



Walter Boschin
Franco Cucchi
Luca Zini

CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DELL'IDROGEOLOGIA DEL GRUPPO DEL M. VERZEGNIS (PREALPI CARNICHE ORIENTALI)

CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF THE HYDROGEOLOGY OF MT. VERZEGNIS GROUP (WESTERN CARNIC PRE-ALPS)

Riassunto breve - Si riportano i risultati di uno studio sull'idrogeologia del gruppo montuoso del M. Verzegnis (Prealpi Carniche Orientali). Sono stati condotti rilevamenti geologici in superficie e nelle principali cavità carsiche al fine di definire la geometria e le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni che costituiscono l'idrostruttura e le condizioni di circolazione dell'acqua nell'acquifero. Nell'area indagata sono state individuate 26 sorgenti, le principali delle quali negli anni 2003 e 2004 sono state monitorate con misure mensili di temperatura, conducibilità, portata, chimismo, $\delta^{18}\text{O}$ e radon disciolto. Il $\delta^{18}\text{O}$ è stato monitorato anche nelle precipitazioni meteoriche mediante l'installazione di tre pluviorecoglitori. I dati raccolti hanno consentito di dare una prima caratterizzazione dei reticoli di drenaggio che alimentano le principali sorgenti afferenti all'idrostruttura.

Parole chiave: Idrogeologia, Carsismo, Prealpi Carniche, Monitoraggio di sorgenti, Idrochimica, Geochimica isotopica.

Abstract - The study concerns the hydrogeology of the Verzegnis group Mt. (Western Carnic Prealps). To define the hydrogeological characteristics of the lithology and the water drainage conditions, geological surveys were conducted also in caves. In the studied area 26 springs were identified. The most important of which were investigated for a two years period (2003-2004). Water temperature, water conductivity and discharge measures were monthly performed. To determine hydrochemical characteristics, $\delta^{18}\text{O}$ and radon concentration, water samples were monthly collected. $\delta^{18}\text{O}$ values were measured also on precipitations collected during the monitored period in three collection sites. The data obtained permitted to have a preliminary characterization of drainage networks relative to the most important springs fed by Verzegnis Mt. hydrostructure.

Key words: Hydrogeology, Karst, Carnic Pre-Alps, Spring monitoring, Hydrochemistry, Isotope geochemistry.

Premessa

Il gruppo del Monte Verzegnis costituisce la propaggine orientale delle Prealpi Carniche (fig. 1), sistema montuoso dove la diffusione dei calcari ed il condizionamento strutturale hanno consentito lo sviluppo delle fenomenologie carsiche, con forme superficiali, sistemi di cavità e sorgenti (CUCCHI & ZINI 2009). Tuttavia, la notevole asperità dei rilievi, l'assetto litologico e strutturale complesso, il carsismo non così evidente come in altre aree della regione, hanno fatto sì che gran parte di questo settore delle Prealpi sia ancora poco studiato, soprattutto dal punto di vista idrogeologico⁽¹⁾.

Il gruppo del Monte Verzegnis non è caratterizzato da un carsismo particolarmente vistoso, poche sono le

cavità carsiche e limitati sono gli affioramenti incassati, ma conta numerose sorgenti, molte delle quali captate ad uso idropotabile e contraddistinte da un carattere spiccatamente carsico. Lo studio è stato condotto su due fronti: monitoraggio delle sorgenti più significative e rilevamento geologico e geomorfologico in superficie e nelle principali cavità per definire le caratteristiche di carsificabilità e permeabilità dei diversi litotipi.

Inquadramento

Note geologiche

L'area oggetto dello studio è compresa tra il fiume Tagliamento, la Valle di Preone, Sella Chianzutan e l'altopiano di Verzegnis. Il gruppo montuoso ha quattro culminazioni principali, i monti Verzegnis (1914 m), Cormolina (1877 m), (1868 m) e Colle dei Larici (1779 m).

Il massiccio è costituito da una successione carbonatica potente circa 1600 metri costituita da litotipi dolomitici,

1) Il presente lavoro è frutto di una Tesi di laurea in Geologia Applicata stesa da Walter Boschin, presso il Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine nel 2005 con Franco Cucchi relatore, Onelio Flora e Luca Zini correlatori.

che affiorano nella parte basale del massiccio montuoso, e da rocce calcaree sovrastanti (figg. 1 e 2). L'età della serie è compresa tra il Carnico Sup. ed il Giurassico Sup. (PIANO 1997; CARULLI et al. 2000b; PIANO & CARULLI 2002). I termini più antichi sono rappresentati dall'Unità delle dolomie cariate, brecce dolomitiche e marne (Fm. di Raibl) e dalla dolomitica Formazione del Monticello. Le sovrastanti formazioni norico-retiche sono interessate da

un'eteropia di facies: sul versante meridionale affiorano rocce carbonatiche con struttura massiccia attribuibili ad una facies di piattaforma carbonatica rappresentata dalla Dolomia Principale (potenza 500-600 m) e dal parzialmente eteropico Calcare del Dachstein (potenza 400 m). Su quello settentrionale, in eteropia, si rinvencono litotipi carbonatici coevi fittamente stratificati (20-25 cm) con intercalazioni marnose, tipici di ambiente bacinale

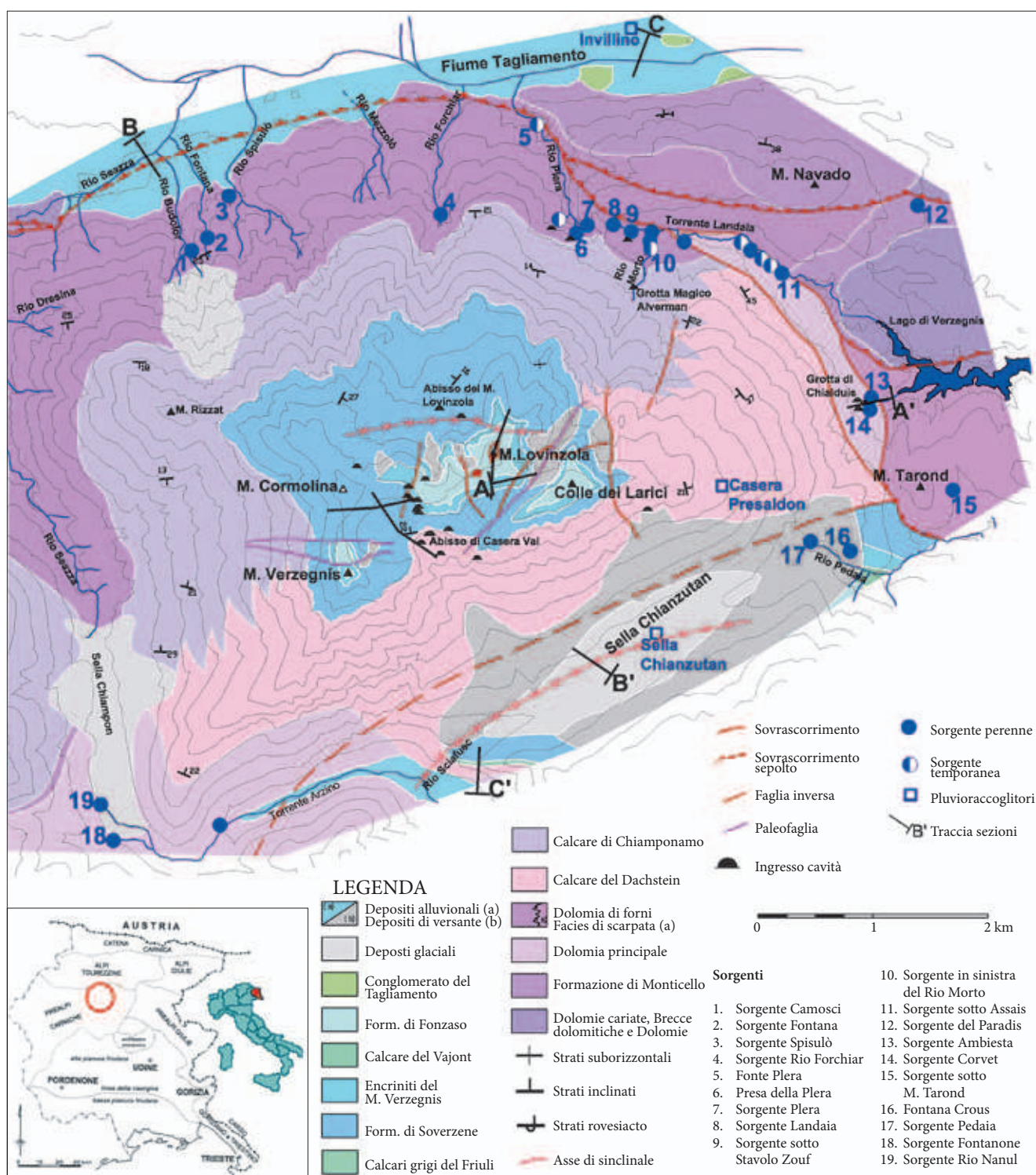


Fig. 1 - Carta geologica ed idrogeologica (da CARULLI et al. 2000 ridisegnata ed integrata).

- Geological and Hydrogeological map (from CARULLI et al. 2000, redesigned and completed).

e rappresentati rispettivamente dalla Dolomia di Forni (potenza 700-800m) e dal Calcare di Chiampomano (potenza 550 m). La successione prosegue con la Formazione di Soverzene (potenza massima 550 m) costituita da calcari organizzati in strati spessi da 4 a 50 centimetri e frequenti noduli e liste di selce, alla quale succedono le Encriniti del Monte Verzegnis, formazione calcarea potente circa 50 metri. Al tetto si ha il Calcare del Vajont,

unità qui di spessore trascurabile, su cui giace la Formazione di Fonzaso costituita da circa 60 metri di calcari micritici ed intercalazioni a noduli e liste di selce.

Diffuse sono le coperture quaternarie sia sciolte che cementate, rappresentate da depositi glaciali, di versante ed alluvionali.

Dal punto di vista strutturale il Monte Verzegnis è inserito in un settore contraddistinto da un raccorcia-

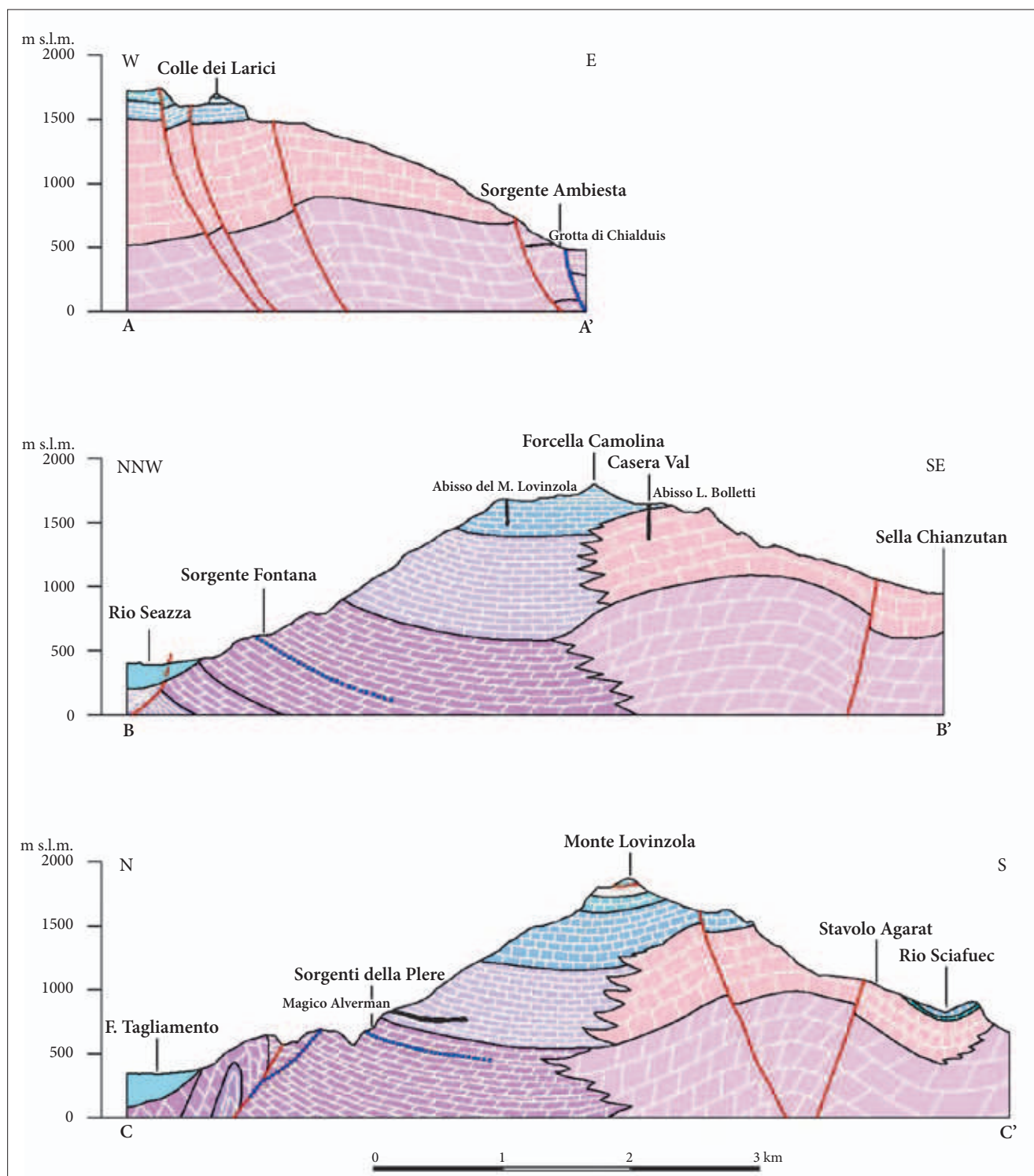


Fig. 2 - Sezioni geologiche. Con crocette blu i limiti e le soglie di permeabilità.
- Geological sections. Blue cross point out hydrogeological permeability boundaries.

mento crostale molto spinto, costituito da diverse scaglie tettoniche ad andamento E-W, vergenti a sud (CARULLI & PONTON 1992). L'elemento tettonico più importante è rappresentato dalla linea Monte Dof-Monte Auda, che interessa il versante nord orientale del gruppo montuoso (fig. 2). L'assetto giaciturale del massiccio è relativamente semplice: nel settore settentrionale la stratificazione immerge verso S con inclinazioni variabili da pochi gradi a 30°-35°. Sul versante orientale gli strati immergono verso NE con inclinazioni da 10° a 45°. La porzione centrale del massiccio ed il versante occidentale sono strutturati a sinclinale con asse orientato E-W.

Le formazioni dolomitiche situate alla base della successione (Unità delle Dolomie Cariate e Formazione del Monticello), risultano da debolmente permeabili per fratturazione a impermeabili, soprattutto là dove sussiste un'intensa tettonizzazione.

La Dolomia di Forni ha una permeabilità variabile, legata alle differenti condizioni di fratturazione dell'ammasso roccioso. Alla base del massiccio le deformazioni tettoniche cui si accompagnano cataclasi e intensa fratturazione determinano una permeabilità da scarsa a nulla. Superiormente, e fino alla quota delle sorgenti (600-700m), l'ammasso roccioso si presenta comunque poco permeabile data la scarsa persistenza delle fratture. Localmente tuttavia, la migliore organizzazione del reticolo di discontinuità consente una circolazione

idrica più attiva. La permeabilità risulta generalmente più elevata al di sopra della quota delle sorgenti per la maggior persistenza dei sistemi di fratture e per la presenza di fenomeni carsici localizzati in prossimità di alcune sorgenti. La parte superiore dell'unità contiene quindi un limite di permeabilità indefinito (sensu CIVITA 1972) per variazione delle condizioni di fratturazione dell'ammasso roccioso, alla quale è connessa l'esistenza di importanti manifestazioni sorgentizie. Il passaggio stratigrafico con i soprastanti calcari di Chiampomano non rappresenta un limite di permeabilità.

La Dolomia Principale è permeabile per fratturazione e per carsismo, anche se durante forti precipitazioni localmente si ha un modesto ruscellamento superficiale. Il passaggio stratigrafico con i soprastanti Calcari del Dachstein non rappresenta un condizionamento alla circolazione idrica sotterranea.

I Calcari di Chiampomano sono permeabili per fratturazione e carsismo. Dai rilievi effettuati nell'unica cavità che li interessa (Magico Alverman), risulta che il reticolo di drenaggio nella zona di trasferimento delle acque è ben sviluppato. La coltre di alterazione dell'ammasso roccioso è però poco permeabile causa la frazione argillosa proveniente dai sottili livelli di marne, il che comporta, durante le precipitazioni più intense, ruscellamento superficiale lungo le numerose incisioni e piccole forre presenti.



Fig. 3 - La conca glaciocarsica di Casera Val, al piede del M. Verzegnis.
- The glaciokarst valley of Casera Val, near the Mt. Verzegnis.

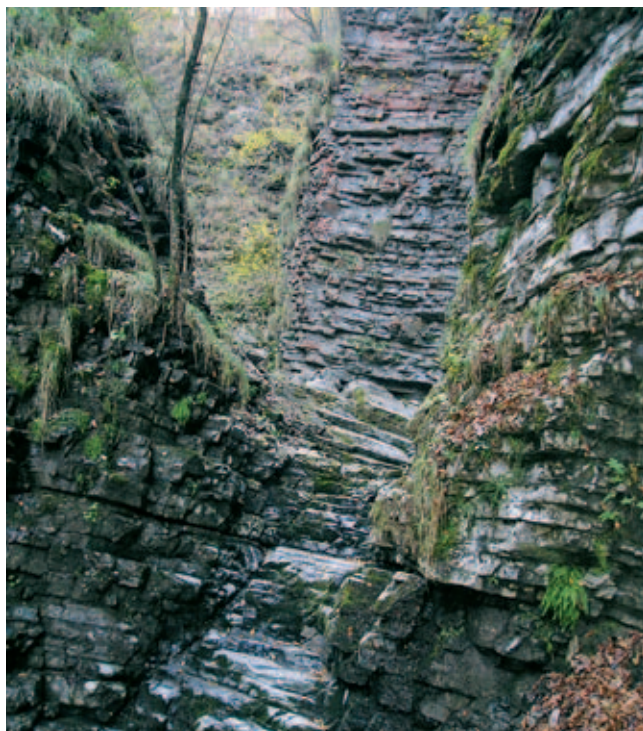


Fig. 4 - Forra nei Calcarei di Chiampomano.
- A gorge in the "Calcarei di Chiampomano" Fm.

Fig. 5 - Un tratto di galleria nella grotta Magico Alverman (6114/3509Fr).
- A gallery in the Magico Alverman cave (Regional cave cadaster n. 6114/3509Fr).



I Calcarei del Dachstein sono sede di un carsismo poco evidente sui versanti, mentre la buona esposizione topografica nella ristretta zona di Casera Val ha consentito l'evoluzione di un carsismo più pronunciato, con cavità, doline e campi solcati. La permeabilità risulta in ogni caso elevata.

Le formazioni più recenti sono accomunate da un'alta permeabilità per fratturazione e soprattutto per carsismo. In particolare, l'elevata carsificazione della Formazione di Soverzene e delle Encriniti del Monte Verzegnis, affioranti nell'area sommitale del massiccio, è evidenziata dal notevole sviluppo dei fenomeni carsici epigei ed in parte ipogei.

I sedimenti quaternari, costituiti da depositi glaciali, alluvioni e detrito di falda, sono caratterizzati da una permeabilità per porosità primaria molto variabile dipendente dalla granulometria e dal grado di cementazione. Costituiscono talvolta dei piccoli acquiferi che alimentano alcune sorgenti (Fontana Crous, Sorgente Pedaia).

Note geomorfologiche

Nell'area sommitale del massiccio coesistono forme glaciali e carsiche, soprattutto doline e pozzi collocati nella fascia altitudinale compresa tra 1400 m e 1700 m s.l.m. Il connubio è evidente soprattutto presso la conca glaciocarsica di Casera Val (fig. 3), il vallone sotto la Sella delle Chianalet e l'altopiano presente alla sommità del versante nord nella zona denominata Lovinzola. In questo settore si aprono le due cavità più profonde finora note: l'Abisso Bolletti di Casera Val (312/113Fr) che raggiunge una profondità di 139 metri e l'Abisso di Casera

Lovinzola di Sopra (1825/770Fr) profondo 103 metri. Entrambi gli abissi sono costituiti da sequenze di pozzi sviluppati rispettivamente nei Calcarei del Dachstein e nella Formazione di Soverzene.

I versanti sono privi di qualsiasi forma carsica di superficie, nonostante affiorino rocce carsificabili (Calcare di Chiampomano e Calcare del Dachstein). Evidente è il contrasto morfologico tra versante nord e versante sud, indotto dall'eteropia di facies. A differenza del secondo, il primo è infatti caratterizzato da un ben sviluppato reticolo di valli e forre torrentizie (fig. 4) che risultano attive solamente a partire dai 600-700 m s.l.m. quota alla quale sono ubicate numerose sorgenti perenni. Alcuni sistemi sorgivi si distinguono per la presenza di cavità ad andamento prevalentemente orizzontale sviluppate sia nelle litologie dolomitiche che in quelle calcaree. Le più importanti sono la Grotta di Chialduins (605/197Fr) che si apre a quota 535 m in prossimità della sorgente Ambiesta, e la grotta Magico Alverman (6114/3509Fr) il cui ingresso è ubicato a quota di 750 m nella forra del Rio Morto.

La prima si sviluppa nella Dolomia Principale per 586 metri con gallerie freatiche parzialmente interessate da fenomeni di crollo e spesso contraddistinte da un netto condizionamento strutturale. La cavità è idrologicamente attiva dato che i tratti più depressi si trovano nella zona di oscillazione della falda freatica (BENEDETTI 1982).

La grotta Magico Alverman si estende per 1035 metri (CELLA & MAZZILIS 1997) nel Calcare di Chiampomano con un complesso di gallerie interessate da fenomeni di crollo, concrezionamento e depositi di riempimento. L'andamento dei vani è palesemente condizionato dall'orientazione dei giunti di strato (fig. 5).

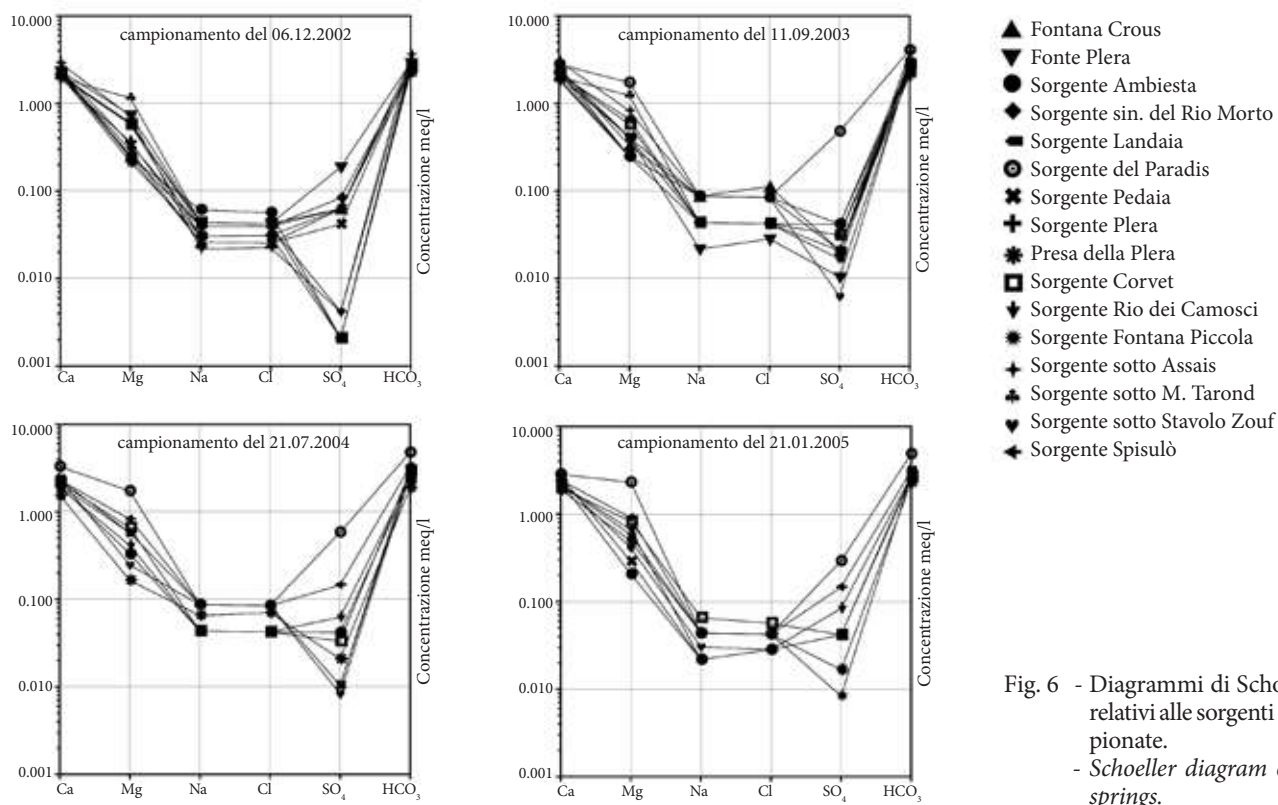


Fig. 6 - Diagrammi di Schoeller relativi alle sorgenti campionate.
- Schoeller diagram of all springs.

Note idrogeologiche

Sono state censite 26 sorgenti sia perenni sia temporanee, completando l'accurata descrizione delle sorgenti e dei corsi d'acqua superficiali nel Comune di Verzegnis (FIOR 1972) e la sintetica e preliminare caratterizzazione fisico-chimica delle acque di alcune sorgenti dell'area (CELLA et al. 2001).

Sulla base dei contesti geologico e geochemico ne sono state scelte tredici per una prima campagna di monitoraggio annuale (campagna 2003) consistente in misure mensili di portata, temperatura e conducibilità radon e $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ delle acque sorgive. In quattro occasioni si sono prelevate acque per l'esecuzione di analisi chimiche⁽²⁾. Molte sorgenti sono captate: di quelle alle quali non era possibile accedere, le attività di monitoraggio si sono limitate ai troppo pieni delle opere⁽³⁾.

La seconda campagna di monitoraggio (campagna 2004) ha preso in considerazione solo nove sorgenti in quanto fra quelle vicine ed aventi acqua e idrodinamica con caratteristiche molto simili sono state tenute in osservazione solo le più significative.

2) Le attività di monitoraggio hanno avuto inizio il 06/12/02 e si sono concluse il 21/01/05. $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e concentrazioni di radon sono stati acquisiti a cura di Onelio Flora e Laura Genoni presso il Laboratorio di Geochemia Isotopica del Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste, le analisi chimiche sono state eseguite da Enrico Merlak della Commissione grotte "E. Boegan" per conto dello stesso Dipartimento.

3) Si coglie l'occasione per ringraziare il personale tecnico dei Comuni di Enemonzo e di Villa Santina per la disponibilità, ed in particolare Marino Gridel.

Chimismo delle acque

Quattro sono le campagne di campionamento effettuate per determinare il chimismo delle acque. Il primo prelievo (6/12/02) è stato compiuto in fase di piena successivamente ad eventi meteorologici molto intensi (1060 mm di pioggia caduti dal 13/11/02 al 29/11/02). Il secondo e l'ultimo sono avvenuti in fase di magra estiva (12/09/03) ed invernale (24/01/05) rispettivamente, il 21/07/04 i campioni sono stati raccolti in morbida, in fase di esaurimento delle sorgenti.

Il valore dei solidi totali disciolti (TDS) riscontrato è compreso tra 154 e 412 mg/l. I valori più bassi sono relativi alle sorgenti della Plera le cui acque possono essere classificate come oligominerali; tutte le altre rientrano nel campo delle medio minerali. I tenori più elevati contraddistinguono la 12 - Sorgente Paradis che si discosta dalle altre emergenze considerate. I diagrammi di Schöller (fig. 6) elaborati sulla base dei dati relativi ad ogni singolo prelievo, evidenziano come tutte le acque abbiano chimismo simile e ricadano nella facies bicarbonato-calcica, con affinità, per le sorgenti 12 - Sorgente del Paradis e 15 - Sorgente sotto M. Tarond, alla facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. Le specie ioniche Ca, Mg e HCO_3 costituiscono il 92-98% degli ioni totali.

Il chimismo, caratterizzato da formule ioniche Ca-HCO_3 o Ca-Mg-HCO_3 , è quello di acque che hanno circolato esclusivamente in litotipi a composizione carbonatica. Nella sola 12 - Sorgente del Paradis si evidenzia un limitato mescolamento con componenti a

Denominazione	Coordinate		Quota m s.l.m.	Media pond.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$	Media aritm.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$
	(Roma 40-Gauss Boaga)			30/12/02	22/12/03	30/12/02	22/12/03	min	max
	E	N		22/12/03	31/12/04	22/12/03	31/12/04		
Invillino	2361334	5141598	348	-8.17	-9.00	-8.58	-9.41	-18.11	-3.82
Sella Chianzutan	2361581	5136028	952	-7.79	-9.15	-8.30	-9.34	-15.50	-3.92
Casera Presaldon	2362152	5137312	1320	-8.76	-	-9.23	-	-17.42	-4.78

Tab. I - Valori del $\delta^{18}\text{O}$ delle acque di precipitazione.
- $\delta^{18}\text{O}$ data of rainfall water sampling point.

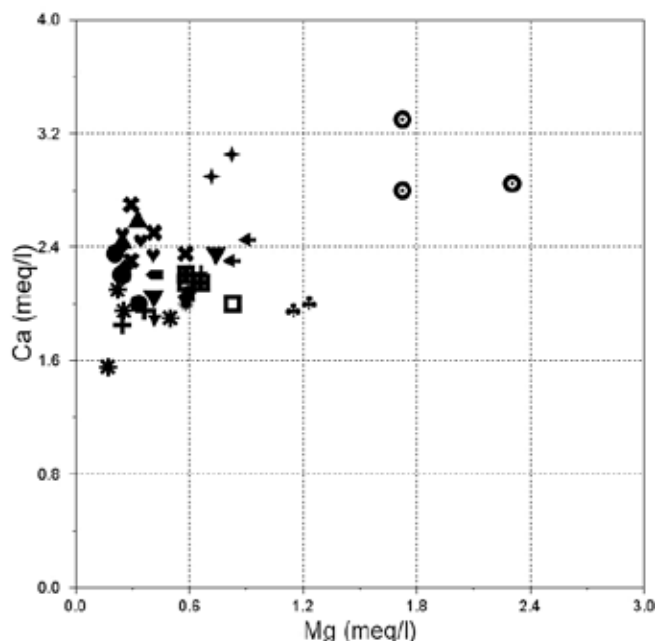


Fig. 7 - Diagramma di correlazione Mg vs. Ca (legenda in fig. 6).
- Scatter diagram Mg vs. Ca (label: see fig. 6).

facies solfato-calcica riconducibili alla presenza di gessi nelle Dolomie Cariate⁴⁾.

A parità di mineralizzazione tuttavia, i tenori di Ca e Mg possono risultare abbastanza differenti (fig. 7). Il rapporto Mg/Ca è più elevato nelle acque che circolano quasi esclusivamente in rocce dolomitiche, come quelle che fuoriescono dalla 12 - Sorgente Paradis e dalla 15 - Sorgente sotto M. Tarond. Queste sorgenti, fra l'altro, risultano le più mineralizzate.

Il rapporto varia in funzione dei tempi di contatto con le dolomie e delle superfici di scambio acqua - roccia nella zona satura. Questo aspetto si evidenzia nelle sorgenti situate nella parte occidentale del massiccio (1 - Sorgente Rio dei Camosci, 2 - Sorgente Fontana piccola e 3 - Sorgente Spisulò) e in altre, le cui acque risentono di un'interazione più marcata e/o prolungata con litologie dolomitiche. Tra queste la 5 - Fonte Plera, in parte la 8 - Sorgente Landaia la 11 - Sorgente sotto Assais e la 14 - Sorgente Rio Corvet.

Valori del rapporto mediamente più bassi sono tipici

delle sorgenti che fanno capo a circuiti di tipo carsico come i sistemi sorgivi della Plere (6, 7), la 9 - Sorgente sotto Stavolo Zouf, quella 10 - in sinistra del rio Morto e la 13 - Sorgente Ambiesta.

In merito alla variabilità del rapporto Mg/Ca si può notare come nelle 2 - Sorgente Fontana piccola, 3 - Sorgente Spisulò, 11 - Sorgente sotto Assais e 15 - Sorgente sotto il Monte Tarond, esso sia relativamente costante nel tempo, il che indica una circolazione impostata in dolomie o con tempi di transito relativamente lunghi.

Per altre sorgenti, soprattutto laddove l'area di alimentazione e gran parte della zona vadosa sono sviluppate in litologie calcaree, si è notato che in fase di magra il rapporto Mg/Ca risulta più elevato indicando un maggiore contributo di acque con tempi di residenza più lunghi (1 - Sorgente Rio dei Camosci, 7 - Sorgente presa della Plere, 9 - Sorgente sotto Stavolo Zouf, 14 - Sorgente Rio Corvet).

Monitoraggio del $\delta^{18}\text{O}$

Al fine di ottenere informazioni sulla quota di alimentazione e sul comportamento idrodinamico delle sorgenti, si è avviata una complessa campagna di monitoraggio del $\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$ nelle acque di precipitazione e in quelle sorgentizie.

Nell'ambito di tali attività, sono stati prelevati mensilmente campioni in tre pluviometro-raccoglitori e nelle sorgenti monitorate (1-3, 5-17 in fig. 1).

I raccoglitori⁵⁾ sono ubicati uno alla quota di 348 m s.l.m. alla base del versante sud del M. Verzegnis presso il paese di Invillino (frazione di Villa Santina), uno alla quota di 952 m s.l.m. presso Sella Chianzutan, uno alla quota di 1320 m s.l.m. sul versante orientale presso la Casera Presaldon.

I valori del $\delta^{18}\text{O}$ relativi alle precipitazioni presentano il classico trend stagionale: i valori più elevati corrispondono al periodo giugno-settembre, quelli più bassi sono stati registrati da dicembre a marzo (fig. 8). Soprattutto nei mesi più freddi si assiste a fenomeni di inversione isotopica per cui l'acqua raccolta presso il fondo valle è

4) Nonostante la loro elevata solubilità, i solfati sono comunque in concentrazione massima di 0.583 meq/l corrispondente a 5.511 meq%. Nelle altre sorgenti lo ione solfato si rinviene con concentrazioni compatibili con il tasso medio presente nelle acque meteoriche.

5) Si tratta di raccoglitori con una capacità di 12 litri costruiti in modo tale da trattenere anche le precipitazioni nevose. Ad ogni prelievo di acqua meteorica si è tenuto conto anche del volume di precipitazione raccolto, fondamentale per il calcolo del $\delta^{18}\text{O}$ medio annuale ponderato.

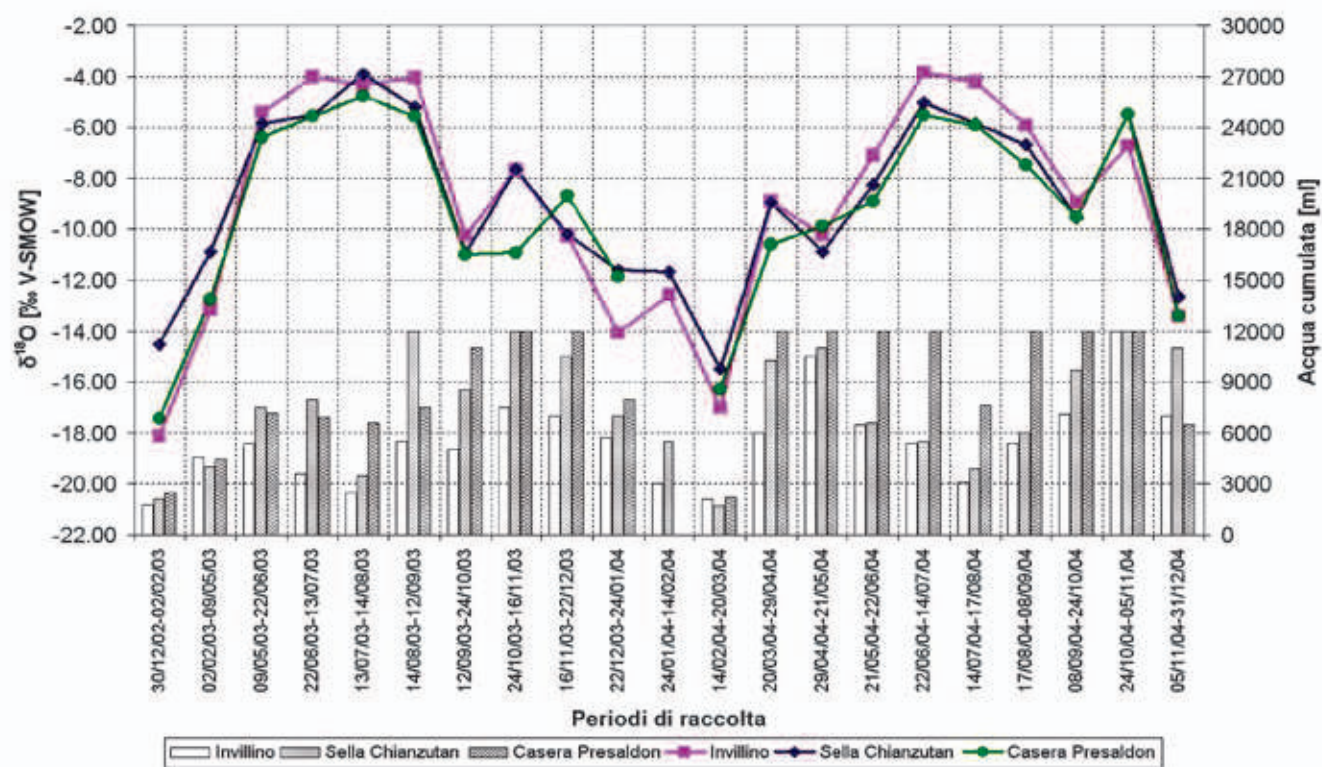


Fig. 8 - $\delta^{18}\text{O}$ nelle precipitazioni e quantitativi cumulati.
- $\delta^{18}\text{O}$ of precipitations

più impoverita di ^{18}O rispetto ai siti ubicati alle quote maggiori⁽⁶⁾. I dati relativi al primo anno di raccolta (periodo 30/12/02-22/12/03) hanno consentito il calcolo della media annuale ponderata del $\delta^{18}\text{O}$ per ogni sito monitorato (tab. I). Questo dato rappresenta il valore del $\delta^{18}\text{O}$ che si sarebbe ottenuto per ogni stazione, mescolando fra loro tutte le precipitazioni raccolte nell'ambito del periodo di tempo considerato.

Il gradiente isotopico medio annuale riferito all'anno 2003 in funzione della quota è stato desunto dai valori relativi ai pluviometri di Sella Chianzutan e Casera Presaldon⁽⁷⁾. Il gradiente risultante è 0.26‰/100m e l'equazione che lega il $\delta^{18}\text{O}$ alla quota (A) risulta essere: $\delta^{18}\text{O} = -0.0026A - 5.3209$. Il valore è in buon accordo con quelli, compresi tra 0.2 e 0.3‰/100m, calcolati da D'AMELIO et al. (1995) per le Alpi Orientali⁽⁸⁾.

6) Questo aspetto può essere ricondotto a fenomeni di inversione termica o alla diversa esposizione dei pluviometri - raccoglitori, per cui a nord si risente maggiormente dell'influenza di correnti nordoccidentali provenienti da aree montuose più elevate.

7) Non è stato possibile calcolare il gradiente isotopico per il 2004 per il rovesciamento del pluviometro-raccoglitore di Casera Presaldon e la conseguente totale perdita dell'acqua raccolta nel periodo 24/01/04-14/02/04. Le medie ponderate, calcolate per i raccoglitori di Invillino e Sella Chianzutan per l'anno 2004 hanno valori più negativi rispetto al 2003.

8) L'elevata variabilità del $\delta^{18}\text{O}$ in funzione dell'esposizione ci ricorda che nel determinare il gradiente isotopico è necessario prestare attenzione ai fenomeni di inversione isotopica per cui in alcuni periodi dell'anno in fondovalle si rinvergono acque isotopicamente più "leggere".

I valori isotopici rilevati alle sorgenti (fig. 9) hanno variabilità molto inferiore rispetto a quelli delle precipitazioni, il che indica come il segnale isotopico delle acque di infiltrazione giunga alle sorgenti smorzato per miscelazione con le acque di riserva. Si nota una variabilità stagionale con valori più elevati nei mesi autunnali, minimi nei mesi primaverili e, come osservato per le precipitazioni, un generale trend di diminuzione dei valori isotopici dal 2003 al 2004. Si sono eseguiti campionamenti in regime non influenzato tranne che alcune occasioni nelle quali si è voluta analizzare la risposta delle sorgenti in seguito ad intense precipitazioni.

Particolarmente interessante è risultato il campionamento del 3 novembre 2004 dopo un evento meteorico eccezionale con quasi 600 mm di precipitazione (tra il 26/10/04 ed il 01/11/04). L'acqua raccolta nei pluviometri tra il 24/10/04 e il 05/11/04 ha fornito valori di $\delta^{18}\text{O}$ pari a -6.70 (Invillino), -5.47 (Sella Chianzutan) e -5.48‰ (Casera Presaldon). Nonostante l'entità delle precipitazioni e la relativa positività del valore di $\delta^{18}\text{O}$, il segnale isotopico delle acque di neoinfiltrazione alle sorgenti risulta molto debole, se non assente (sorgente del Paradis, Rio Corvet).

La bassa variabilità dei valori isotopici indica la presenza di acquiferi con cospicue riserve e/o caratterizzati da bassa permeabilità e circolazione dispersiva (1 - Sorgente Rio dei Camosci, 2 - Sorgente Fontana Piccola, 3 - Sorgente Spisulò, 9 - Sorgente sotto Stavolo Zouf, 13 - Sorgente Ambiesta 14 - Sorgente Rio Corvet, 15 - Sorgente sotto M. Tarond, 16 - Fontana Crous).



Fig. 9 - Andamento del $\delta^{18}O$ nelle acque sorgive.
- *Springs water $\delta^{18}O$ behaviour.*

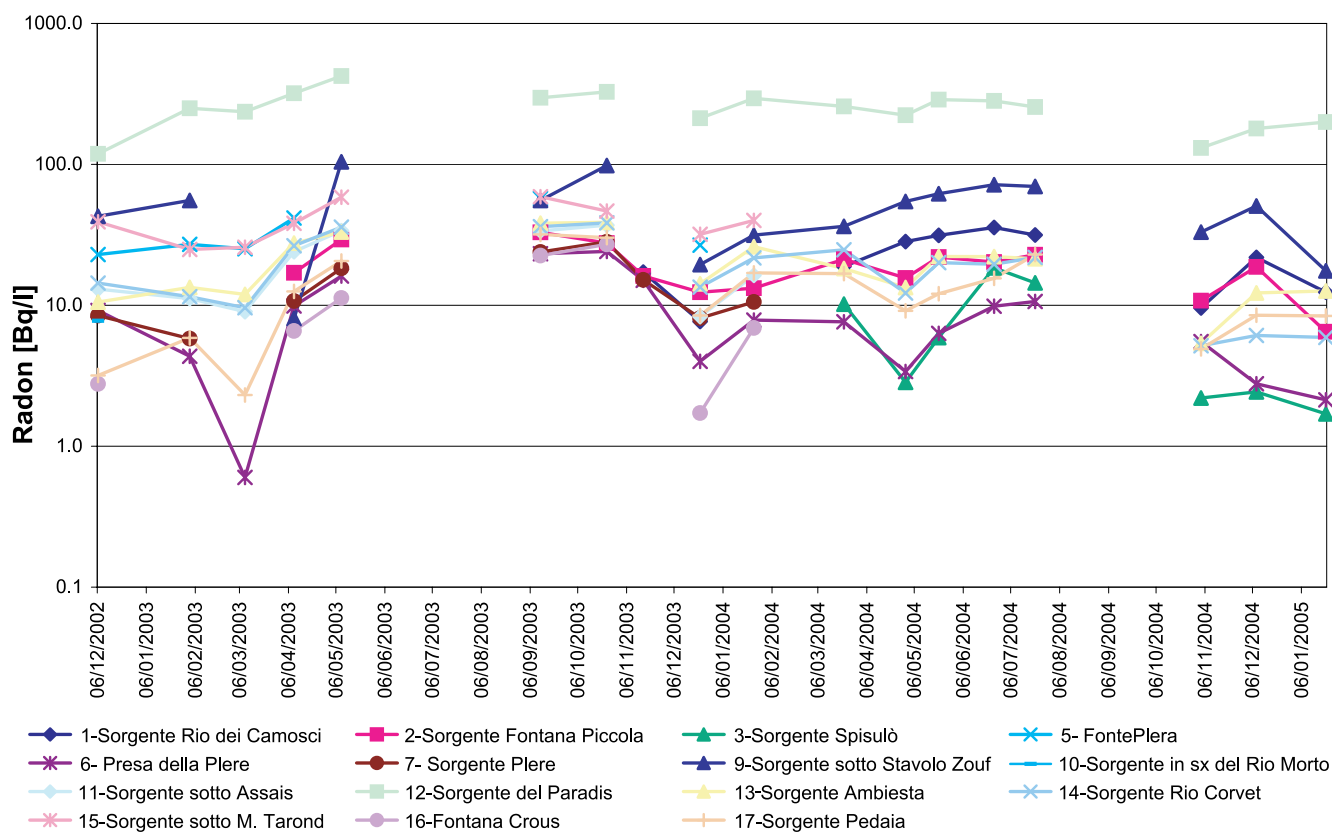


Fig. 10 - Concentrazioni di radon nelle acque sorgive.
- *Springs water radon concentrations.*

L'alta variabilità è legata ad acquiferi con scarsa capacità regolatrice e riserve limitate e/o caratterizzati da alta velocità per deflussi canalizzati (5 - Fonte Plera, 6 - Presa della Plere, 7 - Sorgente Plere, 11 - Sorgente sotto Assais, 17 - Sorgente Pedaia).

Il calcolo della quota media di alimentazione sulla base del gradiente isotopico medio del 2003 (tab. II), pur fornendo informazioni sulle caratteristiche idrogeologiche dei bacini, non sempre risulta significativo visto che il trend generale dei valori isotopici delle precipitazioni è in diminuzione dal 2003 al 2004. Là dove la quota di alimentazione risulta non compatibile con le quote della sorgente e del bacino di alimentazione sono da ipotizzare acquiferi a bassa permeabilità o miscelazione con acque da tempo residenti nel sistema.

Il Radon nelle acque

Nell'ambito del lavoro si è scelto di monitorare la concentrazione del radon nelle acque sorgive, non tanto per le sue qualità di tracciante idrogeologico, fra l'altro non sono noti i tenori di radio contenuti nelle varie facies della successione, quanto per saggiare l'interesse ad eventuali successivi studi in merito. La concentrazione del gas radon nelle acque sotterranee varia infatti in funzione del tenore in radio (elemento dal quale per decadimento radioattivo si genera il gas in questione) contenuto nelle rocce dell'acquifero ed è influenzata anche da fattori quali le condizioni di tettonizzazione della roccia, la temperatura, il contenuto di ioni, la velocità di circolazione⁽⁹⁾.

I dati raccolti, pur frammentari, consentono di definire il quadro generale, nel quale i tenori di radon variano in maniera simile in tutte le sorgenti, hanno valori più alti nella stagione calda e più bassi in quella fredda. Sussiste una certa variabilità nei valori medi da sorgente a sorgente, fatto dovuto alle differenti caratteristiche dei reticoli di drenaggio ed alla diversa concentrazione di radio nelle rocce che costituiscono gli acquiferi alimentanti. I valori sono solitamente compresi entro i 40 Bq/l, con variazioni contenute solitamente in poche decine di Bq/l; valori fino a 60 Bq/l sono riferiti alla 15 - Sorgente sotto Monte Tarond ed alla 5 - Fonte Plera (fig. 10).

Fanno eccezione due sorgenti, la 9 - Sorgente sotto Stavolo Zouf e la 12 - Sorgente del Paradis. Nella prima i valori sono variabili da 8,1 a 104.2 Bq/l; nella seconda si hanno sempre concentrazioni molto elevate, comprese fra 200 e 300 Bq/l, con valori massimi di 423.2 Bq/l. Tenori così elevati dovrebbero essere connessi alla

9) La Raccomandazione 2001/928/Euratom della Commissione delle Comunità Europee del 20 dicembre 2001 definisce in 100 Bq/l il limite consigliato per le acque di acquedotto e in 1000 Bq/l quello per l'approvvigionamento idrico individuale, il valore massimo di concentrazione di radon nelle acque da destinare al consumo umano.

Sorgente	$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$ medio (06/12/02 - 22/12/03)	Quota sorgente m s.l.m.	Quota calcolata m s.l.m.
5 - Fonte Plera	-8.30	350	1145
6 - Presa della Plere	-8.88	625	1368
7 - Sorgente Plere	-8.87	620	1365
9 - Sorgente sotto stavolo Zouf	-8.00	660	1029
11 - Sorgente sotto Assais	-7.94	500	1007
12 - Sorgente del Paradis	-7.12	480	693
13 - Sorgente Ambiesta	-8.36	505	1169
14 - Sorgente Rio Corvet	-7.76	505	940
15 - Sorgente sotto M. Tarond	-7.21	592	726
16 - Fontana Crous	-7.22	786	729
17 - Sorgente Pedaia	-7.18	793	716

Tab. II - Quote medie dell'area di ricarica di alcune sorgenti calcolate sulla base del $\delta^{18}\text{O}$ medio annuale.

- *Catchment area mean elevation of some springs obtained from $\delta^{18}\text{O}$ mean annual value.*

vicinanza di importanti linee tettoniche che, oltre a comportare una fratturazione più intensa e quindi aumentare le superfici di contatto acqua roccia, possono fungere da vie preferenziali di movimento del gas⁽¹⁰⁾.

I Sistemi sorgivi

Sulla base dei contesti geologico ed idrogeologico, nell'idrostruttura si riconoscono alcune aree omogenee insistenti su alcuni gruppi sorgentiferi. Si ha un limite di permeabilità indefinito (CIVITA 1972) da posizionare al tetto della Dolomia di Forni poco sotto il contatto stratigrafico con il Calcare di Chiampomano. Questo limite attraversa il massiccio ad una quota di 600-700 m s.l.m., estendendosi dal versante occidentale fino allo Stavolo Chiampomano, posto sul versante nord. È un limite aperto: c'è infatti circolazione idrica anche nella parte sottostante dell'idrostruttura.

Un altro limite per soglia di permeabilità sovrainposta (CIVITA 1972) è determinato dagli importanti elementi tettonici legati alla linea Monte Dof-Monte Auda.

In tabella III sono riportati i dati di portata dei sistemi sorgivi acquisiti contestualmente alle altre attività di monitoraggio⁽¹¹⁾. Le portate sono state calcolate con il metodo dei galleggianti o con quello volumetrico. I valori di temperatura e conducibilità delle acque sorgive sono contenuti nella tabella IV: le temperature medie annuali delle sorgenti variano in un intervallo compreso tra 6.1°C e 10.4°C (con massimi di 17.0°C e minimi di 4.0°C), le conducibilità medie fra 200 e 466 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (con

10) Si ricorda che recenti studi sul tenore di radon nelle acque del Friuli Venezia Giulia (GIOVANI et al. 2007) evidenzia che le acque di falda in pianura hanno valori in genere inferiori ai 10 Bq/l e che quelle del Verzegnis hanno i valori più alti in assoluto in Regione.

11) I valori medi dei dati acquisiti per ogni sorgente non sempre sono formalmente confrontabili poiché non tutte le sorgenti sono state seguite per due anni: comunque sia, l'elevato numero di dati raccolti consente un confronto valido ai fini dello studio.

valori massimi di 510 e minimi di 175 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sussiste quindi una certa eterogeneità indotta da differenti tempi di permanenza nell'acquifero, altitudini ed esposizioni dei bacini di alimentazione. L'andamento spiccatamente stagionale di alcune sorgenti denota la marcata influenza della temperatura esterna. Il fenomeno si spiega o perché i rilevamenti sono in certi casi avvenuti sui troppo pieni delle opere di captazione (3 - Sorgente Spisulò, 12 - Sorgente Paradis, 14 - Sorgente Rio Corvet) o con la breve distanza dalla superficie topografica della parte terminale dei percorsi idrici unita a portate esigue (2 - Sorgente Fontana Piccola, 11 - Sorgente sotto Assais, 15 - Sorgente sotto Monte Taron, 16 - Sorgente Crous e 17 - Sorgente Pedaia).

Salvo il caso particolare delle 6 - Presa della Plere e 7 - Sorgente Plere, i valori medi di conducibilità delle acque si collocano tra 200 e 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tipici di acque caratterizzate da tempi di transito relativamente brevi in rocce carbonatiche.

Versanti occidentale e settentrionale

Questo settore comprende i versanti esposti ad ovest ed a nord compresi tra Sella Chaimpon ed il Rio Forchiar.

Il reticolo idrografico è ben sviluppato fino alla quota di 1000-1200 m. Numerosi sono i corsi d'acqua perenni alimentati da sorgenti con portate medie relativamente

basse (da qualche l/s a qualche l/min) e poste ad una quota compresa tra 600 e 700 m. L'acqua sorgiva scaturisce in corrispondenza del limite di permeabilità indefinito situato nella Dolomia di Forni.

In questa zona del massiccio due sono le emergenze interessate da opere di presa: 1 - Sorgente del Rio dei Camosci (625 m s.l.m.) e la 2 - Sorgente Fontana (600 m s.l.m.). Quest'ultima è interessata da due captazioni situate a brevissima distanza l'una dall'altra; quella a quota più elevata, oggetto del monitoraggio, è attualmente dismessa poiché durante i periodi di magra si prosciuga. In questo caso si è potuto constatare che l'emergenza avviene in modo localizzato dalle fratture o dai giunti di stratificazione privati dell'interstrato marnoso.

È stata monitorata anche una piccola sorgente denominata 2 - Fontana Piccola situata nei pressi della 2 - Sorgente Fontana ed in parte captata da un piccolo tubo metallico a guisa di fontana.

In due occasioni (04/11/04 e 21/01/05) è stato possibile accedere all'opera di presa della 2 - Sorgente Fontana per eseguire le rilevazioni del caso, constatando portate di 12.5 e 10 l/s rispettivamente.

Rilevamenti saltuari (23/11/03 e 20/05/04) hanno riguardato la 4 - sorgente che origina il Rio Forchiar dove sono state misurate portate in magra di 4-5 l/s. L'acqua in questo caso sgorga in maniera diffusa dal detrito che occupa l'alveo del corso d'acqua ad una quota di 650 m.

Data rilevamento	Sorgente Rio dei Camosci (*)	Sorgente Fontana Piccola	Sorgente Spisulò (*)	Fonte Plera	Presa della Plere (*)	Sorgente Plere	Sorgente Landaia	Sorgente sotto Stavelo Zouf (*)	Sorgente in sx del Rio Morto	Sorgente sotto Assais	Sorgente del Paradis	Sorgente Ambiesta	Sorgente del Rio Corvet	Sorgente sotto M. Taron	Fontana Crous	Sorgente Pedaia
06/12/2002					9.2		260	0.01	5.4	32	0.20	0.18	920	1.2	0.10	1.4
02/02/2003					7.4	15	30		0.10		0.10	0.12	422	0.52		0.30
09/03/2003					0.001	1.1	0	0	0.05	0	0.01	0.04	274	0.20	0.02	0.20
09/04/2003		0.50		0.05	10	25		1.2		0	0.02	0.18	264	0.67	0.05	0.05
09/05/2003		0.30		0	98	250		1.3		0.03	0.11		340	0.31	0.10	0.20
22/06/2003	0.5	0.33		0	2	8.2		0.06		0.001	0.15		255	0.16	0.06	0.03
22/07/2003	0	0.40		1.1	9	22		0.10		0.07	0.09		245	0.18	0.13	0.04
14/08/2003	0	0.14		0	0.2	0		0.04		0.003	0.04		203	0	0.05	0.02
12/09/2003	0	0.10		0.5	22	45	0.005	0.22		0	0.02	0.06	255	0.02	0.12	0.04
24/10/2003	0	0.14		0	53	90		0.75		0.02	0.06		311	0.64	0.13	0.05
16/11/2003	4.7	0.60			120	550							509			
22/12/2003	4.2	0.50		0.30	54	150		1.4		0.18	0.20		523	0.50	0.10	0.05
25/01/2004	0	0.5	7.0	0	1.8	4.5		0.10		0.06	0.16		334	0.40	0.10	0.03
22/03/2004	11.3	0.60	9.0		190			12.5			0.20		835			0.36
30/04/2004	7.2	0.30	6.5		180			4.2			0.18		920			0.06
21/05/2004	13.2	0.16	6.5		63			3.2			0.16		940			0.04
25/06/2004	6.0	0.40	9.2		61			7.4			0.19		532			0.15
21/07/2004	3.8	0.25	3.7		51			2.20			0.19		423			0.05
22/08/2004	3.2	0.45	3.8		92			3.0			0.21		362			0.04
11/09/2004	2.6	0.33	7.2		51			1.1			0.14		359			0.14
03/11/2004	15.6	0.67	8.3		500			13.2			0.31		1800			1.5
08/12/2004	5.5	0.52	7.1		55			4.4			0.22		589			0.05
21/01/2005	3.9	0.20	6.5		49			0.20			0.18		320			0.03

Tab. III- Portate (l/s) delle sorgenti. (*) Misura effettuata allo scarico di troppo pieno della captazione.
- Springs discharge (l/s). (*) Measures carried on at the overflow drain of spring captation.

Le acque delle sorgenti appena descritte presentano caratteristiche chimico-fisiche molto simili denotando dinamiche di circolazione paragonabili. In particolare, per le sorgenti monitorate più a lungo, la temperatura media è circa 6.9°C, la conducibilità ha un valore medio di circa 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La grande asperità dei versanti non ha consentito di raggiungere e di individuare altre scaturigini in questo settore di massiccio ma è comprovata l'esistenza di un drenaggio sotterraneo dispersivo data l'esistenza di ulteriori e numerose emergenze. Risalendo alcuni rii a carattere perenne ci si è infatti spesso imbattuti in confluenze tra piccoli corsi d'acqua ognuno dei quali evidentemente alimentato da una diversa sorgente.

La presenza di circolazione idrica anche a quote inferiori rispetto al limite di permeabilità indefinito è stata evidenziata nel corso della realizzazione di una condotta ad uso idroelettrico che attraversa il fianco settentrionale del Monte Verzegnis. Durante le operazioni di scavo alla quota di circa 490 m è stata infatti intercettata una venuta d'acqua (3 - Sorgente Spisulò) con portata media di circa 18 l/s attualmente captata ad uso idropotabile. I valori medi di conducibilità e temperatura sono più elevati (305 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 7.8°C) rispetto alle altre sorgenti del settore, il che indica tempi di transito più lunghi e circolazione più dispersiva.

I dati $\delta^{18}\text{O}$ raccolti nella porzione più occidentale del massiccio evidenziano una quota di alimentazione simile per le Sorgenti Rio dei Camosci, Fontana piccola e Spisulò (fig. 9) a dimostrazione del fatto che quest'ultima è alimentata dall'acqua che attraversa il limite di permeabilità indefinito al quale è legata l'esistenza delle altre due sorgenti. L'andamento dei valori isotopici risulta nel complesso abbastanza modulato con scarse variazioni anche a seguito di forti precipitazioni. Le tre sorgenti vengono alimentate dallo stesso bacino che risulta possedere buone riserve.

Sorgenti della Plere

Sul versante settentrionale e poco ad ovest dello Stavo Chiampomano, si apre un orrido alla testata del quale si trova il più grande sistema sorgivo del massiccio. È costituito da tre sorgenti che scaturiscono da alcune cavità carsiche sviluppate nella Dolomia di Forni ad una quota di 620-640 m.

Sono state monitorate con continuità solamente due di esse, cioè la 6 - Presa della Plere e la 7 - Sorgente Plere (fig. 11), quest'ultima captata dall'acquedotto di Villa Santina. La terza, tipica sorgente carsica di troppo pieno, è costituita da due cavità a sviluppo prevalentemente orizzontale (Grotta sul Riul Plere - 6666/3889Fr e Grotta ad W della presa della Plere - 6116/3505Fr), che si attivano durante i più importanti eventi infiltrativi, con portate che raggiungono diverse centinaia di l/s. Nel caso di siccità prolungata la 7 - Sorgente Plere diviene

inattiva, il che consente l'accesso ad una cavità sorgente normalmente sommersa; in casi eccezionali lo stesso accade anche per la 6 - Sorgente della presa della Plere.

Diversamente dalla porzione occidentale del versante, il reticolo idrografico a monte delle sorgenti è poco sviluppato data la maggiore permeabilità dell'ammasso roccioso. Le diverse condizioni di fatturazione, legate alla vicina linea Monte Dof-Monte Auda, hanno infatti determinato lo sviluppo di un imponente sistema carsico la cui esistenza è dimostrata anche dal comportamento idrodinamico delle sorgenti. La risposta all'infiltrazione efficace è infatti repentina, per cui le portate totali del sistema possono variare anche da pochi l/s a diverse centinaia in poche ore. Le acque di queste sorgenti sono inoltre le più fredde e meno mineralizzate di tutto il massiccio (in media 6.1°C e 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La temperatura e la conducibilità delle due sorgenti principali sono identiche e variano allo stesso modo svelandone l'appartenenza al medesimo sistema di drenaggio. La mineralizzazione delle acque varia in funzione del regime idrico. In piena sussistono valori prossimi a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mentre in magra, quando l'alimentazione è deputata alle porzioni di acquifero a circolazione più lenta, il parametro si assesta sui 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Circa 300 metri più in basso, in sinistra orografica del torrente Plere, si trova la 5 - Fonte Plera, sorgente temporanea con una portata massima di circa 10 l/s. L'emergenza avviene diffusamente dal detrito di versante a pochi metri dal torrente. L'acqua viene a giorno per soglia di permeabilità sovrimposta connessa alla linea Monte Dof-Monte Auda. Pur tenendo conto della temporaneità della sorgente, la temperatura e la conducibilità medie delle acque (rispettivamente 9.0°C e 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$) suggeriscono una tipologia di circuito drenante diverso da quello delle 7 - Sorgenti della Plere anche per dinamiche di circolazione.



Fig. 11 - La Sorgente Plere.
- Plere Spring.

Prima che l'ENEL-SADE avviasse lo scavo della condotta che attraversa il versante nord del Monte Verzegnis, la 5 - Fonte Plera aveva carattere perenne. Nelle immediate vicinanze esisteva la Sorgente dell'Acqua Pudia, poi scomparsa, le cui acque erano inquadrabili nella facies solfato-calcico- magnesiacca.

I valori del $\delta^{18}\text{O}$ afferenti al sistema sorgivo della Plere (6 - Presa delle Plere e 7 - Sorgente Plere) confermano la medesima alimentazione per le due sorgenti (fig. 9). Le variazioni del $\delta^{18}\text{O}$ sono marcate soprattutto durante il secondo anno di monitoraggio. Si registra una progressiva diminuzione del parametro a partire dal mese di dicembre 2003 che culmina nel campione prelevato il 22/05/04 (-10.77‰); successivamente si assiste ad una progressiva ripresa dei valori che durante l'estate si ristabilizzano sul -9.00‰ circa. I valori più negativi sono stati rilevati in regime di piena e sono imputabili a due fattori: al progressivo scioglimento del manto nevoso ed alle cospicue precipitazioni tardo invernali e primaverili che hanno mantenuto un $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ inferiore al -9.00‰ fino al mese di maggio.

Quanto osservato dimostra l'esistenza di un sviluppato sistema di dreni caratterizzati da elevata trasmissività con conseguente rapido trasferimento dell'acqua di neoinfiltrazione dalla zona di alimentazione ai punti di recapito e scarsissima miscelazione con le acque di riserva. Le grandi variazioni di portata congiuntamente al carattere di temporaneità della sorgente Plere sottolineano la scarsità delle riserve presenti nell'acquifero ed i veloci tempi di rinnovamento della risorsa. La quota media di alimentazione calcolata sulla base dei valori isotopici dimostra che il bacino comprende buona parte dell'altopiano di Lovinzola.

La sottostante 5 - Fonte Plera risulta avere un bacino di alimentazione esteso ad una quota media inferiore a quella delle sorgenti a monte 6 e 7, ma comunque superiore a quella dei punti di emergenza (tab. II). Ciò può essere spiegato o con circuiti alternativi e bacini di alimentazione indipendenti, o con miscelazione fra ac-

que infiltratesi a quote differenti, o con alimentazione da acque con tempi di residenza pluriannuali. Comunque sia il limite di permeabilità indefinito al quale è legata l'esistenza delle sorgenti della Plere è in realtà aperto e il dreno rappresentato dalla condotta ENEL-SADE ha modificato il regime delle acque.

Corso del torrente Landaia

Il torrente Landaia nasce in località Stavolo Chiampomano e poi scorre verso est alla base del versante nord del massiccio, fino a confluire nel Lago di Verzegnis.

In destra orografica e prima della confluenza con il Rio Morto, riceve le acque di cinque sorgenti ubicate nella Dolomia di Forni tra le quote di 640 e 670 m. Quattro di esse sono perenni ed interessate da opere di captazione appartenenti all'articolato acquedotto di Verzegnis. Ogni sorgente captata presenta due generazioni di opere di presa; quella più vecchia è posta qualche metro più in alto rispetto alla più recente, aspetto indicativo dell'abbassamento di quota delle scaturigini conseguente all'evoluzione del versante. Alcuni locali affermano che ciò sia avvenuto soprattutto dopo gli eventi sismici che hanno coinvolto il Friuli nel 1976.

Delle sorgenti captate è stata monitorata solamente la 9 - Sorgente sotto Stavolo Zouf, mentre poche osservazioni hanno riguardato la 8 - Sorgente Landaia e la 10 - Sorgente temporanea in sinistra del Rio Morto. L'emergenza avviene in maniera localizzata da fratture e piani di strato per limite di permeabilità sovrapposto indotto dalla vicinissima linea Monte Dof-Monte Auda. Nel caso della 10 - Sorgente in sinistra del Rio Morto le acque emergono in maniera diffusa dal detrito di versante.

Non si dispone di dati sufficientemente dettagliati per effettuare il calcolo delle portate di tutto il sistema sorgivo, ma anche sulla base delle portate captate dall'acquedotto, si stimano deflussi di circa 5 l/s in magra e 200 l/s in fase di piena. Le diverse sorgenti presentano valori di temperatura e conducibilità abbastanza

	Sorgente Rio dei Camosci (*)	Sorgente Fontana Piccola	Sorgente Spisulò (*)	Fonte Plera	Presa della Plere (*)	Sorgente Plere	Sorgente Landaia	Sorgente sotto Stavolo Zouf (*)	Sorgente in sx del Rio Morto	Sorgente sotto Assais	Sorgente del Paradis	Sorgente Ambiesta	Sorgente Rio Corvet (*)	Sorgente sotto M. Tarond	Fontana Crous	Sorgente Pedaia
Tmin	6.6	6.4	7.3	8.8	5.8	5.9	-	6.6	-	7.8	7.3	8.0	8.3	7.8	4.0	6.0
Tmax	7.3	8.7	8.5	9.3	6.3	6.3	-	7.3	-	10.1	14.9	8.6	9.4	10.8	17.0	11.3
Tmed	6.9	6.9	7.8	9.0	6.1	6.1	-	6.8	-	8.6	10.4	8.3	8.4	9.3	9.6	8.7
Kmin	225	236	294	235	175	176	-	222	-	306	430	200	223	277	239	227
Kmax	270	264	319	289	225	221	-	266	-	362	510	241	280	318	298	318
Kmed	244	254	305	255	201	200	-	248	-	326	466	223	255	295	276	278

Tab. IV- Valori di temperatura (°C) e conducibilità (uS/cm) delle acque sorgive. (*) Misura effettuata allo scarico di troppo pieno della captazione.

- Springs water temperature (°C) and conductivity (uS/cm). (*) Measures carried on at the overflow drain of spring captation.

concordi evidenziando reticoli di drenaggio simili. In particolare presso la 9 - Sorgente sotto Stavolo Zouf è stata rilevata una temperatura media di 6.8°C ed una conducibilità media di 248 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valori quasi identici a quelli rilevati in alcune sorgenti della parte occidentale del massiccio.

A valle della confluenza con il rio Morto il Torrente Landaia riceve in destra orografica le acque di alcune sorgenti minori ubicate alla quota di 500-520 m. In totale sono state individuate sei scaturigini tre delle quali a carattere perenne. L'acqua sgorga dalla Dolomia Principale a brevissima distanza dal contatto tettonico con la Dolomia di Forni. L'ammasso roccioso si presenta da molto fratturato a cataclasato e l'emergenza avviene in maniera diffusa dal detrito di versante o dalle fratture. In regime di magra la portata complessiva stimata è di circa 0.3 l/s. Lo studio si è focalizzato sulla 11 - Sorgente sotto Assais. La portata varia tra 0.06 l/min e 0.2 l/s ed è in parte convogliata in una fontana dalla quale si approvvigionava il soprastante paese. A giudicare dal dimensionamento dell'opera un tempo la portata doveva essere più abbondante. La temperatura media rilevata è di 8.6°C, la conducibilità media è di 326 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

I valori isotopici riferiti alla Sorgente sotto Stavolo Zouf (fig. 9) manifestano un andamento relativamente modulato privo di evidenti variazioni connesse agli eventi infiltrativi ma con un comportamento singolare: vi è infatti una differenza di circa 0.6‰ tra i valori medi riscontrati anteriormente a gennaio 2004 e quelli rilevati successivamente. Ciò è correlato in parte al fatto che mediamente durante il 2004 si sono effettuati campionamenti in regimi con portate superiori rispetto al 2003.

Tutto ciò comparato con gli alti valori di Radon indica la presenza di una miscelazione di acque di neoinfiltrazione con acque residenti nel sistema a probabile circolazione profonda, legate alla presenza del sovrascorrimento. Si tratta di un acquifero poco carsificato e con circolazione prevalentemente dispersiva.

Le acque che scaturiscono dalla 11 - Sorgente sotto Assais sono il risultato della miscelazione di acque di riserva con acque di neoinfiltrazione. Le riserve sono molto limitate e la risposta della sorgente è fortemente influenzata dall'infiltrazione locale. Grandi sono le variazioni delle portate (da 0.001 a 0.20 l/s) e di conseguenza si riscontrano importanti variazioni isotopiche in funzione della diversa miscelazione delle acque di base con quelle di neo infiltrazione.

Aga dal Paradis (12 - Sorgente del Paradis)

Consiste in quattro piccole sorgenti situate alla quota di 480 m non lontano da Villa Verzegnis alla base del versante sud-orientale del Monte Navado, modesto rilievo (793 m s.l.m.) costituito interamente da dolomie della Dolomia di Forni e della Formazione del Monticello. La sorgente è interessata da due opere di presa ed alimenta

una fontana pubblica. L'emergenza avviene in modo diffuso lungo i giunti di strato che qui hanno giacitura a traverso poggio. Il drenaggio è condizionato da alcuni lineamenti tettonici legati alla vicina Linea dell'alto Tagliamento che determina una intensa fratturazione e talvolta la cataclasi dell'ammasso roccioso.

La mineralizzazione più elevata fra tutte le sorgenti esaminate con conducibilità media di 466 $\mu\text{S}/\text{cm}$, gli elevatissimi tenori in radon, l'andamento dei valori di $\delta^{18}\text{O}$, indicano come queste sorgenti siano praticamente avulse dal contesto idrogeologico del Monte Verzegnis ed abbiano un'alimentazione profonda legata alla Linea Monte Douf-Monte Auda.

Sorgenti dell'Ambiesta

Alla base nord orientale del massiccio, una faglia inversa pone in contatto tettonico la Dolomia Principale con la Dolomia di Forni e la Formazione del Monticello, creando una soglia di permeabilità sovrimposta. Dove tale limite risulta topograficamente più depresso (quota 505 m) si trova la 13 - Sorgente Ambiesta (fig. 12), dalla quale trae origine l'omonimo torrente: l'emergenza avviene in maniera diffusa dalla coltre detritica situata alla base del versante ed è captata dalla cartiera Burgo di Tolmezzo mediante una canalizzazione. Le portate massime raggiungono almeno i 5 m³/s, ma il dato più interessante è che in magra la portata non è mai inferiore a 200 l/s. Sulla base di osservazioni dirette si è potuto constatare come le precipitazioni inneschino l'evento di piena in poche ore. In questi casi la quota di emergenza si eleva e si crea un vero e proprio fronte sorgivo. Talvolta si attiva una sorgente di troppo pieno rappresentata dal Fontanone del Lago di Verzegnis (3638/1981 Fr), piccola cavità a sviluppo orizzontale che si apre nella Dolomia Principale alla quota di 510 m. Il comportamento idrodinamico della sorgente e la presenza di diverse cavità carsiche nelle immediate vicinanze fanno supporre che a monte vi sia un importante sistema carsico. I dati gior-

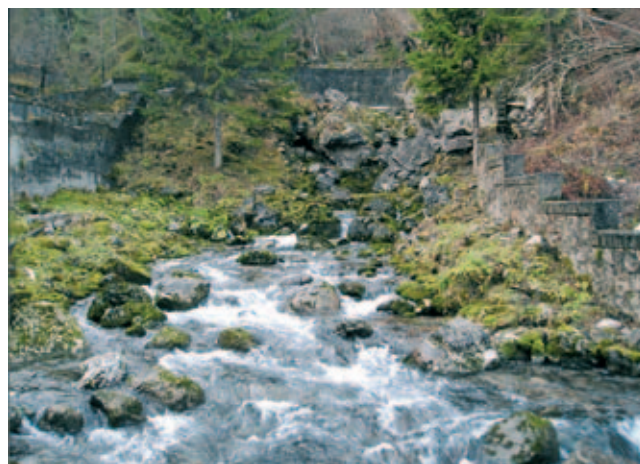


Fig. 12 - La Sorgente Ambiesta.
- Ambiesta Spring.

nalieri di portata gentilmente forniti dalla cartiera Burgo di Tolmezzo per il periodo gennaio 2000-dicembre 2004 consentono di valutare la buona capacità regolatrice dell'acquifero: ad esempio, in occasione delle piene più forti, portate di circa 200 l/s vengono raggiunte dopo un periodo di decremento lungo anche 2-3 mesi. I valori medi di conducibilità e temperatura rilevati nel corso dello studio sono rispettivamente 223 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 8.3°C.

A breve distanza dalla 13 - Sorgente Ambiesta si trova la 14 - Sorgente Rio Corvet. La scaturigine è interessata da un'opera di captazione che convoglia tutte le acque, in media 10 l/s, nell'acquedotto di Verzegnis. Con un valore medio rilevato di 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ il tenore di mineralizzazione è leggermente più alto della 13 - Sorgente Ambiesta, mentre le temperature si equivalgono.

Le sorgenti Ambiesta e Rio Corvet (fig. 9) sono caratterizzate da un comportamento del $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ simile ma da valori medi visibilmente differenti. Ciò denota circuiti di alimentazione con caratteristiche analoghe ma bacini di alimentazione diversi come già messo in luce dall'analisi degli altri parametri. In regime non influenzato l'escursione dei valori isotopici è limitata (0.23‰ per la sorgente Ambiesta, 0.48‰ per l'altra), ma considerando l'intera serie di valori disponibili tale variabilità risulta più marcata (0.95‰ per entrambe le sorgenti). Si tratta di acquiferi carsificati caratterizzati da buone riserve e da un efficace sistema a dreni interdipendenti.

Versante meridionale

In corrispondenza della Sella Chianzutan, verso oriente, sono localizzate due sorgenti alimentate dai depositi quaternari sciolti dalle quali trae origine il Rio Pedaia. La sorgente 16 - Fontana Crous (quota 786 m) alimenta una fontana con una portata variabile tra 0.02 e 0.1 l/s. La 17 - Sorgente Pedaia si manifesta con un fronte sorgivo lungo una ventina di metri la cui portata complessiva è difficilmente misurabile e che in magra non supera i 0.1 l/s. Le due sorgenti hanno mineralizzazione molto simile con valori medi di conducibilità prossimi a 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Il trend generale del $\delta^{18}\text{O}$ in diminuzione, congiuntamente al contesto geologico (depositi morenici e dolomie) indica un bacino di alimentazione con scarse riserve e tempi di transito relativamente lunghi. La quota calcolata su base isotopica per il bacino medio d'alimentazione delle sorgenti 16 - Fontana Crous e 17 - Pedaia, risulta inferiore alle emergenze stesse e quindi compatibile con precipitazioni cadute negli anni precedenti il monitoraggio.

Circa un chilometro più ad est, alle falde orientali del Monte Tarond (740 m s.l.m.) piccolo rilievo interamente costituito da Dolomia di Forni, si apre una piccola sorgente, la 15 - Sorgente sotto il Monte Tarond. L'acqua fuoriesce in maniera localizzata dalle fratture ed in due punti distinti situati a qualche metro di distanza alla quota di 592 m. La portata massima misurata è di 1.2 l/s,

mentre in condizioni di magra eccezionale la sorgente è stata trovata asciutta. La temperatura media è di 9.3°, la conducibilità 295 $\mu\text{S}/\text{cm}$. I valori isotopici, che suggeriscono alimentazione da bacino a quote medie di circa 730 m s.l.m. non compatibili con il contesto geologico, hanno minime variazioni ed un costante decremento nel tempo: dal -6.87 nel dicembre 2002 al -7.49 del dicembre 2003.

Sul lato meridionale del gruppo montuoso le scaturigini sono poche. Alla quota di 650 m in sinistra orografica del Torrente Arzino è stata individuata una sorgente perenne che scaturisce in maniera diffusa dal detrito di versante a meno di un metro dal torrente. Al momento dell'individuazione (15/01/05) la portata era di circa 3 l/s.

Considerazioni

Sulla base di rilevamenti geologici e geomorfologici, mediante il monitoraggio delle precipitazioni e delle sorgenti, si sono delineate le dinamiche di circolazione delle acque nell'idrostruttura rappresentata dal massiccio del Monte Verzegnis, riconoscendo diverse situazioni. L'idrostruttura, di forma rozzamente trapezoidale, è limitata sul lato orientale dalla linea tettonica Monte Dof-Monte Auda (un retroscorrimento) e dalle sue vicarianti che costituiscono una soglia di permeabilità sovrapposta.

Sui lati settentrionale ed occidentale si riconosce un limite di permeabilità indefinito all'interno della formazione della Dolomia di Forni. Il limite risulta di tipo aperto, dato che parte dell'acqua che si infila alle quote superiori circola nella zona dell'idrostruttura a quote più basse delle emergenze. Sono quindi da ipotizzare travasi nelle alluvioni del fondovalle che non sono quantificabili ma potrebbero essere significativi.

Sul lato meridionale la soglia di permeabilità è giustapposta ed è rappresentata da una faglia subverticale, una trascorrente sinistra che passa per la Sella Chianzutan, e da una struttura plicativa siclinale che contribuiscono ad attribuire al Torrente Arzino, che incide il vertice sudoccidentale dell'idrostruttura, una funzione drenante (figg. 1 e 2).

L'area sommitale ed il versante meridionale del massiccio sono caratterizzati da un carsismo relativamente evoluto, con un'infiltrazione elevata, minimo ruscellamento superficiale, un reticolo carsico ipogeo abbastanza sviluppato. Il versante settentrionale è caratterizzato da litotipi meno carsificabili e carsificati, il che ha portato ad un fitto reticolo idrografico superficiale con solchi di ruscellamento e forre.

Alcuni settori risultano caratterizzati da una circolazione dispersiva, altri sono attraversati da sviluppati collettori di tipo carsico ad elevata trasmissività, come messo in evidenza, a parità di composizione litologica dell'acquifero, dalla diversa mineralizzazione delle acque sorgive.

L'acquifero è drenato da numerose sorgenti ubicate perlopiù nel settore nord orientale, dove i limiti idrogeologici sono presenti alle quote topografiche minori. Sebbene le emergenze siano ubicate in litologie simili (Dolomia principale e Dolomia di Forni) i reticoli di alimentazione delle sorgenti risultano essere notevolmente differenti. Si riconoscono condizioni di carsismo poco evoluto e circolazione prevalente dispersiva nelle sorgenti dei versanti occidentale e settentrionale e nella Sorgente sotto Stavolo Zouf; situazioni a carsificazione abbastanza evoluta con un'estesa zona satura e una circolazione a dreni interdipendenti nel settore orientale in cui sgorgano le sorgenti dell'Ambiesta, e contesti in cui si è sviluppato un notevole sistema ipogeo con una zona satura poco potente e perciò a circolazione a dreno dominante nel settore orientale che fa capo alle sorgenti del Rio Plera e alla Sorgente sotto Assais.

Le piccole sorgenti del versante meridionale, la Sorgente sotto il M. Tarond e l'Aga dal Paradis alla base del versante orientale, non sono alimentate direttamente dall'idrostruttura del M. Verzegnis. Per le prime si tratta di acque contenute nei depositi sciolti superficiali a bassa permeabilità, per le altre di acque profonde a lento ricambio.

Manoscritto pervenuto il 24.XI.2009 e approvato il 3.XII.2009.

Bibliografia

- BENEDETTI, G. 1982. La Grotta di Chialduis, 297 Fr (Monte Verzegnis-Friuli). In *Atti del II Conv. Triveneto di Spel., Monfalcone, dicembre 1982*.
- BOSCHIN, W., cur. 2009. Il carsismo delle Prealpi Carniche. In *Paesaggi carsici nel Friuli Venezia Giulia*, cur. F. CUCCHI & L. ZINI, 55-70. Trieste: Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.
- CARULLI, G.B. 2006. *Note Illustrative della Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150.000*. Ed. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Firenze: S.E.L.C.A.
- CARULLI, G.B., cur. 2000. *Guida alle escursioni. Società Geologica Italiana. 80° Riunione Estiva, Trieste, 6-8 settembre 2000*. Trieste: Università degli Studi di Trieste.
- CARULLI, G.B., & M. PONTON. 1992. Interpretazione strutturale profonda del settore centrale carnico-friulano. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1992/2, CROP 1-1A: 275-284. Camerino.
- CARULLI, G.B., A. COZZI, G. LONGO SALVADOR, E. PERNARCIC, F. PODDA & M. PONTON. 2000. *Geologia delle Prealpi Carniche* (con Carta geologica delle Prealpi Carniche alla scala 1:50000 e Note Illustrative alla Carta geologica delle Prealpi Carniche). Udine: Pubbl. Mus. Friul. St. Nat. 44.
- CELLA, G.D. 1984. Cavità presso Casera Lovinzola (Monte Verzegnis, UD). *Labirinti* 4: 42-43. Novara.
- CELLA, G.D., M. CALCAGNO & P. SEBASTIANI. 1983. Cavità presso Casera Val (Monte Verzegnis, UD). *Labirinti* 3: 22-41. Novara.
- CELLA, G.D., & R. MAZZILIS. 1995. Il carsismo nel territorio di Verzegnis. *Labirinti* 15: 2-4. Novara.
- CELLA, G.D., & R. MAZZILIS. 1997. Contributo alla conoscenza del Monte Verzegnis (UD): l'area di Assais. *Labirinti* 17: 3-35. Novara.
- CELLA, G.D. 2001. Carsismo dell'area di Verzegnis. In *Il fenomeno carsico delle Prealpi Carniche Orientali*, cur. G. MUSCIO. Mem. Ist. It. Spel., s. 2, 12: 117-34.
- CELLA, G.D., P. FORTI, A. MOCCHIUTTI & G. MUSCIO. 2001. Caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei sistemi carsici delle Prealpi Carniche. In *Il fenomeno carsico delle Prealpi Carniche Orientali*, cur. G. MUSCIO. Mem. Ist. It. Spel., s. 2, 12: 145-51.
- CIVITA, M. 1972. Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione. *Memorie e Note Ist. Geol. Applic.*, 12. Napoli.
- CIVITA, M. 2005. *Idrogeologia applicata e ambientale*. Milano: Casa Editrice Ambrosiana.
- CUCCHI, F., & L. ZINI, cur. 2009. *Paesaggi carsici nel Friuli Venezia Giulia*. Ed. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Trieste: Stella Arti Grafiche.
- CUCCHI, F., F. FINOCCHIARO & G. MUSCIO, cur. 2009. *Geositi del Friuli Venezia Giulia*. Ed. Dipartimento Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Udine: Imoco-Arti Grafiche Friulane.
- D'AMELIO, L., O. FLORA & A. LONGINELLI. 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.
- FIOR, G. 1972. Verzegnis e le sue acque. Documento inedito, Archivio Fior (copia nella Biblioteca comunale di Verzegnis), Udine.
- GIOVANI, C., F. CUCCHI & B. NADALUT. 2007. La distribuzione della concentrazione di radon indoor in Friuli Venezia Giulia: aspetti geologici. In *Airp, Convegno Nazionale di Radioprotezione: Sicurezza e qualità in radioprotezione. Vasto Marina, 1-3 ottobre 2007*.
- MUSCIO, G., cur. 2001. *Il fenomeno carsico delle Prealpi Carniche Orientali (Friuli)*. Mem. Ist. It. Spel., s. 2, 12.
- PIANO, C. 1997. Analisi di facies giurassiche delle Prealpi Carniche nord-orientali. Tesi di laurea inedita. Rel. G.B. Carulli, Università degli Studi di Trieste.
- PIANO, C., & G.B. CARULLI. 2002. Sedimentazione e tettonica giurassica nella successione del gruppo del Monte Verzegnis (Prealpi Carniche nord-orientali). *Mem. Soc. Geol. It.* 57: 115-22.
- PONTON, M., & F. PODDA. 1995. Un esempio di scarpata di piattaforma norica lungo la linea M. Dof-M. Auda (Prealpi Carniche). *Atti Tic. Sc. Terra*, ser. spec., 3: 11-9.
- PONTON, M., & F. PODDA. 1997. Evoluzione paleogeografica e paleostrutturale delle Prealpi Carniche Settentrionali al passaggio Trias-Giura. *Atti Tic. Sc. Terra* 39: 269-80.

Indirizzo degli Autori - Authors' addresses:

- Walter BOSCHIN
 Franco CUCCHI
 Luca ZINI
 Dipartimento di Geoscienze
 Università degli Studi di Trieste
 Via Weiss 2, I-34127 TRIESTE
 e-mail: cucchi@univ.trieste.it