

ASSOCIAZIONE MINERARIA SUBALPINA  
INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY SEZ. ITALIANA  
SEZIONE ITALIANA ACQUE SOTTERRANEE DELL'AMS  
DIPARTIMENTO DI GEORISORSE E TERRITORIO - POLITECNICO DI TORINO

**IV CONVEGNO INTERNAZIONALE DI GEOINGEGNERIA  
DIFESA E VALORIZZAZIONE  
DEL SUOLO E DEGLI ACQUIFERI**

***IV GEOENGINEERING INTERNATIONAL CONGRESS  
SOIL AND GROUNDWATER PROTECTION***

Torino, 10-11 marzo 1994

***GLI ACQUIFERI / GROUNDWATER RESOURCES***

***Analisi dell'idrodinamica di massicci carsici mediante uso integrato di dati: un esempio nel settore SE del Monte Terminio (Appennino meridionale)***

D. CALCATERRA<sup>1</sup>, R. DE RISO<sup>2</sup>, D. DUCCI<sup>1</sup>, A. SANTO<sup>1</sup>, S. AQUINO<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Istituto di Geologia Applicata, Università di Napoli "Federico II",  
<sup>2</sup>Azienda Consortile Alto Calore - Avellino

Lavoro stampato con fondi M.U.R.S.T. 60% - Resp. Prof. P. Bucatta

## Analisi dell'idrodinamica di massicci carsici mediante uso integrato di dati: un esempio nel settore SE del Monte Terminio (Appennino meridionale)

D. CALCATERRA<sup>1</sup>, R. DE RISO<sup>1</sup>, D. DUCCI<sup>1</sup>, A. SANTO<sup>1</sup>, S. AQUINO<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Istituto di Geologia Applicata, Università di Napoli "Federico II", <sup>2</sup>Azienda Consortile Alto Calore, Avellino

### RIASSUNTO

Nel settore SE del massiccio carbonatico del Terminio-Tuoro, già oggetto di una precedente nota, effluiscono 40 sorgenti, che presentano portate globali pari a circa il 10% delle precipitazioni efficaci; tali sorgenti sono state caratterizzate in termini di temperatura, pH e conducibilità. Per alcune di esse si sono inoltre effettuate prove con traccianti (salini e fluorescenti), oltre a confronti di tipo idrochimico con i principali gruppi sorgivi del massiccio, al fine di definire le modalità di circolazione idrica sotterranea della sub-unità in esame; ciò ha consentito, tra l'altro, di riconoscere circuiti differenziati dal punto di vista idrodinamico.

### 1. PREMESSA

Il massiccio carbonatico del Terminio-Tuoro riveste un ruolo di rilevanza interregionale per quanto attiene all'approvvigionamento idrico per uso potabile; esso infatti alimenta gruppi sorgivi gestiti dall'Azienda Municipalizzata Acquedotto di Napoli (gruppo Serino), dall'Acquedotto Pugliese (gr. Cassano), dall'Azienda Consortile Alto Calore.

Proprio per tale motivo esso è stato oggetto, da oltre un ventennio, di studi a carattere regionale o puntuale, ed in tempi più recenti la Comunità scientifica ha ritenuto di rivedere criticamente lo *status dell'arte*.

La presente nota costituisce lo sviluppo di un programma di studio che ha come obiettivo la revisione dell'assetto strutturale del Terminio-Tuoro, al fine di individuare le sub-unità significative dal punto di vista idrogeologico e, all'interno di esse, i fattori meso-strutturali e geomorfologici (carsismo) in grado di condizionarne l'idrodinamica sotterranea. Essa rappresenta di fatto la logica prosecuzione di un contributo presentato nel 1992 da ricercatori dell'Istituto di Geologia Applicata (CALCATERRA *et alii*, 1992).

Nella nota del 1992 ci si era soffermati sugli aspetti più generali inerenti allo stato di fratturazione a varia

scala ed al regime delle sorgenti. In questa invece si analizzano aspetti idrogeochimici ed idrodinamici, con particolare riferimento alla sub-struttura M.te Forcella-M.te Sassosano, sulla scorta di dati ottenuti sperimentalmente ed avvalendosi anche di quanto disponibile presso l'Azienda Consortile Alto Calore.

Lo studio è stato condotto con fondi MURST 60% e si affianca ad altri studi eseguiti sullo stesso massiccio, sia pure con diversa angolazione, da altri colleghi della Facoltà di Scienze di Napoli, con i quali si interagisce per le necessarie verifiche incrociate dei risultati via via acquisiti.

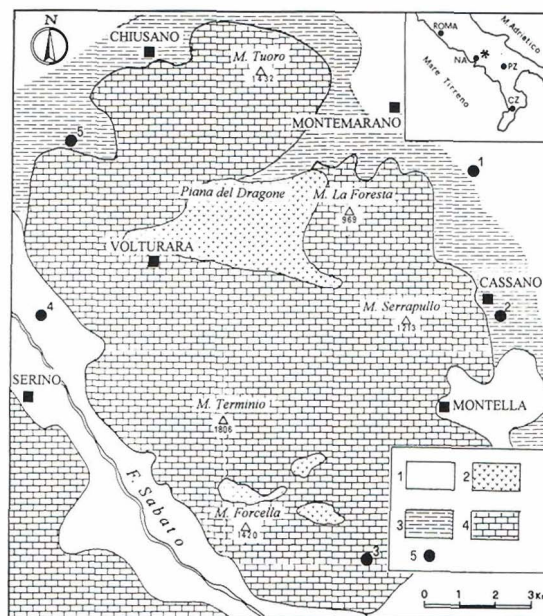


Fig. 1 - Schema litologico del Terminio-Tuoro. 1) Depositi detritico-alluvionali quaternari; 2) Depositi piroclastico-lacustri quaternari; 3) Flysch terziari; 4) Complesso calcareo-dolomitico mesozoico; 5) Principali emergenze [1 - Gruppo Baiardo ( $Q = 0.5$  mc/s); 2 - Gruppo Cassano (3 mc/s); 3 - Gruppo Scorzella (0.2 mc/s); 4) Gruppo Serino (2 mc/s); 5 - Gruppo Sorbo Serpico (0.2 mc/s)].

## 2. SCHEMA GEOLOGICO-STRUTTURALE

Il massiccio del Terminio-Tuoro costituisce il settore nord-occidentale dell'unità stratigrafico-strutturale dei M. ti Picentini ed è caratterizzato dalla presenza di successioni calcaree di retroscogliera di età prevalentemente cretacea, con uno spessore complessivo di oltre 1500 m (fig. 1). Su tali terreni sono localmente conservati depositi miocenici in *facies* di flysch e prodotti piroclastici alto-pleistocenici.

Tale rilievo è confinato tettonicamente da terreni di diverse *facies* ed età (fig. 1): nei settori meridionale ed occidentale, dalle dolomie triassiche dei M. ti Mai ed Accellica e dai depositi detritico-alluvionali del fondo-valle; lungo i bordi settentrionale ed orientale, invece, dai sedimenti in *facies* di flysch di età oligo-miocenica.

Altre importanti faglie che dissecano il massiccio al suo interno hanno consentito di individuare delle strutture d'ordine inferiore (CALCATERRA *et alii*, 1992 - fig. 2), come, ad esempio, la sub-struttura di M. te Forcella-M. te Sassosano, che occupa il settore SE del massiccio.

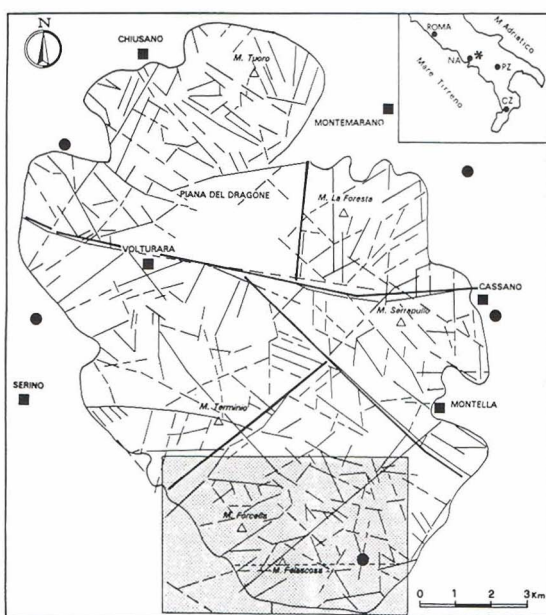


Fig. 2 - Schema dei lineamenti morfo-strutturali del Terminio-Tuoro e delle sub-unità strutturali individuate in CALCATERRA *et alii* (1992); in evidenza l'area di studio.

L'assetto strutturale di questa sub-unità sembra essere fortemente condizionato da un'importante faglia ad andamento antiappenninico (direttrice Montella-M. te Felascosa), che delimita a nord un settore caratterizzato da piccole monoclini mediamente immergenti verso i quadranti settentrionali, ed a sud un'area fortemente basculata ( $40-50^\circ$ ) verso SE (fig. 3). Nella struttura M. te Forcella-M. te Sassosano la tettonica ha giocato inoltre un ruolo fondamentale nell'individuazione di alcuni piccoli bacini chiusi a

decorso endoreico, che condizionano le modalità di circolazione idrica sotterranea (fig. 3); si tratta di piccole conche tettono-carsiche sviluppatesi per l'azione congiunta di differenti eventi tettonici, per alcuni dei quali è stata riconosciuta una componente trascorrente (CALCATERRA *et alii*, 1992).

## 3. VALUTAZIONE DEGLI AFFLUSSI

Le cospicue emergenze basali del Terminio-Tuoro ( $Q > 5$  mc/s) conferiscono all'acquifero carbonatico un rendimento medio pari a circa 40 l/s/kmq, il più elevato tra quelli dei massicci carbonatici dell'Appennino centro-meridionale (CELICO, 1983).

Al fine di pervenire ad una migliore comprensione dei possibili fattori di controllo del rendimento del massiccio, ed in particolare delle sue sub-strutture, sono stati calcolati gli afflussi meteorici relativi alla porzione carbonatica del massiccio stesso (fig. 1) ed alle conche endoreiche ad esso interne. In tal senso, sono stati utilizzati i dati, relativi al periodo 1921-1988, delle quattro stazioni pluviometriche ricadenti ai margini del massiccio, unitamente a tre stazioni esterne alla struttura; i dati termometrici si riferiscono a quattro delle stazioni citate (fig. 4).

La scelta delle stazioni esterne, resasi necessaria per sopperire all'assenza di dati meteorologici di alta quota, è stata operata tenendo conto della loro *affinità climatica*, valutata in termini di esposizione, vicinanza al rilievo e quota sul livello del mare.

Delle sette stazioni inizialmente individuate, si è in seguito ritenuto opportuno escludere quella di Montemarano; infatti, la retta di regressione P-h ottenuta con il dato medio relativo a Montemarano (fig. 3), oltre a presentare un basso coefficiente di correlazione ( $r = 0.684$ ), taglia indifferentemente tutte le rette rappresentative delle zone pluviometriche individuate per la provincia di Avellino, da VIPARELLI C. & VIPARELLI M. (1961), non risultando confrontabile con alcuna di esse. Di contro, la retta relativa alle stazioni 1-6 (fig. 4) si posiziona, con andamento quasi parallelo, tra le zone I e II degli Autori citati; per questi ultimi, gran parte del Terminio-Tuoro ricadrebbe nella II zona, con parte del settore meridionale riferibile alla I. In merito all'*eccezione* costituita da Montemarano, è da sottolineare che tale stazione ricade all'estremità NE del Terminio-Tuoro, risentendo probabilmente, come altre zone della Campania interna, della perdita di umidità che le masse d'aria di provenienza tirrenica subiscono nel risalire adiabaticamente i contrafforti del rilievo appenninico esposti a S-SW.

Sulla base della regressione P-h così individuata, suddividendo ogni sub-unità strutturale in fasce altimetriche (fig. 2 - CALCATERRA *et alii*, 1992), si è



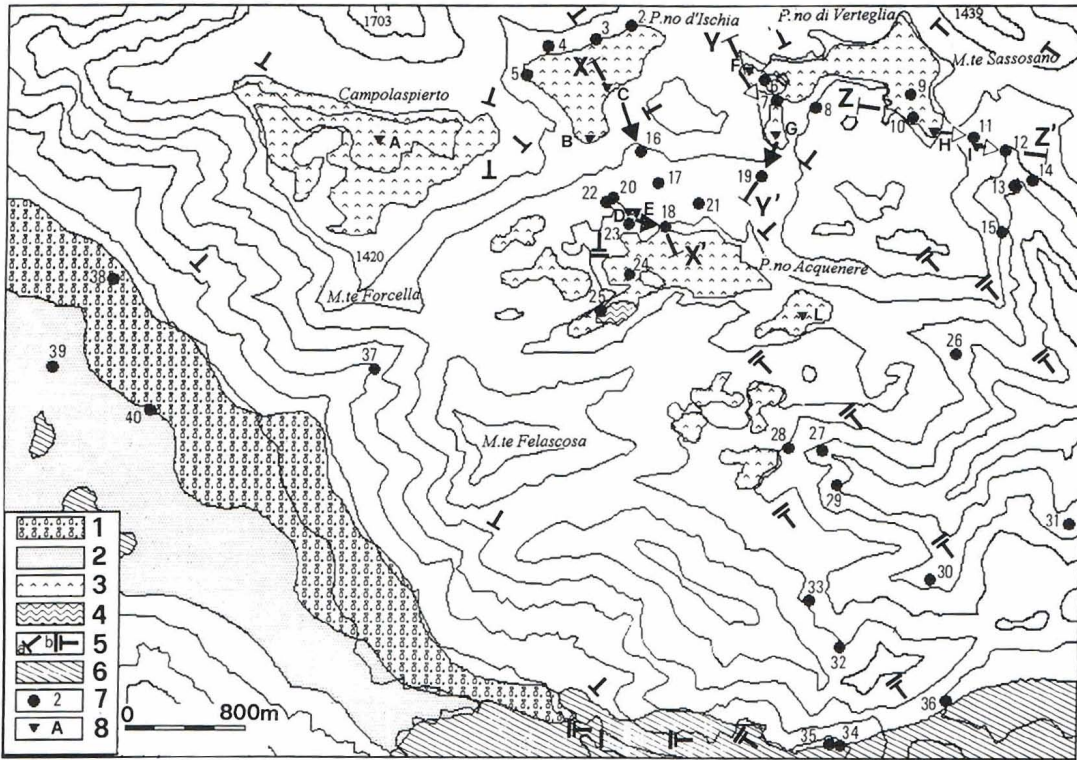


Fig. 3 - Dettaglio dell'area di studio. 1) Detrito di falda; 2) Alluvioni; 3) Depositi piroclastici e lacustri; 4) Flysch miocenico (F. di Castelvetere); 5) Calcari cretaci e relativa giacitura (a = incl.  $\leq 20^\circ$ ; b = incl.  $> 20^\circ$ ); 6) Dolomie triassiche; 7) Sorgente e relativa numerazione (vedi tab. 2); 8) Inghiottitoio. XX', YY', ZZ' = tracce delle sezioni di fig. 9; le frecce piene si riferiscono alle prove con tracciante salino, quelle vuote alle prove con tracciante fluorescente.

pervenuti ai valori di deflusso idrico (tab. 1), ottenuti dopo aver sottratto il tasso di evapotraspirazione medio annuo (calcolato secondo Turc). Per l'intero rilievo carbonatico, la ricarica idrica medio-annua è risultata dell'ordine di 200 milioni di mc, pari ad un deflusso totale di circa 6.3 mc/s; questo valore, pur non rappresentando il risultato di un vero e proprio bilancio idrogeologico, è in buon accordo con quanto noto (CELICO, 1983) e risulta dello stesso

Struttura	H (m)	Area (kmq)	T (°C)	P (mm)	E <sub>r</sub> (mm)	P - E <sub>r</sub> (mc/s)
1 - Tuoro	807	42.68	10.5	1727	585	1.60
2 - La Foresta	858	12.75	10.2	1770	578	0.48
3 - Serrapullo	786	21.53	10.6	1710	588	0.78
4 - Forcella	1077	42.87	9.2	1955	548	1.90
5 - Terminio	1030	34.28	9.4	1915	554	1.50
Totale	922	154.11	9.9	1710	566	6.25

Tab. 1 - Elementi per il calcolo del deflusso idrico.

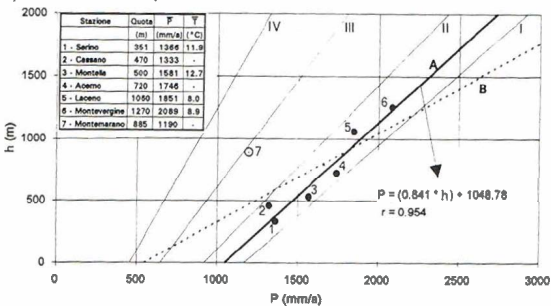


Fig. 4 - Relazione P-h per il Terminio-Tuoro. Rette di regressione delle stazioni 1+6 (A) e 1+7 (B). Le rette I-IV indicano le zone pluviometriche riportate in VIPARELLI C. & VIPARELLI M. (1961). P, T = moduli pluviometrici e termometrici medio-annui (periodo 1921-1988).

ordine di grandezza degli efflussi globali relativi ai gruppi sorgivi basali del Terminio-Tuoro. L'adozione di un'adeguata relazione P-h sembra quindi dimostrare che gli elevati rendimenti dell'acquifero carbonatico del Terminio-Tuoro possano trovare valida giustificazione nel particolare regime pluviometrico, soprattutto per i settori esposti a S-SW. Più articolata risulta invece la situazione per le varie sub-unità riconosciute in CALCATERRA *et alii* (1992). In particolare, per la sub-struttura M.te Forcella-M.te Sassosano, a fronte di un deflusso valutato in circa 1.9 mc/s (tab. 1), sono note emergenze basali (gruppo Scorzella-Troncone-Tronconcello) con portate medie complessive sui 200 l/s. Risulta pertanto evidente che detta sub-struttura contribuisce in

N°	Denominazione	Quota (m)	Portata (l/s)	Temp. (°C)	pH	Cond. (µS/cm)
1	Faggio *	1415	< 0.5*	∥	∥	∥
2	Acqua degli Uccelli	1230	1	6.6	∥	196
3	Ischia I	1265	3	5.6	∥	172
4	Ischia II	1253	2	5.9	∥	170
5	Ischia III	1238	0.5	5.8	∥	178
6	Verteglia I	1185	0.2	6.5	8.0	158
7	Acqua della Madonna I	1171	10	6.9	7.6	196
8	Acqua della Madonna II	1196	0.1	6.9	7.7	230
9	Verteglia II	1183	1	7.3	7.6	216
10	Verteglia III	1182	0.5	6.8	7.7	226
11	Varco la Creta I	1153	2.5	9.1	∥	168
12	Varco la Creta II	1110	0	-	-	-
13	Valle della Campana I	1065	∥	∥	∥	∥
14	Valle della Campana II	1075	∥	∥	∥	∥
15	Riponi	995	< 0.5*	9	∥	∥
16	Candraloni I	1191	53.0 <sup>Δ</sup>	6.7	7.8	203
17	Candraloni II	1141	0.50	7.2	7.7	246
18	Risorg. di Candraloni	1080	20	7.5	8.2	217
19	Acqua delle Giumente I	1154	3.5	9.4	8.0	180
19a	Acqua delle Giumente II	1152	6.5	9.5	8.0	165
19b	Acqua delle Giumente III	1151	1	9.5	8.1	187
19c	Acqua delle Giumente IV	1133	1.5	8.3	8.4	247
20	Costa del Cervo I	1103	7	6.9	7.5	251
21	Acque Nere I	1068	9*	10	-	-
22	Costa del Cervo II	1098	0	-	-	-
23	Acque Nere II	1075	0	-	-	-
24	Acque Nere III	1070	0	-	-	-
25	Acqua della Pietra	1069	1.5	7.6	7.8	189
26	Raio della Tufara	960	< 0.5*	10	∥	∥
27	Scorzella	825	72.6 <sup>Δ</sup>	7.6	7.8	238
28	Bocca di Nicola	940	6	∥	∥	∥
29	Troncone	768	17.3*	8.0	8.0	239
30	Tronconcello	868	4.1 <sup>Δ</sup>	8.6	7.8	250
31	Serralonga	874	∥	∥	∥	∥
32	Serra del Caprio I	1000	< 0.5*	10	∥	∥
33	Serra del Caprio II	1050	∥	∥	∥	∥
34	Sgaiuola I	915	< 0.5*	10	-	-
35	Sgaiuola II	866	3.5	8.7	7.5	535
36	Varco	914	1.0	9.1	7.8	456
37	Acqua delle Panicare	939	5	8.4	7.9	230
38	Sambuco	660	0	-	-	-
39	Villanova	596	0.1	∥	∥	∥
40	Fontana dell'Olmo	602	< 0.5	∥	∥	∥

Tab. 2 - Sorgenti della sub-struttura M.te Forcella-M.te Sassosano; misure effettuate nel periodo maggio-giugno 1993; (\*) sorgente non compresa in fig. 3; (Δ) da CIVITA (1969); (°) valore medio 1982-1992; (Δ) dato non rilevato

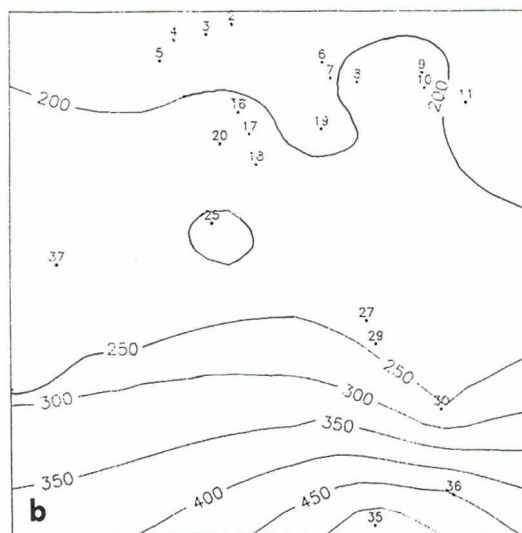
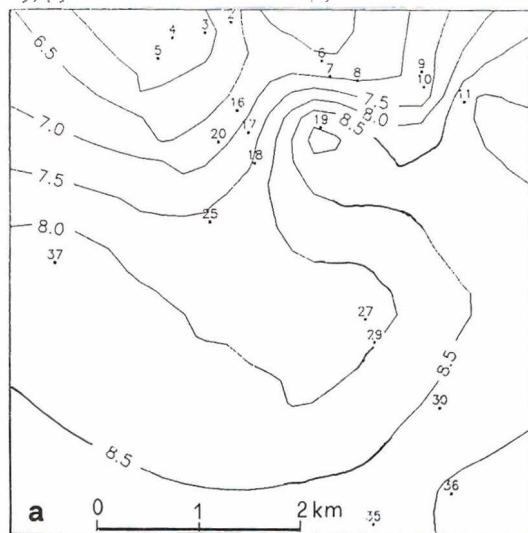


Fig. 5 - Isocone della temperatura in °C (a) e isocone della conducibilità in µS/cm (b). N.B.: il settore occidentale dell'area di studio non è rappresentato (cfr. numerazione delle sorgenti in fig. 3).

misura significativa ad alimentare, mediante percorsi prevalentemente verticali (CALCATERRA *et alii*, 1992), le sub-unità strutturali contigue.

#### 4. IDROGEOCHIMICA

Nel periodo maggio-giugno 1993 è stato effettuato il censimento di tutte le emergenze sorgive presenti nell'ambito della sub-struttura M.te Forcella-M.te Sassosano (fig. 3), integrando i dati già resi noti da CIVITA (1969).

Per le 40 sorgenti censite, delle quali oltre il 60% ricade a quote superiori ai 1000 m s.l.m., sono state rilevate: quota di sfioro, portata, temperatura, pH e conducibilità (tab. 2). Per quanto riguarda le portate, si sottolinea che sia le sorgenti *alte in quota* che quelle del gruppo Scorzella-Troncone-Tronconcello presentano un regime fortemente variabile, con repentini incrementi di portata, in concomitanza con eventi meteorici intensi (es. sorg. Scorzella: ott.-nov. '93 - Q = 30→110 l/s).

La temperatura delle acque sotterranee della sub-struttura (fig. 5a) tende ad aumentare da nord verso sud, in accordo con l'altimetria, e quindi con la temperatura dell'aria, in considerazione della scarsa profondità dei circuiti sotterranei. Fa eccezione il gruppo sorgivo di Acqua delle Giumente (19÷19b), la cui temperatura più elevata è da mettere in relazione con il collegamento accertato (cfr. § 5) con acque superficiali.

Per quanto concerne i valori di pH, essi sono per tutte le acque prossimi alla neutralità, tendenti al basico (val. max 8.4), in accordo del resto con la scarsa acidità (pH = 7.3) dell'acqua di pioggia rilevata in zona.



SORGENTE	DATA	TDS mg/l	dH °F	pH	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> /Cl mg/l	Na+K/Cl mg/l	Na/K mg/l	Mg/Ca mg/l	Cl/HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Na/Ca mg/l	AT/A mg/l
Scorzella	mag-93	203	15.1	7.8	5.70	2.65	58.00	4.00	9.20	4.30	202.52	2.01	0.35	1.22	3.66	0.11	0.08	0.09	10.21
Troncone	mag-93		15.8	8.0	5.40	1.64	68.00	3.70	8.52	1.00	212.28	1.06	0.09	1.15	5.60	0.09	0.07	0.07	13.36
Tronconcello	mag-93		15.1	7.8	4.90	1.45	70.00	3.50	8.10	0.60	224.48	0.52	0.05	1.10	5.74	0.08	0.06	0.06	15.11
Candraloni I	mag-93	214	14.0	7.8	6.50	3.95	67.00	2.90	10.65	2.50	209.84	1.81	0.17	1.28	2.80	0.07	0.09	0.08	9.34
Ischia III	mag-93				4.80	1.75	57.00	2.20	8.00	1.00	204.96		0.09	1.12	4.66	0.06	0.07	0.07	11.94
Acquaro	mar-59	221	17.8	7.4	8.74	3.91	54.31	10.46	9.22	9.13	219.04	4.34	0.73	1.85	3.80	0.32	0.07	0.14	7.44
Urciuoli	dic-77	201	13.3	7.4	8.97	3.13	56.91	7.42	9.93	9.13	209.27	0.00	0.68	1.68	4.88	0.21	0.08	0.14	7.34
Bagno Regina	ott-75	204	18.0	7.6	5.52	2.35	65.93	3.53	12.41	7.68	200.73	3.72	0.46	0.86	4.00	0.09	0.11	0.07	11.93
Cassano	giu-86	210	17.0	7.8	5.06	2.74	59.12	6.93	20.57	3.31	197.68	0.00	0.12	0.50	3.14	0.19	0.18	0.07	12.14
Peschiera	ott-75	229	25.0	7.6	8.51	3.52	75.55	7.54	15.96	28.82	223.31	6.20	1.33	1.02	4.11	0.16	0.12	0.10	9.64
Pollentina	ott-75	210	19.0	7.7	9.89	5.86	66.93	5.47	14.18	10.09	217.21	4.34	0.53	1.45	2.87	0.13	0.11	0.13	6.53
Fontana Prete	ott-75	224	19.5	7.7	5.52	3.52	66.93	6.44	12.41	10.57	219.04	2.48	0.63	0.94	2.67	0.16	0.10	0.07	11.73
Baiardo Enel	giu-86	225	19.0	7.8	8.97	5.08	51.10	14.59	22.34	3.17	209.88	0.00	0.10	0.83	3.00	0.47	0.18	0.15	7.21
Baiardo Nuova	giu-86	275	19.0	7.8	6.67	5.86	55.11	12.16	18.79	3.36	219.04	0.00	0.13	0.83	1.93	0.36	0.15	0.11	8.52

Tab. 3 - Analisi chimiche delle principali sorgenti della sub-struttura in esame e delle sorgenti basali del Terminio-Tuoro (A = ioni alcalini; AT = ioni alcalino-terrosi).

La conducibilità (fig. 5b) è pressoché costante (170÷250 μS/cm) nel settore settentrionale della sub-struttura, ove i circuiti sono più superficiali, mentre tende a subire un brusco aumento a sud delle sorgenti Scorzella, Troncone e Tronconcello, il che fa pensare ad un maggiore tempo di contatto acqua-roccia dovuto verosimilmente ad un approfondimento dei circuiti.

Nello stesso periodo, sono state effettuate le analisi complete relative alle principali emergenze della sub-

struttura in esame - Candraloni I, Scorzella, Troncone e Tronconcello - e della sorgente Ischia III (tab. 3), le quali sono state confrontate con le analisi chimiche delle sorgenti basali del massiccio del Terminio-Tuoro (figg. 6 e 7) eseguite dal Consorzio Alto Calore in tempi diversi (tab. 3).

Fig. 6 - Diagramma di variazione (da: D'AMORE et alii, 1983) relativo alle principali sorgenti della sub-struttura in esame (a) ed alle sorgenti basali del Terminio-Tuoro (b).

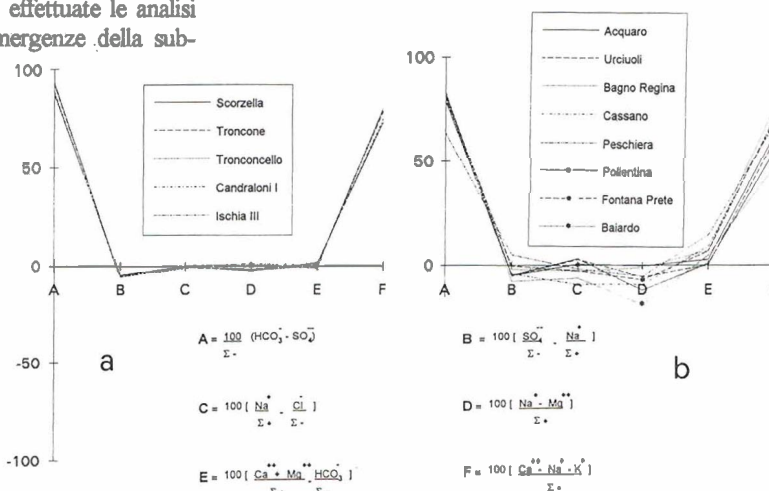
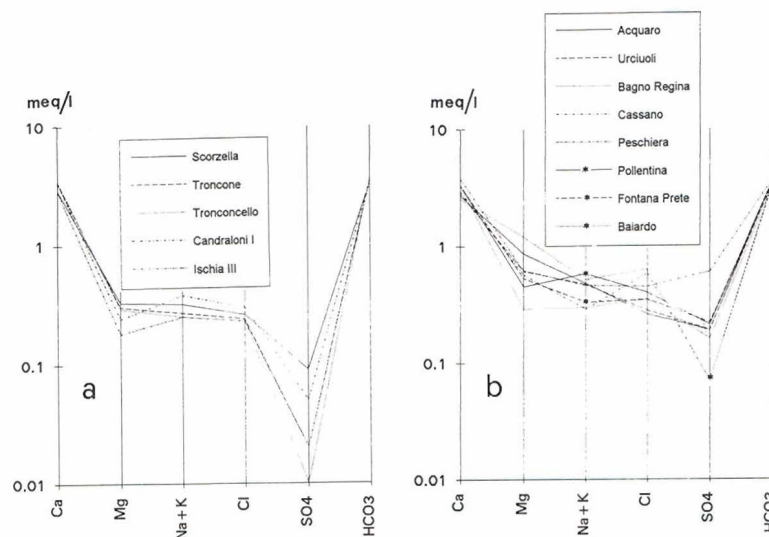


Fig. 7 - Diagramma di Schoeller relativo alle principali sorgenti della sub-struttura in esame (a) ed alle sorgenti basali del Terminio-Tuoro (b).



Tutte le acque risultano bicarbonato-calciche e presentano il profilo chimico tipico delle acque che hanno lisciviato terreni carbonatici. In particolare, le acque della sub-struttura presentano una sostanziale identità idrochimica (fig. 6) ed una minore salinità rispetto a quelle delle sorgenti basali, in accordo con i ridotti tempi di contatto acqua-roccia.

Nell'ambito delle sorgenti basali si differenziano le sorgenti Baiardo, ove il maggiore contenuto in alcalini, in magnesio ed in cloruri è da ricondurre alla presenza di successioni flyscioidi nel settore NE del massiccio, e le sorgenti del "gruppo Serino" (Acquaro e Pelosi), cui i livelli limo-argillosi dei depositi alluvionali del F. Sabato conferiscono un'impronta alcalina.

Le altre sorgenti basali che effluiscono nel settore orientale ("gruppo Cassano") presentano tra loro affinità idrochimiche, sia pure con qualche differenziazione (es. sorg. Cassano). Tali acque, e in particolare la sorg. Pollentina, presentano un profilo chimico confrontabile, sia pure con un maggiore grado di mineralizzazione, con quello delle sorgenti della sub-struttura.

Il rapporto ionico Mg/Ca è, per tutte le analisi esaminate, minore di 0.47; in particolare, per quelle della sub-struttura (inclusa la sorg. n° 36, ubicata al margine meridionale) è molto contenuto (< 0.11). Tali evidenze consentono di escludere anche da un punto di vista idrogeochimico, oltre che strutturale, un collegamento idraulico con la più meridionale, e prevalentemente dolomitica, struttura dell'Accellica.

Tra le sorgenti della sub-struttura la sorgente Candraloni I si differenzia, anche se in maniera molto contenuta, per la maggiore quantità di ioni alcalini, che con ogni probabilità sono da ascrivere alla lisciviazione dei depositi piroclastici presenti nelle conche endoreiche (in particolare - vedi § 5 - quelli del Piano d'Ischia da cui trae diretta alimentazione).

Infine, nonostante la comunicazione accertata di dette sorgenti con le conche endoreiche (cfr. § 5) e la rapidità del deflusso nei canali carsici, i contenuti in ione nitrato, per i quali si dispone di numerosi dati, sono sempre bassi per la scarsa urbanizzazione della sub-struttura alle quote elevate; si sottolinea tuttavia che sono state osservati lievi incrementi in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (max 9.5 mg/l per la sorgente Candraloni I nel periodo primaverile), da attribuirsi probabilmente alla presenza occasionale di bovini.

Prova	Data	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>mod</sub>	t <sub>2</sub>	Δt <sub>min</sub>	Δt <sub>mod</sub>	Δt <sub>max</sub>	Q <sub>imm</sub>	Q <sub>ril</sub>	NaCl	L	Disl.	Pend.	V <sub>max</sub>	V <sub>mod</sub>	V <sub>min</sub>
		(h/min)	(h/min)	(h/min)	(h/min)	(min)	(min)	(min)	(l/s)	(l/s)	(kg)	(m)	(m)	(%)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
C - 16	19.04.93	15.30'	17.55'	18.30'	22.20'	145	180	410	15	90	60	385	21	5.4	4.4E-02	3.6E-02	1.6E-02
D - 18	23.05.93	7.38'	8.40'	8.58'	9.50'	62	80	132	20	30	30	105	53	50.5	2.8E-02	2.2E-02	1.3E-02
G - 19a	19.05.93	14.55'	19.40'	21.20'	3.20'	285	385	745	7	10	35	280	12	4.3	1.6E-02	1.2E-02	6.2E-03
P. Dragone	da: Galasso et alii (1991)					255	-	-	100	8*	10*	1250	200	16.0	8.2E-02	-	-

Tab. 4 - Quadro riassuntivo delle prove di tracciamento con cloruro di sodio. t<sub>0</sub> = ora d'immissione; t<sub>1</sub> = inizio della restituzione del tracciante; t<sub>mod</sub> = ora corrispondente al massimo di conducibilità misurata; t<sub>2</sub> = fine della restituzione del tracciante; L = distanza tra punto d'immissione e punto di misura. V<sub>max</sub>, V<sub>mod</sub>, V<sub>min</sub> = velocità apparenti. Q<sub>imm</sub>, Q<sub>ril</sub> = portate relative ai punti di immissione e di misura del tracciante. Lettere e numeri si riferiscono ad inghiottitoi e sorgenti di fig. 3. La prova di Piana del Dragone è stata eseguita con KBr e misurata in pozzo.

#### 4.1 Monitoraggio in continuo delle sorgenti

L'uso degli acquisitori automatici (VIGNA, 1991) ha fornito ulteriori interessanti indicazioni. In un periodo di circa 10 mesi sono state infatti monitorate, con un acquisitore automatico di conducibilità e temperatura, impostato con frequenza oraria, le sorgenti Candraloni I (gennaio-maggio 1993) e Scorzella (giugno-ottobre 1993), entrambe captate per scopo idropotabile.

I valori di conducibilità e temperatura dei due gruppi sorgivi hanno subito, nei periodi di misura, variazioni di modesta entità (Candraloni I: T = 6.4÷6.5 °C - Cond. = 200÷215 μS/cm; Scorzella: T = 7.4÷7.5 °C - Cond. = 210÷220 μS/cm). Un'eccezione significativa è data dal periodo di registrazione alla sorgente Candraloni I compreso tra il 20.3.93 ed il 2.5.93. In questo intervallo, infatti (fig. 8), a fronte di una conducibilità pressoché costante, i valori di T hanno offerto ampie oscillazioni cicliche giornaliere, comprese tra 5 e 9 °C, legate verosimilmente al collegamento con le acque delle sorgenti (nn. 1,2,3,4,5 di tab. 2) che, attraversando il Piano d'Ischia, risentono delle escursioni termiche diurne e notturne e si immettono in un inghiottitoio collegato alla sorgente monitorata (vedi § 5).

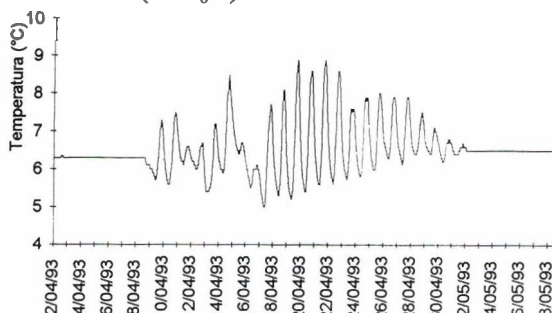


Fig. 8 - Variazioni di temperatura misurate alla sorgente n° 16 (Candraloni I).

#### 5. PROVE CON TRACCIANTI

Nell'area di M.te Forcella-M.te Sassosano il carsismo è particolarmente sviluppato, come dimostra la presenza di numerose depressioni tettono-carsiche, sorgenti ed inghiottitoi. Allo scopo di accertare gli

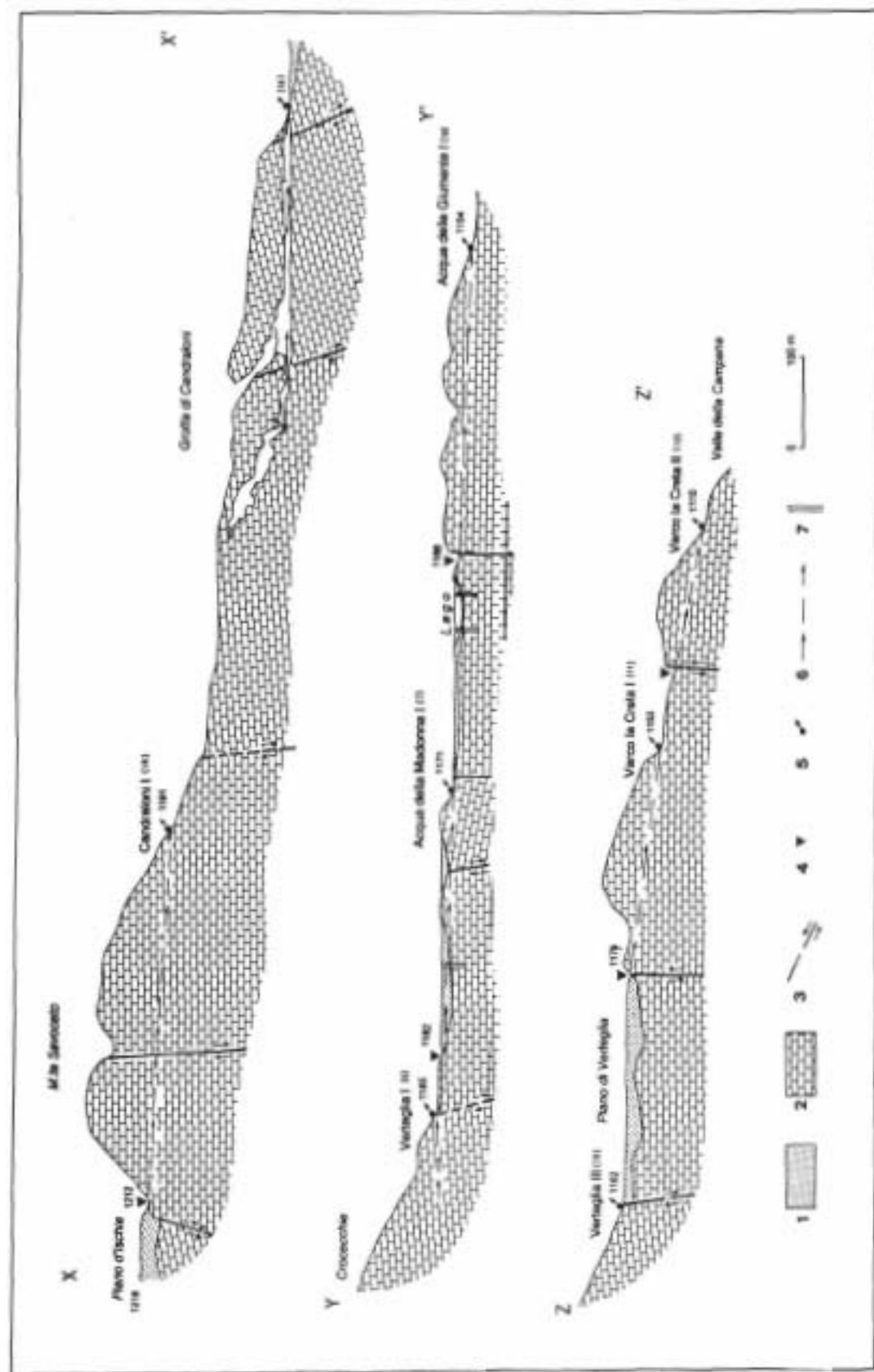


Fig. 9 - Sezioni idrogeologiche. 1) Depositi piroclastici e lacustri; 2) Calcarei cretastici; 3) Faglia (frangitura se pressata); 4) Angolotto; 5) S. (sporadic); 6) Collegamento idraulico accertato mediante prova con traccianti; 7) Sondaggio geotecnico.



eventuali collegamenti tra punti d'infiltrazione ed emergenze sorgive, si è proceduto all'esecuzione di alcune prove con traccianti, di tipo fluorescente e salino.

Tutte le otto prove eseguite (tre con fluoresceina sodica e cinque con NaCl) hanno fornito esito positivo. In particolare, si è potuto osservare (figg. 3 e 9) che esiste una circolazione delle acque attraverso sistemi "inghiottitoio-sorgente" da piani carsici alti verso piani a quote più basse. Il drenaggio sotterraneo risulta orientato verso SE, e pertanto taglia la stratificazione (in genere immergente verso i quadranti settentrionali), impostandosi prevalentemente su lineamenti tettonici aventi direzione N120-150°. La circolazione segue inoltre una fitta rete di canali carsici, in genere sub-orizzontali e molto gerarchizzati (fig. 9), che presentano in genere incrementi di portata lungo il loro percorso (tabb. 4 e 5).

Prova	Data	t <sub>0</sub> (h/min)	t <sub>1</sub> (h/min)	Δt (min)	Q imm (l/s)	Q ril. (l/s)	Tracc. (g)	L (m)	Disl. (m)	Pend. (%)	Δt/L (m/s)
D - 18	19.05.93	14.23'	15.03'	40	20	15	80	105	53	50.5	4.4E-02
F - 7	31.03.93	11.15'	13.00'	105	5	20	280	280	11	3.9	4.4E-02
G - 19a	24.05.93	15.03'	19.48'	285	8	13	50	280	12	4.3	1.6E-02
H - 11	2.04.93	10.28'	11.03'	35	20	10	20	225	26	11.6	1.1E-01
I - 12	2.04.93	11.30'	12.03'	33	10	15	10	150	38	25.3	7.6E-02

Tab. 5 - Quadro riassuntivo delle prove di tracciamento con fluoresceina sodica. Lettere e numeri si riferiscono ad inghiottitoi e sorgenti di fig. 3.

Le tre prove eseguite con NaCl (fig. 10), rilevato in termini di variazione di conducibilità mediante acquisitori automatici, hanno fornito delle chiare curve di restituzione del tracciante, che hanno permesso di ricavare le velocità apparenti di transito nel sistema acquifero.

Ricordando che tali velocità in uno stesso sistema possono variare nel rapporto di 1:10, in funzione del carico idraulico (LEPILLER & MONDAIN, 1986; ZUPPI, 1988), e che le prove sono state eseguite in periodo di forte ricarica degli acquiferi, esse possono essere ritenute indicative di velocità apparenti massime. Le tre curve di fig. 10 mostrano dei picchi e degli andamenti tra loro differenti, dipendenti dalle diverse quantità di sale immesso, dalle differenti lunghezze dei sistemi "inghiottitoio-sorgente" e dai diversi intervalli temporali di acquisizione. Tuttavia i valori di  $V_{mod}$ , cioè i valori di velocità apparente modale (maggiore concentrazione di tracciante transitato nel sistema), si attestano su uno stesso ordine di grandezza (da 1.2 a  $3.6 \cdot 10^{-2}$  m/s). Tali valori indicano velocità apparenti di transito elevate, suffragate dal basso tempo di residenza del tracciante nell'acquifero e caratteristiche quindi di sistemi idrogeologicamente molto vulnerabili, del tipo rete a primario dominante (CIVITA *et alii*, 1989; UGGERI & VIGNA, 1991).

I risultati conseguiti sono simili a quelli di un'altra prova, eseguita nella zona della Piana del Dragone (GALASSO *et alii*, 1991), con valori di  $V_{max}$  dello stesso ordine di grandezza (tab. 4). Tali velocità so-

no in buon accordo anche con quelle indicate in CALCATERRA *et alii* (1992) calcolate, in base ai tempi di dimezzamento relativi alle curve d'esaurimento, per le sorgenti della sub-struttura.

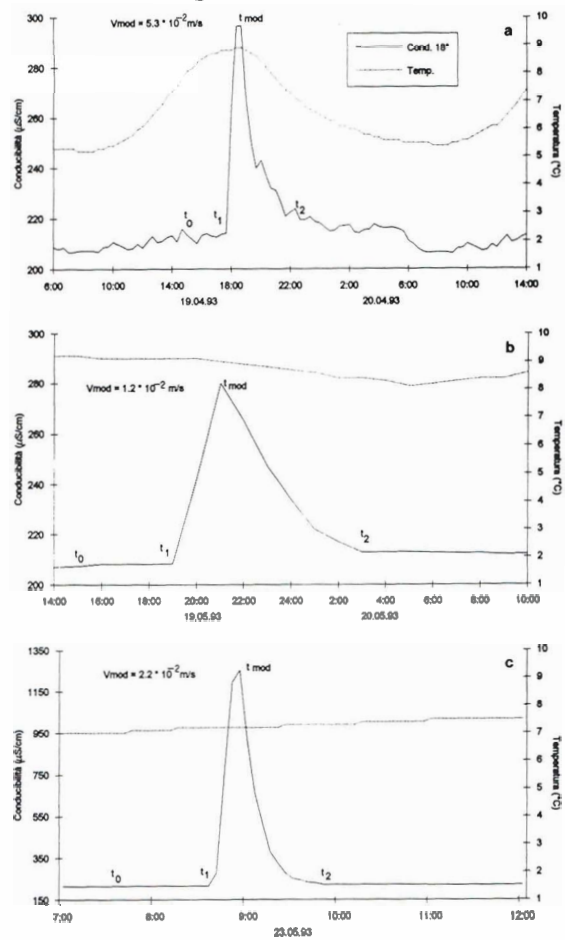


Fig. 10 - Curve di restituzione relative alle prove di tracciamento con cloruro di sodio. a) Prova tra inghiottitoio C e sorgente n° 16; b) ingh. D - sorg. 18; c) ingh. G - sorg. 19a.

## 6. CONCLUSIONI

L'uso integrato di dati geostrutturali, geomeccanici, idrogeochimici ed idrodinamici ha reso possibile la definizione delle caratteristiche idrogeologiche del settore SE del Terminio-Tuoro, coincidente con la sub-unità strutturale M.te Forcella-M.te Sassosano, le cui principali sorgenti (Scorzella, Troncone, Tronconcello, Candraloni I) sono captate dall'Azienda Consortile Alto Calore per scopo idropotabile.

In particolare, è stato evidenziato, mediante prove con traccianti, il collegamento diretto dei sistemi carsici gravitanti su tali emergenze con i piani tettono-carsici (Campolasperto, Piani d'Ischia, delle Acque Nere, di Verteglia). Contestualmente, si è indivi-

duata una velocità di transito dell'acqua molto elevata ( $10^{-2}$  m/s), dato questo altamente significativo della vulnerabilità degli stessi sistemi carsici.

Nella sub-unità in esame la circolazione idrica avviene con modalità e percorsi differenziati. E' stato infatti individuato un primo deflusso verso S-SE, avente come recapito principale il gruppo Scorzella-Troncone-Tronconcello, con circuiti poco profondi, evidenziati anche dal chimismo delle sorgenti e dall'estrema variabilità delle portate. Un secondo deflusso, quantizzabile in circa 1.7 mc/s, alimenta invece, con percorsi più lenti ed inizialmente subverticali, le sorgenti basali delle sub-unità contigue. In effetti, si rileva una certa affinità idrochimica con alcune sorgenti del gruppo Cassano (effluenti alla base della sub-unità di M.te Serrapullo), benché gli elementi sin qui disponibili non consentano un'individuazione univoca del recapito.

Sempre su base idrogeochimica (vedi rapporto Mg/Ca), oltre che geologico-strutturale, è invece possibile escludere il collegamento idraulico della sub-unità con i rilievi dolomitici circostanti (M.ti Mai ed Accellica).

## 7. BIBLIOGRAFIA

- CALCATERRA D., DUCCI D. & SANTO A.: *Aspetti geomeccanici ed idrogeologici del settore SE del M.te Terminio (Appennino meridionale)*. In stampa su *Geologica Romana*, **30**, 1992.
- CELICO P.: *Le risorse idriche sotterranee dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. *Idrotecnica*, **1**, 1983, 3-17.
- CIVITA M.: *Idrogeologia del massiccio del Terminio-Tuoro (Campania)*. Mem. e Note Ist. Geologia Applicata, Napoli, **11**, 1969.
- CIVITA M., OLIVIERO G. & VIGNA B.: *Caratteristiche idrogeologiche di alcuni sistemi carsici sospesi delle Alpi liguri*. Atti del XV Cong. Naz. di Speleologia, Castellana Grotte, 1989, 319-347.
- D'AMORE F., SCANDIFFO G. & PANICHI C.: *Some observations on the chemical classification of ground water*. *Geothermics*, **12**, 1983, Pergamon Press, Great Britain.
- GALASSO M., LANZETTA E., MANGANIELLO D. & AQUINO S.: *Studio di un bacino endoreico: effetti e rischi delle attività umane sulla qualità delle acque profonde*. *Inquinamento*, **33**(11), 1991, 88-92.
- LEPILLER M. & MONDAIN P.H.: *Les tracages artificiels en hydrogéologie karstique*. *Hydrogéologie*, **1**, 1986, 33-52.
- UGGERI A. & VIGNA B.: *Nuovi traccianti ed esperienze di valutazione della velocità di flusso in acquiferi carbonatici*. *Conv. Ric. e protez. delle ris. idriche sotterr. delle aree montuose*, Brescia, 1991, vol. 1, 29-51.
- VIGNA B.: *Gli acquisitori automatici portatili: applicazioni e risultati ottenuti nello studio delle rocce fessurate*. *Conv. Ric. e protez. delle ris. idriche sotterr. delle aree montuose*, Brescia, 1991, vol. 2, 277-296.
- VIPARELLI C. & VIPARELLI M.: *Possibilità irrigue nella provincia di Avellino*. *Amm. Prov. AV*, 1961.
- ZUPPI G. M.: *Tecniche per la determinazione dei parametri idrogeologici mediante prove idrochimiche*. In AA.VV.: *Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee*. C.N.R. G.N.D.C.I., **75**, 1988, 143-175, Geograph, Milano.