

CARLO F. BONI - PAOLO BONO

*Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Roma*

## SEGNALAZIONE DI UN GRUPPO DI GRANDI SORGENTI NEL BACINO DEL FIUME PECCIA, AFFLUENTE DEL GARIGLIANO

Viene per la prima volta descritto il gruppo di sorgenti che si trova lungo il basso corso del fiume Peccia, alle falde nord-occidentali di M. Camino. La portata accuratamente misurata nel marzo e alla fine di ottobre 1973 è risultata rispettivamente di 6.70 e 5.42 m<sup>3</sup>/sec; in base agli elementi disponibili è possibile valutare la portata di magra circa 4.5 m<sup>3</sup>/sec.

In base a considerazioni di carattere geologico ed idrogeologico, estese alla regione circostante le sorgenti, risulta che la struttura carbonatica simbruino-ernica si continua, a sud di M. Cairo sotto una copertura neogenica, fino all'apparato vulcanico di Roccamonfina; la dorsale emerge in questo tratto in corrispondenza delle culminazioni di M. Trocchio, M. Porchio e di M. Camino. Le sorgenti del Peccia cadono nel punto di affioramento più depresso dell'intera struttura carbonatica. Lavoro eseguito con il contributo del CNR.

### Premessa

Il fiume Peccia, pochi chilometri a monte della confluenza con il Garigliano, lambisce il margine nord-occidentale della struttura carbonatica di M. Camino, ad una quota assoluta variabile tra 32 e 25 m circa. Lungo questo tratto, di circa 2 km, la portata del fiume aumenta notevolmente per il contributo che riceve da un gruppo di sorgenti poste presso il contatto tra le pendici nord-occidentali del rilievo carbonatico e la copertura pleistocenica che lo circonda.

Questa importante fonte di approvvigionamento idrico, con una portata media valutabile a circa 165 milioni di m<sup>3</sup>/anno e valori di magra stimati 4,5 m<sup>3</sup>/sec, è a tutt'oggi quasi sconosciuta e praticamente inutilizzata.

La prima segnalazione della sua esistenza va ricercata in ZOPPI (1893), che riteneva la portata di magra del Peccia eccessiva rispetto alla estensione del bacino imbrifero ed ipotizzava che il bacino idrogeologico del fiume dovesse estendersi oltre i limiti dello spartiacque superficiale.

Successivamente nel volume «Campania» de «Le Sorgenti italiane» (Min. LL.PP. 1942) viene data una sommaria descrizione delle emergenze e sono riportate alcune misure di portata relative al periodo 1933-1938. Queste misure sono state eseguite solo su alcune sorgenti, del più vasto gruppo qui considerato, e registrano valori di portata, in magra, che scendono a poco più di un centinaio di litri al secondo.

In accordo con quanto già osservato da ZOPPI, a nostro avviso le sorgenti del basso Peccia devono avere un bacino idrogeologico ben più ampio del rilievo carbonatico da cui hanno origine: non sarebbe altrimenti giustificata la loro notevole portata.

Per individuare questa estesa area di ricarica è stato pertanto necessario definire con quale grande unità strutturale siano idraulicamente collegate le monoclinali del Garigliano delle quali il M. Camino fa parte.

### Bacino del fiume Peccia

Il fiume Peccia ha origine sulle falde settentrionali dell'apparato vulcanico di Roccamonfina, dove scorre verso nord in direzione meridiana; viene in questo tratto alimentato da piccole sorgenti che drenano le colate laviche e i depositi piroclastici sui quali il corso d'acqua scorre.

All'altezza di Mignano di Monte Lungo, il fiume piega a NO per entrare nella depressione, colmata da depositi vulcanici, che separa le strutture carbonatiche di M. Camino e di M. Lungo; all'altezza della Stazione ferroviaria di Rocca d'Evandro il Peccia riceve, sulla riva destra, il contributo del Rio di San Vittore e di alcuni altri corsi minori; piega successivamente a S-SO, sottopassa l'autostrada del Sole e lambisce le propaggini settentrionali di M. Camino. Dall'origine fino a questo punto il fiume riceve dalle strutture carbonatiche, che co-

stituiscono parte del suo bacino imbrifero, apporti perenni molto limitati. Solo per brevissimi periodi, a seguito di precipitazioni molto intense, si può pensare che i versanti carbonatici possano contribuire ad alimentare lo scorrimento di superficie. Come si vedrà in seguito, anche i caratteri chimici delle acque confermano che la portata del fiume è prevalentemente alimentata dal drenaggio dei terreni vulcanici su cui scorre.

Immediatamente a valle del ponte autostradale, a partire dalla punta più settentrionale di M. Camino, il Peccia riceve in riva sinistra, da SE, un notevole contributo proveniente dal drenaggio della struttura carbonatica che costeggia. Nel marzo 1973 è stato misurato, in questo tratto, un incremento di portata di 6,70 m<sup>3</sup>/sec dovuto esclusivamente ad acque sorgive, essendo trascurabile lo scorrimento di superficie. La misura, ripetuta alla fine di ottobre, dopo un'estate particolarmente secca, ha fatto registrare un incremento di portata pari a 5,42 m<sup>3</sup>/sec.

Gran parte delle acque sorgive raggiunge oggi il Peccia attraverso le gallerie di servizio, costruite durante lo scavo della condotta che collega la Centrale elettrica di Montelungo con quella di M. Maggiore; queste finestre, costruite probabilmente come gallerie di scarica, hanno oggi la funzione di favorire il drenaggio della falda che satura alla base il rilievo calcareo, e di concentrare in pochi punti le emergenze che originariamente erano diffuse ai margini di una vasta area paludosa, al piede del rilievo. Queste opere di bonifica hanno variato sensibilmente le condizioni originali.

Si delineano oggi, alle falde del rilievo, due principali rami del Peccia, uno posto immediatamente ai piedi della dorsale, che raccoglie la maggior parte delle acque sorgive e un secondo, posto poco più a valle, che riceve il contributo dell'alto Peccia e delle sorgenti poste all'estrema punta settentrionale di M. Camino. I due rami sono fra loro messi in comunicazione da canali trasversali; il ramo di monte, incanalato in una condotta artificiale pensile, dopo aver alimentato un mulino, si versa definitivamente nel ramo principale, circa un chilometro a monte della confluenza con il Garigliano.

### Situazione geologica

La valle del Garigliano è caratterizzata dalla presenza di numerose monoclinali carbonatiche che emergono dalla coltre terrigena e piroclastica, con differenti giaciture, tanto da apparire isolate tra loro e dalle più grandi strutture che si affacciano

sulla vasta depressione che si estende a sud di Cassino.

Sulla riva sinistra del fiume, tra la punta meridionale di M. Cairo e il centro vulcanico di Roccamonfina, si allineano da NO a SE le monoclinali di M. Trocchio, M. Porchio, M. Lungo e M. Camino; sulla riva destra le più grandi monoclinali di M. Maio, immerse a SO, che occupano la regione compresa fra il Garigliano e la Valle dell'Ausente (fig. 1).

La situazione geologica della regione non appare purtroppo ben definita.

ZALAFFI (1964), descrivendo la geologia di M. Porchio e M. Trocchio, ritiene, per le affinità stratigrafiche riscontrate, che le monoclinali del Garigliano si siano originariamente deposte tutte nel medesimo ambiente di sedimentazione. Afferma inoltre di non aver riscontrato sul terreno elementi che indichino una traslazione delle strutture di M. Porchio e M. Trocchio, ma solo evidenti segni di una tettonica distensiva caratterizzata da vistose faglie dirette.

DEVOTO (1965) riferisce l'origine della grande depressione che ha dato vita all'esteso bacino lacustre del basso Liri, ad un vasto fenomeno di assestamento tettonico che ha interessato la regione in età plio-pleistocenica dopo la fase traslativa che ha conferito alla regione il suo assetto tettonico fondamentale.

ACCORDI (1966) e ACCORDI, ANGELUCCI & SIRNA (1967) ritengono le monoclinali del Garigliano in posizione poco chiara rispetto alle più grandi strutture circostanti, per la mancanza di segni evidenti che consentano precise correlazioni.

I caratteri stratigrafici di queste strutture sono sostanzialmente omogenei (ZALAFFI, 1964) e riferibili, per il Mesozoico, alla serie di shelf carbonatico subsidente, diffusa nel Lazio meridionale; il Miocene, trasgressivo, si differenzia invece sensibilmente da quello delle strutture contigue.

La serie più completa, dal Giurese al Miocene superiore, affiora lungo la dorsale di M. Maio, mentre nei rilievi minori prevalgono in affioramento solo i termini più alti, a partire dal Cretacico superiore.

È noto dalla stratigrafia regionale che sotto i calcari dolomitici del Giurese superiore, affioranti nelle Gole del Garigliano, si estende una potente serie calcareo-dolomitica che passa inferiormente a dolomie bituminose riferibili dubitativamente al Norico.

La serie stratigrafica viene qui di seguito riportata nelle sue linee essenziali.



Questo elemento strutturale, oltre che un limite tettonico, è un preciso limite di facies; la faglia divide infatti la serie mesozoica di *shelf* carbonatico da una serie mesozoica che, prevalentemente dolomitica alla base, si presenta molto lacunosa nei termini superiori e mostra, verso oriente, evidenti caratteri di transizione a facies pelagiche.

A sud, il centro vulcanico di Roccamonfina pone un preciso limite strutturale.

A SO la linea tettonica del Fammera, che corre lungo la Valle dell'Ausente, separa nettamente gli Ausoni occidentali, che si legano alla struttura dei Volsci, da quelli orientali che fanno parte delle monoclinali in esame. La differenziazione appare netta a livello stratigrafico e strutturale (PAROTTO & PRATURLON, 1973; D'ARGENIO, 1966).

Le brevi considerazioni sulla stratigrafia e sui più evidenti elementi strutturali della regione sembrano quindi escludere la continuità tra le monoclinali del Garigliano e le strutture che le circondano ad est, a sud e ad ovest; appaiono invece possibili rapporti di continuità con le strutture nord-occidentali.

In conclusione si può ritenere che le monoclinali rappresenterebbero la prosecuzione sud-orientale della struttura di M. Cairo ribassata da una serie di faglie dirette e variamente orientate, legate a quel vasto fenomeno di assestamento tettonico che ha interessato tutto il basso versante nord-orientale della Valle Latina, giungendo al suo massimo sviluppo in corrispondenza della depressione che ha ospitato il grande bacino lacustre del basso Liri (DEVOTO 1965).

### Situazione idrogeologica regionale

I caratteri idrogeologici della serie stratigrafica si possono sintetizzare in termini molto semplici.

Alla base della serie si trova un potente pacco prevalentemente dolomitico, a bassa permeabilità, che nella regione considerata è tettonicamente depresso a notevole profondità, tanto da assumere un ruolo idrogeologico secondario.

L'infiltrazione delle acque, e quindi la ricarica degli acquiferi, è sostanzialmente limitata agli affioramenti molto permeabili della serie calcareo-dolomitica giurese-cretacica e del lembo trasgressivo di calcari organogeni del Miocene. Egualmente la grande falda idrica che alimenta le sorgenti del Peccia deve avere sede nel potente pacco carbonatico che, in accordo con NICOTERA e CIVITA (1969), consideriamo in massa sostanzialmente omogeneo per caratteri idrogeologici, nonostante le dif-

ferenziazioni litologiche che possono avere solo interesse locale.

Il complesso flyschioide che, nelle depressioni, copre la serie mesozoica, si comporta in massa come impermeabile nei confronti dei carbonati.

L'apparato vulcanico di Roccamonfina, i cui lineamenti idrogeologici sono stati recentemente descritti (NICOTERA e CIVITA 1969), non ha caratteri tali da poter contribuire sostanzialmente alla ricarica della falda nei terreni carbonatici; infatti la permeabilità dei terreni è mediamente scarsa e l'infiltrazione efficace sostanzialmente limitata agli affioramenti lavici che, per la loro giacitura, non consentono una infiltrazione profonda, ma favoriscono piuttosto la frammentazione degli acquiferi che si disperdono in piccole sorgenti distribuite sulle falde del vulcano.

L'alimentazione delle sorgenti del basso Peccia va quindi ricercata negli affioramenti carbonatici mesozoici strutturalmente e idraulicamente legati alla monoclinale di M. Camino.

Mettendo a frutto le considerazioni di carattere stratigrafico e strutturale precedentemente fatte si può discutere la situazione idrogeologica.

Gli elementi disponibili sembrano escludere la possibilità che la falda del Peccia sia alimentata, in modo sostanziale, dalla struttura del Fiumerapido. L'unico sicuro punto di incontro tra l'acquifero carbonatico delle monoclinali e la potente serie dolomitica si ha dove M. Lungo, attraverso la grande faglia appenninica, viene a contatto con il piccolo rilievo di M. Rotondo; più a SE, la struttura dolomitica è tamponata dai depositi vulcanici di Roccamonfina; più a NO da un forte spessore di Miocene terrigeno. In tali condizioni strutturali esiste, in effetti, la possibilità che le dolomie sature drenino a SO verso terreni più permeabili con livello di base a pochi metri sul livello del mare; tuttavia l'entità del fenomeno, per la modesta permeabilità delle dolomie e per la ridotta superficie di contatto, non appare tale da giustificare uno scambio idrico che possa influenzare la portata delle sorgenti in esame.

Si può decisamente escludere qualsiasi apporto proveniente dagli Ausoni occidentali: la linea del Fammera pone un limite idrogeologico molto preciso.

Restano da definire i possibili rapporti fra M. Camino e le monoclinali carbonatiche che si trovano sulla destra del Garigliano; NICOTERA & CIVITA (1969) hanno preso in esame l'idrogeologia del rilievo giungendo a conclusioni che sostanzialmente condividiamo.

La vasta area di ricarica, rappresentata dalle sud-dette monoclinali, alimenta una ricca falda che drena, alla periferia del rilievo, nei punti di depressione relativa della cintura impermeabile che lo circonda: in parte a nord verso la Valle del Liri, in parte ad ovest lungo le gole del Garigliano e, probabilmente, in qualche misura anche a sud, verso gli acquiferi costieri della bassa valle del Garigliano.

Un preciso bilancio idrogeologico della struttura appare praticamente impossibile: non sono infatti valutabili con sufficiente precisione le portate delle numerosissime sorgenti allineate lungo le gole del Garigliano, (parte delle quali si trovano in alveo) né si conosce la portata della falda, ipotizzata nello studio di NICOTERA & CIVITA (1969), che alimenterebbe gli acquiferi costieri.

ZOPPI (1893) valutava circa 3 m<sup>3</sup>/sec la portata complessiva delle sorgenti in corrispondenza delle gole; tale valore, in base ad osservazioni compiute e misure sporadiche, appare in verità eccessivo.

Una stima molto grossolana della portata delle sorgenti, poste alla periferia del rilievo, supera comunque il valore di 46 milioni di m<sup>3</sup>/anno (pari a 1,5 m<sup>3</sup>/sec) di infiltrazione efficace calcolati da NICOTERA & CIVITA, perché solo 30 milioni competono (in base ai dati di cui disponiamo) alla sorgente di S. Giorgio a Liri; a questo valore si debbono aggiungere non meno di 30 milioni che defluiscono lungo il Garigliano.

Va osservato a questo punto che l'infiltrazione efficace (350 mm che corrispondono al 30% della precipitazione) di 46 milioni di m<sup>3</sup>/anno calcolata in base a un metodo proposto da DELAROZIERE, BOULLIN & MARGAT (1969) appare indubbiamente scarsa; recenti studi compiuti nell'appennino carbonatico Centro-Meridionale, e in aree carsiche del bacino Mediterraneo (CIVITA, 1973) indicano che l'infiltrazione efficace risulta di norma superiore al 50% della precipitazione calcolata.

Sebbene i dati disponibili siano molto scarsi ed incerti sembra che il valore dell'infiltrazione efficace e quello dei deflussi erogati annualmente siano fra loro almeno confrontabili.

Si può concludere che le monoclinali poste sulla destra del Garigliano, in base agli scarsi dati idrologici disponibili e soprattutto in base alle loro condizioni strutturali, si possono considerare una unità idrogeologica isolata, priva di significativi scambi epidermici con gli acquiferi carbonatici circostanti.

Nel considerare la situazione idrogeologica regionale è opportuno ricordare (BONI, 1973) che la

struttura dei Simbruini-Ernici-Monte Cairo è saturata alla base da una grande falda idrica, che drena verso SE con un gradiente idraulico medio di circa il 5‰ e va ad alimentare il gruppo delle grandi sorgenti del Gari, distribuite, a valle di Cassino, su un'area di alcuni chilometri quadrati. Risulta inoltre che la struttura carbonatica di M. Cairo si deprime sotto la pianura a sud di Cassino per riemergere in punti isolati: dovunque il basamento carbonatico viene a giorno a quote inferiori a circa 40 m alimenta grandi sorgenti che complessivamente erogano portate variabili fra 20 e 15 m<sup>3</sup>/sec nel corso dell'anno.

Uno studio geofisico, appositamente compiuto dagli scriventi adottando il sistema della misura delle resistività elettriche, indica che il basamento carbonatico si estende con continuità lungo l'allineamento M. Cairo, M. Trocchio e M. Porchio; le sorgenti del basso Peccia confermano la continuità del basamento carbonatico fino a M. Camino-M. Lungo.

In questo quadro strutturale le sorgenti del Peccia troverebbero una logica collocazione perché verrebbero a cadere in corrispondenza del punto più depresso di tutti gli affioramenti carbonatici legati alla grande unità idrogeologica che, dai M. Simbruini, si estende con continuità, in direzione appenninica, fino al centro vulcanico di Roccamonfina. Occorre d'altra parte un bacino molto esteso, per alimentare la notevole portata delle sorgenti e favorire la considerevole mineralizzazione delle acque.

In base all'analisi della situazione idrogeologica regionale si può concludere che l'area di alimentazione delle sorgenti del Peccia va probabilmente ricercata nella struttura dei Simbruini-Ernici-M. Cairo; questa interpretazione verrà discussa in modo più approfondito in un paragrafo successivo.

#### Situazione idrogeologica locale

Nella seconda quindicina del marzo 1973 è stata esaminata la situazione idrogeologica del fiume Peccia. Sono stati valutati gli incrementi di portata e le variazioni dei caratteri chimico-fisici delle sue acque e sono state censite e studiate le sorgenti più significative allineate lungo il suo corso. Le prime osservazioni sono state compiute a monte di Mignano Montelungo. Per maggior chiarezza nella descrizione che segue, si fa riferimento ai punti indicati sulla carta di fig. 2 e sullo schema di fig. 3. Le conducibilità elettriche dell'acqua sono state tutte riportate a 18° C.

*Punto - quota m 140 circa*

Il fiume Peccia scorre su terreni piroclastici profondamente incisi; la sua portata si può stimare a 200-300 l/sec. Riceve in questo punto, in riva destra, il contributo di piccole sorgenti con portata di qualche l/sec. La conducibilità elettrica e la temperatura delle acque sorgive non differiscono molto da quelle rilevate in alveo: la conducibilità è intorno ai 250  $\mu\sigma$  e la temperatura è poco superiore a 10° C.

*Punto 2 - quota m 100 circa*

Il Peccia scorre in terreni piroclastici sempre profondamente incisi. In corrispondenza di Mignano Montelungo riceve l'apporto di altre due piccole sorgenti: la prima, più a monte, scaturisce alla base di una parete di ignimbriti con una portata di circa 3 l/sec, a pochi metri di distanza dal-

l'alveo del fiume; la seconda ha condizioni di emergenza e portata analoghe alla precedente ed alimenta un lavatoio poco distante dal fiume. La conducibilità elettrica delle acque si discosta poco da 250  $\mu\sigma$  e la temperatura è di circa 14° C.

*Punto 3 - quota m 80 circa*

Il Peccia scorre sempre in terreni vulcanici, poco a monte del rilievo carbonatico di M. Lungo, con una portata stimata a 300-400 l/sec; la conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di 278  $\mu\sigma$  e la temperatura di poco inferiore a 10° C.

*Punto 4 quota m 45 circa*

Il Peccia, che in questo tratto incide le sue alluvioni ciottolose e sabbiose, poligeniche, ha una portata stimata di 400-500 l/sec.

La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di 287  $\mu\sigma$  e la temperatura di 12,4° C.



FIG. 2 — Medio e Basso corso del F. Peccia. Nella planimetria vengono indicati i punti in cui sono state rilevate le portate e le caratteristiche chimico-fisiche fondamentali delle acque del Peccia e di alcune sorgenti. Nel tratto compreso fra i punti 8 e 16 è ubicato un gruppo di sorgenti che nel marzo e nell'ottobre 1973 erogavano rispettivamente 6,7 e 5,4 m<sup>3</sup>/s. La descrizione delle osservazioni compiute nei diversi punti indicati sulla carta viene data nel testo. Il rilievo di M. Maggiore costituisce la propaggine nord-occidentale di M. Camino.

— Middle and lower Peccia river flow. The numbered circles shown in the lay-out plan represent the observation points where some yields were measured and fundamental chimico-physical characteristics of Peccia water and some springs were determined. Between points 8 and 16 a group of springs had a measured yields of 6.7 and 5.4 m<sup>3</sup>/sec on March and October 1973 respectively. Data acquired at different points are reported in detail in the text. M. Maggiore represents the north-western part of M. Camino carbonatic monocline.

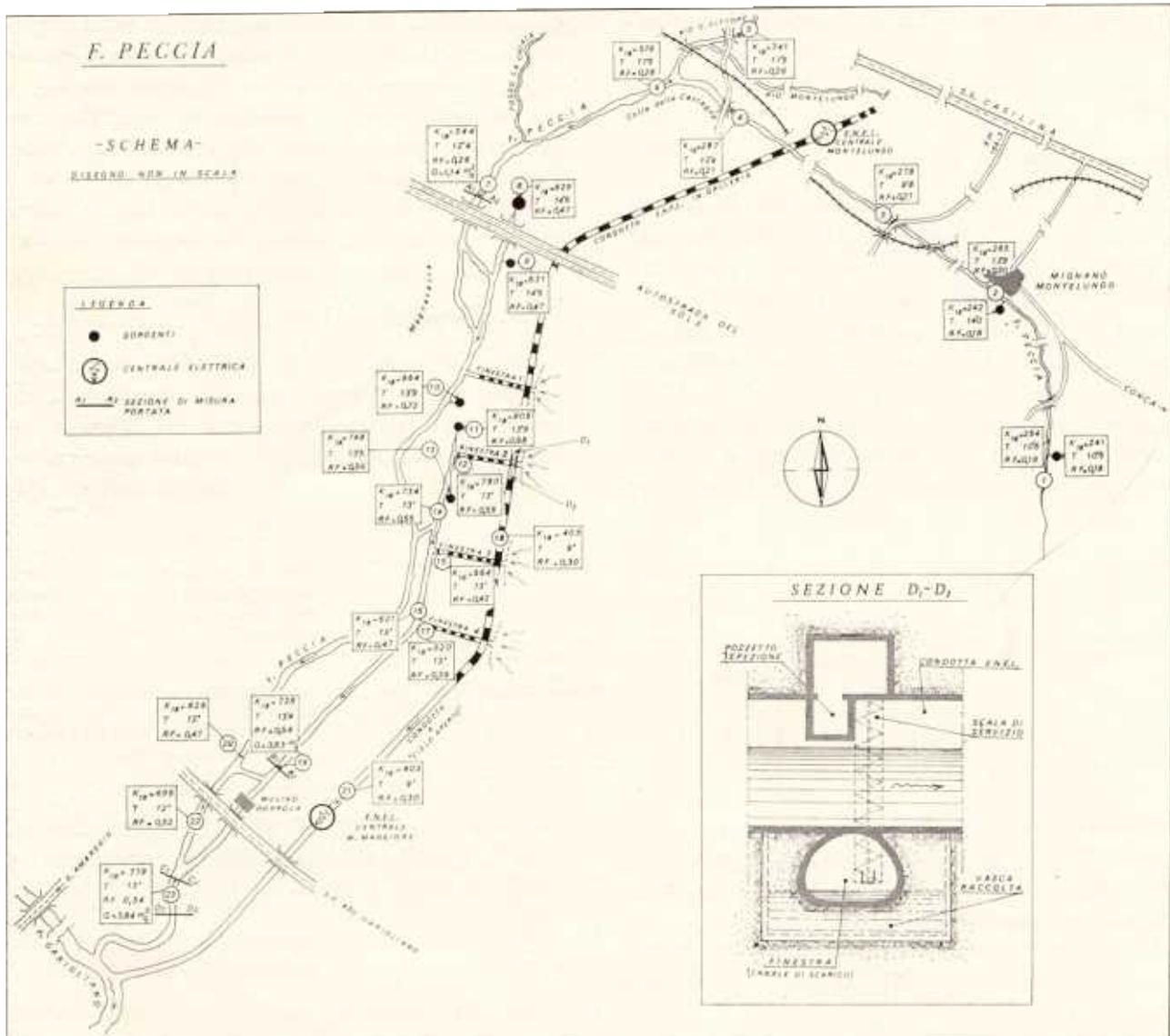


FIG. 3 — Schema sintetico delle osservazioni compiute sul Medio e Basso corso del F. Peccia. La numerazione dei punti nel disegno (non in scala) corrisponde a quella indicata nella fig. 2. In ciascun punto di osservazione vengono riportati in sintesi i valori della conducibilità elettrica a 18° C (K 18), la temperatura e il Residuo Fisso calcolato da K 18. I pallini neri indicano le principali sorgenti. La traccia delle sezioni di portata con mulinello SIAP ME 4001; la Q indica il valore della portata misurata; in basso a destra viene illustrata la posizione delle « finestre » rispetto alla condotta ENEL e il particolare della vasca di raccolta.

— Schematic diagram of the observation points along the middle and lower Peccia river. Numbers shown in the sketch (not in scale) also refers to those in fig. 2. Each observation point shows the specific electrical conductance (K 18), the temperature (°C), the dissolved solids as related to K 18 values. The main springs are shown with full black circles. In cross sections A<sup>1</sup> - A<sup>2</sup>; B<sup>1</sup> - B<sup>2</sup>; C<sup>1</sup> - C<sup>2</sup>; D<sup>1</sup> - D<sup>2</sup> indicate the points in which yields have been measured. Q equals the measured yield value. The right-lower sketch in the plan, cross section D<sup>1</sup> - D<sup>2</sup>, represents the detail of the hydraulic relations between the ENEL water conduit system and the aquifer collecting basin system drained by a discharging tunnel. Both systems are hydraulically isolated.

**Punto 5 - quota m 56 circa (Rio San Vittore)**

È il più importante affluente di destra del Peccia e scorre su terreni alluvionali prevalentemente carbonatici. La sua portata è stata stimata a 100-200 l/sec; la conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di 341 μs e la temperatura di 11,5° C.

Prima della confluenza col Peccia il Rio San Vit-

tore riceve l'apporto di qualche decina di l/sec del Rio Montelungo che lambisce il versante settentrionale del rilievo carbonatico omonimo.

**Punto 6 - quota m 35 circa**

Dopo la confluenza col Rio San Vittore il corso del Peccia è bordato da alluvioni ciottolose incoerenti prevalentemente carbonatiche che poggiano

su terreni piroclastici. La sua portata è stata stimata a 500-700 l/sec; la conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di 366  $\mu\sigma$  e la temperatura di 11,5° C.

*Punto - quota m 32 circa*

Dopo aver ricevuto l'apporto del Fosso La Chiaia, con una portata stimata di 200-300 l/sec, il Peccia continua a scorrere su terreni piroclastici scarsamente cementati. Sul Peccia, a circa 80 metri a monte del ponte autostradale, è stata eseguita con mulinello SIAP mod. 4001 una misura di portata. Il valore calcolato (fig. 4, sez. A1-A2) è di 1,14 m<sup>3</sup>/sec; la conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di 344  $\mu\sigma$  e la temperatura di 12,4° C. Tra i punti 6 e 7, lungo l'alveo del Peccia, si è

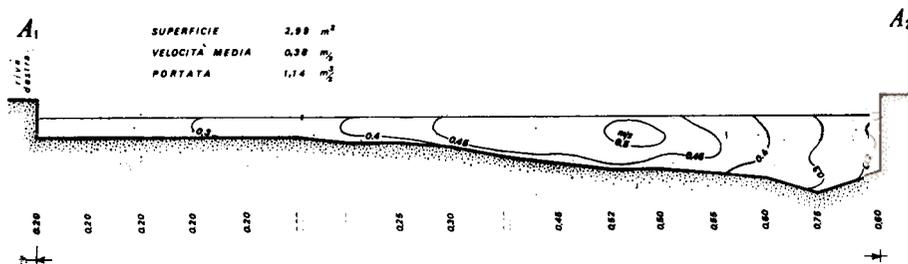


FIG. 4 — Sezione di misura della portata in alveo naturale del Peccia, posta a monte delle sorgenti (Marzo 1973) (Fig. 2, sez. A<sup>1</sup> - A<sup>2</sup>).

— Measured discharge section on Peccia river, situated upstream from the springs (March 1973) (Fig. 2 sec. A<sup>1</sup> - A<sup>2</sup>).

osservato un diffuso gorgoglio dell'acqua dovuto verosimilmente all'apporto della medesima falda risaliente che, come si vedrà tra breve, alimenta la sorgente nel punto 8.

Il 31 ottobre è stata misurata alla stessa sezione una portata di 0,34 m<sup>3</sup>/sec; la conducibilità dell'acqua era di 373  $\mu\sigma$ , la temperatura 10,6° C.

*Punto 8 - quota m 32 circa*

Circa 30 metri a monte del ponte autostradale, attraverso materiali piroclastici poco coerenti, in corrispondenza di alcune depressioni che si aprono in un'area pianeggiante e acquitrinosa, scaturiscono numerose polle d'acqua con debole pressione; esse sollevano sabbie piroclastiche che ricoprono l'area di emergenza, creando una evidente turbolenza. A breve distanza le acque si raccolgono in un ruscello che, sottopassata l'autostrada, scorre parallelamente al Peccia. La portata complessiva di questo gruppo di sorgenti è stata stimata, all'imbocco del ponte autostradale, circa 400-500 l/sec.

La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di 629  $\mu\sigma$  e la temperatura di 14,6° C. Si osserva come la conducibilità di queste acque sia nettamente diversa da quella registrata a breve distanza nell'alveo del Peccia (punto 7). Dati del 31 ottobre: 590  $\mu\sigma$ ; 14,3° C.

La posizione di queste sorgenti, in un'area pianeggiante relativamente lontana dai rilievi carbonatici, e la pressione con cui le acque vengono a giorno, testimoniano l'esistenza di una falda imprigionata, chiusa al tetto dai depositi piroclastici a bassa permeabilità. Queste considerazioni ci fanno ritenere che la piezometrica della falda si deve trovare nell'area circostante le sorgenti, ad una quota sensibilmente superiore a m 32.

*Punto 9 - quota m 31 circa*

Circa 30 metri a valle del ponte autostradale scaturiscono, attraverso numerose litoclasti di un affioramento calcareo-organogeno del Miocene inferiore, piccole sorgenti che erogano complessivamente 20-40 l/sec. La conducibilità elettrica del-

l'acqua è risultata di 631  $\mu\sigma$  e la temperatura di 14,5° C. Questi valori sono praticamente identici a quelli registrati al punto 8. Dati del 31 ottobre: 588  $\mu\sigma$ ; 14,5° C.

*Punto 10 - quota m 30 circa*

Qualche decina di metri a valle della finestra n° 1, lungo la riva sinistra del Peccia al piede del rilievo carbonatico di M. Maggiore è ubicata una sorgente parzialmente captata da rudimentali opere di presa. Le acque, fortemente incrostanti, si immettono a brevissima distanza nel Peccia. La sua portata è stata stimata 100-150 l/sec. La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di 964  $\mu\sigma$  e la temperatura di 13,9° C. Si fa rilevare come il valore di conducibilità (più volte controllato) sia sensibilmente superiore a quello relativo alle sorgenti poste più a monte nei punti 8 e 9, mentre la temperatura diminuisce di circa 0,5° C. Dati del 31 ottobre: 955  $\mu\sigma$  e 14,0° C.

*Punto 11 - quota m 29 circa*

Le acque di questa sorgente, molto incrostanti, scaturiscono in leggera pressione qualche decina di metri a monte della finestra n° 2 in prossimità di una vecchia costruzione abbandonata. La portata è stata stimata 20-40 l/sec; la conducibilità

elettrica dell'acqua è risultata di  $905 \mu\sigma$  cioè leggermente inferiore a quella del punto 10 e la temperatura è di  $13,9^\circ\text{C}$ . Dati del 31 ottobre:  $903 \mu\sigma$  e  $14,0^\circ\text{C}$ .

Da questo punto ha origine il ramo di monte del Peccia che, scorrendo al piede del rilievo carbonatico di M. Maggiore, ha un andamento quasi parallelo al corso principale.

*Punto 12 - quota 29 circa*

Questo punto è localizzato all'uscita della finestra n° 2 prima della confluenza nel ramo di monte del Peccia.

È opportuno ricordare che le finestre, riportate in figg. 2 e 3, sono state costruite durante lo scavo della galleria in cui passa la condotta che collega la centrale elettrica di Montelungo a quella di M. Maggiore. Le finestre, progettate come gallerie di servizio, si trovano ad una quota immediatamente sottostante la condotta e da questa idraulicamente isolate; terminano verso monte in un'ampia vasca di drenaggio dove confluiscono le acque di falda del rilievo carbonatico. La quota di fondo delle vasche di raccolta è di 1-3 m più bassa della quota di sfioro dei canali di scarico che, dopo un percorso di 150-200 metri, si immettono nel ramo di monte del Peccia.

La portata del canale di scarico, allo sbocco della finestra n° 2, è stata stimata circa  $1-1,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ . La conducibilità elettrica dell'acqua risulta di  $790 \mu\sigma$ , diminuendo sensibilmente rispetto a quella registrata nei punti 11 e 12. Anche la temperatura diminuisce passando a valori intorno a  $13^\circ\text{C}$ . Dati del 31 ottobre:  $796 \mu\sigma$  e  $13,8^\circ\text{C}$ .

*Punto 13 - quota m 28 circa*

È un insieme di polle, captate da un'antica opera di presa in muratura di forma sub-circolare con diametro di circa 2 metri, che si riversano nel ramo di monte del Peccia. La portata stimata è di  $50-100 \text{ l}/\text{sec}$ . La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di  $748 \mu\sigma$ . Dati del 31 ottobre:  $740 \mu\sigma$  e  $13,8^\circ\text{C}$ .

*Punto 14 - quota m 27 circa*

Questo punto è ubicato lungo il ramo del Peccia qualche metro prima della confluenza con la finestra n° 3. Poco più a monte, il corso d'acqua cede parte del suo carico al Peccia attraverso un *by-pass* lungo qualche decina di metri. La portata di questo canale viene regolata mediante una rudimentale paratia mobile; al tempo del nostro rilevamento, con la paratia sollevata, era di circa  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ . La conducibilità elettrica dell'acqua su

un campione prelevato della parte mediana dell'alveo è risultata di  $734 \mu\sigma$ , lievemente inferiore a quella registrata al punto 13, e la temperatura di circa  $13^\circ\text{C}$ .

*Punto 15 - quota 27 m circa*

È localizzato allo sbocco della finestra n° 3; si è osservata una portata stimata circa  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ ; il valore della conducibilità è risultato di  $564 \mu\sigma$  e la temperatura di circa  $13^\circ\text{C}$ . Dati del 31 ottobre:  $558 \mu\sigma$  e  $13,4^\circ\text{C}$ .

*Punto 16 - quota m 25 circa*

Questo punto è ubicato lungo il ramo del Peccia qualche metro prima della confluenza con la finestra n° 4. La conducibilità elettrica dell'acqua, su un campione prelevato nella parte mediana dell'alveo, è risultata di  $621 \mu\sigma$  e la temperatura di circa  $13^\circ\text{C}$ .

*Punto 17 - quota m 24 circa*

Questo punto è localizzato all'uscita della finestra n° 4, prima che questa si immetta nel ramo di monte del Peccia. La portata stimata è di  $100-200 \text{ l}/\text{sec}$ . La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di  $520 \mu\sigma$  e la temperatura di circa  $13^\circ\text{C}$ . Dati del 31 ottobre  $521 \mu\sigma$  e  $13,3^\circ\text{C}$ .

Si rileva come per le sorgenti (10 - 11 - 13) e i canali di scarico (2 - 3 - 4) i valori di conducibilità registrati vadano decrescendo rispettivamente da nord verso sud, procedendo verso le quote più basse, fino a raggiungere il valore minimo in corrispondenza del punto 17.

*Punto 18 -*

Il campione d'acqua esaminato è stato prelevato nella condotta E.N.E.L. (tratto in galleria) che, come è già stato accennato, è idraulicamente isolata dalle circostanti finestre (dettaglio in fig. 3, sez.  $D_1 - D_2$ ).

La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di  $403 \mu\sigma$  e la temperatura di circa  $9^\circ\text{C}$ . Questi valori sono confermati dalla misura eseguita sulla stessa condotta nel punto 21.

Si rileva come i valori di conducibilità e la temperatura dell'acqua in condotta siano nettamente differenti da quelli relativi alle acque del fiume e delle sorgenti data la loro diversa provenienza.

*Punto 19 - quota m 22 circa*

Questo punto di rilevamento è posto circa 20 metri a monte della chiusa che, attraverso un *by-pass*, permette il deflusso delle acque del ramo di monte del Peccia verso l'alveo principale. Il corso

d'acqua nel tratto compreso tra il punto 17 e il mulino Coppola è pensile con un alveo artificiale in muratura. La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di  $725 \mu\sigma$  e la temperatura di  $13,4^\circ\text{C}$ . Dati del 31 ottobre:  $716 \mu\sigma$  e  $13,7^\circ\text{C}$ .

Lungo la sezione  $B_1$ - $B_2$  è stata eseguita una misura di portata con mulinello: il valore calcolato è di  $3,63 \text{ m}^3/\text{sec}$ .; la misura ripetuta nell'ottobre è risultata di  $3,2 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Da tener presente che i valori rilevati sono dovuti all'apporto esclusivo delle sorgenti allineate lungo il tratto compreso fra i punti 11 e 17 e che la paratia mobile, a monte del punto 14, sottraeva al momento dei rilevamenti circa  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$  al ramo superiore.

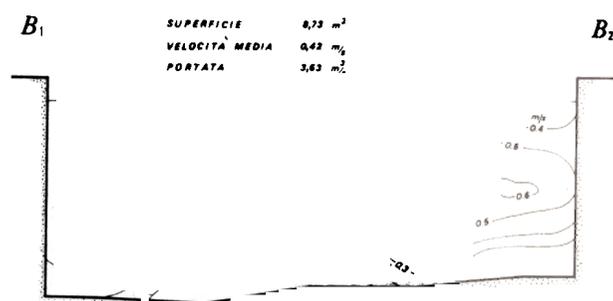


Fig. 5 — Sezione di misura della portata in alveo pensile in muratura, posta lungo il braccio di monte del Peccia a valle delle sorgenti, in prossimità del mulino Coppola (Marzo 1973), (Fig. 2, sez.  $B_1$  -  $B_2$ ).

— Measured discharge section on Peccia river, situated downstream of the springs, close up Coppola's water mill (March 1973), (Fig. 2, sec.  $B_1$  -  $B_2$ ).

Da informazioni ricevute dal gestore del mulino risulta che la portata del canale non scende, a memoria d'uomo, sotto  $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Se si considera che il braccio di monte drena solo in parte le sorgenti esistenti nella zona (sono infatti escluse quelle relative ai punti 8 - 9 - 10 ed altri apporti diffusi lungo il Peccia difficilmente computabili), è parso giustificato stimare a  $4,5 \text{ m}^3/\text{sec}$  la portata di magra dell'intero gruppo di sorgenti. Questo valore è confermato dalle misure eseguite con mulinello, in periodo di magra, da ZOPPI (1895) prima che venissero costruiti i canali drenanti ENEL. Nel luglio e nell'ottobre 1893 sono stati misurati nell'alveo del Peccia rispettivamente  $4,923 \text{ m}^3/\text{sec}$  e  $4,541 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

È significativo osservare che i valori di conducibilità e di temperatura registrati al punto 19 si possono considerare come una media rappresentativa dei valori relativi ai differenti punti di emergenza.

#### Punto 20 -

In questo punto del ramo principale del Peccia si è rilevata una conducibilità di  $629 \mu\sigma$  e una temperatura di circa  $12^\circ\text{C}$ . La mineralizzazione dell'acqua risulta nettamente inferiore a quella del ramo di monte.

#### Punto 21 -

Questo punto è localizzato sulla condotta ENEL (in questo tratto a cielo aperto) poco a monte della centrale di monte Maggiore.

Come già accennato al punto 18, i caratteri chimico-fisici dell'acqua della condotta sono risultati costanti in entrambi i punti di rilevamento ( $403 \mu\sigma$  e  $9^\circ\text{C}$ ).

Le acque della condotta, dopo aver attraversato la centrale, si immettono in un canale che, dopo circa 1 chilometro, si getta nel fiume Garigliano, a valle della confluenza con il Peccia.

#### Punto 22 -

Questo punto è localizzato nel Peccia poco a valle del ponte della SS. 430 del Garigliano.

La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di  $696 \mu\sigma$  e la temperatura di  $12^\circ\text{C}$ . Si rileva come il valore di conducibilità nel punto considerato sia compreso tra quelli relativi ai punti 19 e 20.

#### Punto 23 - quota m 19 circa

Questo punto è localizzato poco a valle della confluenza del Peccia col suo ramo di monte. Nella sezione  $C_1$  -  $C_2$  è stata eseguita una misura di portata con mulinello: il valore calcolato è di  $7,84 \text{ m}^3/\text{sec}$  (fig. 6). La conducibilità elettrica dell'acqua è risultata di  $719 \mu\sigma$  e la temperatura di circa  $13^\circ\text{C}$ .

Il Peccia, alcune centinaia di metri a valle del punto 23, si immette finalmente nel Garigliano.

Dalle osservazioni e misure eseguite si possono trarre alcune conclusioni.

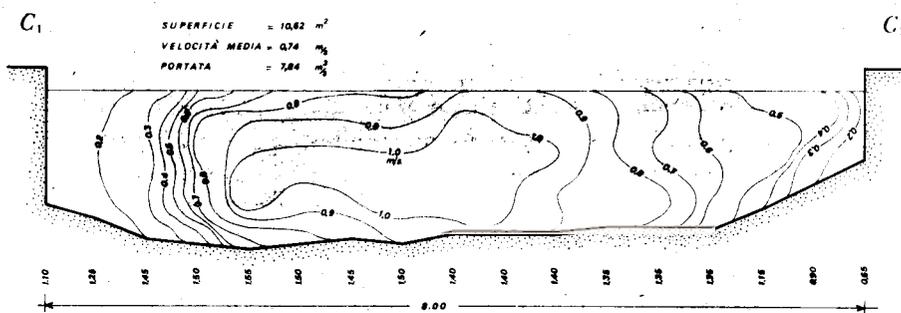
La portata delle sorgenti, calcolata dalla differenza tra i valori relativi alla sezione  $C_1$  -  $C_2$  e  $A_1$  -  $A_2$ , risulta di  $6,70 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Data la stagione in cui sono state effettuate le misure possiamo ritenere questo valore rappresentativo della portata di piena o di morbida. In periodo di magra (fine ottobre 1973) si è misurata una portata di  $5,42 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Vecchie ma accurate misure indicano in magra una portata di  $4,50 \text{ m}^3/\text{sec}$ ; allo stesso valore indicativo si può pervenire considerando che la portata del canale che alimenta il mulino, quando viene chiuso il *by-pass* presso il punto 19, non sembra scendere sotto  $4 \text{ m}^3/\text{sec}$  e che numerose

altre sorgenti, che erogavano nel periodo delle misure primaverili circa 2 m<sup>3</sup>/sec, si riversano direttamente nel ramo principale del Peccia, a valle del canale.

Se ne può dedurre che, in prima approssimazione, la portata delle sorgenti varia da circa 7 m<sup>3</sup>/sec, in piena, a circa 4,5 m<sup>3</sup>/sec, in magra, per un valore di circa 165 milioni di m<sup>3</sup>/anno.

FIG. 6 — Sezione di misura della portata in alveo naturale, posta a valle della confluenza del Peccia col suo ramo di monte, circa 2 km prima di immettersi nel Garigliano river (March 1973) (Fig. 2, sez. C<sup>1</sup> - C<sup>2</sup>).

— Measured discharge section downstream of the confluence between Peccia and its left tributary, 2 km before the river inflow into the Garigliano river (March 1973) (Fig. 2, sec. C<sup>1</sup> - C<sup>2</sup>).



Sui caratteri chimico-fisici fondamentali delle acque riportati in tab. 1 si possono fare alcune considerazioni, anche se manca ancora una analisi geochimica accurata che potrebbe fornire elementi più significativi.

Dai dati disponibili risulta, in sintesi, che le acque del Peccia, durante il periodo di osserva-

TABELLA 1

Punti di riferimento	K 18 $\mu\sigma$	T °C	R. F. g/l	Durezza °dF	SO <sub>4</sub> g/l	Cl <sup>-</sup> g/l
S 1	241	10,5	0,18			
1	254	10,5	0,19			
S 2 MONTE	242	14,0	0,18			
S 2 VALLE	265	13,9	0,20			
3	278	9,8	0,21			
4	287	12,4	0,21			
5	341	11,5	0,26			
6	376	11,5	0,28			
7	344	12,4	0,26			
S 8	629	14,6	0,47			
S 9	631	14,5	0,47	41,98	0,0052	0,0110
S 10	964	13,9	0,72	63,47	0,0105	0,0135
S 11	905	13,9	0,68			
S 12	790	÷ 13	0,59			
S 13	748	÷ 13,5	0,56			
14	734	÷ 13	0,55			
S 15	564	÷ 13	0,42			
16	621	÷ 13	0,47			
S 17	520	÷ 13	0,39			
18	403	÷ 9	0,30			
19	734	÷ 13,4	0,54	48,98	0,0083	0,0110
20	626	÷ 12	0,47			
21	403	÷ 9	0,30			
22	696	÷ 12	0,52			
23	719	÷ 13	0,54			

S = sorgente.

Valori rilevati nei punti in fig. 2 il 16 Marzo 1973.

zione primaverile, avevano a monte dell'autostrada del Sole (sez. A<sub>1</sub> - A<sub>2</sub>) una conducibilità di 344  $\mu\sigma$ , mentre la portata era di poco superiore a 1 m<sup>3</sup>/sec. Due chilometri circa più a valle (sez. C<sub>1</sub> - C<sub>2</sub>) la conducibilità dell'acqua è risultata di 719  $\mu\sigma$  e la portata di poco inferiore a 8 m<sup>3</sup>/sec. Nella serie di misure eseguite in ottobre (tab. 2) non si sono osservate sensibili differenze.

TABELLA 2

Punti di riferimento	K 18 $\mu\sigma$	T °C	R. F. g/l
4	341	10,3	0,26
7	373	10,6	0,28
S 8	590	14,3	0,44
S 9	588	14,5	0,44
S 10	955	14,0	0,72
S 11	903	14,0	0,68
S 12	796	13,8	0,60
S 13	740	13,8	0,55
S 15	558	13,4	0,42
S 17	521	13,3	0,39
19	716	13,7	0,54

S = sorgente.

Valori rilevati nei punti indicati in fig. 2 il 31 ottobre 1973.

Lungo il tratto compreso fra le due sezioni sono state individuate numerose sorgenti naturali e 4 canali artificiali che erogavano complessivamente portate variabili tra 6,8 e 5,4 m<sup>3</sup>/sec di acqua con conducibilità compresa fra 520 e 964  $\mu\sigma$ , per una media di 725  $\mu\sigma$ . Questo valore di conducibilità misurato nel ramo di monte che alimenta il mulino Coppola è nettamente differente da quelli misurati lungo il corso del Peccia a monte delle sorgenti e nella condotta ENEL.

La conducibilità elettrica delle acque sorgive differisce, a sua volta, sensibilmente nei vari punti di osservazione. Non disponiamo ancora di elementi sufficienti per spiegare queste differenze osservate in un'area piuttosto limitata.

Si può solo osservare, fatta eccezione per i punti

S8 e S9, che si è notato nelle due serie di misure eseguite, un sensibile decremento dei valori di conducibilità (K 18) e di temperatura dal punto 10 (964 - 955  $\mu\sigma$  e 13,9° - 14,0° C) verso il punto 17 (520 - 521  $\mu\sigma$  e 13 - 13,3° C).

Considerata infine la vicinanza del centro vulcanico di Roccamonfina non si può escludere che la diversa mineralizzazione delle acque sorgive e la marcata variabilità del contenuto in solfati siano dovute ad una irregolare miscelazione fra le acque della falda principale ed acque più mineralizzate risalenti; questo fenomeno di miscelazione si manifesta in modo evidente nelle vicine gole del Garigliano, dove assai numerose sono le manifestazioni idrotermali con elevato contenuto in solfati.

### Discussione dei dati

Riassumiamo i dati acquisiti nell'analisi della situazione idrogeologica regionale e locale.

- Le sorgenti del basso Peccia sono alimentate da una falda posta nella struttura carbonatica di M. Camino; le quote di emergenza variano da 32 a 25 m circa s.l.m.
- L'apporto che può provenire da terreni non carbonatici si può considerare trascurabile.
- L'analisi geologica e idrogeologica regionale sembra escludere l'esistenza di rapporti idraulici tra M. Camino e le strutture carbonatiche del Fiumerapido, di M. Maio e delle propaggini orientali della catena dei Volsci; sembra invece confermare la continuità idraulica con la grande struttura dei Simbruini-Ernici-M. Cairo.

I caratteri chimico-fisici fondamentali delle acque sorgive sono confrontabili con quelli delle grandi falde estese in terreni carbonatici. (K18 = 700-850  $\mu\sigma$ ; RF = 500-600 mg/l; durezza circa 50 gradi francesi). Manca ancora un'analisi geochimica accurata che potrebbe certo fornire elementi di particolare interesse.

In base alle misure eseguite la portata media delle sorgenti si può stimare circa 165 milioni di m<sup>3</sup>/anno, con un massimo di circa 7 m<sup>3</sup>/sec e un minimo stimato di 4,5 m<sup>3</sup>/sec.

Il bacino di alimentazione delle sorgenti deve avere una estensione non inferiore a 200 km<sup>2</sup>, considerando una infiltrazione media annua di circa 800 mm.

La superficie dei rilievi carbonatici di M. Lungo-M. Camino-M. Trocchio-M. Porchio è pari a 33 km<sup>2</sup>; può pertanto fornire una alimentazione non superiore a 25-30 milioni di m<sup>3</sup>/anno.

Per spiegare la presenza di sorgenti con portate così elevate e la considerevole mineralizzazione delle acque, al piede nord-occidentale del piccolo rilievo di M. Camino si deve ammettere l'esistenza di continuità idraulica fra questa struttura e una dorsale carbonatica molto più estesa. Gli elementi raccolti sembrano confermare l'ipotesi che le sorgenti del basso Peccia siano, in gran parte, alimentate dalla medesima falda che dà origine alle sorgenti del Gari, presso Cassino, e che satura alla base le strutture dei Simbruini-Ernici-M. Cairo.

I dati disponibili portano alla conclusione che l'alimentazione delle sorgenti del Peccia sia riferibile ad un acquifero esteso per parecchie decine di chilometri a NO dei punti di emergenza. Tuttavia almeno una osservazione sembra apparentemente in contrasto con questa ipotesi.

Risulta infatti molto evidente che la maggior parte delle sorgenti e tutte le gallerie drenanti poste alla base della condotta ENEL sono alimentate dall'acquifero di M. Camino esteso a SE dei punti di emergenza. Ciò significa che la piezometrica all'interno del rilievo si deve trovare ad una quota superiore a quella in cui si osservano le emergenze. Questa considerazione contrasta apparentemente con l'ipotesi che la maggior parte delle acque sorgive provenga da NO, in direzione contraria al flusso che si osserva in corrispondenza delle emergenze.

La contraddizione come si è detto risulterà in realtà solo apparente dopo aver meglio analizzato i caratteri idrogeologici regionali.

Le sorgenti più settentrionali del gruppo del Peccia, e particolarmente quelle ubicate nei punti 8 e 11, sono in realtà alimentate da acque in pressione con evidente flusso verticale rivolto dal basso verso l'alto; lungo l'alveo del Peccia, nella zona delle sorgenti, si nota inoltre una diffusa alimentazione dovuta ad acque risalenti.

Queste osservazioni indicano chiaramente che, a breve distanza dalle principali sorgenti, ma al di fuori dell'area di più diretta influenza, sia all'interno del massiccio di M. Camino che nella pianura estesa ai margini Nord-occidentali del rilievo, la piezometrica si deve trovare ad una quota superiore a quella delle emergenze.

Se ne deduce che la struttura carbonatica che si estende verso NO coperta da sedimenti a bassa permeabilità, contiene una falda imprigionata che emerge dove la copertura si riduce maggiormente.

Analoghe osservazioni di acque risalenti, anche se molto più evidenti, sono state compiute in cor-

rispondenza delle numerose sorgenti del Gari distribuite a valle di Cassino, tra quota 35 e 27, che si trovano in condizioni idrogeologiche analoghe a quelle qui considerate.

I dati sulla precisa quota della piezometrica sono piuttosto scarsi, ma significativi. Presso Cassino la piezometrica si dispone ad una quota di circa 35 - 40 m, mentre presso M. Camino si trova intorno ai 30 m in corrispondenza del punto 8 e all'interno del rilievo.

Studi eseguiti sulla idrogeologia della struttura dei Simbruini-Ernici-M. Cairo (BONI, 1973) hanno riscontrato come già si è detto, un gradiente idraulico della falda libera, che satura alla base del rilievo, non lontano da 5‰. La medesima falda nel tratto compreso tra M. Cairo e M. Camino, secondo gli elementi raccolti, avrebbe un gradiente idraulico prossimo all'1‰. Questa sensibile differenza è probabilmente dovuta al fatto che nel tratto qui considerato la falda contenuta nel basamento carbonatico è imprigionata; in tali condizioni il gradiente idraulico e la portata delle sorgenti ubicate nel punto più depresso della struttura idrogeologica viene imposto dalla differenza di quota degli affioramenti carbonatici che si trovano agli

estremi del tratto di falda in pressione, posti rispettivamente a poco meno di 40 m di quota a Cassino e a circa 25 m a M. Camino. Per rendere più chiaro il concetto, se si ammettesse, per assurdo, che la quota minima di affioramento del rilievo calcareo di M. Camino fosse superiore ai 40 m, nessun contributo alla portata delle sorgenti potrebbe venire dalla falda di M. Cairo perché non vi sarebbe possibilità di drenaggio da NO a SE. Ne consegue che anche la portata delle sorgenti del Peccia sarà diretta funzione del gradiente idraulico imposto alla falda dalle condizioni idrogeologiche regionali.

Il bassissimo valore del gradiente idraulico dell'acquifero imprigionato spiega ancora perché la maggior portata si registra in corrispondenza delle sorgenti del Gari, a quota superiore, e non lungo il basso Peccia, nel punto di emergenza dell'acquifero posto ad una quota assoluta inferiore.

Tornando alla situazione di terreno tra le più alte sorgenti del Gari e le più basse sorgenti del Peccia si osserva un dislivello massimo di circa 15 m su una distanza di 10 km. In accordo con le fondamentali leggi della dinamica dei fluidi nel sottosuolo si deve ancora ammettere che la mag-

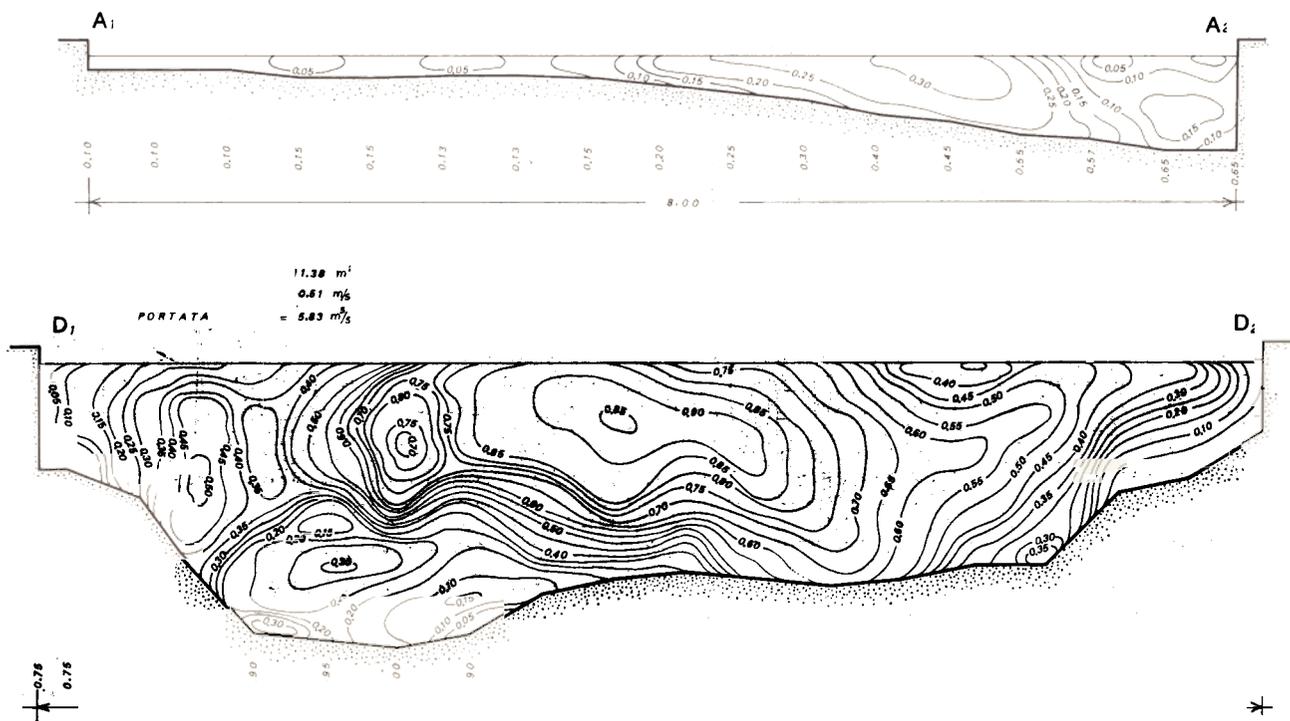


FIG. 7 — Sezioni di misura della portata in alveo naturale del Peccia situate rispettivamente a monte delle sorgenti (Fig. 2, sez. A<sup>1</sup> - A<sup>2</sup>) e a valle della confluenza del Peccia col suo ramo di monte (Fig. 2, sez. D<sup>1</sup> - D<sup>2</sup>) (Ottobre 1973).

— Measured discharge sections on Peccia river, situated upstream from the springs (Fig. 2, sec. A<sup>1</sup> - A<sup>2</sup>) and downstream of the confluence between Peccia and its left tributary respectively (Fig. 2, sec. D<sup>1</sup> - D<sup>2</sup>) (October 1973).

gior caduta della piezometrica si avrà nelle immediate vicinanze delle emergenze dove sono concentrate le maggiori velocità di flusso e quindi le più sensibili perdite di carico, analogamente a quanto avviene nell'area circostante un pozzo in erogazione. Considerata la portata relativamente bassa rispetto alla trasmissività dell'acquifero, indubbiamente molto elevata, il carico idraulico della falda imprigionata (e quindi il livello piezometrico) nelle zone non direttamente influenzate dalla presenza di sorgenti, si trasmetterà, fino ai limiti dell'acquifero, in condizioni molto prossime a quelle idrostatiche con perdite di carico debolissime dell'ordine di pochi metri su 10 chilometri. All'interno di M. Camino, dove la falda si trova nuovamente libera, la piezometrica sarà solo di qualche metro

più bassa rispetto alla zona di Cassino, ed i calcari saranno quindi saturi ad una quota superiore a quella delle sorgenti; la piezometrica potrà inoltre subire variazioni positive legate alla ricarica locale.

Si è molto schematicamente illustrata la situazione idrogeologica nella fig. 8 dalla quale appare evidente come le acque, pur provenendo da NO, possono drenare in senso opposto nelle immediate vicinanze delle sorgenti.

Si possono fare infine alcune considerazioni di carattere applicativo.

Le sorgenti del basso Peccia erogano circa 165 milioni di m<sup>3</sup>/anno di acqua con residuo fisso medio di circa 0,6 gr/l e con durezza medie di circa 50 gradi francesi. Come si è detto, questa notevole fonte di approvvigionamento idrico è oggi utiliz-

FIG. 8 — Schema idrogeologico della regione compresa tra M. Cairo e M. Camino. La scala delle altezze è stata notevolmente esagerata per evidenziare le tesi proposte. Monte Cairo dista da Monte Camino circa 10 km.

Vengono indicati: con il simbolo dei carbonati i terreni permeabili che si trovano in affioramento e il loro ipotetico proseguimento in profondità; in puntinato i sedimenti terrigeni a bassa permeabilità che ricoprono i carbonati; all'estremo margine sud-orientale è stato schematizzato il contatto tra la struttura di M. Camino e il centro vulcanico di Roccamonfina, che chiude l'acquifero a sud; la piezometrica della falda contenuta nei carbonati (linea indicata con « p ») è disegnata a tratto intero dove la falda è libera, a tratteggio dove è imprigionata; i cerchi con le frecce rappresentano le sorgenti; le frecce nere schematizzano le direzioni di flusso.

La depressione che separa M. Cairo da M. Camino, rappresentata nello schema, è dovuta ad una fase di assestamento tettonico di età plio-pleistocenica (DEVOTO, 1965) che ha interessato il settore sud-orientale della dorsale carbonatica simbruino-ernica.

Questo profilo prescinde da eventuali motivi traslativi, ben noti su scala regionale (ACCORDI, 1966), motivi che comunque risulterebbero trasversali al profilo stesso e dei quali non è possibile stabilire la profondità e l'andamento.

Secondo lo schema le sorgenti del Peccia sono alimentate dalla falda che satura la dorsale simbruino-ernica e che da origine alle sorgenti del Gari. Come indicato dalle frecce le acque provengono per la maggior parte da NO; nel tratto compreso fra M. Cairo e M. Camino, dove l'acquifero è imprigionato, la falda conserva il suo carico idraulico pressoché inalterato, tanto che entro la struttura di M. Camino la piezometrica si troverà ad una quota inferiore di circa 5 metri, rispetto a quanto si osserva a Cassino.

Le maggiori perdite di carico sono concentrate presso le emergenze, dove la falda imprigionata viene a giorno per alimentare sorgenti che erogano nel complesso oltre 20 m<sup>3</sup>/sec, almeno quattro dei quali presso il F. Peccia.

— Schematic outline showing hydrogeological conditions between M. Cairo and M. Camino (not in scale). The height-length ratio has been altered to better show the proposed thesis. The distance between M. Cairo and M. Camino is 10 km. On the cross section the following terms are shown: the permeable carbonatic rocks outcropping in the surface and their subsurface hypothetical continuation;

— the low permeable clastic sediments which cover carbonatic rocks indicated by small points symbol;

— the contact between the M. Camino structure and the Roccamonfina volcanic edifice, in the south eastern part of the cross section, which represents a barrier to the movement of ground water southward;

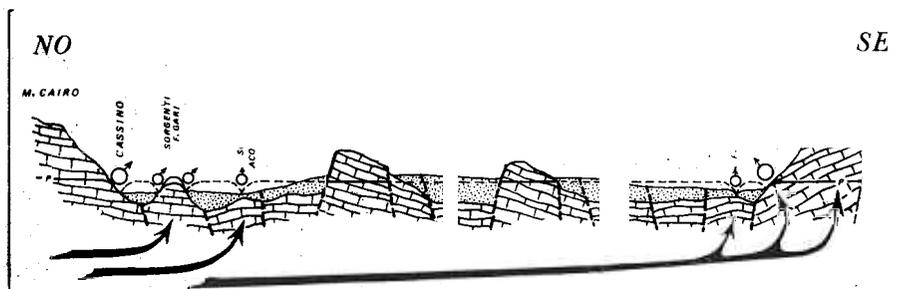
— the piezometric level of the carbonatic aquifer (see « p ») which is indicated with the dashed line for the confined aquifer and with the continuous line for the unconfined aquifer;

— the springs which are represented by circles;

— the water flow direction which is shown by black arrows.

The structural saddle between M. Cairo and M. Camino shown in the cross section, is related to tectonic collapse phase of plio-pleistocenian age (DEVOTO, 1965) which affected the M. Simbruini-Ernici carbonatic structure in the most south-eastern part. This phase follows the more important overthrusting phase by which the carbonatic Apennines fundamental structural patterns were defined (ACCORDI, 1966).

According to the schematic diagram Gari and Peccia springs are fed by carbonatic aquifer which extends to the base of the Simbruini-Ernici structure. The arrows show that the main ground water flow direction is from NW; between M. Cairo and M. Camino the aquifer is confined and keeps almost the same hydraulic pressure. In the M. Camino structure the piezometric surface will be at levels only 5 metres lower than that observable in Cassino Gari springs. The main hydraulic losses of pressure in the piezometric surface are concentrated near the springs, whose total yield are 20 m<sup>3</sup>/sec, 4 m<sup>3</sup>/sec of which are from Peccia springs.



zata solo da un suggestivo mulino e per l'irrigazione di una ristretta zona agricola adiacente al fiume; le sorgenti del Peccia costituiscono pertanto una cospicua risorsa di cui si deve tenere conto nell'economia idrogeologica regionale.

Di grande interesse ci sembra inoltre la segnalazione, lungo l'allineamento M. Cairo-M. Camino, di una falda imprigionata posta ad una profondità economicamente conveniente e capace di erogare portate decisamente elevate. Sebbene le risorse disponibili siano notevolissime, in vista di una eventuale massiccia utilizzazione dell'acquifero sarebbe comunque necessario programmare e controllare, con criteri moderni, lo sfruttamento della falda.

### Conclusioni

Viene per la prima volta descritto il gruppo di sorgenti che si trova lungo il basso corso del fiume Peccia, alle falde nord-occidentali di M. Camino. La portata accuratamente misurata nel marzo 1973 è risultata di 6,70 m<sup>3</sup>/sec, alla fine di ottobre dello stesso anno di 5,42 m<sup>3</sup>/sec; in base agli elementi

disponibili è possibile valutare la portata di magra circa 4,5 m<sup>3</sup>/sec.

In base a considerazioni di carattere geologico ed idrogeologico estese alla regione circostante le sorgenti, risulta che la struttura carbonatica simbruino-ernica si continua, a sud di M. Cairo, sotto una copertura neogenica, fino all'apparato vulcanico di Roccamonfina; la dorsale emerge in questo tratto in corrispondenza delle culminazioni di M. Trocchio, M. Porchio e di M. Camino.

Analoghe considerazioni tendono ad escludere l'esistenza di continuità strutturale fra il rilievo carbonatico di M. Camino e le dorsali degli Ausoni e del Fiumerapido.

Le sorgenti del Peccia in questo quadro idrogeologico risultano pertanto alimentate dalla falda che satura la struttura simbruino-ernica e che drena in parte presso Cassino nelle grandi sorgenti del Gari. La stessa falda, imprigionata sotto la copertura dei depositi neogenici impermeabili si estende a sud fino a M. Camino dove riemerge, presso l'alveo del Peccia, nel punto di affioramento più depresso dell'intera struttura, dando origine alle sorgenti qui considerate.

### SUMMARY

An important group of springs, located along the lower Peccia river (tributary of the Garigliano River - central Italy) and discharging at the foothill of M. Camino is herein described.

Yields have been accurately measured by the Authors on March and on October 1973 for which a value of 6.7 and 5.4 m<sup>3</sup>/sec has been respectively calculated.

The minimum discharge is estimated at 4.5 m<sup>3</sup>/sec.

Hydrological and hydrogeological studies including a detailed geophysical survey, allow the Authors

to relate the Peccia's springs to a carbonate aquifer.

On the basis of regional geological and structural data, the aquifer seems to extend continuously under a thin cover of middle Miocene to Recent formations, over a great area NW of M. Camino through the carbonate structures of M. Porchio, M. Trocchio, M. Cairo and the Simbruini mountains.

The Peccia springs are at lowest point of outcrop of the carbonate structures at the SE edge of the Garigliano plain.

*Manoscritto presentato nel Novembre 1973*

### BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI B. (196) — La componente traslativa nella tettonica dell'Appennino Laziale-Abruzzese. *Geol. Rom.*, 5: 355-406, 33 fig., 1 carta tettonica, Roma.
- ACCORDI B., DEVOTO G., LA MONICA G. B., PRATURLON A., SIRNA G. & ZALAFFI M. (1967) — Il Neogene nell'Appennino laziale-abruzzese. *Atti IV Congresso Internazionale del Comitato del Neogene Mediterraneo*, 30 p., 1 fig., 1 tav., Roma.
- ACCORDI B., ANGELUCCI A. & SIRNA G. (1967) — Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - foglio 159 e foglio 160 (Frosinone e Cassino). *Serv. geol. It.*, Roma.
- ACCORDI B. et Al. (1969) — Idrogeologia dell'Alto Bacino del Liri (Appennino centrale). *Geol. Rom.*, 8: 177-559, 170 fig., 76 tab., una carta a colori i.t., 5 carte a colori f.t., Roma.
- ACCORDI B. & PAROTTO M. (1971) — Report of an international meeting on the Geology of the Apennines. *Geol. Rom.*, 10: 199-216, Roma.
- BONI C. F. (1973) — Lineamenti idrogeologici dell'Appennino carbonatico laziale-abruzzese (primi risultati della campagna 1970-72). *ESA, 2° Convegno Int. Acque Sotterranee*, Palermo (in corso di stampa).
- CIVITA M. (1973) — Infiltrazione potenziale media annua nel massiccio carbonatico del Matese (Italia meridionale). *ESA, 2° Convegno Int. Acque sotterranee*, Palermo (in corso di stampa).

- CIVITA M. & NICOTERA P. (1969) — Idrogeologia della piana del basso Garigliano (Italia meridionale). *Memorie e note Ist. Geol. Appl.*, **11**, Napoli.
- D'ARGENIO B. (1966) — Zone isopiche e faglie trascorrenti nell'Appennino centro-meridionale. *Mem. Soc. geol. it.*, **5**: 279-299, 1 fig., 1 tav., Roma.
- DELAROZIERE P., BOUILLIN D. & MARGAT F. (1969) — Esquisse d'une méthode simplifiée pour évaluer et cartographier la distribution de l'écoulement souterrain et des réserves. *BRGM*, **69**, SGL, 294, HYD, Orléans.
- DEVOTO G. (1965) — Lacustrine pleistocene in the lower Liri Valley. *Geol. Rom.*, **4**: 291-368, 61 fig., Roma.
- DEVOTO G. (1967) — Note geologiche sul settore centrale dei M. Simbruini ed Ernici (Lazio nord-orientale). *Boll. Soc. Natur.*, **76**, 105 p., 23 fig., 3 tav., Napoli.
- MINISTERO LL. PP. (1942) — Le sorgenti italiane. *Ist. Poligr. Stato*, **7**, Roma.
- PAROTTO M. & PRATURLON A. (1973) — Geological pattern of Central Apennines. *Quaderni del C.N.R.* (in corso di stampa).
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA — Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: Foglio 160 Cassino, seconda ediz. 1966, Poligrafico dello Stato, Roma.
- ZALAFFI M. (1964) — Stratigrafia e tettonica di alcune piccole strutture affioranti nella piana di Cassino. *Mem. Soc. geol. it.*, **4**: 635-648, 3 fig., 1 carta, Roma.
- ZOPPI G. (1895) — Carta Idrografica d'Italia (Liri-Garigliano). Ministero Agricoltura, Industria e Commercio, 139 p., 6 tav., 1 atlante, 1 carta, Roma.