

- **Venuta Calcarea (VC):** è l'acqua proveniente da una serie di fratture poste ancora presso il fronte del livello 2 ad una quota di 160 m s.l.m., caratterizzata da abbondanti depositi calcarei con una portata di circa 1÷1,5 l/s. Attualmente il flusso idrico è nullo;

È stato, inoltre, eseguito un campionamento e relativa analisi dell'acqua proveniente dal foro di sondaggio denominato **VN** per confrontare i dati con quelli del sondaggio SLB17.

Per la caratterizzazione chimico-fisica delle diverse acque circolanti nell'ammasso gessoso e nella rete idrografica superficiale sono stati effettuati una serie di campionamenti e successive analisi chimiche presso il Laboratorio di Ricerche Idrogeologiche e Biotossicologiche del DIATI (Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture) del Politecnico di Torino.

Dall'inizio dello studio sono state campionate le diverse venute individuate nell'area di cava ed eseguite le relative analisi chimiche. Inizialmente sono state prelevate le acque dell'inrush per individuarne la zona di provenienza, paragonandole con quelle delle venute secondarie individuate in galleria. I primi dati riguardanti le acque inondanti le gallerie di cava (campioni VP<sub>a</sub> e VP<sub>b</sub>) e quelle provenienti dalla circolazione in frattura (campione VF) hanno evidenziato una sostanziale differenza tra di esse (Figura 114).

In particolare si osserva una maggiore mineralizzazione delle acque circolanti nel fratturato, rispetto a quelle dell'inrush con una minore presenza di nitrati e, soprattutto una diversa facies chimica. Infatti le prime presentano una facies solfato-calcica con sub-facies cloruro-bicarbonato-alcaina, mentre le seconde sono solfato-calciche con sub-facies bicarbonato-calcico-magnesiache.

Nel momento in cui è stato possibile raggiungere la cavità carsica, si sono osservate diverse venute già (campioni S, A, RDP e RDR) che, confluendo in un unico canale di drenaggio, costituiscono di fatto le acque dell'inrush (Figura 115).

L'analisi delle singole venute ha ulteriormente evidenziato differenti chimismi. Le acque provenienti dal sifone (S) presentano una minor mineralizzazione, evidenziata da relativamente bassi tenori di magnesio, alcalini e cloruri, con la più alta concentrazione di nitrati e una facies solfato-calcica con sub-facies bicarbonato-calcico-magnesiache. Le altre venute (A e RDP) si caratterizzano per una maggiore mineralizzazione, rispetto le precedenti, e un bassissimo contenuto di nitrati. La facies è ancora solfato-calcica ma la sub-facies è complicata, rispetto la precedente, per la maggior presenza di una componente cloruro-alcaina.

Le venute fin ora descritte non sono state incluse nell'elenco e nella carta di cui sopra in quanto il loro è stato un campionamento saltuario poiché tali venute si sono rapidamente asciugate.



Figura 114: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni VPa, VPb e VF

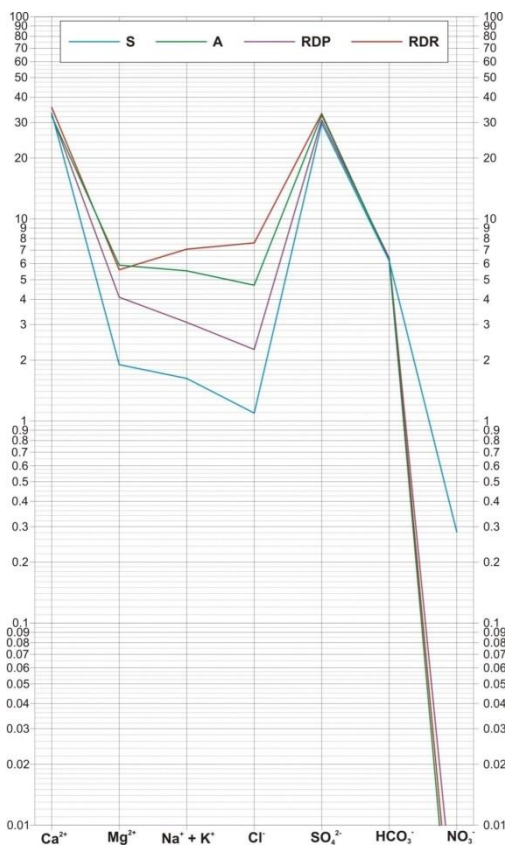


Figura 115: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni S, A, RDP, RDR

Le acque provenienti dai fori F1, F2, F3, F4 ed F5 (raccolte allo Stramazzo 2), presentano chimismi relativamente simili tra loro e, nel tempo, si nota una progressiva diminuzione del contenuto degli ioni alcalini, dei cloruri e un aumento dei nitrati. I diagrammi di Schoeller relativi alle analisi eseguite sui campioni prelevati in questi punti (Figura 116 - Figura 120) evidenziano tali tendenze.

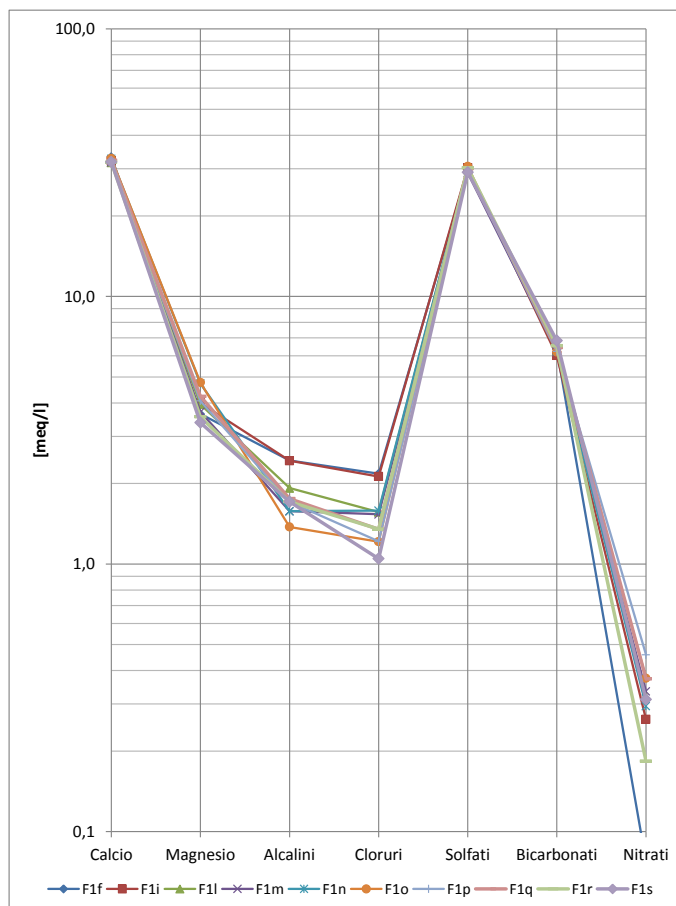


Figura 116: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni prelevati in F1

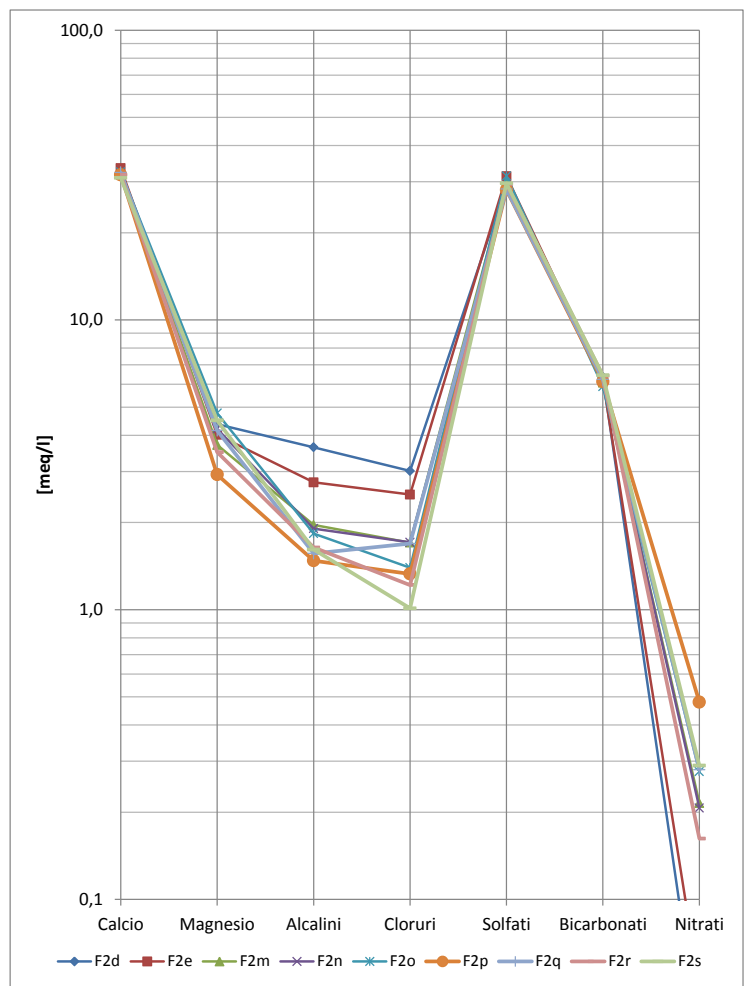


Figura 117: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni prelevati in F2

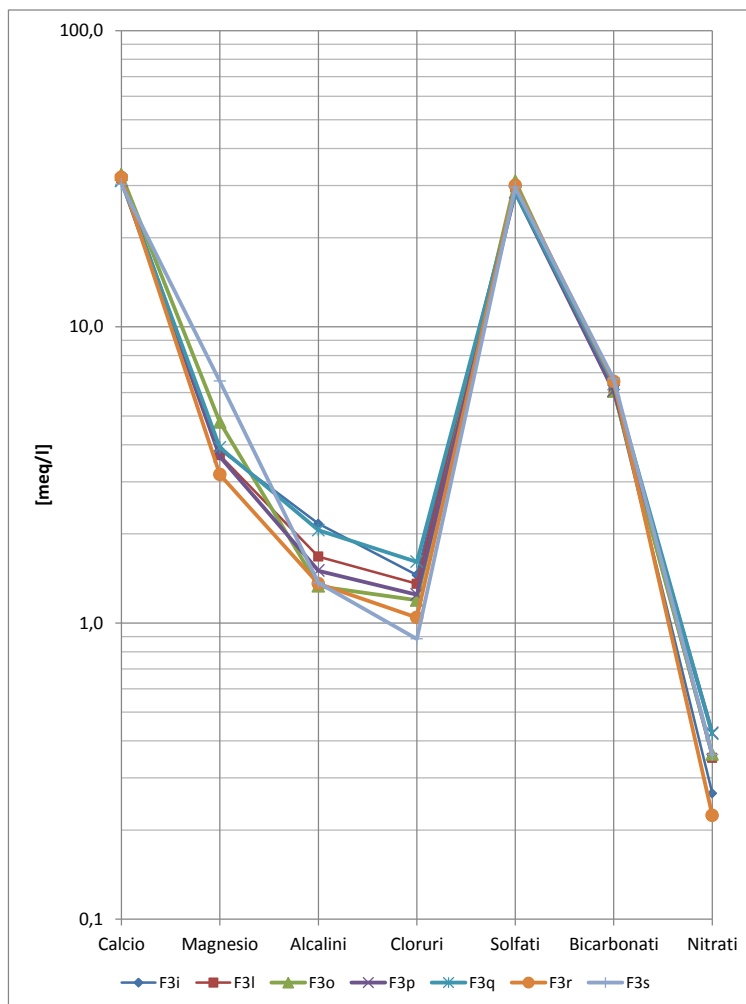


Figura 118: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni prelevati in F3

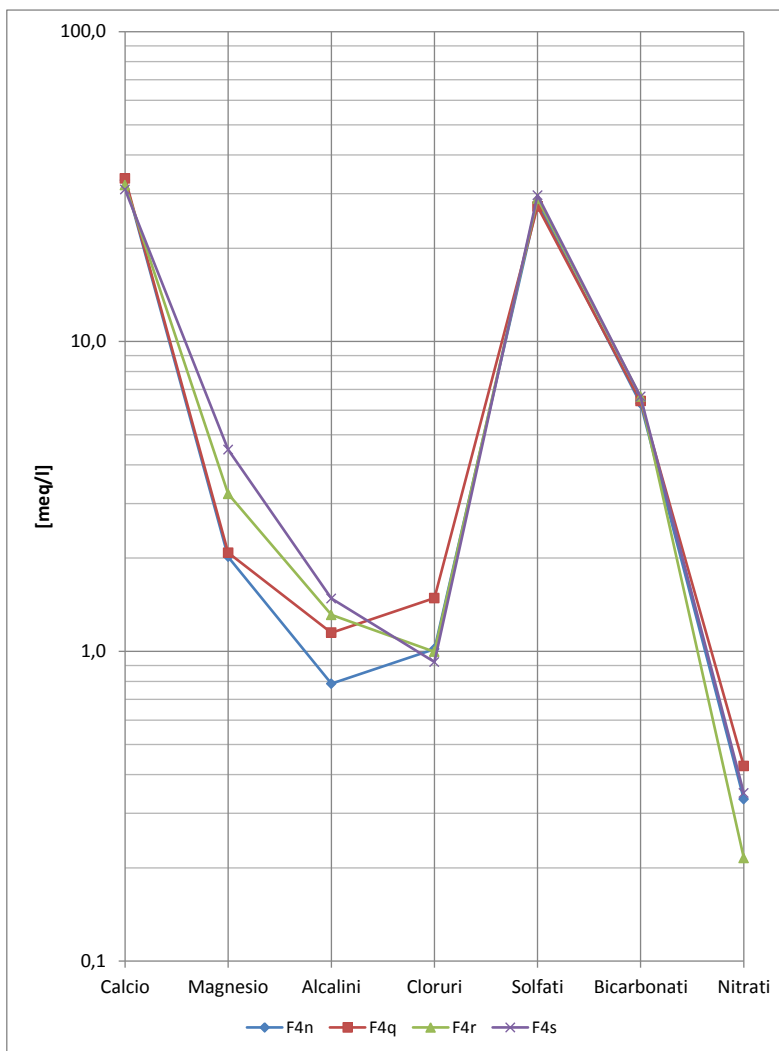


Figura 119: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni prelevati in F4

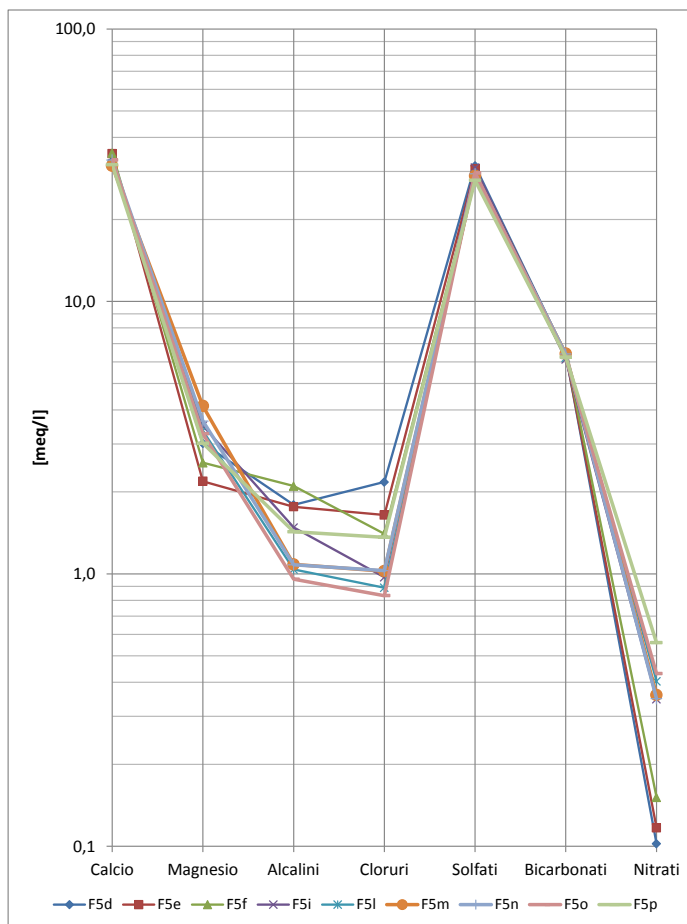


Figura 120: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni prelevati in F5

Il chimismo caratterizzante le acque provenienti da un reticolo superficiale è visibile in Figura 121 relativo al campione delle acque provenienti dal sinkhole. Si nota dal diagramma il basso contenuto in ioni alcalini, cloruro e magnesio tipico di acque derivanti da un percorso piuttosto superficiale.

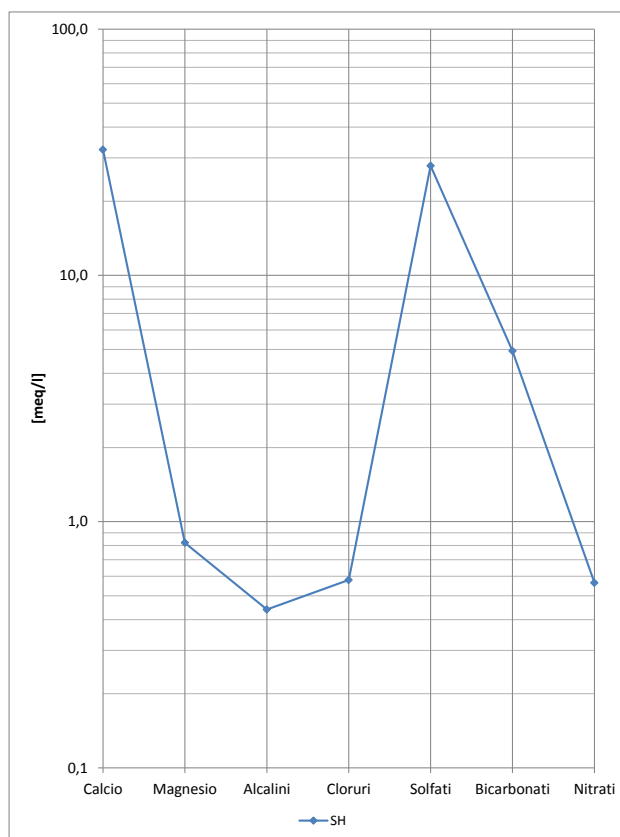


Figura 121: Diagramma di Schoeller relativo al campione prelevato in SH

Le venute **SLB17** presentano un chimismo particolare, sostanzialmente diverso rispetto agli altri apporti esaminati (F1, F2, F3, F4, F5 e VBB) mentre è del tutto simile alle venute VF e VC analizzate nel periodo tra il 2008 – 2010 ed ora asciutte.

L'apporto SLB17, in particolare, campionato 11 volte nel periodo compreso tra il 2009 e il 2013, mostra un evidente cambiamento nel chimismo riscontrabile nel diagramma di Schoeller (Figura 122) correlato ad un aumento di ioni alcalini e cloruri. Tale variazione è probabilmente dovuta alla variazione dell'origine delle acque campionate in tale punto: le prime di origine maggiormente superficiale mentre le ultime provenienti da circuiti più profondi.

La caratteristica peculiare di tali acque è la presenza di alcalini e cloruri in concentrazioni tali da individuare una sub-facies cloruro-alcalina associata a una facies principale solfato-calcica, quest'ultima comune a tutti gli apporti analizzati.



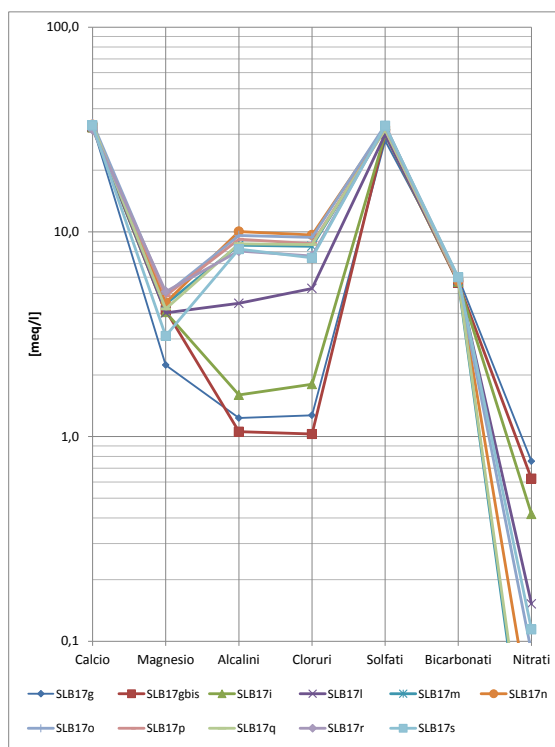


Figura 122: Diagramma di Schoeller relativo al campioni prelevati in SLB17

La venuta **VBB** evidenzia una sostanziale costanza del chimismo nel tempo (Figura 123), caratterizzato da bassissime concentrazioni dei nitrati e da valori del potenziale Redox (Eh) sempre negativi e molto bassi.

Valori di Eh negativi indicano una provenienza più profonda delle acque. I valori di Eh intermedi sono il risultato di miscelamenti tra i due tipi di acque. Il confronto tra Eh e contenuto di nitrati (Figura 124) mostra che a valori molto negativi di Eh (< di -150 mV) sono associati i più bassi tenori di nitrati mentre a potenziali redox maggiori di -150 mV non si riscontra una diretta relazione con il contenuto di nitrati. Tuttavia è evidente che le acque con Eh negativo presentano tenori di nitrati relativamente bassi, mentre per quelle con Eh positivo si riscontra un'ampia variabilità della concentrazione del composto azotato.

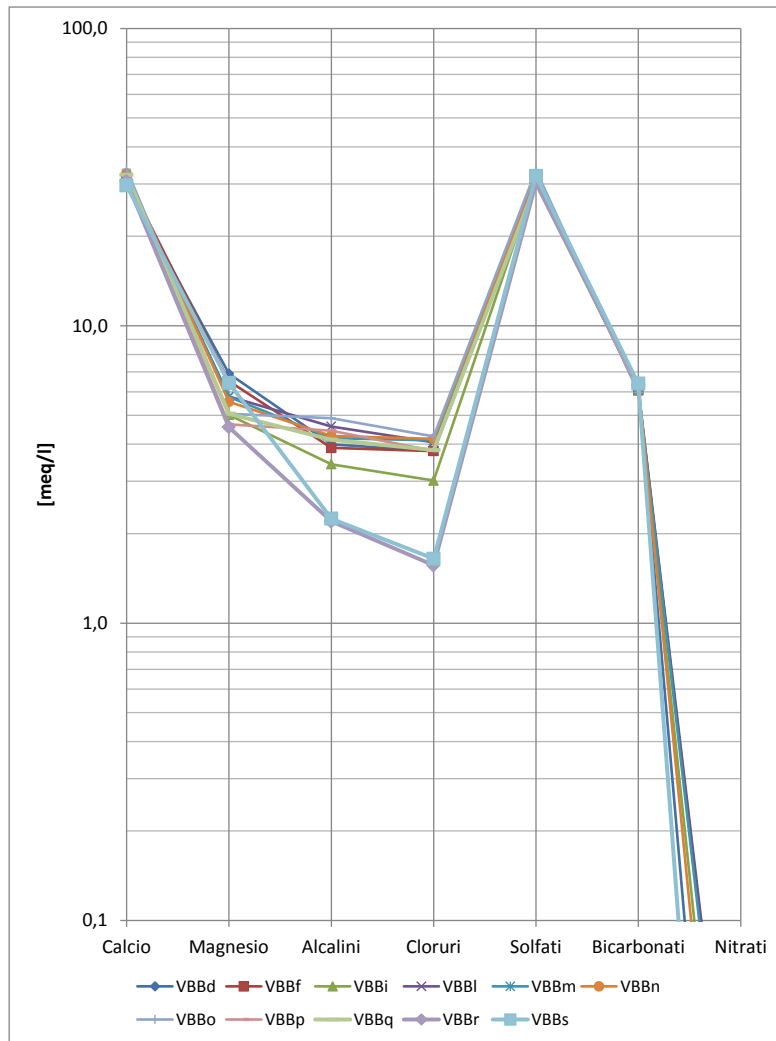


Figura 123: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni prelevati in VBB

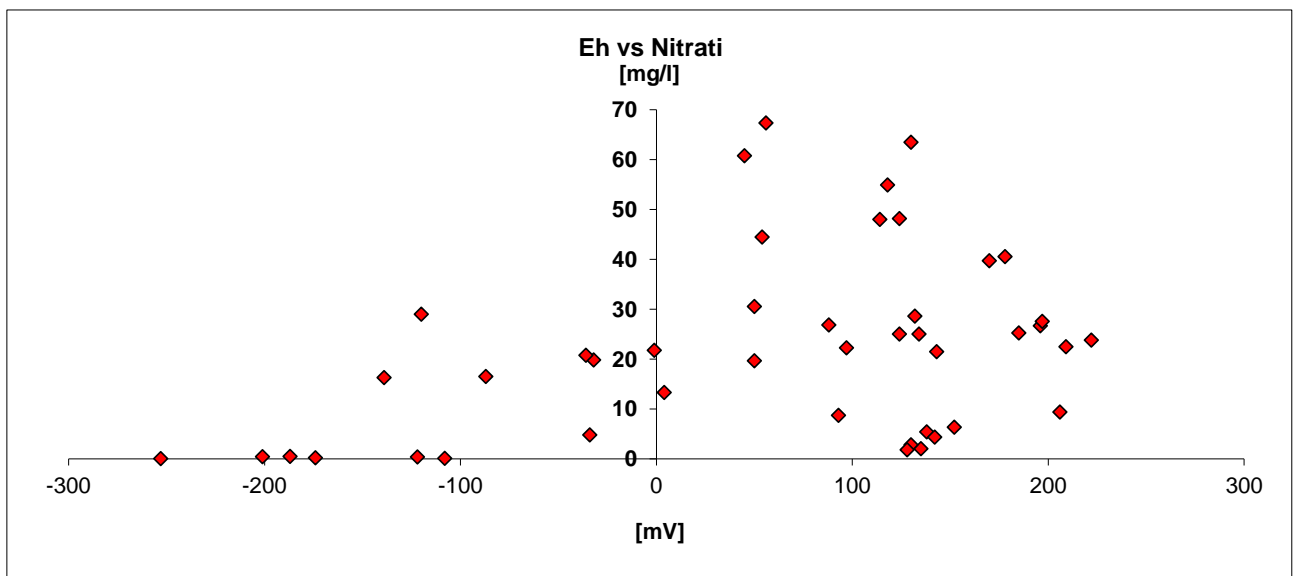


Figura 124: Confronto tra Eh e contenuto di nitrati

La venuta **VF** (Figura 125) evidenzia nei primi campionamenti (03.04.08, 30.10.08 e 03.02.09) una sostanziale uniformità dei diversi valori nel tempo mentre nelle campagne di misura eseguite nelle date

20.05.09 e, soprattutto, 10.12.09 si osserva un considerevole aumento degli ioni alcalini e dei cloruri con una netta diminuzione dei nitrati.

Un medesimo andamento temporale si registra in VC (Figura 125).

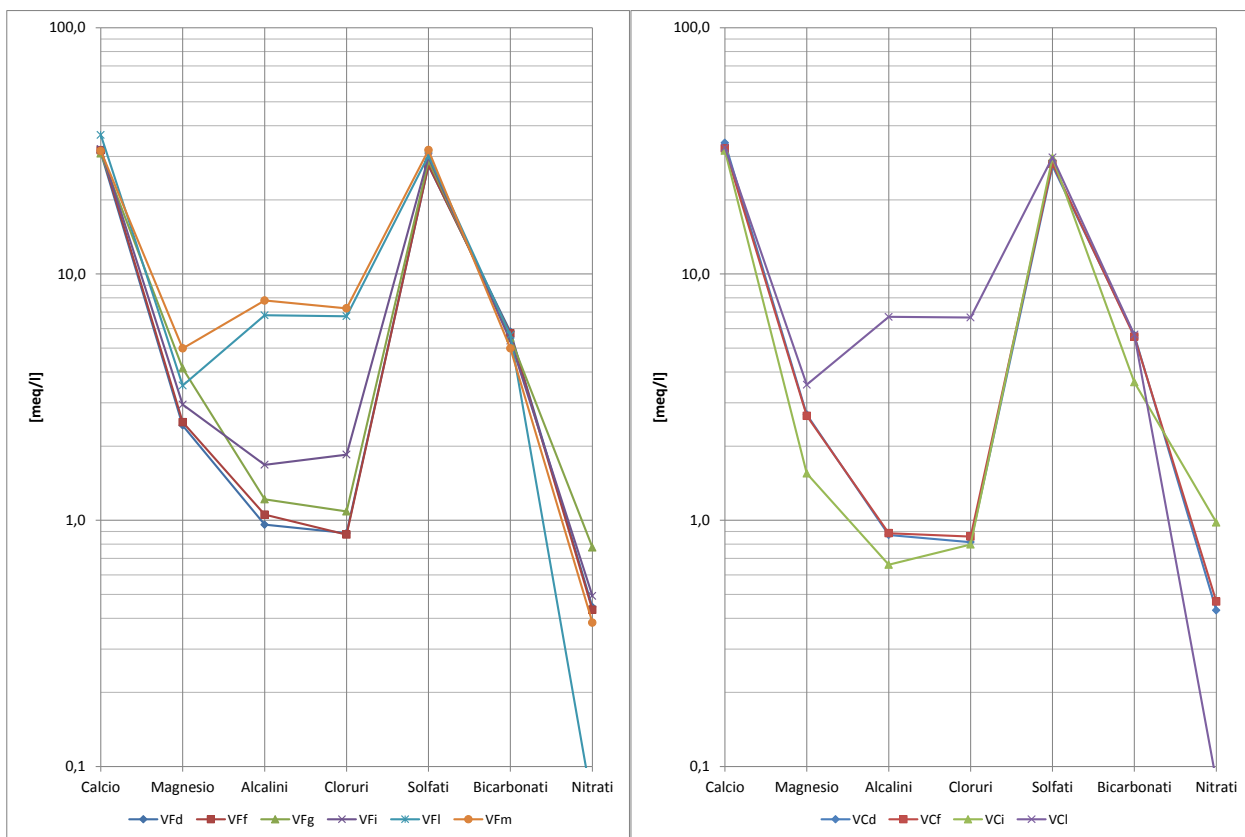


Figura 125: Diagramma di Schoeller relativo ai campioni prelevati in VF e in VC

I dati relativi alle analisi effettuate sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 11: Risultati delle analisi chimiche a seguito dei campionamenti – Parte 1

Codice	Data	Eh	pH	T (cond) [°C]	CE a 25°C [mS/cm]	TH [°f]	Sodio [mg/l]	Ammonio [mg/l]	Potassio [mg/l]	Calcio [mg/l]	Magnesi o [mg/l]	Fluoruri [mg/l]	Cloriti [mg/l]	Bromati [mg/l]	Cloruri [mg/l]	Nitriti [mg/l]	Bromuri [mg/l]	Nitrati [mg/l]	Fosfati [mg/l]	Solfati [mg/l]	Bicarbonati [mg/l]	TDS [mg/l]
A		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	191	123,190	n.d.	6,870	645,288	71,720	0,757	n.d.	n.d.	166,500	n.d.	0,729	0,100	< 0,010	1567,440	378,787	2961,382
F1f	30-ott-08	-34	7,08	13,5	2850	185	53,580	0,050	4,234	666,590	44,212	0,970	< 0,020	< 0,005	77,175	0,103	0,303	4,787	< 0,010	1422,900	387,330	2662,233
F1i	20-mag-09	-139	6,83	13,7	2800	181	53,330	0,084	4,362	644,286	48,624	0,640	< 0,020	< 0,005	75,285	0,090	0,225	16,295	< 0,010	1453,700	366,908	2663,829
F1l	10-dic-09	-32	6,76	13,4	2760	178	41,850	< 0,010	3,978	633,650	48,040	0,800	< 0,020	< 0,005	55,440	0,160	< 0,010	19,860	< 0,010	1429,300	381,289	2614,367
F1m	15-giu-10	-36	6,69	13,3	2809	177	34,355	0,018	3,238	635,750	45,030	0,605	< 0,020	< 0,005	54,420	< 0,02	< 0,010	20,745	< 0,010	1392,275	378,482	2564,918
F1n	22-dic-10	36	6,91	13,4	2430	187	34,003	0,052	3,788	655,590	57,474	0,935	< 0,020	< 0,005	56,200	0,060	0,190	18,280	< 0,010	1438,400	383,156	2648,128
F1o	11-apr-11	-174,1	6,95	13,4	2754	188	29,438	0,018	3,718	657,016	57,982	0,989	< 0,020	< 0,005	42,984	< 0,02	< 0,010	23,217	< 0,010	1470,630	377,909	2663,900
F1p	2-nov-11	142,5	6,83	13,4	2710	180	37,125	0,019	3,519	637,650	49,484	0,536	< 0,020	< 0,005	43,080	< 0,02	< 0,010	28,430	< 0,010	1423,742	380,783	2604,367
F1q	5-apr-12	184,2	7,00	13,5	2780	183	38,180	0,044	3,690	646,290	51,468	0,795	< 0,020	< 0,005	47,776	0,285	< 0,010	23,070	< 0,010	1442,986	392,272	2646,856
F1r	mar-13					177	37,060	< 0,010	3,784	635,790	43,110	0,780	< 0,020	< 0,005	47,860	< 0,02	< 0,010	11,380	< 0,010	1452,000	398,770	2630,534
F1s	18-lug-13					176	36,255	0,013	5,191	637,690	41,030	0,713	< 0,020	< 0,005	37,130	< 0,02	< 0,010	19,330	< 0,010	1397,810	416,935	2592,097
F2d	3-apr-08	135	7,03	13,7	2930	181	80,830	0,019	4,702	636,360	53,120	0,746	< 0,020	< 0,005	106,800	0,058	0,358	2,020	< 0,010	1407,850	388,147	2681,010
F2e	11-lug-08	nd	nd	nd	nd	187	60,750	0,073	4,260	669,225	48,831	1,028	< 0,020	< 0,005	88,500	0,081	0,333	3,070	< 0,010	1505,725	379,062	2760,938
F2m	15-giu-10	4	6,70	13,3	2841	181	42,835	0,022	3,819	649,410	45,048	0,630	< 0,020	< 0,005	60,400	0,070	0,195	13,340	< 0,010	1442,323	370,794	2628,886
F2n	22-dic-10	69	6,91	13,3	2460	179	41,484	0,016	3,953	633,420	51,160	0,455	< 0,020	< 0,005	60,570	< 0,02	0,230	12,830	0,080	1357,600	374,114	2535,911
F2o	11-apr-11	-146,4	6,95	13,4	2783	186	39,815	0,038	3,880	650,020	57,960	1,515	< 0,020	< 0,005	49,494	< 0,02	< 0,010	17,133	< 0,010	1507,680	359,323	2686,858
F2p	2-nov-11	141,1	6,83	13,4	2720	173	31,065	0,018	4,896	635,250	35,560	0,443	< 0,020	< 0,005	47,110	< 0,02	< 0,010	29,770	< 0,010	1351,130	373,967	2509,209
F2q	5-apr-12	149,3	7,01	13,6	2760	182	33,645	0,012	3,872	645,840	50,440	0,675	< 0,020	< 0,005	59,980	< 0,02	< 0,010	17,365	< 0,010	1355,960	380,026	2547,815
F2r	mar-13					176	35,290	< 0,010	4,086	634,780	42,520	0,880	< 0,020	< 0,005	43,120	< 0,02	< 0,010	10,060	< 0,010	1414,530	391,296	2576,562
F2s	18-lug-13					177	34,505	0,011	4,383	619,240	54,700	0,874	< 0,020	< 0,005	35,840	< 0,02	< 0,010	17,950	< 0,010	1423,120	393,022	2583,645
F3i	20-mag-09	-87	6,79	13,9	2800	179	47,610	0,054	3,632	641,280	46,800	0,685	< 0,020	< 0,005	51,448	0,090	0,170	16,495	< 0,010	1451,080	369,037	2628,381
F3l	10-dic-09	-1	6,65	13,3	2740	177	36,285	< 0,010	3,800	635,050	44,770	0,740	< 0,020	< 0,005	48,090	0,240	< 0,010	21,750	< 0,010	1420,880	376,347	2587,952
F3o	11-apr-11	-163,5	6,94	13,4	2752	187	28,585	0,036	3,440	654,201	57,910	1,407	< 0,020	< 0,005	42,313	< 0,02	< 0,010	22,366	< 0,010	1490,547	369,147	2669,952
F3p	2-nov-11	147,1	6,81	13,4	2710	174	32,150	0,010	4,003	623,700	44,320	0,321	< 0,020	< 0,005	44,210	< 0,02	< 0,010	26,360	< 0,010	1365,572	370,422	2511,068
F3q	5-apr-12	189,0	7,34	13,5	2680	175	44,495	0,036	4,705	622,240	47,538	0,670	< 0,020	< 0,005	57,045	0,245	< 0,010	26,185	< 0,010	1365,231	390,704	2559,094
F3r	mar-13					176	29,180	0,229	3,479	640,150	38,555	1,120	< 0,020	< 0,005	37,000	< 0,02	< 0,010	13,900	< 0,010	1442,180	399,197	2604,990
F3s	18-lug-13					184	28,145	0,085	5,587	605,210	79,620	0,754	< 0,020	< 0,005	31,310	< 0,02	< 0,010	22,271	< 0,010	1418,140	406,977	2598,099
F4n	22-dic-10	67	6,90	13,3	2370	176	16,019	0,038	3,503	664,150	24,540	0,655	< 0,020	< 0,005	36,045	< 0,02	< 0,010	20,665	0,420	1347,869	384,767	2498,670
F4q	5-apr-12	157,2	6,93	13,6	2690	179	24,375	0,026	3,430	673,344	25,281	0,690	< 0,020	< 0,005	52,665	0,310	< 0,010	26,445	< 0,010	1308,840	391,680	2507,086
F4r	mar-13					176	28,295	< 0,010	3,128	640,875	39,150	1,180	< 0,020	< 0,005	35,340	< 0,02	< 0,010	13,340	< 0,010	1389,370	404,750	2555,428
F4s	18-lug-13					177	31,965	< 0,010	3,503	619,240	54,400	0,677	< 0,020	< 0,005	32,740	< 0,02	< 0,010	21,620	< 0,010	1423,470	404,841	2592,456
F5d	3-apr-08	152	7,05	13,6	2770	179	38,900	< 0,010	3,964	656,860	36,660	0,598	< 0,020	< 0,005	77,100	< 0,02	0,176	6,342	< 0,010	1512,650	390,917	2724,182
F5e	11-lug-08	nd	nd	nd	nd	185	38,295	< 0,010	3,832	698,505	26,597	0,799	< 0,020	< 0,005	58,300	< 0,02	0,219	7,250	< 0,010	1470,625	389,435	2693,867
F5f	30-ott-08	206	7,03	13,3	2740	188	46,115	0,131	3,694	702,250	31,107	0,804	< 0,020	< 0,005	49,700	< 0,02	0,190	9,386	< 0,010	1367,575	395,445	2606,396
F5i	20-mag-09	143	6,82	13,6	2660	178	31,635	< 0,010	4,094	643,284	42,546	0,610	< 0,020	< 0,005	34,485	0,055	< 0,010	21,515	< 0,010	1489,400	374,040	2641,669
F5l	10-dic-09	134	6,71	13,3	2390	175	21,606	< 0,010	3,854	635,310	40,780	0,560	< 0,020	< 0,005	31,560	0,100	< 0,010	25,050	< 0,010	1403,388	378,970	2541,178
F5m	15-giu-10	97	6,82	13,3	2715	178	22,775	0,310	3,605	630,970	50,220	0,480	< 0,020	< 0,005	36,275	0,065	0,175	22,290	< 0,010	1389,681	392,479	2549,325
F5n	22-dic-10	151	6,90	13,3	2360	184	22,730	0,078	3,561	662,250	44,240	0,335	< 0,020	< 0,005	36,440	0,135	< 0,010	21,590	< 0,010	1412,371	390,991	2594,720
F5o	11-apr-11	42,8	6,92	13,4	2708	182	20,038	0,064	3,296	662,060	39,760	1,387	< 0,020	< 0,005	29,503	< 0,02	< 0,010	26,690	< 0,010	1424,103	381,191	2588,092
F5p	2-nov-11	263,5	6,81	13,7	2680	174	19,875	0,037	22,030	636,260	36,680	0,821	< 0,020	< 0,005	48,300	< 0,02	< 0,010	34,640	< 0,010	1336,000	381,326	2515,969
RDP		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	185	66,750	n.d.	6,850	657,312	49,840	0,477	n.d.	n.d.	80,080	n.d.	0,313	0,184	< 0,010	1480,620	391,479	2733,904
RDR		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	206	159,080	n.d.	6,020	713,424	68,074	0,633	n.d.	n.d.	269,580	n.d.	0,988	0,100	< 0,010	1595,200	379,642	3192,740
S		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	177	29,540	n.d.	13,240	669,336	23,096	0,437	n.d.	n.d.	38,789	n.d.	< 0,010	17,525	< 0,010	1424,540	378,299	2594,803
SH	11-lug-08	nd	nd	nd	nd	166	9,065	< 0,010	1,771	648,950	9,968	1,428	< 0,020	< 0,005	20,541	< 0,02	< 0,010	35,006	< 0,010	1338,125	300,931	2365,784
SLB17g	3-feb-09	228	6,90	13,6	2569	175	26,525	< 0,010	3,056	656,510	27,156	0,552	< 0,020	< 0,005	45,024	0,256	0,128	46,960	< 0,010	1339,000	366,114	2511,281
SLB17i	20-mag-09	144	6,96	14,3	2690	182	34,705	< 0,010	3,391	648,294	49,232	0,630	< 0,020	< 0,005	63,865	0,070	0,160	25,925	< 0,010	1440,998	347,620	2614,897
SLB17l	10-dic-09	118	6,92	13,8	3390	186	99,820	< 0,010	5,230	664,670	48,870	0,700	< 0,020	< 0,005	187,575	< 0,02	0,950	9,440	< 0,010	1436,475	352,978	2806,708
SLB17m	15-giu-10	5	7,03	14,4	3762	186	195,300	0,158	4,112	654,920	54,000	0,550	< 0,020	< 0,005	301,361	0,145	< 0,010	0,860	< 0,010	1548,989	351,470	3111,865
SLB17n	22-dic-10	100	7,03	13,5	3290	190	226,000	0,198	8,005	669,560	54,930	0,830	< 0,020	< 0,005	342,225	< 0,02						

Codice	Data	Eh	pH	T (cond) [°C]	CE a 25°C [mS/cm]	TH [°f]	Sodio [mg/l]	Ammonio [mg/l]	Potassio [mg/l]	Calcio [mg/l]	Magnesi o [mg/l]	Fluoruri [mg/l]	Cloriti [mg/l]	Bromati [mg/l]	Cloruri [mg/l]	Nitriti [mg/l]	Bromuri [mg/l]	Nitrati [mg/l]	Fosfati [mg/l]	Solfati [mg/l]	Bicarbonati [mg/l]	TDS [mg/l]
VBBI	10-dic-09	-187	6,85	13,8	3080	185	102,530	< 0,010	4,942	626,070	70,280	1,290	< 0,020	< 0,005	143,700	< 0,02	< 0,010	0,470	< 0,010	1473,350	374,455	2797,087
VBBm	15-giu-10	-122	7,04	13,7	3130	182	94,040	0,085	3,977	612,860	70,092	1,725	< 0,020	< 0,005	146,000	0,675	< 0,010	0,375	< 0,010	1448,370	375,010	2753,209
VBBn	22-dic-10	-242	7,05	13,6	2760	191	96,960	0,460	1,775	652,340	67,520	0,925	< 0,020	< 0,005	147,750	0,140	0,745	0,125	< 0,010	1526,025	388,916	2883,681
VBBo	11-apr-11	-469,8	7,01	13,8	3210	193	109,400	0,660	5,161	673,448	61,540	1,920	< 0,020	< 0,005	150,430	< 0,02	0,870	< 0,005	< 0,010	1604,210	354,430	2962,068
VBBp	2-nov-11	-159,7	6,91	13,8	3090	181	93,730	0,555	14,200	633,020	56,677	0,857	< 0,020	< 0,005	134,500	< 0,02	< 0,010	< 0,005	< 0,010	1475,100	374,248	2782,887
VBBq	5-apr-12	-25,7	7,09	14,1	2850	186	87,300	0,315	13,444	645,290	61,504	1,830	< 0,020	< 0,005	135,433	0,870	< 0,010	< 0,005	< 0,010	1446,935	385,072	2777,993
VBBr	mar-13					176	48,675	< 0,010	3,212	613,835	55,450	2,340	< 0,020	< 0,005	55,500	< 0,02	< 0,010	< 0,005	< 0,010	1456,420	385,377	2620,809
VBBs	18-lug-13					181	48,840	< 0,010	4,754	594,190	78,100	1,568	< 0,020	< 0,005	58,400	< 0,02	< 0,010	< 0,005	< 0,010	1532,460	389,831	2708,153
VCd	3-apr-08	196	7,15	13,8	2600	184	18,355	< 0,010	2,858	683,320	32,680	0,642	< 0,020	< 0,005	28,900	< 0,02	0,023	26,694	< 0,010	1318,200	344,454	2456,137
VCf	30-ott-08	-120	7,37	13,6	2010	175	18,750	0,010	2,760	648,016	32,259	0,880	< 0,020	< 0,005	30,450	< 0,02	0,048	28,985	< 0,010	1346,150	339,615	2447,923
VCi	20-mag-09	45	7,46	13,1	2500	166	14,166	< 0,010	1,727	635,268	18,842	0,775	< 0,020	< 0,005	28,285	0,115	< 0,010	60,790	< 0,010	1425,220	221,897	2407,089
VCl	10-dic-09	138	6,96	14,0	3300	181	151,000	< 0,010	4,998	653,360	43,170	0,740	< 0,020	< 0,005	236,050	0,100	1,000	5,400	< 0,010	1428,300	345,778	2869,896
VF	15-apr-05	n.d.	7,67	13,4	3020	165	251,175	0,482	12,600	595,188	40,844	0,828	n.d.	n.d.	172,300	n.d.	0,465	11,400	< 0,010	1421,800	356,512	2863,599
VFd	3-apr-08	197	7,10	14,5	2610	168	20,063	< 0,010	3,392	623,240	29,513	0,584	< 0,020	< 0,005	31,450	< 0,02	0,048	27,542	< 0,010	1323,500	355,748	2415,090
VFf	30-ott-08	88	7,19	13,4	2020	172	22,565	< 0,010	2,821	637,440	30,414	0,779	< 0,020	< 0,005	31,000	< 0,02	0,054	26,828	< 0,010	1328,175	350,037	2430,113
VFg	3-feb-09	124	6,84	13,4	2553	175	26,135	< 0,010	3,120	618,434	50,326	0,738	< 0,020	< 0,005	38,525	0,057	0,162	48,155	< 0,010	1385,450	336,625	2507,727
VFi	20-mag-09	50	6,92	13,8	2710	176	35,490	< 0,010	5,306	644,286	35,860	0,585	< 0,020	< 0,005	65,490	0,090	0,200	30,575	< 0,010	1433,980	327,192	2579,057
VFi	10-dic-09	142	6,90	13,5	3330	201	153,480	< 0,010	4,826	735,570	42,862	0,740	< 0,020	< 0,005	238,790	< 0,02	1,110	4,360	< 0,010	1452,800	344,374	2978,912
VFm	15-giu-10	422	6,96	13,8	3444	183	177,160	< 0,010	3,840	633,740	60,640	0,835	< 0,020	< 0,005	257,075	0,070	1,115	23,810	< 0,010	1529,788	304,391	2992,464
VN	18-mag-11	27	7,05	14,4	3700	195	214,800	0,365	2,256	668,052	68,494	0,128	< 0,020	< 0,005	281,256	< 0,02	< 0,010	12,092	< 0,010	1684,250	316,063	3247,756
Vpa	4-mar-05	n.d.	7,05	13,2	2060	179	42,488	0,035	2,856	650,899	40,115	0,494	n.d.	n.d.	41,600	n.d.	0,279	21,358	< 0,010	1369,100	377,323	2546,547
VPb	15-apr-05	n.d.	6,98	13,4	2700	188	37,968	0,044	4,244	658,114	56,647	0,530	n.d.	n.d.	50,543	n.d.	0,151	23,236	< 0,010	1478,000	363,655	2673,132

Tabella 12: Risultati delle analisi chimiche a seguito dei campionamenti – Parte 2

Codice	Li (ppb)	Al (ppb)	V (ppb)	Cr (ppb)	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Co (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	Ga (ppb)	As (ppb)	Se (ppb)	Rb (ppb)	Sr (ppb)	Ag (ppb)	Cd (ppb)	Sn (ppb)	Cs (ppb)	Ba (ppb)	Tl (ppb)	Pb (ppb)	Bi (ppb)	U (ppb)
A	0,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F1f	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F1i	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F1l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F1m	0,0	188,7	0,2	0,4	43,1	96,1	< 1	11,5	1,8	13,6	< 1	2,7	8,4	2,5	15340,0	< 1	< 1	< 1	< 1	7,3	< 1	< 1	< 1	5,6
F1n	31,8	0,0	0,3	0,4	34,6	43,3	< 1	15,6	1,6	7,0	< 1	1,7	10,3	2,9	12180,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,5	< 1	< 1	< 1	6,7
F1o	29,1	0,0	0,3	0,9	35,8	25,1	< 1	26,3	1,1	7,2	< 1	2,4	10,8	3,8	15230,0	< 1	< 1	< 1	< 1	10,3	< 1	< 1	< 1	8,1
F1p	33,4	2,3	0,0	0,8	20,7	53,4	< 1	15,0	< 1	4,5	< 1	2,3	11,5	3,2	14400,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,6	< 1	< 1	< 1	5,2
F1q	38,7	1,1	0,4	0,7	26,0	36,5	< 1	11,5	2,0	11,5	< 1	1,8	11,8	2,7	6164,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,4	< 1	< 1	< 1	12,9
F1r	n.d.	0,0	0,2	0,4	17,4	16,6	< 1	9,3	< 1	2,8	< 1	1,3	12,6	2,1	4394,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	7,2	< 1	< 1	< 1	4,9
F1s	43,1	3,0	0,3	0,7	24,4	15,4	< 1	14,7	2,3	13,4	< 1	2,1	18,1	3,7	8702,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	13,3	< 1	< 1	< 1	12,3
F2d	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F2e	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F2m	0,0	194,2	0,8	0,6	71,8	656,6	< 1	14,0	10,6	13,1	< 1	9,5	8,3	3,2	15120,0	< 1	< 1	< 1	< 1	7,5	< 1	< 1	< 1	5,1
F2n	31,8	0,0	0,2	0,3	40,1	23,2	< 1	16,5	< 1	6,4	< 1	2,1	11,1	3,6	12360,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,2	< 1	< 1	< 1	6,4
F2o	38,7	0,0	0,4	0,8	46,8	156,1	< 1	26,1	3,0	10,0	< 1	5,5	11,4	4,5	15650,0	< 1	< 1	< 1	< 1	10,3	< 1	< 1	< 1	7,7
F2p	21,8	0,0	0,0	0,7	21,1	36,8	< 1	13,0	< 1	3,8	< 1	2,0	11,8	2,7	13770,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,5	< 1	< 1	< 1	5,7
F2q	9,4	0,0	0,1	0,3	8,9	18,2	< 1	6,5	2,4	7,6	< 1	2,9	5,0	1,5	2734,0	< 1	< 1	< 1	< 1	3,4	< 1	< 1	< 1	3,7
F2r	n.d.	7,1	0,7	1,2	70,6	1709,0	1,2	11,7	1,8	4,4	< 1	20,4	12,1	2,2	4801,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	6,9	< 1	< 1	< 1	4,5
F2s	54,4	4,5	0,2	0,8	20,9	95,5	< 1	19,6	3,0	18,0	< 1	3,7	20,5	5,3	9954,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	14,4	< 1	< 1	< 1	13,8
F3i	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F3l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F3o	25,8	0,0	0,3	0,9	39,9	74,7	< 1	26,5	1,6	7,3	< 1	2,8	11,6	3,8	14960,0	< 1	< 1	< 1	< 1	10,3	< 1	< 1	< 1	8,2
F3p	23,5	0,0	0,0	0,6	17,2	29,8	< 1	15,0	< 1	4,3	< 1	2,0	11,8	2,9	13480,0	< 1	< 1	< 1	< 1	7,8	< 1	< 1	< 1	5,2
F3q	0,0	0,0	0,1	0,2	3,5	7,5	< 1	3,0	< 1	3,6	< 1	< 2	< 1	< 1	1357,0	< 1	< 1	< 1	< 1	1,7	< 1	< 1	< 1	1,7
F3r	n.d.	4,3	0,2	0,5	10,9	75,6	< 1	7,7	2,5	13,0	< 1	2,8	8,1	1,6	3062,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	5,4	< 1	< 1	< 1	3,1
F3s	14,7	5,9	0,2	1,2	12,4	75,2	< 1	15,4	6,2	16,0	< 1	3,2	18,1	3,6	8953,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	14,7	< 1	< 1	< 1	12,7
F4n	22,0	2,3	0,1	0,6	9,7	26,8	< 1	16,9	1,3	5,9	< 1	1,3	8,0	2,8	12140,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,8	< 1	< 1	< 1	7,6
F4q	22,4	0,0	0,2	0,6	8,6	14,9	< 1	10,6	2,0	11,5	< 1	2,9	8,8	2,2	5383,0	< 1	< 1	< 1	< 1	7,4	< 1	< 1	< 1	10,7
F4r	n.d.	0,0	0,2	0,4	4,2	27,3	< 1	8,7	< 1	3,1	< 1	3,1	10,7	1,7	3822,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	6,5	< 1	< 1	< 1	4,2
F4s	21,5	1,3	0,3	0,9	12,7	46,0	< 1	14,8	1,7	8,7	< 1	2,7	18,0	3,6	8761,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	13,4	< 1	< 1	< 1	12,6
F5d	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F5e	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F5f	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F5i	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F5l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F5m	49,4	162,5	0,2	0,8	18,5	65,0	< 1	12,1	5,6	21,4	< 1	2,8	8,1	2,6	14910,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,7	< 1	< 1	1,8	6,5
F5n	29,4	21,4	0,2	0,8	11,1	66,1	< 1	15,9	1,3	5,5	< 1	1,1	6,6	2,4	12430,0	< 1	< 1	< 1	< 1	9,4	< 1	< 1	< 1	7,7
F5o	28,3	0,0	0,3	1,3	8,1	13,3	< 1	17,0	2,3	7,2	< 1	1,4	10,4	3,2	14210,0	< 1	< 1	< 1	< 1	10,2	< 1	3,8	< 1	8,1
F5p	13,6	0,2	0,0	1,1	4,1	57,0	< 1	11,9	< 1	4,2	< 1	1,4	8,9	2,5	14150,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,7	< 1	< 1	< 1	5,8
RDP	0,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
RDR	0,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
S	0,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SH	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SLB17g	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SLB17i	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SLB17l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SLB17m	0,0	165,0	0,3	1,4	111,5	48,5	< 1	5,4	< 1	4,6	< 1	10,4	44,7	3,9	15920,0	< 1	< 1	< 1	< 1	7,8	< 1	< 1	< 1	4,4
SLB17n	47,8	0,0	0,5	0,0	287,8	7,1	< 1	14,6	< 1	2,8	< 1	11,1	49,5	5,3	14600,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,9	< 1	< 1	< 1	3,8
SLB17o	53,3	0,0	0,7	0,1	365,4	13,3	< 1	15,3	< 1	3,0	< 1	12,8	47,8	5,8	15800,0	< 1	< 1	< 1	< 1	9,2	< 1	< 1	< 1	3,7
SLB17p	34,5	0,0	0,2	0,0	424,6	15,5	< 1	14,0	< 1	< 1	< 1	12,3	46,2	4,8	13980,0	< 1	< 1	< 1	< 1	7,1	< 1	< 1	< 1	2,4
SLB17q	22,6	0,0	0,3	0,0	289,8	9,1	< 1	9,5	< 1	4,1	< 1	10,0	36,1	2,9	3706,0	< 1	< 1	< 1	< 1	4,0	< 1	< 1	< 1	2,4
SLB17r	n.d.	0,0	0,4	0,0	412,0	1346,0	< 1	13,7	1,1	37,0	< 1	8,7	42,9	3,6	5224,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	5,8	< 1	< 1	< 1	1,9

Codice	Li (ppb)	Al (ppb)	V (ppb)	Cr (ppb)	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Co (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	Ga (ppb)	As (ppb)	Se (ppb)	Rb (ppb)	Sr (ppb)	Ag (ppb)	Cd (ppb)	Sn (ppb)	Cs (ppb)	Ba (ppb)	Tl (ppb)	Pb (ppb)	Bi (ppb)	U (ppb)
SLB17s	27,6	0,2	0,6	0,1	473,5	3,7	< 1	15,3	1,2	5,3	< 1	12,7	52,4	4,1	6526,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	14,2	< 1	< 1	< 1	7,4
VBBd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VBBf	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VBBi	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VBBj	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VBBm	0,0	210,8	0,0	0,1	183,7	400,8	< 1	< 1	1,8	23,4	< 1	9,8	18,8	3,3	14230,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,3	< 1	< 1	< 1	2,1
VBBn	53,3	0,0	0,0	0,0	173,4	278,4	< 1	1,3	< 1	2,9	< 1	10,1	20,6	3,5	12510,0	< 1	< 1	< 1	< 1	9,0	< 1	< 1	< 1	2,4
VBBo	51,7	0,0	0,3	0,2	193,4	284,7	< 1	2,1	< 1	9,8	< 1	12,5	26,7	4,0	14950,0	< 1	< 1	< 1	< 1	9,9	< 1	1,0	< 1	2,9
VBBp	36,4	0,0	0,0	0,0	132,9	182,7	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	9,4	17,6	2,8	11420,0	< 1	< 1	< 1	< 1	7,3	< 1	< 1	< 1	1,5
VBBq	34,2	1,3	0,1	0,0	168,4	465,8	< 1	< 1	< 1	4,7	< 1	9,4	10,1	2,9	5874,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,2	< 1	< 1	< 1	4,2
VBBr	n.d.	0,0	0,1	0,0	118,0	1693,0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	14,3	7,0	1,6	4822,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	4,2	< 1	< 1	< 1	< 1
VBBs	71,4	8,1	0,6	0,2	325,4	6693,0	< 1	2,5	1,2	9,6	< 1	90,2	16,6	5,2	6550,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	16,5	< 1	< 1	< 1	4,5
VCd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VCf	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VCi	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VCl	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VF	82,0	n.d.	n.d.	n.d.	172,0	1303,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VFd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VFf	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VFg	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VFi	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VFI	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VFm	0,0	191,6	0,1	0,7	23,6	15,7	< 1	2,9	< 1	3,5	< 1	7,3	29,2	3,3	14530,0	< 1	< 1	< 1	< 1	4,4	< 1	< 1	< 1	3,7
VN	27,8	2,7	0,5	0,1	309,9	16,6	< 1	11,1	< 1	5,0	< 1	12,7	48,6	4,8	12910,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,4	< 1	< 1	< 1	3,3
Vpa	0,0	n.d.	n.d.	n.d.	115,0	16,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VPb	85,0	n.d.	n.d.	n.d.	131,0	45,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

### 8.1.8. INTERPRETAZIONE DEI DATI E CONSIDERAZIONI GENERALI

Sulla base degli studi eseguiti e dei dati di monitoraggio relativi alla idrodinamica e alla geochimica delle acque sotterranee condotte nel settore di Moncalvo, è stato possibile definire un quadro sufficientemente chiaro relativo alla situazione idrogeologica nell'intero settore.

L'acquifero impostato nei gessi di Moncalvo risulta essere piuttosto eterogeneo così come evidenziato dai dati di monitoraggio dei livelli idrici. I livelli piezometrici nell'area di cava si attestano a quote molto diverse e non correlabili fra loro (Figura 126): tale situazione idrogeologica fa presupporre la presenza di un sistema di circolazione idrica a moderate velocità di flusso costituita da dreni interconnessi. La circolazione idrica sotterranea avviene, all'interno dell'ammasso, tramite reticoli carsici di medie e grandi dimensioni come quello esplorato dopo l'inrush del 2005.

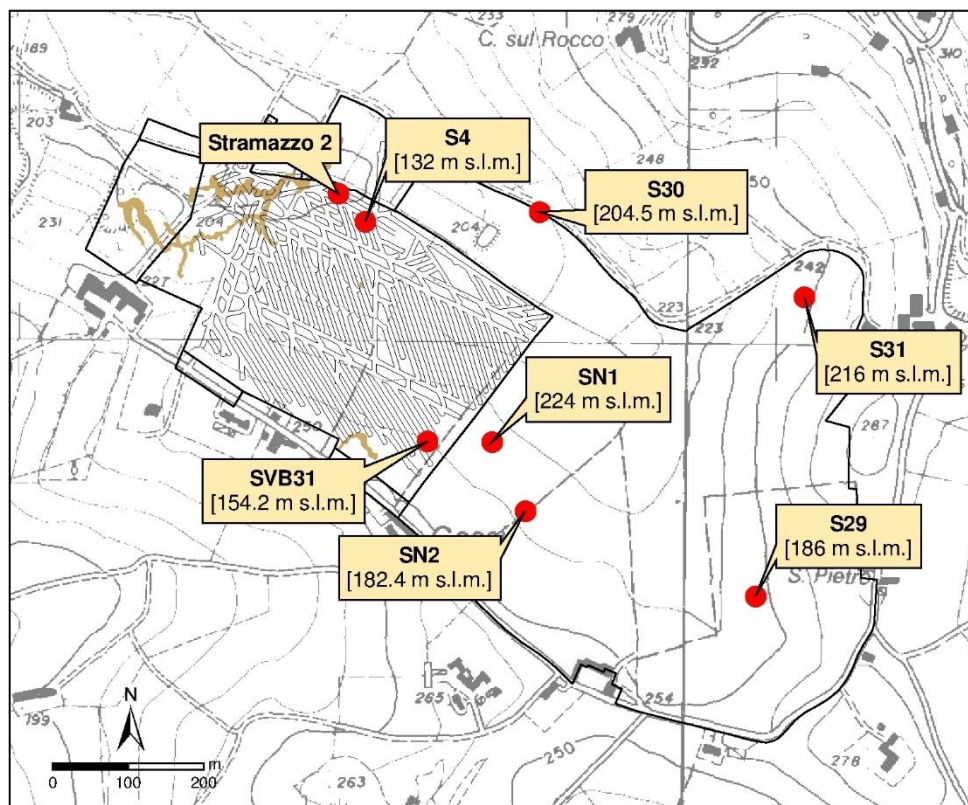


Figura 126: Quote dei livelli idrici nei diversi punti di monitoraggio

Nell'area di cava i dati di monitoraggio raccolti hanno fatto emergere la presenza di due principali sistemi carsici, caratterizzati da livelli e chimismo delle acque relativamente diversi.

Un **primo sistema**, intercettato nel 2005, è ubicato nel settore nord della cava in sotterraneo e presenta livelli idrici che ora oscillano tra le quote 132-134 m s.l.m., condizionate dagli apporti infiltrativi. Il sondaggio **S4 evidenzia bene tali variazioni di livello**. Le acque di tale circuito vengono drenate da una serie di fori di sondaggio (F1, F2, F3, F4 e F5), realizzati nel 2009 per abbassare di alcuni metri i livelli idrici e



raccolte da una bocca a stramazzo. La portata idrica misurata in continuo tra il 2010 e il 2012 varia dai 16 a 6 l/s ed è relativamente condizionata dalle precipitazioni che si verificano nell'area in esame.

Un **secondo sistema** carsico è stato individuato nel settore sud-orientale dell'area di cava, proprio ai bordi dell'area di concessione, e presentava nel dicembre 2012 un livellamento dei carichi idraulici intorno a 154.5 m s.l.m. Un acquirente automatico, posizionato nel **sondaggio SVB31**, registra nel tempo le **variazioni dei livelli idrici di questo settore**. Tale reticolo idrico era stato intercettato nel 2009 attraverso un foro orizzontale di ispezione (SLB 17), ubicato sul limite dell'area di concessione, e che era stato immediatamente tappato. Nella primavera del 2011, durante la realizzazione delle gallerie del pannello 2 in questa porzione dell'area di cava, uno dei fori di controllo che vengono eseguiti prima dello scavo (denominato VN), ha di nuovo intercettato tale reticolo carsico con acqua in pressione. L'appartenenza al medesimo sistema idrico è evidenziato anche dai dati relativi ai parametri chimici di queste acque che risultano essere molto simili a quelle rilevate in SLB17 (Figura 127).

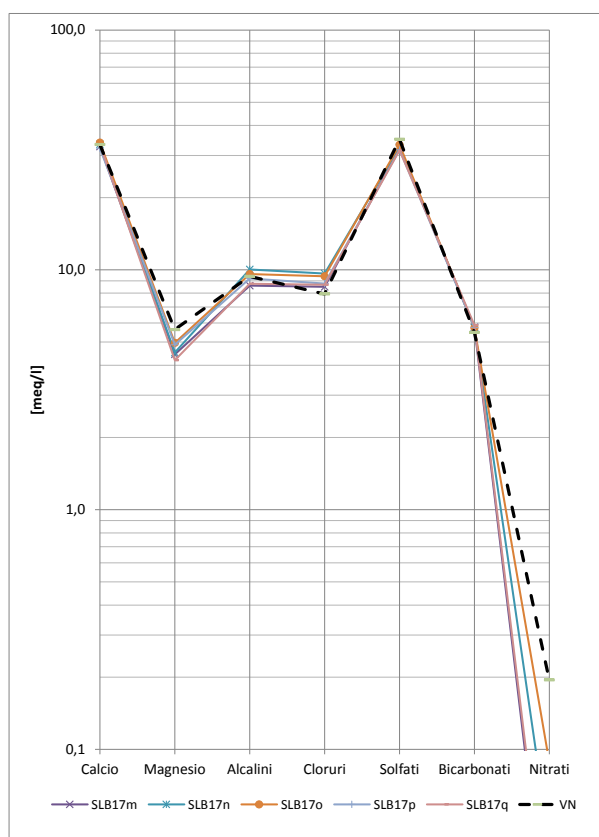


Figura 127: Diagramma di Schoeller relativo a SLB17 (campioni 2010, 2011 e 2012) e VN

Viene quindi deciso di eseguire un abbassamento controllato dei livelli idrici, facendo defluire il flusso idrico anche dal foro SLB 17 e raccogliendo poi le acque in un bacino a valle dotato di pompe per il trasporto dei volumi idrici verso la superficie. La portata fluente dai due fori si attesta intorno ai 20 l/s ed esercita un lento decremento dei livelli (ben documentato dall'acquirente ubicato in SVB31) dell'ordine di 1 cm al giorno, raggiungendo la quota di quasi 150 m s.l.m.. A partire dal maggio del 2012 il foro SLB 17 è stato nuovamente richiuso e di conseguenza i livelli idrici del sistema carsico in esame sono nuovamente risaliti attestandosi ad una quota di circa 154 m s.l.m.. **I due sistemi carsici individuati all'interno dell'area di cava si distinguono quindi per differenti quote di livellamento delle altezze piezometriche rilevate in S4**

e **SVB31** (Figura 128) ed anche per un **diverso contenuto dei principali parametri geochimici** delle acque campionate in F1 e in SLB17 (Figura 129).

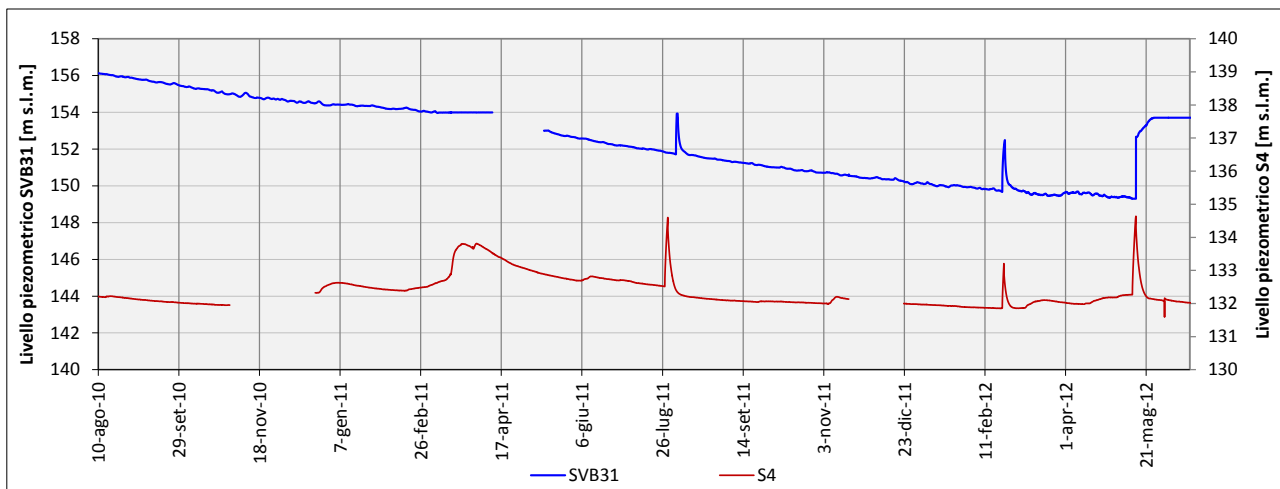


Figura 128: Confronto dei livelli idrici in S4 e SVB31<sup>4</sup>

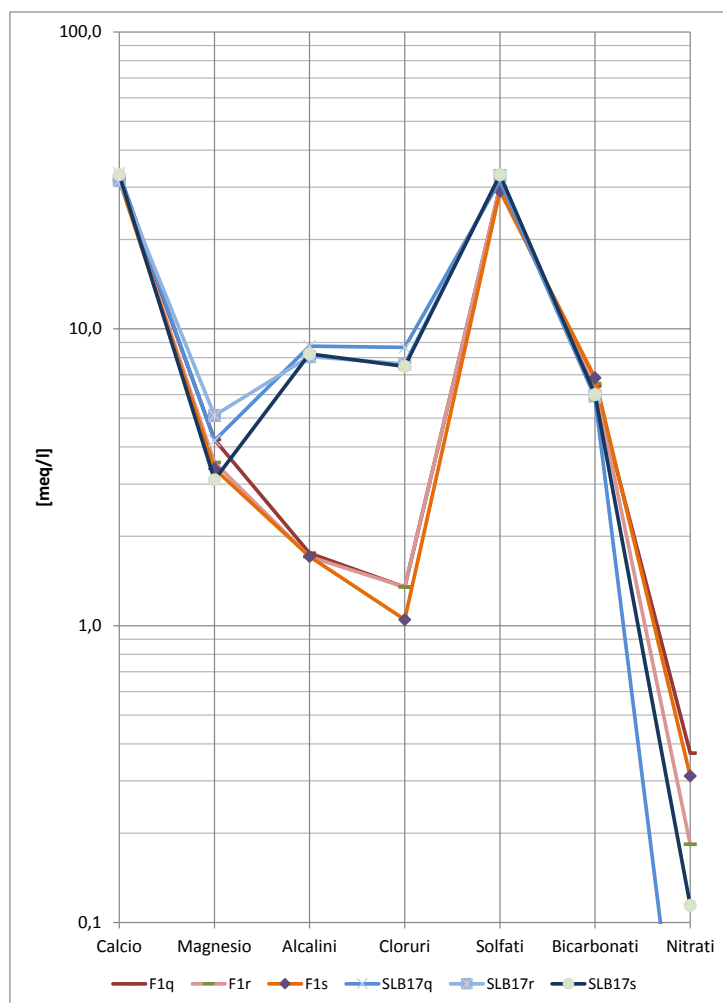


Figura 129: Confronto delle acque in F1 e SLB17 (campionamenti 2012 -2013)

<sup>4</sup> i picchi di livello sono dovuti a chiusura dei fori di drenaggio per manutenzione straordinaria delle pompe

Particolarmente interessante risultano anche essere i dati delle altezze dei livelli idrici registrati nei piezometri in prossimità dell'area di cava e confrontati con le quote piezometriche dei due sistemi carsici individuati (Figura 130): le notevoli differenze che si riconoscono nell'idrogramma sono legate a diversi reticoli di drenaggio intercettati durante la realizzazione dei fori e che presentano peculiari caratteristiche idrodinamiche. Occorre evidenziare come nell'ammasso roccioso di Moncalvo siano presenti, oltre i reticoli carsici precedentemente descritti, anche **locali circuiti idrici impostati in reticoli di frattura**, di importanza limitata ma ovviamente caratterizzati da quote di livellamento e geochimica delle acque piuttosto differenti.

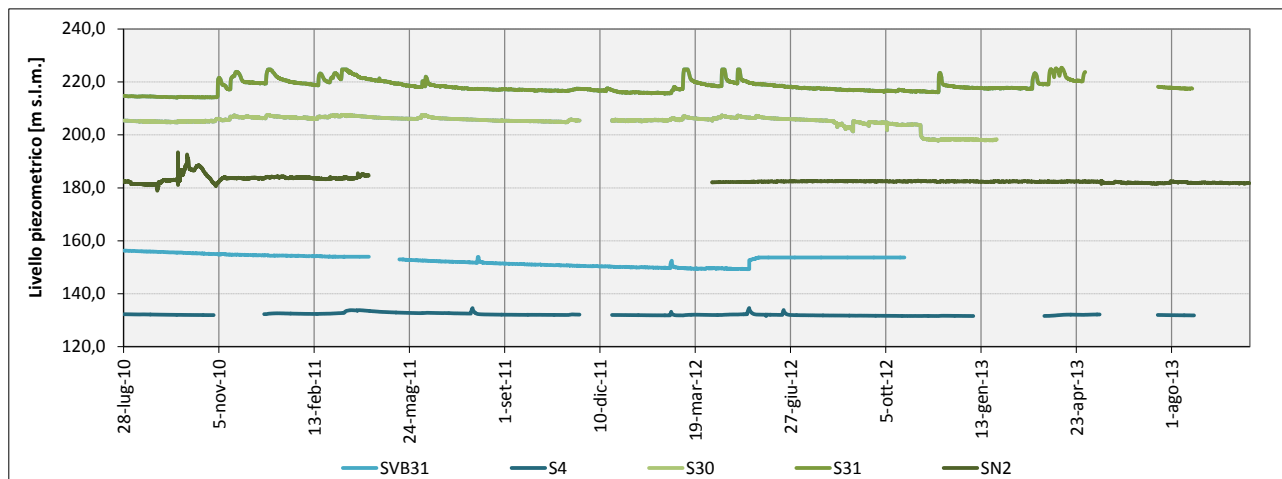


Figura 130: Confronto dei livelli idrici nei piezometri (S30, S31, SN2) e nei due sistemi carsici individuati (SVB31 e S4)

Una serie di circuiti idrici, piuttosto estesi ma con permeabilità molto ridotte, sono impostati nella rete di fratture dell'ammasso marnoso-gessoso e siltoso che ricopre la successione evaporitica principale ed affiora in tutta la zona in esame. Tali circuiti, che vengono ricaricati direttamente dalle precipitazioni, vengono in profondità drenati dai reticoli carsici descritti in precedenza.

I piezometri realizzati sui versanti collinari in corrispondenza della zona di ampliamento, evidenziano andamenti nel tempo e livelli idrici molto differenti tra loro compresi tra quota 182 m s.l.m. circa (SN2) e quota 220 m s.l.m. circa (S31) (Figura 131). Tali quote risultano essere completamente diverse rispetto a quelle misurate in sottoterraneo: relativamente al sondaggio S4 i livelli si attestano circa a quota 132 m s.l.m. e a quota 150 m s.l.m. nel sondaggio SVB31. La diversità delle quote e degli andamenti nel tempo dei livelli idrici sembrano essere legati alle modalità di circolazione delle acque nell'ammasso roccioso con una rete carsica avente funzione di collettore principale e una circolazione diffusa impostata nelle fratture dell'ammasso roccioso. Durante la realizzazione degli scavi in sottoterraneo l'intercettazione della rete di fratture causa unicamente moderate venute idriche che non creano particolari problemi di sicurezza mentre il rinvenimento di cavità carsiche attive, con acqua in pressione, può rilevarsi decisamente più pericoloso perché può causare apporti idrici molto abbondanti e fenomeni di inrush come quello verificatosi nel gennaio '05.

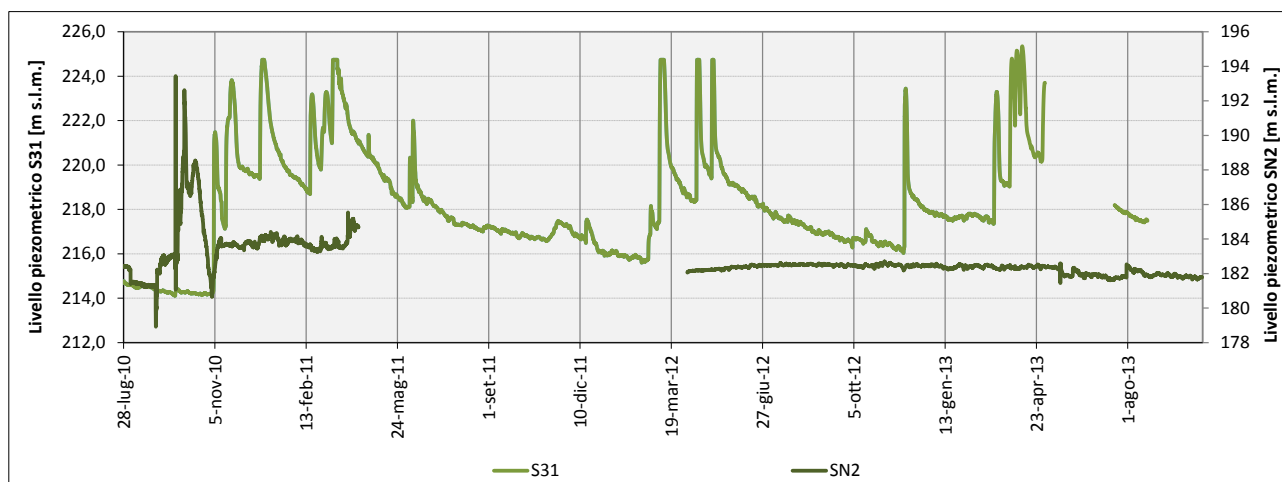


Figura 131: Confronto dei livelli piezometrici misurati in S31 e SN2

Una seconda serie di circuiti idrici sono impostati nella rete di fratture dell'ammasso roccioso alimentato da acque "profonde" e caratterizzati da una circolazione molto lenta e da un chimismo piuttosto differente rispetto a quello delle acque provenienti dalla superficie. Tali apporti in genere sono caratterizzati da portate piuttosto modeste.

Le analisi chimiche delle acque prelevate nei diversi punti della cava evidenziano i differenti tipi di circolazione. Le acque indubbiamente profonde sono quelle campionate presso la venuta VBB e sono caratterizzate da valori di Eh molto negativi ( $< -120$  mV), nitrati molto bassi e concentrazioni di magnesio, alcalini e cloruri elevate. Tutte le altre acque campionate e circolanti nell'ammasso gessoso risultano essere il prodotto di un mescolamento tra i due tipi di acque, quelle profonde e quelle superficiali, con una prevalenza delle ultime drenate dai reticoli carsici.

La Figura 132 rappresenta lo schema di funzionamento dell'acquifero presso la cava di Moncalvo. I livelli piezometrici ai punti 1,2,3 e 4 evidenziano la circolazione diffusa nella rete di fratture ed intercettata dai piezometri S30, S31, SN2 mentre il punto 5 mostra il livello piezometrico caratterizzante il collettore principale e impostata in una rete di importanti cavità carsiche monitorate attraverso i piezometri S4 e SVB31.

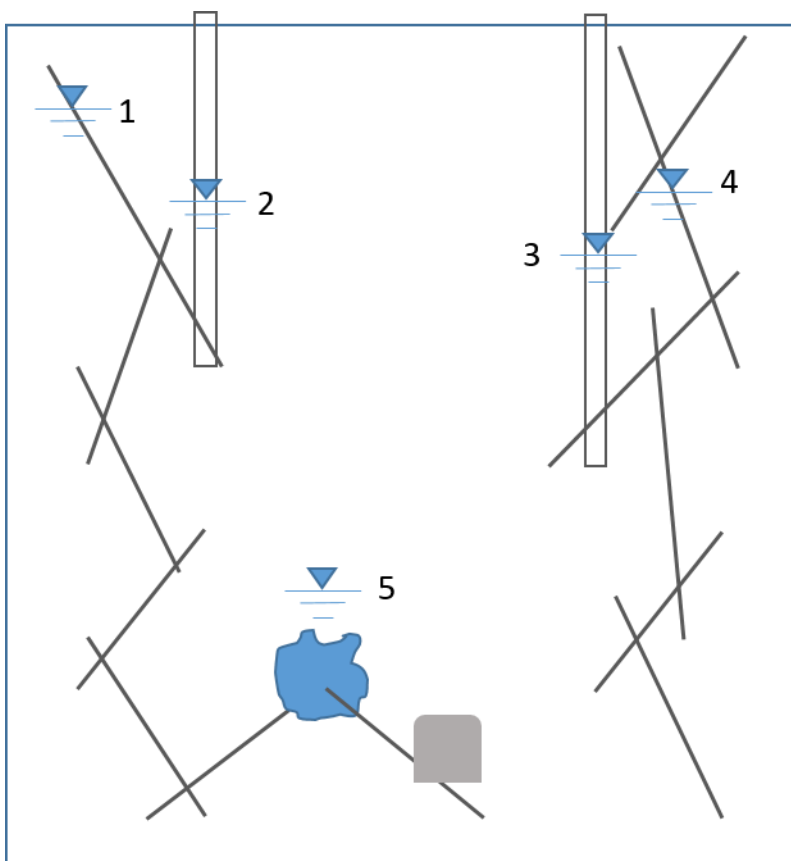


Figura 132: Modello esemplificativo del sistema di circolazione idrica impostato nell'acquifero

La connessione tra i due sistemi di circolazione, in fratture e in grandi cavità carsiche, è evidenziata dal confronto degli andamenti dei livelli piezometrici misurati dai piezometri “afferenti” ai due diversi circuiti (Figura 133, Figura 134). Tralasciando i picchi legati alla manutenzione straordinaria delle pompe, i trend dei livelli piezometrici sono analoghi e l'andamento in S4 risulta simile a quello misurato in S30 e S31 seppur molto attenuato nella risposta agli eventi infiltrativi (non riportati nel grafico per agevolarne la leggibilità).

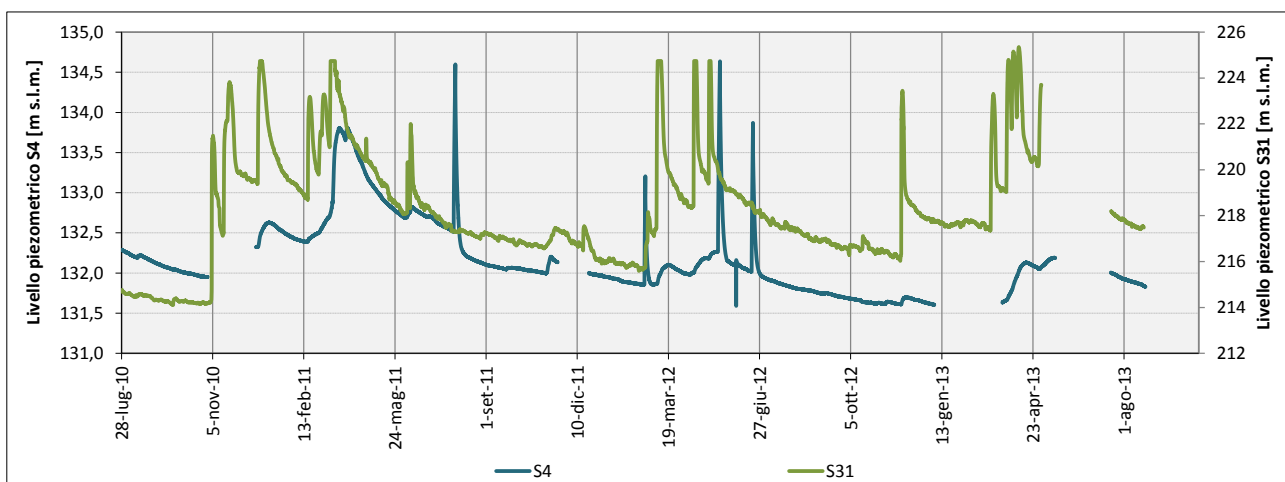


Figura 133: Confronto degli andamenti dei livelli piezometrici in S4 e S31

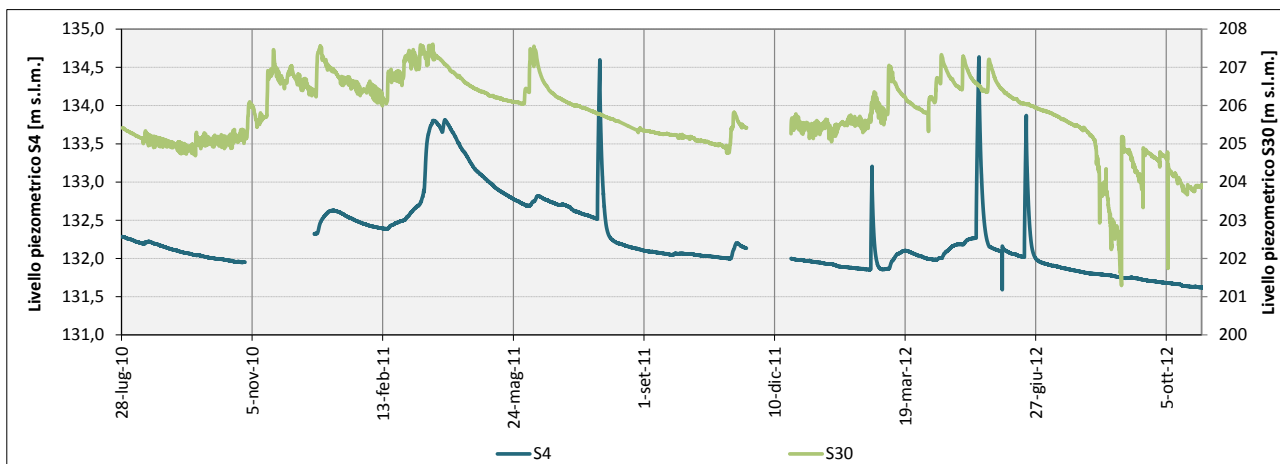


Figura 134: Confronto degli andamenti dei livelli piezometrici in S4 e S30

Come già descritto in precedenza, dal grafico di Figura 135 si può ulteriormente notare come la risposta agli eventi infiltrativi risulti pressoché assente nel livello piezometrico misurato in SN2, piezometro afferente alla sistema di circolazione in fratture. Questa è un’ulteriore conferma di quanto il sistema di circolazione delle acque, in acquiferi a dreni interconnessi, risulti complesso e “non continuo”.

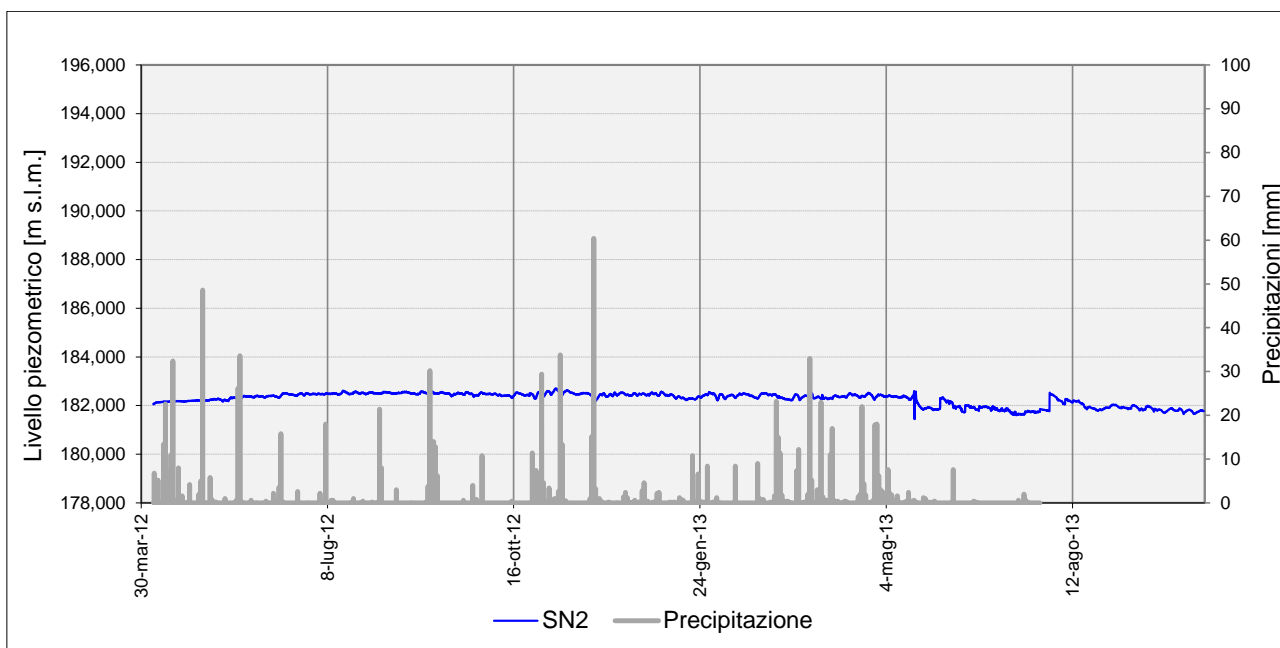


Figura 135: Andamento del livello piezometrico in SN2 in funzione delle precipitazioni

In Figura 136 è riportato l’andamento dei livelli piezometrici in S30 e S31, relativi alla circolazione in fratture in seguito ad un evento infiltrativo. In Figura 137 è evidente il ritardo nella risposta a tale evento nell’andamento del livello piezometrico in S4.

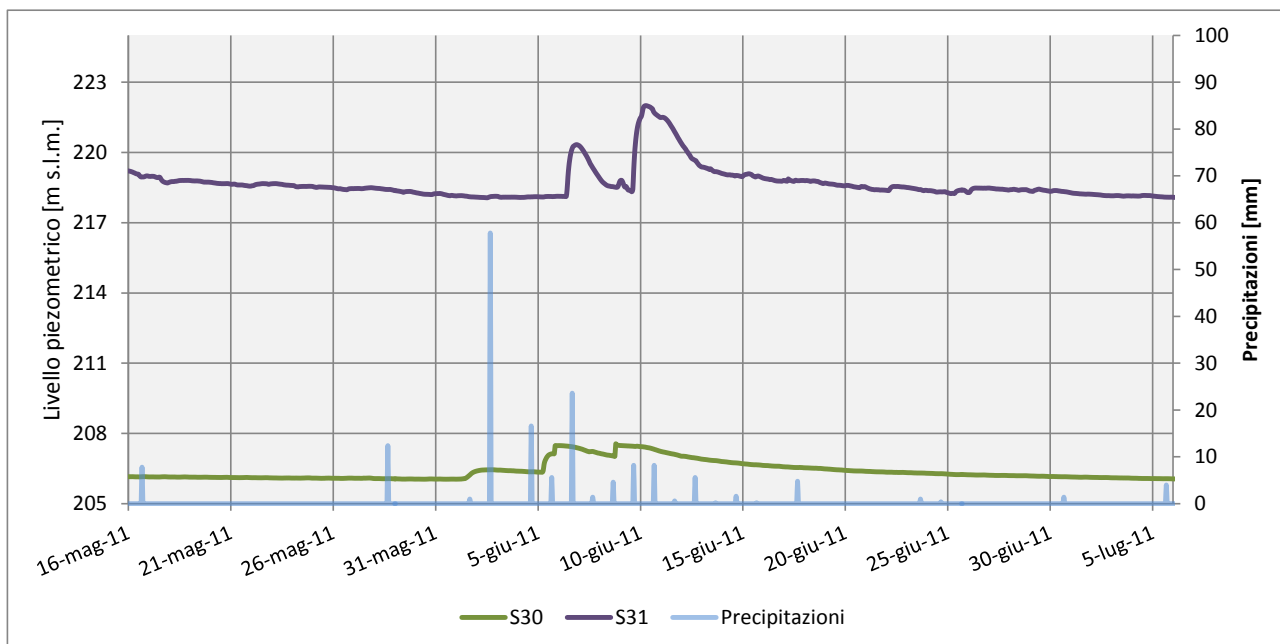


Figura 136: Dettaglio dell'andamento piezometrico in seguito ad una precipitazione misurato in S30 e in S31

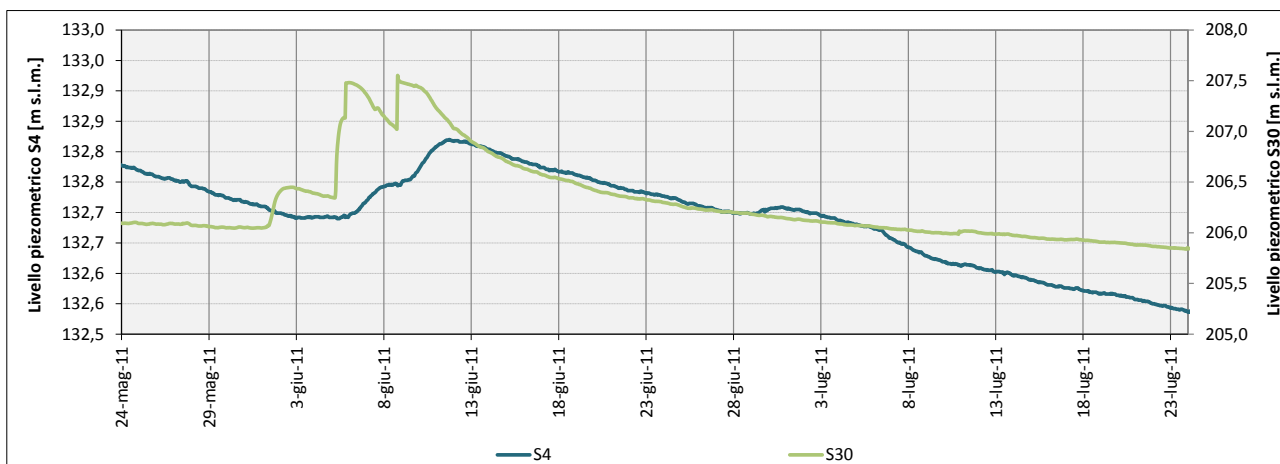


Figura 137: Dettaglio dell'andamento piezometrico in seguito ad un evento infiltrativo in S4 e S30

I due sistemi, dunque, seppur caratterizzati da circolazioni molto diverse sono comunicanti e mostrano differenti risposte nel tempo agli eventi infiltrativi.

Il caso studio presentato, anche se, come era presumibile, presenta delle caratteristiche peculiari proprie resta un esempio significativo delle possibili interferenze che si possono verificare durante lo scavo di un'opera sotterranea che interessa un acquifero carsico a dreni interconnessi (o a moderata velocità di flusso).

Le **misure effettuate nei piezometri possono risultare non rappresentative** del principale sistema di circolazione in acquifero ma essere legate solamente ad una circolazione più superficiale in fratture il cui intercettamento durante lo scavo generalmente non comporta grosse problematiche. Al contrario, in situazioni analoghe, risulterà **fondamentale eseguire dei fori in avanzamento a raggiera** per verificare la presenza di eventuali cavità carsiche e prevenire così il rischio di inrush. Lo svuotamento di tali cavità carsiche intercettate dovrà avvenire in modo controllato per evitare la formazione di sinkhole superficiali.

Gli abbassamenti dei livelli piezometrici legati al drenaggio sono piuttosto eterogenei e connessi all'intercettazione delle fratture diffuse nell'ammasso.

Altrettanto **vantaggiose risultano le analisi chimico-fisiche delle acque eseguite su ogni venuta intercettata** dai lavori di scavo per verificare la tipologia della circolazione idrica alla quale appartengono e di conseguenza evitare possibili rischi ad essa connessa. L'intercettazione di acque profonde circolanti nelle discontinuità dell'ammasso roccioso non dovrebbero causare particolari problemi, mentre il rinvenimento di acque con impronta legata alla circolazione carsica potrebbe indicare la presenza di vuoti con notevoli volumi idrici nelle immediate vicinanze e connessi fenomeni di *inrush*.

### 8.1.9. IL RADON PRESSO LA CAVA DI MONCALVO

Come già descritto nel Paragrafo 6.4 risulta evidente l'importanza del controllo della concentrazione di Radon in aria, specialmente in ambienti chiusi quali le gallerie e le cave.

Per il controllo di tale parametro, presso la cava di Moncalvo sono state effettuate anche alcune campagne di misura del Radon in aria.

Le misure vengono effettuate mediante rilevatori a tracce. Al momento si dispone solamente di due campagne di misure.

L'ubicazione dei dosimetri nella cava è riportata in Figura 138, Figura 139 e Figura 140 nei diversi livelli della cava.

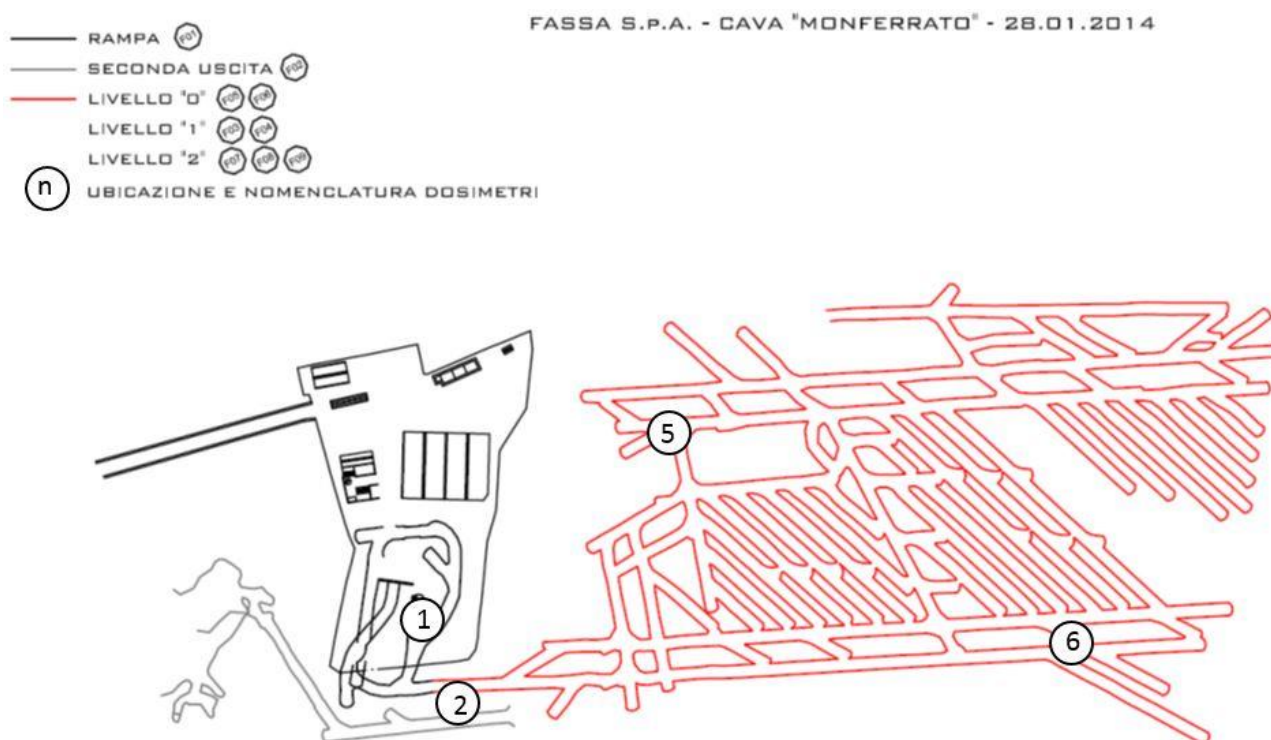


Figura 138: Ubicazione e nomenclatura dei dosimetri per la misura del Radon in aria – livello 0



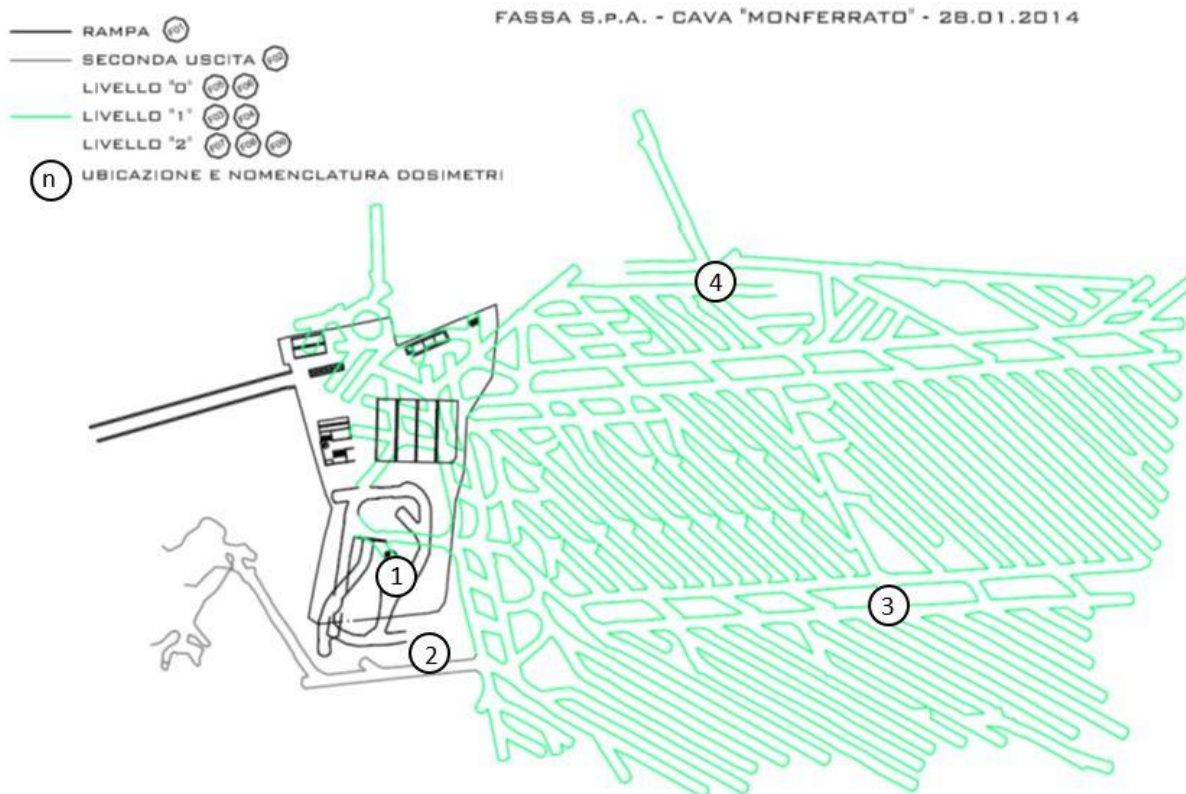


Figura 139: Ubicazione e nomenclatura dei dosimetri per la misura del Radon in aria – livello 1

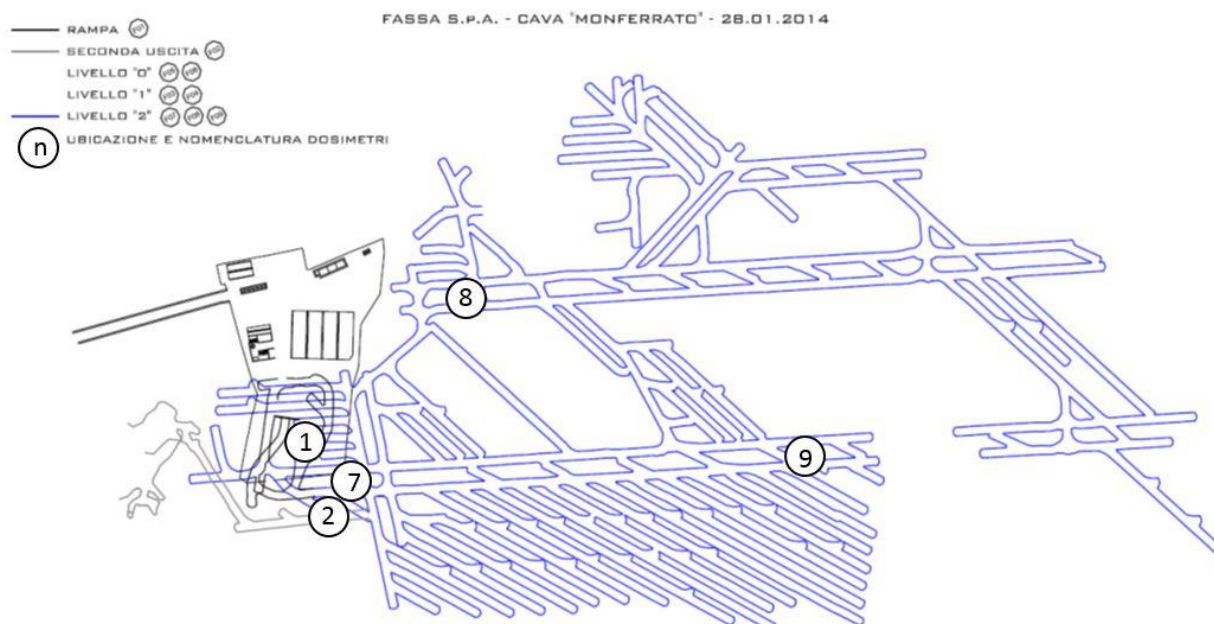


Figura 140: Ubicazione e nomenclatura dei dosimetri per la misura del Radon in aria – livello 2

Dalle misure effettuate e riportate in Tabella 13 e in Tabella 14 è subito riscontrabile quanto le concentrazioni di radon siano varie sia nello spazio che nel tempo: la concentrazione nel punto F02 passa da  $42 \pm 5$ , relativa al periodo ottobre – aprile, a  $569 \pm 26$  per il periodo maggio – novembre. Tale variabilità

del parametro è da attribuire probabilmente ad un andamento stagionale di tale parametro in aria ([www.arpa.fvg.it](http://www.arpa.fvg.it)).

Tabella 13: Prima campagna di misura del Radon presso la cava di Moncalvo

Dosimetro	Data inizio esposizione	Data fine esposizione	Concentrazione attività ± incertezza [Bq/m <sup>3</sup> ]
F01/1s	12/10/2012	12/04/2013	79 ± 7
F02/1s	12/10/2012	12/04/2013	42 ± 5
F03/1s	12/10/2012	12/04/2013	101 ± 9
F04/1s	12/10/2012	12/04/2013	98 ± 9
F05/1s	12/10/2012	12/04/2013	87 ± 8
F06/1s	12/10/2012	12/04/2013	94 ± 8
F07/1s	12/10/2012	12/04/2013	90 ± 8
F08/1s	12/10/2012	12/04/2013	100 ± 9
F09/1s	12/10/2012	12/04/2013	110 ± 10

Tabella 14: Seconda campagna di misura del Radon presso la cava di Moncalvo

Dosimetro	Data inizio esposizione	Data fine esposizione	Concentrazione attività ± incertezza [Bq/m <sup>3</sup> ]
F01/2s	14/05/2013	14/11/2013	326 ± 16
F02/2s	14/05/2013	14/11/2013	569 ± 26
F03/2s	14/05/2013	14/11/2013	363 ± 17
F04/2s	14/05/2013	14/11/2013	341 ± 16
F05/2s	14/05/2013	14/11/2013	251 ± 13
F06/2s	14/05/2013	14/11/2013	293 ± 14
F07/2s	14/05/2013	14/11/2013	340 ± 16
F08/2s	14/05/2013	14/11/2013	346 ± 17
F09/2s	14/05/2013	14/11/2013	326 ± 16



Tabella 15: Risultati delle analisi chimiche relative agli scarichi di Moncalvo

Codice	Data	Eh	pH	T (cond) [°C]	CE a 25°C [mS/cm]	TH [°f]	Sodio [mg/l]	Ammonio [mg/l]	Potassio [mg/l]	Calcio [mg/l]	Magnesio [mg/l]	Fluoruri [mg/l]	Cloriti [mg/l]	Bromati [mg/l]	Cloruri [mg/l]	Nitriti [mg/l]	Bromuri [mg/l]	Nitrati [mg/l]	Fosfati [mg/l]	Solfati [mg/l]	Bicarbonati [mg/l]	TDS [mg/l]
SC1	18-nov-11	149,5	7,93	12,5	3220	164,29	137,300	0,033	6,952	571,870	52,221	0,000	< 0,020	< 0,005	193,180	< 0,020	< 0,01	24,300	< 0,010	1331,740	327,711	2645,307
SC2	5-apr-12	144,2	8,14	14,3	3200	145,72	142,640	0,082	17,030	564,130	11,790	0,900	< 0,020	< 0,005	205,300	0,560	1,080	14,350	< 0,010	1155,720	319,968	2433,550
SC3	23-lug-12	199	7,70	14,3	2730	171,05	142,640	0,039	17,030	622,780	37,760	0,470	< 0,020	< 0,005	54,540	< 0,020	< 0,01	16,070	< 0,010	1444,970	336,436	2672,735
SC4	mar-13					53,46	6,989	< 0,01	1,472	174,085	24,275	0,320	< 0,020	< 0,005	26,520	0,300	< 0,01	43,590	< 0,010	175,350	373,662	826,562
SC5	18-lug-13					127,97	70,500	0,092	3,182	462,765	30,172	0,572	< 0,020	< 0,005	98,240	< 0,020	< 0,01	27,880	< 0,010	999,120	336,137	2028,660
VM1	18-nov-11	79,4	7,77	6,8	2000	120,78	4,431	0,037	4,614	433,390	30,520	0,286	< 0,020	< 0,005	25,892	< 0,020	< 0,01	13,276	< 0,010	787,520	379,550	1679,516
VM2	5-apr-12	167,5	7,86	13,3	1876	118,35	10,366	0,023	10,764	465,329	5,230	0,735	< 0,020	< 0,005	33,450	0,310	< 0,01	12,435	< 0,010	853,400	328,284	1720,326
VM3	23-lug-12	53	7,38	17,2	2340	164,54	10,366	0,047	10,764	617,970	24,860	0,492	< 0,020	< 0,005	13,012	< 0,020	< 0,01	7,936	< 0,010	1256,560	362,844	2304,851
VM4	mar-13					107,44	9,815	< 0,01	1,336	389,365	24,830	0,505	< 0,020	< 0,005	12,890	0,285	< 0,01	11,810	< 0,010	771,540	363,899	1586,275
VM5	18-lug-13					140,36	8,277	0,035	2,260	552,102	6,078	0,678	< 0,020	< 0,005	12,320	< 0,020	< 0,01	5,890	< 0,010	1075,120	331,408	1994,168
VV1	18-nov-11	206,7	8,02	11,5	3050	160,20	115,200	0,026	9,578	557,950	50,730	0,643	< 0,020	< 0,005	161,500	< 0,020	< 0,01	33,700	< 0,010	1287,560	314,879	2531,766
VV2	5-apr-12	158,9	8,23	14,1	2990	135,81	120,380	0,048	21,330	529,060	8,990	0,660	< 0,020	< 0,005	166,980	0,570	0,820	13,940	< 0,010	1060,700	305,647	2229,125
VV3	23-lug-12	163	7,70	16,6	2640	163,23	120,380	0,036	21,330	592,300	37,260	0,500	< 0,020	< 0,005	68,300	< 0,020	0,700	14,070	< 0,010	1410,680	279,398	2544,954
VV4	mar-13					122,61	52,360	< 0,01	2,036	431,785	35,930	0,440	< 0,020	< 0,005	71,110	< 0,020	< 0,01	13,140	< 0,010	953,280	331,073	1891,154
VV5	18-lug-13					138,23	69,140	0,048	2,954	531,060	13,676	0,762	< 0,020	< 0,005	80,570	< 0,020	< 0,01	14,730	< 0,010	1150,900	317,100	2180,940

Tabella 16: Risultati delle analisi chimiche relative agli scarichi di Moncalvo

Codice	Data	Li (ppb)	Al (ppb)	V (ppb)	Cr (ppb)	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Co (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	Ga (ppb)	As (ppb)	Se (ppb)	Rb (ppb)	Sr (ppb)	Ag (ppb)	Cd (ppb)	Sn (ppb)	Cs (ppb)	Ba (ppb)	Tl (ppb)	Pb (ppb)	Bi (ppb)	U (ppb)
SC1	18-nov-11	24,2	207,9	1,2	1,2	418,8	158,0	< 1	15,5	3,1	9,7	< 1	8,3	31,6	4,5	14810,0	< 1	< 1	< 1	< 1	21,8	< 1	1,3	< 1	3,2
SC2	5-apr-12	33,3	14,6	< 1	< 1	313,3	31,2	< 1	11,8	< 1	9,1	< 1	1,2	47,5	3,9	5692,0	< 1	< 1	< 1	< 1	15,0	< 1	< 1	< 1	7,1
SC3	23-lug-12	20,6	< 1	< 1	< 1	24,9	10,4	< 1	11,2	1,1	6,8	< 1	1,6	18,5	3,0	6510,0	< 1	< 1	< 1	< 1	8,1	< 1	< 1	< 1	7,0
SC4	mar-13	n.d.	73,3	1,0	1,6	20,6	120,6	< 1	2,4	2,0	1,3	< 1	< 1	5,1	< 1	471,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	69,1	< 1	< 1	< 1	3,6
SC5	18-lug-13	29,5	60,5	1,1	1,8	225,1	84,8	< 1	12,1	3,7	21,9	< 1	7,8	27,5	3,6	5535,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	69,1	< 1	< 1	< 1	8,6
VM1	18-nov-11	13,3	53,3	1,2	1,6	764,1	1172,0	< 1	4,9	1,1	4,9	< 1	2,3	2,4	1,0	8789,0	< 1	< 1	< 1	< 1	46,0	< 1	< 1	< 1	2,9
VM2	5-apr-12	< 1	< 1	< 1	< 1	92,0	65,2	< 1	1,9	< 1	2,2	< 1	< 1	< 1	< 1	1435,0	< 1	< 1	< 1	< 1	18,2	< 1	< 1	< 1	2,2
VM3	23-lug-12	16,7	< 1	< 1	< 1	534,9	104,7	< 1	3,9	1,6	5,6	< 1	2,8	4,7	1,1	5,1	< 1	< 1	< 1	< 1	18,2	< 1	< 1	< 1	4,2
VM4	mar-13	n.d.	3,6	< 1	< 1	89,4	117,2	< 1	2,3	< 1	1,6	< 1	< 1	1,9	< 1	2040,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	41,4	< 1	< 1	< 1	2,9
VM5	18-lug-13	20,4	30,1	1,1	< 1	259,0	245,9	< 1	4,1	5,1	11,3	< 1	3,7	2,4	1,1	4554,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	35,0	< 1	< 1	< 1	5,4
VV1	18-nov-11	30,2	71,3	< 1	< 1	228,4	91,3	< 1	12,8	< 1	6,0	< 1	6,9	27,2	3,7	13770,0	< 1	< 1	< 1	< 1	18,2	< 1	< 1	< 1	3,5
VV2	5-apr-12	< 1	11,0	< 1	< 1	132,2	32,1	< 1	5,9	< 1	2,3	< 1	< 1	18,5	1,6	2592,0	< 1	< 1	< 1	< 1	11,6	< 1	< 1	< 1	2,6
VV3	23-lug-12	18,0	< 1	< 1	< 1	53,3	10,3	< 1	8,6	2,9	7,9	< 1	1,4	20,7	2,8	6571,0	< 1	< 1	< 1	< 1	15,2	< 1	< 1	< 1	6,5
VV4	mar-13	n.d.	6,3	1,0	< 1	75,5	27,2	< 1	5,4	< 1	1,6	< 1	4,1	14,1	1,6	2784,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	26,5	< 1	< 1	< 1	3,1
VV5	18-lug-13	30,6	11,0	< 1	< 1	79,1	66,9	< 1	7,4	1,9	5,4	< 1	2,1	16,9	2,8	6893,0	< 1	< 1	n.d.	< 1	31,8	< 1	< 1	< 1	7,6

Nella Tabella 15 e nella Tabella 16 sono riportati i risultati delle analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati agli scarichi di Moncalvo. Il Decreto Legislativo 152/2006 alla parte 3 riporta i limiti da rispettare per lo scarico di acque industriali in un corpo idrico superficiale. Dal confronto con la tabella allegata alla parte 3 (cfr. Capitolo 5) risulta che i valori dei solfati presenti nelle acque di scarico delle cava in alcuni casi superino il limite consentito dalla legge (1000 mg/l).

Una campagna di campionamenti delle acque effettuata nelle zone circostanti la cava (Figura 142) ha però dimostrato che il valore naturale dei solfati in tali acque si attesta intorno ai 1000 mg/l e in alcuni casi risulta anche più elevato.

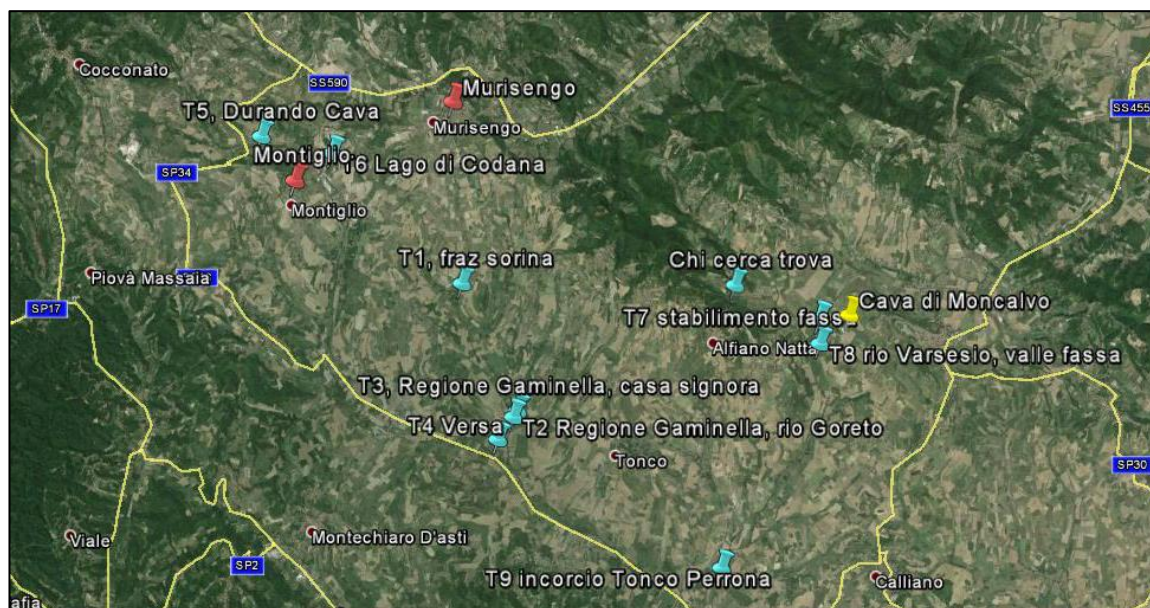


Figura 142: Ubicazione dei punti relativi al campionamento effettuato nelle acque superficiali nelle zone circostanti la cava

Il grafico di Figura 143 mostra gli andamenti delle concentrazioni di solfati allo scarico, a monte e a valle dello stesso nei diversi campionamenti effettuati: nei campioni SC1, SC2 e SC3 i valori allo scarico, come era logico aspettarsi, sono i più elevati mentre nei campioni SC4 e SC5 mostrano concentrazioni persino più basse rispetto ai relativi campioni effettuati a monte dello scarico. Tale fenomeno è dovuto alla realizzazione del campionamento in un periodo di non funzionamento delle pompe che emungono l'acqua di cava e la portano a giorno. Dal grafico risulta anche evidente quanto i valori di concentrazione dei solfati siano già molto elevati anche a monte dello scarico.

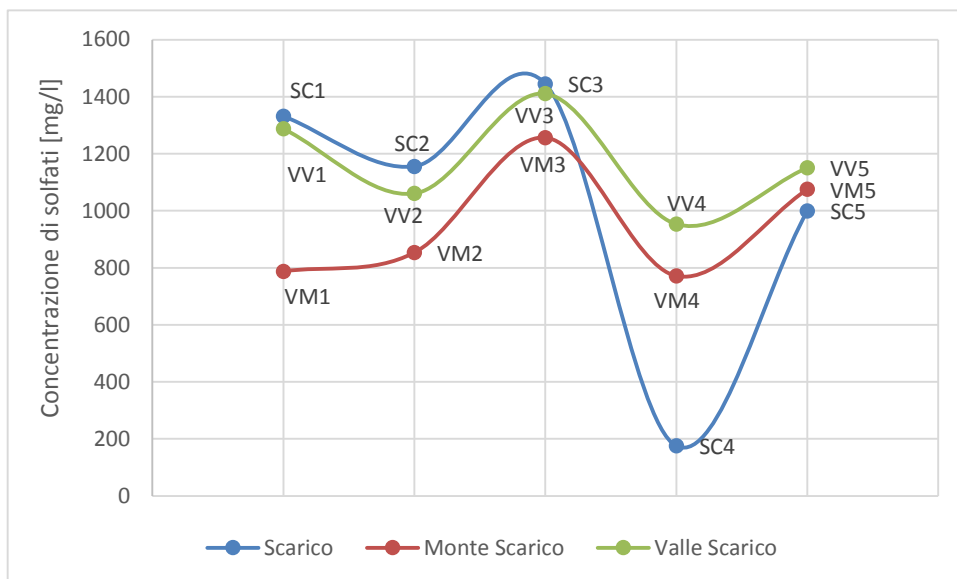


Figura 143: Andamento della concentrazione di solfati a monte, a valle e allo scarico della cava di Moncalvo

Valori di solfati così elevati sono dovuti alla lisciviazione, da parte delle acque superficiali, dei gessi presenti su tutta l'area adiacente la cava.

Come riportato nella tabella precedente, oltre ai solfati, sono stati analizzati numerosi altri parametri tra cui l'arsenico, di cui si riporta a titolo esemplificativo l'andamento delle concentrazioni in Figura 144

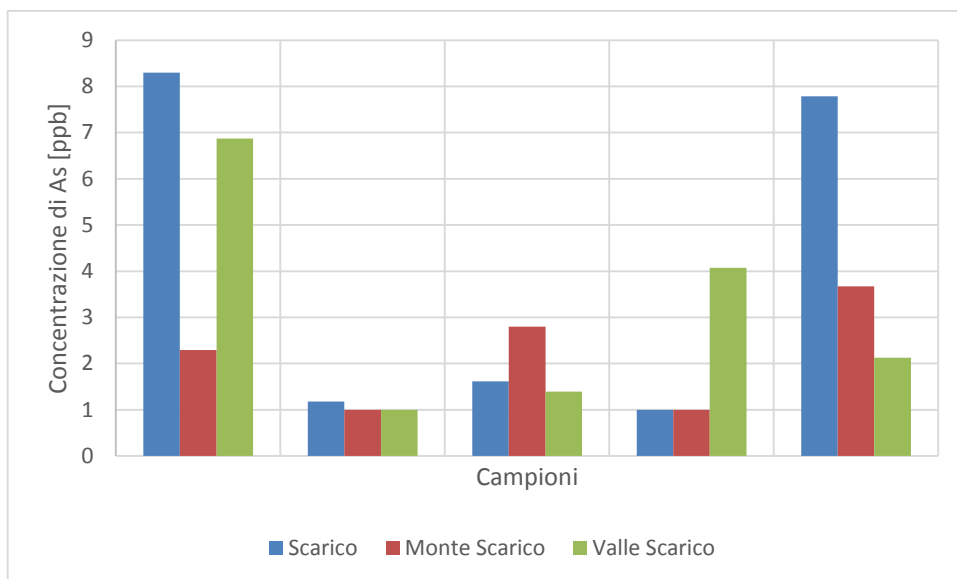


Figura 144: Concentrazioni di As nei diversi campionamenti effettuati

La gestione degli scarichi derivanti dalla realizzazione di un'opera sotterranea è un aspetto spesso cruciale dal punto di vista economico. Il trattamento delle acque di scarico, infatti, comporta generalmente costi molto elevati, talune volte inevitabili. Risulta quindi importante **conoscere le caratteristiche delle acque circostanti la zona in cui l'opera verrà realizzata o è in corso di realizzazione.**

Nel caso specifico il campionamento, e la successiva analisi, delle acque superficiali circolanti nelle zone limitrofe alla cava ha consentito di evitare il trattamento degli scarichi per quanto concerne il parametro solfati

Tra le caratteristiche da monitorare ricopre un ruolo, spesso di rilievo, **il parametro della torbidità delle acque**. Nel caso studio presentato tale parametro non ha comportato grossi problemi, a causa delle caratteristiche del materiale costituente l'acquifero ma a livello generale, durante la realizzazione di un'opera, è bene preventivare dei bacini di raccolta delle acque di drenaggio per favorire la naturale sedimentazione delle particelle sospese nelle acque di drenaggio.

## 8.2. L'ACQUIFERO IMPOSTATO NEI GESSI DI CALLIANO

### 8.2.1. PREMESSA

Così come per il caso studio di Moncalvo, anche lo studio dell'acquifero impostato nei livelli di gesso di Calliano ha fatto emergere alcune significative interferenze con l'acquifero. Le principali interferenze sono state:

- Venute idriche legate all'intercettamento da parte dello scavo di una fitta retta di fratture di dimensioni centimetriche, diffusa nell'intero ammasso
- Problemi legati allo scarico delle acque drenate dalla cava

L'intercettamento di tale rete di venute e l'impossibilità tecnica di estrarre il gesso nelle condizioni idrogeologiche naturali (scavo in sotto falda) ha richiesto un'ingente opera di drenaggio delle acque. Tale drenaggio, come si vedrà nei prossimi paragrafi, ha condizionato l'idrogeologia dell'intero ammasso nell'intorno della cava. La struttura dell'acquifero impostato nei gessi di Calliano è caratterizzato da una circolazione idrica che avviene all'interno di una vastissima rete di piccole fratture che si estende in maniera capillare. Questa **fratturazione "omogenea" rende il mezzo pressoché di tipo continuo causando quindi abbassamenti dei livelli piezometrici regolari e un cono di depressione molto esteso**. Il drenaggio delle acque in un ammasso così strutturato può causare interferenze in un'area anche molto vasta e su più livelli acquiferi: il drenaggio delle acque intercettate durante lo scavo delle gallerie della cava ha compromesso sia una sorgente (Ratanun) ma anche acque circolanti in circuiti più profondi come quelle della Sorgente Pirenta e quelle di un pozzo industriale lontano qualche km dalla cava.

Per gestire tale interferenze sono state intraprese le seguenti azioni:

- Configurazione di una rete di monitoraggio e controllo
  - Dei livelli piezometrici effettuata attraverso sia misure manuali sia misure con acquisitori automatici
  - Chimico – fisico realizzata mediante analisi in situ (T, pH, Eh, ossigeno disciolto) e campionamenti con successive analisi in laboratorio sulla concentrazione degli ioni disciolti (Calcio, Magnesio, Bicarbonato, Solfati, Cloruri, Sodio, Potassio, Nitrati, metallici)
- Definizione del modello concettuale alla base dell'organizzazione del flusso dell'acquifero: sulla base dei dati di monitoraggio acquisiti è stato possibile capire il modello concettuale di flusso a cui l'acquifero impostato nei gessi di Calliano risponde.
- Realizzazione delle vasche di sedimentazione per l'abbattimento della torbidità delle acque drenate durante lo scavo

Nei prossimi paragrafi verranno dettagliate le interferenze e le azioni intraprese per la gestione e lo studio di tale acquifero.



## 8.2.2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

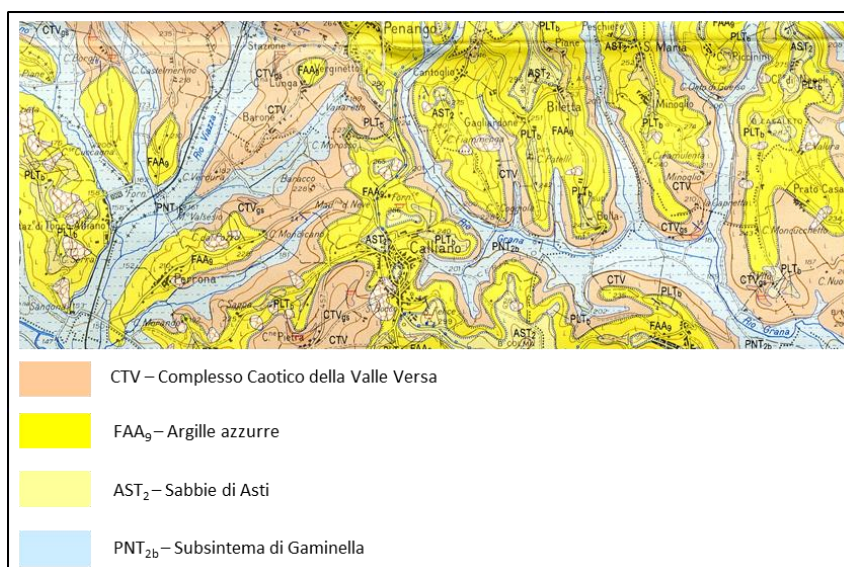


Figura 145: Stralcio della carta geologica di Trino (scala 1:50.000)

La situazione idrogeologica dell'area di Calliano è strettamente legata all'assetto stratigrafico dell'area che, sulla base dei numerosi sondaggi geognostici a carotaggio in continuo eseguiti, evidenziano una situazione geologica piuttosto differente a quella riportata nel nuovo Foglio "Trino" della Carta Geologica Regionale (1:50.000). Tale cartografia riporta, nell'area in esame, la presenza del Membro siltoso-sabbioso delle Argille Azzurre (**FAA<sub>9</sub>**), affiorante in corrispondenza delle principali dorsali e del Complesso Caotico della Valle Versa (**CTV**) presente lungo i versanti dell'intero settore. Come evidenziato in una breve nota di Vigna et alii presentata al Convegno di Alba di ottobre 2008 (Alba e tramonto della crisi messiniana) risulta che, in tutta l'area esaminata, come anche nel vicino sito di Moncalvo, la successione stratigrafica sia differente rispetto a quella riportata dalla cartografia ufficiale con i livelli gessosi che non sono stati coinvolti dalle deformazioni legate alla tettonica intramessiniana. In gran parte del settore del Monferrato queste deformazioni hanno, invece, rimobilizzato e caoticizzato i livelli evaporitici originando una successione di sedimenti con aspetto caotico, dove grossi blocchi di gesso si alternano a clasti di arenaria, calcari, gessoareniti, immersi in una matrice siltoso-argillosa che è stata attribuita alla Formazione del Complesso Caotico della Valle Versa (Dela Pierre et al. 2002 e 2003). Dai sondaggi eseguiti nella zona di studio risulta essere presente, al di sopra delle marne tortoniane, una successione di tre banchi di gesso macrocristallino, in posto, della potenza complessiva di circa 35 m, ricoperti da una alternanza di gesso microcristallino e potenti orizzonti marnosi. Tale successione viene in parte troncata e modellata da un'importante superficie di erosione legata alla tettonica intramessiniana riducendo localmente lo spessore dei gessi ad una potenza di pochi metri. Questa superficie di erosione sembra aver condizionato in parte la carsificazione superficiale dell'ammasso gessoso mentre in profondità, sulla base delle osservazioni fin ora eseguite in sotterraneo, la carsificazione risulta essere piuttosto ridotta. Al di sopra della successione evaporitica si incontra poi una potente successione, costituita da argille limose, limi argillosi e sabbie fini limose, conosciuta in letteratura con il nome di depositi "lago-mare".

Come già descritto per il caso studio di Moncalvo (vedi Paragrafo 8.1.2), si preme evidenziare l'importanza del modello geologico e idrogeologico per una corretta stima degli apporti e delle future portate da drenare.

Sulla base dell'assetto stratigrafico sopra riportato è possibile individuare due principali complessi idrogeologici:

il Complesso limoso-argilloso appartenente ai depositi lago-mare è caratterizzato da una permeabilità per porosità di grado da molto-basso (livelli prevalentemente argillosi) a medio-basso (rari livelli di sabbie fini omogenee) e complessivamente può quindi essere considerato un aquitard. Affiora in tutta l'area in particolare sulle dorsali e sui versanti collinari della zona. In seguito alle precipitazioni non sono evidenti, nell'area collinare, correvi o zone di ruscellamento delle acque superficiali. Si può quindi affermare che tale complesso assorbe parzialmente le acque piovane che successivamente raggiungeranno l'acquifero principale sottostante, impostato nel complesso gessoso, in tempi piuttosto lunghi.

il Complesso gessoso appartenente alla successione evaporitica presenta una permeabilità relativamente omogenea in tutta la zona investigata. Le tre bancate di gesso macrocristallino sembrano essere caratterizzate da una microfratturazione a livello centimetrico che interessa elevate porzioni dell'ammasso roccioso (Figura 146), mentre invece è piuttosto ridotta la presenza di fratture più importanti che raggiungono una estensione maggiore (Figura 147). E' inoltre presente una rete carsica costituita da condotti con morfologia "a pieno carico", di sezioni estremamente ridotte (diametro medio intorno ad un decimetro), ma che sembrano estendersi e svilupparsi, con una maglia relativamente omogenea, nell'intera successione evaporitica (Figura 148). Anche la bancata di gesso microcristallino è interessata, localmente, dalla presenza di questa microscopica rete carsica (Figura 149). L'ammasso roccioso evaporitico è quindi caratterizzato da un corpo acquifero relativamente continuo e dotato di una permeabilità media, che tende a ridursi nei settori poco fratturati dell'ammasso ed a crescere in corrispondenza delle porzioni maggiormente carsificate.



*Figura 146: Venute idriche da microfratturazione*



*Figura 147: Frattura con estensione metrica*



*Figura 148: Piccolo condotto carsico attivo a pieno carico*



Figura 149: Condotta carsica nei livelli di gesso microcristallino

Nei due complessi idrogeologici sopra descritti è presente una circolazione idrica sotterranea relativamente articolata e condizionata dall'assetto geologico-stratigrafico dell'area e dai diversi valori di permeabilità presenti. L'acquifero impostato nell'ammasso gessoso sembra presentare una circolazione idrica piuttosto omogenea, dove è possibile riconoscere una zona di saturazione con una superficie piezometrica che prima della realizzazione degli scavi in sottterraneo sembrava dirigersi verso una zona sorgiva denominata Sorgente Ratanun. In seguito all'abbassamento dei livelli idrici esercitato dalle gallerie della cava in sottterraneo, tale venuta si è progressivamente prosciugata. Questa emergenza era ubicata in corrispondenza di una depressione del terreno (quota circa 150 m s.l.m.), sul versante nord-occidentale del Bric del Gerbido a pochi metri dal fondovalle. Era costituita da un piccolo laghetto di dimensioni di una decina di metri quadri, con fondo in sedimenti sabbioso-limosi le cui acque confluivano nel reticolo di drenaggio principale. Sulla base della cartografia IGM 1:25.000 (Foglio 69 – I NW Montemagno) e delle informazioni raccolte in loco, risulta che le acque sorgive costituivano la forza motrice del Mulino della Pirenta ubicato a un centinaio di metri a valle della Sorgente Pirenta. Non esistono dati riguardanti le portate di questa sorgente ma, sulla base delle indicazioni fornite da persone del luogo, sembra che il flusso idrico fosse di alcune decine di litri al secondo. Il reticolo di drenaggio superficiale che in passato era alimentato dalle acque di tale sorgente raccoglie oggi le acque sotterranee provenienti dagli scarichi della cava e che emungono le medesime acque provenienti dall'acquifero gessoso. Un campionamento geochimico effettuato presso la Sorgente Ratanun e confrontato con gli scarichi della cava ha evidenziato una facies chimica molto simile dimostrando come queste acque appartengano al medesimo acquifero.

L'acquifero principale sembra essere alimentato prevalentemente dai travasi che avvengono, in tempi molto lunghi, tra il complesso limoso-argilloso e quello gessoso e secondariamente dalla ricarica superficiale diretta in corrispondenza dei pochi settori dove l'ammasso gessoso è in affioramento o in sub-affioramento coperto da una sottile coltre di depositi eluvio-colluviali. Questa ipotesi sembra essere confermata anche dai risultati delle analisi chimiche eseguite sulle acque intercettate dallo scavo in galleria e che evidenziano la presenza di tenori di nitrati relativamente alti (vedi Paragrafo 8.2.4.2) legati agli apporti di acque provenienti dalla superficie dove è presente una non trascurabile attività agricola.

---

### 8.2.3. LE SORGENTI NEL SETTORE PROSSIMO ALL'AREA DI CAVA DI CALLIANO

---

Pochi sono i dati bibliografici relativi alle sorgenti ubicate nell'area in esame ad eccezione della Sorgente Pirenta di Calliano descritta in una pubblicazione della Regione Piemonte dei primi anni '80 (Regione Piemonte – Assessorato alle Acque Minerali e Termali: "Le concessioni ed i permessi di ricerca per acque minerali del Piemonte"). Da un sopralluogo effettuato in data 07/07/2010 da parte di personale del Politecnico di Torino risultano essere presenti, nell'area in esame, tre principali sorgenti di seguito descritte (Figura 150).

La **Sorgente Ratanun** è ubicata in corrispondenza di una depressione del terreno (quota circa 150 m s.l.m.), sul versante nord-occidentale del Bric del Gerbido a pochi metri dal fondovalle, occupata da un piccolo laghetto di dimensioni di una decina di metri quadri, con fondo in sedimenti sabbioso-limosi le cui acque confluiscono nel reticolo di drenaggio principale. Sulla base della cartografia IGM 1:25.000 (Foglio 69

– I NW Montemagno) e delle informazioni raccolte in loco, risulta che le acque sorgive confluivano nella rete di drenaggio principale costituendo la forza motrice del Mulino della Pirenta ubicato a un centinaio di metri a valle della Sorgente Pirenta. Tale sorgente è stata essiccata a causa del drenaggio operato dalla cava di Calliano.

La **Sorgente Pirenta di Calliano** è ubicata (quota circa 148 m s.l.m.) sul bordo della SS 457 per Calliano e veniva indicata, sul Foglio 69 – I NW Montemagno 1:25000 dell’IGM, come “Fontana Solfurea”. La captazione della sorgente è costituita da un pozzo rivestito in cemento, di diametro di circa 1 m e profondo circa 3 m, con acqua saliente per circa 1,7 m che sembra intestarsi nell’ammasso roccioso. Le acque vengono convogliate attraverso una tubazione alla fontana pubblica ubicata a pochi metri dal pozzo in una piccola depressione per favorire il libero flusso idrico. La captazione risulta poi essere chiusa da un semplice chiusino metallico allo stesso livello del manto stradale. Tale sistema di drenaggio non garantisce assolutamente una protezione sufficiente delle acque sorgive da fenomeni di inquinamento particolarmente in seguito ad eventi piovosi quando le acque di ruscellamento sul manto stradale, possono, in parte, confluire nella captazione. La portata idrica citata nella pubblicazione della Regione Piemonte e misurata il 16/12/1976 risultava essere di 3,6 l/s, mentre le misure effettuate dalla Società Geostudio effettuate negli anni 2008 – 2009, prima dell’inizio degli interventi di drenaggio controllato operato presso la Cava di gesso in sottterraneo “Franca” della Fassa S.p.A., risultavano essere comprese tra un massimo di 1,89 l/s e un minimo di 0,70 l/s. Tale sorgente, essiccata a causa del drenaggio della cava, è stata “riattivata” mediante l’utilizzo di una pompa.

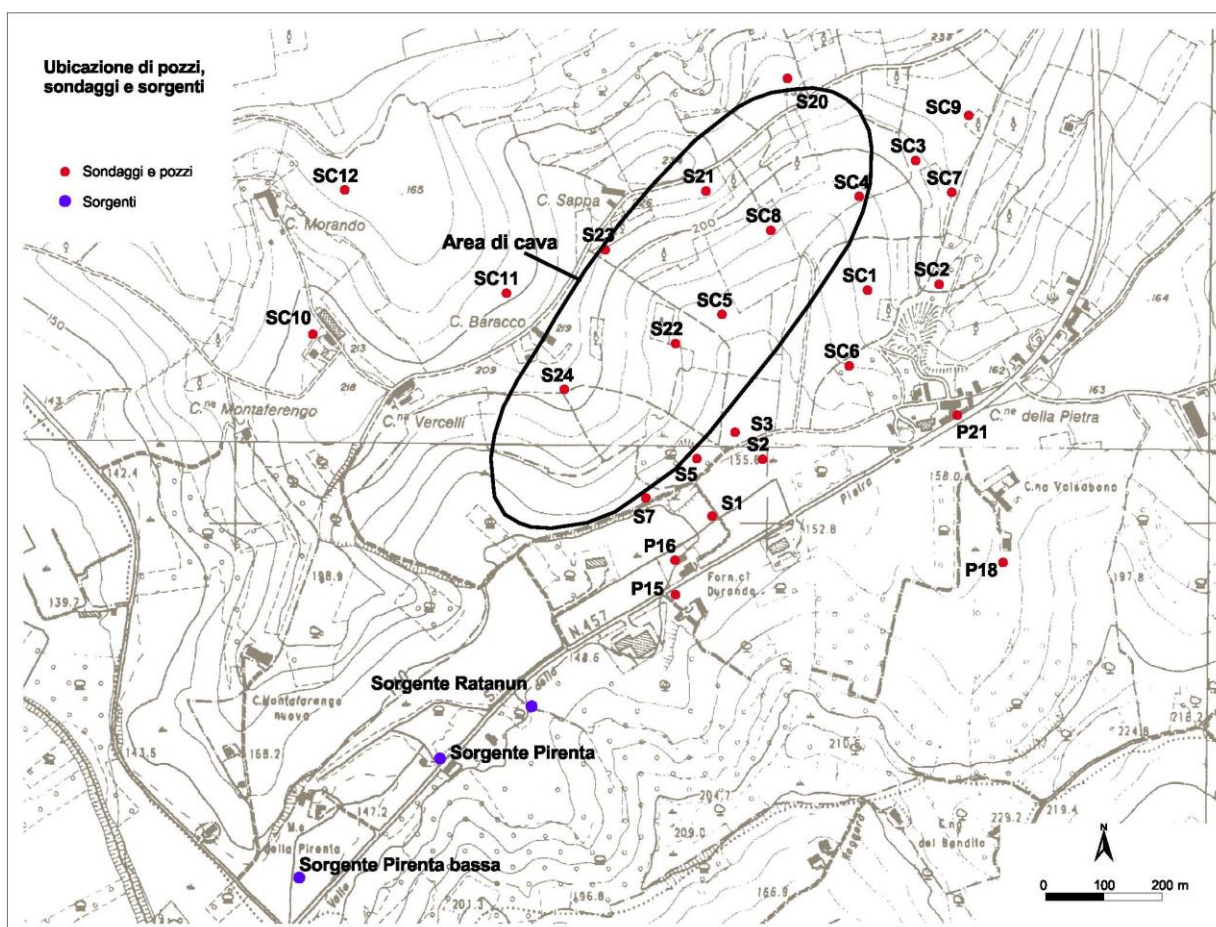


Figura 150: Ubicazione delle sorgenti, dei pozzi e dei piezometri nel sito di Calliano

La **Sorgente Pirenta bassa** è ubicata un centinaio di metri a valle della Sorgente Pirenta di Calliano ad una quota di circa 147 m s.l.m. è costituita da una tubazione in plastica che riversa l'acqua sul bordo in sinistra del Rio di Valle della Pietra con una portata di 0,8 l/s misurata in data 07/07/2010. Non si conosce l'esatta ubicazione della sorgente che, sulla base delle informazioni raccolte in loco, sembra essere legata alla realizzazione di un pozzetto, eseguito dall'ENI agli inizi degli anni '80 per indagini sismiche, che ha intercettato l'acquifero in pressione dell'ammasso gessoso. Per evitare l'impaludamento dei campi circostanti è stato realizzato un sistema di derivazione delle acque direttamente verso il Rio di Valle della Pietra. Tale sorgente alla fine dell'anno 2013 presentava una portata molto ridotta.

## 8.2.4. DESCRIZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO

Lo studio relativo alla situazione idrogeologica dell'acquifero impostato nel complesso evaporitico, è proseguito attraverso l'acquisizione dei dati idrodinamici e geochimici delle acque provenienti dalla rete di monitoraggio dei livelli idrici e dalla rete di controllo dei parametri chimico-fisici delle acque intercettate dai lavori di scavo in sotterraneo e delle acque superficiali

### 8.2.4.1. RETE DI MONITORAGGIO DEI LIVELLI IDRICI

Per lo studio idrogeologico dell'area di cava e per monitorare le variazioni dei livelli idrici nel tempo sono stati attrezzati con tubi piezometrici alcuni fori dei sondaggi geognostici effettuati ante opera.

Per la misura dei livelli idrici sono utilizzati 8 piezometri (SC10, SC11, SC12, S20, S21, S22, S23, S24) ed un pozzo (PZ) precedentemente sfruttato per l'abbassamento controllato dei livelli idrici presso l'ingresso est delle gallerie (Figura 151). Tale pozzo non viene più utilizzato per l'estrazione delle acque sotterranee in quanto sostituito dai drenaggi esercitati dalle gallerie di cava.

I rilevamenti dei livelli idrici vengono effettuati attraverso una serie di misure manuali, con cadenza variabile, eseguite dal personale della Fassa e da acquisizioni automatiche tramite acquisitori automatici installati e controllati dal personale del Politecnico di Torino (DIATI) presso i diversi piezometri circostanti l'area di cava.

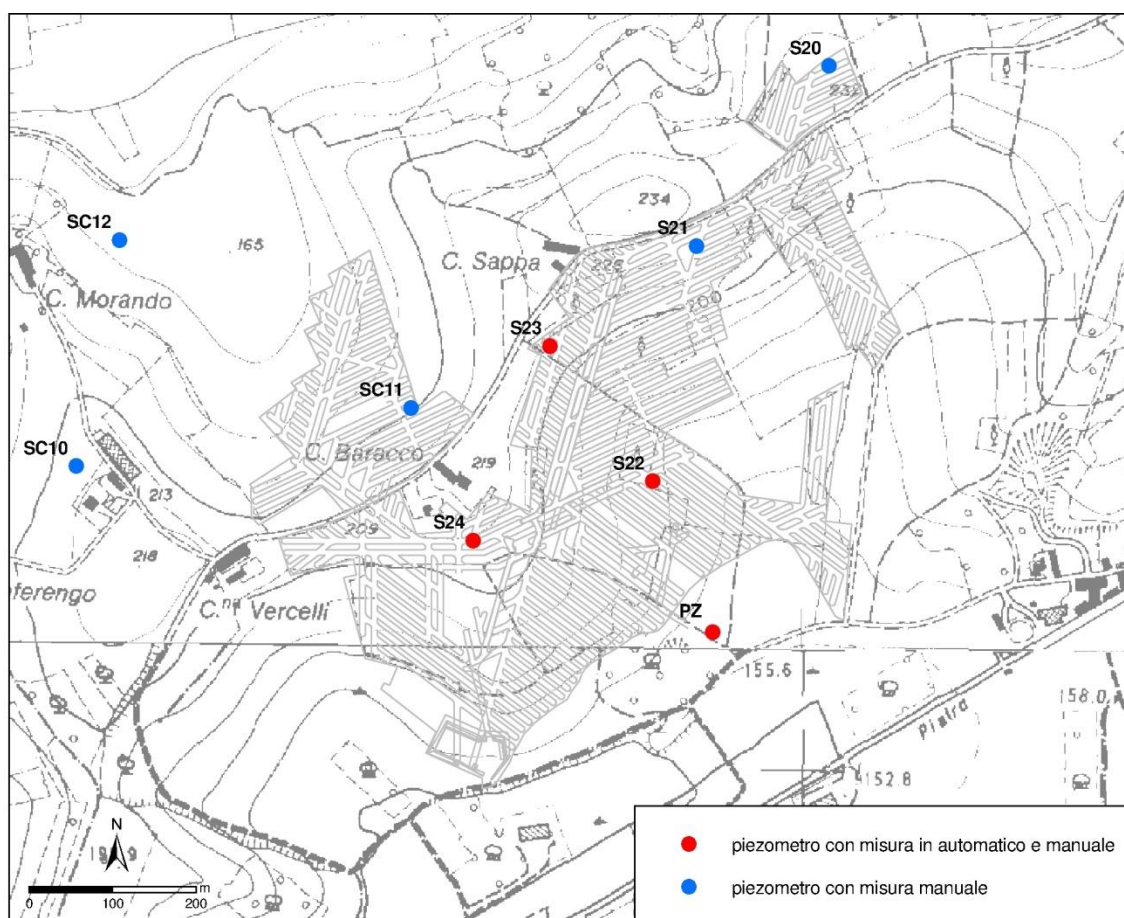


Figura 151: Ubicazione dei piezometri e del pozzo tenuti sotto osservazione mediante misure manuali e automatiche

Gli acquisitori automatici attualmente in funzione sono 2 (ubicati in S22 e S23) e sono stati installati in prossimità delle zone di scavo per monitorare in continuo le variazioni dei livelli idrici.

Da maggio a luglio 2011 è stato tenuto sotto controllo anche l'andamento della piezometria all'interno del piezometro S24 fino al guasto dell'apparecchiatura. L'acquisitore automatico ubicato nel Pozzo est è fuori servizio da dicembre 2012.

Le misure strumentali (Figura 152 - Figura 155), eseguite in continuo, evidenziano con maggior dettaglio le variazioni piezometriche sia positive, connesse alla ricarica dell'acquifero, che negative legate al drenaggio operato dalle gallerie della cava.

L'andamento dei piezometri S22 ed S23 è molto simile tra loro con una serie di piccole oscillazioni probabilmente legate alle modalità di svuotamento della rete acquifera fratturata e carsificata.

I livelli idrici registrati nel piezometro S23 mostrano nel periodo primaverile-estivo un blando incremento probabilmente legato agli abbondanti apporti infiltrativi in tale lasso di tempo. La serie di misure relative a PZ è interrotta in diversi periodi a causa malfunzionamento dell'apparecchiatura di registrazione dovuto all'ubicazione dell'acquisitore automatico in un punto caratterizzato da valori di umidità dell'ordine del 100%. Dal grafico si evidenzia, in ogni caso, un abbassamento molto regolare del livello piezometrico.

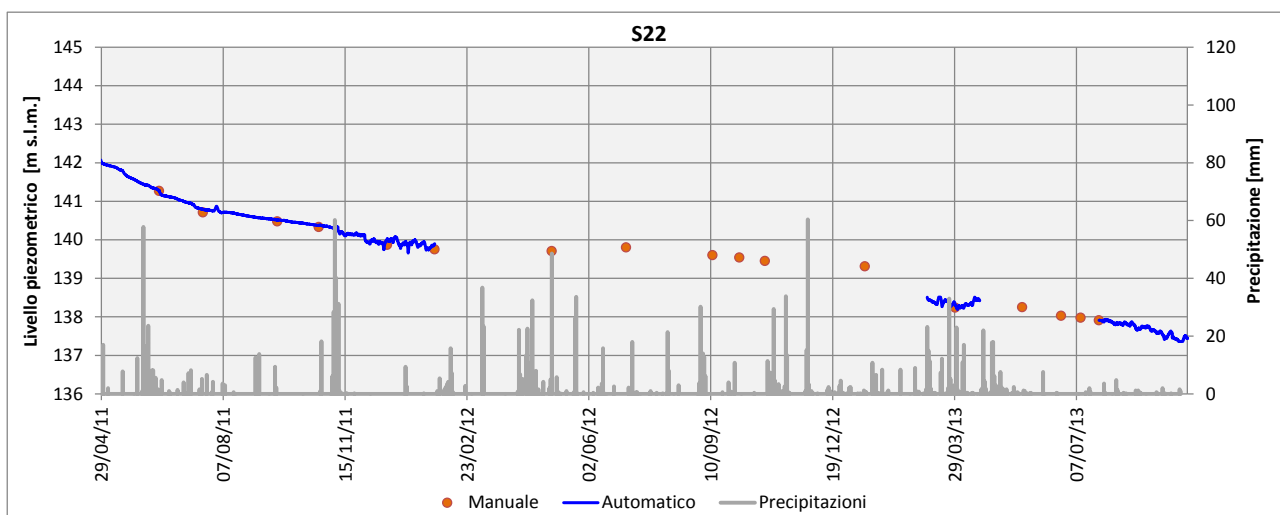


Figura 152: Misure di livello automatiche e manuali nel piezometro S22

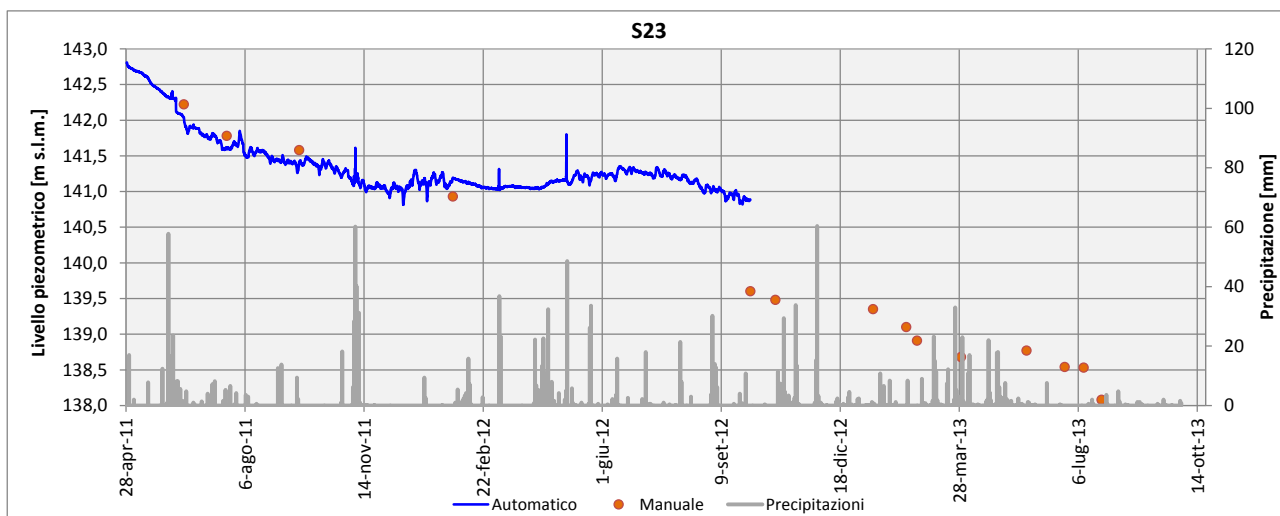


Figura 153: Misure di livello automatiche e manuali nel piezometro S23



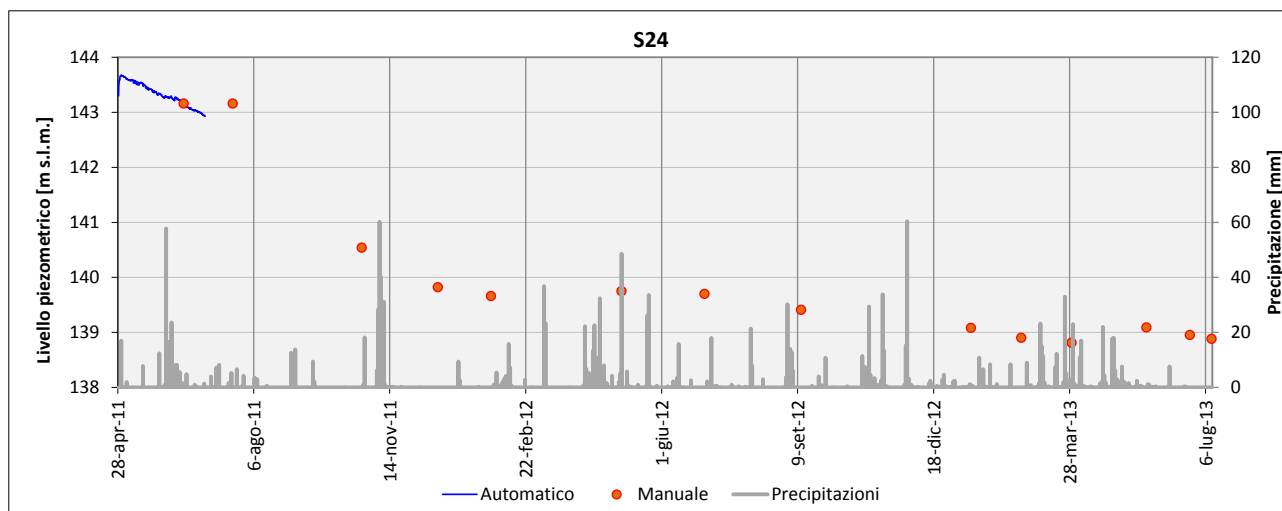


Figura 154: Misure di livello automatiche e manuali nel piezometro S24

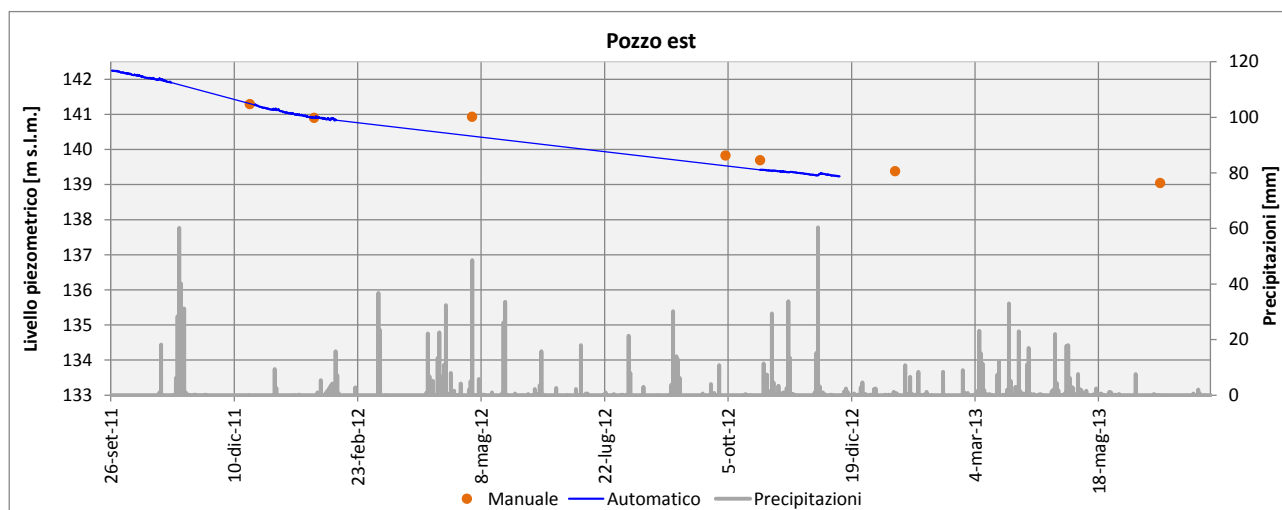


Figura 155: Misure di livello automatiche e manuali nel pozzo est

Di seguito sono state riportate le misure eseguite manualmente all'interno dei piezometri (Figura 156 - Figura 163). Le misure, a partire dal 19/11/08, fino al 14/05/10 riguardano la situazione precedente l'inizio dei lavori di scavo delle gallerie di accesso alla cava. Le marcate oscillazioni dei livelli, riscontrate in tutti i sette piezometri tra il 06/04/09 e il 10/06/09, sono legate a una serie di prove di pompaggio effettuate nel pozzo PZ ubicato presso l'ingresso Est. Tali prove erano finalizzate alla conoscenza dell'acquifero intercettato dai lavori di scavo in sotterraneo e hanno evidenziato un abbassamento dei livelli idrici anche nei piezometri più distanti l'area di cava. Il pozzo PZ è stato quindi utilizzato per deprimere i livelli idrici dell'acquifero ad inizio dei lavori in sotterraneo e poi dismesso a causa delle ridottissime portate estraibili causate dall'approfondimento delle gallerie di scavo e dal relativo drenaggio operato dalle stesse. Dal diagramma di Figura 164 si evidenzia molto bene come il trend di abbassamento dei livelli idrici sia piuttosto simile nei diversi piezometri. Unica eccezione è data dai piezometri S20 ed S21, più distanti dall'area di cava, che nella stagione primaverile 2011 e 2012 mostrano blandi incrementi dei livelli di falda legati alle abbondanti precipitazioni di tale periodo. I lavori di scavo e i relativi drenaggi hanno quindi

prodotto una depressione della superficie piezometrica permettendo in questo modo l'esecuzione degli scavi in condizioni di sicurezza. Occorre evidenziare che una volta raggiunte le quote minime di scavo, i livelli idrici si stabilizzeranno in tempi molto lunghi, in funzione delle portate di emungimento e degli apporti dell'acquifero.

Da tali misure risulta quindi che i piezometri più prossimi all'area di scavo (S22, S23, S24) hanno evidenziato in circa 2 anni un abbassamento dei livelli idrici di oltre 8 metri mentre i piezometri più distali (S20, S21, SC10) hanno mostrato decrementi compresi tra i 5 e 6 metri. Grossomodo l'abbassamento medio giornaliero delle zone prossime alle gallerie drenanti risulta essere di circa 1 cm.

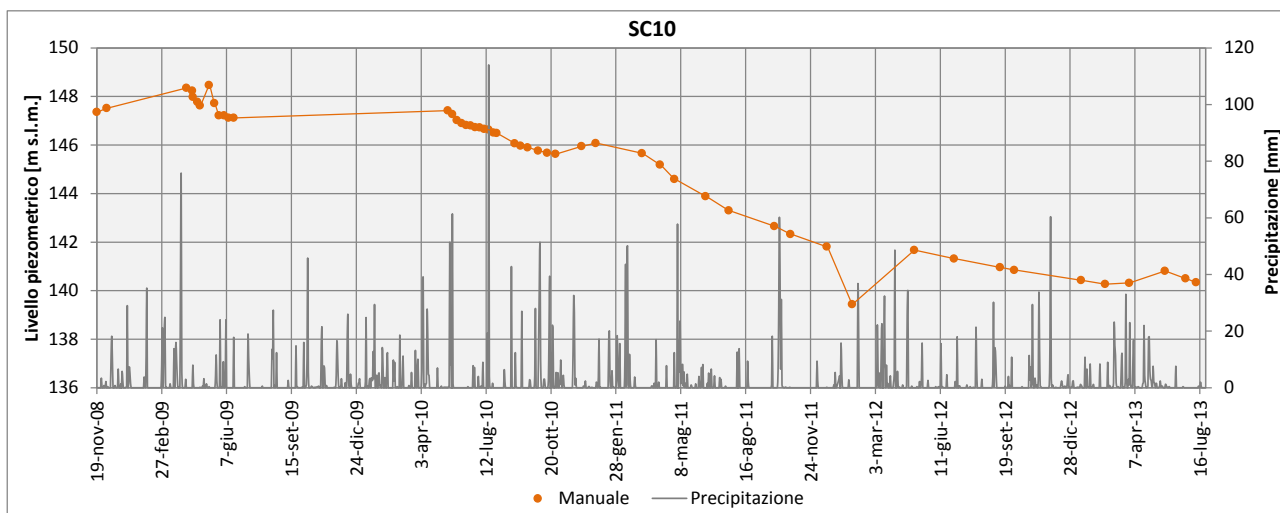


Figura 156: Misure manuali eseguite nel piezometro SC10

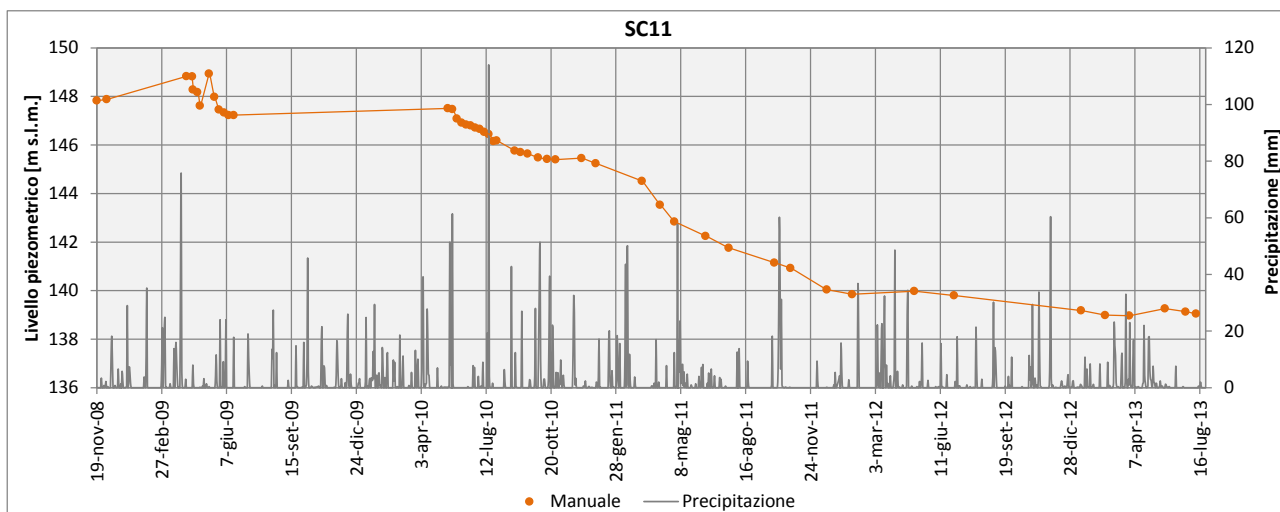


Figura 157: Misure manuali eseguite nel piezometro SC11

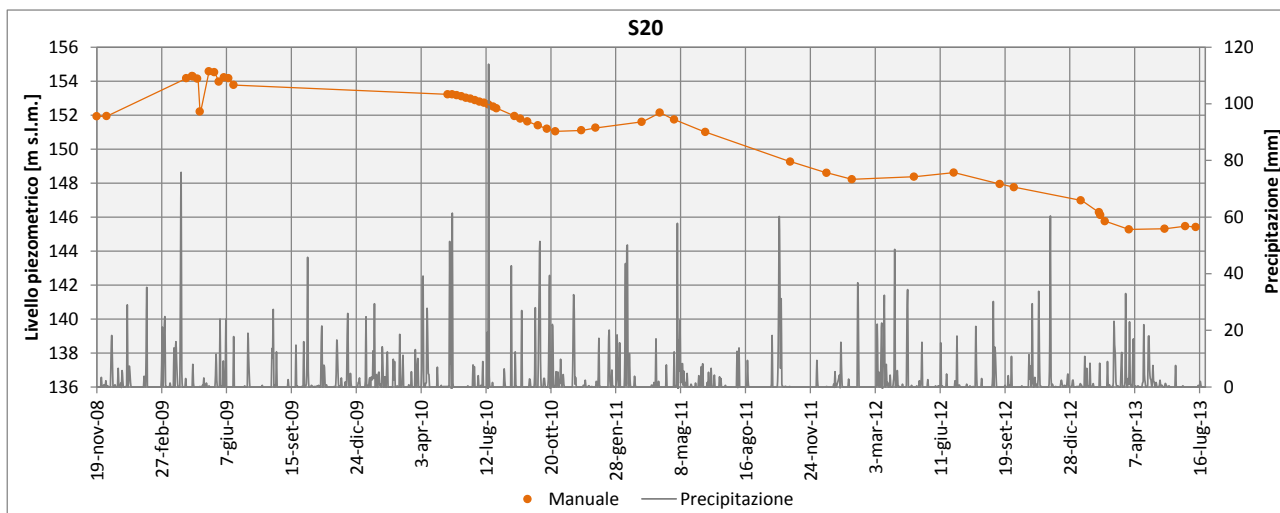


Figura 158: Misure manuali eseguite nel piezometro S20

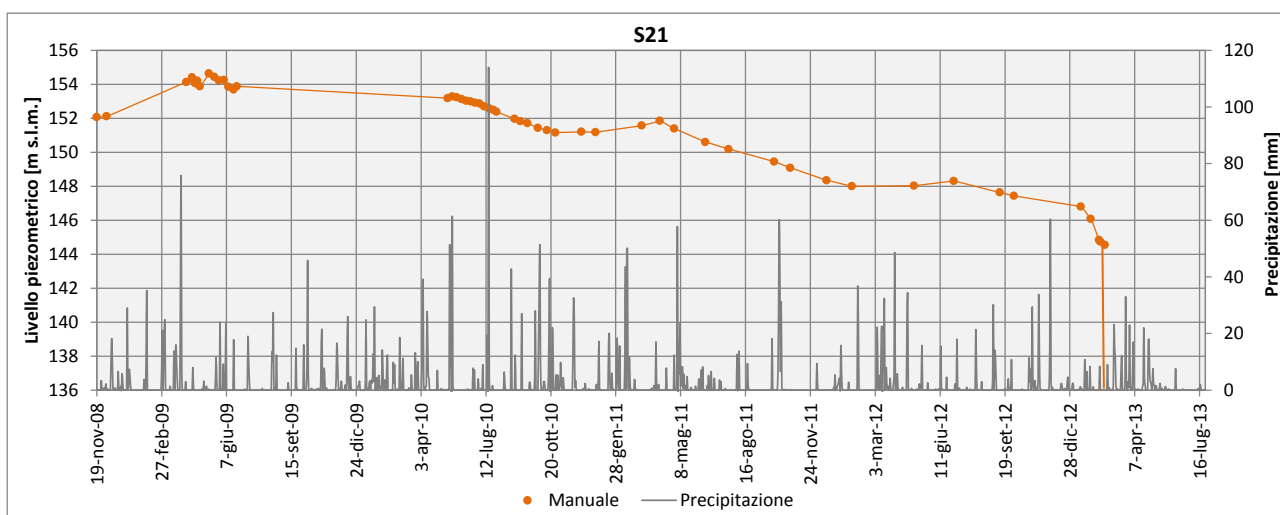


Figura 159: Misure manuali eseguite nel piezometro S21<sup>5</sup>

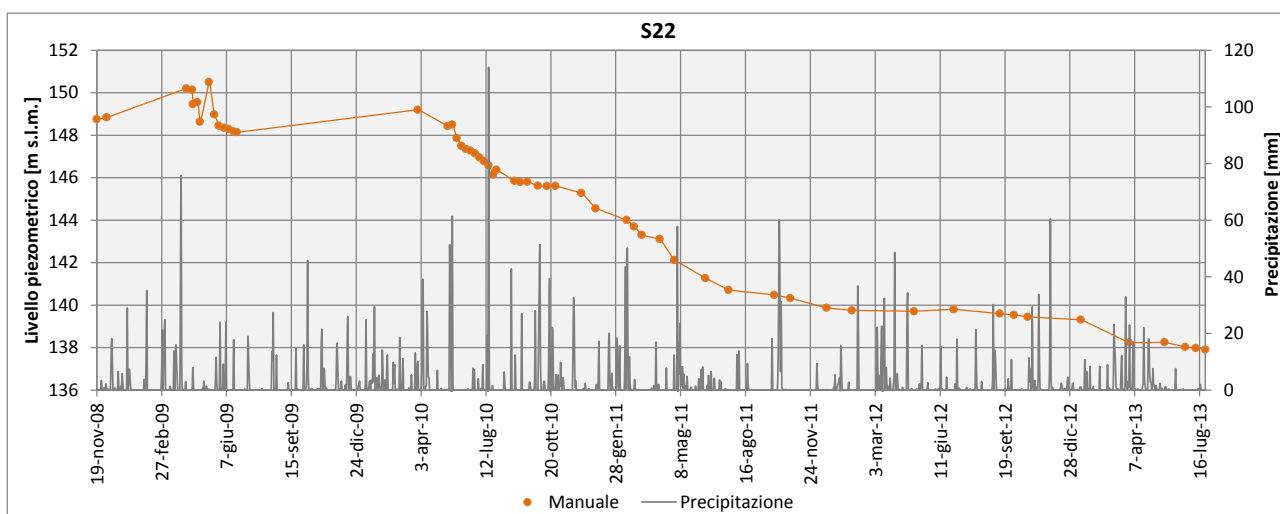


Figura 160: Misure manuali eseguite nel piezometro S22

<sup>5</sup> Il piezometro S21 è stato intercettato dai lavori di scavo in data 06/03/13

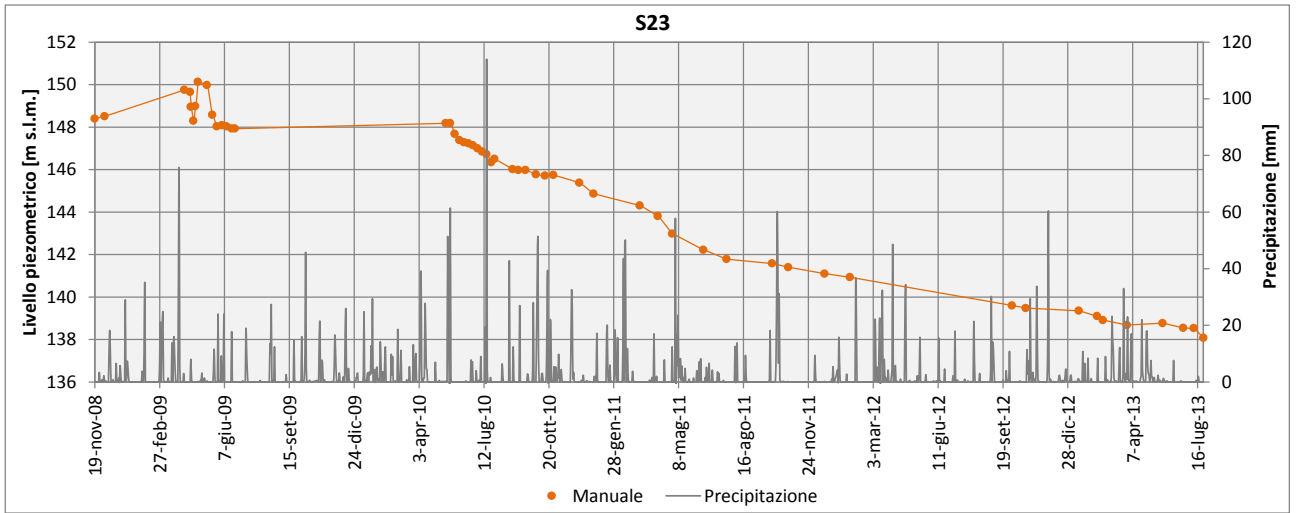


Figura 161: Misure manuali eseguite nel piezometro S23

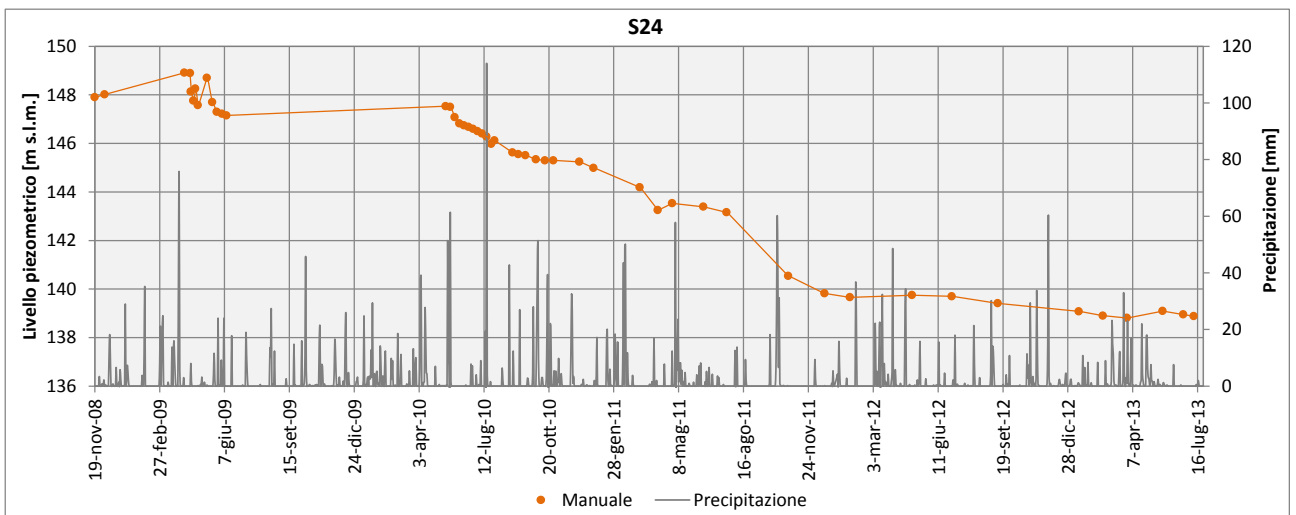


Figura 162: Misure manuali eseguite nel piezometro S24

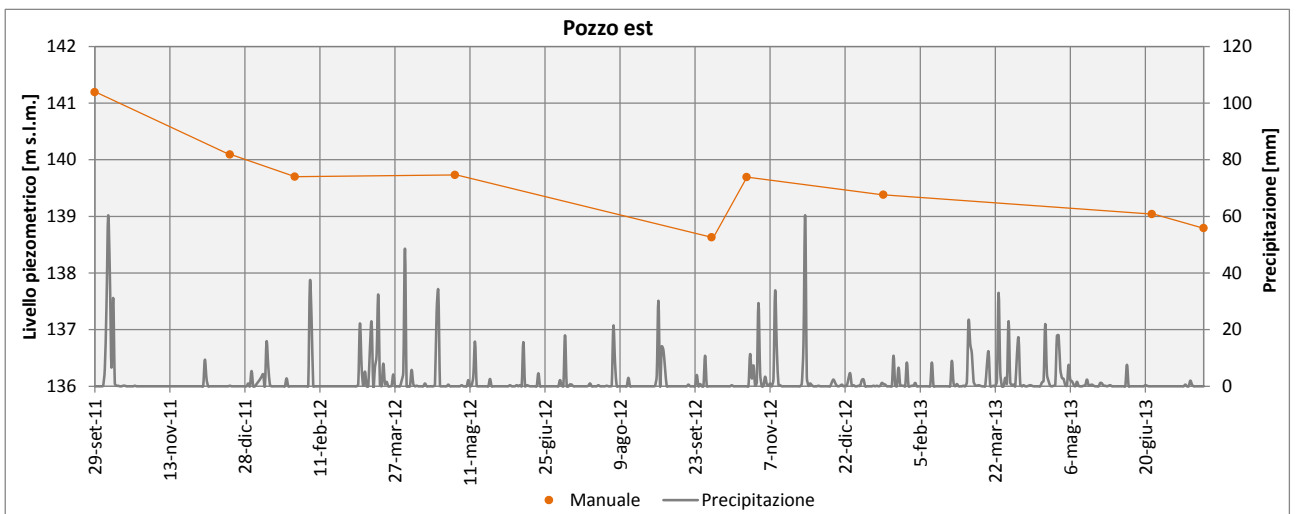


Figura 163: Misure manuali eseguite nel pozzo est

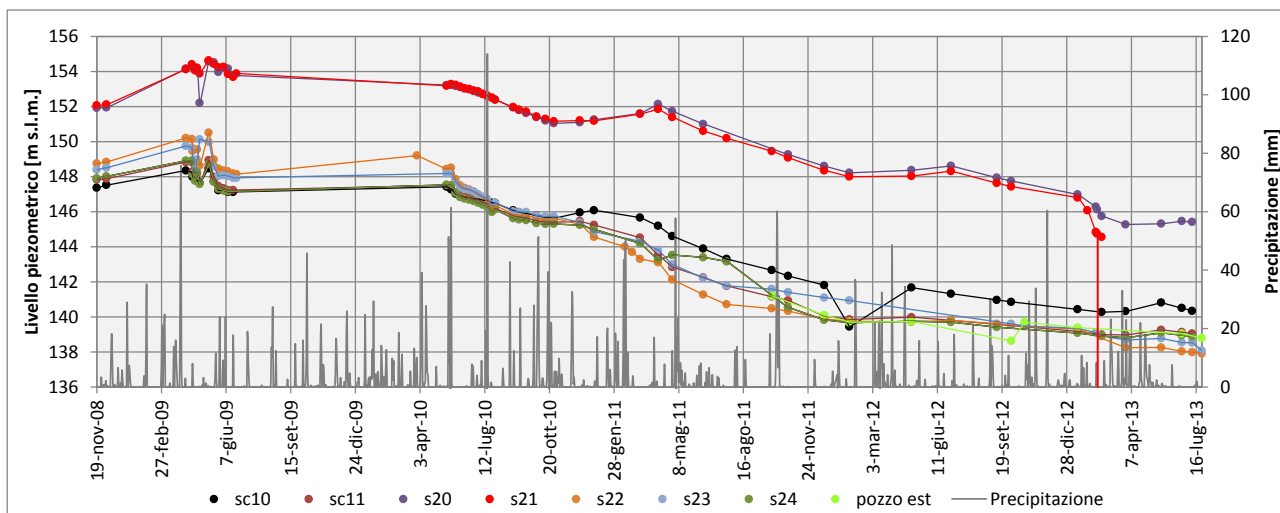


Figura 164: Andamento dei livelli piezometrici nei diversi punti di misura

Attraverso l'elaborazione automatica con il programma Surfer dei dati piezometrici è stato possibile realizzare la carta del campo di moto dell'acquifero principale relativa a quattro differenti periodi (Settembre 2008, Marzo 2011, Settembre 2011, Ottobre 2012, Giugno 2013). La piezometria relativa a Settembre 2008 (Figura 165) evidenzia la situazione idrogeologica ante-opera con le linee di flusso che si dirigono grossomodo verso Sud-Ovest in direzione della Sorgente Ratanun che costituiva il principale punto di emergenza dell'acquifero. Nella zona di cava l'altezza dei livelli idrici era grossomodo compresa tra 149 e 147.5 m s.l.m. Nel periodo relativo a Marzo 2011 la ricostruzione piezometrica mostra l'interferenza delle acque sotterranee con le opere di drenaggio controllato operato dalle gallerie della cava evidenziando un cono di depressione che raggiunge un livello minimo di falda intorno a 142.5 m s.l.m. (Figura 167). La direzione di moto relativa alla zona in sinistra orografica del Rio Valle Pietra, in prossimità della sorgente Ratanun, si è del tutto invertita a causa del richiamo esercitato dalle gallerie drenanti ubicate ad una quota di diversi metri inferiore rispetto alla quota sorgiva.

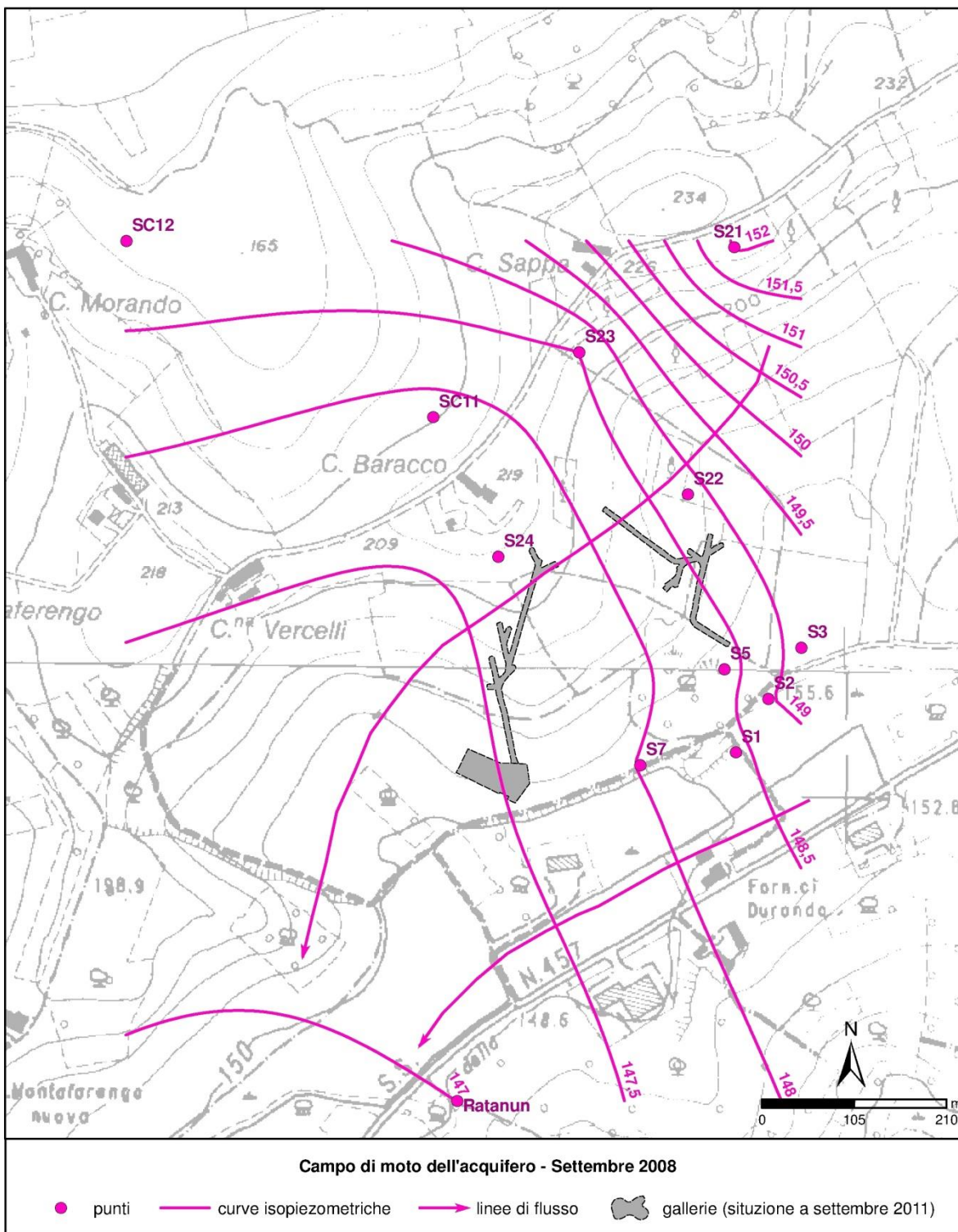


Figura 165: Piezometria del campo di moto – Settembre 2008

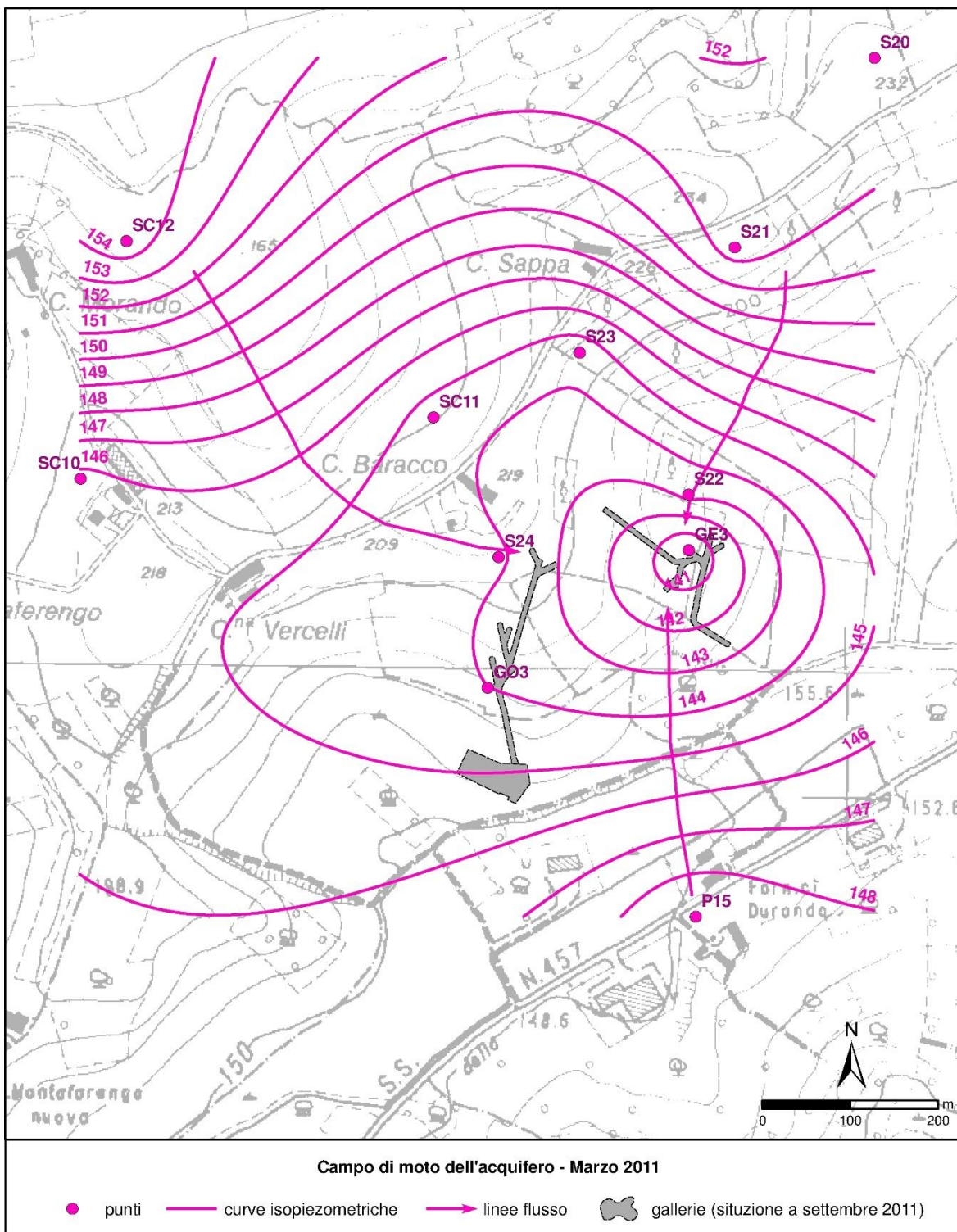


Figura 166: Piezometria del campo di moto – Marzo 2011

Nel settembre 2011 si evidenzia un ulteriore abbassamento dei livelli idrici che si attestano ad un valore minimo di 138.5 m s.l.m. (Fig. 6). La situazione relativa ad Ottobre 2012 non mostra ulteriori cambiamenti della geometria delle linee di flusso in quanto i lavori di scavo nelle zone altimetricamente più profonde sono stati interrotti a partire da Marzo 2011. Nell'immagine di Fig. 7 si evidenzia unicamente un decremento dei livelli idrici di soli 50 cm.





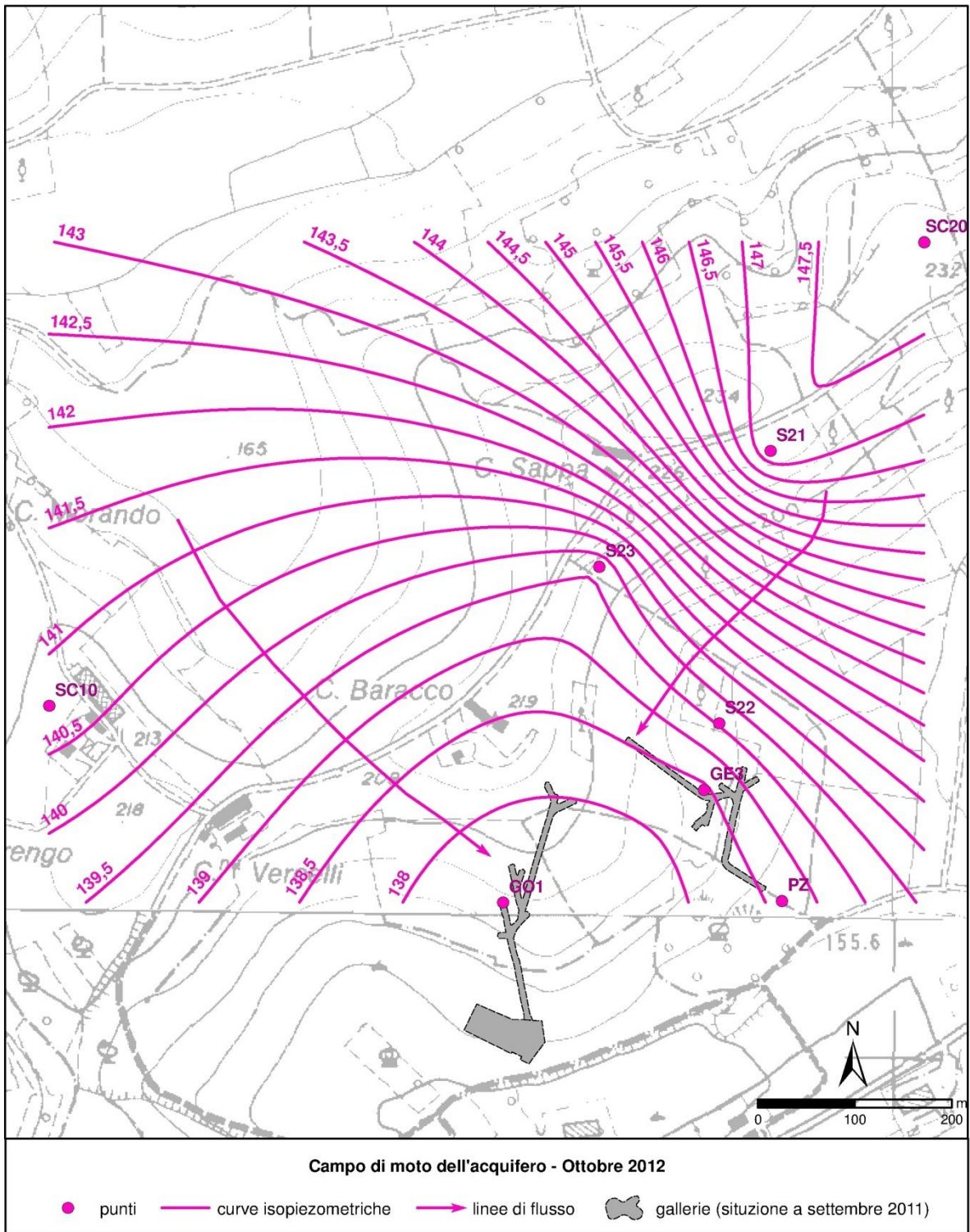


Figura 168: Piezometria del campo di moto - Ottobre 2012

La piezometria relativa a giugno 2013 mostra in maniera ancora più marcata l'influenza del drenaggio ad opera delle gallerie di cava (Figura 169).

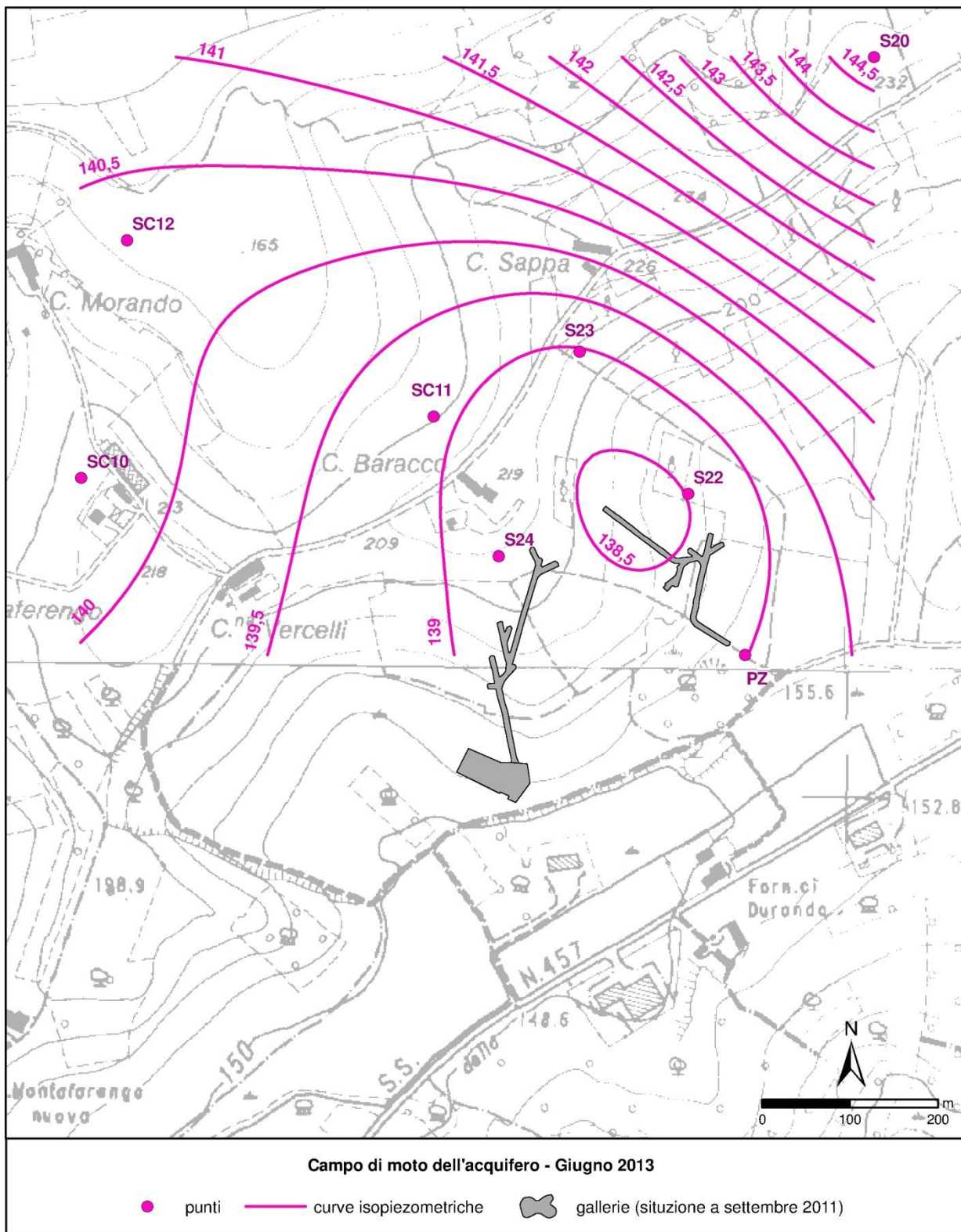


Figura 169: Piezometria del campo di moto – Giugno 2013