

GIOACCHINO CUSIMANO, LEONARDO GATTO,
SERGIO HAUSER & LEONARDO LA PICA

IDROGEOLOGIA ED IDROGEOCHIMICA DELL'AREA
DELLA RISERVA DI MONTE CONCA (CALTANISSETTA)¹

RIASSUNTO

È stata condotta un'indagine idrogeologica ed idrogeochimica nell'area della Riserva Naturale Integrale di Monte Conca (Provincia di Caltanissetta, Sicilia) al fine di definire i sistemi acquiferi e le caratteristiche geochimiche delle acque sotterranee ospitati in essi. I risultati ottenuti hanno mostrato come l'interazione acqua-roccia sia il processo più importante nella determinazione della composizione chimica delle acque, permettendo di distinguere acque circolanti prevalentemente in litologie carbonatiche da quelle circolanti in quelle gessose. Infine, la presenza di acquiferi dotati di elevata permeabilità, mancanti di una protezione impermeabile in superficie, rendono tali acquiferi altamente vulnerabile.

SUMMARY

Hydrogeology and hydrogeochemistry of the Reserve of Monte Conca (Caltanissetta). A hydrogeological and hydrogeochemical study has been carried out in the Natural Reserve of "Monte Conca" (Caltanissetta, Sicily) to define the hydrostructures and the geochemical features of waters present in the area. The obtained results have shown that the water-rock interaction is the main process influencing the water chemistry. In fact, water flowing in carbonate lithologies are different from those flowing through gypsum.

The presence of high permeable lithologies and a lack of impermeable surface protection makes the aquifers present in the area highly vulnerable.

¹ Lavoro eseguito con fondi MIUR (ex 60%, responsabile Prof. S. Hauser).

INTRODUZIONE

La Riserva Naturale Integrale “Monte Conca” (Fig. 1), è ubicata nella Sicilia centrale, in provincia di Caltanissetta e, con un’estensione di 245 ettari, ricade interamente nel territorio comunale di Campofranco e si caratterizza dalla presenza del Fiume Gallo d’Oro. È stata istituita per la tutela sia di due importanti cavità nei gessi che di manifestazioni carsiche superficiali ed affidata in gestione al Club Alpino Italiano - Sicilia.

L’intera area presenta diverse forme paracarsiche, di cui le più evidenti sono quelle relative alle cavità denominate dell’Inghiottitoio e della Risorgenza di Monte Conca, che si sviluppano interamente all’interno dell’omonimo rilievo gessoso (437 metri s.l.m.).

La Riserva è suddivisa in un’area di riserva integrale (zona A), che comprende l’Inghiottitoio, la Risorgenza di Monte Conca ed una porzione di territorio di 5 metri di raggio attorno ai rispettivi ingressi ed in un’area di pre-riserva (zona B), che svolge la funzione di salvaguardare ed integrare il territorio circostante con la zona di massima tutela. L’obiettivo del presente

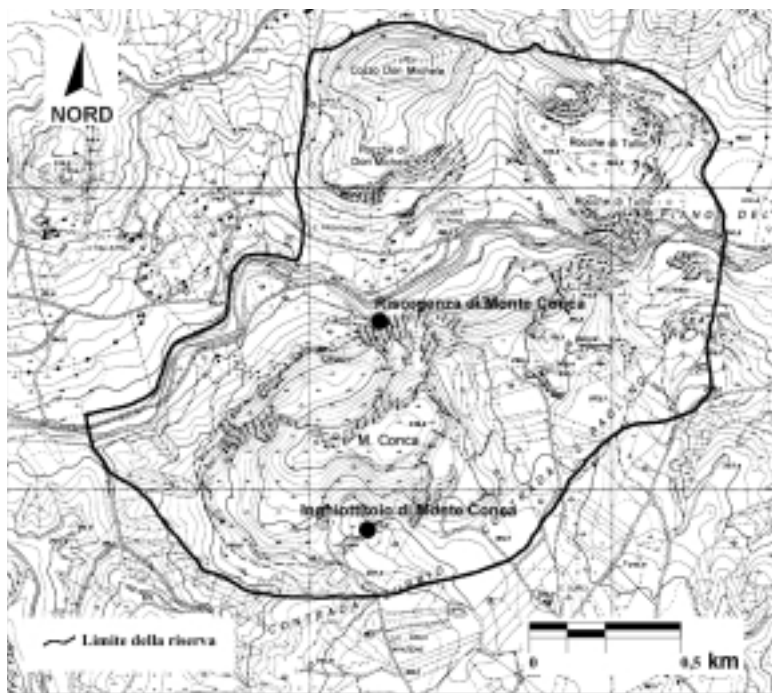


Fig. 1 — Area della Riserva Naturale Integrale “Monte Conca”.

studio è, quindi, quello di comprendere le caratteristiche idrogeologiche-geochimiche che regolano i delicati equilibri di quest'area, al fine di permettere la preservazione di questo particolare ambiente da parte dell'Ente gestore.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame è delimitata a sud dal Monte Campanella, ad oriente dall'abitato di Milena da cui si estende, per circa 4 km in direzione ovest, mentre a nord poco oltre il Fiume Gallo d'Oro.

Dal punto di vista morfologico l'area ha un andamento prevalentemente collinare e quindi al di sotto dei 600 m di altezza s.l.m., che vengono superati esclusivamente dal Monte Campanella (661 m s.l.m.). L'alveo del Fiume Gallo d'Oro si sviluppa ad una quota di circa 140 m s.l.m., prima di innestarsi in quello del Fiume Platani.

L'andamento della morfologia è fortemente influenzato dalla natura dei litotipi, dalla tettonica e dall'azione degli agenti esogeni, nonché dalla vegetazione e dal clima (AGNESI *et al.*, 1978). Si riscontra, infatti, la presenza di rilievi nelle zone a litologia più resistente e aree con deboli pendenze in corrispondenza di litotipi argillosi. I rilievi costituiti generalmente da affioramenti gessosi si estendono secondo una direzione WSW - ENE (quasi W - E), assumendo tipici andamenti collinari con versanti variamente acclivi, sino a strapiombo, lungo il Fiume Gallo d'Oro: Monte Conca, Rocche di Tullio e Rocche di Don Michele. L'acclività di tali versanti inoltre contrasta nettamente con le blande pendenze che presentano i rilievi di natura argillosa.

I principali fenomeni che condizionano la morfologia superficiale, ma con notevoli risvolti anche in profondità, sono i processi paracarsici. In superficie si riscontrano microforme tipo *karren* liberi, mentre a grande scala, è evidente la presenza di una valle cieca antistante il Monte Conca. Quest'ultimo ospita un importante sistema carsico sotterraneo attivo, attraverso il quale, l'Inghiottitoio di Monte Conca drena le acque superficiali, che tornano a giorno attraverso la Risorgenza di Monte Conca, per scaricarsi immediatamente nel Fiume Gallo d'Oro, che costituisce il livello di base del sistema.

L'Inghiottitoio, noto come "*zubbio*", si apre alla base del versante meridionale del Monte Conca ad una quota di 275 m s.l.m., alimentato da un bacino idrografico di oltre 2,5 km² di superficie. La cavità (Fig. 2) presenta un primo tratto ad andamento prevalentemente orizzontale, lungo circa 100 metri ed impostato su una preesistente frattura di chiara origine tettonica, per poi proseguire con una sequenza di 4 pozzi cascata, profondi rispettivamente 9, 12, 31 e 26 metri. Alla base dell'ultimo pozzo la cavità continua con una

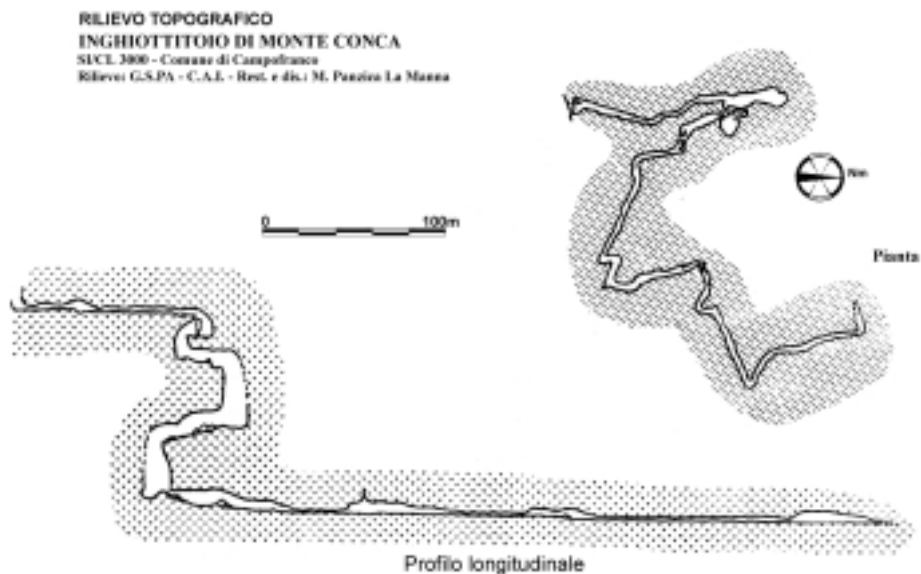


Fig. 2 — Rilievo topografico dell'Inghiottitoio di Monte Conca.

galleria meandriforme lunga 400 metri circa e di altezza variabile da 1 a 10 metri, terminante con un sifone completamente allagato.

La Risorgenza invece, conosciuta localmente come Grotta di Carlazzo (Fig. 3), si apre alla base del versante nord di Monte Conca. Tale cavità presenta un andamento esclusivamente orizzontale e si sviluppa per circa 400 metri su due livelli sovrapposti: quello inferiore attivo e fossile quello superiore (PANZICA LA MANNA, 1997).

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il paesaggio, che oggi si presenta arido e brullo, secondo notizie storiche riportate dalla letteratura specifica, doveva essere più rigoglioso ed accogliente, anche in considerazione della presenza di parecchi insediamenti rurali di epoca neolitica. Tali insediamenti umani testimoniano sicuramente la presenza sul territorio di diverse fonti di approvvigionamento idrico, essenziali per le coltivazioni e la sopravvivenza.

Nel tempo, purtroppo, a causa di fenomeni di denudazione dei suoli, di tecniche agricole di tipo intensivo, delle scarse precipitazioni e dell'incuria delle opere di presa, le portate delle sorgenti hanno subito una drastica dimi-

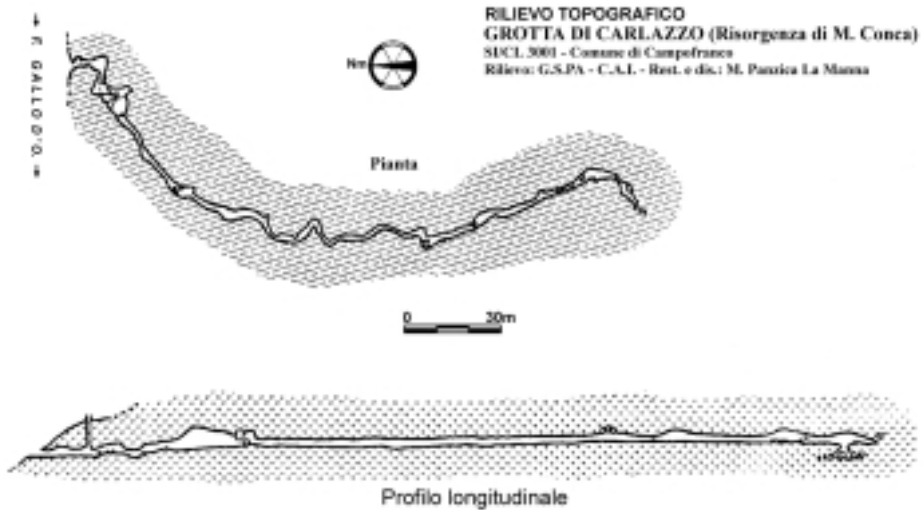


Fig. 3 — Rilievo topografico della Risorgenza di Monte Conca.

nuzione. Questo ha sicuramente accentuato la progressiva denudazione del territorio portando ad una più marcata ed irregolare idrografia superficiale, a scapito di quella sotterranea, con talora evidenti situazioni di dissesto idrogeologico.

La zona in esame è costituita, in affioramento, da depositi argillosi impermeabili su cui poggiano terreni della serie evaporitica, dotati di permeabilità per fessurazione e carsismo ed ospitanti delle falde idriche alquanto superficiali, responsabili dell'alimentazione di manifestazioni sorgentizie che si localizzano in prossimità del contatto dei terreni evaporitici con i suddetti depositi argillosi (sorgenti per limite di permeabilità definito, CIVITA, 1972).

Le varie litologie presenti, si possono raggruppare nei seguenti complessi idrogeologici (Fig. 4):

- Complesso argilloso;
- Complesso evaporitico;
- Complesso marnoso;
- Complesso dei depositi alluvionali di fondo valle;
- Complesso detritico.

Complesso argilloso (Tortoniano)

Esso costituisce il complesso inferiore e più antico, affiorante nell'area in studio e raggiunge spessori di alcune centinaia di metri. È formato da sedi-

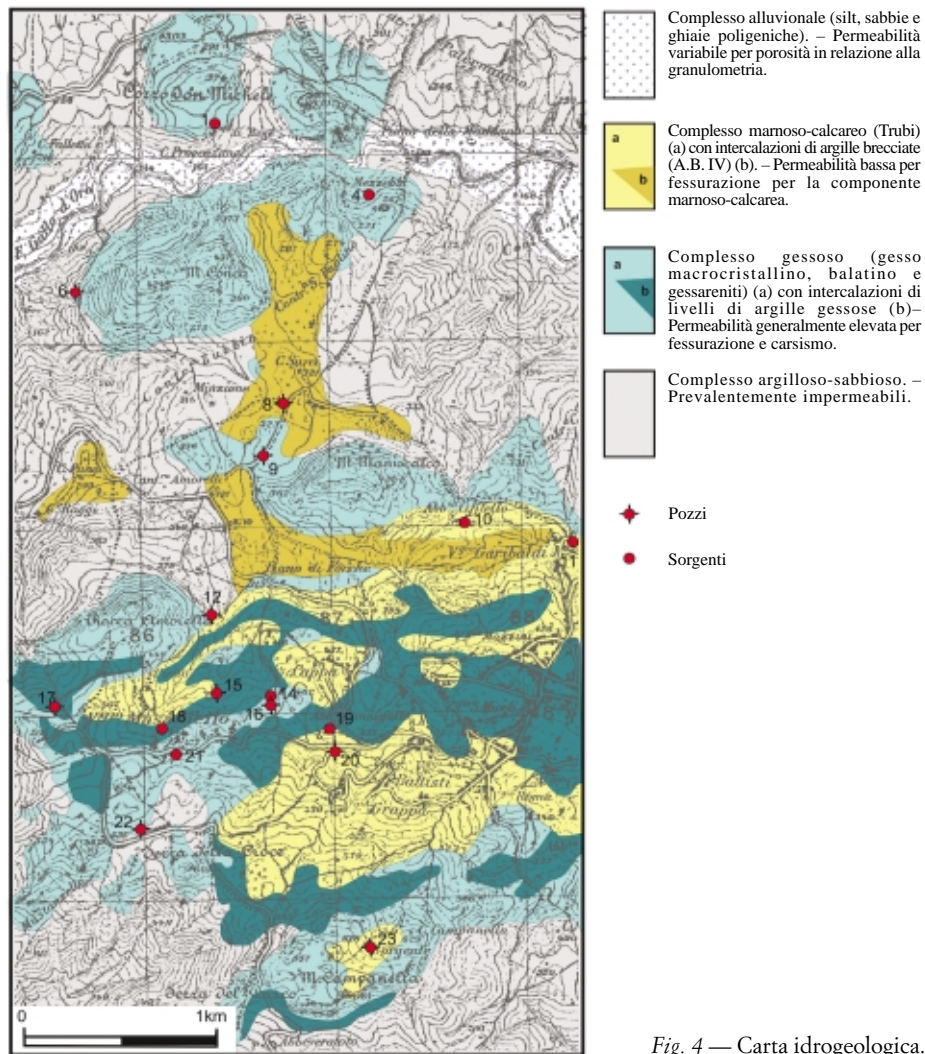
CARTA IDROGEOLOGICA "RISERVA NATURALE DI MONTE CONCA"

Fig. 4 — Carta idrogeologica.

menti terrigeni di natura deltizia rappresentati da argille ed argille sabbiose, grigio verdastre poco cementate con stratificazione indistinta attribuibili alla Formazione Terravecchia (SCHIMDT DI FRIEDBERG, 1962).

Affiora nella zona meridionale dell'area studiata, in Contrada Zubbio e tutt'intorno Monte Conca.

Tale complesso costituisce il substrato impermeabile su cui poggiano gli acquiferi della serie evaporitica sovrastante, all'altezza del quale si localizzano una serie di piccole sorgenti (sorgenti per limite di permeabilità).

Complesso evaporitico (Messiniano)

Questi depositi sono costituiti da banchi di gessi alternati ad argille gessose, che formano i rilievi più acclivi dell'area, e talora presentano intercalate, piccole lenti di calcare solfifero (AGNESI *et al.*, 1978; CATALANO, 1986).

I gessi sono caratterizzati da una permeabilità secondaria molto elevata, favorita sia dalle fratture formatesi per effetto di eventi tettonici, che da processi di dissoluzione carsica.

La falda idrica dà luogo generalmente a manifestazioni sorgentizie al contatto della successione evaporitica ed il substrato argilloso tortoniano o all'interno della successione stessa in corrispondenza delle intercalazioni di argille gessose.

Complesso marnoso calcareo (Pliocene inf.)

È costituito da successioni di marne calcaree a globigerine (*Trubi*) con talora intercalazioni di breccie ad elementi argillo-marnosi in matrice argillosa (A.B. IV, OGNIBEN, 1954). Le marne calcaree costituiscono il litotipo principale sul quale ricadono l'intero abitato di Milena ed i "villaggi" adiacenti.

Questo complesso è caratterizzato da una permeabilità, legata principalmente a sistemi discontinui di fratturazione. Le fratture tendono ad occludersi per la deposizione di residui argillosi insolubili, veicolati dalle acque circolanti. Chiaramente questi residui impermeabili sono il prodotto dell'erosione delle marne calcaree e delle argille brecciate.

La falda idrica in rete di frattura, alquanto effimera, ospitata in tale complesso, alimenta alcune sorgenti (s. per limite di permeabilità indefinito) di scarsa portata.

Complesso dei depositi alluvionali di fondo valle (Recente)

Il complesso comprende alluvioni di fondovalle antiche e recenti, ed è costituito essenzialmente da silt, sabbie e ghiaie poligeniche.

Dal punto di vista idrogeologico questi depositi sono caratterizzati da una permeabilità per porosità, generalmente alta nei livelli più grossolani.

Appartengono a tale complesso i depositi alluvionali del Fiume Gallo d'Oro, che costituiscono uno dei principali acquiferi dell'area studiata, in rapporto idraulico con le acque di scorrimento superficiale dell'omonimo fiume.

Complesso detritico (Recente)

Presentano varie dimensioni e sono di natura prevalentemente gessosa, con un debole grado di cementazione. Si localizzano per lo più alla base del versante nord di Monte Conca, ai piedi delle Rocche di Tullio e nei pressi della sorgente Mezzebbi.

Tale complesso è caratterizzato da una permeabilità media per porosità.

PARTE SPERIMENTALE

Nell'area in esame sono state effettuate due campagne di campionamento di acque (aprile e novembre 2001) per un totale di 43 campioni.

I siti di campionamento, la cui ubicazione è mostrata in Fig. 4, sono costituiti da pozzi, sorgenti, dall'ingresso dell'Inghiottitoio di Monte Conca e dal pozzetto di uscita delle acque di un depuratore.

Per tutti i campioni d'acqua prelevati sono state effettuate in situ misure di temperatura, conducibilità, Eh e pH. I campioni sono stati filtrati con filtri da 0,45 μm e conservati in contenitori in PVC. Per ciascun campione sono state conservate separatamente 3 aliquote: due, filtrate, di cui una successivamente acidificata con HNO_3 ultrapuro, sono state destinate alle analisi di laboratorio per la determinazione dei principali costituenti chimici, la terza, tal quale, è stata destinata ad eseguire misure sulla composizione isotopica ($\delta^{18}\text{O}$).

I risultati sono riportati in Tabella 1.

DISCUSSIONE

Caratterizzazione geochimica

Nel diagramma di LANGELIER & LUDWIG (1942) sono riportati i valori di reazione delle acque analizzate (Fig. 5).

Da una prima osservazione si può notare la presenza di due gruppi principali di acque. Il primo gruppo ricade nel quadrante delle acque clorurato-solfato-alcaline, ed è relativo alle acque prelevate lungo il fiume Gallo d'Oro ed alle acque di uscita del depuratore.

Il secondo gruppo ricade nel quadrante delle acque clorurato-solfato-alcaino-terrose. Di questo gruppo fanno parte tutte le acque prelevate dai pozzi e dalle sorgenti.

Il diagramma (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) consente di visualizzare i rapporti tra i costituenti anionici principali, espressi in percentuale (Fig. 6).

Tabella 1
 Analisi delle acque campionate nell'area di studio, campionamenti di maggio e novembre 2001.
 La composizione isotopica è riferita allo standard internazionale V-SMOW.

N.	Temp. °C	Cond. mS/cm	Ph	Li meq/l	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	F meq/l	Cl meq/l	Br meq/l	SO ₄ meq/l	HCO ₃ meq/l	NO ₃ meq/l	δ ¹⁸ O ‰
1	14,6	2,40	8,05	0,01	3,09	0,61	32,99	4,67	0,05	2,14	0,00	40,54	1,55	0,38	-3,86
2	19,0	26,30	8,45	0,53	254,57	8,14	27,81	24,97	0,00	235,13	0,11	57,58	3,05	0,24	-3,73
3	16,8	23,50	8,10	0,94	231,93	7,41	30,72	25,97	0,00	250,57	0,07	45,56	3,05	0,08	-3,76
4	16,1	2,60	7,17	0,08	2,74	0,15	32,80	5,06	0,06	2,23	0,00	31,75	3,75	0,38	-4,54
5	14,4	2,81	7,79	0,05	5,84	0,76	33,50	7,51	0,06	6,28	0,01	39,66	2,55	0,40	-4,76
6	12,9	2,86	7,72	0,01	7,83	0,38	29,26	5,25	0,04	2,04	0,01	36,52	2,95	0,00	-4,41
7	15,7	3,07	8,12	0,05	7,79	0,70	34,40	6,89	0,04	7,84	0,01	37,79	3,70	0,82	-4,51
8	16,6	2,75	8,19	0,05	10,08	0,55	21,52	3,42	0,04	10,93	0,02	18,76	3,80	0,16	-4,05
9	18,1	2,84	6,99	0,01	5,94	0,31	32,90	3,92	0,04	4,53	0,01	32,04	3,85	1,70	-4,78
10	17,1	1,60	7,17	0,05	5,69	0,33	9,22	4,21	0,02	6,00	0,01	6,95	6,10	1,45	-5,17
11	17,3	2,12	7,35	0,04	5,72	0,42	18,82	4,22	0,03	5,74	0,01	13,81	5,00	3,52	-5,34
12	18,0	2,77	7,30	0,05	5,28	0,29	30,15	5,88	0,07	4,40	0,00	33,26	1,80	0,17	-5,19
13	17,6	1,66	7,54	0,00	8,99	1,26	6,56	2,86	0,01	4,08	0,00	4,36	2,25	12,16	-5,54
14	18,7	3,05	7,40	0,00	6,50	0,15	33,72	5,71	0,08	7,44	0,01	32,57	4,15	0,00	-5,20
15	19,2	2,53	7,24	0,05	2,40	0,17	32,95	2,53	0,05	4,42	0,01	28,98	4,60	1,45	-5,19
16	16,2	2,69	7,07	0,01	5,10	0,17	35,26	3,48	0,03	3,46	0,01	30,97	4,40	1,22	-4,79
17	13,7	2,09	7,07	0,02	4,27	0,20	21,52	5,23	0,03	3,91	0,01	21,20	5,15	0,50	-5,26
18	16,0	2,88	7,20	0,05	5,88	1,76	34,83	5,95	0,03	6,06	0,01	35,36	4,20	2,49	-5,10
19	17,1	1,02	7,54	0,01	1,76	0,06	10,05	1,07	0,03	1,62	0,00	5,15	5,15	0,47	-5,31
20	17,2	0,97	7,19	0,01	1,63	0,07	9,38	1,02	0,03	1,77	0,00	4,59	4,95	0,55	-5,53
21	17,0	2,77	7,22	0,01	6,40	0,67	34,65	5,15	0,03	6,51	0,00	36,38	3,60	0,70	-4,95
22	13,3	2,67	7,23	0,05	5,33	0,11	29,82	10,95	0,10	3,07	0,00	34,69	4,15	0,00	-4,63
23	15,0	1,36	7,41	0,05	2,04	0,24	14,35	1,36	0,02	3,18	0,00	10,71	3,15	0,00	-5,13

MAGGIO 2001

segue tabella 1

continua tabella 1

N.	Temp. °C	Cond. mS/cm	Ph	Li meq/l	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	F meq/l	Cl meq/l	Br meq/l	SO ₄ meq/l	HCO ₃ meq/l	NO ₃ meq/l	δ ¹⁸ O ‰
1	14,5	2,70	7,85	0	3,1	0,21	30,37	3,26	0,08	4,1	0,01	28,96	1,65	0,39	-3,69
2	16,2	24,60	8,05	0	208,43	6,64	24,16	17,21	0	191,62	0,18	38,83	3,05	0,77	-3,21
3	15,1	28,50	7,84	0	251,37	7,75	26,76	23,96	0	247,41	0,24	48,83	3,1	0,68	-3,23
4	16,4	2,630	6,98	0,01	2,99	0,18	31,73	5,43	0,09	3,43	0,01	28,97	3,7	0,54	-4,59
5	14,7	2,84	7,56	0,01	2,24	0,32	32,01	5,42	0,12	3,64	0,01	34,66	2,15	0,11	-4,73
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	16,8	2,80	8,12	0	11,68	0,67	21,04	3,35	0,05	10,7	0,03	19,14	3,35	0,17	-3,86
9	17,1	2,85	7,06	0,01	5,92	0,35	33,16	4,1	0,07	5,61	0	30,15	4,15	1,38	-4,56
10	16,7	1,58	7,06	0	5,57	0,32	9,83	4,13	0	5,02	0	6,05	6,2	1,54	-5,16
11	16	2,38	7,87	0	5,65	0,29	18,72	3,89	0	5,79	0	12,78	4,8	3,56	-5,52
12	17,9	3,24	7,49	0,01	6,03	0,25	31,2	5,45	0,1	5,16	0	32,54	1,8	0,15	-5,05
13	13,9	1,41	7,6	0	7,7	0,81	5,64	1,1	0	3,32	0	4,06	1,7	8,43	-3,89
14	16,5	3,48	7,15	0,02	6,29	0,15	33,24	5,51	0,09	6,29	0,01	31,26	4,45	0,05	-5,2
15	13,5	2,96	7,36	0,01	3,17	0,24	33,57	2,77	0,06	4,11	0	25,97	4,9	1,64	-4,98
16	16,5	3,06	7,06	0,01	5,5	0,28	31,47	2,96	0,03	3,75	0,01	28,25	4,15	0,47	-5,04
17	14,3	2,33	6,97	0	4,29	0,24	21,69	3,73	0,03	3,68	0	18,23	4,85	0,61	-4,98
18	15,4	3,48	7,32	0	6,37	1,16	34,33	3,66	0,04	5,35	0	32,43	3,9	3,35	-4,96
19	12,9	1,18	7,41	0	2,03	0,07	9,9	1,08	0	1,49	0	5,34	5,35	0,5	-5,08
20	18,1	1,15	7,18	0	2,23	0,12	9,49	1,04	0	1,59	0	5,15	4,6	0,56	-5,09
21	16	3,16	7,08	0,01	6,08	0,19	32,91	2,84	0,04	5	0	34,44	3,45	0,55	-4,81
22	16,1	3,45	7,27	0,02	6,23	0,14	29,52	11,9	0,11	4,2	0,01	35,15	4,15	0	-4,6
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NOVEMBRE 2001

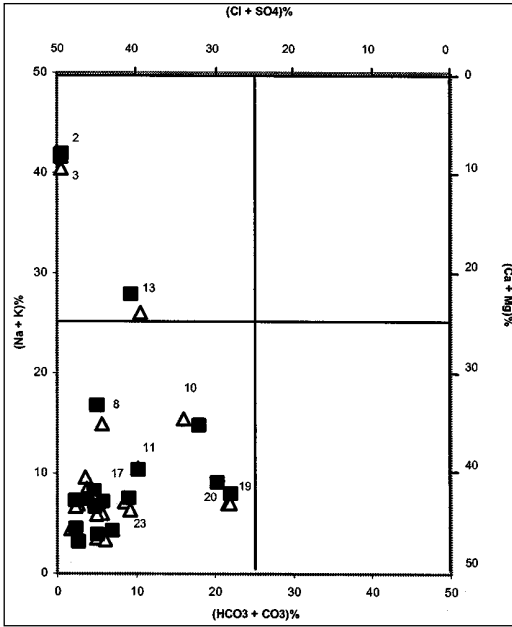


Fig. 5 — Diagramma classificativo Langelier e Ludwig. I simboli vuoti rappresentano i campioni prelevati a maggio 2001, mentre quelli pieni si riferiscono al campionamento di novembre 2001.

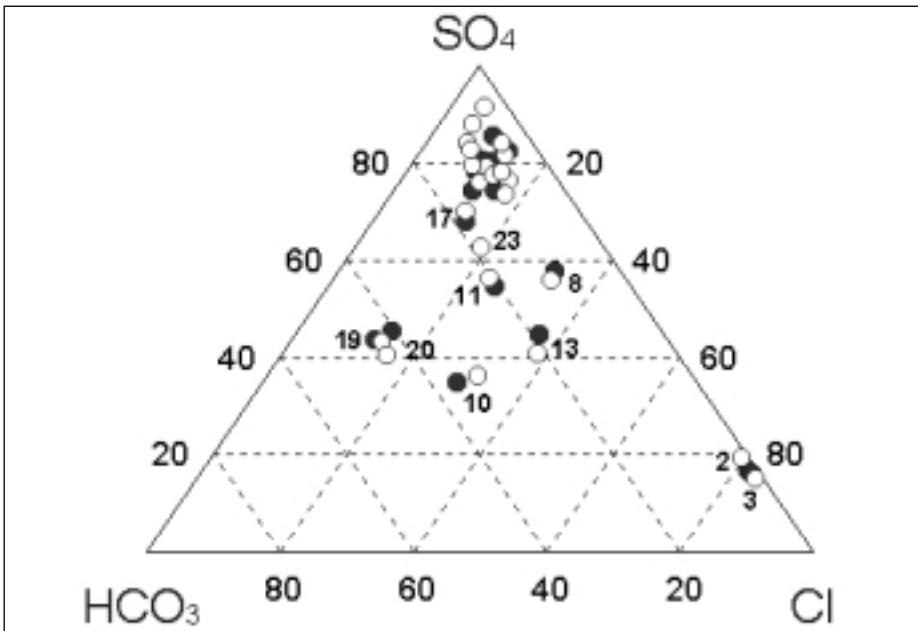


Fig. 6 — Diagramma ternario delle specie anioniche.

Da un primo esame del grafico risulta evidente la presenza di un trend che dal vertice SO_4 , si sposta verso il vertice HCO_3 . Si possono così discriminare le acque più ricche in SO_4 , come originate da un acquifero impostato prevalentemente in rocce gessose, dalle acque che se ne discostano e che subiscono l'influenza di rocce carbonatiche quali i trubi. Comportamento a se stante seguono i campioni prelevati al fiume (n° 2 e 3), che ricadono in prossimità del vertice Cl a causa, come precedentemente accennato, della presenza lungo il percorso del fiume di parecchie miniere di sale.

I diagrammi $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ mostrano come tutti i campioni analizzati siano allineati lungo una retta che indica un rapporto di circa 1:1 tra i due elementi (Fig. 7). Tale allineamento indica quindi che le acque contengono in soluzione una certa quantità di cloruro di sodio, in accordo alla natura evaporitica delle rocce presenti nell'area.

Nel complesso non si notano variazioni composizionali tra i due campionamenti ad eccezione del campione n° 5 prelevato alla Risorgenza di Monte Conca, che nel secondo campionamento presenta una diminuzione del contenuto in Na e Cl pari a circa il 48%. Tale diminuzione potrebbe essere spiegata considerando che durante il periodo del secondo campionamento, coincidente con un periodo di magra, le acque della Risorgenza non hanno ricevuto contributi da parte del bacino di alimentazione superficiale che con-

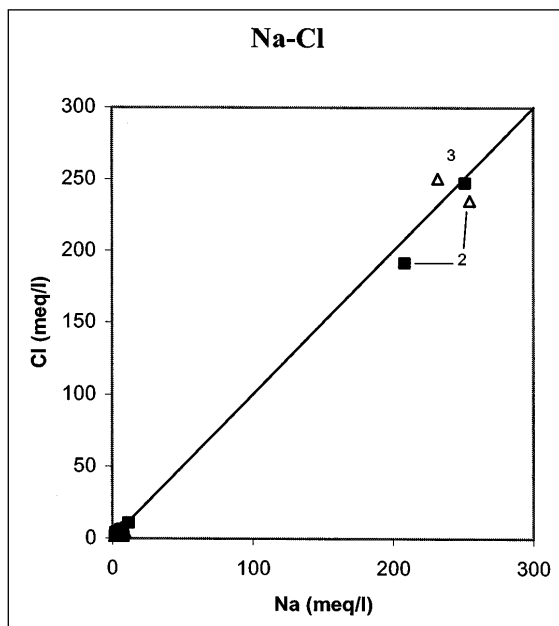


Fig. 7 — Diagramma binario Na-Cl.

voglia le acque all'Inghiottitoio di Monte Conca. Ciò viene confermato dal fatto che le acque drenate dall'inghiottitoio (campione n° 7) durante il primo campionamento risultano ricche in Na e Cl, e che nel periodo del secondo campionamento l'inghiottitoio è risultato completamente asciutto non alimentando così la connessa risorgenza.

Come era prevedibile, la maggior parte dei campioni, ad eccezione di quelli prelevati al fiume, si allineano lungo una retta inclinata a 45° nel diagramma $\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ (Fig. 8), che evidenzia come il rapporto Ca/SO_4 si mantenga, nei campioni, costante e prossimo ad 1. Chiaramente questo allineamento è riconducibile alla natura gessosa delle rocce su cui sono impostati gli acquiferi.

Si può, inoltre, osservare un trend con un rapporto Ca/SO_4 superiore ad 1, sul quale ricadono i campioni prelevati da acque che scorrono nei trubi e quindi meno ricche in solfato. Gli unici campioni che invece presentano un rapporto Ca/SO_4 inferiore ad 1, sono il n° 2 ed il n° 3, a causa della presenza di moti turbolenti lungo il percorso del Fiume Gallo d'Oro, che favoriscono la precipitazione di carbonato di calcio impoverendo le concentrazioni di calcio in tali acque.

Nel diagramma $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}$ (Fig. 9), contrariamente a quanto visto nel precedente si possono considerare tre principali allineamenti lungo tre rette inclinate a 32°, 13° e 6,5°. Tali allineamenti sono spiegabili tenendo conto della natura calcarea (*Trubi*) degli acquiferi con un progressivo interessamento delle circostanti litologie gessose.

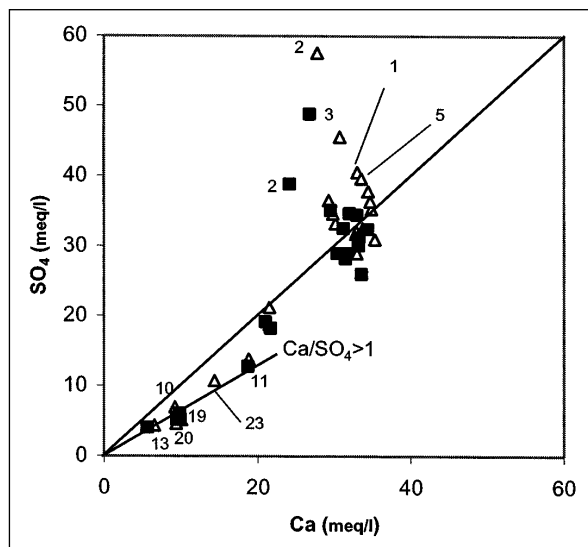


Fig. 8 — Diagramma binario Ca-SO_4 .

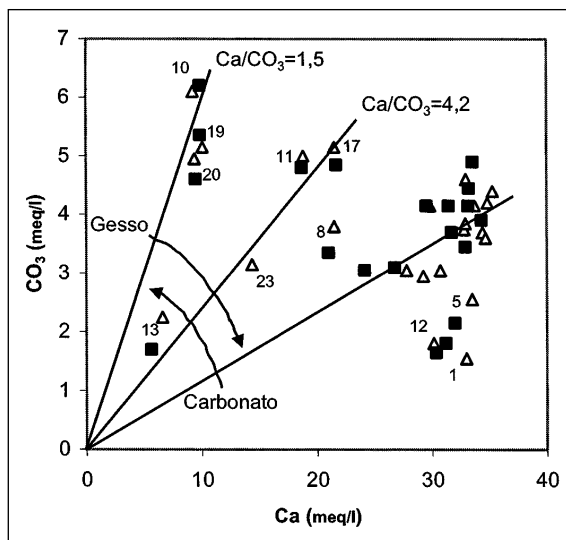


Fig. 9 — Diagramma binario Ca-CO₃, le frecce indicano rispettivamente, un progressivo arricchimento in carbonato o gesso.

Indici di saturazione

I principali fattori che determinano la ripartizione delle specie chimiche fra le fasi acquose e quelle solide nel corso dei processi d'interazione sono:

- l'instabilità dei minerali rispetto alla soluzione con cui sono a diretto contatto;
- la precipitazione di fasi solide secondarie.

Nel caso specifico, si è operato il calcolo degli indici di saturazione per le acque campionate rispetto alle seguenti fasi mineralogiche: anidrite (CaSO₄), aragonite (CaCO₃), calcite (CaCO₃), dolomite (CaMg(CO₃)₂), fluorite (CaF₂) e gesso (CaSO₄ • 2H₂O). La scelta di queste fasi è stata dettata dalle litologie presenti nell'area.

Le attività delle specie ioniche nelle acque sono state calcolate attraverso il programma di calcolo "PHREEQC" (PARKHURST, 1995). Gli indici di saturazione così calcolati (Tab. 2), mostrano che tutti i campioni risultano sottosaturi o vicini alla saturazione in anidrite, con valori più negativi per le acque che scorrono nei *Trubi*. Queste ultime risultano, evidentemente, sottosature anche in gesso, che però satura tutte le altre acque campionate.

Per quanto riguarda l'aragonite e la calcite si nota che tutte le acque ne sono sovrassature, soprattutto quelle che entrano all'inghiottitoio di M. Conca. Il fatto che tali acque, all'uscita dalla connessa Risorgenza, risultino meno sovrassature, può essere spiegato, oltre che da fenomeni di mescola-

Tabella 2

Indici di saturazione relativi alle acque campionate e alle fasi mineralogiche presenti nell'area.

N.	Data	Anidrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Fluorite	Gesso
1	Mag. 2001	-0,17	0,65	0,80	0,75	-0,42	0,08
1	Nov. 2001	-0,28	0,51	0,66	0,34	0,03	-0,03
2	Mag. 2001	-0,49	1,09	1,23	2,50	n.d.	-0,26
2	Nov. 2001	-0,63	0,69	0,84	1,57	n.d.	-0,39
3	Mag. 2001	-0,53	0,81	0,96	1,90	n.d.	-0,29
3	Nov. 2001	-0,56	0,49	0,64	1,25	n.d.	-0,32
4	Mag. 2001	-0,25	0,23	0,38	-0,03	-0,25	0,00
4	Nov. 2001	-0,29	0,04	0,19	-0,36	0,10	-0,04
5	Mag. 2001	-0,19	0,62	0,77	0,88	-0,27	0,06
5	Nov. 2001	-0,22	0,34	0,49	0,20	0,35	0,02
6	Mag. 2001	-0,24	0,55	0,70	0,63	-0,62	0,01
7	Mag. 2001	-0,20	1,12	1,27	1,86	-0,63	0,04
8	Mag. 2001	-0,56	1,12	1,27	1,76	-0,71	-0,31
8	Nov. 2001	-0,56	0,99	1,14	1,51	-0,53	-0,32
9	Mag. 2001	-0,25	0,09	0,24	-0,41	-0,63	-0,01
9	Nov. 2001	-0,27	0,19	0,34	-0,20	-0,12	-0,02
10	Mag. 2001	-1,17	0,10	0,24	0,18	-1,56	-0,93
10	Nov. 2001	-1,20	0,02	0,17	-0,01	n.d.	-0,95
11	Mag. 2001	-0,70	0,42	0,57	0,52	-0,99	-0,45
11	Nov. 2001	-0,72	0,90	1,05	1,43	n.d.	-0,48
12	Mag. 2001	-0,27	0,03	0,18	-0,32	-0,19	-0,02
12	Nov. 2001	-0,26	0,23	0,38	0,04	0,14	-0,02
13	Mag. 2001	-1,47	-0,08	0,07	-0,19	-2,28	-1,23
13	Nov. 2001	-1,50	-0,23	-0,08	-0,89	n.d.	-1,25
14	Mag. 2001	-0,25	0,54	0,69	0,66	-0,05	-0,01
14	Nov. 2001	-0,26	0,29	0,44	0,13	0,09	-0,02
15	Mag. 2001	-0,27	0,45	0,60	0,13	-0,42	-0,03
15	Nov. 2001	-0,30	0,53	0,69	0,27	-0,16	-0,05
16	Mag. 2001	-0,24	0,24	0,39	-0,22	-0,81	0,01
16	Nov. 2001	-0,29	0,17	0,32	-0,36	-0,84	-0,05
17	Mag. 2001	-0,50	0,12	0,27	-0,10	-0,93	-0,25
17	Nov. 2001	-0,54	0,02	0,18	-0,43	-0,90	-0,29
18	Mag. 2001	-0,22	0,31	0,46	0,17	-0,86	0,03
18	Nov. 2001	-0,24	0,40	0,55	0,13	-0,58	0,01
19	Mag. 2001	-1,18	0,48	0,63	0,31	-1,08	-0,93
19	Nov. 2001	-1,17	0,29	0,45	-0,11	n.d.	-0,91
20	Mag. 2001	-1,24	0,10	0,25	-0,44	-1,10	-1,00
20	Nov. 2001	-1,19	0,07	0,22	-0,49	n.d.	-0,95
21	Mag. 2001	-0,20	0,20	0,42	0,04	-0,88	0,04
21	Nov. 2001	-0,22	0,09	0,24	-0,57	-0,60	0,03
22	Mag. 2001	-0,27	0,24	0,39	0,32	0,14	-0,02
22	Nov. 2001	-0,29	0,31	0,46	0,54	0,16	-0,04
23	Mag. 2001	-0,81	0,19	0,34	-0,34	-1,32	-0,56

mento con le acque che percolano attraverso il rilievo gessoso (meno saturate in queste fasi mineralogiche, campioni n° 4 e 6), anche dalla precipitazione di queste fasi, che avviene lungo i tratti verticali della cavità, in cui sono presenti notevoli concrezionamenti di carbonato di calcio.

Gli indici di saturazione della dolomite presentano valori variabili, ma sempre prossimi allo zero e quindi vicini alla saturazione. Mentre le acque risultano sempre sottosature in fluorite indicando, quindi, l'improbabile precipitazione di questa fase.

Infine, bisogna sottolineare che gli indici di saturazione del campione n° 2, denominato Fiume a monte, evidenziano una maggiore saturazione in tutte le fasi considerate, rispetto al campione n° 3, denominato Fiume a valle. Tale andamento, può trovare giustificazione nella precipitazione delle varie fasi mineralogiche, nel tratto di fiume compreso fra i due siti di campionamento; la precipitazione, in questo tratto di fiume, è sicuramente favorita dai moti turbolenti presenti per il restringimento della sezione, nei pressi delle Rocche di Tullio e, a causa di piccole rapide, nei pressi della Risorgenza di Monte Conca.

Caratterizzazione isotopica

Le composizioni isotopiche ($\delta^{18}\text{O}$), non risultano particolarmente differenti tra un campionamento e l'altro, indicando, quindi, che i periodi di campionamento hanno avuto una normale stagionalità.

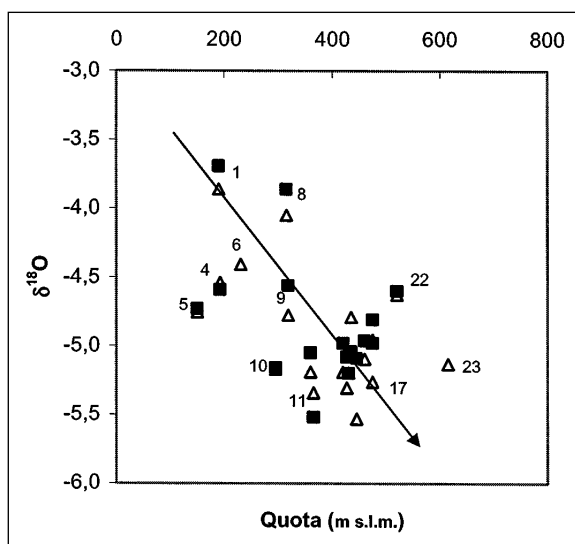


Fig. 10 — Diagramma binario Quota- $\delta^{18}\text{O}$.

Osservando il diagramma (Fig. 10), si osserva un trend che porta ad una negativizzazione in $\delta^{18}\text{O}$ con l'aumento della quota, indicando così una origine prevalentemente meteorica.

Se consideriamo i dati raccolti da HAUSER *et al.* (1980), riguardanti la composizione isotopica delle precipitazioni in Sicilia ed il relativo gradiente isotopico verticale, e calcoliamo la composizione isotopica media delle acque meteoriche nell'area sotto studio, otteniamo un valore di $\delta^{18}\text{O}$ circa -7% . Tale valore risulta decisamente più negativo rispetto ai valori ottenuti.

Tale positivizzazione potrebbe derivare dall'evaporazione di tali acque, che sicuramente seguono dei percorsi sotterranei abbastanza superficiali. Analizzando però il diagramma Cl- $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 11), l'ipotesi di una possibile evaporazione delle acque non trova riscontro o almeno non è il processo più importante. Infatti le acque arricchendosi in cloruro, non mostrano una positivizzazione in $\delta^{18}\text{O}$, prevedibile invece nel caso di processi evaporativi.

Osservando il diagramma HCO_3 - $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 12), si osserva un trend, in cui le acque povere in HCO_3 tendono a positivizzarsi. Si nota inoltre che le acque che scorrono nei trubi, quindi ricche in HCO_3 , sono quelle con composizioni isotopiche più negative in $\delta^{18}\text{O}$, mentre quelle che scorrono nei gessi risultano meno negative.

Da queste considerazioni, si può dire che la positivizzazione delle acque campionate, rispetto a quelle meteoriche, è dovuta all'interazione di queste con le litologie gessose.

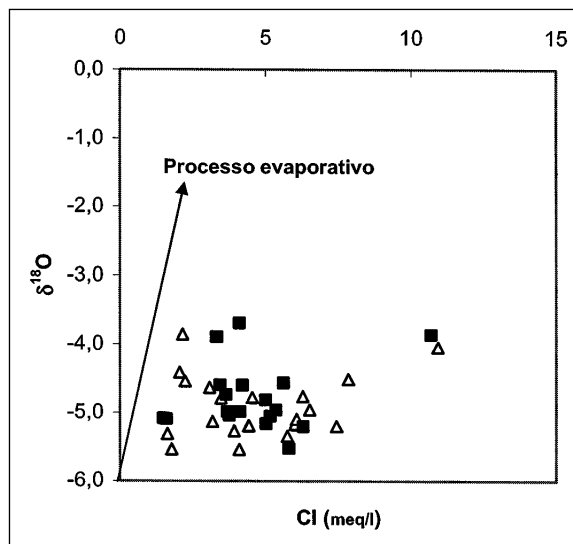


Fig. 11 — Diagramma binario Cl- $\delta^{18}\text{O}$.

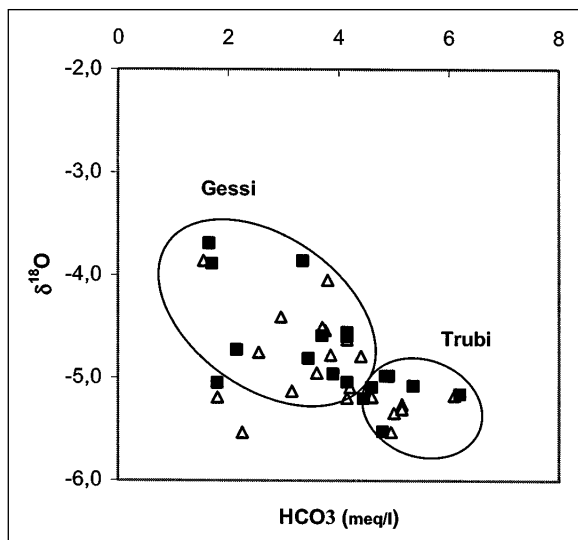


Fig. 12 — Diagramma binario HCO₃-δ¹⁸O.

Come rilevato da GONFIANTINI & FONTES (1963), le molecole d'acqua di idratazione del gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sono arricchite in O^{18} del 4%o rispetto all'acqua madre in cui il gesso viene precipitato, quindi il successivo dilavamento del gesso e la conseguente messa in soluzione di quest'acqua di idratazione, dovrebbe portare ad una positivizzazione delle acque.

CONCLUSIONI

Alla luce dei dati raccolti e delle indagini condotte appare chiaro che il principale processo che influenza la composizione chimica ed isotopica delle acque superficiali e circolanti negli acquiferi dell'area studiata, è rappresentato da processi di interazione acqua-roccia.

In generale è chiaro che, dal punto di vista idrogeologico, l'area studiata presenta degli acquiferi, di natura evaporitica, ospitanti falde idriche superficiali, ed un marcato reticolo idrografico, con corsi d'acqua temporanei, là dove sono presenti litologie argillose.

Le principali reazioni che avvengono sono sicuramente quelle di dissoluzione dei gessi, che portano in soluzione principalmente Ca^{2+} e SO_4^{2-} e, in maniera secondaria, quelle che coinvolgono i "trubi", con apporti in soluzione di HCO_3^- ed ulteriore Ca^{2+} . Fanno eccezione le acque del Fiume Gallo d'Oro che, provenendo da aree in cui sorgono diverse miniere di salgemma,

risultano chiaramente ricchissime in Na^+ e Cl^- . Anche le analisi isotopiche confermano che il processo di dissoluzione dei gessi riveste grande importanza nella geochimica delle acque circolanti. Tale processo infatti porta in soluzione molecole d'acqua che generano una positivizzazione della composizione isotopica delle acque campionate.

Attraverso il confronto fra la composizione chimica delle acque assorbite dall'Inghiottoio di Monte Conca e quelle uscenti dalla Risorgenza e constatando la notevole influenza delle prime sulle seconde, si può certamente confermare la stretta connessione fra le due cavità.

La presenza di litologie alquanto permeabili, sede di falde idriche a bassa soggiacenza, e la mancanza di coperture impermeabili, caratterizzano la Riserva Naturale Integrale di Monte Conca come area ad elevato grado di vulnerabilità all'inquinamento.

Ringraziamenti — Un particolare ringraziamento va all'Ente gestore della RNI di Monte Conca (Club Alpino Italiano - Sicilia) nella persona del suo Direttore, Vincenzo Biancone, che ha contribuito, anche finanziariamente, allo svolgimento della ricerca.

BIBLIOGRAFIA

- AGNESI V., MACALUSO T., PANZICA LA MANNA M., PIPITONE G., MADONIA P. & MONTORO M., 1978 — Il carsismo nelle evaporiti della Sicilia: escursioni. — *Le grotte d'Italia*, (4) XIII: 205-213.
- CATALANO R., 1986 — Le evaporiti messiniane. Loro ruolo nell'evoluzione geologica della Sicilia. — *Le grotte d'Italia*, (4) XIII: 109-122.
- CIVITA M., 1972 — Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione. — *Mem. e Note Ist. Geol. Appl.*, 12.
- DECIMA A. & WEZEL F. C., 1971 — Osservazioni sulle evaporiti messiniane della Sicilia centro-meridionale. — *Riv. Min. Sicil.*, n. 130-132: 172-187.
- GONFIANTINI R. & FONTES J. C., 1963 — Oxygen isotopic fractionation in the water of crystallization of gypsum. — *Nature*, 200: 644-646.
- HAUSER S., DONGARRÀ G., FAVARA R. & LONGINELLI A., 1980 — Composizione isotopica delle piogge in Sicilia. Riferimenti di base per studi idrogeologici e relazioni con altre aree mediterranee. — *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 36 (2): 671-680.
- LANGELIER W. F., Ludwig H. F., 1942 — Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters. — *J. A. Water Works Assoc.*, 34: 355-352.
- OGNIBEN L., 1954 — Le "argille brecciate" siciliane. — *Mem. Ist. Geol. Min. Univ.*, Padova, 18: 40-72.
- PANZICA LA MANNA M., 1997 — Aspetti del fenomeno carsico sotterraneo nel territorio di Milena (CL). — Pp. 27-36 in V. La Rosa (a cura di), Dalle Capanne alle Robbe. La storia lunga di Milocca-Milena. Pro Loco, Milena.
- PARKHURST D. L., 1995 — PHREEQC, a computer program for speciation, reaction path, advective transport and inverse geochemical calculations. — USGS Water resources Investigations, Lakewood, CO, Report 95: 4227.

SCHIMDT DI FRIEDBERG P., 1962 — Introduction à la géologie pétrolière de la Sicile. — *Revue Inst. Franc. du Petr.*, 17 (5): 635-668.

Indirizzo degli Autori. — G. CUSIMANO, L. GATTO, Dipartimento di Geologia e Geodesia, Università di Palermo, Corso Tukory n. 131 - 90134 Palermo (I); S. HAUSER, L. LA PICA, Dipartimento di Chimica e Fisica della Terra, Università di Palermo, Via Archiarafi n. 36 - 90123 Palermo (I).