO ₃	0,02	0,16	-1,78	-2,03	-9,20	2	-7,63
177	4,9	261	9,4	27,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,28	0,29	-2,64	-2,90	-9,63	2	-7,95
225	8,8	232	110,8	8,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,24	0,32	-1,50	-1,75	-9,02	2	-8,38
1518	6,5	300	11,1	31,5	Ca-Mg-HCO ₃	0,10	0,19	-2,54	-2,80	-9,59	2	-7,17
601	3,9	274	9,1	20,4	Ca-Mg-HCO ₃	-0,07	0,14	-2,63	-2,88	-9,96	2	-7,59
171	9,1	341	16,7	50,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,46	0,33	-2,35	-2,60	-9,34	1	-6,80
1315	1,5	161	93,8	1,9	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,07	0,11	-1,72	-1,97	-10,05	2	-9,09
1319	1,4	158	98,4	1,8	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,10	0,13	-1,70	-1,95	-10,10	2	-9,08
1516	10,1	398	30,4	23,3	Ca-HCO ₃	0,39	0,50	-1,95	-2,20	-8,71	2	-7,07
1354	3,4	240	6,7	14,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,17	0,20	-2,83	-3,08	-9,97	2	-8,19
1525	3,6	238	7,7	14,5	Ca-Mg-HCO ₃	0,21	0,24	-2,77	-3,02	-9,87	2	-8,07
1358	5,1	269	8,3	21,3	Ca-Mg-HCO ₃	0,21	0,23	-2,71	-2,96	-9,64	2	-8,06
Ab. Zanin	3,7	248	8,3	15,3	Ca-Mg-HCO ₃	0,41	0,32	-2,74	-2,99	-9,95	2	-7,90
1301	5,7	269	12,0	14,1	Ca-Mg-HCO ₃	-0,02	0,16	-2,51	-2,76	-9,24	2	-6,99
cim_s_vito	2,1	163	125,0	3,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,20	0,21	-1,55	-1,80	-9,98	2	-8,82
1302	4,5	254	10,7	14,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,02	0,17	-2,59	-2,84	-9,46	2	-7,15
torrate_35	3,1	192	110,6	6,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,38	0,34	-1,56	-1,81	-9,70	-	-
1327	7,1	322	15,4	18,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,15	0,30	-2,34	-2,59	-9,12	2	-6,83

Pozzo	Tipo	Quota (m a.s.l.)	Prof. (m)	n_{ch}	EC (μ S/cm)	pH	TDS (mg/L)	Alk (mg/L)	TH (mg/L)	SAR (meq/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
1300	SC	11	40	14	449	7,6	418	225	260	0,06	65,1	23,8	2,8	0,7
1316	SC	12	40	10	417	7,8	364	142	240	0,07	56,6	24,0	2,5	0,6
1320	SC	11	40	14	591	7,3	572	314	344	0,11	103,9	20,7	5,3	2,3
1342	SC	44	40	9	479	7,8	415	156	275	0,07	74,1	22,0	2,6	0,6
1370	SC	23	40	3	470	7,8	404	146	271	0,07	69,7	23,6	2,5	0,5
1373	SC	22	40	7	435	7,8	369	140	247	0,06	65,8	20,1	2,3	0,5
167	SC	31	48	9	313	8,0	288	173	181	0,03	44,6	16,9	1,1	0,3
Cimpello	SC	17	50	2	306	7,8	289	167	180	0,07	41,4	18,7	2,3	0,5
1295	SC	17	54	14	591	7,5	562	297	346	0,08	94,5	26,7	4,1	1,1
1367	SC	27	54	9	344	7,9	315	188	198	0,04	49,2	18,2	1,4	0,3
1335	SC	11	60	7	335	7,9	306	171	190	0,13	42,7	20,3	4,0	0,6
1293	SC	19	70	14	451	7,5	428	237	260	0,07	76,6	16,8	3,0	1,2
cim_zoppola	SC	35	70	4	461	7,9	400	174	261	0,06	66,1	23,4	2,2	0,4
Sc. Media_70	SC	15	70	5	413	7,9	353	134	235	0,06	57,6	22,2	2,3	0,5
180	SC	40	80	9	426	7,8	372	161	247	0,04	60,0	23,7	1,4	0,4
1296	SC	2	80	14	415	7,7	385	215	239	0,08	57,0	23,3	3,2	0,7
1321	SC	2	80	14	514	7,5	482	250	297	0,14	69,7	29,9	6,3	0,8
1326	SC	1	80	14	513	7,5	473	246	294	0,15	68,7	29,7	6,9	0,9
M	SC	30	80	4	373	7,9	326	156	207	0,04	48,7	20,7	1,4	0,3
Sc. Media_80	SC	15	80	3	400	8,1	346	132	232	0,07	52,0	24,9	2,4	0,5
1378	SC	33	81	4	345	7,9	301	152	193	0,03	44,4	19,9	1,1	0,2
1306	SC	5	90	14	361	7,8	331	183	193	0,30	44,4	19,9	11,1	1,0
1307	SC	8	90	14	444	7,6	405	203	261	0,08	61,5	26,1	3,5	0,7
1310	SC	9	90	14	372	7,8	330	158	211	0,13	47,2	22,6	5,2	0,8
1312	SC	10	90	13	483	7,5	457	249	285	0,07	69,5	27,1	3,1	0,8
1325	SC	3	90	11	512	7,6	481	248	293	0,15	71,6	27,7	7,1	0,9
1361	SC	37	91	4	387	7,9	381	216	234	0,03	57,8	21,7	1,2	0,2
339	SC	3	100	10	410	7,7	380	216	232	0,20	51,1	25,4	7,0	1,3
1309	SC	3	100	14	372	7,7	340	173	204	0,22	45,6	21,8	8,6	1,0
1304	SC	20	110	14	540	7,5	507	258	313	0,14	79,2	28,0	6,9	1,2
1328	SC	28	120	10	472	7,5	431	205	279	0,08	69,3	25,8	2,9	0,8
338	DC	0	120	14	371	7,9	364	226	139	1,37	30,9	14,9	37,0	1,7
1297	DC	3	120	13	376	7,8	350	208	214	0,16	47,6	23,1	6,0	1,2
1324	DC	3	120	10	469	7,5	435	241	276	0,08	67,6	26,1	2,9	0,7
1299	DC	2	144	14	445	7,6	416	228	260	0,07	63,7	24,5	3,1	0,8
1364	DC	14	150	4	373	7,7	359	225	177	0,62	44,1	16,2	19,0	1,4
1317	DC	12	165	14	403	7,8	344	127	231	0,05	53,0	23,9	2,1	0,6
1350	DC	20	173	7	328	8,0	289	145	188	0,04	43,3	19,5	1,2	0,4
342	DC	20	174	14	401	7,9	347	127	233	0,06	53,1	24,4	2,0	0,5
1294	DC	11	177	14	426	7,6	393	211	246	0,08	58,7	24,2	3,4	0,8
1323	DC	9	180	14	366	7,8	319	137	209	0,08	46,5	22,6	3,0	0,7
1345	DC	36	180	4	435	7,8	381	168	247	0,07	61,1	22,8	2,6	0,4
Doncal	DC	32	180	7	466	7,9	394	136	267	0,05	65,1	25,3	1,7	0,4
casa_rip_183	DC	14	183	4	376	8,0	329	143	216	0,09	46,9	24,1	2,9	0,5
1330	DC	21	190	14	389	7,8	343	134	228	0,05	53,8	22,8	1,9	0,5
torrate_190	DC	18	190	7	391	8,0	338	141	225	0,06	51,1	23,7	2,1	0,4
1314	DC	2	200	12	369	7,7	329	165	200	0,21	44,8	21,4	8,2	0,8
1340	DC	17	200	7	421	7,8	414	255	143	1,57	35,9	12,9	43,0	4,6
1515	DC	10	200	7	340	7,9	330	208	173	0,49	39,7	17,9	14,8	1,2
343	DC	12	220	9	385	7,7	330	141	214	0,16	47,8	23,0	5,5	0,6
torrate_283	DC	18	283	1	334	7,7	308	193	153	0,39	35,5	15,6	11,0	1,0

Pozzo	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Tipo di acqua	SI _{dol}	SI _{cal}	SI _{gyp}	SI _{ani}	SI _{hal}	n _{is}	δ ¹⁸ O (‰VSMOW)
1300	6,0	274	21,0	22,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,19	0,22	-2,29	-2,54	-9,33	2	-7,19
1316	2,2	173	102,3	3,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,11	0,13	-1,67	-1,92	-9,85	2	-9,01
1320	9,4	383	18,5	27,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,08	0,29	-2,21	-2,46	-8,88	2	-6,85
1342	3,1	191	114,7	7,0	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,19	0,08	-1,52	-1,77	-9,65	2	-8,59
1370	2,9	178	121,3	5,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,11	0,20	-1,52	-1,77	-9,69	2	-8,67
1373	2,5	170	103,7	3,9	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,17	0,24	-1,60	-1,85	-9,79	2	-8,41
167	2,4	211	4,8	7,8	Ca-Mg-HCO ₃	0,14	0,21	-3,02	-3,27	-10,13	2	-8,44
Cimpello	1,5	204	17,8	2,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,20	0,18	-2,49	-2,74	-10,00	-	-
1295	9,6	362	32,4	30,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,40	0,38	-2,01	-2,26	-8,98	2	-6,93
1367	2,5	229	8,2	6,4	Ca-Mg-HCO ₃	-0,05	0,11	-2,75	-3,01	-10,01	2	-8,48
1335	1,1	209	27,5	0,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,36	0,23	-2,30	-2,55	-9,92	2	-8,48
1293	5,5	289	12,6	21,0	Ca-Mg-HCO ₃	0,00	0,24	-2,44	-2,69	-9,33	2	-6,99
cim_zoppola	3,5	212	82,4	9,5	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,57	0,43	-1,70	-1,95	-9,66	2	-8,26
Sc. Media_70	2,0	164	102,2	2,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,23	0,22	-1,66	-1,91	-9,91	-	-
180	3,2	196	79,5	7,8	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,11	0,06	-1,74	-1,99	-9,90	2	-8,57
1296	4,4	262	17,7	15,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,32	0,25	-2,41	-2,66	-9,39	2	-7,43
1321	10,1	305	35,4	24,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,15	0,17	-2,06	-2,31	-8,75	-	-
1326	12,6	300	32,4	20,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,22	0,20	-2,10	-2,36	-8,62	2	-7,55
M	2,3	191	56,1	5,9	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,19	0,20	-1,95	-2,20	-10,03	2	-8,51
Sc. Media_80	1,5	161	101,2	2,1	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,66	0,38	-1,70	-1,95	-9,98	2	-9,14
1378	2,3	185	41,7	6,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,11	0,15	-2,10	-2,35	-10,13	1	-8,57
1306	1,0	224	29,1	1,4	Ca-Mg-HCO ₃	0,37	0,24	-2,27	-2,52	-9,52	2	-8,29
1307	2,8	248	52,8	8,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,04	0,11	-1,92	-2,17	-9,56	2	-8,27
1310	1,0	193	58,6	0,7	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,19	0,15	-1,95	-2,20	-9,84	2	-8,67
1312	5,4	303	25,7	20,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,13	0,17	-2,19	-2,44	-9,35	2	-7,60
1325	13,1	302	31,5	25,3	Ca-Mg-HCO ₃	0,47	0,32	-2,11	-2,35	-8,60	-	-
1361	4,6	263	7,6	18,3	Ca-Mg-HCO ₃	0,71	0,47	-2,76	-3,01	-9,83	1	-8,04
339	3,7	264	26,8	0,2	Ca-Mg-HCO ₃	0,44	0,25	-2,28	-2,52	-9,16	2	-7,74
1309	0,9	211	51,9	0,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,26	0,16	-2,03	-2,27	-9,66	2	-8,62
1304	10,6	314	36,0	30,2	Ca-Mg-HCO ₃	0,38	0,30	-2,02	-2,27	-8,71	2	-7,28
1328	3,9	251	65,3	12,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,06	0,09	-1,79	-2,04	-9,49	2	-8,23
338	1,1	275	2,0	0,1	Na-Ca-Mg-HCO ₃	0,51	0,28	-3,75	-3,99	-8,96	2	-9,59
1297	2,7	254	14,3	0,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,39	0,25	-2,55	-2,80	-9,34	2	-7,50
1324	6,3	294	13,9	23,6	Ca-Mg-HCO ₃	0,43	0,28	-2,48	-2,72	-9,30	2	-7,36
1299	5,9	278	17,8	19,7	Ca-Mg-HCO ₃	0,21	0,20	-2,39	-2,64	-9,30	2	-7,01
1364	0,8	274	0,2	0,1	Ca-Mg-HCO ₃	0,19	0,21	-4,57	-4,82	-9,39	2	-10,35
1317	1,6	155	104,2	1,9	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,05	0,11	-1,68	-1,93	-10,03	2	-9,13
1350	1,6	177	42,0	3,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,25	0,21	-2,11	-2,36	-10,24	2	-8,47
342	1,7	155	105,9	1,5	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,08	0,12	-1,67	-1,92	-10,02	2	-9,18
1294	5,5	258	28,2	12,9	Ca-Mg-HCO ₃	0,14	0,17	-2,19	-2,45	-9,28	2	-7,65
1323	1,1	167	74,1	1,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,13	0,11	-1,86	-2,11	-10,02	2	-8,97
1345	2,0	204	86,3	1,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,14	0,20	-1,70	-1,95	-9,83	1	-8,69
Doncal	3,0	165	129,3	3,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,19	0,22	-1,52	-1,77	-9,85	2	-8,95
casa_rip_183	1,2	175	77,2	1,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,49	0,29	-1,85	-2,10	-9,99	2	-8,91
1330	2,4	163	93,9	2,1	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,08	0,06	-1,71	-1,96	-10,01	2	-9,07
torrate_190	1,7	172	83,3	3,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,39	0,27	-1,78	-2,03	-9,99	2	-8,92
1314	1,0	201	51,4	1,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0,21	0,13	-2,04	-2,27	-9,66	-	-
1340	1,2	311	0,5	0,3	Na-Ca-Mg-HCO ₃	0,47	0,33	-4,34	-4,59	-8,83	2	-10,32
1515	0,9	253	0,7	0,8	Ca-Mg-HCO ₃	0,55	0,34	-4,05	-4,29	-9,41	2	-8,34
343	1,4	172	77,7	2,7	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	-0,05	0,02	-1,84	-2,08	-9,68	2	-8,92
torrate_283	0,5	235	6,4	0,5	Ca-Mg-HCO ₃	-0,02	0,06	-2,98	-3,23	-9,80	-	-

Pluviometro		Quota in m s.l.m.	Inizio misure	Precipitaz. (mL)	$\delta^{18}\text{O}^*$ minimo	$\delta^{18}\text{O}^*$ massimo	Medie* soppesate	Standard Deviation
ID	Località							
P 1	Tarvisio	794	30/09/2004	93.000	-20,75	-4,61	-10,39	3,9
P 2	Saletto	496	01/09/2004	122.000	-16,91	-4,66	-8,6	3,2
P 3	Musi	526	07/10/2004	145.550	-15,43	-2,77	-7,88	3,0
P 4	Matajur	1326	07/10/2004	119.900	-13,66	-4,81	-8,83	2,4
P 5	Gemona	184	28/09/2004	125.400	-12,04	-1,68	-7,09	2,6
P 6	Enemonzo	438	28/09/2004	95.000	-19,70	-3,73	-8,95	4,0
P 7	Zoncolan	1.755	05/10/2004	80.300	-15,67	-5,20	-10,11	2,7
P 8	Forni di Sopra	922	05/10/2004	103.900	-21,33	-4,72	-10,3	4,2
P 9	Cansiglio	1.033	11/09/2004	121.000	-19,54	-4,78	-9,33	2,9
P10	Roveredo	82	18/09/2005	30.200	-14,29	-4,96	-7,78	3,0
P11	Barcis	460	16/09/2005	66.800	-14,68	-4,53	-8,91	3,2
P12	Palmanova	29	16/09/2005	23.300	-12,63	-3,45	-7,45	2,4
P13	Paularo	633	15/09/2005	44.900	-17,79	-4,19	-9,06	4,0

* valori ‰ VSMOW = Vienna Standard Mean Ocean Water

Tab. II - Composizione isotopica delle piogge in 13 località del Friuli Venezia Giulia.

- *Isotopical composition of the rainfall from 13 pluviometers.*

sigla	località	prof. (m)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	δD ‰	^{13}C ‰	^{14}C ‰	età grezza	età corretta
339	Aquileia	100	-7,63	-50,55	-9,26	36,70	39.900	23.542
1317	Rivignano	165	-9,08	-61,68	-7,37	47,50	38.900	27.663
1340	Brugnera	200	-10,33	-72,31	-3,45	0,80	6.000	recente
1364	Prata di Pordenone	150	-10,30	-72,17	-6,39	0,90	6.450	recente
Scuola 80	Morsano al Tagliam.	80	-9,12	-62,13	-8,69	48,30	8.300	76
Paradiso	Pocenia	25	-8,15	-55,25	-10,50	65,3	3.500	recente
Annia	Pocenia	85	-8,74	-59,22	-8,98	43,4	6.900	recente
Torsa	Pocenia	125	-8,88	-59,95	-8,94	39,8	7.600	recente
Pocenia	Pocenia	200	-8,84	-60,01	-9,18	14,0	16.250	7.971

Tab. III - Composizione isotopica ed attività del ^{14}C misurato nei carbonati disciolti. L'età corretta è calcolata in anni seguendo il modello proposto da INGERSON & PEARSON (1964).

- *Isotopical composition and ^{14}C values of the dissolved carbonates. The corrected ages have been calculated after INGERSON & PEARSON (1964).*

Al di sotto di questi sistemi artesiani multifalda si riscontra un pacco di argille potente anche 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 caratterizzate da un deciso termalismo (40°C - 50°C) e da un chimismo molto differente da quello delle falde artesiane sovrastanti.⁽⁵⁾

Sulle caratteristiche idrogeologiche di questi acquiferi e degli acquitard non si hanno

(5) È per questo che nelle analisi che seguono non si è tenuto conto di questi acquiferi.

molte informazioni: prove di laboratorio su campioni prelevati negli orizzonti produttivi indicano un coefficiente k di 10^{-5} - 10^{-6} m/s, cioè di alcuni ordini di grandezza inferiori a quelli dei livelli prettamente ghiaiosi (MOSETTI, 1983). Misure di permeabilità effettuate su alcuni campioni argilloso-limosi prelevati in profondità hanno evidenziato valori di 10^{-10} - 10^{-11} m/s che definiscono la loro sostanziale impermeabilità (DìSGAM, 1999).

Caratterizzazione geochimica

Le analisi chimiche sono state realizzate presso i laboratori dell'ARPA FVG con accuratezza che varia dal 5 al 10%. Nella tabella I si riportano i valori chimico-fisici medi dei 149 pozzi attualmente monitorati. Alle indagini a carattere idrochimico, sono state affiancate specifiche analisi dell'acqua e dei carbonati disciolti presenti in forma stabile (^{18}O , Deuterio e ^{13}C) o soggetti a decadimento radioattivo del ^{14}C (tabb. II e III) al fine di verificare l'effettivo grado di isolamento delle diverse falde presenti nel sottosuolo ed acquisire i dati indispensabili per stimare le età di permanenza delle acque nell'ambito dei vari acquiferi.

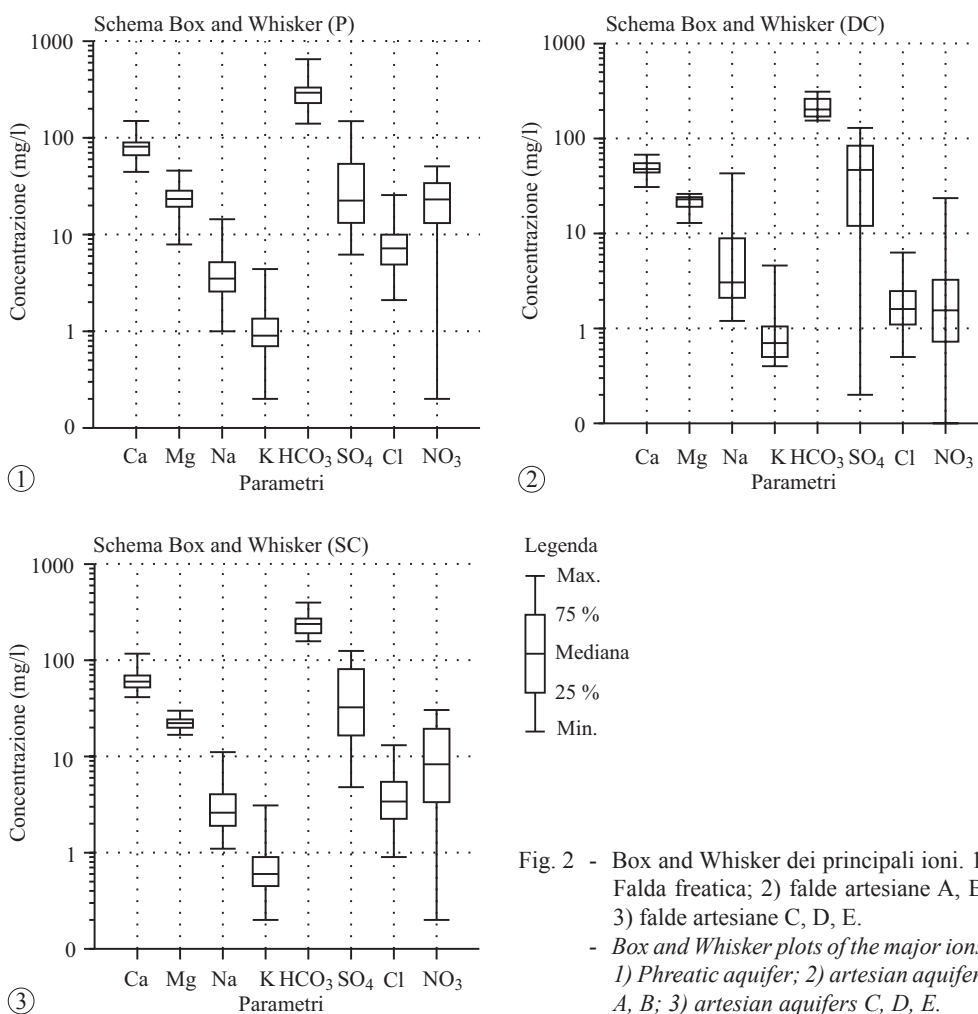
L'elaborazione dei dati chimici è stata condotta usando Aquachem 4.0, gli indici di saturazione sono stati ottenuti con il programma PHREEQC (PARKHURST et al., 1980). I dati numerici sono stati organizzati utilizzando il software Microsoft Excel e i conseguenti valori medi sono stati importati in ArcGIS 9.1. Con il pacchetto geostatistico di ArcGIS 9.1, che ha gestito i dati usando il "kriging", sono state elaborate carte tematiche di isoconcentrazione.

Analisi fisico-chimiche e chimiche

Per quanto riguarda il chimismo, tutte le acque risultano in facies bicarbonato calcica con affinità alla facies solfatica da nulla a fortemente marcata e/o con affinità a quella magnesiacca, da debolmente a fortemente marcata. Alcune, sia freatiche che artesiane ma comunque di provenienza profonda, possiedono anche una leggera affinità alla facies alcalina (fig. 2).

Conducibilità

Le acque della falda freatica hanno un valore di conducibilità media di 438 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le acque degli acquiferi artesiani presentano un generale decremento dei valori con la profondità, passando da valori medi pari a 440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per le falde A e B, a 420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per quella C, a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per quella D e a 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per quella E. I decrementi sono in parte imputabili alle diminuzioni osservate nelle concentrazioni degli ioni calcio e dei bicarbonati con la profondità. La distribuzione areale della conducibilità nelle acque ipogee indica che le acque meno mineralizzate si trovano a valle della Linea delle risorgive (fig. 3a).



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, sulla dissoluzione della CO_2 e quindi dei carbonati, e di conseguenza sul grado di mineralizzazione. La temperatura media delle acque dei pozzi aumenta con l'aumentare della profondità e con l'allontanarsi dai fiumi Tagliamento e Cellina/Meduna e dalla Linea delle risorgive.

Solfati

I valori medi delle concentrazioni dei solfati risultano pari a circa 25 mg/l per la falda

freatica, 42 mg/l per gli acquiferi A e B, 14 mg/l per quelli C, 44 mg/l per quelli D, quasi 46 mg/l per quelli E. Per quanto riguarda la distribuzione areale, i solfati sono un valido strumento per individuare i contributi del Tagliamento dato che le acque di questo fiume sono quelle che presentano la maggiore concentrazione in solfati (141 mg/l allo sbocco in pianura). La mappa di isoconcentrazione dei solfati (fig. 3c) mostra l'areale di influenza delle acque disperse dal Tagliamento: quasi un pennacchio che dalla stretta di Ragona si amplia verso S e verso SE raggiungendo una trentina di chilometri di larghezza in corrispondenza di Cordovado e Teor.

Bicarbonati

Il valore medio dei bicarbonati nelle acque della falda freatica è 228 mg/l, mentre i valori nelle falde artesiane non variano significativamente con la profondità, anche se in genere si assiste ad un leggero decremento (con variazioni che vanno da 249 mg/l per le acque degli acquiferi A e B a 219 mg/l per quelle dell'acquifero E). La leggera diminuzione osservata con l'aumentare della profondità può essere spiegata in parte dalla minore disponibilità di CO_2 in profondità (sebbene la solubilità della CO_2 aumenti con la profondità, le acque più superficiali ne sono più ricche) con conseguente spostamento dell'equilibrio che regola la dissoluzione dei carbonati. La mappa dei valori delle isoconcentrazioni dei bicarbonati (fig. 3d) 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.

Calcio

Il valore medio della concentrazione dello ione calcio nella falda freatica è di 71 mg/l; i valori decrescono poi con la profondità, passando dai 64 mg/l degli acquiferi A e B, ai 57 mg/l di quelli C, ai 52 mg/l di quelli D, fino ai 45 mg/l dell'acquifero E. La diminuzione con l'aumentare della profondità può essere spiegata dalla minore disponibilità di CO_2 in profondità nonché da scambi ionici con lo ione Na (che invece ha tendenza ad aumentare con la profondità).

Magnesio

Il valore medio della concentrazione dello ione magnesio nelle acque della falda freatica è di circa 19 mg/l. Nelle acque profonde i valori variano di poco con la profondità ed oscillano attorno a 23 mg/l.

Cloruri

Nella nostra Regione la presenza di cloruri nelle acque di falda è legata o a contaminazioni antropiche o a mescolamento con acque marine o fossili. I valori medi delle concentrazioni sono dell'ordine di 5 mg/l sia nelle acque di falda freatica che in quelle delle falde A e B.

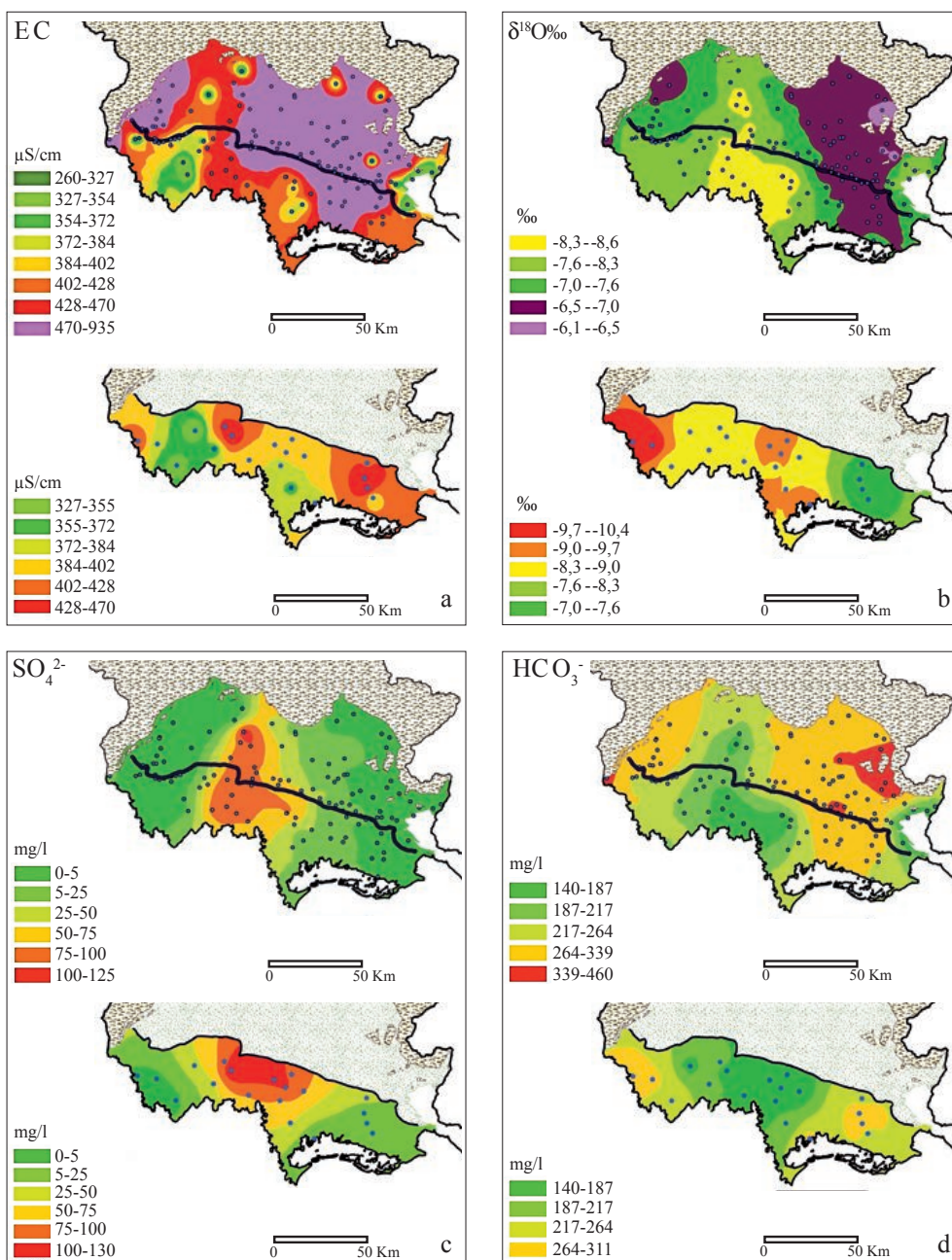


Fig. 3 - Distribuzione areale dei valori medi di conducibilità (a), di $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (b), delle concentrazioni dei solfati (c) e dei bicarbonati (d). In alto quelli delle acque freatiche e delle artesiane superficiali, in basso quelli delle artesiane profonde.

- Contour maps of average values of conductivity distribution (a), $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (b), SO_4^{2-} (c) and HCO_3^- (d). The maps on the top part of the figure show the phreatic together with the shallow confined groundwater samples whereas the bottom ones indicate the deep confined groundwater samples.

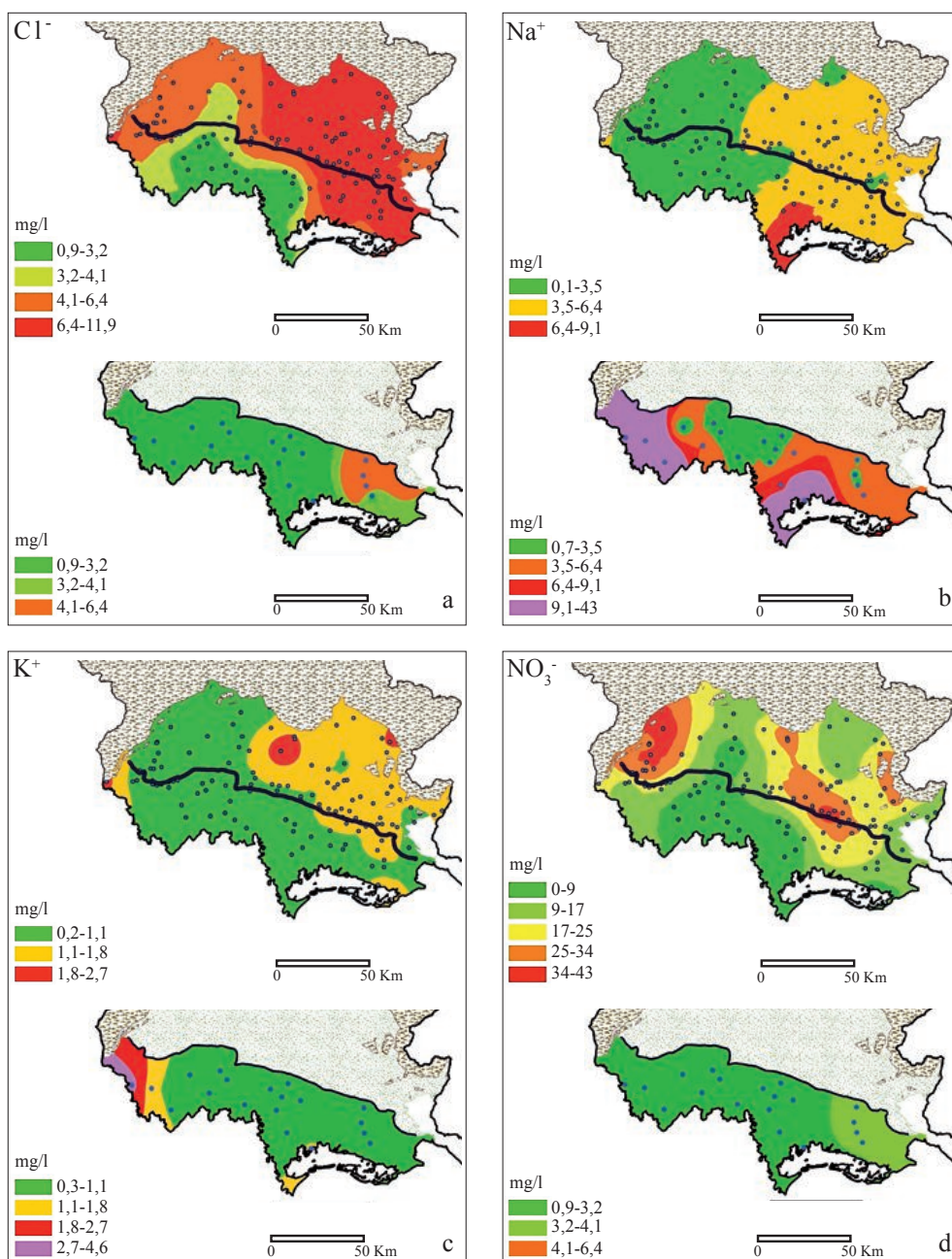


Fig. 4 - Distribuzione areale dei valori medi delle concentrazioni di cloro (a), sodio (b), potassio (c) e dei nitrati (d). In alto quelli delle acque freatiche e delle artesiane superficiali, in basso quelli delle artesiane profonde.

- Contour maps of selected geochemical component distribution: Cl^- (a), Na^+ (b), K^+ (c) and NO_3^- (d). The maps on the top part of the figure show the phreatic together with the shallow confined groundwater samples whereas the bottom ones indicate the deep confined groundwater samples.

Valori inferiori si rilevano invece nelle acque degli acquiferi sottostanti, con 4,5 mg/l nella falda C, 2,8 mg/l nella falda D e 1,3 mg/l nella falda E.

Valori significativi (superiori ai 6,0 mg/l) si riscontrano non solo in superficie, ma anche in profondità, nella zona orientale della Pianura Friulana (fig. 4a).

Sodio

Il valore medio della concentrazione dello ione sodio nella falda freatica è di 3,43 mg/l, mentre le acque più profonde hanno valori che aumentano via via con la profondità, raggiungendo (acquifero E) valori medi di 14 mg/l (fig. 4b).

Questi aumenti, non trovando corrispondenza analoga nell'andamento dei cloruri, sono in prima approssimazione imputabili a fenomeni di scambio ionico in profondità con lo ione Ca.

Potassio

Il valore medio della concentrazione dello ione potassio nella falda freatica è di poco inferiore a 1 mg/l. Nelle falde artesiane si hanno valori variabili, ma in genere inferiori a 1,5 mg/l (fig. 4c).

Nitrati

I composti organici ed inorganici dell'azoto si trovano in quantità abbondanti nelle acque reflue e vengono estesamente utilizzati in agricoltura come fertilizzanti: la parte non assorbita viene dilavata e percola nelle falde. Valori significativi di nitrati, spesso accompagnati da erbicidi, sono così indice di contaminazione antropica. Nella falda freatica le concentrazioni dei nitrati hanno valore medio di 18,8 mg/l. Le acque provenienti dagli acquiferi A e B hanno valori medi di poco inferiori, circa 14 mg/l; nelle falde artesiane profonde il valore medio dei nitrati diminuisce con la profondità in maniera significativa, fino a valori di 1,3 mg/l nella falda profonda di tipo E, il che può essere dovuto anche alla riduzione in NH_4 , al passare in ambiente sempre più riducente all'aumentare della profondità. L'andamento delle linee d'isoconcentrazione dei nitrati (figura 4d) è congruente con l'alimentazione dai corsi d'acqua, con valori massimi in destra Cellina ed in corrispondenza del settore centro orientale della pianura.

$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$

La figura 5 illustra il quadro riassuntivo delle medie dei valori isotopici del $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ delle acque di falda, delle precipitazioni e dei corsi d'acqua allo sbocco in pianura. I valori medi ponderati delle piogge in pianura nella Regione sono di -7,6‰, quelli dei fiumi sono di -9,45‰ per il Livenza, di -8,85‰ per il Tagliamento, -8,2‰ per il Natisone, di -8,1‰ per l'Isonzo (CAMI, 2007). Le acque della falda freatica hanno valore medio di $\delta^{18}\text{O}$ di -7,7‰,

quelle artesiane hanno valori che diminuiscono con l'aumentare della profondità. Le acque in falda A hanno valori isotopici medi di -8‰, quelle in falda B hanno valori isotopici medi di -8,1‰: tutte queste acque possono quindi essere raggruppate in una sola categoria (che qui viene definita falda artesianica superficiale SC) cui va attribuito un valore isotopico medio rappresentativo di -8,0‰.

Le acque dei pozzi di falda artesianica C hanno un valore medio di -8,3‰, quelle della falda artesianica D hanno un valore medio di -9,0‰, decisamente inferiore. Le acque artesiane della falda E hanno un valore medio di $\delta^{18}\text{O}$ di -9,3‰. Per quanto riguarda le due falde ancora più profonde, le falde artesiane F e G, dato che per il momento sono pochi i pozzi analizzati, le loro acque vanno inserite in un unico gruppo con valori medi attorno a -9,9‰ (fig. 3b).

In sintesi, 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 (in particolare del Tagliamento). Le acque delle falde artesiane superficiali non mostrano fra loro differenziazioni geochimiche significative e hanno un valore medio di -8‰ molto simile a quello delle acque della falda freatica (-7,7‰), il che indica che queste acque sono anch'esse direttamente legate

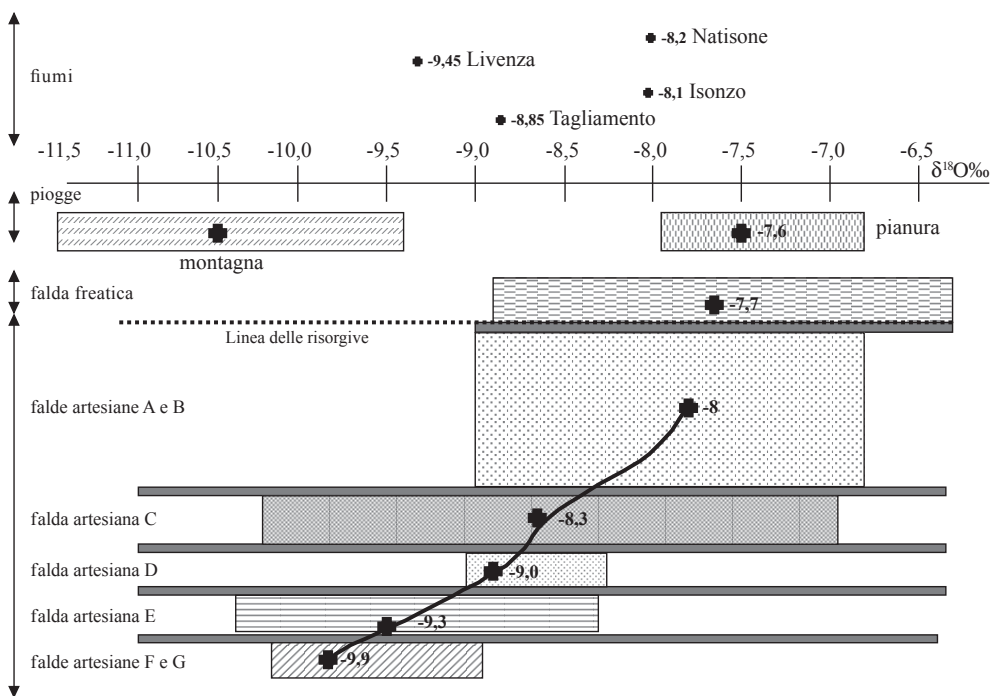


Fig. 5 - Schema riassuntivo della composizione isotopica delle piogge, dei fiumi e delle acque sotterranee.
 - Summary data of $\delta^{18}\text{O}$ range and mean values for the Friuli Venezia Giulia rainfall, rivers and groundwater samples.

all'alimentazione dalla falda freatica, agli apporti dei corsi d'acqua superficiali e alle piogge che cadono in pianura e nella pedemontana. Con l'aumentare della profondità le acque assumono valori nettamente più negativi, specie se messi in relazione con quelli delle falde superficiali. Anche se va tenuto conto della tendenza delle acque a frazionarsi naturalmente dal punto di vista isotopico con la profondità, i valori isotopici medi di $-9,0\text{‰}$ e $-9,9\text{‰}$ indicano circuiti profondi alimentati direttamente dalla zona montana e/o la presenza di acque fossili nella parte profonda delle falde.

^{14}C

Per valutare la velocità di ricarica si è ricorsi al metodo del geocronometro del ^{14}C . Le otto analisi eseguite, indicano che l'attività del ^{14}C tende a diminuire progressivamente con la profondità di campionamento, fino a raggiungere valori di 0,9 e 0,8 pmc per le falde artesiane localizzate alle maggiori profondità (tabella III). Questi valori molto bassi corrispondono ad un'età grezza di 38.900 e 39.900 anni rispettivamente. L'età corretta, ottenuta utilizzando il modello di calcolo proposto da INGERSON & PEARSON (1964)⁽⁶⁾ con un'attività iniziale della CO_2 delle acque di infiltrazione pari a 100 pmc ed un valore $\delta^{18}\text{C}$ pari a -25‰ , è rispettivamente di 27.663 e di 23.542 anni (tab. III).

A conferma dell'aumentare dell'età delle acque con la profondità si ricorda che MARTELLI & GRANATI (2007) sulla base di tre campionature eseguite a 360, 500, 525 metri dal piano campagna nel settore litoraneo centro occidentale, propongono età grezze comprese tra 15.600 e 31.500 anni per la falda H profonda.

Considerazioni finali

Dall'analisi integrata dei dati isotopici raccolti negli ultimi anni e relativi alle acque di falda, di pioggia e dei corsi d'acqua, si possono trarre utili considerazioni, specie per quanto riguarda l'individuazione delle zone di alimentazione:

- le acque della falda freatica hanno valori isotopici compatibili con quelli derivabili da un mescolamento delle acque piovane locali con quelle dei corsi d'acqua che percorrono l'Alta pianura;
- le acque dei sistemi degli acquiferi artesiani più superficiali A e B hanno valore isotopico medio prossimo a -8‰ , molto simile a quello medio delle acque della falda freatica ($-7,8\text{‰}$). Ciò fa presumere che queste falde siano direttamente alimentate dalla falda freatica e, quindi, indirettamente dalle piogge che cadono nell'Alta pianura e nella fascia pedemontana e dai corsi d'acqua posti a monte delle Risorgive;

(6) Il modello di Ingerson e Pearson è stato scelto perché è, tra i vari modelli proposti, quello più adatto per gli acquiferi alluvionali di matrice prevalentemente carbonatica.

- le acque degli acquiferi D ed E (ubicate fra i 160 ed i 200 metri di profondità) hanno valori isotopici medi di -9,0‰ e -9,2‰, nettamente più negativi di quelle delle falde artesiane superficiali; la negativizzazione dei valori con la profondità è presumibilmente legata alla presenza di acque molto più antiche nella parte profonda delle falde o comunque generatesi in condizioni climatiche differenti dalle attuali.

In sintesi la campagna di studio ha evidenziato che le acque delle falde artesiane più profonde fra quelle indagate (quelle indicativamente a più di 110 metri di profondità dal piano campagna) sono chimicamente ed isotopicamente differenti da quelle della falda freatica e delle falde artesiane superficiali. Le falde artesiane profonde sono caratterizzate da una diminuzione della conducibilità elettrica, delle concentrazioni dei nitrati e dei cloruri e da una accentuata negativizzazione dei valori del $\delta^{18}\text{O}$. Dal punto di vista idrogeologico, le acque delle falde artesiane profonde risultano essere ben isolate da materiali impermeabili quali argille e siltiti. La persistente assenza di contaminazioni nei corpi artesiani profondi e la loro lentissima ricarica (come indicato dal geocronometro del Carbonio) portano ad ipotizzare la presenza di orizzonti a bassissima permeabilità che assumono la funzione di limitare completamente gli scambi idrici con gli acquiferi soprastanti.⁽⁷⁾

L'analisi statistica dei dati chimici degli ultimi dieci anni conferma la validità dell'utilizzo degli ioni SO_4 e Cl come traccianti, delle acque del bacino del Tagliamento il primo, degli acquiferi interessati da contaminazione antropica il secondo.

Le mappe di isoconcentrazione dei principali ioni consentono di confrontare e discriminare le caratteristiche chimiche delle famiglie idrogeologiche. Gran parte delle acque esaminate sono caratterizzate da valori di conducibilità elettrica piuttosto bassi, attribuibili ad acque bicarbonatiche, mediamente mineralizzate. L'arricchimento in Na e K nelle acque artesiane profonde dovrebbe avere un'origine naturale legata o ad acque marine (certamente non attuali) e/o a fenomeni di scambio ionico legati alla presenza di depositi argillosi di origine marina o arricchiti in sostanze organiche. Quest'ultimo fenomeno è connesso al tempo di residenza e alla profondità.

Per quanto riguarda le acque freatiche e quelle artesiane superficiali (falde A e B) è possibile riconoscere quattro distinte province idrogeologiche adiacenti e parzialmente interconnesse: la pianura pordenonese, la pianura del Tagliamento, la pianura friulana orientale, la pianura dell'Isonzo (fig. 6).

La pianura pordenonese (Zona 1s) si estende nel settore occidentale della Pianura Friulana, dal limite dei rilievi sino al territorio di competenza del Tagliamento. È sede di una falda freatica molto potente, alimentata dai bacini montani e di falde artesiane superficiali direttamente

(7) Un contesto idrogeologico simile è stato riconosciuto anche da PILLA (1998) nel sottosuolo della Pianura Padana.



Zona 1s = pianura pordenonese
 Zona 2s = pianura del Tagliamento
 Zona 3s = pianura friulana orientale
 Zona 4s = pianura dell'Isonzo

Fig. 6 - Le quattro province idro-geologiche proposte (modificata da CUCCHI et al., 2008).

- *Geochemical provinces (four) of the Friuli Venezia Giulia Plain (after CUCCHI et al., 2008, mod.).*

alimentate dalla freatica, cioè 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. La parte più settentrionale dell'Alta pianura pordenonese è caratterizzata da un ricambio idrico che non riesce ad eliminare l'effetto delle intense 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.

Nella pianura del Tagliamento (Zona 2s), l'acqua tilaventina alimenta sia la falda freatica sia le falde artesiane superficiali. La dispersione è più evidente in sinistra Tagliamento che in destra perché le acque sotterranee del Tagliamento interagiscono ad Ovest con le acque disperse dal Meduna. Di fatto il pennacchio solfatico del Tagliamento si espande in sinistra fino alla zona ad Ovest di Gonars, in destra fino ad Est di Fiume Veneto. 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, ma la concentrazione di solfati nelle falde più profonde diminuisce 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.

La pianura friulana orientale (Zona 3s) è compresa tra l'alto Corno, il Torre e il Natisone.

In questa zona la falda freatica risente solamente in parte degli apporti del Tagliamento mentre il maggior apporto è dato dalla percolazione meteorica e dalle perdite del Torre e del Natisone dimostrate dall'elevato rapporto Ca/Mg. Immediatamente a Sud dell'Anfiteatro morenico le acque meteoriche dovrebbero essere invece la principale fonte di alimentazione in quanto gli acquiferi hanno alte concentrazioni di contaminanti non rilevati nei corsi d'acqua ma presenti anche negli acquiferi artesiani superficiali.

Parte a sé fa la pianura dell'Isonzo (Zona 4s) caratterizzata dal deflusso sotterraneo delle acque freatiche ed artesiane provenienti dall'Isonzo 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.

Per quanto riguarda le falde artesiane profonde (falde da C a E) i dati, purtroppo scarsi, consentono sì di individuare province con andamento compatibile con quelle superficiali, ma nel contempo suggeriscono scarsi scambi con le acque superficiali e tempi di permanenza notevoli. Si tratta comunque di acque di alta qualità, specie quelle più profonde, che vedono negli indiscriminati sfruttamenti il fattore principale di vulnerabilità.

Manoscritto pervenuto il 21.XI.2008 e approvato l'11.XII.2008.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'ARPA FVG per aver consentito l'utilizzo dei dati ed in particolar modo il dott. Manlio Princi e la dott.ssa Anna Lutman (sede di Udine) per la disponibilità a discutere il significato dei dati.

Bibliografia

- CAMI, 2007 - Water-bearing characterization with integrated methods. <http://www.cami-life.net/eng.lived>, 27 June 2007.
- CUCCHI F., GIORGETTI F., GEMITI F., MASSARI G. & OBERTI S., 1998 - Caratterizzazione geochemica delle falde acquifere della pianura friulana. *Atti Acque sotterranee: risorsa invisibile*, 44: 61-71.
- CUCCHI F., MASSARI G. & OBERTI S., 1999a - Fluttuazioni della falda freatica nell'Alta Pianura friulana. *Gortania-Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 21 (1999): 39-51.
- CUCCHI F., MASSARI G. & OBERTI S., 1999b - Il chimismo delle falde freatiche e artesiane della Pianura Friulana. *Quaderni Museo Carsico Geologico e Paleontologia*, 5: 3-20.
- CUCCHI F., PIANO C., MARINETTI E., MASSARI G., OBERTI S. & ZINI L., 2000 - Studies for the realization of the hydrogeological map of Friuli Venezia Giulia. *Ipogea*, 3: 57-71.
- CUCCHI F., FRANCESCHINI G. & ZINI L., 2008 - Hydrogeochemical investigations and groundwater provinces of the Friuli Venezia Giulia Plain, north-eastern Italy. *Environmental Geology*, 55: 985-999.
- CUCCHI F., FRANCESCHINI G., ZINI L. & TREU F., 2007 - Hydrogeochemical and oxygen isotope investigations in multilayer aquifers of the Friuli Venezia Giulia Plain, north-eastern Italy. *XXXV Congresso internazionale dell'Associazione di Idrogeologia (IAH)*, Lisbon, p. 15.
- DELLA VEDOVA B., MARSON I., NICOLICH R., MARZONA R., CASSIANI G. & PALMIERI F., 1992 - Le risorse termali di Lignano e Grado. *Ricerca territorio e sviluppo*, Udine.
- DELLA VEDOVA B., NICOLICH R., CASTELLI E., CIMOLINO A., VECCELIO C. & BARISON E., 2008 - The geothermal potential of the carbonatic platform buried beneath the Veneto and Friuli coastal areas: preliminary results from the Grado-1 borehole (NE Italy). *Proceedings of the 70th EAGE Conference & Exhibition*, Roma.

- DiSGAM-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.
- DiSGAM-DIPARTIMENTO DI SCIENZE GEOLOGICHE, AMBIENTALI E MARINE, 2006 - Rilevamento dello stato dei corpi idrici sotterranei della Regione Friuli-Venezia Giulia. Convenzione tra l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (A.R.P.A. F.V.G.) e il Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine (DiSGAM) dell'Università degli Studi di Trieste.
- FONTANA A., 2006 - Evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana. *Mus. Friul. St. Nat.*, Pubbl. 47, p. 46, Udine.
- INGERSON E. & PEARSON F.J., 1964 - Estimation of age and rate of motion of groundwater by the ^{14}C method. In: MIYAKE Y. & KOYAMA T. - Recent researches in the field of hydrosphere, atmosphere and nuclear geochemistry. *Maruzen Co.*: 263-283, Tokio.
- MARTELLI G. & GRANATI C., 2007 - Valutazione della ricarica del sistema acquifero della bassa pianura friulana. *Giornale di Geologia Applicata*, 5: 89-114.
- MARTELLI G., GRANATI C. & RODA C., 2007 - Criteri per la realizzazione di una rete di monitoraggio quantitativo e sperimentazione. In: APAT - Progetto per il monitoraggio degli acquiferi della bassa pianura friulana in Provincia di Udine. *Mem. Descrittive Carta Geol. Italia*, 75.
- MOSETTI F., 1983 - Sintesi sull'idrologia del Friuli Venezia Giulia. *Quaderni Ente Tutela Pesca*, 6, pp. 296.
- NICOLICH R., DELLA VEDOVA B., GIUSTINIANI M. (a cura di), 2004 - Carta del sottosuolo della Pianura Friulana. Note illustrative, Tav. 1 (Carta delle isopache del Quaternario), Tav. 2 (Carta del tetto dei carbonati). *Reg. Aut. Friuli Venezia Giulia, Litografia Artistica Cartografica*, Firenze.
- PARKHURST D.L., THORSTENSON D.C. & PLUMMER L.N., 1980 - PHREEQE a computer program for geochemical calculations. *USGS Water Resources Investigations Report*: 80-96.
- PILLA G., 1998 - Hydrogeochemical and Geochemical Isotopic characterization of groundwater resources in the underground of Pavia (South Western Lombardy, Italy). *Atti Ticinesi Sc. della Terra*, 40: 185-201.
- PILLA G., SACCHI E., ZUPPI G., BRAGA G. & 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.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, DIREZIONE CENTRALE AMBIENTE E LAVORI PUBBLICI, 2007 - Le acque calde della Pianura Friulana. Realizzazione della Carta Geologico-Tecnica della Risorsa Geotermica Regionale e definizione delle Linee Guida per il suo utilizzo. P. 27.
- STEFANINI S. & CUCCHI F., 1976 - Gli acquiferi nel sottosuolo della provincia di Gorizia. *Quaderni Isontini Ricerca Acque*, 28: 347-66.
- STEFANINI S. & CUCCHI F., 1977 - Gli acquiferi nel sottosuolo della provincia di Udine. *Quaderni Isontini Ricerca Acque*, 34: 131-47.
- STEFANINI S. & CUCCHI F., 1978 - Gli acquiferi del sottosuolo della pianura veneta fra i fiumi Piave e Tagliamento. In: Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana. *Quaderni Isontini Ricerca Acque*, 44: 287-299.

Indirizzo degli Autori - Authors' address:

- dott. Luca ZINI
 - prof. Franco CUCCHI
 - dott.ssa Giuliana FRANCESCHINI
 - dott. Francesco TREU
- Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine
dell'Università degli Studi di Trieste
Via Weiss 1, I-34127 TRIESTE