

PIETRO CELICO \*, MAURIZIO DE GENNARO \*\*,  
MARIA ROSARIA GHIARA \*\*, DAMIANO STANZIONE \*\*

LE SORGENTI TERMOMINERALI  
DELLA VALLE DEL SELE (SALERNO):  
INDAGINI STRUTTURALI, IDROGEOLOGICHE E GEOCHIMICHE\*\*\*

RIASSUNTO. — Sono state studiate alcune manifestazioni sorgentizie della Valle del Sele al fine di individuarne i probabili bacini e circuiti di alimentazione, mediante indagini idrochimiche e idrogeologiche. In particolare sono stati posti sotto osservazione 14 punti d'acqua nell'alta Valle del Sele, che comprendono sorgenti e pozzi a termalità compresa fra i 20 e 40° C e sorgenti fredde. Sono state inoltre studiate le sorgenti della Piana di Paestum che presentano un alto grado di mineralizzazione (TDS=7000 ppm) non associate a temperature elevate ( $T=^{\circ}\text{C}$  15).

Le indagini geochemiche suggeriscono che le acque di Contursi, pur provenendo da un unico bacino di alimentazione, presentano un duplice circuito: uno più superficiale, rappresentato da acque a bassa salinità e bassa temperatura del tipo bicarbonato-calcico, l'altro più profondo, percorso da acque calde con più alti tenori in TDS, Cl,  $\text{SO}_4$ , Li, Sr, Rb e  $\text{NH}_4$ . La presenza di sorgenti a termalità intermedia che nei vari diagrammi studiati si dispongono perfettamente allineate con i termini a più alta e più bassa temperatura evidenzia la presenza di un mescolamento che avviene in percentuali variabili. Le indagini strutturali e idrogeologiche hanno effettivamente individuato un unico bacino di alimentazione nel Mt. Polveracchio. Le acque della Piana di Paestum hanno mostrato caratteristiche chimiche differenti da quelle di Contursi pur riscontrandosi alcune analogie idrogeologiche e strutturali. L'applicazione del geotermometro della silice ha fornito temperature massime di circa 90° per le acque calde di Contursi; tale valore, unitamente ai dati geologici e strutturali fornitici dal pozzo Contursi 1 e ai dati chimici, evidenzia l'assenza di anomalie termiche.

ABSTRACT. — Some springs in the Sele Valley have been studied in order to locate the possible alimentation basins and circuits by hydrochemical and hydrogeological analyses. 14 springs and wells with temperatures ranging between 20° and 40° C have been examined in the high Sele Valley.

The highly mineralized (TDS=7000 ppm) and low temperature ( $T=^{\circ}\text{C}$  15) Piana di Paestum springs have also been examined.

In the basis of geochemical results Contursi waters seem to have only one alimentation basin but two main circuits: the first, shallower, with low salinity and low temperature calcium-bicarbonate waters, the second deeper, with high TDS, Cl,  $\text{SO}_4$ , Li, Sr, Rb and  $\text{NH}_4$  thermal waters.

The presence of middle thermal springs which perfectly plot on a line with both the extreme terms (that is the coldest and the more thermal waters) is explained as mixing in various proportions.

Structural and hydrogeological investigations have located only one alimentation basin in the Polveracchio Mt..

\* Istituto di Geologia Applicata dell'Università di Napoli - Cassa per il Mezzogiorno. \*\* Istituto di Mineralogia dell'Università di Napoli. \*\*\* Lavoro eseguito con il parziale contributo del C.N.R. - Contratto n. 77.01143.92. Progetto finalizzato Energetica; Sottoprogetto Geotermia.

The waters from the Piana di Paestum show chemical characters very different from Contursi ones, notwithstanding some hydrogeological and structural analogies.

Using the  $\text{SiO}_2$ -geothermometer, maximum temperatures of about  $90^\circ \text{C}$  were measured for the Contursi thermal waters; this value, together with the geological and structural data from the Contursi 1 well, and the chemical data, shows the absence of thermal anomalies.

## 1. Introduzione

Nella media valle del fiume Sele, in zona non vulcanica, esistono manifestazioni sorgentizie la cui termalità varia fra  $20$  e  $40^\circ \text{C}$ . Scopo di questa ricerca è stato quello di individuare le caratteristiche chimico-fisiche delle acque termali, i probabili bacini di alimentazione, i probabili circuiti preferenziali, e gli eventuali mescolamenti con acque fredde al duplice fine di valutarne le possibilità di impiego per lo sfruttamento di energia geotermica e di evidenziare le possibili interconnessioni con sorgenti fredde di cui è previsto lo sfruttamento per altri usi.

Nell'impostare lo studio delle sorgenti di Contursi non si poteva ovviamente prescindere da una conoscenza idrogeologica e strutturale, territorialmente molto ampia, attraverso la quale si potessero acquisire quegli elementi indispensabili per l'individuazione delle caratteristiche idrodinamiche delle falde, cui è spesso legato il chimismo delle acque. Pertanto è stato preso in considerazione l'intero bacino idrogeologico del F. Sele che, già ad una precedente analisi (CELICO, 1978 a), era risultato molto più ampio di quello idrografico.

Le indagini sono state inoltre estese alle sorgenti minerali della Piana di Paestum (estrema punta meridionale della Piana del Sele) per il loro notevole grado di mineralizzazione non associato, però, a temperature elevate.

## 2. Unità stratigrafico-strutturali

### (litologia, rapporti geometrici, caratteristiche idrogeologiche)

Dell'alta valle del F. Sele (fig. 1), sia pure per finalità diverse, si sono interessati in precedenza diversi Autori (ARDIGÒ, 1958; DE RISO, 1966; BARBIERI-ZANZUCCHI, 1967; PESCATORE et al., 1969; MANFREDINI, 1969; COCCO et al., 1974; ORTOLANI, 1974 b; CELICO-CIVITA, 1976) ai cui lavori si preferisce rinviare per una esauriente stratigrafia delle Unità affioranti e per la trattazione in dettaglio degli eventi tettonici che hanno portato all'attuale assetto morfologico-strutturale del territorio. Qui di seguito, pertanto, ci si limiterà a sintetizzare le principali caratteristiche litologiche ed idrogeologiche dei terreni affioranti, facendo particolare attenzione ai loro attuali rapporti geometrici che, peraltro, sono di grande importanza per la comprensione dei fenomeni che regolano la circolazione idrica sotterranea.

I terreni della serie carbonatica sono attribuiti all'unità stratigrafico-strutturale Alburno-Cervati (Piattaforma Campano-Lucana), mentre nei termini terrigeni sono state riconosciute le Unità Lagonegresi, le Unità Sicilidi e le Unità Ipine (BARBIERI-ZANZUCCHI, 1967; SCANDONE et al., 1967; PESCATORE et al., 1969; D'ARGENIO et al.,

1973; IPPOLITO et al., 1975; COCCO et al., 1974; ORTOLANI, 1974 b; TURCO, 1976).

I termini più antichi della serie di piattaforma affiorante (*Unità Alburno-Cervati*) sono costituiti da dolomie triassiche (spessore circa 1000 m), generalmente tettonizzate e spesso ridotte in farina di dolomia. Esse si rinvencono in affioramento a nord e a sud-ovest della cima del Mt. Polveracchio e lungo il bordo settentrionale della struttura di Mt. Marzano. Segue, in continuità stratigrafica, un tratto di serie più francamente calcareo (spessore pari a circa 2500 m) che presenta però, nella parte bassa, frequenti intercalazioni dolomitiche e calcareo-dolomitiche.

Il comportamento idrogeologico dei due tratti di serie è ovviamente diverso, soprattutto a causa dei diversi effetti prodotti sui due principali litotipi (dolomie e calcari) dalle sollecitazioni tettoniche e dal carsismo. Infatti le dolomie, interessate prevalentemente da microfratture, risultano relativamente meno permeabili dei sovrastanti calcari altamente carsicizzati.

Le *Unità Lagonegresi* (Flysch Numidico, Flysch Rosso, Flysch Galestrino e Scisti Silicei) affiorano, a diretto contatto o nelle immediate vicinanze dei massicci carbonatici soltanto nell'area posta a nord-est della struttura di Mt. Marzano (SCANDONE, 1972; COCCO et al., 1974) ed in corrispondenza della finestra tettonica di Campagna (SCANDONE et al., 1967; TURCO, 1976). Esse sono costituite da terreni a litologia calcareo-silico-marnosa e argilloso-arenacea, complessivamente poco permeabili, specie se posti in rapporto con i litotipi della serie di piattaforma. Le *Unità Lagonegresi* si rinvencono sempre tettonicamente sottoposte all'*Unità Alburno-Cervati*. Esse, in considerazione dell'ampiezza regionale dei fenomeni tettonici che hanno portato agli attuali rapporti geometrici (D'ARGENIO et al., 1973; IPPOLITO et al., 1975) sono da ritenere il principale impermeabile di fondo delle unità carbonatiche ricadenti nell'area studiata.

Le *Unità Sicilidi* affiorano a nord del Mt. Cervialto, nella valle del Sele (a sud di Materdomini), a nord di Mt. Marzano e in molte piccole depressioni tettonico-carsiche dei massicci carbonatici. Esse sono rappresentate prevalentemente da calcari marnosi, marne, arenarie e argille il cui grado di « permeabilità relativa » è praticamente nullo. Trattandosi di coltri di provenienza interna (D'ARGENIO et al., 1973; IPPOLITO et al., 1975), i rapporti con le altre unità stratigrafico-strutturali sono sempre tettonici. Infatti poggiano in discordanza e sui terreni in facies di piattaforma (COCCO et al., 1974; ORTOLANI, 1974 b; CELICO-CIVITA, 1976) e sulle *Unità Lagonegresi* affioranti a nord di Mt. Marzano; si rinvencono però sottoposte all'*Unità Alburno-Cervati* lungo il bordo settentrionale di Mt. Pruno (ORTOLANI, 1974 b) e lungo i bordi orientale del massiccio del Mt. Polveracchio e nord-orientale del Mt. Cervialto.

In considerazione della loro scarsa permeabilità complessiva e dei rapporti geometrici esistenti con i terreni della serie di piattaforma, è facile dedurre che il principale ruolo idrogeologico svolto dalle *Unità Sicilidi* è quello di tamponamento della falda di base dei massicci carbonatici.

Lo stesso ruolo è svolto dalle *Unità Iripine*, anch'esse scarsamente permeabili perchè costituite essenzialmente da arenarie con intercalazioni di argille e marne.

Esse affiorano estesamente nell'area posta a nord-est del Mt. Cervialto e a nord di Mt. Marzano, dove si può osservare l'appoggio stratigrafico discordante e sui termini di piattaforma e sulle Unità Sicilidi (PESCATORE et al., 1969; Cocco et al., 1974).

In sintesi, per i fini che ci si propone con il presente lavoro, si può dire che i massicci carbonatici rappresentano gli acquiferi più produttivi dell'area studiata. Le loro falde in rete sono tamponate lateralmente, e subordinatamente alla base, da successioni arenaceo-marnoso-argillose (spessore compreso tra i 500 e i 1500 m). Sul fondo degli stessi massicci la circolazione idrica è invece tamponata soprattutto dalle Unità Lagonegresi.

### 3. Struttura e circolazione idrica sotterranea

In tutto l'Appennino carbonatico centro-meridionale (CELICO, 1978 a, 1978 b) l'idrodinamica sotterranea e l'ubicazione dei principali punti di recapito delle acque risultano condizionate soprattutto dall'assetto strutturale dei massicci e dall'andamento plano-altimetrico delle « soglie di permeabilità ». Pertanto, il problema dell'affinamento delle conoscenze sull'assetto strutturale della valle del Sele si è presentato in tutta la sua complessità ed importanza, soprattutto perchè l'ubicazione di gran parte delle sorgenti e dei pozzi (n. 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 in tab. 1) poneva grossi interrogativi circa il riconoscimento dei rispettivi bacini di alimentazione.

#### 3.1. *Monte Cervialto*

Il massiccio del Mt. Cervialto (fig. 1) rappresenta un'unica unità idrogeologica (CELICO-CIVITA, 1976) delimitata a nord-ovest da una faglia trascorrente (ORTOLANI, 1974 a) e a nord-est da una faglia inversa (MANFREDINI, 1969; CELICO-CIVITA, 1976).

A sud-ovest la struttura appare rialzata da un'importante faglia diretta che, mettendo a giorno il Trias dolomitico, dovrebbe almeno in parte contribuire al condizionamento del deflusso della falda di base verso le sorgenti di Caposele, unico recapito importante dell'intero massiccio. Non è comunque da escludere che, al di sotto della potente coltre fluvio-lacustre di Acerno (m 600 circa s.l.m.), lo spartiacque sia marcato da una situazione strutturale più complessa legata all'innalzamento delle Unità Lagonegresi che affiorano fino a circa 1000 m di quota (TURCO, 1976) nella vicina finestra tettonica di Campagna.

A sud-est, invece, il limite dell'unità idrogeologica sembra coincidere con l'importante faglia Acerno-Calabritto che, almeno nella sua parte nord-orientale, mostra chiari caratteri di compressione (CELICO-CIVITA, 1976) cui si accompagna l'innalzamento del Trias dolomitico. A tal proposito è interessante osservare che detta faglia si trova sulla naturale prosecuzione, verso ovest, del bordo settentrionale della struttura di Mt. Marzano dove vengono pure segnalati (PESCATORE et al., 1969; Cocco et al., 1974) accavallamenti tettonici importanti, accompagnati dall'affioramento delle dolomie triassiche.

Circa la perfetta tenuta idraulica della faglia Acerno-Calabritto, è importante

sottolineare che la « soglia di permeabilità » che cinge il Mt. Cervialto ha il suo punto più depresso proprio a valle di Calabritto, a quota più bassa di circa 170 m rispetto alle sorgenti di Caposele (420 m circa s.l.m.). Poichè nella zona indicata non si verifica alcuna fuoriuscita d'acqua apprezzabile, risulta evidente come la suddetta direttrice tettonica debba effettivamente operare una valida azione di sbarramento sulla circolazione idrica di base del massiccio. Se a ciò si aggiunge che, a sud della faglia, le più vicine emergenze della falda di base del Mt. Polveracchio si rinvencono a quote superiori ai 600 m, si ha l'immediata conferma dell'impossibilità di travasi d'acqua da nord verso sud.

### 3.2. *Monte Polveracchio*

La zona di confluenza del Rio Zagarone col F. Sele rappresenta anche il punto più depresso della « soglia di permeabilità » del Mt. Polveracchio (fig. 1) e, quindi, un potenziale punto di recapito della sua falda di base. Però la mancanza di sorgenti importanti e l'ubicazione delle stesse a breve distanza, ma a quota più alta di oltre 350 m, prova che le scaglie tettoniche di Mt. Altילו (HIEKE MERLIN et al., 1971) tamponano molto bene la falda verso nord (CELICO-CIVITA, 1976). Pertanto sono da escludere anche interscambi idrici apprezzabili da sud verso nord e, quindi, mescolamenti importanti tra le acque delle unità idrogeologiche del Mt. Polveracchio e del Mt. Cervialto. A sud-ovest la stessa struttura del Mt. Polveracchio è chiaramente isolata dall'affioramento a quota alta delle Unità Lagonegresi (TURCO, 1976) in corrispondenza della finestra tettonica di Campagna. Proprio sulla naturale prosecuzione verso nord del bordo orientale della suddetta finestra, sembra potersi riconoscere (CELICO, 1978 a) il limite occidentale del bacino idrogeologico dell'alta valle del F. Sele. Infatti detta direttrice (Varco Sellara-Costa d'Amalfi-Piano del Gaudio) marca, ad ovest, l'innalzamento delle dolomie triassiche e, probabilmente, delle Unità Lagonegresi. Ciò dovrebbe consentire la suddivisione del deflusso sotterraneo verso il Tusciano e verso il Sele, fermo restando l'esistenza di importanti sorgenti a quota alta, lungo le falde sud-occidentali del Mt. Polveracchio s.s..

Lungo il bordo orientale del Mt. Polveracchio era già stata evidenziata (CELICO-CIVITA, 1976) l'esistenza, fino all'altezza di Senerchia, di una struttura a scaglie identica a quella riscontrata sul fronte nord-orientale del Mt. Cervialto. Detto motivo tettonico, in effetti, è da ritenere confermato anche più a sud, essendo ben visibili, specie lungo la strada che da Senerchia porta alle sorgenti Acqua Bianca, liscioni di faglia inversa con piani di scorrimento molto prossimi all'orizzontale. Dette scaglie tettoniche, affioranti tra Caposele e Calabritto e probabilmente ribassate all'altezza di Senerchia (sez. 1 in fig. 2) (CELICO-CIVITA, 1976) dovrebbero rialzarsi in corrispondenza del Pozzo S. Nicola per dare origine alle sorgenti omonime. Queste, infatti, sono ubicate in piena plaga flyschoidale, a quota più bassa di oltre 200 m rispetto alle sorgenti Acqua Bianca, Piceglia e Abbazzata (fig. 1 e sez. n. 2 in fig. 2).

Analogamente a quanto verificato nei pressi di Calabritto, la diminuzione di permeabilità riscontrabile nello stesso acquifero carbonatico (per effetto della spinta

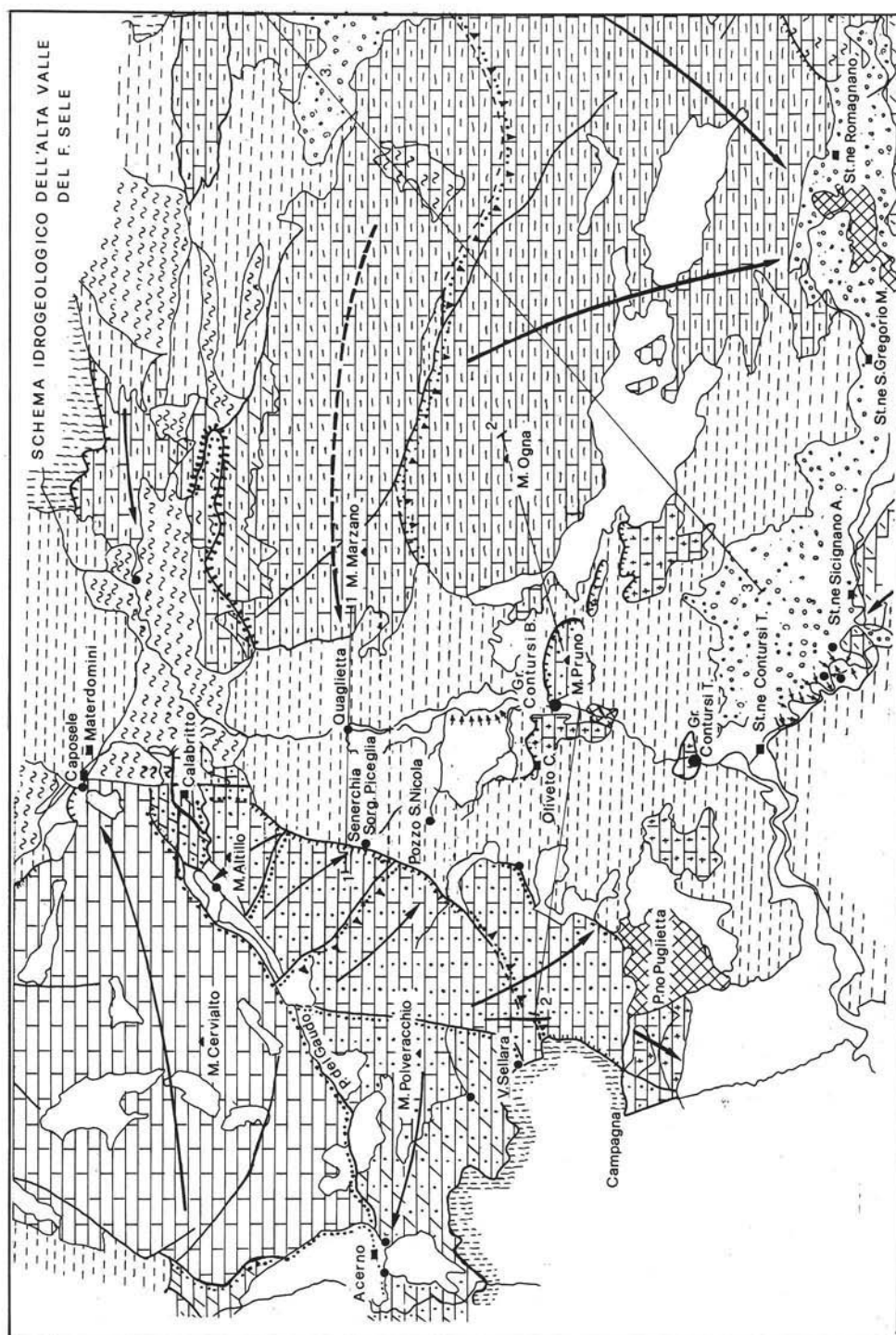
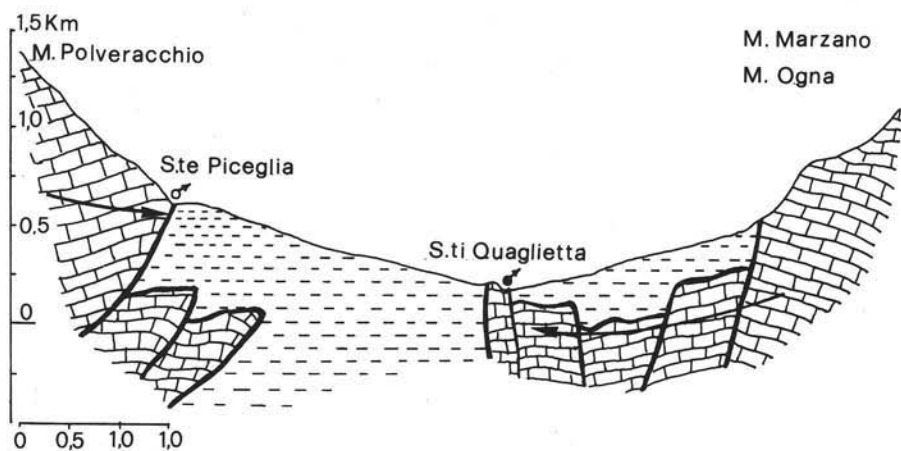


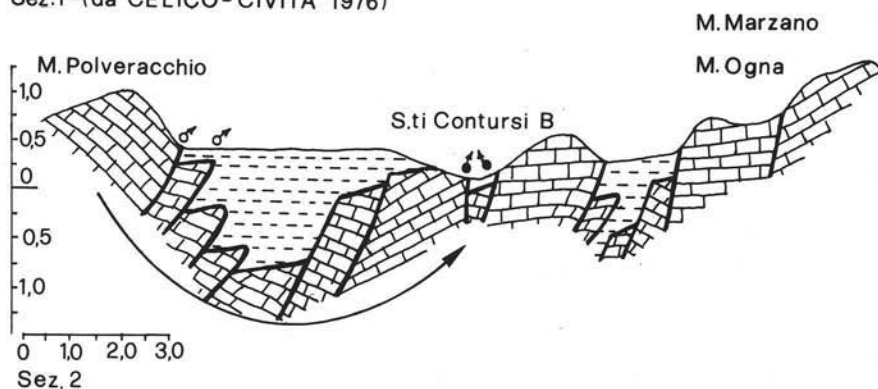
Fig. 1. — Alta Valle del Sele.

LEGENDA fig. 1:

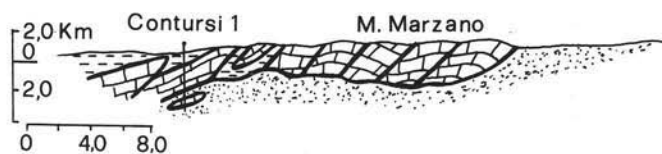
| Permeabilità                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Eta geologica        | Complessi idrogeologici                                                                                                                                                                                                                                  | Unità idrogeologiche                                  | Unità stratigrafico strutturali |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                       |                                 |
| Scarsa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Quaternario          | Complesso detritico-alluvionale: alluvioni antiche e recenti, sedimenti fluvio lacustri detritici di falda, depositi piroclastici del fondo delle conche tettoniche carsiche (permeabilità variabile in funzione della granulometria dei depositi)       |                                                       |                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Quaternario          | Complesso dei travertini: travertini antichi e recenti (permeabili per porosità e fratturazione)                                                                                                                                                         |                                                       |                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Pliocene             | Complesso argilloso-sabbioso-conglomeratico: argille, sabbie e conglomerati (permeabilità per porosità variabile in relazione alla granulometria dei depositi).                                                                                          |                                                       |                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Tortoniano-Langhiano | Complesso arenaceo-argilloso: arenarie ed argille con grossi olistoliti calcarei (permeabilità praticamente nulla se confrontata con quella dei massicci carbonatici).                                                                                   |                                                       | Unità Irpine                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Miocene-Cretacico    | Complesso marnoso-argilloso: marne, argille, arenarie e calcari marnosi (permeabilità praticamente nulla se confrontata con quella dei massicci carbonatici).                                                                                            |                                                       | Unità Sicilidi                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Miocene inf. Trias   | Complesso calcareo-siliceo-marnoso: flysch numidico, flysch rosso, flysch galestrino. calcari con liste e noduli di selce (costituisce l'impermeabile di fondo delle strutture carbonatiche; il grado di permeabilità varia al variare della litologia). |                                                       | Unità Lagonegrese               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Aquitano-Langhiano   | Complesso calcareo-marnoso-argilloso: calcareniti, marne, argille e arenarie (permeabilità praticamente nulla se confrontata con quella della sottostante serie carbonatica).                                                                            | Mt. Marzano<br>Mt. Ogna                               |                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Cretacico            | Complesso calcareo: calcari con intercalazioni dolomitiche più frequenti della parte bassa della serie (permeabile per fratturazione e carsismo).                                                                                                        | Mt. Polveracchio                                      |                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Miocene-Giurassico   |                                                                                                                                                                                                                                                          | Mt. Marzano<br>Mt. Ogna                               | Unità Alburno-Cervati           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Palocene-Giurassico  |                                                                                                                                                                                                                                                          | Mt. Cervialto                                         |                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Giurassico           | Complesso calcareo-dolomitico: calcari dolomitici e dolomie (permeabilità complessiva alta, anche se di grado inferiore a quella del sovrastante complesso calcareo).                                                                                    | Mt. Polveracchio                                      |                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Trias                | Complesso dolomitico: dolomie con intercalazioni calcaree dolomitiche (permeabile per fratturazione)                                                                                                                                                     | Mt. Polveracchio<br>Mt. Marzano-Ogna<br>Mt. Cervialto |                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Trias                |                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                       |                                 |
| <p>Sovraccorrimiento e faglie inverse (tratteggiate se probabili o sepolte)</p> <p>Faglie dirette (tratteggiate se probabili o sepolte)</p> <p>Limiti probabili, all'interno dei massicci, delle aree di alimentazione di sorgenti e falde (sono limitati o nulli gli interscambi con bacini limitrofi)</p> <p>Limiti probabili, all'interno dei massicci, delle aree di alimentazione di sorgenti e falde (esistono interscambi tra bacini limitrofi, nel verso indicato dalla freccia)</p> <p>Direzioni di flusso principali della falda di base</p> <p>Direzioni di flusso secondarie della falda di base o di falde sospese</p> <p>Sorgenti e gruppi sorgivi principali</p> <p>Venute d'acqua diffuse in alveo</p> <p>Traccia di sezione</p> |                      |                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                       |                                 |



Sez. 1 - (da CELICO - CIVITA 1976)



Sez. 2



Sez. 3 - (da FANCELLI ET ALII 1966 modificata)



Fig. 2. — Sezioni geologiche.

cataclaszizzazione della roccia nelle zone di frizione connesse con la suddetta struttura a scaglie) dovrebbe causare il frazionamento della circolazione idrica sotterranea, con emergenze poste a quote molto diverse nonostante la brevissima distanza che le separa. Ciò, peraltro, sembra essere ulteriormente confermato se si considera che, nel F. Sele (tra le confluenze dei torrenti Piceglia e Acqua Bianca), è stato riscontrato un notevole incremento di portata (circa 800 l/s in magra) in parte connesso con emergenze mascherate dalle alluvioni terrazzate di Oliveto Citra (CELICO, 1978 a, 1978 b). Tra le suddette emergenze (certamente legate all'ac-

TABELLA 1  
*Localizzazione e caratteristiche principali dei 20 punti d'acqua studiati*

| DENOMINAZIONE<br>DELLA SORGENTE | COORDINATE +<br>LONG. LAT. | PORTATA<br>l/sec | QUOTE<br>m/s.l.m. | T°C  |
|---------------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|------|
| 1-Caposele Sanità               | 2°46'5" 40°48'54"          | 3200             | 420               | 9.1  |
| 2-Fontana di<br>Quaglietta      | 2°47'14" 40°46'34"         | 3000             | 185               | 10.2 |
| 3-Piceglia                      | 2°42'38" 40°43'16"         | 150              | 600               | 7.5  |
| 4-Acqua Solfurea I              | — —                        | 3                | 175               | 21.0 |
| 5-Acqua Solfurea II             | — —                        | <1               | 145               | 21.0 |
| 6-Capasso Pozzo                 | 2°47'37" 40°41'20"         | —                | 140               | 39.0 |
| 7-Capasso acqua<br>dolce        | 2°47'58" 40°41'20"         | 1                | 140               | 31.0 |
| 8-Capasso acqua<br>ferrata      | 2°47'58" 40°41'12"         | 1                | 140               | 25.0 |
| 9-Rosapepe Pozzo                | 2°47'52" 40°41'11"         | —                | 150               | 39.5 |
| 10-Contursi Mofete              | 2°47'7" 40°39'13"          | 1.75             | 145               | 29.5 |
| 11-Cantani                      | 2°46'42" 40°39'7"          | 20               | 110               | 18.5 |
| 12-Parco Querce                 | 2°46'47" 40°39'1"          | 20               | 98                | 14.5 |
| 13-Lauro                        | 2°46'38" 40°38'30"         | 300              | 85                | 13.5 |
| 14-Volpacchio                   | 2°46'54" 40°38'23"         | 160              | 65                | 15.0 |
| 1P-Acqua Salsa                  | 2°35'8" 40°27'19"          | 160              | 42                | 16.5 |
| 2P-Capo fiume I                 | 2°35'23" 40°27'            | —                | 37                | 15.0 |
| 3P-Capo fiume II                | 2°35'33" 40°26'48"         | 3000             | 37                | 15.5 |
| 4P-Capo fiume III               | 2°35'37" 40°26'45"         | —                | 3                 | 16.0 |
| 5P-Paestum Solfurea             | — —                        | <1               | 3                 | 14.0 |
| 6P-Torre Paestum                | 2°32'27" 40°24'51"         | 110              | 3                 | 17.0 |

\* Da « Min. Lav. Pubbl. », 1942.

quifero del Mt. Polveracchio) ed il blocco carbonatico di Contursi Bagni, la distanza è breve. Infatti, l'emergenza di sorgenti importanti dalla plaga flyschoida prova l'esistenza di un substrato carbonatico continuo, presumibilmente collegato al blocco summenzionato. A tal proposito basti osservare che l'allineamento di « mofete » che marca il contatto per faglia inversa tra il bordo nord di Mt. Pruno e le Unità Sicilidi, all'altezza di Oliveto Citra vira verso nord a conferma e dell'esistenza e della continuità del substrato acquifero.

Se ora si considera l'accavallamento tettonico di Mt. Pruno (ORTOLANI, 1974 b) e l'interpretazione strutturale del pozzo Contursi I (FANCELLI et al., 1966) (sez. n. 3 in fig. 2), appare chiaro che i blocchi carbonatici di Contursi Bagni e Palomonte

debbano essere tettonicamente sovrapposti all'unità di Mt. Ogha con l'interposizione dei depositi terrigeni delle Unità Sicilidi. Ovviamente, tale assetto strutturale crea un tampone praticamente invalicabile per le acque di circolazione idrica sotterranea e, quindi, fa riconoscere nella struttura del Mt. Polveracchio il bacino di alimentazione delle sorgenti termominerali di Contursi Bagni (n. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 in tab. 1).

Lo stesso massiccio dovrebbe alimentare, per ovvi motivi strutturali, anche le sorgenti di Contursi Terme (n. 11, 12, 13, 14 in tab. 1) attraverso un collegamento carbonatico parzialmente affiorante (fig. 1).

A questo punto è interessante osservare, a riprova delle validità dello schema idrogeologico proposto, che i suddetti gruppi sorgivi vengono a giorno da alcuni blocchi carbonatici incisi e messi a giorno di recente dalle acque del F. Sele. Ciò significa che tali acque, originariamente tamponate dalla copertura flyschoidale, avevano altri punti di recapito certamente posti, a quote più elevate, lungo i bordi delle altre strutture calcaree.

Dell'esistenza di detti punti di recapito esistono valide prove proprio lungo il bordo orientale del Mt. Polveracchio dove, a Piano Puglietta, affiorano ampie placche di travertini fossili. Se a ciò si aggiunge l'esistenza, a sud-est, di un piccolo horst carbonatico adiacente al blocco di Contursi Terme, appare chiara la migrazione delle acque a quota più bassa non appena il fiume ha avuto la possibilità di incidere il substrato carbonatico.

Il più alto grado di mineralizzazione nonché le più alte temperature del gruppo sorgivo di Contursi Bagni rispetto a quello di Contursi Terme sono ampiamente giustificati dal sifone carbonatico più lungo e profondo che le acque sono evidentemente costrette a superare prima di emergere.

Infine, l'alimentazione di tali gruppi sorgentizi da parte della struttura di Mt. Marzano-Mt. Ogha non è accettabile se si considera che la quota di sfioro della falda, essendo pari a quella delle sorgenti di Quaglietta (vedi paragrafo successivo), non dovrebbe consentire l'esistenza di un carico idrostatico sufficiente a determinare una circolazione profonda che è invece evidenziata dalla natura chimica e dall'alta temperatura delle acque di Contursi. Inoltre, lungo il bordo occidentale dello stesso massiccio, non esistono tracce di emergenze della falda di base che possano provare un eventuale abbassamento della quota del punto di recapito principale delle acque. Quest'ultima, peraltro, non sembra abbia mai superato i 200 m circa s.l.m. (vedi la quota di affioramento dei travertini nella bassa valle del F. Bianco).

### 3.3. *Monte Marzano - Monte Ogha*

Anche l'unità idrogeologica di Mt. Marzano-Mt. Ogha sembra avere dei limiti idrogeologici molto netti coincidenti con le importanti faglie di bordo (CELICO, 1978 a).

All'interno del massiccio, un'altra linea strutturale di particolare interesse idrogeologico è rappresentata dall'accavallamento tettonico (FANCELLI et al., 1966) della

sub-struttura di Mt. Ognà su Mt. Marzano (fig. 1). Detta direttrice, caratterizzata da un notevole grado di cataclaszizzazione della roccia per spessori molto ampi, sembra condizionare (CELICO, 1978 a) in modo sostanziale il deflusso idrico sotterraneo. Infatti dovrebbe consentire alla falda di Mt. Marzano di traboccare solo in parte alle sorgenti di Quaglietta, lasciando poi che una certa aliquota d'acqua filtri verso sud e, unitamente alla falda di Mt. Ognà, trovi recapito nelle alluvioni del F. Tanagro (CELICO, 1978 a, 1978 b).

A tal proposito è interessante osservare che il punto idrogeologicamente più depresso dell'intera struttura ricade in corrispondenza del F. Bianco, tra le stazioni ferroviarie di Romagnano e S. Gregorio Magno. Quivi, infatti, affiorano ampie placche di travertino ed, inoltre, le alluvioni sono tanto ricettive da consentire una progressiva diminuzione della portata in alveo, spesso fino al completo annullamento della stessa. È quindi evidente che la falda di Mt. Ognà, non essendo ben tampognata, debba continuare il suo percorso nei depositi recenti per poi riaffiorare nel Tanagro: infatti, tra le stazioni ferroviarie di Sicignano degli Alburni e Contursi Terme, è stato riscontrato, in magra, un incremento di portata pari a circa 8 mc/s comprensivi, ovviamente, dell'apporto dei Monti Alburni (CELICO, 1978 a) e delle summenzionate infiltrazioni di acque superficiali.

Per quanto riguarda le sorgenti di Quaglietta, anch'esse emergenti da un blocco carbonatico messo a giorno di recente dal F. Sele, le evidenze strutturali (sez. n. 1 in fig. 2) sembrano far riconoscere nel massiccio di Mt. Marzano il loro bacino di alimentazione (CELICO-CIVITA, 1976).

#### 3.4. *Monte Cervati - Monte Vesole*

L'unità idrogeologica in esame (non riportata in fig. 1 perchè relativamente lontana dalla zona di Contursi) è costituita (CELICO et al., 1978; CELICO, 1978 a) essenzialmente dall'ampia struttura carbonatica del Mt. Cervati che, restringendosi notevolmente all'altezza del graben di Magliano, si raccorda con la struttura di Mt. Vesole.

La falda in rete ha il suo punto preferenziale di recapito in corrispondenza dell'estrema punta occidentale dello stesso Mt. Vesole s.l. (sorgenti del gruppo Capo di Fiume: n. 1P, 2P, 3P, 4P in tab. 1) e nella zona di Paestum (sorgenti n. 5P e 6P) dove, attraverso i travertini della Piana, giungono le acque non trattenute dalla soglia di permeabilità.

Nel massiccio dovrebbe esistere (CELICO et al., 1978; CELICO, 1978 a) uno schema di circolazione idrica del tipo « a cascata » con un probabile approfondimento della circolazione in corrispondenza del graben di Magliano. Quivi infatti sembra accertata una diminuzione complessiva del grado di permeabilità dell'acquifero che provocherebbe il rincollo e l'affioramento della falda, una perdita concentrata del carico piezometrico e l'apertura di vie preferenziali di deflusso in profondità dove la pressione idrostatica è maggiore (CELICO et al., 1978; CELICO, 1978 a).

Dal punto di vista strutturale e idrogeologico esistono quindi delle notevoli affinità tra i bacini di alimentazione delle sorgenti di Contursi e di Capaccio.

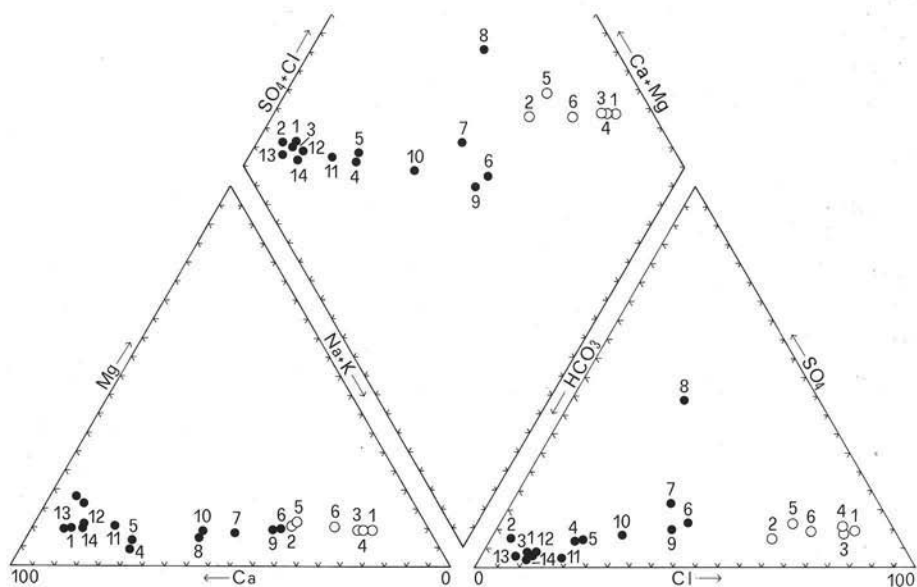


Fig. 3 a. — Diagramma di Piper relativo alle acque di Contursi (●) e della Piana di Paestum (○).

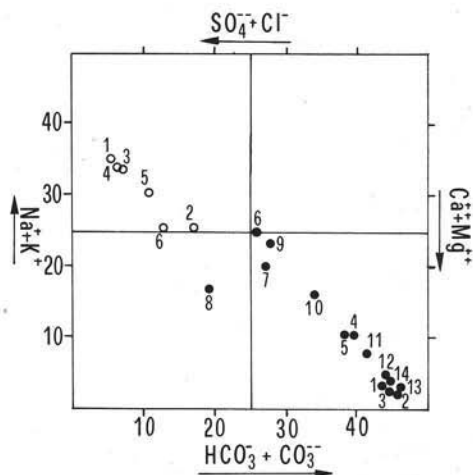


Fig. 3 b. — Diagramma quadrangolare in accordo con Piper.

Infatti, in entrambi i casi, c'è un bacino principale di alimentazione molto grande (rispettivamente, Mt. Polveraccio e Mt. Cervati) con le falde poste a quote alte (rispettivamente, 500÷600 m e 300÷400 m s.l.m.) rispetto a quelle delle emergenze; inoltre, tra le aree di alimentazione principali ed i punti di recapito delle acque, esistono grosse discontinuità strutturali (trasversali rispetto alle direzioni di flusso delle falde) che sembrano provocare in entrambi i casi la mobilitazione di acque di fondo.

Esistono, comunque, anche delle notevoli differenziazioni perchè le acque di Contursi, nell'ultimo tratto del loro percorso (5-6 km circa) si muovono in pressione (sez. n. 2 in fig. 2) e senza grosse dispersioni di calore, mentre quelle di Capaccio percorrono gli ultimi 23 km a pelo libero e in calcari molto fratturati e carsificati.

Per concludere si ritiene importante sottolineare che, dal punto di vista strutturale e idrogeologico sembra poco probabile (CELICO et al., 1978) che la forte componente clorurata delle acque della Piana di Paestum possa dipendere da mescolamento con acque marine.

#### 4. Presentazione e discussione dei dati geochimici

Dal novembre 1977 al giugno 1978 sono stati posti sotto osservazione 20 punti d'acqua la cui localizzazione e caratteristiche principali sono riportate in tab. 1. Con la numerazione 1-14 si indicano le acque dell'alta Valle del Sele con 1P-6P quelle della Piana di Paestum.

Sui campioni di acqua prelevati sono state eseguite indagini sugli elementi mag-

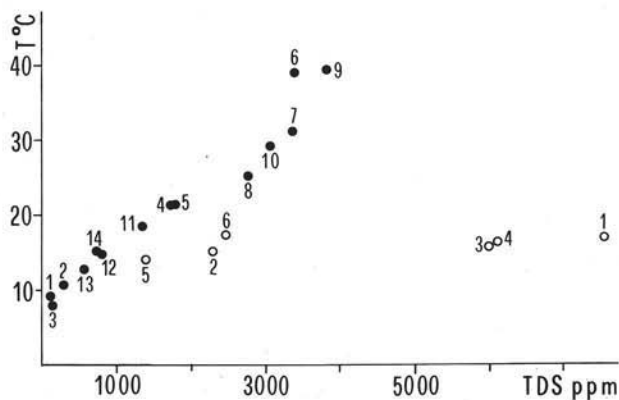


Fig. 4. — Correlazione fra salinità totale (TDS) e temperatura.

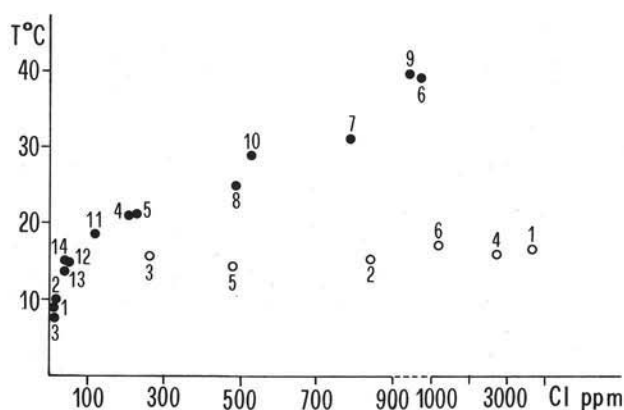


Fig. 5. — Correlazione fra cloro e temperatura.

giori e su alcuni elementi in tracce; in particolare Na, K, Sr, Li, Rb, Mn sono stati determinati in spettrofotometria di assorbimento atomico (Perkin Elmer mod. 370);  $\text{NH}_4$  mediante potenziometria con elettrodo specifico (Orion mod. 407); Ca, Mg, Cl,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , mediante volumetria;  $\text{SiO}_2$  e Fe in colorimetria.

Le metodologie usate sono quelle concordate con il gruppo di lavoro di geochimica afferente al progetto finalizzato Energetica sottoprogetto Energia Geoter-

TABELLA 2  
*Analisi chimiche delle acque calde e fredde*

| N° | T°C<br>aria | T°C<br>acqua | pH   | C.E<br>$\mu s$ | TDS<br>ppm | CO <sub>2</sub><br>ppm | H <sub>2</sub> S<br>ppm | SiO <sub>2</sub><br>ppm | Na <sup>+</sup><br>ppm | K <sup>+</sup><br>ppm |
|----|-------------|--------------|------|----------------|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1  | 13.9        | 9.1          | 7.65 | 291            | 140        | 23.5                   | n.d.                    | 6.50                    | 3.9                    | 1.4                   |
| 2  | 9.0         | 10.2         | 7.40 | 457            | 265        | 18.0                   | 0.30                    | 4.30                    | 3.2                    | 1.1                   |
| 3  | 10.5        | 7.6          | 7.50 | 288            | 152        | 5.2                    | 0.07                    | 5.01                    | 2.6                    | 1.4                   |
| 4  | 8.5         | 21.0         | 6.40 | 2568           | 1705       | 1050.0                 | 0.88                    | 20.00                   | 132.0                  | 28.0                  |
| 5  | 8.5         | 21.0         | 6.40 | 2631           | 1750       | 1150.0                 | 0.98                    | 18.25                   | 156.5                  | 31.0                  |
| 6  | 16.0        | 39.0         | 6.66 | 5500           | 3370       | 379.8                  | 4.83                    | 37.80                   | 697.0                  | 91.0                  |
| 7  | 16.0        | 31.0         | 6.31 | 5461           | 3360       | 621.6                  | 3.40                    | 32.26                   | 523.0                  | 73.4                  |
| 8  | 16.0        | 25.0         | 6.21 | 4266           | 2760       | 620.1                  | 0.19                    | 20.69                   | 355.0                  | 51.0                  |
| 9  | 7.0         | 39.5         | 6.70 | 6015           | 3840       | 430.0                  | 4.92                    | 37.80                   | 643.0                  | 98.0                  |
| 10 | 8.0         | 29.0         | 6.80 | 4510           | 3045       | 890.0                  | 4.32                    | 25.67                   | 355.0                  | 58.0                  |
| 11 | 10.0        | 18.5         | 6.30 | 2080           | 1333       | 1190.0                 | 1.43                    | 9.63                    | 80.0                   | 11.8                  |
| 12 | 10.0        | 14.5         | 6.90 | 1328           | 802        | 373.2                  | 0.05                    | 8.41                    | 30.0                   | 5.3                   |
| 13 | 8.0         | 13.5         | 7.20 | 983            | 582        | 118.0                  | 1.37                    | 7.40                    | 16.1                   | 3.2                   |
| 14 | 8.5         | 15.0         | 6.70 | 1215           | 750        | 240.0                  | 1.14                    | 8.24                    | 24.0                   | 5.1                   |
| 1P | 10.0        | 16.5         | 7.01 | 11858          | 7539       | 23.0                   | 0.09                    | 7.92                    | 1956.0                 | 66.5                  |
| 2P | 9.0         | 15.0         | 6.85 | 3674           | 2295       | 57.0                   | 0.04                    | 8.93                    | 440.0                  | 19.5                  |
| 3P | 9.0         | 15.5         | 6.95 | 8900           | 5998       | 43.5                   | tr                      | 7.97                    | 1443.0                 | 51.7                  |
| 4P | 9.0         | 16.0         | 6.96 | 9050           | 6100       | 22.7                   | 0.07                    | 7.70                    | 1450.0                 | 53.0                  |
| 5P | 9.0         | 14.0         | 7.40 | 2258           | 1380       | 29.0                   | n.d.                    | 16.90                   | 227.5                  | 19.0                  |
| 6P | 9.0         | 17.0         | 7.40 | 3995           | 2460       | 20.1                   | 0.04                    | 13.05                   | 537.0                  | 25.3                  |

(continua)

mica. L'accuratezza delle analisi è stata controllata mediante standard interlaboratori.

In tab. 2 sono riportati i risultati delle analisi chimiche del prelievo del mese di febbraio in quanto non si sono riscontrate notevoli variazioni nell'ambito dei diversi campionamenti.

Dai diagrammi di Piper risulta concordemente che le acque del gruppo Contursi cadono nel campo delle bicarbonato calciche (fig. 3 a, 3 b) ad eccezione del campione 8 che cade nel campo delle solfato calciche, mentre quelle della Piana di Paestum per gli alti contenuti in Na+K e Cl sono classificabili come cloruro alcaline.

Le acque di Piceglia e di Contursi presentano valori di salinità totale (TDS) compresi fra 152 e 3800 ppm, mentre le temperature misurate all'emergenza variano da 8° C a 39,5° C. Nel diagramma di fig. 4 tutti i campioni si dispongono lungo una retta evidenziando un mescolamento fra acque calde e fredde. Le acque della Piana di Paestum presentano valori di salinità totale che vanno da 1380 ppm a 7539 ppm, mentre le temperature all'emergenza non variano sensibilmente.

Il diagramma Cl/Temperatura presenta strette analogie con il precedente. I va-

segue Tab. 2

| Li <sup>+</sup> | Rb <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | Sr <sup>++</sup> | Mn <sup>++</sup> | Fe <sup>+++</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ppm             | ppm             | ppm                          | ppm              | ppm              | ppm              | ppm              | ppm               | ppm             | ppm                           | ppm                           |
| ass.            | ass.            | ass.                         | 50,2             | 6,1              | ass.             | tr               | 0,02              | 12,0            | 3,2                           | 175,0                         |
| 0,05            | ass.            | tr                           | 76,3             | 14,6             | 0,08             | tr               | 0,04              | 14,3            | 6,7                           | 293,3                         |
| ass.            | ass.            | ass.                         | 46,2             | 9,7              | 0,13             | ass.             | tr                | 12,0            | 2,0                           | 183,5                         |
| 0,97            | 0,05            | 0,37                         | 443,6            | 30,5             | 1,52             | 0,06             | 0,05              | 202,5           | 78,1                          | 1488,4                        |
| 1,15            | 0,05            | 0,42                         | 435,6            | 36,5             | 1,82             | 0,03             | 0,04              | 227,1           | 104,1                         | 1488,4                        |
| 5,25            | 0,25            | 0,93                         | 455,6            | 131,5            | 6,55             | 0,08             | 0,03              | 978,6           | 256,5                         | 2125,8                        |
| 4,35            | 0,22            | 0,48                         | 566,0            | 113,3            | 5,39             | 0,04             | 0,09              | 788,7           | 353,4                         | 2081,1                        |
| 2,30            | 0,13            | 0,45                         | 552,0            | 79,2             | 3,27             | 0,18             | 0,03              | 489,7           | 845,6                         | 1227,2                        |
| 5,13            | 0,25            | 0,65                         | 584,1            | 129,1            | 6,22             | 0,01             | 0,03              | 949,2           | 213,9                         | 2439,0                        |
| 2,90            | 0,13            | 2,55                         | 578,0            | 103,5            | 3,63             | 0,04             | 0,08              | 537,9           | 150,0                         | 2276,4                        |
| 0,46            | ass.            | 0,27                         | 367,3            | 49,9             | 0,95             | 0,01             | 0,04              | 117,9           | 28,8                          | 1352,4                        |
| 0,17            | ass.            | 0,05                         | 242,9            | 29,2             | 0,47             | tr               | tr                | 52,3            | 13,3                          | 871,8                         |
| 0,07            | ass.            | 0,01                         | 178,6            | 24,4             | 0,31             | tr               | tr                | 42,0            | 6,5                           | 652,0                         |
| 0,16            | ass.            | ass.                         | 222,8            | 28,0             | 0,37             | 0,08             | 0,01              | 47,5            | 12,9                          | 791,9                         |
| 0,06            | ass.            | tr                           | 331,2            | 248,5            | 4,37             | tr               | tr                | 3644,9          | 441,7                         | 777,2                         |
| 0,07            | ass.            | ass.                         | 236,8            | 77,9             | 1,71             | 0,01             | 0,02              | 840,9           | 102,0                         | 753,3                         |
| 0,07            | ass.            | ass.                         | 299,1            | 187,6            | 3,55             | 0,01             | 0,04              | 2661,0          | 341,5                         | 756,3                         |
| 0,06            | ass.            | ass.                         | 303,1            | 188,8            | 3,55             | 0,01             | 0,03              | 2708,0          | 327,1                         | 764,8                         |
| 0,04            | ass.            | tr                           | 148,5            | 52,4             | 1,42             | tr               | 0,01              | 480,9           | 75,7                          | 412,4                         |
| ass.            | ass.            | tr                           | 174,6            | 84,0             | 1,76             | 0,01             | 0,01              | 1019,0          | 134,5                         | 516,1                         |

lori di Cl per le acque di Piceglia e di Contursi variano da 12 a 978 ppm, mentre per le acque della Piana di Paestum si hanno valori da 181 a 3645 ppm. (fig. 5).

Il contenuto in solfati nelle acque fredde di Contursi è minore di 10 ppm, mentre nelle acque calde tali contenuti aumentano linearmente in funzione della temperatura con la sola eccezione dei campioni n. 7 e 8 (fig. 6).

Le rocce affioranti e il rinvenimento a circa 3000 metri di profondità (DONDI e PAPETTI, 1965) di lembi di anidrite inclusi in argille scagliettate sembrano giustificare in parte la composizione chimica delle acque in esame. A contatto con tali rocce le acque si arricchiscono oltre che in SO<sub>4</sub> anche in Cl (PICCOLI et al., 1973), Li e Sr. L'anomalo arricchimento in SO<sub>4</sub> per il campione 8, e, in parte, per il campione 7, non correlato nè con l'incremento di temperatura nè con i valori di Cl, Li e Sr (fig. 7), potrebbe trovare giustificazione in un probabile contatto a livelli più superficiali con rocce contenenti solfuri (BENCINI et al., 1977).

Il Rb è completamente assente nelle acque con temperature inferiori a 21° C, mentre è presente nelle acque più calde con valori da 0,05 a 0,25 ppm, ed è ben correlato con il K in accordo con le sue proprietà cristallografiche.

Lo Sr è ben correlato con SO<sub>4</sub> sia nelle acque di Contursi che in quelle della Piana di Paestum (fig. 7) confermando la preferenziale entrata di tale elemento nel solfato di Ca piuttosto che nel carbonato.

BRONDI et al. (1973) mettono in evidenza l'importanza del Li come tracciante chimico delle aree geotermali per le sue caratteristiche geochemiche quali il basso valore del raggio ionico e della carica elettrica, l'alta mobilità, il basso contenuto nelle acque superficiali e l'impossibilità che una volta disciolto possa formare mi-

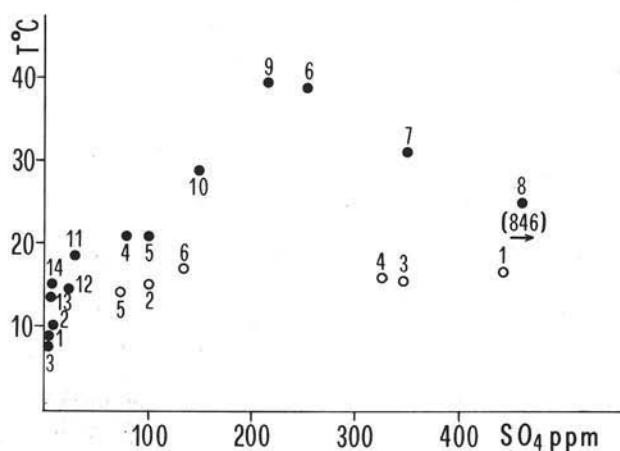


Fig. 6. — Correlazione fra solfati e temperatura.

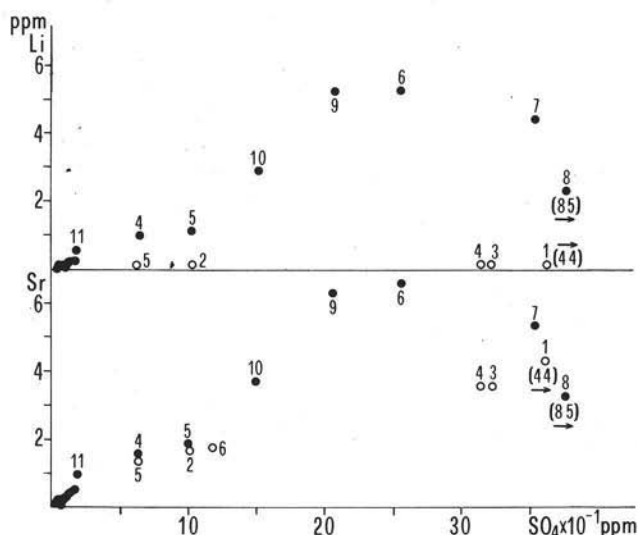


Fig. 7. — Correlazione  $SO_4/Sr$  e  $SO_4/Li$ . I Campioni 1, 2, 3, 12, 13, 14 cadono nello stesso intorno.

nerali propri. I tenori in Li nelle acque fredde di Contursi sono infatti molto bassi, mentre raggiungono i 5 ppm nelle acque termali. Le acque della Piana di Paestum presentano tutte valori molto bassi in tale elemento. Inoltre il Li presenta una buona correlazione sia con  $SO_4$  (fig. 7) confermando il possibile contatto delle acque calde con rocce evaporitiche, sia con il Mg per la loro affinità geochemica (fig. 8).

In fig. 9 si sono riportati i valori della  $\text{SiO}_2$  in funzione della temperatura. Tutti i campioni sono disposti linearmente e sembra evidente che la temperatura è il principale fattore che controlla le concentrazioni di  $\text{SiO}_2$ . In particolare, le acque a termalità maggiore si dispongono lungo la curva di solubilità dell' $\alpha$  cristobalite mentre quelle a termalità inferiore e le fredde cadono fra le curve di solubilità del quarzo e dell' $\alpha$  cristobalite (FOURNIER e ROWE, 1966).

Per dare un'informazione sulla capacità potenziale del sistema geotermale in studio si è tentato il calcolo del valore della temperatura profonda mediante l'uso di metodi geochimici (ELLIS, 1970).

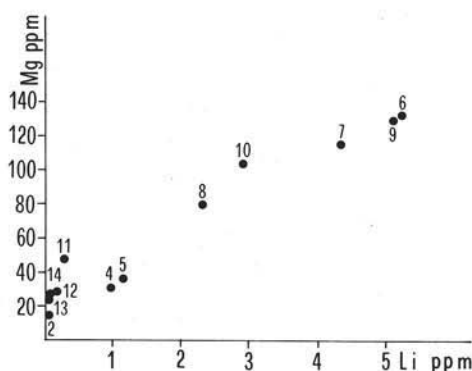


Fig. 8. — Diagramma Li/Mg.

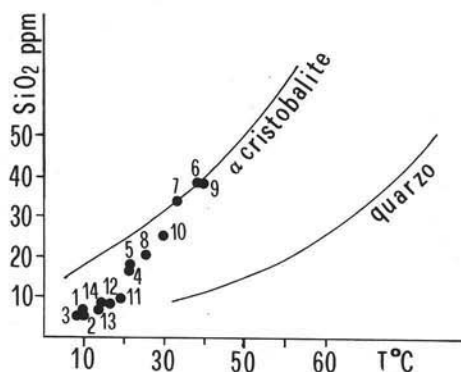


Fig. 9. — Diagramma  $\text{SiO}_2/T$  all'emergenza.

È noto dalla letteratura che i geotermometri più usati sono quelli della silice che si basano sulla solubilità del quarzo (FOURNIER e ROWE, 1966) e il rapporto degli ioni Na-K-Ca (FOURNIER e TRUESDELL, 1973) che tiene conto della partizione di tali ioni tra le soluzioni e le fasi solide. Quest'ultimo geotermometro dà risultati più attendibili in acque povere in  $\text{CO}_2$  in quanto, se applicato ad acque che depositano carbonato di calcio, dopo aver lasciato il serbatoio, si ottengono temperature anomale generalmente più alte.

L'applicazione del geotermometro della silice ha fornito valori massimi di  $89^\circ \text{C}$  per le acque a maggiore termalità e le temperature calcolate ben si correlano con le temperature all'emergenza. I valori ottenuti con il geotermometro Na-K-Ca, pur essendo prevedibilmente più elevati (SWAMBERG, 1974), sono in accordo con quelli ottenuti con la silice (fig. 10). Le acque della Piana di Paestum contengono invece bassi tenori in  $\text{SiO}_2$  che confermano le basse temperature all'emergenza, mentre l'applicazione del geotermometro Na-K-Ca fornisce temperature decisamente più elevate.

Se si escludono le acque di Piceglia che rappresentano lo sfioro alto della falda di base del Mt. Polveracchio, le osservazioni fin qui fatte suggeriscono che le acque di Contursi presentano un duplice circuito: uno a prevalente componente superficiale rappresentato dal tipo bicarbonato calcico a bassa salinità e bassa temperatura con recapito preferenziale a Contursi Terme; l'altro, più profondo, rappresentato dalle

acque calde ad alti tenori di TDS, Cl,  $\text{SO}_4$  ed elementi in tracce quali Li, Sr e Rb. Tra i termini estremi si rinvenivano una serie di sorgenti a termalità e salinità intermedia; queste si dispongono nei vari diagrammi studiati quasi sempre nello stesso ordine progressivo, confermando la possibilità che esse rappresentino percentuali variabili di mescolamento di un'acqua termale con un'acqua superficiale più fredda e meno salina (FANCELLI et al., 1976).

La composizione chimica delle acque inoltre, sembra riflettere la natura mineralogica dei terreni attraversati. Infatti la circolazione profonda, caratterizzata da acque ad alto contenuto in  $\text{SO}_4$ , Cl e Li, trova anche giustificazione nella presenza nel sottosuolo delle già citate argille con inclusi di anidrite e gesso (DONDI e PAPETTI, 1965). A conferma di ciò le sorgenti fredde del gruppo Contursi risultano sottosature rispetto

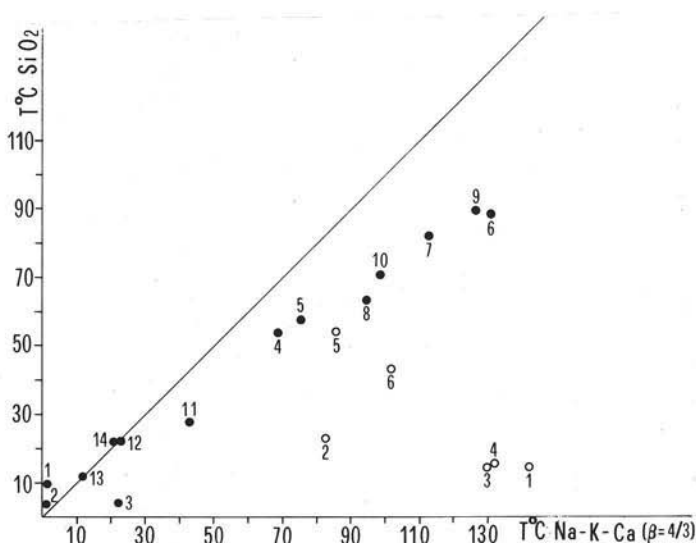


Fig. 10. — Diagramma di correlazione fra le temperature calcolate con il geotermometro della silice e le temperature ottenute con Na-K-Ca.

all'anidrite, mentre le acque termali sono all'equilibrio; inoltre tutti i campioni sono all'equilibrio o soprassaturi rispetto alla calcite e alla dolomite.

Il valore di 89° C calcolato per le acque più calde (n. 6-9 in tab. 1) e che verosimilmente non hanno subito mescolamenti apprezzabili con acque superficiali, dovrebbe rappresentare la capacità geotermica potenziale del sistema idrico di Contursi. Le temperature all'emergenza di circa 40° C sono quindi dovute solo al normale raffreddamento che tali acque subiscono necessariamente durante la risalita.

Le indagini geochemiche evidenziano quindi l'esistenza di un unico bacino di alimentazione per le acque della zona di Contursi, mentre la sola sorgente di Quaglietta, i cui tenori in solfati sono più alti se confrontati con le altre sorgenti fredde i cui tenori in TDS sono decisamente più elevati, sembra avere un diverso bacino di alimentazione.

## 5. Conclusioni

Attraverso lo studio strutturale e idrogeologico della Valle del Sele è stato possibile costruire un modello di circolazione idrica sotterranea che ha trovato valida conferma nei risultati delle indagini geochimiche. In particolare è stato focalizzato il problema della mineralizzazione delle acque di Contursi individuandone il possibile bacino di alimentazione e ricostruendone i circuiti preferenziali.

I risultati di maggior rilievo ottenuti si possono così sintetizzare:

- l'analisi strutturale idrogeologica ha confermato, in modo chiaro, che la circolazione idrica sotterranea relativa al bacino di alimentazione della sorgente Caposele è avulsa da quella degli altri massicci carbonatici. Le analogie idrochimiche riscontrate con le altre acque a breve percorso della Valle del Sele (sorgente Piceglia) sono quindi da imputare essenzialmente all'esistenza di identiche rocce serbatoio e di tempi di transito paragonabili;
- è risultato pure evidente che alcuni caratteri idrochimici delle acque di Quaglietta non si accordano con quelli delle altre sorgenti della Valle del Sele. Ciò conferma indirettamente la validità dell'interpretazione strutturale e dello schema di circolazione idrica proposti, per cui è da ritenere verificata l'ubicazione del bacino di alimentazione delle sorgenti di Quaglietta nel massiccio di Mt. Marzano;
- per le sorgenti del gruppo Contursi, sia l'analisi idrostrutturale che l'analisi geochimica concordano nel riconoscere il bacino di alimentazione nel massiccio di Mt. Polveracchio. In particolare, dovrebbero esistere due circuiti paralleli di cui quello più profondo ha il suo punto di recapito nelle sorgenti a più alta termalità di Contursi Bagni, quello meno profondo trova recapito preferenziale nelle sorgenti fredde di Contursi Terme;
- il costante progressivo ordine dei punti rappresentativi delle acque esaminate, osservato in tutti i diagrammi studiati, testimonia l'esistenza di mescolamenti tra acque calde e fredde. Tale osservazione trova riscontro anche nelle considerazioni idrogeologiche. In particolare le acque di Piceglia e quelle del gruppo Contursi traggono la loro origine dal massiccio calcareo di Mt. Polveracchio. La sorgente Piceglia rappresenta lo sfioro più alto di una falda che per motivi strutturali è obbligata a seguire un percorso profondo prima di giungere ai punti di recapito preferenziali posti a quota più bassa. Per quanto concerne il gruppo di Contursi Bagni è ipotizzabile che la falda di base subisca il già citato approfondimento e il conseguente riscaldamento per poi raffreddarsi parzialmente durante la risalita; in particolare le sorgenti a temperatura meno elevata potrebbero derivare dal mescolamento delle acque in risalita con la parte alta della falda di Mt. Pruno che, pur avendo seguito lo stesso percorso, ha subito una perdita di calore attraverso la fratturazione dei calcari nei quali si è venuta a ritrovare a pelo libero; nè si può tuttavia escludere anche l'influenza degli apporti locali. La maggior termalità riscontrata in corrispondenza di alcune trivellazioni è da mettere in relazione ad assenza di mescolamenti con acque fredde, oltre che al

rapido superamento dello strato superficiale (circa 12 m dal p.c.), quasi totalmente impermeabilizzato dalle incrostazioni depositate dalle acque stesse. Il Gruppo Contursi Terme (circa 600 l/sec. in magra tra sorgenti in alveo e non) è caratterizzato da acque a più bassa termalità in quanto gli apporti di acque fredde provenienti dal Mt. Polveraccio sono molto più copiosi in tale direzione per la presenza di un percorso più superficiale e probabilmente per l'assenza degli importanti fenomeni di compressione che rendono più difficile la circolazione in direzione di Contursi Bagni (pochi l/sec. in media annua);

- sempre sulla base dei dati chimici e delle temperature calcolate mediante il geotermometro  $\text{SiO}_2$ , nonché dalla conferma che le acque possono raggiungere almeno i 3000 metri di profondità, si può ritenere che gli incrementi della temperatura non siano connessi ad una anomalia termica, bensì ad un normale gradiente geotermico;
- per le acque della Piana di Paestum sono state evidenziate caratteristiche chimiche differenti da quelle di Contursi pur riscontrandosi, nelle grandi linee, analogie strutturali e idrogeologiche. Allo stato attuale delle conoscenze resta ancora aperto il discorso su di un eventuale apporto di acque marine (come sembrano evidenziare i rapporti atomici degli elementi chimici caratteristici) che contrastano con la situazione idrogeologica generale.

Lo studio si inquadra anche nell'ambito dell'attività di ricerca sulle acque fredde sotterranee della Ripartizione Progetti Speciali (Divisione IV) della Cassa per il Mezzogiorno.

*Ringraziamenti.* — Gli AA. ringraziano l'Ing. V. STANGANELLI e il Dr. D. RUSSO della Cassa per il Mezzogiorno per la collaborazione prestata e per l'attenzione con cui hanno seguito le indagini.

## BIBLIOGRAFIA

- ARDIGÒ G. (1958) - *Osservazioni geologiche sull'alta valle del Tusciano e sulla media valle del Sele. Considerazioni generali sull'evoluzione geologica dei Monti Picentini (Appennino Meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 77, 1-14.
- BARBIERI G., ZANZUCCHI G. (1967) - *Osservazioni preliminari sul flysch nell'Alta Valle del Sele*. Ateneo Parm. Acta Natur., 3, 1-10.
- BENCINI A., DUCHI V., MARTINI M. (1977) - *Geochemistry of thermal springs of Tuscany (Italy)*. Chem. Geol., 19, 229-252.
- BRONDI M., DALL'AGLIO M., VITRANI F. (1973) - *Lithium as a path-finder element in the large scale hydrogeochemical exploration for hydrothermal systems*. Geothermics, 2, 142-153.
- CELICO P. (1978 a) - *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 14, 1-97.
- CELICO P. (1978 b) - *Osservazioni su alcuni aspetti dell'idrogeologia dei massicci carsici dell'Appennino centro-meridionale: risvolti applicativi e importanza economica*. Atti «Sem. Int. Proc. Paleoc. e Neoc. e loro imp. econ. nell'Italia Merid.» (in corso di stampa).
- CELICO P., CIVITA M. (1976) - *Sulla tettonica del massiccio del Cervialto (Campania) e le implicazioni idrogeologiche ad essa connesse*. Boll. Soc. Nat., 85, 555-580.

- CELICO P., CORNIELLO A., DE MEDICI G.B., DE RISO R. (1978) - *Idrogeologia delle strutture carbonatiche comprese tra il Vallo di Diano e la Piana di Paestum (Campania)*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 14 (in corso di stampa).
- COCCO E., CRAVERO E., ORTOLANI F., PESCATORE T., RUSSO M., TORRE M., COPPOLA L. (1974) - *Le unità irpine nell'area a nord di Monte Marzano, Appennino Meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 13, 607-654.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T., SCANDONE P. (1973) - *Schema geologico dell'Appennino meridionale*. Acc. Naz. Lincei, Quad. Sc. e Cult., 183, 48-72.
- DE RISO R. (1966) - *Sulla geologia e lo stato di dissesto idrogeologico dell'Alta Valle del F. Sele (Campania)*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 10, 1-43.
- DONDI L., PAPETTI I. (1965) - *Sul ritrovamento di una microfacies con Miogypsina e Lepidocyclina al fondo del pozzo Contursi I (m. 3.478) nel Cilento*. Geol. Rom., 4, 7-40.
- ELLIS A.J. (1970) - *Quantitative interpretation of chemical characteristics of hydrothermal systems*. Proc. U.N. Symp. Develop. Use Geother. Res., Geothermics, 2, 516-528.
- FANCELLI R., GHELARDONI R., PAVAN G. (1966) - *Considerazioni sull'assetto tettonico dell'Appennino calcareo centro-meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 5, 67-90.
- FANCELLI R., NUTI S., D'AMORE F. (1976) - *Acqui hidrothermal manifestation (Piedimont) - Geochemical study*. International Congress on Thermal Waters Geothermal Energy and Vulcanism of the Mediterranean Area, Athens, 170-184.
- FOURNIER R.O., ROWE J.J. (1966) - *Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells*. Amer. Jour. Sci., 264, 685-697.
- FOURNIER R.O., TRUSDELL A.H. (1973) - *An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters*. Geoch. Cosmochim. Acta, 37, 1255-1275.
- HIEKE MERLIN O., LA VOLPE L., NAPPI G., PICCARRETA G., REDINI R., SANTAGATI G. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Fogli 186 e 187: S. Angelo dei Lombardi, Melfi*. Serv. Geol. It., 1-188.
- IPPOLITO F., D'ARGENIO B., PESCATORE T., SCANDONE P. (1975) - *Structural-stratigraphic unites and tectonic framework of Southern Apennines*. The Earth Sc. Soc. of the Libyan Arab Rep., 317-328.
- MANFREDINI M. (1969) - *Considerazioni idrogeologiche sulla sorgente dell'Acquedotto Pugliese presso Caposele (Avellino)*. Rass. Lav. Pubbl., 4, 1-10.
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI (1942) - Servizio idrografico, pubblicazione n. 14 - *Le Sorgenti Italiane - Campania*, 7.
- ORTOLANI F. (1974 a) - *Faglia trascorrente pliocenica nell'Appennino campano*. Boll. Soc. Geol. It., 93, 609-622.
- ORTOLANI F. (1974 b) - *Assetto strutturale dei Monti Picentini, della Valle del Sele e del Gruppo di Monte Marzano-Monte Oga (Appennino Meridionale). Implicazioni idrogeologiche*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 209-230.
- PESCATORE T., SGROSSO I., TORRE M. (1969) - *Lineamenti di tettonica e sedimentazione nel Miocene dell'Appennino Campano-Lucano*. Mem. Soc. Nat., 78, 337-408.
- PICCOLI G., DAL PRÀ A., SEDEA R., BELLATI R., DI LALLO E., CATALDI R., BALDI E., FERRARA G.C. (1973) - *Contributo alla conoscenza del sistema idrotermale Euganeo-Berico*. Mem. Acc. Naz. Lincei, 11, 101-131.
- SCANDONE P. (1972) - *Studi di Geologia Lucana - Nota illustrativa della carta dei terreni della serie calcareo-silico-marnosa*. Boll. Soc. Nat., 76, 225-300.
- SCANDONE P., SGROSSO I., VALLARIO A. (1967) - *Finestra tettonica nella serie calcareo-silico-marnosa lucana presso Campagna (Monti Picentini - Salerno)*. Boll. Soc. Nat., 76, 67-110.
- SWAMBERG C.A. (1974) - *The application of the Na-K-Ca geothermometer to thermal areas of Utah and the Imperial Valley, California*. Geothermics, 3, 53-59.
- TURCO E. (1976) - *La finestra tettonica di Campagna (Mt. Picentini - Salerno)*. Boll. Soc. Nat., 85, 639-651.