

ACQUE SOTTERRANEE E SORGIVE

Carlo F. Boni

Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Roma

Gli studi idrogeologici che tendono a valutare le risorse idriche sotterranee si svolgono per stadi di approssimazione successiva che dipendono sostanzialmente dalle conoscenze geologiche e idrogeologiche già acquisite, dai mezzi a disposizione del ricercatore e dai particolari scopi che l'indagine si prefigge. Lo studio descritto in questo lavoro rappresenta una prima fase per giungere ad una valutazione globale e precisa delle risorse idriche sotterranee utilizzabili e non fornisce risultati tali da risolvere il problema.

Riferendosi alla nota classificazione sullo « Stato di avanzamento delle indagini e dello sfruttamento delle acque sotterranee », adottato nell'Unione Sovietica e riportato in PLOTNIKOV (1962), si può dedurre che le conoscenze sulla idrogeologia dell'alto bacino del Liri, dopo questo studio, sono riferibili alla categoria C₁: classificazione delle risorse idriche sotterranee valutate sulla base di indagini geologiche e idrogeologiche combinate e fondate sostanzialmente sullo studio dei materiali litoidi affioranti, sulla osservazione delle emergenze naturali e dei pozzi esistenti e sulla determinazione

delle caratteristiche chimiche delle acque eseguita in punti isolati. Tutte valutazioni sostanzialmente qualitative, ma indispensabili per impostare, in modo corretto e con mezzi adeguati, le successive fasi di valutazione quantitativa in vista di una concreta utilizzazione delle risorse.

Scopo della ricerca è stato quindi quello di definire il comportamento idrogeologico delle formazioni affioranti, di individuare le falde idriche utilizzabili e avanzare ipotesi sulla loro possibilità di sfruttamento.

È necessario, in questa premessa, commentare brevemente lo studio geolitologico, climatologico e della chimica delle acque, effettuati da diversi Autori e riportati nei capitoli specifici, che hanno fornito i dati di base sui quali è stato impostato il lavoro di ricerca sulle acque sotterranee.

Un approfondito *studio geologico* di M. PAROTTO è stato il punto di partenza di tutto il lavoro perché ha permesso di definire i complessi rapporti di giacitura fra formazioni di diversa natura, rapporti che condizionano la circolazione sotterranea. Sebbene questo studio specifico abbia fornito un preciso quadro geologico, indispensabile per impostare un corretto lavoro di ricerca idrogeologica, non è risultato sufficiente per risolvere i numerosi problemi che l'indagine sulle acque sotterranee ha dovuto chiarire. Ad integrazione dello studio geologico lo stesso PAROTTO ha compiuto un rilevamento litologico esteso a tutto il bacino alla scala 1/25.000 adottando nella cartografia non più il

Ringrazio i dott. B. MATTIOLI e F. BERNARDINI che hanno collaborato a questo lavoro soprattutto nella elaborazione dei dati di portata. Ringrazio anche i numerosissimi funzionari degli Enti pubblici e privati che gentilmente mi hanno fornito dati e informazioni indispensabili per compiere il lavoro; fra tutti desidero almeno ricordare l'ing. L. BAJ, direttore del Servizio Acquedotti della Cassa per il Mezzogiorno e V. NOTARNICOLA direttore della Sezione Produzione ENEL di Frosinone.

criterio cronologico e biostratigrafico, ma suddividendo le formazioni in base ai caratteri litologici. Questo lavoro è stato compiuto sul terreno e in laboratorio parallelamente al rilevamento della idrologia di superficie, eseguito dallo scrivente, in costante collaborazione fra i due Autori; i dati forniti dallo studio geolitologico, confrontati sistematicamente con quelli ricavati dalla indagine idrologica e dallo studio idrochimico, sono stati elaborati e integrati con diverse osservazioni esposte in questo capitolo.

Lo *studio climatologico* di E. LUPIA PALMIERI ha fornito soprattutto dati necessari alla valutazione qualitativa e quantitativa della infiltrazione, dello scorrimento superficiale e del regime delle sorgenti e delle falde. Come mette in evidenza lo stesso Autore, la carenza di dati idrologici di base ha purtroppo impedito di ricavare valori pienamente soddisfacenti da impiegare nei calcoli specifici; due sono le principali lacune che possono interessare lo studio sulle acque sotterranee. Mancano innanzi tutto sufficienti dati sulla intensità oraria delle precipitazioni (carenza di dati pluviografici): questa lacuna non solo condiziona pesantemente la possibilità di impostare calcoli validi per studiare i fattori geologici che influenzano le portate di piena dei corsi d'acqua, ma limita anche la validità dei calcoli di previsione sulla ricarica delle falde sotterranee. In secondo luogo sono rarissime le stazioni di misura a quota superiore a 1.000 metri, proprio dove sono estese le principali aree di ricarica delle falde idriche; la carenza di stazioni a quote elevate non permette di avere dati diretti sulla entità e la distribuzione nel tempo delle precipitazioni a carattere nevoso, sull'afflusso meteorico totale e sulla temperatura. Lo studio climatologico ha tuttavia ovviato alle due principali lacune estrapolando i dati disponibili, in modo da consentire l'impostazione di calcoli, se non rigorosi, almeno approssimati. Alla mancanza delle stazioni di misura di portata sui corsi d'acqua minori e nella alta valle principale si è potuto ovviare utilizzando le misure, gentilmente fornite dall'ENEL, delle portate utilizzate da numerosi impianti idroelettrici distribuiti lungo il corso del fiume e dei suoi affluenti.

Lo *studio idrochimico*, di R. FUNICIELLO e F. BERNARDINI, oltre a definire la qualità delle acque, è servito a confermare validamente, come si dirà più avanti nel testo, alcune ipotesi formulate in sede idrogeologica e a dimostrare la validità di tesi basate su considerazioni sostanzialmente intuitive.

Il lavoro, si è dimostrato indispensabile, anche se è stato condotto su una rete di punti di osservazione non molto fitta; esso può divenire ben più utile e interessante se esteso nello spazio e nel tempo a misure sistematiche e periodiche sulle acque delle sorgenti, dei corsi superficiali e dei pozzi.

Mentre la letteratura geologica è ampia e conta lavori anche molto recenti, la specifica letteratura idrogeologica sull'alto bacino del Liri è scarsissima. Oltre al vecchio lavoro del Min. Agr. Ind. e Comm. (1895) per la Carta idrografica d'Italia, si sono trovati solo rarissimi studi compiuti da parte di Enti Pubblici, Comuni e Consorzi, difficilmente reperibili perché inediti o dispersi in riviste non specializzate. Si è dovuto perciò ricorrere alla cortesia dei Funzionari delle varie Amministrazioni che hanno generalmente accondisceso a fornire i dati in loro possesso; le informazioni, quasi sempre verbali, sono state tuttavia sovente lacunose e imprecise; si può dire che una delle maggiori difficoltà incontrate nel corso dell'indagine, (causa probabilmente anche di imprecisioni di cui pecca il lavoro) è proprio dovuta alla difficoltà di reperire informazioni valide su studi precedentemente effettuati o su opere costruite e di raccogliere i numerosissimi dati inediti che si trovano dispersi negli archivi delle Amministrazioni e degli Enti che operano, o hanno operato, nel bacino con mezzi e finalità diverse.

Metodo di studio

Manca una metodologia di ricerca idrogeologica, già sperimentata e riconosciuta valida in un bacino dove le condizioni geologiche sono notevolmente complesse, come nel nostro Appennino. Il metodo, adottato da molti anni in paesi dove gli studi idrogeologici sono ormai avanzati, che prevede lo studio diretto di grandi falde idriche ben delimitate ed estese in regioni dove le condizioni geologiche sono uniformi e continue su vaste estensioni, non è applicabile nell'Appennino centrale dove la complessità della situazione geologica impedisce alle acque sotterranee di seguire percorsi regolari entro strutture semplici e continue.

In questo studio si è quindi adottato un metodo di ricerca che ha tenuto conto in primo luogo della situazione geologica e secondariamente della disponibilità dei mezzi di ricerca, che hanno limitato l'indagine a osservazioni di superficie e localmente all'impiego della prospezione geoelettrica.

Il criterio adottato si basa essenzialmente sulla individuazione e delimitazione di tre principali elementi idrogeologici:

- aree di ricarica delle falde idriche
- limiti di permeabilità
- livelli di base o di drenaggio naturale

Si sono considerate *aree di ricarica delle falde idriche* tutte le zone dove le acque meteoriche si infiltrano nel sottosuolo; considerazioni sulla permeabilità primaria e secondaria delle rocce affioranti, sulla morfologia e l'acclività, sul regime e la natura degli afflussi meteorici hanno consentito di individuare, almeno in via qualitativa, nell'ambito delle aree prima definite, zone più ristrette dove il processo di ricarica appare particolarmente sviluppato.

Qualunque superficie che separi formazioni a permeabilità diversa è stata considerata un *limite di permeabilità*; in assenza di nette superfici di separazione (ad esempio piani di faglia) che pongano a contatto tipi litologici diversi, anche un graduale e costante cambiamento di litologia in una determinata direzione è stato interpretato come limite e schematizzato con la scelta, in qualche caso arbitraria, di una superficie rappresentativa del fenomeno.

Per *livello di base* si è inteso ogni livello di drenaggio naturale alla cui quota tornano naturalmente a giorno le acque sotterranee.

Il metodo di ricerca consiste quindi nel mettere in relazione ogni area di ricarica con il relativo livello di base; l'andamento dei limiti di permeabilità, che condiziona la circolazione sotterranea, consente di definire o ipotizzare i percorsi che le acque compiono nel sottosuolo.

Per riconoscere gli elementi idrogeologici prima definiti e le loro relazioni, oltre allo studio litologico e della permeabilità dei terreni, è stato necessario fare un accurato censimento delle acque sorgive e superficiali, raccogliere nelle sedi opportune il maggior numero di dati di portata delle sorgenti captate, provviste di dispositivi di misura e tenute periodicamente sotto controllo; misurare direttamente le portate delle sorgenti minori non controllate; censire i pozzi esistenti e raccogliere i relativi dati stratigrafici e idraulici. È ovvio infine che la determinazione delle proprietà chimico-fisiche delle acque sorgive è stata di grande aiuto nella verifica di ipotesi sullo scorrimento sotterraneo formulate in base a dati di superficie, perché ha fornito utili indicazioni sulla lunghezza relativa dei percorsi e sulla natura delle rocce attraversate.

IDROGEOLOGIA DELLE FORMAZIONI

Vengono di seguito descritte, in ordine di età decrescente, seguendo lo schema adottato nello studio litologico, le formazioni che figurano nella carta idrogeologica; di ciascuna verrà indicato il ruolo idrogeologico in funzione della permeabilità primaria e secondaria, dello spessore, della estensione in affioramento, della posizione che occupa nella serie stratigrafica e della giacitura; si dirà inoltre quali prospettive di utilizzazione presentino le falde che sono, eventualmente, in esse contenute.

Dolomie (d)

Sul versante sinistro del bacino, ad est di Balsorano, lungo una stretta fascia lunga poco più di 6 km e per uno spessore massimo di 300 m, affiora la formazione delle dolomie. La giacitura a reggiopoggio, alla base del versante carbonatico, con pendenza a NE verso l'esterno del bacino, non permette di verificare direttamente l'influenza che la formazione esercita sulla circolazione sotterranea; si può tuttavia valutarne, in prima approssimazione, la permeabilità e ipotizzarne il ruolo idrogeologico. La natura decisamente dolomitica, la prevalente tessitura saccaroide, l'aspetto massivo e la morfologia tipicamente mammellonare che deriva dalla degradazione superficiale per desquamazione, messi in evidenza dall'esame litologico, sono tutti elementi che indicano una bassa permeabilità primaria. D'altro canto, il notevole spessore che supera in affioramenti non troppo lontani (Monte Marsicano) gli 800 m, e la blanda tettonica disgiuntiva subita dalla grande monoclinale del versante sinistro, che non è tale da favorire lo sviluppo di una marcata permeabilità secondaria per fessurazione, inducono a considerare la formazione come un substrato a bassa permeabilità posto alla base della serie carbonatica affiorante. Sul versante sinistro la giacitura facilita lo scorrimento sotterraneo verso l'esterno del bacino; sul versante destro la formazione non affiora entro i limiti del bacino, si trova a notevole profondità ed è quindi azzardato avanzare ipotesi sulla sua funzione. Altro affioramento riferito alla formazione delle dolomie, per quanto litologicamente diverso dal precedente, si trova presso Vicalvi; per la limitata estensione e la particolare giacitura riveste un interesse decisamente secondario.

L'infiltrazione nelle dolomie si può considerare decisamente scarsa e tale da non contribuire in misura determinante alla ricarica delle falde.

Calcari bianchi o nocciola (cb)

Le dolomie prima descritte sfumano gradualmente verso l'alto nei calcari bianchi e nocciola. Le due formazioni non sono separate da un limite netto, ma da una fascia di passaggio dove la stratificazione appare sempre più distinta e i calcari si sostituiscono gradualmente alle dolomie. L'affioramento principale si estende, sul versante sinistro, dall'altezza di Balsorano alla Valle del Lacerno per una lunghezza superiore a 10 km. e uno spessore massimo di 500 m. Anche in questo caso, per le condizioni di giacitura non è possibile verificare direttamente la funzione della formazione e si deve ricorrere ad una valutazione indicativa. La stratificazione appare distinta e la fessurazione marcata, a differenza di quanto si è visto per le dolomie sottostanti. La massa dei calcari, compresa fra due potenti pacchi di terreni massivi (*d* e *cd*), sottoposta a forti carichi ha reagito fratturandosi per la sua maggiore fragilità rispetto ai terreni incassanti; si è di conseguenza sviluppata una permeabilità secondaria per fessurazione, favorita dalla relativa solubilità dei calcari. L'infiltrazione delle acque si può quindi considerare abbondante anche sui versanti molto acclivi (il pendio medio supera il 50%) dove la formazione affiora. Sul versante sinistro il drenaggio sotterraneo è tuttavia diretto a NE al di fuori del bacino. L'influenza degli affioramenti minori (Morrea e Vallone delle Noci) è trascurabile.

Calcari dolomitici alternati con dolomie (cd)

Lo studio dei calcari dolomitici alternati con dolomie ha presentato notevoli difficoltà: le alternanze di terreni con proprietà diverse non mostrano infatti spiccati caratteri d'insieme facilmente individuabili.

Estesa ampiamente sul versante destro e sinistro del bacino, la formazione ha composizione e spessore variabile; il limite inferiore non è netto ma si presenta come un progressivo passaggio da termini schiettamente calcarei, molto permeabili, a una alternanza di calcari con calcari dolomitici stratificati e dolomie in banchi massicci. Questa successione, che vede un termine prevalere sugli altri irregolarmente da luogo a luogo, è la più diffusa e comune lungo l'intero spessore (variabile da 900 a 1.400 m) della formazione che sfuma verso l'alto nei calcari avana (*c*). Considerata la grande estensione in affioramento, e con questa il notevole peso che esercitano sulla idrogeologia del bacino, i calcari dolomitici sono stati

attentamente studiati e hanno mostrato di possedere, nel loro insieme, proprietà che difficilmente vengono attribuite a rocce carbonatiche di questo tipo. In passato vi era una diffusa tendenza a considerare permeabili in senso lato tutte le rocce carbonatiche, tanto da cartografarle con un unico simbolo nelle carte della permeabilità. È il caso, ad esempio, di una vecchia « Carta idrografica del bacino del Liri (Garigliano) e delle Paludi Pontine » (MIN. AGR. IND. e COM. 1895) dove tutte le rocce carbonatiche figurano nella classe delle permeabilissime. MANFREDINI (1964) considera praticamente impermeabili le dolomie abruzzesi del Lias inferiore, confrontabili con la formazione delle dolomie (*d*) precedentemente considerata; studi più recenti condotti particolarmente in Jugoslavia (D. ZOGOVIC 1967), hanno messo in evidenza che il problema della permeabilità di tutte le rocce carbonatiche, dai calcari alle dolomie, è ancora aperto: non si è giunti a definire regole valide in assoluto, ma la permeabilità di ciascun affioramento va esaminata caso per caso.

Nella impossibilità di ricavare dati diretti sui caratteri di questa formazione, che sarebbe comunque difficile ottenere anche senza limitazione di mezzi tecnici ed economici, sono stati presi in considerazione alcuni di quegli aspetti di facile ed immediata osservazione che, opportunamente interpretati, possono almeno indicativamente contribuire alla soluzione del problema. Si è cercato di determinare la permeabilità relativa di insieme ponendola a confronto con quella delle formazioni sovrastanti più facilmente determinabile.

Soprattutto alla base, e in minor misura lungo tutto lo spessore della formazione, si trovano bancate di dolomie massive e strati dolomitici che conferiscono alla roccia compattezza e omogeneità tali da lasciare ben poco spazio alla penetrazione delle acque: i giunti di stratificazione sono difficilmente distinguibili tanto che pacchi di strati appaiono saldati fra loro fino a formare potenti bancate; ne risulta una permeabilità primaria decisamente scarsa. Questo aspetto massivo e compatto, se confrontato con la marcata stratificazione dei calcari (*c*) indica un comportamento più rigido e tenace delle dolomie nei confronti delle sollecitazioni tettoniche e soprattutto una minore fragilità, che limita la fratturazione e quindi lo sviluppo della permeabilità secondaria. Al di fuori di zone cataclasiche (Campo Ceraso, Valle Bertina ecc. dove il materiale appare intensamente fratturato lungo ampie fasce ad andamento appenninico) e delle zone più prossime alle principali linee di

faglia, la fessurazione non appare mai molto marcata e le fratture aperte sono rarissime; mancano inoltre, a differenza di quanto si è visto nei calcari (c), dei quali si parlerà più avanti, quei fenomeni di piegamento esasperato che caratterizzano il fronte nord orientale dei Simbruini e ne determinano l'alta permeabilità. Una spiegazione che possa giustificare questa differenza di comportamento si può trovare risalendo al modo in cui la tettonica ha influenzato la formazione e considerando le sue attuali condizioni di giacitura.

Sul versante destro il motivo tettonico dominante ha determinato la traslazione del fronte carbonatico verso NE (cfr. M. PAROTTO); in questo processo di assestamento, a nord di Morino, la formazione calcareo dolomitica (cd) si è trovata in qualche modo protetta dai calcari posti sul fronte che hanno assorbito in buona parte gli effetti del movimento traslativo piegandosi e fraturandosi intensamente. I calcari dolomitici invece conservano una giacitura a monoclinale abbastanza regolare e non mostrano di conseguenza un'intensa fessurazione. A valle di Morino, sempre sul versante destro, dove la componente traslativa ha avuto maggiore sviluppo ponendo i calcari dolomitici del Giurese a diretto contatto con il complesso argilloso arenaceo (ar) miocenico, la formazione appare disposta grossolanamente a monoclinale con pendenza a SW e mostra chiari segni della intensa compressione subita. Non vi è tuttavia traccia di quella tettonica plicativa così evidente nei calcari (c) che affiorano sullo stesso versante, e vengono quindi a mancare anche le fessure aperte che, in fase compressiva, si possono sviluppare soprattutto alla cerniera delle pieghe. Il ripetersi di motivi tettonici inversi, conseguenza della tettonica tangenziale e compressiva, che giungono a processi di vera laminazione, non lascia fessure aperte che possano favorire l'infiltrazione delle acque in una massa che, sebbene fratturata e laminata, si presenta nel suo insieme compatta e omogenea.

Sul versante sinistro, dove la monoclinale è regolare e i motivi disgiuntivi trasversali mai molto vistosi, le sollecitazioni tettoniche non hanno privato la formazione della sua primaria omogeneità e compattezza d'insieme e la permeabilità secondaria non ha avuto modo di svilupparsi al punto da favorire sensibilmente il processo di infiltrazione.

La tessitura saccaroide degli strati e banchi dolomitici influenza negativamente lo sviluppo della permeabilità secondaria perché la degradazione di questi materiali produce l'accumulo di una sabbia finissima a solubilità relativamente bassa che va

ad ostruire le fessure apertes durante le fasi tettoniche; quindi, anche dove la formazione appare più fessurata (per citare un esempio sul fianco sinistro del torrente Lacerno all'altezza dell'acquedotto di Val San Pietro), le fratture vengono ostruite e la permeabilità secondaria risulta decisamente scarsa.

Si può quindi concludere che la permeabilità primaria è scarsissima e quella secondaria è molto limitata, per il modo in cui la formazione ha reagito alle sollecitazioni tettoniche e per le modalità di degradazione dei materiali.

Lo sviluppo del carsismo è molto limitato ed epidermico, come del resto nella maggior parte dei terreni carbonatici affioranti in questo bacino.

È significativo ancora constatare che gli unici corsi di acqua perenni, anche se modestissimi, che scorrono su rocce carbonatiche si trovano lungo affioramenti di calcari dolomitici; durante i mesi estivi lo scorrimento superficiale si esaurisce in brevissimo spazio dove si passa dalle dolomie ai calcari: è il caso di un tratto dell'alveo del Lacerno e del Fosso delle Mele a monte di Zompo lo Schioppo.

Tutte le considerazioni finora esposte tendono ad indicare che la formazione dei calcari dolomitici ha una permeabilità minore delle formazioni calcaree studiate nel bacino. Non solo le osservazioni di terreno ma anche i dati idrologici e la posizione delle principali sorgenti indicano che il flusso medio annuo che attraversa la formazione dolomitica deve essere mediamente inferiore a quello che penetra nello stesso tempo nelle formazioni calcaree sovrastanti; non si spiegherebbe altrimenti l'esistenza entro queste ultime di una ricca falda che, per le condizioni in cui si trova, deve necessariamente essere sostenuta da un basamento a minore permeabilità; questo problema verrà trattato più ampiamente in seguito.

La formazione viene quindi considerata poco permeabile e di conseguenza i suoi affioramenti non si possono ritenere buone aree di alimentazione.

Il passaggio tra i calcari dolomitici e i calcari avana è stato scelto come limite idrogeologico del bacino, per un lungo tratto del versante occidentale, dove gli elementi a disposizione sono parsi sufficienti per riconoscerlo.

Calcari avana o nocciola ben stratificati (c)

La formazione affiora sul versante destro e sinistro in una vastissima area; è costituita da una successione di strati calcarei (sono rare e limitate alla

base le intercalazioni dolomitiche) di spessore variabile tra il decimetro e il metro; alcuni banchi detritici più grossolani, frequenti nella parte centrale della formazione, possono superare 1 m di spessore. Sul versante destro sono frequenti sottili intercalazioni pelitiche (da pochi mm a qualche cm) che solo in corrispondenza del « livello a orbitoline » assumono, localmente, lo spessore di qualche metro (cfr. M. PAROTTO). Sul versante sinistro mancano o sono molto rare le intercalazioni argillose, mentre si trova un orizzonte bauxitico che non supera i 5 m di spessore e che è assente sul versante opposto.

La permeabilità primaria dei calcari avana, come per la maggior parte delle rocce carbonatiche, si può considerare molto bassa, non solo perché dominano calcari generalmente fini e regolarmente stratificati, ma anche per le frequenti intercalazioni pelitiche che tendono ad abbassare la permeabilità d'insieme. La permeabilità secondaria appare invece sviluppatissima sul versante destro dove la piega anticlinale, che forma l'ossatura carbonatica del versante occidentale (cfr. M. PAROTTO), evolve da nord a sud rovesciandosi progressivamente verso NE fino a passare a piega-faglia e faglia inversa. Alla struttura dominante si affiancano e si sommano motivi tettonici secondari, plastici e rigidi, che producono un'intensa fratturazione e sviluppano la permeabilità secondaria. Conviene analizzare questi principali sistemi di fratture per vedere in che modo influenzano la permeabilità della roccia, le possibilità di ricarica degli acquiferi e lo scorrimento sotterraneo. Attraverso uno studio sistematico delle fratture si sono individuati alcuni sistemi dominanti che vengono di seguito descritti.

— Un sistema legato a faglie con prevalente rigetto orizzontale, dell'ordine di qualche centinaio di metri, si sviluppa lungo piani subverticali con direzioni prevalenti da E-W a NE-SW, prossima quindi alla vergenza del motivo traslativo dominante; questo sistema ha provocato lo sviluppo di una serie di fasce con elevata permeabilità secondaria, larghe qualche centinaio di metri, che penetrano per alcuni chilometri nella struttura carbonatica, ne suddividono il fronte in settori e favoriscono il drenaggio sotterraneo verso est lungo direttrici preferenziali.

— Un secondo sistema, normale al precedente, e a questo sicuramente successivo, è riferibile alla fase tettonica che ha prodotto il collasso frontale subito dalla struttura dopo la fase parossistica traslativa; particolarmente sviluppato sul fronte carbonatico tra le sorgenti di Rianza e Zompo lo

Schioppo, sembra limitato ad una stretta fascia prossima al contatto tettonico fra la formazione in esame e il complesso argilloso arenaceo. Il sistema, dovuto ad una tettonica chiaramente distensiva, apre profonde fessure che, sebbene distribuite in un'area limitata e marginale, hanno particolare influenza sulla circolazione superficiale. Queste fasce di fratture tagliano trasversalmente gli alvei dei torrenti, alimentati dal reticolo inciso sugli affioramenti calcarei dell'alto versante, e drenano quindi le acque superficiali poco prima che queste lascino la struttura carbonatica per passare al complesso argilloso arenaceo. Questo processo contribuisce ovviamente anche alla ricarica degli acquiferi profondi ed è causa, probabilmente, di anomalie nel regime di alcune sorgenti prossime alla fascia entro cui la componente che si sta esaminando è particolarmente sviluppata.

— Un sistema radiale, rispetto alla curvatura assunta dagli strati, determina una fessurazione variamente orientata e strettamente legata al capriccioso andamento delle pieghe che si sviluppano in ampi festoni sul fronte calcareo; questo tipo di fessurazione, molto diffuso su tutto il versante destro è tipico dei calcari avana, i soli che, fra le rocce carbonatiche del bacino, mostrano piegamenti così intensi. La curvatura sovente esasperata degli strati determina una fessurazione che raggiunge il massimo sviluppo alle cerniere e decresce gradualmente in intensità lungo i fianchi delle pieghe; ne risulta investita, in varia misura, tutta la massa che acquista una permeabilità secondaria molto sviluppata. Poiché l'intensità del piegamento va progressivamente crescendo da SW a NE, il sistema radiale, che non ha molto peso all'interno della struttura dove figurano solo blandi motivi plicativi, si sviluppa gradualmente spostandosi verso l'esterno della struttura dove si somma ad altri sistemi diversamente orientati. Questo tipo di fessurazione molto intenso, e soprattutto molto diffuso arealmente, esercita la maggiore influenza sulla infiltrazione rispetto agli altri sistemi.

— Sovrapposto a quello radiale si distingue un diverso sistema di fessurazione che si sviluppa dove il piegamento degli strati si esaspera e tende ad evolvere in piega-faglia; si tratta di una serie di piani di frattura orientati mediamente intorno a NW-SE, con immersione a SW e inclinazione compresa in un campo che va dalla orizzontale a valori prossimi alla verticale, con maggiore frequenza nell'arco compreso fra i 30° e i 60°. Questo sistema, localmente molto sviluppato, non incre-

menta tuttavia la permeabilità secondaria perché è stato prodotto da una fase di intensa compressione che tende a chiudere le fessure preesistenti piuttosto che aprirne delle nuove.

— All'interno della struttura i calcari avana sono interessati da faglie dirette appenniniche che producono una localizzata fessurazione verticale con direzione prevalente NW-SE; questo sistema, sviluppato solo all'interno della struttura assume particolare interesse perché può essere messo in relazione con lo sviluppo del carsismo superficiale; l'argomento verrà ripreso più avanti.

I sistemi di fratture che sono stati osservati sul versante destro determinano l'alta permeabilità secondaria che caratterizza gli affioramenti dei calcari avana, ottime zone di ricarica degli acquiferi.

Sul versante destro a sud di Morino, nel settore compreso fra Rendingara e la Serra Comune, i calcari avana affiorano su entrambi i fianchi del motivo tettonico a forma di semielissoide, a nucleo miocenico (cfr. M. PAROTTO); questi affioramenti appaiono molto fessurati tanto che il contributo all'infiltrazione si può considerare decisamente elevato. La giacitura e l'assetto tettonico sono tali da favorire uno scorrimento sotterraneo diretto a NW, determinato dalla pendenza del substrato dolomitico che sostiene i calcari avana.

Sul versante sinistro la formazione ha un comportamento sensibilmente diverso da quello finora descritto, non tanto per la diversa permeabilità primaria quanto per il diverso grado di fessurazione. Tra Petrella Liri e Val Para i calcari avana affiorano al tetto della grande monoclinale che forma il versante marsicano; sono regolarmente stratificati e contengono il livello a bauxiti la cui posizione si segue chiaramente nella carta idrogeologica. Tutta l'estensione degli affioramenti è caratterizzata da grande regolarità; la direzione degli strati non si discosta da NW-SE e la pendenza, rivolta a NE, varia tra i 30° e i 40°. La monoclinale è sbloccata a SW da una grande faglia diretta appenninica con pendenza prossima alla verticale; caratteristica di questa importante linea tettonica è di svilupparsi lungo piani precisi che solo localmente si diramano in motivi vicarianti generalmente molto prossimi al piano principale (Capistrello, Civita d'Antino e Morrea). Più frequenti sono le faglie trasversali anche queste generalmente nette, subverticali, tali da produrre una fessurazione intensa ma localizzata. Questo tipo di tettonica non ha favorito particolarmente lo sviluppo areale della permeabilità secondaria, contra-

riamente a quanto si è visto nella stessa formazione sul versante opposto.

D'altra parte, se si fa eccezione per le zone molto prossime alla linea di displuvio, l'acclività dei versanti è sempre prossima al 50% e quindi tale da contenere il processo di infiltrazione favorendo lo scorrimento superficiale.

Si può concludere che sul versante sinistro, a nord di Campoli Appennino, la formazione dei calcari avana è certamente meno permeabile che sul versante opposto.

La pendenza della formazione, come quella dei calcari dolomitici sottostanti, è rivolta a NE: ne consegue che l'infiltrazione, anche se ridotta, alimenta uno scorrimento sotterraneo che tende comunque ad uscire dai limiti del bacino; si discuterà a pag. 457 la possibilità che il bacino ricuperi queste acque attraverso le sorgenti del Fibreno.

A SE di Val Para i calcari avana hanno caratteri diversi: interessati da una serie disordinata di faglie dirette mostrano un'intensa fessurazione che produce una notevole permeabilità secondaria. Ciò si verifica non tanto sull'affioramento Le Scalelle-La Brecciosa, dove la situazione tettonica è ancora regolare, ma soprattutto negli affioramenti che fanno parte della monoclinale con immersione a SW che occupa la parte sud occidentale del bacino (cfr. M. PAROTTO), dove alla forte permeabilità per fessurazione si associa un carsismo superficiale molto sviluppato. La direzione dello scorrimento sotterraneo è in questa zona diretto a SW verso l'interno del bacino.

Si è visto che la formazione ha una permeabilità diversa da luogo a luogo in funzione della situazione tettonica in cui si trova; si deve aggiungere che, in linea di massima, tutti gli affioramenti sono ottime aree di alimentazione e, soprattutto sul versante destro, contribuiscono notevolmente alla ricarica dell'acquifero che alimenta alcune fra le più grandi sorgenti del bacino.

Le bauxiti intercalate ai calcari avana sul versante sinistro costituiscono un livello a bassa permeabilità potente pochi metri, che si sviluppa con continuità e risulta solo localmente interrotto da motivi tettonici trasversali e longitudinali con rigetti di pochi metri; sostiene una modesta falda che alimenta sorgenti con portate di pochi l/sec, poste al difuori del bacino imbrifero, e non esercita quindi una sensibile influenza sulla circolazione sotterranea, producendo effetti di interesse strettamente locale.

Calcarei organogeni (co) e (ca)

La formazione comprende due distinti complessi: calcari ad alveoline (*ca*) e calcari a briozoi e litotamni (*co*) con proprietà litologiche molto simili. Il primo è stato distinto da M. PAROTTO per puro interesse stratigrafico, affiora presso Vicalvi in una stretta fascia lunga circa un chilometro e potente poche decine di metri, compresa fra i calcari avana e i calcari a briozoi e litotamni.

I calcari a briozoi e litotamni poggiano localmente in trasgressione concordante sui calcari avana. Sul versante sinistro piccoli affioramenti si trovano alla testata della valle (Petrella Liri) e presso Morrea; ben più estesa è la fascia che da Val Para corre oltre Vicalvi interrotta da frequenti disturbi tettonici locali, longitudinali e trasversali, che si fanno più marcati presso le sorgenti del Fibreno. Sul versante destro la formazione manca a nord di Morino e si conserva nella depressione del Vallone del Rio a NE del Pizzo Deta. Gli affioramenti non superano i 60 m di spessore e mancano di continuità.

La formazione, nettamente calcarea, ben stratificata mostra una diffusa «fessurazione» che si sviluppa su tre piani preferenziali e, col concorso dell'erosione, disegna sulle superfici di affioramento forme caratteristiche a losanga. Questa «fessurazione» che risulta così tipica in superficie non sembra contribuire concretamente ad aumentare la permeabilità secondaria: nei tagli recenti, dove è possibile osservare l'interno della roccia inalterata, nella maggior parte dei casi si è osservata solo la traccia dei piani di «frattura» che si delineano invece molto netti sulla superficie di erosione. L'impressione è che questi piani siano solo luoghi di più facile erosione superficiale e zone di fratturazione preferenziale diffuse in tutta la massa; al di fuori di aree dove l'azione tettonica ha pesantemente alterato l'integrità della roccia, sviluppando vere fratture lungo le linee di debolezza preesistenti, la «fessurazione» sembra essere limitata esclusivamente ad una fascia di alterazione superficiale. Si può quindi pensare che la permeabilità secondaria, localmente molto sviluppata, sia dovuta non tanto alla diffusa fessurazione, quanto ai netti ed evidenti piani di frattura e di faglia che tagliano la formazione lungo direzioni orientate secondo le direttrici tettoniche locali.

L'affioramento che merita maggior interesse è quello da cui sgorgano le grandi sorgenti del Fibreno: su un fronte di circa 2 km, attraverso la fascia dei calcari organogeni, rotti da linee tetto-

niche di interesse locale, vengono a giorno, in media, 10 mc/sec di acqua sorgiva che alimentano il fiume Fibreno.

Per la sua estensione relativamente limitata la formazione dei calcari organogeni non ha un peso determinante sulla idrogeologia del bacino; mostra caratteri litologici analoghi a quelli dei sottostanti calcari avana e, agli effetti della circolazione idrica sotterranea, si può quindi con questi identificare.

Marne a Orbulina (m)

È questo un complesso, sottilmente stratificato di calcari e marne calcaree che passano verso l'alto a marne. Affiora, per uno spessore massimo di 20 m, presso Pescosolido e in altri esigui lembi non cartografabili vicino a Rendinara. È un orizzonte a bassa permeabilità che sfuma gradualmente verso l'alto nel complesso argilloso-arenaceo (*ar*) decisamente impermeabile. Per questa posizione stratigrafica, indipendentemente dalla estensione e continuità degli affioramenti, le marne a orbulina offrono comunque un interesse limitato e non hanno praticamente influenza sulla idrogeologia del bacino.

Brecce calcaree monogeniche (br)

La formazione affiora lungo l'alto versante destro della valle, in una vasta area che si estende ampiamente a NW oltre i limiti del bacino imbrifero, con caratteri idrogeologici ben definiti. È formata da frammenti irregolari e spigolosi, mai evoluti, di dimensioni che vanno dal centimetro al metro; i clasti sono tutti carbonatici, prevalentemente calcarei e raramente dolomitici, legati da uno scarso cemento calcareo sparitico; tracce di stratificazione sono distinguibili solo localmente. Le lenti argillose (*ag*) che le brecce contengono, sebbene superino in alcuni casi alcune centinaia di metri di lunghezza e alcune decine di metri di spessore, non raggiungono dimensioni e diffusione tali da limitare la grande permeabilità e la porosità di insieme della formazione. La permeabilità e la porosità primaria sono elevate perché lo scarso cemento che lega tenacemente i clasti è insufficiente a colmare completamente gli spazi fra i frammenti carbonatici. Praticamente priva di stratificazione e dotata quindi di scarsa plasticità, la formazione si è intensamente fratturata quando è stata sollecitata dalle spinte tangenziali che hanno traslato a NE il fronte dei Simbruini-Ernici. Alla elevata porosità e permeabilità primaria, propria del tipo litologico, si sovrappone un'intensa fessurazione che investe in modo del tutto irregolare e statisticamente iso-

tropo la massa rigida. Questo concorso di cause ha conferito alla roccia le più tipiche caratteristiche che si possono attribuire a un «serbatoio»: forte permeabilità per fessure ed elevatissimo coefficiente di immagazzinamento dovuto alla alta porosità primaria e secondaria.

Queste proprietà litologiche, che favoriscono l'immagazzinamento e la mobilità delle acque non sarebbero di per sé sufficienti a rendere la formazione particolarmente interessante sotto l'aspetto idrogeologico, se una serie di altri positivi fattori geologici e morfologici non concorresse a realizzare condizioni così favorevoli da potersi considerare eccezionali. Le breccie mioceniche giacciono infatti in trasgressione, a nord direttamente sui calcari dolomitici (*cd*) scarsamente permeabili e a sud sui calcari avana (*c*) che a loro volta poggiano sulla formazione calcarea dolomitica. Le breccie sono quindi limitate alla base, direttamente o indirettamente, da una formazione meno permeabile; verso l'alto sfumano, attraverso una serie di lenti e di alternanze irregolari, nel complesso argilloso arenaceo impermeabile (*ar*), che verrà tra breve descritto.

L'assetto strutturale del versante, come si può vedere dai profili geologici, è tale per cui la formazione permeabile e porosa si viene a trovare compresa fra due masse meno permeabili: questa situazione facilita l'accumulo, entro le breccie monogeniche, di una abbondante falda che alimenta una serie di sorgenti allineate sul versante destro della valle lungo il limite di permeabilità che corre fra le breccie e il complesso argilloso arenaceo.

Le condizioni di infiltrazione e quindi di ricarica della falda contenuta nelle breccie, non solo sono favorite dalla marcata fessurazione di cui si è già detto, ma anche dalla favorevole morfologia dei versanti sui quali la formazione affiora. Particolarmente all'interno del rilievo è sviluppato un carsismo giovanile che si estende soprattutto all'interno dei vasti bacini endoreici (Piano della Renga al limite del bacino imbrifero, Campo Rotondo e il Vallone del Lago di Pratalata entro il bacino idrogeologico). Gli afflussi medi dell'ordine dei 1.500 mm/anno che interessano queste zone, a parte le perdite per evapotraspirazione, sono quindi rapidamente e interamente assorbiti e vanno ad alimentare la falda contenuta nelle breccie che drena all'interno del bacino del Liri.

Per il concorso dei fattori considerati l'affioramento delle breccie mioceniche si può considerare una delle principali aree di ricarica delle falde idriche riconosciute nel bacino.

Calcareniti organogene (cr)

Eteropiche delle breccie calcaree monogeniche (*br*), le calcareniti organogene affiorano alla base del complesso argilloso arenaceo in lenti di pochi metri di spessore e di lunghezza variabile da pochi metri ad alcuni chilometri.

Sono formate da clasti con diametro medio dell'ordine del millimetro, saldamente cementati e si differenziano quindi dalle breccie (*br*) per la minore porosità e permeabilità primaria.

L'area di affioramento è limitata al versante destro lungo una stretta fascia prossima al contatto fra il fronte carbonatico e la serie terrigena di fondo valle. In questa posizione sono state coinvolte nei motivi tettonici plicativi che interessano la base del complesso argilloso arenaceo e risultano quindi piegate e fessurate intensamente. Hanno una sviluppata permeabilità secondaria che rende possibile un facile assorbimento e un immagazzinamento sufficiente per alimentare sorgenti che, presso Polverelli, raggiungono portate di magra di 1 l/sec.

Argille (ag)

Queste argille affiorano nel settore nord occidentale del bacino, lungo strette valli longitudinali rispetto alle direttrici del rilievo (Prato Felicione, Fonti della Renga), o sul fondo di depressioni allungate in direzione appenninica (Piano della Renga, Lago di Pratalata e Valle della Dogana). Si tratta di lenti che hanno dimensioni variabili da pochi metri ad alcune centinaia, contenute entro le breccie monogeniche; affioramenti minori con diversa giacitura si trovano più a sud presso Zompo lo Schioppo. Le argille impermeabili, a contatto con la formazione calcarea che le contiene, formano limiti di permeabilità discontinui al cui livello si trovano alcune piccole sorgenti (Fonti della Renga). L'influenza di queste superfici di discontinuità sulla circolazione sotterranea è tuttavia molto limitata per la loro frammentarietà e per la scarsa estensione.

La presenza di argille in seno a masse carbonatiche può assumere localmente un certo interesse perché, in situazioni favorevoli, gli affioramenti di argille possono essere utilizzati come base impermeabile per la costruzione di piccoli bacini montani artificiali. In zone decisamente aride durante i mesi estivi i laghetti montani, che oggi vengono rudimentalmente costruiti e periodicamente riattivati, possono consentire lo sviluppo della pastorizia: è possibile moltiplicare queste iniziative e soprattutto realizzarle con mezzi più adeguati e metodi più razionali.

Complesso argilloso arenaceo (ar)

Il complesso terrigeno è ampiamente diffuso lungo tutto il fondo valle e chiude ad oriente la conca di Sora. È formato da ritmiche alternanze di arenarie a cemento calcareo con argille, che non presentano caratteri omogenei in tutta la vasta area di affioramento: la componente arenacea va infatti progressivamente crescendo da NO a SE e le proprietà litologiche variano conseguentemente. Nonostante le variazioni litologiche, che assumono notevole interesse in sede geologica, sedimentologica e nel campo della erodibilità e stabilità dei versanti, agli effetti della circolazione delle acque nel sottosuolo il complesso mostra caratteri d'insieme molto omogenei. Le frequenti intercalazioni argillose, anche se subordinate alla componente arenacea, sono sufficienti a rendere il complesso decisamente impermeabile: l'infiltrazione e la mobilità delle acque in profondità si può considerare praticamente trascurabile. Solo dove la coltre di alterazione superficiale si sviluppa per alcuni metri e dove le arenarie sono particolarmente fratturate vi può essere una infiltrazione sufficiente per alimentare falde localizzate e epidermiche, ma perenni, che danno origine a numerosissime sorgenti irregolarmente diffuse su tutta la vasta area di affioramento del complesso, con portate di magra che raramente superano 1 l/sec. Va precisato che si tratta sempre di un fenomeno superficiale, a carattere locale, del tutto privo di omogeneità e continuità areale.

Nel settore meridionale del bacino il complesso argilloso arenaceo segue in continuità stratigrafica le marne a orboline e si differenzia gradualmente da queste evolvendo verso termini sempre più terrigeni. Nel settore nord orientale la situazione è diversa: il complesso si trova dapprima intercalato alle breccie calcaree monogeniche che risultano dominanti e, quando la sedimentazione argilloso arenacea prende il sopravvento, le breccie vi si intercalano solo in lenti sparse e tendono a scomparire gradualmente verso l'alto della serie.

A sud abbiamo quindi una lenta e graduale variazione di permeabilità a partire da formazioni nettamente carbonatiche verso termini decisamente terrigeni; a nord si ha invece un contatto stratigrafico diretto tra masse litoidi a permeabilità nettamente diversa che si sviluppa lungo un limite litologico molto frastagliato. Si ha comunque alla base della serie terrigena sempre un deciso limite di permeabilità dovuto alla situazione stratigrafica (settore nord occidentale del versante destro e sud

orientale del versante sinistro); un analogo limite, di natura tettonica si trova invece dove il complesso argilloso arenaceo viene in contatto per faglia con i carbonati (basso e medio versante destro, alto e medio versante sinistro).

Lungo entrambi i versanti a monte di Sora, all'altezza del complesso argilloso arenaceo, corre ininterrottamente un limite di permeabilità in parte stratigrafico e in parte tettonico, lungo il quale sono allineate praticamente tutte le principali sorgenti del bacino; le eccezioni sono rarissime.

Il complesso argilloso arenaceo, che non porta alcun contributo diretto alla circolazione sotterranea ha tuttavia un ruolo idrogeologico fondamentale perché, a causa della sua impermeabilità, limita e condiziona il movimento delle acque nel sottosuolo: esteso con continuità lungo il fondo valle, con una potenza valutata a non meno di 500 metri (cfr. M. PAROTTO), separa nettamente le masse carbonatiche del versante destro da quelle del versante opposto e forma un diaframma impermeabile che divide il bacino in due parti idraulicamente distinte.

Puddinghe poligeniche (p) e loro facies di alterazione superficiale (pa)

Vengono comprese in questa formazione puddinghe che hanno proprietà litologiche molto simili. La roccia non ha una permeabilità primaria molto sviluppata perché il grado di cementazione è elevato; la permeabilità secondaria sembra invece localmente elevata in funzione delle sollecitazioni tettoniche subite. Gli affioramenti si possono dividere in due gruppi in base alla loro giacitura.

Un primo gruppo poggia sul complesso argilloso arenaceo (Broccostella) o in questo si trova parzialmente inglobato (Canistro) per cause tettoniche. Sono affioramenti di pochi chilometri quadrati, e quindi di interesse limitato, che alimentano piccole sorgenti di interesse locale (Fonte Fiuggino presso Canistro). Un secondo gruppo di affioramenti poggia direttamente in trasgressione sui rilievi carbonatici: gli affioramenti di Monte Piano e Monte Prato poggiano su un substrato molto permeabile e non hanno altra influenza che diminuire localmente la penetrazione; l'affioramento che si trova sulle pendici di Monna Rosa poggia probabilmente sui calcari dolomitici a bassa permeabilità.

Date le caratteristiche litologiche delle puddinghe e la scarsa estensione della loro area di affioramento, questa formazione non mostra interessi particolari.

Sotto la quota 500 le puddinghe di Scifelli hanno una coltre di alterazione in sabbioni argillosi rossastri

dello spessore di qualche metro (*pa*): questa copertura ha l'effetto di limitare decisamente le possibilità di infiltrazione delle acque superficiali.

Complesso caotico calcareo dolomitico (ct)

L'ammasso di pezzame calcareo e dolomitico formato da rocce di varia età e delle più svariate dimensioni (da frammenti minuti a pacchi di strati) borda il Torrente dello Schioppo dalle sue sorgenti a Grancia; è stato distinto dalle altre rocce clastiche di copertura per la singolare natura litologica e per la posizione che occupa. Si trova a ridosso del contatto tettonico tra il complesso argilloso arenaceo e i calcari avana permeabilissimi, proprio nel punto in cui questo limite di permeabilità si deprime maggiormente rispetto alle zone circostanti. Per la sua posizione e per l'elevatissima permeabilità il complesso caotico, oltre ad assorbire quasi totalmente le acque meteoriche che cadono sulla sua area di affioramento, viene alimentato lateralmente anche dalle acque che traboccano lungo il limite di permeabilità che ricopre; queste scorrono alla base dell'ammasso caotico che poggia sul complesso argilloso arenaceo e alimentano lateralmente il torrente dello Schioppo, l'unico affluente di destra che ha una portata di magra superiore a 1 mc/sec. Il complesso contiene quindi una ricca falda bene alimentata e solo in parte utilizzata, che può fornire ulteriori possibilità di sfruttamento.

Puddinghe fluvio-lacustri (ps)

Queste puddinghe che affiorano ampiamente a sud del Fibreno sono note come puddinghe di Santopadre; formate da elementi prevalentemente carbonatici legati da cemento calcareo sabbioso sono grossolanamente stratificate e passano lateralmente a livelli e lenti di sabbie e limi, argille limose e travertini. La formazione, eterogenea per l'alternanza di orizzonti a diverso comportamento, possiede nel complesso una discreta permeabilità primaria per porosità; sebbene sia stata esente da intense sollecitazioni tettoniche e abbia una giacitura che poco si discosta dalla orizzontale è interessata da una fessurazione marcata che accentua la permeabilità e facilita l'infiltrazione tanto da favorire lo sviluppo di forme carsiche giovanili; anche la morfologia regolare, dove rari sono i pendii molto acclivi, favorisce il processo di penetrazione. Questi terreni, pur rientrando nel gruppo delle rocce poco permeabili, contribuiscono alla ricarica delle falde idriche.

Il ruolo idrogeologico della formazione è sostanzialmente condizionato dal fatto che le puddinghe

poggiano su un basamento permeabile (*c*): ne consegue che le acque di infiltrazione che penetrano e raggiungono il basamento, scendono facilmente in profondità e non ritornano in superficie nell'area esaminata in questo studio. Solo in corrispondenza di intercalazioni di strati e lenti a minore permeabilità si formano esigue falde discontinue che alimentano pochissimi pozzi e alcune sorgenti con portate di magra raramente superiori a 1 l/sec; per questi motivi gli affioramenti di puddinghe sono aree poverissime di risorse idriche.

Formazione lacustre antica (l)

La formazione raggruppa terreni di diversa natura con caratteri idrogeologici molto vari; affiora in una vasta area estesa a tutta la conca di Sora, dalle falde meridionali del rilievo di Serra Alta al piede settentrionale delle colline di Costa Ria e Colle Mastroianni; un altro lembo circonda il lago di Posta Fibreno.

In affioramento è possibile osservare solo gli strati più superficiali: si sono quindi ricercate informazioni sui terreni più profondi nella stratigrafia dei pozzi perforati per ricerche idriche e conducendo una apposita campagna di prospezione geoelettrica, i cui risultati verranno esposti più avanti. Si può anticipare che il deposito lacustre, di spessore variabile tra 100 e 150 m poggia su un substrato carbonatico ed è costituito da alternanze abbastanza regolari di rocce a diversa permeabilità disposte in strati, banchi e lenti.

Nei terreni più prossimi alla superficie, sabbie e limi con torbe prevalenti, è contenuta una falda estesa e continua, soprattutto nella parte settentrionale della pianura (ne fa fede la distribuzione dei pozzi), che si trova in evidente rapporto idraulico con la falda di subalveo del Liri. Per la bassa permeabilità dei terreni che la contengono la falda superficiale non offre buone prospettive di utilizzazione; veniva fino a pochi anni addietro emunta da pozzi profondi pochi metri, oggi in via di graduale abbandono. La quota del pelo libero dell'acqua è prossima al piano di campagna, varia sensibilmente con il regime delle precipitazioni e risente gli effetti dell'irrigazione.

Una falda più interessante si trova in media fra i 40 e gli 80 m di profondità, in un orizzonte di travertini, esteso con continuità al di sotto della pianura e affiorante solo in alcuni punti. Questo orizzonte permeabile e poroso contiene una ricca falda sostenuta da un livello argilloso e utilizzata da pozzi perforati a emungimento meccanico.

Alluvioni antiche terrazzate (at)

Questa formazione si è conservata in lembi discontinui con uno spessore massimo di 35 m, lungo il basso corso del fiume a valle di Balsorano. È formata da conglomerati a debole matrice argillosa, con passaggi a sabbie, limi e travertini spugnosi, che hanno una tipica permeabilità primaria per porosità; poggiano sul basamento impermeabile di fondo valle (*ar*) e contengono una falda caratterizzata da un deflusso regolare e costante, parzialmente emunta da alcuni pozzi e da piccole sorgenti; la maggior parte del flusso va ad alimentare lateralmente la falda di subalveo posta nelle alluvioni recenti che poggiano su questa formazione.

Brecce e conoidi antichi cementati (bc)

Queste formazioni detritiche sono formate da ammassi di ciottoli spigolosi saldamente legati da un tenace cemento calcareo; alla notevole porosità primaria associano una permeabilità per fratturazione localmente molto sviluppata (Balsorano).

Le brecce sono estese soprattutto lungo la Val Granara entro i limiti del bacino idrogeologico e si trovano in lembi minori all'interno del bacino imbrifero (Zompo lo Schioppo); hanno una forte capacità di assorbimento e possono facilmente trasmettere al substrato permeabile che le sostiene le acque di infiltrazione: non influenzano quindi sostanzialmente le generali condizioni idrogeologiche.

I conoidi, con proprietà analoghe a quelle delle brecce hanno in genere una diversa giacitura: i maggiori affioramenti, che si estendono presso Balsorano, poggiano almeno in parte sul complesso argilloso arenaceo. Le acque meteoriche e di scorrimento superficiale provenienti dalla parte alta dei versanti penetrano facilmente in profondità e si accumulano alla base dei conoidi dove, sostenute dal basamento impermeabile, formano una ricca falda che alimenta numerose sorgenti perenni a regime irregolare poste al piede dei conoidi.

Travertini (tr)

Affioramenti di travertino, di estensione relativamente modesta sono distribuiti soprattutto nella bassa valle: Val Radice, Fontechiari, Conca di Sora e Isola del Liri; sono in genere depositi eteropici di formazioni clastiche fluvio-lacustri. Si tratta sempre di rocce porose, vacuolari a forte permeabilità primaria; di particolare interesse sono i travertini contenuti nella formazione lacustre antica che affiorano nel settore meridionale della

conca di Sora e si estendono in profondità; sono stati attraversati da numerosi sondaggi e contengono una falda già utilizzata da numerosi pozzi equipaggiati con pompe sommerse. Affioramenti minori si trovano in corrispondenza delle sorgenti principali: particolarmente estesi presso la Sponga coprono le « sorgenti geologiche » e non permettono di conoscerne, con un semplice esame di superficie, la vera quota.

Terre rosse (qr)

L'estensione delle terre rosse è certamente superiore a quella che è possibile cartografare alla scala della carta idrogeologica. Sono diffuse su gran parte dei rilievi carbonatici dove hanno l'effetto di limitare l'infiltrazione perché ostruiscono le fessure aperte dalla tettonica. Nelle depressioni più vaste si accumulano per spessori di alcuni metri (Piano della Renga, Campo Rotondo, ecc.) e ne impermeabilizzano la base; queste coperture a bassa permeabilità hanno possibilità di utilizzazione analoga a quella proposta per le lenti di argille (*ag*) intercalate a rocce carbonatiche: possono essere impiegate come base di piccoli bacini montani a servizio della pastorizia.

Alluvioni recenti terrazzate e alluvioni attuali e subattuali (a)

Mancano nell'alta valle dove il manto alluvionale è limitato alla estensione del letto minore; a valle di Capistrello le alluvioni sono più estese ma non raggiungono mai dimensioni tali da divenire un orizzonte acquifero di grande interesse nell'economia idrogeologica del bacino. Sono formate da ciottoli elaborati, con matrice sabbiosa e localmente argillosa, o da ghiaie sciolte con passaggi a sabbie e limi che nella piana di Sora divengono dominanti. A monte di Sora i depositi alluvionali sono molto permeabili e la loro porosità efficace è elevatissima; poggiano sul complesso argilloso arenaceo e avrebbero quindi tutte le caratteristiche per rappresentare un ottimo orizzonte acquifero produttivo. Lo scarso interesse che rivestono è dovuto alla loro limitata estensione areale e allo spessore che non supera mediamente i 3 m; dove la curva di fondo del fiume si deprime (presso Balsorano e a monte della confluenza con il torrente dei Sassi), o in corrispondenza di localizzati apporti laterali (confluenza con il torrente Lacerno) il manto alluvionale è più esteso e lo spessore può raggiungere i 5 m.

A Valle di Sora i depositi alluvionali si sovrappongono alla facies limoso-argillosa della forma-

zione lacustre antica fino a confondersi con questa, tanto che definirne i limiti risulta assai difficoltoso.

I pozzi che emungono la falda di subalveo del fiume Liri mancano nell'alta valle. I primi si trovano qualche chilometro a sud di Balsorano all'altezza di Le Compre: si tratta in genere di pozzi scavati a emungimento manuale. Immediatamente a monte di Sora e più a valle, lungo il corso del fiume, fino alle cascate di Isola del Liri i pozzi scavati nelle alluvioni sono più numerosi, ma il loro rendimento è sempre modesto; non mancano alcuni pozzi perforati, equipaggiati con piccole pompe elettriche che tuttavia, a causa della scarsa permeabilità della coltre alluvionale prevalentemente sabbioso-limosa, erogano portate molto modeste.

Detriti di falda e conoidi recenti e attivi, incoerenti (dr) o con matrice terrosa (da)

I detriti di falda e i conoidi mancano sul versante destro a monte delle sorgenti di Rio Sonno; sono molto estesi invece da Capistrello a Zompo lo Schioppo. Lungo questo tratto i conoidi si appoggiano a monte sul versante calcareo e si vanno a saldare a valle con l'ampia fascia di detrito di falda che supera localmente la larghezza di 1 km e lo spessore di alcune decine di metri (S. Savino). Tra Zompo lo Schioppo e Sora la coltre detritica scende lungo le incisioni più marcate per aprirsi più a valle in una fascia larga circa un centinaio di metri, dello spessore presunto variabile fra 10 e 20 m, che borda con continuità il piede del versante carbonatico. Sul versante sinistro i detriti sono particolarmente diffusi fra Petrella Liri e Capistrello mentre i conoidi si trovano a monte di Morrea, all'altezza de I Ridotti e Val Para. Sono tutti allineati lungo i versanti all'altezza del contatto litologico fra le formazioni carbonatiche e il complesso argilloso arenaceo, dove il pendio passa da valori superiori al 50% a valori inferiori al 40%, come mostra la Carta delle acclività. La loro posizione e estensione sembra condizionata da alcuni fattori locali: si può osservare che l'abbondanza di materiale detritico lungo il tratto che corre da Castellafiume a Zompo lo Schioppo è facilmente correlabile con l'intensa fratturazione che ha interessato le rocce affioranti sul versante carbonatico, fratturazione che proprio in quel tratto raggiunge la massima intensità rispetto agli altri versanti del bacino; l'abbondanza di detriti non si può invece, in questa zona, mettere in relazione con l'acclività che, sebbene marcata, non è superiore a quella degli altri versanti. Questi de-

positi superficiali sono stati distinti in base all'abbondanza del legante terroso. Sul versante destro, presso Zompo lo Schioppo, si trovano infatti alcuni conoidi e ampie fasce di materiale detritico caratterizzato da una forte componente terrosa (*da*): questi terreni hanno una permeabilità molto inferiore rispetto agli analoghi detriti privi di legante e hanno di conseguenza un comportamento idrogeologico diverso. Al di fuori di queste eccezioni, che è parso opportuno segnalare, i conoidi e i detriti di falda sono molto permeabili e porosi: assorbono quasi completamente, non solo le acque che precipitano direttamente sulla loro area di affioramento, ma immagazzinano anche parte delle acque di scorrimento superficiale che provengono dal reticolo a cui fanno capo. La coltre detritica si trova a monte appoggiata al piede del versante carbonatico e a valle sul complesso argilloso arenaceo; le acque immagazzinate scorrono quindi sul basamento impermeabile e defluiscono al piede dando origine a numerosissime sorgenti con regime molto irregolare strettamente legato a quello delle precipitazioni. Le emergenze sono diffuse su un'area generalmente vasta e alimentano rivoli modestissimi ed effimeri che si disperdono lungo il versante; questo fenomeno si osserva alla base di ogni conoide e di tutta la coltre detritica.

La forte permeabilità, l'estensione limitata a poche centinaia di metri di larghezza, lo spessore dell'ordine dei 10-20 m e la pendenza del substrato impermeabile che non è mai inferiore al 30-40% sono cause sufficienti a facilitare un rapido deflusso delle acque immagazzinate. Dove invece la coltre detritica è più estesa, la permeabilità minore e le altre componenti più favorevoli (Meta, S. Savino, Val Para, I Ridotti) al piede dei conoidi e dei detriti si trovano sorgenti perenni, che non superano la portata di magra di 1 l/sec e possono avere interesse locale per l'approvvigionamento idrico di piccoli centri rurali o di zone tenute a pascolo.

INFLUENZA DELLA TETTONICA SULLA CIRCOLAZIONE PROFONDA

La struttura tettonica del bacino è quella tipica delle vallate dell'Appennino centrale (cfr. M. PAROTTO). Sul versante sud-occidentale una grande piega faglia, che passa verso sud a un marcato sovrascorrimento, determina l'accavallamento della serie carbonatica mesozoica permeabile sulla serie terrigena neogenica impermeabile, che si trova estesa lungo tutto il fondovalle; il fenomeno, evi-

dentissimo fra Sora e Morino, si va gradualmente smorzando da Morino a Cappadocia. Sul versante nord-orientale una faglia diretta appenninica, con rigetto crescente da nord a sud fino a un massimo di oltre 3000 m, ribassa la serie terrigena neogenica rispetto alla monoclinale carbonatica che forma l'ossatura del versante. Questa semplice schematizzazione è, in prima approssimazione, valida dalla testata del bacino fino all'altezza di Sora dove la situazione tettonica si fa più complessa.

La principale conseguenza che deriva dalle condizioni strutturali è che i due versanti carbonatici, dove ha sede una più o meno sviluppata circolazione sotterranea, sono fra loro idraulicamente separati dalla fascia di terreni impermeabili (*ar*) ribassati lungo il fondovalle: ne consegue che non vi è alcun rapporto diretto fra l'idrogeologia dei due versanti.

Sul versante destro l'assetto strutturale condiziona nettamente la situazione idrogeologica. Le modalità con cui è avvenuto l'accavallamento della serie carbonatica su quella terrigena indicano che lungo il settore che va da Sora a Morino il motivo traslativo è stato più intenso che tra Morino e Cappadocia: nei rilievi del Pizzo Deta, Serra Comune e Serra Alta la serie carbonatica ha subito un sollevamento maggiore rispetto alla parte più settentrionale del versante, tanto che le formazioni calcaree più recenti (*c* e *co*) sono state in parte laminate, in parte sollevate a quote elevate ed erose più rapidamente di quanto non si sia verificato più a nord, dove l'intensità del fenomeno tettonico è stata più contenuta e il sollevamento minore. Ne consegue che nei rilievi a valle di Morino (fa eccezione la valle del Rio dove, per una situazione tettonica localizzata, le formazioni carbonatiche permeabili sono state risparmiate dall'erosione) le formazioni permeabili, più idonee a contenere falde idriche, mancano quasi completamente e i terreni calcareo-dolomitici, a bassa permeabilità, vengono a contatto diretto con il complesso argilloso-arenaceo. Situazione diversa si ha a NW di Morino dove la componente traslativa è stata gradualmente meno intensa: al contatto con la formazione argilloso-arenacea si trova dapprima una fascia di calcari permeabili del Cretacico (*c*), larga meno di 1 km, che aumenta gradualmente di spessore; all'altezza di Canistro, a contatto della serie impermeabile del fondovalle, si trovano le brecce monogeniche (*br*) ancor più recenti. L'estensione in affioramento dei terreni più permeabili, che si trovano al tetto della serie calcarea, cresce in ragione inversa dell'entità di

traslazione subita dal rilievo: mancano del tutto nella parte meridionale del versante e raggiungono la massima estensione dove gli effetti del movimento traslativo hanno avuto minor peso.

Questa situazione geologica si riflette nettamente sulla idrogeologia: tra la testata della valle e Morino, dove i terreni permeabili si trovano limitati ad ovest da calcari dolomitici poco permeabili (*cd*) e sul fronte nord orientale vengono a diretto contatto con la formazione impermeabile di fondovalle, si ha un allineamento di numerose e grandi sorgenti; tra Morino e Sora, lungo il contatto fra i calcari dolomitici poco permeabili e il complesso argilloso arenaceo, non vi sono sorgenti perché viene a mancare la roccia serbatoio capace di contenere la falda in grado di alimentarle.

Sul versante sinistro, a nord di Val Para, sono due i principali elementi strutturali che influenzano la circolazione sotterranea: la giacitura della grande monoclinale carbonatica e l'andamento della faglia diretta appenninica. La monoclinale, regolarmente immersa a NE, facilita lo scorrimento profondo verso l'esterno del bacino e tende ad allontanare le acque d'infiltrazione; la faglia diretta pone a contatto la serie carbonatica con quella terrigena impermeabile: questi due fattori impediscono lo scorrimento verso l'interno del bacino e vengono di conseguenza a mancare, sul versante sinistro, condizioni idrogeologiche che possano originare sorgenti ben alimentate. All'altezza di Val Para la grande faglia appenninica si perde entro la struttura carbonatica, la giacitura dei terreni si inverte e si delinea una zolla monoclinale con immersione a SW. Il limite di permeabilità fra serie carbonatica e terrigena, divenuto stratigrafico, si deprime profondamente e si vengono a creare quelle condizioni strutturali eccezionalmente favorevoli che danno origine alle sorgenti del Fibreno, fra le più grandi dell'Italia centrale.

Dalla situazione descritta si può dedurre che il complesso argilloso-arenaceo sbarrava la circolazione sotterranea verso SW lungo tutto il versante sinistro della valle; l'intero drenaggio verso occidente va a convergere nell'unico punto in cui la quota di affioramento del complesso terrigeno raggiunge la massima depressione. Questa situazione, molto chiara, conferma l'ipotesi dell'assoluta indipendenza idrogeologica fra i due versanti carbonatici.

Il settore sud-occidentale del bacino (piana di Sora e rilievi collinari meridionali) si può considerare una conca di sprofondamento (cfr. M. PAROTTO). La linea tettonica che borda a settentrione la piana di Sora ribassa il potente pacco di terreni

carbonatici, segnalato dallo studio geofisico sotto la coltre lacustre, che affiora in pochi punti sui rilievi collinari meridionali; non vi è più traccia sicura della presenza del complesso argilloso-arenaceo la cui estensione è limitata al settore orientale della depressione. Sotto la potente coltre lacustre e conglomeratica che copre la parte meridionale del bacino si dovrebbero quindi trovare terreni molto permeabili e fessurati, probabile sede di intensa circolazione profonda.

CIRCOLAZIONE SOTTERRANEA

Per meglio descrivere la circolazione sotterranea, il bacino è stato diviso in zone, ciascuna delle quali mostra caratteri idrogeologici omogenei e definiti; nell'ambito di ciascuna zona verranno esaminati i tre principali elementi idrogeologici:

- aree di alimentazione e ricarica delle falde sotterranee
- limiti di permeabilità
- livelli di base o di drenaggio naturale

Su questa base verranno individuate le zone di accumulo e le principali direzioni di scorrimento delle acque sotterranee.

Sebbene non se ne faccia esplicito riferimento, nella descrizione che segue ci si riferisce costantemente alla carta idrogeologica.

Le condizioni climatiche del bacino, principale causa della rialimentazione delle falde, sono ampiamente trattate nel capitolo *Condizioni climatiche* di E. LUPA PALMIERI; conviene qui richiamare molto sinteticamente alcuni punti che interessano più direttamente l'infiltrazione e l'evapotraspirazione.

La precipitazione media annua del bacino (periodo 1921-65) è di circa 1406 mm (calcolata col metodo dei topoi); il valore massimo è relativo a Colleparado (mm 1689 in 99 gg. piovosi) e il minimo a Isola del Liri (mm 1230 in 91 gg. piovosi). L'intensità media è di circa 15 mm/gg. con una frequenza di precipitazioni di 97 gg.

La distribuzione stagionale delle precipitazioni presenta caratteri comuni in tutto il bacino: i valori, mediati sull'intero bacino, sono 494,8 mm in inverno, 452,8 mm in autunno 321,9 in primavera e 135,9 mm in estate. Le precipitazioni si concentrano quindi per oltre 2/3 nelle stagioni autunnale e invernale, scendono nella primavera che tuttavia conserva una intensità superiore al doppio di quella estiva; i giorni piovosi sono di-

tribuiti abbastanza uniformemente in autunno, inverno e primavera (rispettivamente 29, 29, 26) e subiscono una netta diminuzione in estate (13).

Le precipitazioni nevose, che interessano particolarmente le infiltrazioni, al di sotto dei 1200 m hanno una frequenza media di 13-14 gg. all'anno (21 a Cappadocia, quota 1157) e sono concentrate soprattutto nei mesi di gennaio e febbraio; l'altezza complessiva del manto nevoso a Cappadocia è di 215 cm/anno con una permanenza di 60 gg., pari approssimativamente a 215 mm di pioggia, e tende ad aumentare con l'altitudine. Mancano dati diretti, ma si può in prima approssimazione considerare che la durata dell'innevamento, sopra i 1300 m di quota subisca un incremento di 15 gg. per ogni 100 m e l'indice di nivosità, che ha un valore medio sul bacino del 12%, superi certamente il 14% e raggiunga probabilmente il 20-25%.

La temperatura media annua relativa a tutto il bacino è di 12,7°; a Capistrello la media delle minime è di 6,2°; i dati termometrici sono tuttavia molto scarsi e la relativa interpretazione necessariamente approssimata.

Di ciascuna zona vengono illustrate anche le condizioni idrogeologiche che danno origine alle sorgenti esistenti; le principali fra queste sono descritte singolarmente o a gruppi. Quando si dispone di dati sufficienti vengono riportate anche le curve di portata messe in relazione con la curva di piovosità media mensile: si è adottato un grafico semilogaritmico (scala numerica per i tempi e logaritmica per le portate e gli afflussi) perché questo sistema di rappresentazione consente di tracciare, dove è possibile, anche la retta rappresentativa dell'esaurimento della sorgente.

Nel bacino del Liri, con clima sublitoraneo appenninico (cfr. E. LUPA PALMIERI - *Condizioni climatiche*) che vede un massimo di precipitazione nel semestre invernale e un minimo nel semestre estivo, la portata delle sorgenti segue il regime delle precipitazioni: raggiunge un massimo in primavera, dopo un periodo di abbondanti afflussi, e cade quindi gradualmente fino a toccare un minimo nei mesi estivi o autunnali (fase di esaurimento); le portate risalgono gradualmente verso un nuovo massimo dopo la ripresa delle precipitazioni. Se mancano gli afflussi meteorici, e il serbatoio naturale non viene quindi rialimentato durante la fase di esaurimento, il regime della sorgente si può considerare non influenzato. Secondo MAILLET, in regime non influenzato, il fenomeno di esaurimento si può rendere analiticamente con

una formula che esprime la caduta esponenziale della portata in funzione del tempo

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Nota la portata iniziale della fase di esaurimento Q_0 al tempo t_0 , e una qualunque altra portata Q_t , misurata dopo un certo tempo t sufficientemente lungo, essendo e la base dei logaritmi neperiani, si può ricavare il coefficiente di esaurimento risolvendo la formula di MAILLET rispetto ad α ; il coefficiente α esprime in sostanza la rapidità con la quale il serbatoio tende a svuotarsi.

Noto α , integrando la formula di MAILLET da t_0 a ∞ si ricava il volume immagazzinato nel serbatoio naturale al tempo t_0

$$V = \int_{t_0}^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt$$

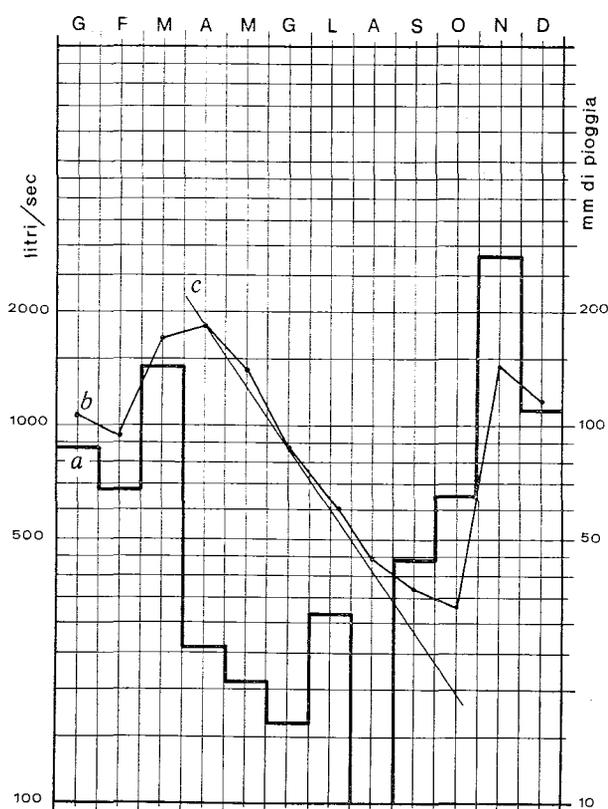


FIG. 94 — Esempio di calcolo del coefficiente di esaurimento α e del volume immagazzinato V , eseguito sui dati di portata delle sorgenti del Liri relativi al 1962.

— Example of calculus, by MAILLET formula, of the recession coefficient α and of the stored volume V , made on the basis of 1962 Liri springs discharge data.

Si dispone delle seguenti portate medie mensili:

Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giù.
1060	940	1720	1800	1370	860
Lugl.	Ag.	Sett.	Ott.	Nov.	Dic.
600	440	370	330	1440	1140

Il procedimento sarebbe analogo impiegando un sufficiente numero di misure rilevate durante l'arco dell'anno. Si riportano su un grafico semilogaritmico, gli afflussi me-

È necessario ribadire che, secondo lo stesso MAILLET, la determinazione di α , al di fuori di un regime non influenzato, ha solo valore relativo al caso in esame e non indica una caratteristica della sorgente; il coefficiente ricavato perde quindi di significato se non viene, di volta in volta, confrontato con la curva della piovosità che ha influenzato il bacino durante la fase di esaurimento; sarà tanto più esatto quanto più le condizioni sperimentali si avvicineranno al caso teorico del regime non influenzato, che difficilmente si verifica nei nostri climi. Su questa base, nei grafici che illustrano il regime delle sorgenti, si è ricavato il valore di α e di V solo nel caso di afflussi molto limitati nel periodo di esaurimento. Una ricarica durante questa fase comporta infatti una diminu-

teorici del più vicino pluviometro (a) e le portate della sorgente (b). La fase di esaurimento, che nel nostro caso ha inizio in aprile, ha un andamento regolare fino a luglio; le piogge di questo mese, superiori a 30 mm, tendono a sostenere in agosto il valore della portata. Si sceglie quindi l'intervallo della fase di esaurimento compreso fra il 15 di aprile ed il 30 di luglio che risulta di 105 giorni (considerando tutti i mesi di 30 giorni) e si traccia la retta c che schematizza l'andamento del fenomeno di esaurimento. Le portate relative all'inizio e alla fine del periodo considerato sono rispettivamente 1800 e 500 l/sec.

Si applica la formula di Maillet $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ che può venire espressa come $\log Q_t = \log Q_0 - (\alpha \log e) t$; dove $\log e = 0,4343$.

Si dispone di $Q_0 = 1800$; $Q_t = 500$; $t = 105$; sostituendo nella formula si ricava

$$\log 500 = \log 1800 - (0,4343 \alpha) 105$$

$$2,69897 = 3,25527 - (45,60 \alpha)$$

$$\alpha = \frac{0,55630}{45,60} = 0,01219$$

Per il calcolo dell'immagazzinamento nel serbatoio naturale al tempo t_0 (15 di aprile) si considera che

$$V = \int_{t_0}^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt$$

$$V = Q_0 \left[-\frac{1}{\alpha} \right] \left[e^{-\alpha t} \right]_0^{\infty} = -\frac{Q_0}{\alpha} \left[\frac{1}{e^{\alpha t}} \right]_0^{\infty}$$

$$V = -\frac{Q_0}{\alpha} \left[\frac{1}{e^{\alpha \cdot \infty}} - \frac{1}{e^{\alpha \cdot 0}} \right]$$

Il primo termine in parentesi quadra è 0, il secondo è -1 per cui si ricava

$$V = \frac{Q_0}{\alpha}$$

Dovendo esprimere il volume in m^3 si divide la portata per 1000; per passare dai giorni ai secondi si moltiplica per 86400. Si ricava

$$V = \frac{Q_0 \cdot 86400}{\alpha}$$

nel nostro caso

$$V = \frac{1,8 \cdot 86400}{0,01219} = 12,75 \cdot 10^6 m^3$$

Volume immagazzinato il 15 aprile, nel bacino di alimentazione.

zione nella pendenza della retta di esaurimento e fornisce un valore di α minore di quello reale.

Nella figura 94 è riportato un esempio completo del calcolo di α e V ; negli altri grafici di portata che seguono verranno indicati solo i risultati.

I valori di α e V hanno notevole interesse pratico perché permettono di conoscere, non solo la legge con la quale la portata tende ad esaurirsi, ma soprattutto perché permettono di valutare le risorse idriche disponibili nel bacino e di fare previsione sulla portata minima delle sorgenti con un lungo periodo di anticipo. Negli anni di particolare siccità è possibile valutare quale sarà la portata minima di una sorgente dopo un certo tempo, ad esempio un mese o due, se nuove precipitazioni non ricaricheranno l'acquifero; la possibilità di conoscere la disponibilità idrica con anticipo può avere notevole interesse nella progettazione dei piani di approvvigionamento.

Versante destro: da Cappadocia a Canistro

Il versante nord-occidentale del bacino è formato da una piega con asse appenninico e marcata vergenza a NE, formata da un'ossatura di terreni carbonatici mesozoici e miocenici che, sul fianco orientale, passano al complesso argilloso-arenaceo alto miocenico.

La struttura, da nord a sud, tende ad evolvere verso le condizioni di piega faglia; al nucleo affiorano calcari-dolomitici giuresi (*cd*) sui quali poggiano direttamente in trasgressione breccie monogeniche del Miocene (*br*), che più a sud ricoprono i calcari avana del Cretacico (cfr. M. PAROTTO).

Il versante ha quindi un basamento calcareo-dolomitico a bassa permeabilità, immerso a NE, sul quale poggiano i calcari permeabili del Cretacico o le breccie monogeniche trasgressive.

Dominano gli affioramenti di breccie, che coprono interamente il settore nord-occidentale e si vanno riducendo gradualmente verso sud, dove vengono sostituite in affioramento dai calcari avana; i calcari dolomitici bordano il bacino idrogeologico a occidente, affiorano in una ristretta zona a monte delle sorgenti di Rio Sonno e si spingono in profondità con netta inclinazione a NE; il complesso argilloso-arenaceo borda il rilievo carbonatico a NE e si estende sul fondo valle.

Aree di ricarica delle falde idriche - Tutto il versante carbonatico si può considerare una zona ideale per l'alimentazione delle falde sotterranee perché i terreni che vi affiorano sono permeabili, la morfologia favorevole e gli afflussi abbondanti.

Il versante calcareo, molto acclive all'estremo margine orientale, ha una morfologia assai varia ma non aspra all'interno della catena dove le dorsali si alternano a pianori depressi, circondati e disseminati di forme carsiche superficiali. Si distinguono tre bacini endoreici: il bacino della Renga, esteso su una superficie di 6,98 km², il solo situato all'interno dello spartiacque e quindi l'unico delimitato sulla carta idrogeologica; il bacino di Campo Rotondo e la grande depressione del lago di Pratalata, al di fuori del bacino imbrifero, ma entro il bacino idrogeologico.

Gli allineamenti di doline sono disposti di preferenza lungo una fascia orientata NW-SE, che a partire da Il Montarozzo passa attraverso il Piano della Renga, Colle Pretaro, Castello della Ceria e raggiunge Campo Rotondo dove il carsismo superficiale assume uno sviluppo considerevole; prosegue lungo la depressione del Lago di Pratalata e si continua al di fuori del bacino nella Valle della Dogana. Sulla Carta Idrogeologica sono segnate solo le forme carsiche più evidenti ed estese; in realtà, attorno alle maggiori, si trovano molte altre doline più piccole che non è stato possibile riportare data la scala di rappresentazione. L'allineamento NW-SE è parallelo alla direzione delle faglie dirette appenniniche che, per il loro carattere distensivo, possono aver favorito lo sviluppo del fenomeno carsico. Sebbene il carsismo assuma un discreto sviluppo superficiale si ha motivo di ritenere che il fenomeno morfologico sia ancora lontano dalla maturità.

Il sollevamento che ha portato le breccie calcaree monogeniche della Renga alla definitiva emersione non è avvenuto prima dell'inizio del Pliocene; d'altra parte le linee tettoniche dominanti, dovute alla componente prevalentemente tangenziale, sono in questo settore piuttosto blande e hanno un carattere chiaramente compressivo che non lascia fratture aperte lungo le quali lo scorrimento sotterraneo possa più rapidamente aprirsi condotti estesi e sviluppati. Le forme carsiche, impostate su terreni a forte permeabilità, si trovano ancora allo stato giovanile perché non è trascorso il tempo necessario allo sviluppo di un maturo carsismo profondo; si può avanzare l'ipotesi che la causa di questo ritardo sia dovuta, almeno in parte, alle condizioni tettoniche che non hanno favorito il fenomeno. È noto infatti che in molte zone dell'Appennino, in terreni della stessa età e con caratteri litologici analoghi, dove non ha agito una tettonica compressiva o dove a questa è seguita una fase con marcati caratteri distensivi, si trova

oggi un carsismo così evoluto da essere a volte spettacolare.

La mancanza di un carsismo maturo, oltre che da osservazioni geologiche e morfologiche è soprattutto confermato dal regime delle grandi sorgenti, alimentate da falde contenute nei terreni carbonatici, che risulta privo di un legame stretto e immediato con quello delle precipitazioni. I percorsi sotterranei dell'ordine di 2-3 km, in aree interessate da un carsismo evoluto, dovrebbero determinare ritardi tra afflussi meteorici e deflussi dell'ordine di pochi giorni. Ciò decisamente non si riscontra nei dati di portata che si hanno a disposizione, in nessuna sorgente e in un periodo di lunghi anni di osservazione, perché il ritardo medio calcolabile è superiore ai 45 gg. L'unica eccezione è la sorgente di Zompo lo Schioppo, caratterizzata da grande irregolarità.

La presenza di un carsismo limitato allo stadio giovanile garantisce una buona alimentazione delle riserve idriche sotterranee, cui non fa riscontro un rapido svuotamento dei serbatoi naturali, che è fenomeno tipico dei reticoli carsici maturi; si ha, da una parte, il vantaggio di una facile e abbondante penetrazione delle acque superficiali e dall'altra quello di un graduale deflusso sotterraneo, secondo le leggi di un moto lento e regolare attraverso un reticolo di fessure minute.

Limiti di permeabilità - I limiti di permeabilità di maggior interesse sono due: uno *occidentale*, al contatto tra i terreni calcarei (*c* e *br*) permeabili e la formazione calcareo-dolomitica meno permeabile; l'altro *orientale*, lungo il contatto fra le breccie monogeniche e il complesso argilloso arenaceo decisamente impermeabile (*ar*).

I calcari dolomitici hanno una permeabilità sicuramente inferiore a quella delle breccie e dei calcari avana (cfr. *Idrogeologia delle formazioni*); si delinea quindi al loro contatto un limite di permeabilità che va inteso come una superficie rappresentativa che divide schematicamente terreni a permeabilità diversa. Si può interpretare la funzione di questo limite dicendo che il flusso medio che in un lungo intervallo di tempo attraverso la superficie è inferiore all'infiltrazione media che si registra in affioramento nello stesso intervallo; le acque sotterranee trovano infatti difficoltà a penetrare nei calcari dolomitici; tendono quindi ad accumularsi entro i terreni permeabili che poggiano sulla superficie di discontinuità e a scorrere verso l'interno del bacino del Liri, essendo più difficoltoso il deflusso in senso opposto (fig. 95).

La scelta del limite di permeabilità *c-cd* ha comportato necessariamente un considerevole allargamento verso occidente del bacino idrogeologico e quindi l'individuazione di una più ampia area di alimentazione rispetto a quella definita dalla linea di displuvio.

Lungo il basso versante corre il limite di permeabilità fra le breccie calcaree monogeniche e il complesso argilloso arenaceo, definito come limite orientale. L'andamento della linea di contatto tra i due terreni è molto frastagliata per la presenza di lenti di breccie entro la parte basale del complesso argilloso-arenaceo e quindi difficilmente definibile nei suoi dettagli; si tratta di una superficie con direzione generale NW-SE e marcata immersione a SW. Lungo il contatto si trovano allineate numerose sorgenti di trabocco, situate in

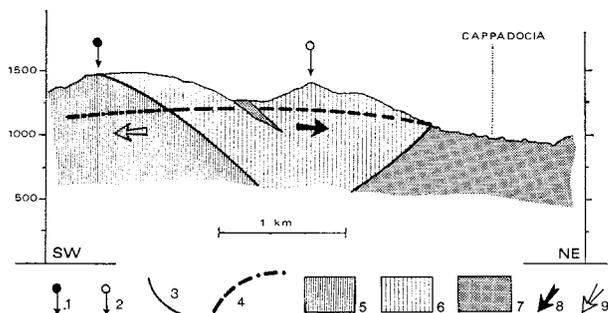


FIG. 95 — Profilo idrogeologico tracciato sulla base del profilo geologico n° 1 (cfr. Carta Idrogeologica).

1) Limite del bacino idrogeologico; 2) Limite del bacino imbrifero; 3) Limiti di permeabilità principali; 4) Probabile andamento della superficie freatica (a tratti) e suo ipotetico prolungamento (a tratti e punti); 5) Rocce poco permeabili; 6) Rocce permeabili; 7) Rocce impermeabili; 8) Direzioni di scorrimento sotterraneo riconosciute (8) e probabili (9). I gradienti idraulici sono esagerati. La falda contenuta nelle rocce permeabili è chiusa a SO e a NE da limiti di permeabilità. La quota di affioramento del limite orientale è inferiore a quella del limite occidentale; questa situazione determina lo scorrimento sotterraneo verso l'interno del bacino (freccia nera). Si può ipotizzare anche l'esistenza di una perdita attraverso il limite di permeabilità occidentale che determinerebbe una direzione di scorrimento verso ovest (freccia bianca). Il bacino idrogeologico si estende a SW oltre lo spartiacque superficiale.

— Hydrogeological section based on the geological section n. 1 (see hydrogeological map).

1) Boundary of the groundwater basin; 2) watershed boundary; 3) permeability main boundaries; 4) possible trend of water table (dashed) and hypothetical continuation (dash and dots); 5) weakly permeable rocks; 6) permeable rocks; 7) unpermeable rocks; groundwater flow direction detected (8) and inferred (9). Hydraulic gradients have been exaggerated. The water bearing formation is closed to SW and NE by the permeability boundaries. Outcropping level of the eastern boundary is lower than that of the western one. This fact causes a groundwater flow toward the inside of the basin (black arrow). Water loss through the permeability western wall, which could cause a flowage toward West, could be inferred (white arrow); the groundwater basin is extended to SW, beyond the watershed.

genere entro le valli trasversali, dove il limite di permeabilità rientra e si deprime a causa della sua giacitura a reggipoggio.

Livello di base - Il livello di drenaggio naturale delle acque contenute nella struttura carbonatica non si trova a una quota fissa in un punto localizzato, ma segue il limite di permeabilità posto a contatto fra le breccie e il complesso argilloso-arenaceo: ne fa fede l'allineamento di grandi sorgenti, che drenano il serbatoio costituito dai carbonati, e che si trovano lungo il suo affioramento. La quota media non si allontana dai 900 m.

Zona di accumulo e principali direzioni di scorrimento delle acque sotterranee - I terreni permeabili

(*c* e *br*) hanno un elevato coefficiente di immagazzinamento e sono idonei a contenere un'abbondante falda perché la loro giacitura rispetto alle altre formazioni è tale da farne un grande serbatoio chiuso da limiti di permeabilità; il limite occidentale affiora a una quota che non scende sotto 1200 m, mentre il limite orientale corre in affioramento a una quota vicina ai 900 m; quella parte delle acque sotterranee che non defluisce verso occidente attraverso il limite di permeabilità (*c-cd*) viene sbarrata a oriente sotto la quota 900; si accumula di conseguenza entro le rocce permeabili e trabocca a NE dove il limite idraulico è maggiormente depresso (fig. 95).

Lo schema di circolazione delle acque sotter-

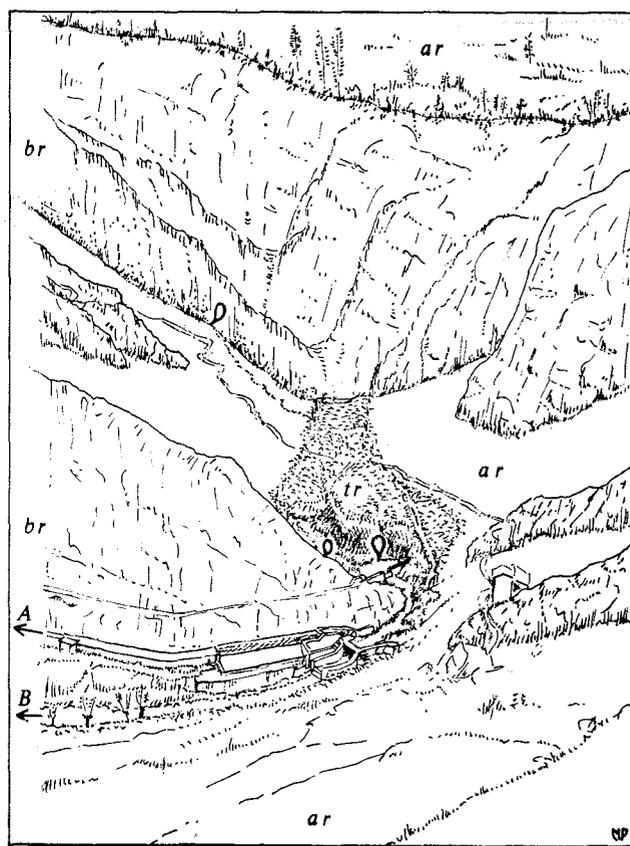


FIG. 96 — Sorgenti del Liri viste da Cappadocia.

Le acque sgorgano da grandi lenti di breccie mioceniche (*br*) intercalate nel complesso argilloso arenaceo (*ar*); a causa di una linea tettonica secondaria, che passa poche centinaia di metri più a sud, le lenti vengono in contatto idraulico con il versante carbonatico dove si estende il bacino di alimentazione che ha un'estensione non inferiore a 25 km². Si individuano 3 principali sorgenti (segnate nel disegno) che erogano complessivamente in media 1 m³/sec; la più grande si trova al piede dell'ammasso di travertino (*tr*) che occupa il fondovalle e maschera « la sorgente geologica » posta al piede della grande lente di breccie che si trova più a monte. È visibile sulla destra una centralina di sollevamento che serve Cappadocia e a sinistra un'opera di derivazione per la centrale idroelettrica di Canistro (*A*); a valle di questa rimane nell'alveo poco più che un ruscello (*B*). (Disegno di M. PAROTTO).

— Liri Springs seen from Cappadocia.

Water springs from large lenses of miocenitic breccia (*br*) interbedded in the shaly arenaceous complex (*ar*); by a tectonic line passing a few hundred meters southward, lenses come in hydraulic contact with the carbonatic structure where the recharge area, not smaller than 25 km², is extended. There are three main springs (marked in the drawing) with a total average discharge of 1 m³/sec; the largest is at the foot of travertine (*tr*) which lies on the bottom of the valley and masks the « geological spring » located in the breccia lens. On the left a plant diverting water to the hydroelectric power plant of Canistro (*A*); downstream only a creek remains (*B*) (drawn by M. PAROTTO).

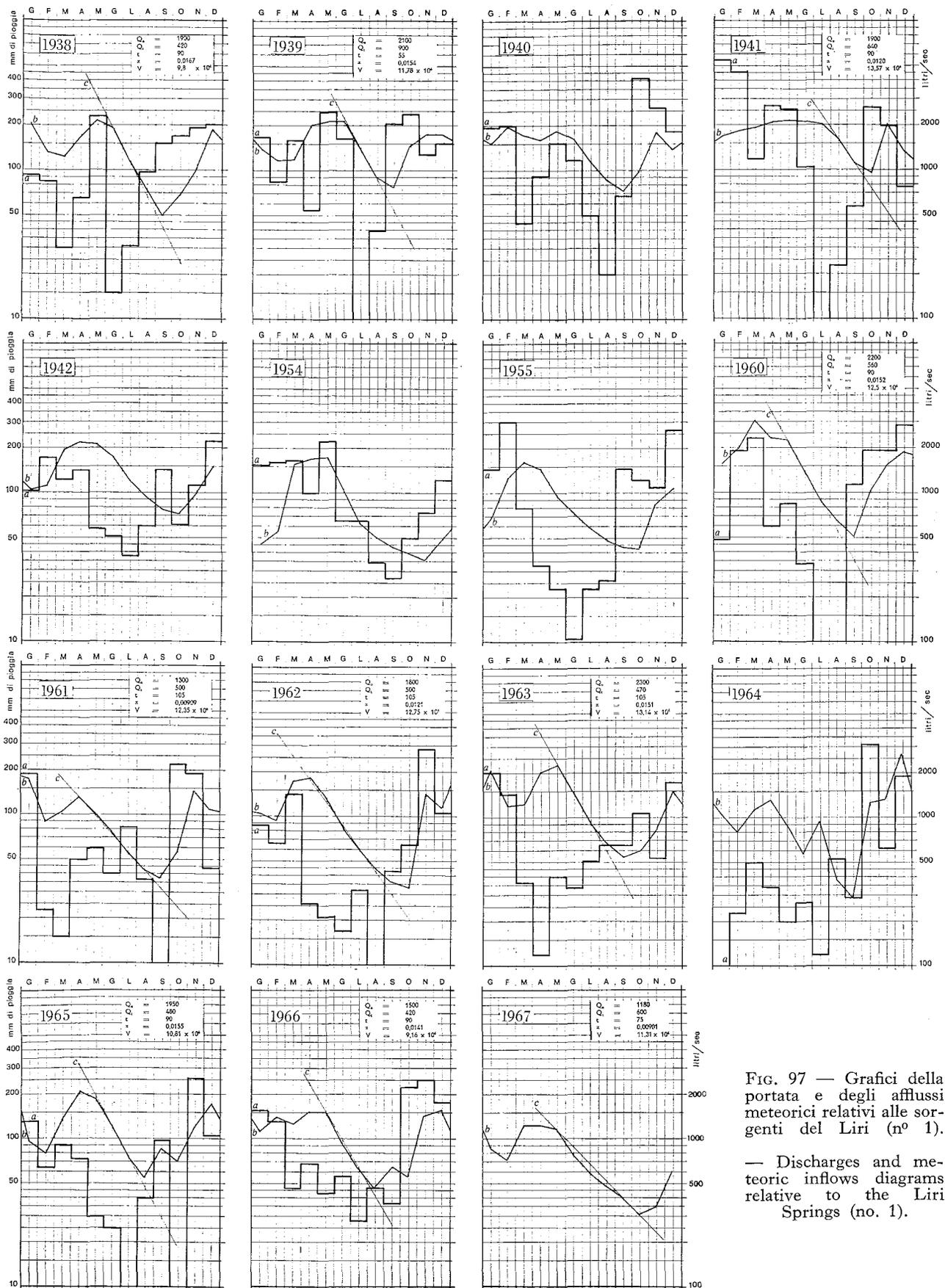


FIG. 97 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alle sorgenti del Liri (n° 1).
 — Discharges and meteoric inflows diagrams relative to the Liri Springs (no. 1).

ranee, che figura sulla carta idrogeologica, nel settore nord occidentale del bacino, indica un probabile scorrimento verso SW attraverso il limite di permeabilità e una sicura direzione di scorrimento verso l'interno del bacino, schematizzata da due frecce diversamente orientate.

Sorgenti

Tutte le principali sorgenti del versante destro, fra Cappadocia e Canistro, sono di trabocco e si trovano allineate lungo il limite di permeabilità che corre tra il complesso argilloso arenaceo e le breccie calcaree monogeniche; sono legate alla grande falda contenuta nelle breccie che viene drenata in punti diversi, dove il limite di permeabilità mostra una depressione relativa. Solo apparentemente fanno eccezione a questa regola le sorgenti dei Tassi e San Vito, poste al piede della fascia detritica che si appoggia alla parete carbonatica e copre a valle parte del complesso argilloso arenaceo; semplici considerazioni indicano tuttavia chiaramente che anche queste sono alimentate dal grande serbatoio naturale delle breccie.

Sorgenti minori, con portata in genere inferiore a 1 l/sec, sono legate alle lenti di breccie inglobate nel complesso argilloso-arenaceo, al detrito di falda, alla coltre di alterazione del complesso argilloso-arenaceo o, come nel caso delle sorgenti della Renga, a lenti argillose che formano limiti di permeabilità entro le breccie monogeniche.

Le *Sorgenti del Liri* si trovano immediatamente a sud di Cappadocia, alla testata della Valle; non stanno direttamente al contatto fra l'ammasso di breccie calcaree monogeniche e il complesso argilloso-arenaceo, ma più precisamente sgorgano da una grande lente di breccie, immersa con giacitura subverticale entro la formazione terrigena neogenica. Si tratta di un gruppo di tre principali sorgenti che hanno una portata media complessiva prossima a 1 m³/sec (fig. 96); questa notevole portata, pur considerando le eccezionali condizioni di infiltrazione che si trovano a monte, richiede un bacino di alimentazione non inferiore a 25 km²; il contatto idraulico fra le lenti e la massa delle breccie, dove si deve necessariamente estendere l'aria di alimentazione delle sorgenti, è dato probabilmente da una faglia con perfetto andamento E-W che passa qualche centinaio di metri a sud delle sorgenti, ponendo gli affioramenti lenti-formi in contatto diretto con il versante carbonatico (cfr. Carta Idrogeologica).

In fig. 97 sono indicate le misure periodiche di portata relative a 15 anni di osservazioni; per i 10 anni più favorevoli si è calcolato anche il coefficiente di esaurimento e il volume immagazzinato dal bacino di alimentazione; i valori ottenuti nei vari anni sono fra loro confrontabili: il coefficiente varia approssimativamente fra 1×10^{-2} e $1,5 \times 10^{-2}$ mentre il volume immagazzinato varia da 10 a 13 milioni di m³. Purtroppo i valori ricavati sono relativi a un regime influenzato da abbondanti afflussi nel periodo estivo.

(Spiegazione della fig. 97)

In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (*c*) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; *t* = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; *V* = volume immagazzinato: calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).

On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates, at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows, to the right, spring discharges. *a*: inflows curve; *b*: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; *t* = recession time (in days); α = recession coefficient; *V* = stored volume: calculated applying MAILLET formula. (fig. 94).

Le acque sorgive vengono in parte sollevate a Cappadocia, da dove un acquedotto le porta fuori dal bacino; la maggior quantità viene incanalata in condotta e va ad alimentare la centrale idroelettrica di Canistro.

Sorgenti Capo di Rio; Rio Sommo; Rianza. - Si trovano tutte lungo il limite di permeabilità *br-ar* e sono captate da acquedotti che alimentano centri abitati all'interno e all'esterno del bacino (cfr. Carta Idrogeologica). Le figure 98; 99 e 100 riportano i dati di portata dai quali risulta che i regimi delle sorgenti seguono sostanzialmente quelli degli afflussi meteorici, con un ritardo in genere superiore a 30 giorni; sebbene i regimi siano influenzati dalle precipitazioni estive, per qualche anno si è tentato egualmente il calcolo del coefficiente α e del volume immagazzinato; i valori più attendibili sono relativi alla sorgente Capo di Rio che fornisce un coefficiente variabile fra 1×10^{-2} e $1,8 \times 10^{-2}$ e un volume immagazzinato di circa 2×10^5 m³. Si noti che nel 1964, caratterizzato da modesti afflussi invernali, il volume immagazzinato risulta notevolmente inferiore a quello degli altri anni.

Le breccie, immediatamente a monte della sorgente Rianza sono notevolmente fratturate perché risentono di un motivo tettonico secondario; nelle acque sorgive (cfr. BERNARDINI-FUNICIELLO) si sono trovati indici chimici di inquinamento, fenomeno che si può verificare proprio nella zona più prossima alle opere di presa. Sono stati recentemente compiuti, dagli Enti competenti, lavori di sistemazione immediatamente a monte della sorgente, probabilmente allo scopo di eliminare l'inconveniente.

La *Sorgente dei Tassi* (fig. 103) sta al piede di una fascia detritica, estesa al contatto tra la parete calcarea e il complesso argilloso-arenaceo di fondovalle, lunga circa 4 km e larga in media 250 m, che copre una superficie di circa 1 km². Risulta chiaramente da osservazioni dirette di terreno che la notevole permeabilità di questo materiale facilita un rapidissimo deflusso delle acque di infiltrazione; queste, dopo un percorso sotterraneo di 250-300 m riemergono al piede del detrito in numerose sorgenti effimere o temporanee che, per brevissimi periodi, hanno portate anche superiori a 10 l/sec, nei giorni immediatamente successivi alle piogge, e vanno generalmente in secca nella stagione estiva e autunnale. La sorgente dei Tassi che eroga ogni anno circa un milione di m³, dai dati di cui si dispone, sembra invece avere una portata sufficientemente regolare, che non supera i 90 l/sec e non scende sotto i 30 l/sec, anche nei periodi di magra. Questo regime, con portate di magra così elevate, differisce nettamente da quello delle sorgenti sicuramente legate al solo contributo della coltre detritica e non si può quindi riferire ad un analogo bacino di alimentazione; i caratteri idrochimici (cfr. BERNARDINI - FUNICIELLO) sono, d'altra parte, molto simili a quelli delle sorgenti poste lungo il limite di permeabilità *br-ar*. Si può quindi concludere che la « sorgente geologica » si trova mascherata dalla coltre detritica al contatto fra le breccie calcaree monogeniche e il complesso argilloso-arenaceo; la precisa individuazione di questo punto, che non dovrebbe comportare eccessiva difficoltà, disponendo di adeguati mezzi di indagine, permetterebbe di costruire una più razionale opera di presa più a monte che, eliminando le inevitabili perdite

laterali, potrebbe garantire una maggiore portata e una più sicura protezione da possibili inquinamenti.

In situazione analoga sembra trovarsi la *Sorgente S. Vito*, che meriterebbe uno studio più approfondito, di quanto è stato possibile condurre in questo lavoro a carattere generale (fig. 102).

Queste sorgenti, nella situazione idrogeologica descritta, captate per l'approvvigionamento idrico di centri abitati, possono venire contaminate da acque di infiltrazioni locale, inquinate dai pascoli e dai coltivi che stanno sul terreno di copertura immediatamente a monte della sorgente e circostanti l'esigua area di protezione.

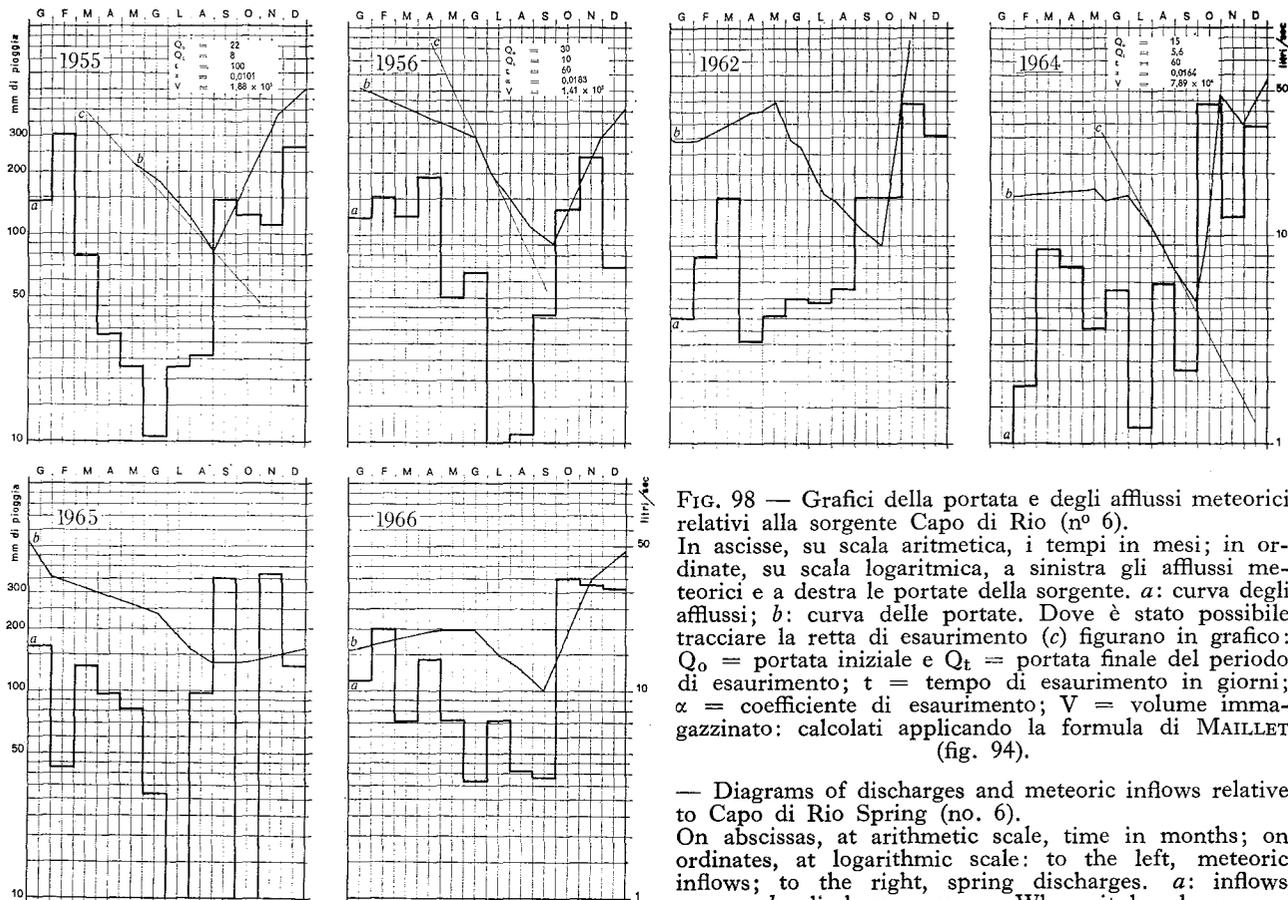
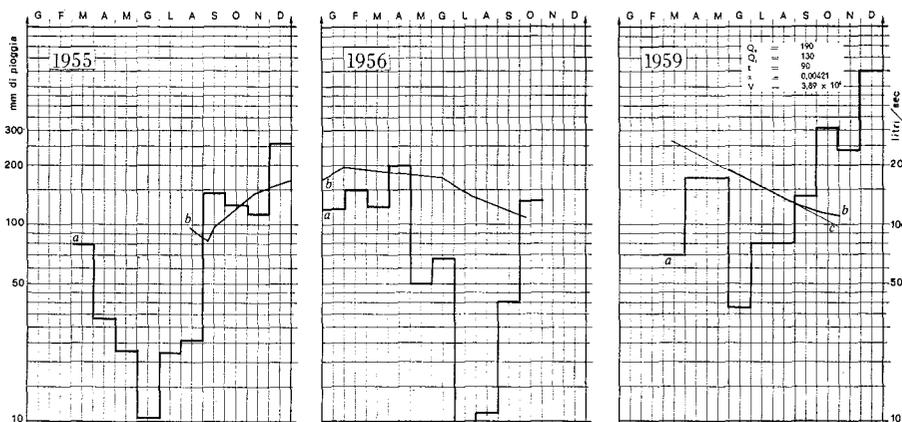


FIG. 98 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Capo di Rio (n° 6). In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. a: curva degli afflussi; b: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (c) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato: calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).

— Diagrams of discharges and meteoric inflows relative to Capo di Rio Spring (no. 6). On abscissas, at arithmetic scale, time in months; on ordinates, at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges. a: inflows curves; b: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume: calculated applying MAILLET formula (fig. 94).

sible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume: calculated applying MAILLET formula (fig. 94).

FIG. 99 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Rio Sonno (n° 7). In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra e portate della sorgente. a: curva degli afflussi; b: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (c) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato: calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).



— Diagrams of discharges and meteoric inflows relative to the Rio Sonno Spring (no. 7). On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates, at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; a: inflows curve; b: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume: calculated applying MAILLET formula. (fig. 94).

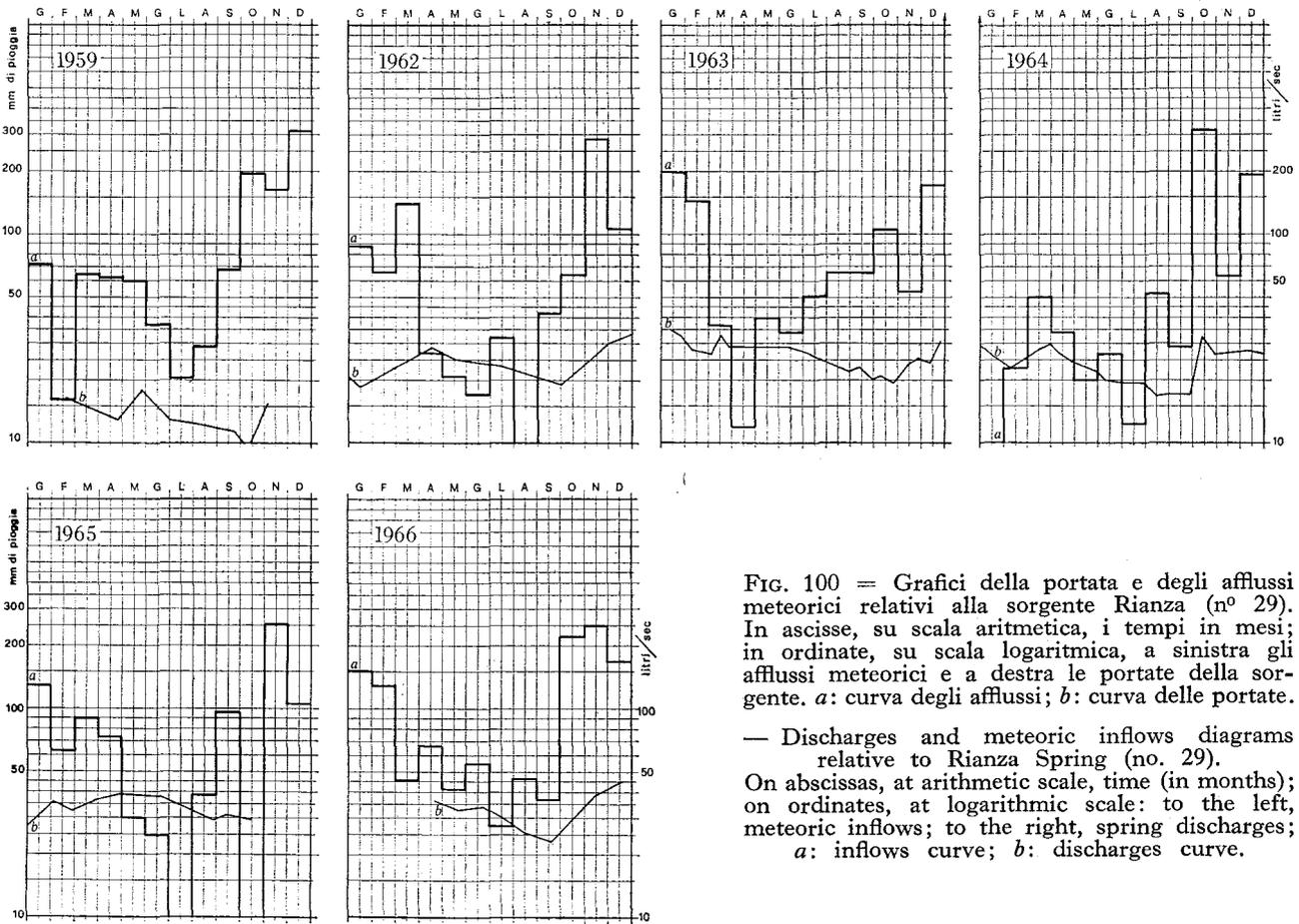


FIG. 100 = Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Rianza (n° 29). In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate.

— Discharges and meteoric inflows diagrams relative to Rianza Spring (no. 29). On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates, at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; *a*: inflows curve; *b*: discharges curve.

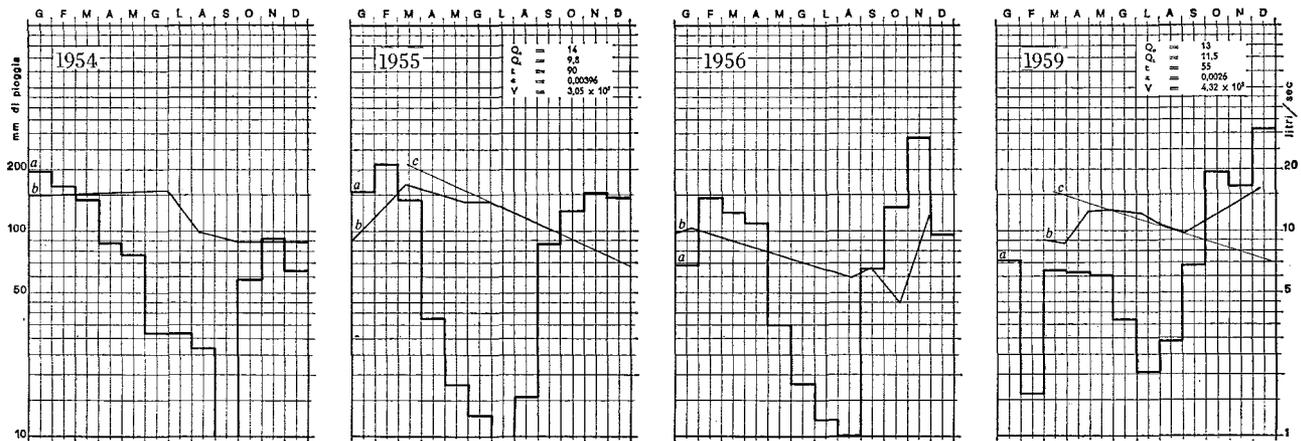
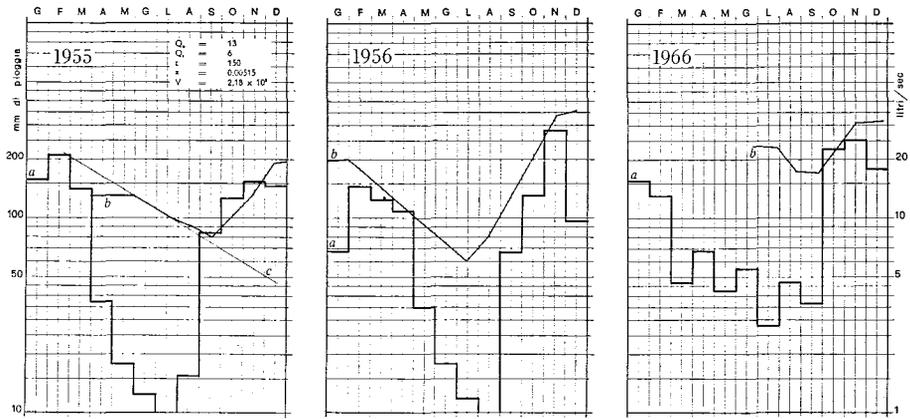


FIG. 101 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Frattura (n° 38). In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (*c*) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato: calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).

— Discharges and meteoric inflows diagrams relative to Frattura Spring (no. 38). On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; *a*: inflows curve; *b*: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume; calculated applying MAILLET formula (Fig. 94).

FIG. 102 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente San Vito (n° 32). In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (*c*) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; *t* = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; *V* = volume immagazzinato: calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).



— Discharge and meteoric inflows diagrams relative to San Vito Spring (no. 32). On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates, at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; *a*: inflows curve; *b*: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; *t* = recession time (in days); α = recession coefficient; *V* = stored volume: calculated applying MAILLET formula (fig. 94).

TABELLA 61

SORGENTI DEL VERSANTE DESTRO: TRA CAPPADOCIA E CANISTRO

N.	Nome	Tavoletta	Latitudine	Longitudine	Quota	Portata l/sec	Temperatura °C	Data delle misure
1	Sorgenti del Liri	F. 145 II SO	42° 00' 08"	0° 49' 47"	960	P	—	—
2	Granai	F. 151 I NO	41° 59' 53"	0° 50' 35"	1090	0,100	12,8	31-VIII-1967
3	F.te Occa	F. 151 I NO	41° 59' 55"	0° 50' 54"	990	0,100	13,4	31-VIII-1967
4	Maiura	F. 151 I NO	41° 59' 29"	0° 50' 45"	1120	0,500	11	27-VI-1967
5	Fosso del Rio	F. 151 I NO	41° 59' 15"	0° 51' 43"	950	5	6,8	4-V-1967
6	Capo di Rio	F. 151 I NO	41° 59' 10"	0° 51' 31"	990	P	—	—
7	Sorg. di Rio Sonno	F. 151 I NE	41° 58' 33"	0° 53' 02"	900	P	—	—
8	—	F. 151 I NE	41° 58' 33"	0° 53' 47"	850	< 0,250	—	—
9	Ceria	F. 151 I NO	41° 57' 46"	0° 51' 00"	1584	0,100	8,4	24-VIII-1967
10	Ceriotta	F. 151 I NO	41° 57' 22"	0° 51' 37"	1709	0,100	10,6	24-VIII-1967
11	Di Casigno	F. 151 I NE	41° 58' 07"	0° 54' 42"	715	3	8,3	22-VII-1967
12	—	F. 151 I NE	41° 57' 57"	0° 54' 42"	775	0,100	8,2	23-VIII-1967
13	—	F. 151 I NE	41° 57' 55"	0° 54' 49"	710	1,500	11,1	22-VII-1967
14	Sorg. dei Tassi	F. 151 I NE	41° 57' 48"	0° 54' 56"	772	P	—	—
15	—	F. 151 I NE	41° 57' 46"	0° 54' 49"	785	1	7	7-V-1967
16	Perseo	F. 151 I NE	41° 57' 51"	0° 55' 13"	680	0,100	17,2	21-VII-1967
17	—	F. 151 I NE	41° 57' 50"	0° 55' 19"	675	0,100	13,5	21-VII-1967
18	—	F. 151 I NE	41° 57' 44"	0° 55' 21"	710	0,100	14	21-VII-1967
19	—	F. 151 I NE	41° 57' 42"	0° 55' 24"	675	0,100	16,5	22-VI-1967
20	—	F. 151 I NE	41° 57' 39"	0° 55' 28"	715	< 0,250	—	22-VI-1967
21	—	F. 151 I NE	41° 57' 34"	0° 55' 43"	690	< 0,250	—	22-VI-1967
22	Spinetti	F. 151 I NE	41° 57' 28"	0° 55' 25"	795	0,140	9,8	6-V-1967
23	—	F. 151 I NE	41° 57' 07"	0° 54' 30"	1325	0,100	8,9	23-VII-1967
24	—	F. 151 I NE	41° 57' 11"	0° 54' 29"	1360	0,100	9,3	23-VII-1967
25	F.te della Renga	F. 151 I NE	41° 57' 02"	0° 54' 39"	1275	0,330	7,4	23-VII-1967
26	—	F. 151 I NE	41° 57' 15"	0° 56' 15"	712	0,100	11,2	28-VII-1967
27	—	F. 151 I NE	41° 57' 19"	0° 56' 30"	650	< 0,250	—	28-VII-1967
28	Fonticella	F. 151 I NE	41° 56' 43"	0° 55' 36"	875	0,100	10,2	24-VII-1967
29	Sorg. di Rianza	F. 151 I NE	41° 56' 47"	0° 55' 20"	875	P	—	—
30	Spineto	F. 151 I NE	41° 56' 41"	0° 56' 10"	708	0,100	10,4	28-VII-1967
31	Frauterio	F. 151 I NE	41° 56' 33"	0° 56' 16"	725	0,160	10	24-VII-1967
32	San Vito	F. 151 I NE	41° 56' 09"	0° 56' 22"	830	P	—	—
33	Garofalo	F. 151 I NE	41° 55' 08"	0° 56' 36"	730	2,350	9,6	24-VII-1967
34	Scifi di Canistro	F. 151 I NE	41° 55' 23"	0° 55' 24"	1575	0,100	10,2	24-VII-1967
35	—	F. 151 I NE	41° 55' 52"	0° 57' 12"	625	0,100	13	25-VII-1967
36	Fiuggino	F. 151 I NE	41° 55' 50"	0° 57' 20"	725	0,100	9,7	27-VII-1967
37	Frattura	F. 151 I NE	41° 55' 42"	0° 56' 25"	900	P	—	—
38	—	F. 151 I NE	41° 55' 34"	0° 56' 28"	900	1	12,9	27-VII-1967
39	F.te Tasseta	F. 151 I NE	41° 55' 08"	0° 56' 34"	910	0,100	10,2	25-VII-1967

P = Misure periodiche riportate nei testo.

La *Sorgente Frattura* è legata a un affioramento di brecce mioceniche, che si trova probabilmente in contatto idraulico con il versante carbonatico, ha una discreta portata (fig. 101) e regime abbastanza regolare; viene captata da un acquedotto che serve Civitella Roveto.

Un accenno particolare merita la *Fonte Fiuggino*, le cui acque godono nella regione di grande notorietà per la loro leggerezza e per le virtù terapeutiche; secondo la tradizione locale questa sorgente trova la sua origine in « una vena d'acqua che attraverso la montagna viene diretta da Fiuggi », da cui il nome. In realtà la sorgente è legata a una lente di puddinghe poligeniche, la cui deposizione ha chiuso il ciclo di sedimentazione marina. Senza entrare in merito alle proprietà terapeutiche, aspetto che esula dallo scopo dello studio, va precisato che le puddinghe, ricche di ciottoli esotici, fra i quali non mancano frammenti di rocce eruttive, potrebbero realmente conferire alla modestissima falda che alimenta la sorgente, soprattutto per il contenuto di elementi minori, caratteri idrochimici diversi da quelli tipici delle acque locali.

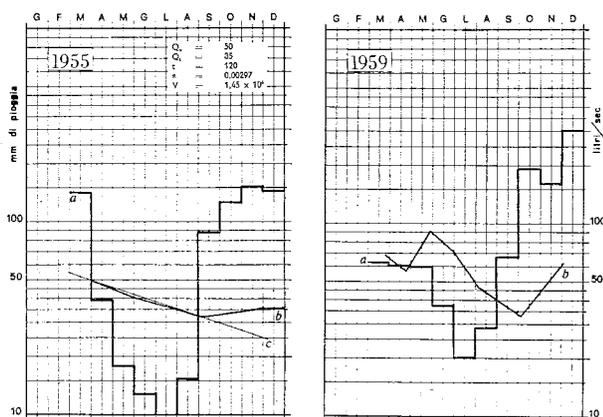


FIG. 103 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente dei Tassi (n° 14).

In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (*c*) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato: calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).

— Discharge and meteoric inflows diagrams relative to Tassi Spring (no. 14).

On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges. *a*: inflows curve; *b*: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume: calculated applying MAILLET formula (fig. 94).

Versante destro: da Canistro a Roccapivi

A sud di Canistro la piega vergente a NE, che forma l'ossatura del versante destro, passa a piegafaglia e determina l'accavallamento della struttura carbonatica sul complesso argilloso arenaceo di fondovalle.

La serie carbonatica, ai limiti occidentali del bacino, è disposta regolarmente a monoclinale con immersione a NE; spostandosi verso l'interno la stratificazione appare gradualmente più disturbata, prima in blande pieghe che si vanno progressivamente accentuando fino a conferire ai terreni un assetto caotico quando si giunge a contatto con il complesso argilloso-arenaceo (cfr. M. PAROTTO e profili geologici). A sud di Monte Ferrera, lungo l'allineamento M. Prato, M. Ginetro, M. Del Passeggio, Pizzo Deta si trova un marcato raddoppiamento tettonico che si sviluppa lungo piani inversi che passano nel Vallone del Rio. Conseguenza più importante, sotto il profilo idrogeologico, di questo assetto strutturale è che il progressivo sviluppo verso sud della componente tettonica traslativa riduce gradualmente l'area di affioramento dei calcari permeabili fra M. Piano e M. Ferrera e avvicina sempre più i calcari dolomitici al complesso argilloso arenaceo fino a portarli in contatto fra Rendinara e Roccapivi.

Lungo l'allineamento M. Crepacuore-M. Ortara figura un fronte di sovrascorrimento che porta i calcari avana a coprire i calcari dolomitici; questa importante linea tettonica assume in questa sede scarso significato perché tocca il bacino solo marginalmente.

Dominano in affioramento i calcari avana (*c*), estesi sulla maggior parte del rilievo, i calcari dolomitici (*cd*) allineati ai limiti occidentali del bacino, e il complesso argilloso-arenaceo che occupa i bassi versanti e il fondovalle. Numerosi sono gli affioramenti minori: trasgressivi sul calcare cretaceo poggiano i calcari organogeni del Miocene (*co*), in placche residue e isolate su M. Viglio e in un vasto affioramento sulle pendici settentrionali del Pizzo Deta; alla base del complesso argilloso-arenaceo si trovano intercalazioni di calcareniti (*cr*), mentre al tetto dello stesso complesso poggiano grandi lenti di puddinghe poligeniche (*p*) che si trovano anche trasgressive sul M. Viglio e M. Prato. Sul medio versante corre un'ampia fascia di conoidi e detriti di falda che mascherano il contatto fra la serie carbonatica e terrigena; le brecce antiche cementate, più diffuse lungo la Val Granara, si trovano anche in esigue lenti sparse sui rilievi. Più interessante, per posizione e natura, è l'affioramento del complesso caotico calcareo dolomitico (*ct*) che da Zompo lo Schioppo raggiunge La Grancia.

Area di ricarica delle falde idriche - Tutta la vasta superficie occupata da affioramenti di calcari avana si può considerare come zona a forte infiltra-

zione. L'intenso piegamento subito e la conseguente fessurazione rendono i calcari avana molto permeabili, tanto che nemmeno la notevole acclività dei versanti (cfr. Carta delle acclività) limita sostanzialmente la penetrazione delle acque nel sottosuolo. Per valutare l'influenza dell'acclività sull'infiltrazione si è tenuto sotto controllo il regime delle acque superficiali: è significativo osservare che solo in corrispondenza di precipitazioni molto intense e per periodi di poche ore il reticolo superficiale si mostra attivo, mentre anche in corrispondenza di piogge prolungate non particolarmente violente o durante lo scioglimento delle nevi le acque superficiali vengono rapidamente assorbite e lo scorrimento è praticamente inesistente o ridottissimo. Queste osservazioni di terreno sono state indirettamente confermate da calcoli sull'infiltrazione, dai quali risulta che una limitatissima parte degli afflussi può scorrere in superficie (si veda oltre).

Il limite occidentale del bacino idrogeologico, che segue il contatto tra i calcari avana e i calcari dolomitici nel tratto compreso fra la val Granara e M. Pratiglio passa alcuni km all'esterno dello spartiacque, mentre tra M. Pratiglio e M. Ferrera piega all'interno; sebbene sulla carta non sia stato segnato a sud di M. Ferrera, per mancanza di dati sufficienti, si può ritenere che il limite del bacino idrogeologico continui lungo il contatto *c-cd* allargandosi quindi nuovamente oltre la linea di displuvio. L'area di alimentazione delle falde sotterranee assume quindi un notevole sviluppo e consente l'accumulo di un abbondante falda che è stato possibile studiare attraverso il regime delle sorgenti che alimenta.

I calcari organogeni (*co*), che affiorano nel Vallone del Rio alle pendici settentrionali del Pizzo Deta e in alcuni altri lembi sparsi, hanno un comportamento analogo a quello dei calcari avana, consentono una buona infiltrazione e si possono considerare molto permeabili. Un discorso sostanzialmente analogo si può fare per le puddinghe poligeniche (*p*) che poggiano sui calcari cretaci: sebbene siano meno permeabili dei terreni sottostanti la loro presenza non limita sostanzialmente la penetrazione delle acque meteoriche che raggiungono l'area di affioramento perché la frazione che viene assorbita, raggiunto il substrato calcareo continua a penetrare facilmente in profondità; la parte che scorre in superficie quando lascia l'affioramento di puddinghe penetra rapidamente nei terreni permeabili circostanti.

Limiti di permeabilità - I limiti di permeabilità che assumono particolare interesse sono la prosecuzione di quelli già visti nella parte settentrionale dello stesso versante: uno stratigrafico, *occidentale*, fra i calcari avana e i calcari dolomitici; l'altro tettonico, *orientale*, tra i calcari avana e il complesso argilloso-arenaceo. Va segnalato un terzo limite di permeabilità tra i calcari dolomitici e il complesso argilloso-arenaceo che tuttavia in questa zona ha interesse limitato.

Lungo il tratto compreso tra la Val Granara e M. Ferrera il contatto *c-cd* giace su una superficie regolare con direzione NW-SE e inclinazione di circa 35° a NE; solo localmente il limite è interrotto da disturbi tettonici che non alterano sostanzialmente la sua continuità. Le acque che penetrano nei calcari cretaci tendono quindi a scorrere verso NE lungo la superficie di discontinuità e vanno ad alimentare le risorse idriche sotterranee poste all'interno del bacino. A sud di M. Ferrera l'andamento del limite di permeabilità si fa più complesso: la superficie, che assume dapprima una giacitura subverticale, verso sud viene sicuramente interrotta in profondità dai piani tettonici che provocano il raddoppiamento della serie carbonatica lungo il Vallone del Rio.

A sud di M. Ferrera la funzione di limite idraulico del contatto *c-cd* viene almeno in parte compromessa perché le perdite prevedibili attraverso gli squarci prodotti dalla tettonica lungo la superficie di discontinuità litologica non sono certo trascurabili.

Nonostante le complicazioni tettoniche si può ricostruire a grandi linee l'andamento in profondità del limite di permeabilità. A ovest dell'allineamento M. Ferrera-Pizzo Deta questa superficie è sub-verticale ed ha una direzione NW-SE; a est della Valle del Rio lo stesso contatto, pur conservando una direzione intorno a NW-SE, assume una regolare e decisa immersione verso SW. Il piano che taglia la superficie di contatto litologico si immerge sotto l'allineamento M. Ferrera-Pizzo Deta e si interrompe all'altezza del Vallone delle Mele. Ci troviamo di fronte a un limite di permeabilità subverticale che ostacola il drenaggio verso ovest e a un altro limite più orientale che favorisce lo scorrimento verso est delle acque che penetrano nella struttura del Pizzo Deta. Appare quindi giustificato pensare che una buona parte delle acque d'infiltrazione trovi una più facile via di deflusso sotterraneo verso nord, sotto il Vallone

del Rio, dove i terreni sono molto permeabili piuttosto che in altre direzioni, dove abbondano calcari dolomitici; la presenza di grandi sorgenti in località Acqualozzi e una prova a favore di questa ipotesi.

Per l'influenza di queste grandi lacerazioni che tagliano il limite di permeabilità occidentale, a sud di M. Ferrera non è stato possibile individuare il limite del bacino idrogeologico.

Il secondo limite di permeabilità, fra i calcari avana e il complesso argilloso-arenaceo, ha un andamento molto evidente nelle sue linee generali

Si può seguire l'andamento del limite di permeabilità considerando le quote delle principali sorgenti che su questo sicuramente si allineano; da una quota di poco inferiore a 900 m (sorgenti della Sponga) il limite risale a 917 m alla sorgente Peschietta; in pochi km scende bruscamente a poco più di 700 m in località Acqualozzi per risalire ancora rapidamente a 900 m presso Rendingara. Nel punto di più marcata depressione, ad Acqualozzi, si trovano le più grandi sorgenti del versante destro (fig. 104).

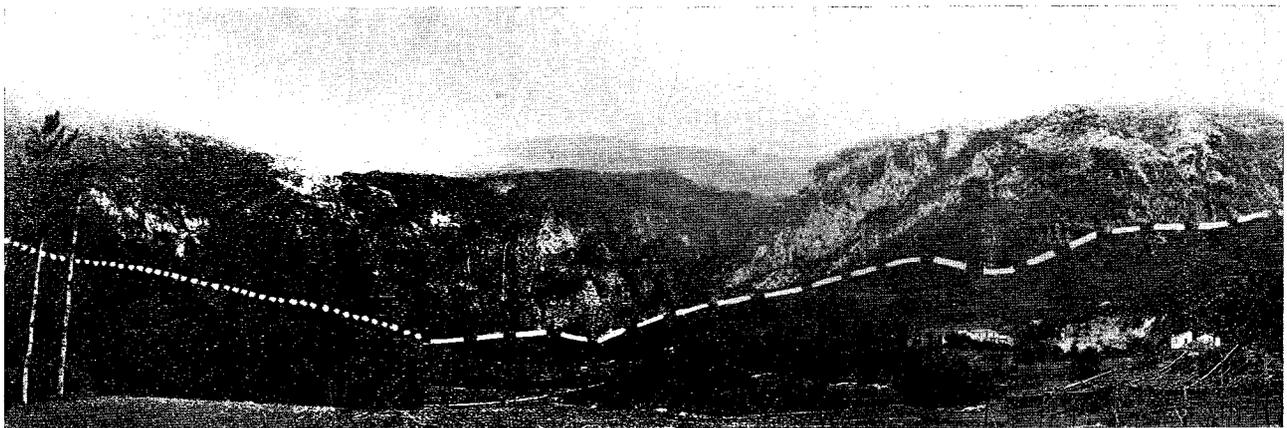


FIG. 104 — Località Acqualozzi a Ovest di Morino. Il limite di permeabilità (a tratteggio dove visibile e punteggiato dove coperto), tra i calcari avana del Cretacico sup. ed il complesso argilloso-arenaceo del Miocene sup., si deprime in questa zona a una quota di poco superiore a 700 m; nel punto di massima depressione si trovano le principali sorgenti del versante destro. A sinistra, sulla parete calcarea subverticale, si vede la cascata di Zompo lo Schioppo e altre minori alimentate da sorgenti carsiche intermittenti, che vanno in secca nei mesi estivi. Le sorgenti poste più in basso, lungo il limite di permeabilità, sono perenni e hanno una portata che raramente scende sotto 1 m³/sec.

— Locality Acqualozzi, West of Morino. The permeability boundary (dashed where visible and dotted where covered), between the Upper Cretaceous brown limestone and the shaly-arenaceous complex of Upper Miocene, lowers in this area, to a level little higher than 700 m. Main springs are situated at the maximum depression point, on the right slope. At the left, on a calcareous vertical wall, the fall of Zompo lo Schioppo and other minor falls fed by intermittent karst springs ceasing flowing in summer, are visible. Springs situated at a lower level, along the permeability boundary are perennial and have a discharge which is seldom lower than 1 m³/sec.

ma è difficile da seguire il dettaglio; non è sempre direttamente osservabile in affioramento per tre principali motivi: la presenza dei piani tettonici di collasso frontale, dovuti ad una fase tettonica tardiva (cfr. M. PAROTTO), mascherano l'andamento della linea tettonica dominante che corrisponde al contatto litologico; lenti calcarenitiche e di brecce calcaree immerse nel complesso argilloso-arenaceo possono venire, per cause tettoniche, a diretto contatto con i calcari cretaci e aprire vie di drenaggio preferenziale; un'ampia fascia detritica copre quasi costantemente il limite. Data la permeabilità trascurabile del complesso argilloso arenaceo il limite si può considerare decisamente impermeabile e si può di conseguenza escludere l'esistenza di uno scorrimento sotterraneo verso NE.

Il terzo limite di permeabilità si trova lungo il contatto tettonico tra il complesso argilloso-arenaceo e i calcari dolomitici. Dall'abitato di Rendingara fino a Sora i calcari dolomitici si trovano sovrascorsi sul complesso impermeabile miocenico; questo contatto litologico assume particolare interesse nel settore meridionale del versante e se ne parlerà quindi successivamente.

Livello di base - Il livello di drenaggio naturale di quest'area si trova in corrispondenza delle principali sorgenti allineate sul limite di permeabilità orientale che corre lungo il versante; il punto più basso si trova a quota 700 in località Acqualozzi dove le acque sotterranee che non si perdono attraverso il limite di permeabilità occidentale tra-

boccano erogando una portata media superiore a 1,5 mc/sec (fig. 106).

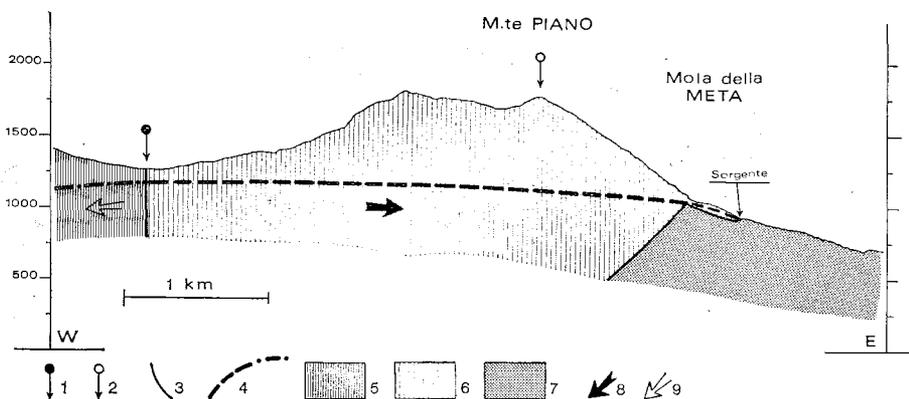
Zona di accumulo e principali direzioni di scorrimento delle acque sotterranee - Le acque che si infiltrano nell'area di alimentazione vengono temporaneamente immagazzinate nei calcari cretatici avana compresi fra i due principali limiti di permeabilità prima considerati e tornano gradualmente in superficie nei punti in cui il limite orientale si deprime fino all'altezza del livello di base.

Il principale problema è di stabilire se queste sorgenti sono alimentate da un'unica falda o da diversi serbatoi naturali tra loro indipendenti. In primo luogo la situazione idrogeologica induce a

non viene ancora utilizzato al pieno delle sue possibilità di rendimento, e che potrebbe fornire una portata più regolare e meglio distribuita nel tempo. Le sorgenti infatti erogano solo quel volume di acqua che si infila nella vasta area di alimentazione e che il serbatoio naturale, già saturo, non è in grado di contenere (riserve regolatrici); l'enorme volume di acqua immagazzinato nei carbonati al di sotto del livello di base (*riserve permanenti*) nelle condizioni naturali non può venire in alcun modo utilizzato. Con opportune opere si potrebbe incrementare la portata delle sorgenti nei periodi di magra utilizzando parte delle riserve permanenti che verrebbero ricostituite ogni anno nel periodo di ricarica che segue la stagione secca; ciò permet-

FIG. 105 — Profilo idrogeologico tracciato sulla base del profilo geologico n° 4 (cfr. Carta Idrogeologica).

1) Limite del bacino idrogeologico - 2) Limite del bacino imbrifero - 3) Limiti di permeabilità principali - 4) Probabile andamento della superficie freatica (a tratti e punti) - 5) Rocce poco permeabili - 6) Rocce permeabili - 7) Rocce impermeabili. Direzioni di scorrimento sotterraneo riconosciute (8) e probabili (9). I gradienti idraulici sono esagerati.



Il limite di permeabilità occidentale affiora a quota più elevata di quello orientale; ne deriva uno scorrimento sotterraneo verso le sorgenti poste all'interno del bacino. Queste non sempre si trovano lungo il limite di permeabilità, ma a volte al piede della coltre detritica che lo copre. Il bacino idrogeologico si estende molto oltre lo spartiacque.

— Hydrogeological section based on the geological section n° 4 (see hydrogeological map).

1) Boundary of the groundwater basin; 2) Watershed boundary; 3) Permeability main boundaries; 4) Possible trend of the water table (dashed) and its hypothetical continuation (dash and dots); 5) Weakly permeable rocks; 6) Permeable rocks; 7) Unpermeable rocks. Underground flow direction detected (8) and inferred (9). Hydraulic gradients have been exaggerated.

The western boundary of permeability outcrops at a higher level than the eastern one. This causes a groundwater flow toward the springs situated inside the basin. These are not always located along the permeability boundary but sometimes at the base of the detrital cover which overlies it. The groundwater basin is extended much beyond the watershed.

considerare l'esistenza, entro i calcari cretatici, di un'unica grande falda continua che alimenta tutte le sorgenti allineate lungo il limite di permeabilità. Questa considerazione, che di per se stessa ha semplicemente il valore di un'ipotesi, trova una significativa conferma nel chimismo delle acque sorgive che mostrano caratteri omogenei e particolari rispetto alle altre sorgenti del bacino (cfr. BERNARDINI e FUNICIELLO). Anche la presenza di sorgenti perenni a forte portata, con regimi tra loro confrontabili è un ulteriore valido argomento che postula l'esistenza di un unico serbatoio naturale drenato in punti diversi.

Questa constatazione assume notevole interesse in sede applicativa perché mette in luce l'esistenza di un enorme patrimonio idrico disponibile, che

terebbe di avere una maggiore disponibilità idrica nei periodi di magra e delle portate più regolari durante l'arco dell'anno (C.F. BONI 1968).

Nel commentare lo schema di circolazione delle acque sotterranee (cfr. Carta Idrogeologica) va sottolineato che il regime di portata delle sorgenti, sebbene mostri una certa irregolarità dovuta alla forte permeabilità del serbatoio e soprattutto al regime degli afflussi, non è tuttavia tale da denunciare un'alimentazione attraverso un reticolo di condotti aperti, tipici di un carsismo evoluto, con rapide variazioni della portata strettamente legate al regime delle precipitazioni. Si può pensare che la falda scorra lentamente dalle aree di alimentazione verso i punti di drenaggio naturale con moto sufficientemente regolare e uniforme non lontano

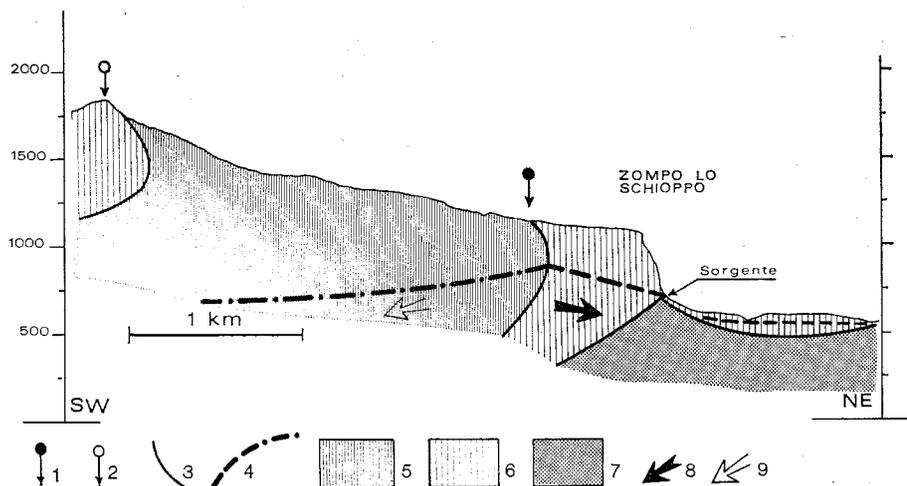
dagli schemi teorici del moto laminare. All'altezza dei rilievi di M. Viglio il limite di permeabilità orientale s'innalza a una quota superiore a 1000 m; scende verso nord a quota 900 circa e verso sud raggiunge la massima depressione intorno ai 700 m. Dove il limite di permeabilità si eleva maggiormente si ha solo la piccola sorgente Peschieta (pochi l/sec), probabilmente legata a una linea tettonica locale. Le maggiori sorgenti sono invece allineate sulla quota 900 a nord di M. Viglio e concentrate intorno alla quota 700 a sud dello stesso rilievo. Sembra di conseguenza giustificato ammettere che

Le acque dirette a sud, avvicinandosi a Zompo lo Schioppo si trovano sempre più costrette e incanalate tra due limiti di permeabilità che si avvicinano progressivamente fra loro e traboccano verso est oltre il limite più depresso (fig. 105 e 106). Le acque che s'infiltrano nei terreni permeabili estesi sui rilievi compresi fra M. Ferrera e il Pizzo Deta penetrano in profondità e scorrono di preferenza verso nord, sostenute dal limite di permeabilità *c-d*; all'altezza di M. Prato vengono anch'esse incanalate verso Acqualozzi perché costrette fra i limiti di permeabilità *c-cd* e *c-ar*. In località Acqua-

FIG. 106 — Profilo idrogeologico tracciato sulla base del profilo geologico n° 5 (cfr. Carta Idrogeologica).

1) Limite del bacino idrogeologico - 2) Limite del bacino imbrifero - 3) Limiti di permeabilità principali - 4) Probabile andamento della superficie freatica (a tratti) e suo ipotetico prolungamento (a tratti e punti) - 5) Rocce poco permeabili - 6) Rocce permeabili - 7) Rocce impermeabili. Direzioni di scorrimento sotterraneo riconosciute (8) e probabili (9). I gradienti idraulici sono esagerati.

I due principali limiti di permeabilità si avvicinano notevolmente e lo spessore delle rocce permeabili si riduce di conseguenza all'altezza di Zompo lo Schioppo, dove lo scorrimento sotterraneo proveniente da nord e da sud viene a convergere nel punto di massima depressione del limite di permeabilità orientale; la falda principale, oltre ad alimentare numerose e grandi sorgenti, in questa area viene drenata anche dalla coltre permeabile che si estende a valle delle sorgenti. Lungo questa sezione il bacino idrogeologico si riduce notevolmente rispetto a quello imbrifero.



— Hydrogeological section based on the geological section no. 5 (see hydrogeological map). 1) Boundary of the groundwater basin; 2) Watershed boundary; 3) Permeability main boundaries; 4) Possible trend of the water table (dashed) and its hypothetical continuation (dash and dots); 5) Weakly permeable rocks; 6) Permeable rocks; 7) Unpermeable rocks. Groundwater flow direction detected (8) and inferred (9). Hydraulic gradients have been exaggerated.

The two main boundaries of permeability get remarkably close together, and the thickness of the permeable rocks lessens at the height of Zompo dello Schioppo, where groundwater flow coming from North and from South converges in the point of maximum depression of eastern boundary of permeability. The main water bearing formation, which feeds numerous and large springs, is drained, in this area, also by the permeable cover extending downstream of the spring. Along this section the groundwater basin becomes remarkably reduced in comparison with the watershed.

la falda contenuta fra i due principali limiti di permeabilità si innalza a una quota superiore a 900 m, all'altezza di M. Viglio e M. Piano, dove l'alimentazione è particolarmente abbondante e regolare perché favorita dalle elevate precipitazioni, dal lento scioglimento delle nevi che ricoprono i rilievi per molti mesi dell'anno e dalla forte permeabilità dei calcari cretaci e miocenici. Si avrà di conseguenza una direzione di scorrimento a nord verso le sorgenti di Mola della Meta e la Sponga e una a sud verso le sorgenti in località Acqualozzi; l'andamento dei limiti di permeabilità non consentirebbe d'altra parte un drenaggio diversamente orientato.

lozzi vengono quindi a confluire e ad emergere acque provenienti da nord e da sud; purtroppo i punti di emergenza non sono ben localizzati perché il limite litologico *c-ar* è reso irregolare da complicazioni tettoniche locali, è coperto in molti punti da un manto detritico recente e, in parte, dal complesso *ct*. L'acqua che trabocca dal limite di permeabilità si disperde quindi nei permeabilissimi terreni di copertura e riemerge disordinatamente a quote diverse. Questa situazione giustifica l'abbondanza della falda contenuta nel complesso cataclastico che alimenta lateralmente e progressivamente il torrente dello Schioppo, il principale affluente di destra.

Sorgenti

Anche nella parte del versante destro che va da Canistro a Roccapivi le principali sorgenti si trovano al contatto fra rocce carbonatiche e complesso argilloso-arenaceo; sebbene la coltre detritica mascheri sovente la vera posizione della « sorgente geologica », semplici osservazioni sul regime, la portata e il chimismo delle acque tolgono ogni dubbio sulla natura del loro bacino di alimentazione. Numerose sono le sorgenti minori direttamente legate alla coltre detritica superficiale o alle intercalazioni calcarenitiche molto diffuse alla base del complesso argilloso-arenaceo (Polverelli).

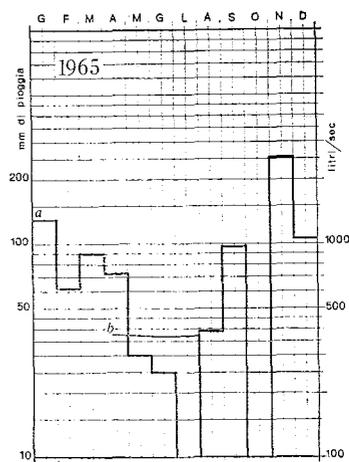
La situazione idrogeologica della *Sorgente La Sponga*, ben nota nelle sue linee generali è poco chiara nei dettagli; l'acqua sgorga in più punti ai piedi di un grande conoide che si salda a un esteso ammasso di travertino e va a convergere in un torrente che si versa nel Liri

FIG. 107 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Sponga (n° 40).

In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. a: curva degli afflussi; b: curva delle portate.

— Discharges and meteoric inflows diagrams relative to the Sponga Spring (no. 40).

On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates, at logarithmic scale: at the left, meteoric inflows; at the right, spring discharges; a: Inflows curve; b: Discharge curve.



presso Canistro. I dati di portata oggettivi (fig. 107) e probabilmente imprecisi per le oggettive difficoltà di misura, indicano in estate un valore prossimo a 400 l/sec; anche in questo caso la semplice considerazione che una portata così elevata richiede un bacino di alimentazione minimo di 10-15 km², dà la certezza che la sorgente è alimentata dalla falda dei calcari; le analisi chimiche delle acque (cfr. BERNARDINI-FUNCIELLO) confermano pienamente questa affermazione. Ne deriva che la « sorgente geologica », coperta dal conoide, si deve trovare a monte della sorgente reale, nel punto in cui la falda dei calcari trabocca oltre il limite di permeabilità, per scorrere alla base del conoide fino al punto di emergenza. Le intercalazioni di brecce calcaree mioceniche, presenti nel complesso argilloso-arenaceo, possono rendere ancora più complesse le condizioni idrogeologiche; tuttavia un'analisi più dettagliata potrebbe chiarire la situazione e fornire dati precisi in vista di una eventuale cattura. La sorgente è finora praticamente inutilizzata; solo un piccolo acquedotto prende una parte delle acque per rifornire un'albergo recentemente costruito nelle vicinanze.

In una situazione analoga a quella della sorgente La Sponga, si trova la *Sorgente Mola della Meta*; di questa non si sono trovati i dati periodici di portata, ma nei tre anni di studio, in periodo di magra, si è misurato alla sorgente un rifiuto mai inferiore a 40 l/sec; l'acqua è captata da un acquedotto che serve Civitella Roveto.

La *Sorgente Peschiera* alimenta il paese di Meta; la sua genesi è probabilmente legata a una frattura locale che determina, in seno alla massa calcarea, una linea di drenaggio preferenziale; ha portate molto basse e irregolari (fig. 108).

La *Sorgente Aramiccia* non è captata e non viene periodicamente misurata; nei tre anni in cui è stata tenuta in osservazione ha erogato una portata minima non inferiore a 20 l/sec. Si trova a quota 950 circa lungo il vallone della Femmina Morta; non stà, a differenza delle altre grandi sorgenti, lungo il limite *c-ar*, ma all'interno della struttura carbonatica. La sua origine è probabilmente legata a una situazione tettonica locale molto complessa e non sembra comunque alimentata dalla grande falda dei carbonati che emerge a circa un km di distanza a una quota prossima a 700 m.

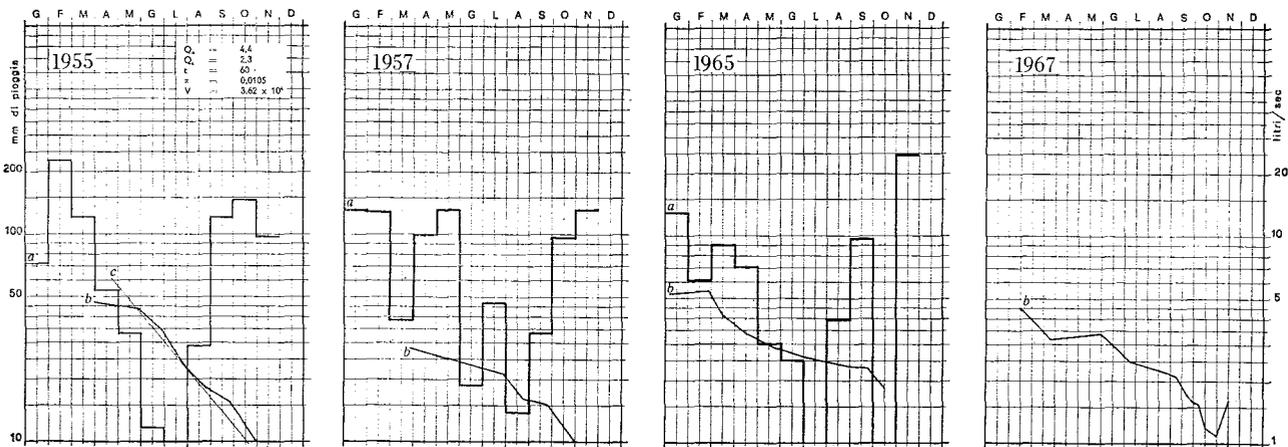


FIG. 108 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Peschiera (n° 69).

In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. a: curva degli afflussi; b: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (c) figurano in grafico: Q₀ = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato; calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).

— Discharge and meteoric inflows diagrams relative to Peschiera Spring (no. 69).

On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; a: inflows curve; b: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q₀ = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume; calculated applying MAILLET formula (Fig. 94).

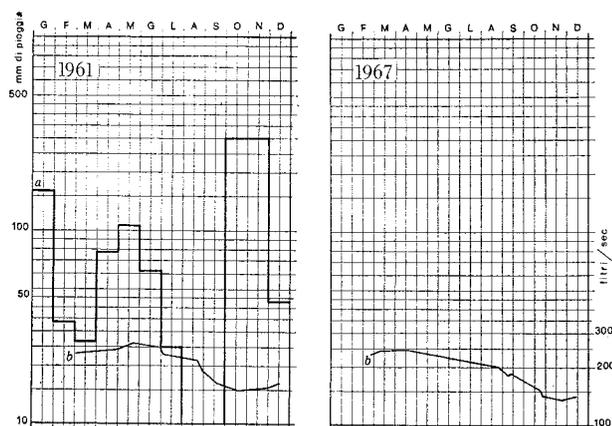


FIG. 109 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Pantanacce (n° 102). In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate.

— Discharges and meteoric inflows diagrams relative to Pantanacce Spring (no. 102). On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates, at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; *a*: inflows curve; *b*: discharges curve.

In località Acqualozzi, dove il limite di permeabilità *c-ar* si deprime maggiormente (fig. 104) si trova una disordinata serie di sorgenti che sgorgano dal detrito o dalla parete calcarea.

Va ricordato innanzitutto lo *Zompo dello Schioppo*, una sorgente carsica intermittente che, sgorgando da una ripida parete calcarea, quando è attiva forma una bellissima cascata alta circa 50 m. Su invito dell'Autore la sorgente è stata visitata nell'estate del 1969 da una squadra di speleologi del gruppo URR I di Roma guidata dai Dott. L. FERRI RICCHI e G. GIGLIO, entrambi geologi. L'acqua esce da due condotti che si aprono lungo la parete subverticale in un punto di difficile accesso dove si rompe un pendio; quello superiore ha una forma a losanga, con diametro maggiore verticale di circa 150 cm e minore orizzontale di circa 50 cm; l'apertura si restringe all'interno e risulta impercorribile. Il secondo condotto si trova a circa 5 m di distanza, pochi metri più in basso: ha una forma irregolare e una superficie di circa un m²; si biforca, a 2 m dallo sbocco, in due rami dei quali quello superiore è percorribile per 5 m ed è ricco di concrezioni, quello inferiore risulta impercorribile dopo 3 m. Giunta in superficie, l'acqua della sorgente scorre su una gradinata, larga circa 10 m, che rompe il pendio subverticale e cade quindi alla base della parete con un salto di circa 50 m. Lo *Zompo dello Schioppo* è l'unico esempio di sorgente carsica a regime intermittente, con portata di alcuni m³/sec nei mesi invernali e primaverili che va in secca tutti gli anni nei mesi estivi e autunnali. È sicuramente alimentata da un reticolo esteso entro il rilievo calcareo a una quota superiore al livello di saturazione (fig. 110).

Altre sorgenti intermittenti, molto più modeste, «Le Monache», si trovano lungo la parete calcarea subverticale che forma un semicerchio suggestivo tra il Vallone della Femmina Morta e il Fosso della Liscia. Alla base della parete e dal detrito che a questa si appoggia innumerevoli sono i punti in cui si osservano risorgenze disordinate che vanno tutte a confluire più a valle nel torrente dello Schioppo e da questo vengono derivate in buona parte in un canale che serve un serbatoio artificiale a uso idroelettrico.

Opere idrauliche, antiche e recenti prendono le acque delle *Sorgenti Pantanacce* (fig. 109) per portarle sul ver-

sante sinistro della valle fino in località I Ridotti, rifornendo lungo il percorso numerosi centri abitati.

La complessità della situazione geologica rende difficile la precisa individuazione delle «sorgenti geologiche» coperte dal detrito, ma in caso di necessità, con adeguati interventi è certamente possibile derivare ancora dalla zona parecchie centinaia di l/sec di acqua potabile.

Oggi le acque sorgive che si riversano nel Torrente dello Schioppo sono utilizzate quasi interamente dalle centrali idroelettriche, come risulta schematicamente dalla Carta Idrogeologica e dalla figura.

Le *Sorgenti di Pietre Strette e Mainome*, sono geneticamente legate alla grande frattura che corre lungo il Vallone del Rio, presso Rendinara; sono molto modeste e hanno un regime piuttosto irregolare, risentendo nettamente dell'andamento delle precipitazioni come risulta dai grafici delle figg. 111 e 112. Si conoscono i dati di portata perché sono captate da acquedotti locali e tenute sotto controllo periodico.



FIG. 110 — Cascata di Zompo dello Schioppo. Sulla parete formata di calcari cretatici intensamente piegati si trova una sorgente carsica intermittente che, quando è attiva, origina la suggestiva cascata alta circa 50 m. Il condotto carsico che alimenta la sorgente è impercorribile; la sorgente che eroga oltre 1 m³/sec in inverno-primavera, va in secca nella tarda estate ed in autunno.

— Zompo dello Schioppo Fall. On a wall formed by intensely folded cretaceous limestone is located an intermittent karst spring which originates an attractive fall jumping down from a height of approximately 50 m. The spring flowing (1 m³/sec in winter and spring time) ceases in late summer and in autumn.

SORGENTI DEL VESTANTE DESTRO: TRA CANISTRO E ROCCAVIVI

N.	Nome	Tavoletta	Latitudine	Longitudine	Quota	Portata l/sec	Tempera- tura °C	Data della misura
40	La Sponga	F. 151 I NE	41° 55' 22"	0° 56' 35"	832	P		
41	Maiura	F. 151 I NE	41° 55' 29"	0° 57' 38"	740	0,250	10	17-VII-1967
42	—	F. 151 I NE	41° 55' 23"	0° 57' 25"	750	0,100	14,3	27-VII-1967
43	—	F. 151 I NE	41° 55' 04"	0° 56' 55"	825	0,100	14	25-VII-1967
44	Proposti	F. 151 I SE	41° 54' 50"	0° 56' 50"	860	0,100	15	31-VII-1967
45	F.te d'Armida	F. 151 I SE	41° 54' 39"	0° 56' 49"	925	0,900	7,7	31-VIII-1967
46	—	F. 151 I SE	41° 54' 14"	0° 56' 51"	970	0,500	6,7	29-VII-1967
47	Mola della Meta	F. 151 I SE	41° 54' 19"	0° 56' 51"	917	40	6,7	29-VII-1967
48	—	F. 151 I SE	41° 54' 43"	0° 57' 45"	625	1	11	1-VIII-1967
49	Ferrante	F. 151 I SE	41° 54' 42"	0° 57' 23"	695	0,100	10,8	1-VIII-1967
50	—	F. 151 I SE	41° 54' 24"	0° 57' 04"	840	1,500	8,2	29-VIII-1967
51	Maranese	F. 151 I SE	41° 53' 54"	0° 56' 57"	990	1	12	29-VII-1967
52	Pimpinella	F. 151 I SE	41° 53' 11"	0° 56' 58"	1020	0,070	12	29-VII-1967
53	—	F. 151 I SE	41° 53' 01"	0° 56' 55"	1025	0,200	14	29-VII-1967
54	—	F. 151 I SE	41° 53' 52"	0° 57' 10"	855	0,150	14,3	1-VIII-1967
55	—	F. 151 I SE	41° 53' 14"	0° 57' 05"	1000	0,120	11,4	1-VIII-1967
56	S. Savino	F. 151 I SE	41° 53' 51"	0° 57' 02"	928	< 0,250	11	29-VII-1967
57	—	F. 151 I SE	41° 53' 28"	0° 57' 45"	725	0,100	14,8	12-VIII-1967
58	—	F. 151 I SE	41° 53' 43"	0° 58' 14"	550	0,100	12,4	12-VIII-1967
59	—	F. 151 I SE	41° 53' 13"	0° 58' 18"	650	0,100	12,5	12-VIII-1967
60	—	F. 151 I SE	41° 53' 15"	0° 58' 22"	675	0,100	12,4	12-VIII-1967
61	—	F. 151 I SE	41° 53' 15"	0° 58' 31"	768	0,100	18	12-VIII-1967
62	—	F. 151 I SE	41° 53' 35"	0° 58' 47"	620	0,100	12,2	12-VIII-1967
63	F.te del Baccajà	F. 151 I SE	41° 53' 20"	0° 58' 48"	675	0,330	12,2	12-VIII-1967
64	—	F. 151 I SE	41° 53' 51"	0° 58' 25"	568	< 0,250	—	12-VIII-1967
65	—	F. 151 I SE	41° 54' 01"	0° 57' 56"	680	< 0,250	—	12-VIII-1967
66	—	F. 151 I SE	41° 54' 23"	0° 58' 04"	660	< 0,250	—	12-VIII-1967
67	—	F. 151 I SE	41° 54' 26"	0° 58' 05"	650	< 0,250	—	12-VIII-1967
68	Cerasoli	F. 151 I SE	41° 52' 19"	0° 58' 06"	1580	0,050	10,7	13-VIII-1967
69	Peschieta (Curio)	F. 151 I SE	41° 52' 50"	0° 56' 43"	1018	P		
70	—	F. 151 I SE	41° 52' 19"	0° 57' 28"	923	0,350	14,4	15-VIII-1967
71	Lamata	F. 151 I SE	41° 52' 55"	0° 57' 28"	775	0,150	10,7	1-VIII-1967
72	—	F. 151 I SE	41° 52' 55"	0° 57' 36"	750	1	—	1-VIII-1967
73	—	F. 151 I SE	41° 52' 14"	0° 57' 40"	835	0,400	14	15-VIII-1967
74	F.te Amata	F. 151 I SE	41° 52' 25"	0° 57' 42"	785	0,200	13,9	15-VIII-1967
75	—	F. 151 I SE	41° 52' 26"	0° 57' 42"	780	0,100	11	15-VIII-1967
76	—	F. 151 I SE	41° 52' 15"	0° 57' 54"	750	0,400	—	15-VIII-1967
77	—	F. 151 I SE	41° 52' 20"	0° 57' 57"	725	0,500	12,1	15-VIII-1967
78	F.te Caritonda	F. 151 I SE	41° 52' 33"	0° 59' 16"	625	< 0,250	—	15-VIII-1967
79	—	F. 151 I SE	41° 52' 13"	0° 58' 00"	750	0,100	12,3	15-VIII-1967
80	—	F. 151 I SE	41° 52' 47"	0° 58' 44"	750	0,100	14	16-VIII-1967
81	—	F. 151 I SE	41° 52' 07"	0° 58' 32"	512	0,100	13	16-VIII-1967
82	—	F. 151 I SE	41° 52' 53"	0° 59' 20"	565	0,100	—	16-VIII-1967
83	—	F. 151 I SE	41° 52' 07"	0° 59' 04"	525	0,100	14,3	14-VIII-1967
84	F.te Pisciaregli	F. 151 I SE	41° 52' 46"	0° 59' 08"	620	0,250	11,3	16-VIII-1967
85	—	F. 151 I SE	41° 52' 17"	0° 59' 21"	644	0,100	14,4	14-VIII-1967
86	—	F. 152 IV SO	41° 52' 19"	1° 00' 12"	450	0,100	12,5	15-VIII-1967
87	Acqua Aramiccia	F. 151 I SE	41° 51' 14"	0° 56' 44"	950	20	8,5	14-VIII-1967
88	Scifelliti	F. 151 I SE	41° 51' 52"	0° 57' 16"	953	< 0,250	15,8	15-VIII-1967
89	F.te del Carpino	F. 151 I SE	41° 51' 54"	0° 57' 29"	850	0,500	10,8	15-VIII-1967
90	Acino Cupo	F. 151 I SE	41° 51' 23"	0° 57' 25"	727	1	9,3	14-VIII-1967
91	F.te Mariano	F. 151 I SE	41° 51' 13"	0° 57' 25"	700	0,400	10,2	14-VIII-1967
92	—	F. 151 I SE	41° 51' 35"	0° 58' 55"	508	0,300	9,8	14-VIII-1967
93	Le Piane	F. 151 I SE	41° 51' 34"	0° 58' 47"	525	0,500	9	14-VIII-1967
94	F.te della Spogna	F. 151 I SE	41° 51' 02"	0° 58' 59"	683	0,100	9,7	6-IX-1967
95	F.te Santucci	F. 151 I SE	41° 51' 01"	0° 58' 45"	750	< 0,250	12,8	6-IX-1967
96	Trabucco	F. 152 IV SO	41° 51' 33"	1° 00' 33"	520	0,080	10	4-IX-1967
97	F.te di Canala	F. 152 IV SO	41° 51' 17"	1° 00' 18"	615	< 0,250	—	4-IX-1967
98	Lavatoio	F. 152 IV SO	41° 51' 02"	1° 01' 41"	480	0,530	13,6	6-IX-1967
99	SS. Sacramento	F. 151 I SE	41° 50' 13"	0° 55' 10"	1758	0,030	5,3	9-IX-1967
100	F.te di Campovano	F. 151 I SE	41° 50' 02"	0° 55' 49"	1425	1	5,5	9-IX-1967
101	Zompo lo Schioppo	F. 151 I SE	41° 50' 57"	0° 56' 55"	900	*		
102	Pantanece	F. 151 I SE	41° 50' 53"	0° 57' 05"	780	P		
103	F.te della Volpe	F. 151 I SE	41° 50' 50"	0° 57' 32"	690	0,500	7,8	22-IV-1967
104	F.te Resicco	F. 151 I SE	41° 50' 34"	0° 57' 32"	943	< 0,250	11,2	9-IX-1967
105	F.te Calapino	F. 151 I SE	41° 50' 43"	0° 58' 31"	760	0,800	8,5	6-IX-1967
106	St. Pretarea	F. 151 I SE	41° 50' 23"	0° 58' 12"	860	< 0,250	—	6-IX-1967
107	Casanova	F. 151 I SE	41° 50' 50"	0° 59' 03"	800	3	9,5	6-IX-1967
108	F.te dei Tartari	F. 151 I SE	41° 50' 30"	0° 59' 49"	875	0,160	9,1	23-IX-1967
109	Forcella	F. 152 IV SO	41° 50' 46"	1° 00' 02"	725	0,012	11,3	23-IX-1967
110	La Fontanella	F. 152 IV SO	41° 50' 51"	1° 01' 26"	540	0,004	17,4	6-IX-1967
111	—	F. 152 IV SO	41° 50' 35"	1° 01' 10"	670	0,010	10	21-V-1967
112	F.te Alberio	F. 152 IV SO	41° 50' 29"	1° 00' 44"	640	0,100	10,9	22-IX-1967

Segue Tab. 62 - Sorgenti del versante destro: tra Canistro e Roccapivi

N.	Nome	Tavoletta	Latitudine	Longitudine	Quota	Portata l/sec	Tempera- tura °C	Data delle misure
113	F.te Peppuccio	F. 152 IV SO	41° 50' 20"	1° 00' 42"	720	0,200	9,5	22-IX-1967
114	F.te Frattalonga	F. 152 IV SO	41° 50' 14"	1° 00' 14"	825	0,300	9	8-IX-1967
115	F.te dei Lombardi	F. 151 I SE	41° 50' 06"	0° 59' 58"	975	0,030	8,7	8-IX-1967
116	F.te del Prete	F. 152 IV SO	41° 50' 05"	1° 00' 01"	916	0,080	8,1	8-IX-1967
117	F.te Sambuco	F. 152 IV SO	41° 50' 07"	1° 00' 30"	760	5	8,4	21-V-1967
118	—	F. 152 IV SO	41° 50' 30"	1° 01' 54"	570	< 0,250	—	23-IX-1967
119	Femmina Morta	F. 152 IV SO	41° 50' 20"	1° 01' 44"	645	0,160	10,5	23-IX-1967
120	F.te Ravello	F. 152 IV SO	41° 50' 14"	1° 01' 36"	725	0,012	11,2	22-IX-1967
121	F.te di Castagno	F. 152 IV SO	41° 50' 06"	1° 01' 25"	800	0,060	10,5	23-IX-1967
122	Sorg. Rosogno	F. 152 IV SO	41° 50' 12"	1° 01' 20"	750	0,100	8	23-IX-1967
123	F.te del Cervo	F. 152 IV SO	41° 50' 23"	1° 02' 14"	620	0,250	10,1	23-IX-1967
124	Sorg. Meranna	F. 152 IV SO	41° 50' 19"	1° 02' 22"	614	0,800	10,8	23-IX-1967
125	Sorg. Colle Valate	F. 152 IV SO	41° 50' 19"	1° 02' 33"	580	0,600	11,2	23-IX-1967
126	F.te Panella	F. 152 IV SO	41° 50' 16"	1° 02' 46"	590	< 0,250	—	23-IX-1967
127	F.te Savera	F. 152 IV SO	41° 50' 10"	1° 02' 46"	600	0,250	10,8	23-IX-1967
128	—	F. 152 IV SO	41° 50' 06"	1° 02' 50"	576	< 0,250	—	23-IX-1967
129	F.te di Campovano	F. 151 II NE	41° 49' 38"	0° 55' 21"	1780	< 0,250	—	9-IX-1967
130	—	F. 151 II NE	41° 49' 36"	0° 55' 49"	1580	< 0,250	—	9-IX-1967
131	F.te La Liscia	F. 151 II NE	41° 49' 34"	0° 56' 08"	1414	1,300	4,8	9-IX-1967
132	—	F. 151 II NE	41° 49' 32"	0° 56' 04"	1420	0,050	—	9-IX-1967
133	—	F. 151 II NE	41° 49' 31"	0° 56' 00"	1500	0,025	5	9-IX-1967
134	—	F. 151 II NE	41° 49' 25"	0° 56' 02"	1490	0,050	—	9-IX-1967
135	F.te Cetora	F. 152 III NO	41° 49' 54"	1° 00' 14"	945	0,020	10,7	8-IX-1967
136	F.te Mainome	F. 152 III NO	41° 49' 51"	1° 00' 43"	882	P	—	—
137	F.te Pietrestrette	F. 152 III NO	41° 49' 34"	1° 00' 50"	910	P	—	—
138	La Fontanella	F. 152 III NO	41° 49' 06"	1° 00' 24"	1700	0,008	8,6	8-IX-1967
139	F.te Pisciarellino	F. 152 III NO	41° 49' 04"	1° 01' 20"	1264	0,500	—	21-V-1967
140	F.te Frattapiana	F. 152 III NO	41° 49' 46"	1° 02' 12"	885	0,008	9,8	29-X-1967
141	Peschio Rannuelfo	F. 152 III NO	41° 49' 52"	1° 02' 20"	825	0,025	13,2	29-X-1967
142	Iannaquine	F. 152 III NO	41° 49' 50"	1° 02' 49"	715	0,400	10	23-IX-1967
143	F.te Leone	F. 152 III NO	41° 49' 38"	1° 02' 44"	850	0,050	13,8	29-X-1967
144	F.te Pagliara	F. 152 III NO	41° 49' 46"	1° 03' 06"	720	0,008	13,1	29-X-1967
145	F.te Pisciarellino	F. 152 III NO	41° 49' 39"	1° 03' 13"	725	< 0,250	13,7	29-X-1967
146	F.te Schiapparo	F. 152 III NO	41° 49' 15"	1° 03' 23"	806	0,250	10,5	2-XI-1967
147	F.te Correa	F. 152 III NO	41° 49' 10"	1° 03' 53"	760	0,020	10,5	2-XI-1967
148	F.te Caunillo	F. 152 III NO	41° 49' 05"	1° 04' 07"	650	0,700	10,4	2-XI-1967
149	Pietre Fecché	F. 152 III NO	41° 49' 31"	1° 05' 01"	355	0,600	13,1	25-XI-1967
150	F.te Cannovina	F. 152 III NO	41° 49' 25"	1° 05' 06"	355	0,300	12,9	25-XI-1967
151	F.te Matté	F. 152 III NO	41° 48' 54"	1° 04' 05"	768	0,012	9,7	2-XI-1967
152	—	F. 152 III NO	41° 48' 43"	1° 04' 16"	792	< 0,250	—	2-XI-1967
153	—	F. 152 III NO	41° 48' 42"	1° 04' 09"	850	< 0,250	—	2-XI-1967
154	F.te Martino	F. 152 III NO	41° 49' 01"	1° 04' 47"	475	0,200	11,8	2-XI-1967
155	F.te Vicenna	F. 152 III NO	41° 48' 55"	1° 05' 15"	400	0,300	12,6	2-XI-1967
156	F.te del Prete	F. 152 III NO	41° 48' 53"	1° 05' 27"	380	1,300	13,1	2-XI-1967
157	—	F. 152 III NO	41° 48' 41"	1° 05' 18"	420	0,400	12,5	2-XII-1967
158	Aravecchia	F. 152 III NO	41° 48' 41"	1° 04' 49"	465	0,750	13,4	2-XI-1967
159	F.te Iovello	F. 152 III NO	41° 48' 28"	1° 04' 44"	640	0,070	10,7	26-XI-1967
160	—	F. 152 III NO	41° 48' 42"	1° 04' 22"	750	< 0,250	—	2-XI-1967

* = Sorgente carsica intermittente.

P = Misure periodiche riportate nel testo.

Calcolo della infiltrazione nel settore NW del bacino

Si è tentato un calcolo approssimato della infiltrazione nel settore NW del versante destro dove, per la situazione idrogeologica favorevole, è possibile definire l'area di alimentazione di un gruppo di sorgenti. Noto il bacino idrogeologico e le portate delle sorgenti si può ricavare facilmente l'infiltrazione dividendo il valore del deflusso per l'area di alimentazione; l'infiltrazione così ottenuta, espressa in mm, può essere convenientemente confrontata con gli afflussi meteorici per ricavare quanta parte di questi penetra in profondità.

L'area di alimentazione considerata, che corrisponde agli affioramenti delle breccie monogeniche (*br*) e dei calcari cretatici (*c*) è schematicamente indicata nella figura 113 dove sono riportate anche le sorgenti, i topoi e i pluviometri utilizzati nel calcolo relativo agli anni 1955-64-66, nei quali si disponeva di valori di portata più completi. Nelle tabelle 63; 64; 65 e 66 si riportano i dati utilizzati e la sintesi del calcolo dal quale risultano valori di infiltrazione molto elevati (870; 1008; 1124 mm su piovosità di 1206; 1317; 1760 mm rispettivamente) che aumentano all'aumentare della precipitazione.

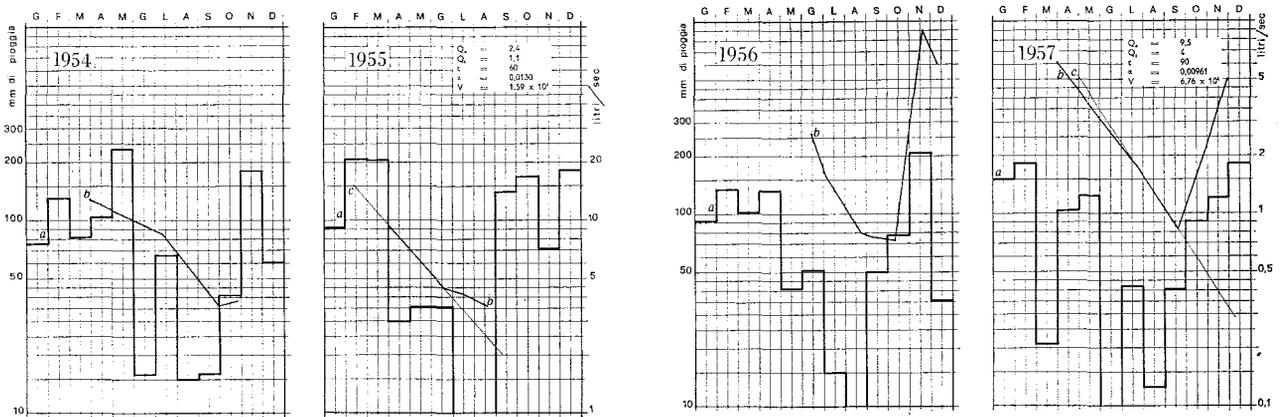
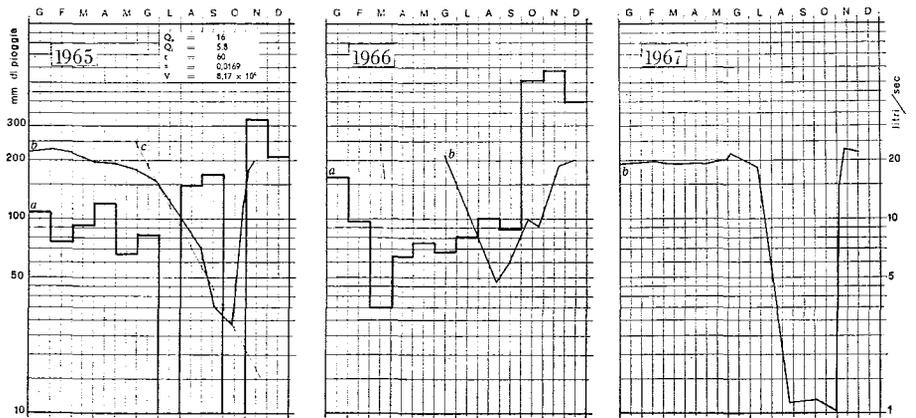


FIG. 111 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Mainome (n° 136). In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (*c*) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato, calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).

— Discharges and meteoric inflows diagrams relative to Mainome Spring (no. 136). On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates at logarithmic scale; to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; *a*: inflows curve; *b*: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume, calculated applying MAILLET formula (Fig. 94).

FIG. 112 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Pietre Strette (n° 137).

In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (*c*) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato; calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).



— Discharge and meteoric inflows diagrams relative to Pietre Strette Spring (no. 137). On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; *a*: inflows curve; *b*: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume; calculated applying MAILLET formula (Fig. 94).

Il calcolo va considerato indicativo perché alcuni valori approssimati, che è stato necessario adoperare in mancanza di dati più precisi, introducono un errore difficilmente valutabile, ma certamente non eccessivo.

La portata delle sorgenti in località Acqualozzi, purtroppo quella che ha maggior peso sulla validità del calcolo, è stata ricavata indirettamente dalla elaborazione dei dati di portata misurati agli impianti idroelettrici, in modo da ricavare l'effettivo contributo delle sorgenti; probabilmente il risultato ottenuto è leggermente inferiore a quello

reale. Le portate delle sorgenti di Mola della Meta e Sponga non vengono misurate periodicamente: è stato quindi necessario utilizzare le poche misure disponibili estrapolandole a tutto il periodo considerato; anche questo valore si può ritenere calcolato per difetto perché si è partiti da dati relativi a un periodo prossimo alla massima magra che si sono considerati pressoché costanti durante l'intero anno.

D'altra parte il valore delle precipitazioni, calcolato con il metodo dei topoi, è probabilmente inferiore al valore reale perché la distribuzione dei

pluviometri non è favorevole a un calcolo rigoroso in questo settore del bacino. L'area di alimentazione si estende infatti in buona parte ad ovest dello spartiacque, sul versante occidentale del rilievo esposto ai venti meridionali e occidentali dove la

piovosità è più elevata, rispetto a quella misurata sul versante interno (cfr. E. LUPIA PALMIERI - *Condizioni climatiche*). Sarebbe certamente arbitrario correggere quantitativamente i valori calcolati, ma almeno in via qualitativa, considerando

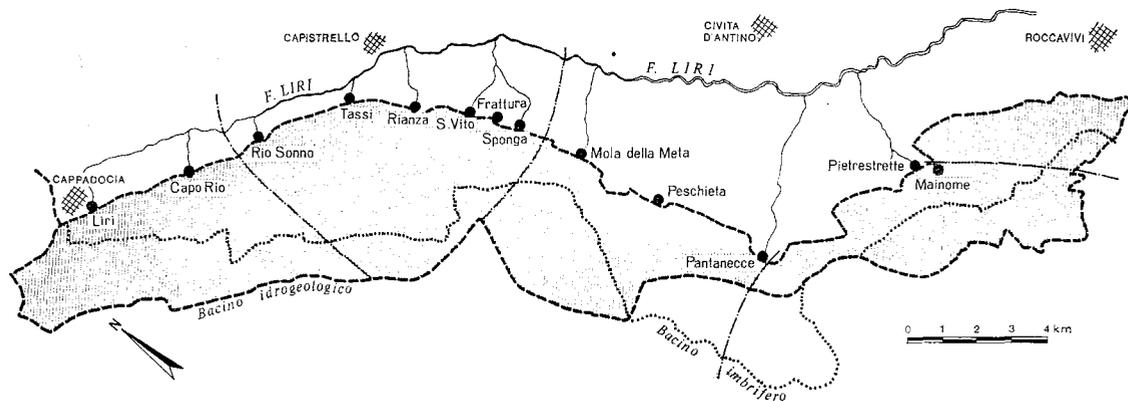


FIG. 113 — Sorgenti del settore nord-occidentale del bacino del Liri. A tratteggio verticale l'area di alimentazione considerata per il calcolo dell'infiltrazione; la linea a tratteggio indica il limite del bacino idrogeologico; quella punteggiata il limite del bacino imbrifero; quella a tratto e punto il limite della zona di influenza dei pluviometri considerati: Cappadocia, Capistrello, Civita D'Antino, Roccavivi; la stazione di Collepardo che interessa il settore meridionale non figura nello schema. Noti gli afflussi meteorici e le portate delle sorgenti si è calcolata l'infiltrazione per gli anni 1955; 1964; 1966; è risultata nei tre anni un'infiltrazione di 837; 1008; 1124 mm su 1206; 1317; 1760 mm di afflusso.

— Springs of the north western side of the Liri basin. Recharge area (dashed) considered to calculate infiltration. The dashed line shows the boundary of the groundwater basin. The dotted one, the watershed boundary; the dashed and dotted one the boundary of the area of influence of pluviometers. Knowing the meteoric inflows and the springs discharges, it has been possible to calculate the water infiltration for the following years: 1955; 1964; 1966; an infiltration of: 837; 1008; 1124 mm on 1206; 1317; 1760 mm of inflow, has been obtained.

TABELLA 63

1955	PORTATE MEDIE MENSILI DELLE SORGENTI IN l/sec											
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Liri	662	1290	1630	1430	940	730	585	485	430	425	850	1080
Capo di Rio	38	33,5	29	26	22	19	14	10	8	17	32	45
Rio Sonno	190	175	160	145	130	115	105	96	80	120	150	165
Tassi	60	54	52	48	42	39	36	34	32	34	35	36
Rianza	32	34	35	36	33	33	30	25	23	29	38	43
S. Vito	18	16	14	13	13	12	10	9,4	8,2	10	13	19
Frattura	15	15	15,5	15,5	16	16	13	10	9,4	9	9	9
Sponga	400	390	380	380	370	370	370	360	360	360	365	370
Curio	4,7	4,7	4,7	4,5	4,5	3,8	2,7	2	1,6	1,2	1	1
Schioppo	1100	1250	1450	1700	1700	1450	1250	1100	960	850	850	960
Pietre Strette	22	22	20	20	18	17	12	8,5	4	5	19	22
Mainome	11	10	10	8	6	4,5	4	3,5	5	9	10	10
Sorgenti minori	163,3	165	171,5	182,7	204,8	196,6	196,3	130,9	116,4	95,7	107,3	146,3
Portata media mensile totale in l/sec . . .	2715	3459	3971	4008	3498	3005	2627	2270	2037	1964	2479	2906
Deflusso mensile in m ³ · 10 ⁶	7,272	8,368	10,635	10,388	9,369	7,788	7,036	6,080	5,279	5,260	6,425	7,783

Deflusso totale annuo m³ · 10⁶ = 91,687

Portata media annua complessiva l/sec = 2911

TABELLA 64

1964	PORTATE MEDIE MENSILI DELLE SORGENTI IN l/sec											
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Liri	1070	800	1130	1310	900	580	940	380	290	1250	1306	2670
Capo di Rio	16	16	16	17	17	15,5	13	9	6	19	42	45
Rio Sonno	190	184	173	161	154	143	125	113	109	112	127	141
Tassi	60	54	52	48	42	39	36	34	32	34	35	36
Rianza	26	24	28	26	23	20	20	17	17	26,5	27	27
S. Vito	27	26	26	25	24	23	23	19	18	23	30	32
Frattura	9,6	9,4	9	11	12,5	12,5	12	10,5	10,5	12	14	16
Sponga	400	390	380	380	370	370	370	370	360	360	365	370
Curio	5	4,5	3,5	3	3,5	3	2,5	2,5	2	1,5	1,5	2
Schioppo	1450	1700	1900	2200	2200	1900	1700	1450	1250	1100	1100	1250
Pietre Strette	22	22	21	20	19	17	12	9	6	6	20	22
Mainome	13,5	13	13	12	11	10	8,5	6	4,5	4	5	8
Sorgenti minori	202,3	200	181,5	168	148,8	142,6	131,3	112,9	101,4	110,4	152,3	141,3
Portata media mensile totale in l/sec . . .	3491	3443	3932	4381	3924	3275	3393	2533	2206	3058	3224	4760
Deflusso mensile in m ³ · 10 ⁶	9,350	8,329	10,531	11,355	10,510	8,488	9,087	6,784	5,717	8,190	8,356	12,749

Deflusso totale annuo m³ · 10² = 109,451

Portata media annua complessiva l/sec = 3468

TABELLA 65

1966	PORTATE MEDIE MENSILI DELLE SORGENTI IN l/sec											
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Liri	1120	1400	1260	1540	1500	940	640	470	650	560	1450	1550
Capo di Rio	16,5	17,5	19	20	20	19	15	12,5	11,5	19,5	33	42
Rio Sonno	190	184	173	161	154	143	125	113	109	112	127	141
Tassi	70	70	70	60	76	80	60	40	38	38	50	60
Rianza	33	34	35	36	34	34	30	25	24	29	37	43
S. Vito	28	27	26	25	24	23	23	19	18	23	30	32
Frattura	10	9,5	9	11	12,5	12	11,5	10,5	10,5	12	13,5	16
Sponga	400	390	380	380	370	370	370	370	360	360	365	370
Curio	5	4,5	3,5	3	3,5	3	2,5	2,5	2	1,5	1,5	2
Schioppo	1700	2000	2300	2700	2700	2300	2000	1700	1500	1300	1300	1500
Pietre Strette	23	23	22	22	22	20	11,5	6	6,5	9,5	15	20
Mainome	13,5	13	13	12	11	9,5	8	6	4,5	3,5	5	8
Sorgenti minori	172,3	163	145,5	143	144,8	136,6	130,3	124,9	121,4	113,7	139,5	171,3
Portata media mensile totale in l/sec . . .	3781	4335	4455	5093	5071	4086	3426	2899	2855	2581	3566	3955
Deflusso mensile in m ³ · 10 ⁶	10,127	10,487	11,932	13,201	13,582	10,590	9,176	7,644	7,400	6,912	9,243	10,593

Deflusso totale annuo m³ · 10⁶ = 121,010

Portata media annua complessiva l/sec = 3842

l'esposizione e la quota delle aree di ricarica, si possono ritenere gli afflussi reali superiori a quelli calcolati; l'infiltrazione risulterebbe di conseguenza meno abbondante, relativamente al valore degli afflussi.

Il calcolo della evapotraspirazione (secondo L. TURC) fornisce valori molto prossimi alla differenza fra le precipitazioni e l'infiltrazioni; questa osservazione, pur nei limiti di approssimazione prima definiti, conferma indirettamente che lo scorrimento superficiale in questa zona è in ogni caso molto ridotto.

TABELLA 66

Anno	1955	1964	1966
Ar	1.206	1.317	1.760
A	123.468.531	134.893.489	180.240.725
Dr	837	1.008	1.124
D	85.704.000	103.237.000	115.082.000
Dr/Ar	0.69	0.76	0.63

Ar: Afflussi meteorici in mm che raggiungono il bacino di alimentazione delle sorgenti, calcolati con il metodo dei topoi e ragguagliati.

A: Valore di Ar espresso in m³.

Dr: Valore di D espresso in mm di pioggia, pari al valore dell'infiltrazione.

D: Deflusso totale delle sorgenti (pari all'infiltrazione) calcolato in m³.

Il valore elevato della infiltrazione, sebbene approssimato, si può ritenere sostanzialmente valido nel settore considerato e va certamente riferito in primo luogo alla situazione idrogeologica particolarmente favorevole (bacini endoreici, elevata permeabilità, innevamento etc.); non può di conseguenza essere considerato come valore medio, valido per tutti gli affioramenti calcarei di questo tipo, e tanto meno estrapolato a tutte le aree dove affiorano terreni carbonatici.

Versante destro: da Roccavivi a Isola Liri

In quest'area i calcari dolomitici, traslati a NE, si accavallano sul complesso argilloso-arenaceo lungo un piano di sovrascorrimento che immerge a SW. Il contatto tettonico, sebbene sia mascherato per lunghi tratti dalla coltre detritica, si può seguire da Reginara, a 900 m di quota, fino a pochi km a monte di Sora, dove scende a una quota di poco inferiore ai 300 m. Ne risulta che il limite tettonico e litologico affiora verso sud a quote

sempre più basse fino a scomparire sotto le alluvioni del fiume. La particolare litologia dei calcari dolomitici, sottoposti a una tettonica intensa, non ha favorito lo sviluppo di motivi plicativi a differenza di quando è avvenuto più a nord nei calcari avana; ne risulta una struttura massiccia e compatta rotta da faglie subverticali.

In tutta la zona dominano gli affioramenti di calcari dolomitici sui quali si conservano estesi affioramenti di calcari avana di spessore generalmente modesto. Sui bassi versanti meridionali si appoggiano trasgressivi lembi di puddinghe poligeniche (*p*), profondamente alterate (*pa*) sotto i 500 m di quota, che coprono in parte un modestissimo affioramento di calcari bianchi (*cb*) del Lias superiore, il terreno più antico che affiora sul versante destro. Al piede orientale dei rilievi carbonatici, sotto la marcata rottura di pendio, segnata da una modesta fascia detritica, affiora il complesso argilloso-arenaceo che scompare, qualche chilometro a monte di Sora sotto la copertura alluvionale. A valle di Sora il complesso argilloso-arenaceo non è più stato ritrovato nemmeno in sondaggi profondi e i risultati di uno studio geofisico tendono ad escluderne la presenza al di sotto della coltre lacustre.

La mancanza di sorgenti degne di nota lungo il basso versante meridionale, dove il contatto fra terreni carbonatici e terrigeni si deprime fino a oltre 300 m di quota, contrasta con la grande abbondanza di sorgenti allineate lungo la prosecuzione dell'analogo limite litologico che da Reginara raggiunge Cappadocia; l'analisi della situazione idrogeologica può giustificare l'apparente anomalia.

Aree di ricarica delle falde idriche - Negli affioramenti di calcari dolomitici (*cd*) che dominano nel settore meridionale del versante destro l'infiltrazione è certamente inferiore rispetto a quella che si verifica nei calcari che affiorano più a nord (cfr. *Idrogeologia delle formazioni*). Sebbene la natura litologica non favorisca l'infiltrazione, se si considera l'abbondanza delle precipitazioni (che nel periodo invernale assumono carattere nevoso), si può ammettere che nella vasta area le acque superficiali, soprattutto quelle provenienti dal lento scioglimento delle nevi, penetrino nel sottosuolo particolarmente lungo il reticolo di faglie, in buona parte dirette, e nelle numerose depressioni che si trovano all'interno del rilievo. I lembi di calcari avana che poggiano su calcari dolomitici favoriscono indubbiamente il processo d'infiltrazione, ma so-

prattutto assumono particolare interesse perché contengono la falda che alimenta la sorgente del Rio, l'unica degna di considerazione sul basso versante meridionale.

Una valutazione quantitativa sull'infiltrazione sarebbe assolutamente arbitraria perché mancano dati anche solo indicativi; in prima approssimazione si può considerare che il rilievo carbonatico contribuisca alla ricarica degli acquiferi profondi almeno in misura modesta. Il contributo di questo versante si perde, come si dirà fra breve, oltre i limiti occidentali e meridionali del bacino.

Livello di base - Il livello di drenaggio naturale di questa zona non è noto con certezza perché i dati disponibili non consentono di definirne la quota e la posizione, ma forniscono solo elementi per fare alcune ipotesi e considerazioni.

Il limite di permeabilità orientale impedisce lo scorrimento sotterraneo verso est; lungo di esso non si trovano sorgenti che drenano la falda posta nei calcari dolomitici. Da questa situazione si può dedurre che la formazione carbonatica non è satura a una quota superiore ai 300 m perché il livello di drenaggio naturale si deve trovare a una

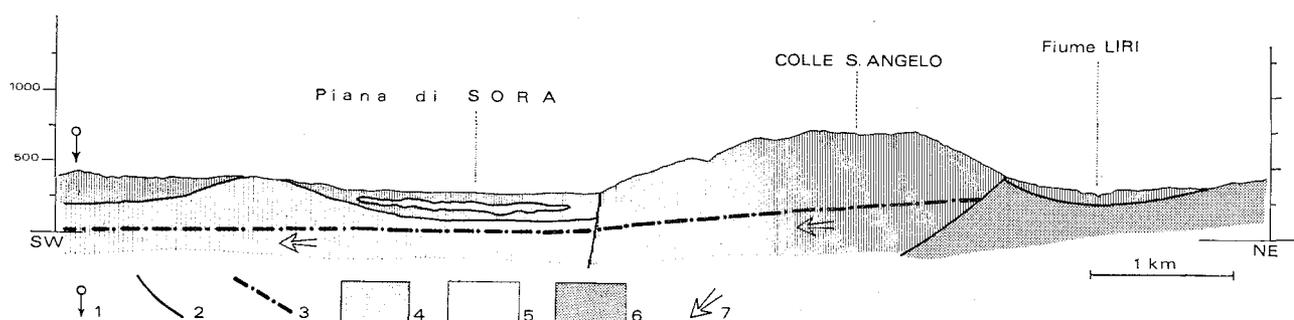


FIG. 114 — Profilo idrogeologico tracciato sulla base del profilo geologico n° 7 (cfr. Carta Idrogeologica).
 1) Limite del bacino imbrifero - 2) Limiti di permeabilità principali - 3) Andamento ipotetico della superficie freatica - 4) Rocce poco permeabili - 5) Rocce permeabili - 6) Rocce impermeabili - 7) Probabili direzioni di scorrimento sotterraneo. I gradienti idraulici sono esagerati.
 L'andamento della superficie freatica è ipotetico perché non si dispone di alcun dato diretto; l'interpretazione deriva da considerazioni sulla posizione dei limiti di permeabilità rispetto alle masse permeabili. Se l'ipotesi avanzata fosse corretta, sotto la piana di Sora, a una quota di poco superiore a 50 m si dovrebbe trovare un'abbondante falda alimentata lateralmente dai rilievi più meridionali del versante destro.

— Hydrogeological section based on the geological section no. 7 (see hydrogeological map).

1) Watershed boundary; 2) permeability main boundary; 3) hypothetical trend of water table; 4) weakly permeable rocks; 5) permeable rocks; 6) unpermeable rocks; 7) probable ground water flow direction. Hydraulic gradients have been exaggerated.

The water table trend is hypothetical, since there are no direct data available. The interpretation derives from consideration based on the position of the permeability boundaries related to the permeable masses. Should this be correct, under the Sora Flat, at about 50 m a.s.l., there should be a rich water bearing formation.

Limiti di permeabilità - I due principali limiti di permeabilità, che a nord di Acqualozzi delimitano a est e a ovest le formazioni calcaree permeabili, in questo settore del bacino si fondono in un unico limite che corre al contatto fra i calcari dolomitici e il complesso argilloso-arenaceo; cambiano di conseguenza sostanzialmente le condizioni idrogeologiche.

Il limite che si deprime in prossimità di Sora fino a 300 m di quota chiude il drenaggio sotterraneo verso est; lungo il contatto non si trovano sorgenti ad eccezione di quella presso Roccavecchia. Un secondo limite di permeabilità di minore interesse per la sua posizione e la grande discontinuità si trova alla base degli affioramenti dei calcari avana che poggiano sui calcari dolomitici.

quota inferiore, a S o a SW, al di fuori dei limiti del bacino.

Zona di accumulo e principali direzioni di scorrimento delle acque sotterranee - In questo settore del bacino le condizioni idrogeologiche differiscono da quelle della parte più settentrionale per due principali motivi: mancano innanzitutto estesi affioramenti di rocce molto permeabili che consentano una buona infiltrazione e di conseguenza manca un'abbondante alimentazione delle falde; in secondo luogo vi è un unico limite di permeabilità, che corre lungo il basso versante e pone a diretto contatto rocce dolomitiche poco permeabili con rocce impermeabili.

In queste condizioni, oltre a una buona alimentazione, vengono a mancare anche un serbatoio,

e un limite di permeabilità che impedisca lo scorrimento verso occidente. La situazione idrogeologica è inversa rispetto a quella della parte settentrionale del versante perché la mancanza di sorgenti indica che l'unico limite di permeabilità che affiora lungo il versante si deve necessariamente trovare a una quota superiore al livello di drenaggio naturale; ne consegue che se esiste una falda profonda nei calcari dolomitici non può drenare verso oriente, ma deve scorrere verso sud o verso ovest dove esiste una più facile via di deflusso.

Sullo schema di circolazione delle acque sotterranee (cfr. Carta Idrogeologica) le direzioni di

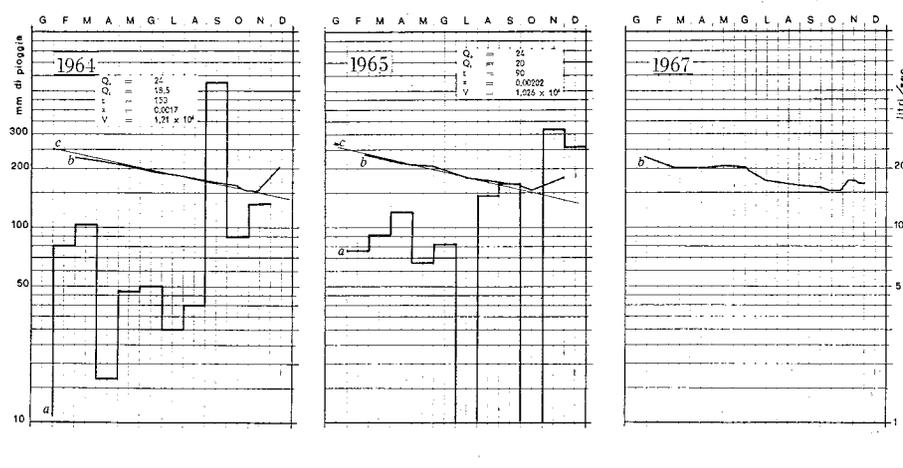
Sorgenti

La *Sorgente Rio* è quella di maggiore interesse nel tratto di versante che va da Roccapavi a Sora. È legata chiaramente alla frattura distensiva che corre lungo il Fosso delle Mele e taglia trasversalmente la linea di sovrascorrimento del Pizzo Deta; lungo questo reticolo di faglie drenano verso la sorgente le acque, infiltratesi nel rilievo calcareo di Monna Sanbucito e sul versante meridionale del Pizzo Deta, che vengono ostacolate nel loro processo di penetrazione verticale dal basamento calcareo-dolomitico. I dati disponibili indicano una marcata regolarità della portata che poco risente del regime delle precipitazioni; questa caratteristica si può riferire alla bassa permeabilità del tratto terminale che le acque devono percorrere prima di venire a giorno (fig. 115).

Sono numerose lungo il basso versante le sorgenti minori, che hanno interesse solo locale per la loro esigua portata.

FIG. 115 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente Rio (n° 161).

In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (*c*) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato; calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).



— Discharge and meteoric inflows diagrams relative to Rio Spring (no. 161).

On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates at logarithmic scale, to the left: meteoric inflows, to the right: spring discharges. *a*: inflows curve; *b*: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume; calculated applying MAILLET formula (Fig. 94).

scorrimento relative al basso versante destro sono definite probabili perché, mancando dati diretti, l'interpretazione è ipotetica. La direzione di scorrimento rivolto a sud è giustificata dalla presenza, sotto la piana di Sora, di una formazione carbonatica (probabilmente calcari avana permeabili) la cui presenza è stata accertata dalla prospezione geofisica; si può avanzare l'ipotesi che almeno una parte dello scorrimento profondo dreni verso sud dove i calcari sottostanti la formazione lacustre, a quota 150 circa, (fig. 114) vengono necessariamente in contatto con la formazione calcareo-dolomitica lungo il piano tettonico che corre ai margini settentrionali della conca di Sora (cfr. M. PAROTTO). Questa ipotesi ha un notevole interesse applicativo perché prevede sotto la piana di Sora una falda bene alimentata in calcari fessurati molto permeabili a una profondità di circa 230 m. Se ne riparlerà più diffusamente nei paragrafi successivi.

Versante sinistro: da Petrella Liri a Val Para

Nel tratto compreso fra la testata e Val Para il versante sinistro del bacino è formato da una monoclinale carbonatica mesozoica con caratteri litologici analoghi, ma non identici, a quelli dei terreni coevi affioranti sul versante opposto.

La monoclinale immerge verso NE con pendenza prossima ai 40°; sebbene rotta da motivi trasversali e secondari la struttura conserva una marcata regolarità (cfr. M. PAROTTO). Una linea tettonica di importanza regionale borda il rilievo carbonatico a SW e ribassa il complesso argilloso-arenaceo rispetto alla monoclinale mesozoica. Il rigetto della faglia cresce verso SE fino a raggiungere un massimo di circa 3000 m; ne consegue che il contatto tra formazione carbonatica e il complesso impermeabile di fondovalle si trova lungo il versante a quote sempre più basse (da 1000 m alla testata a 600 m all'altezza de I Ridotti).

SORGENTI DEL VERSANTE DESTRO: DA ROCCAVIVI A ISOLA LIRI

N.	Nome	Tavoletta	Latitudine	Longitudine	Quota	Portata l/sec	Tempera- tura °C	Data della misura
161	Sorg. Rio	F. 152 III NO	41° 48' 02"	1° 04' 54"	675	P	9	26-XI-1967
162	Martino	F. 152 III NO	41° 47' 55"	1° 05' 22"	700	0,080	9,1	26-XI-1967
163	F.te Aquilina	F. 152 III NO	41° 48' 06"	1° 06' 06"	442	0,050	—	26-XI-1967
164	F.te Pietre	F. 152 III NO	41° 47' 49"	1° 05' 50"	650	0,050	9,2	26-XI-1967
165	F.te Mariano	F. 152 III NO	41° 47' 56"	1° 06' 39"	325	0,004	13,6	28-X-1967
166	F.te Pappardone	F. 152 III NO	41° 47' 42"	1° 06' 37"	450	0,025	12,5	28-X-1967
167	F.te Cane Morto	F. 152 III NO	41° 47' 34"	1° 06' 34"	508	0,080	13,3	28-X-1967
168	La Fonte	F. 152 III NO	41° 47' 20"	1° 06' 37"	525	0,050	14,8	28-X-1967
169	F.te Acqua Salata	F. 152 III NO	41° 47' 05"	1° 07' 12"	375	0,008	14	28-X-1967
170	F.te Civoglia	F. 152 III NO	41° 46' 53"	1° 06' 50"	550	0,008	—	28-X-1967
171	F.te Cipriani	F. 152 III NO	41° 46' 52"	1° 07' 17"	443	0,050	11,5	8-X-1967
172	—	F. 152 III NE	41° 46' 57"	1° 07' 44"	325	0,020	13,6	8-X-1967
173	F.te Alfonsi	F. 152 III NO	41° 46' 41"	1° 07' 23"	600	0,090	11,3	8-X-1967
174	F.te Catena	F. 152 III NE	41° 46' 39"	1° 07' 55"	370	0,020	17,6	8-X-1967
175	—	F. 152 III NE	41° 46' 26"	1° 07' 58"	411	< 0,250	—	8-X-1967
176	Pisciarello	F. 152 III NE	41° 46' 29"	1° 08' 26"	310	0,130	13,5	8-X-1967
177	Scioscia	F. 152 III NE	41° 46' 10"	1° 08' 18"	440	0,080	17,5	8-X-1967
178	Ianemineche	F. 152 III NE	41° 45' 46"	1° 08' 35"	443	0,080	13	7-X-1967
179	—	F. 152 III NE	41° 45' 25"	1° 09' 01"	380	0,033	13,5	7-X-1967
180	F.te Mangone	F. 152 III SE	41° 44' 57"	1° 09' 20"	375	0,040	13,2	10-IX-1967
181	F.te Porretta	F. 152 III SE	41° 44' 51"	1° 09' 20"	390	0,060	13,3	10-IX-1967
182	Baffetta	F. 152 III SE	41° 44' 44"	1° 09' 38"	325	0,700	13	7-V-1967
183	—	F. 152 III SE	41° 44' 36"	1° 09' 43"	315	< 0,250	—	10-IX-1967
184	—	F. 152 III SE	41° 44' 17"	1° 09' 50"	291	< 0,250	13,2	10-IX-1967
185	S. Leonardo	F. 152 III SO	41° 44' 07"	1° 06' 30"	820	0,130	11	7-V-1967
186	La Brecciosa	F. 152 III SO	41° 43' 58"	1° 06' 13"	720	0,100	13	7-V-1967
187	Pisciarello	F. 152 III SO	41° 43' 56"	1° 06' 21"	690	0,250	11,8	7-V-1967
188	—	F. 152 III SE	41° 43' 56"	1° 09' 48"	290	0,200	11,5	6-V-1967
189	Sorgiva di Rovo	F. 152 III SE	41° 43' 47"	1° 09' 53"	320	0,050	13,1	10-IX-1967
190	F.te Orlando	F. 152 III SO	41° 43' 21"	1° 06' 20"	490	0,030	12	6-V-1967
191	S. Giorgio	F. 152 III SO	41° 43' 26"	1° 07' 14"	300	0,100	15	6-V-1967
192	Pozzillo	F. 152 III SO	41° 42' 39"	1° 05' 38"	425	0,050	12,5	24-VIII-1967
193	—	F. 152 III SO	41° 42' 31"	1° 06' 20"	490	0,050	12,5	24-VIII-1967
194	—	F. 152 III NO	41° 45' 31"	1° 04' 48"	1128	0,025	13,2	28-X-1967

P = Misure periodiche riportate nel testo.

Gli affioramenti del complesso argilloso-arenaceo si estendono sul fondovalle, mentre i calcari avana occupano la parte più elevata del rilievo e raramente scendono sotto i 1000 m; sul medio versante i calcari dolomitici affiorano lungo una fascia di circa 15 km, da Civita D'Antino a M. Cornacchia; a Valle di S. Giovanni di Val Roveto il crescente rigetto della faglia porta in affioramento i calcari bianchi (*cb*) che poggiano sulle dolomie basali (*d*).

Aree di ricarica delle falde idriche - Le principali aree di infiltrazione sono gli affioramenti di calcari avana e di calcari bianchi. Queste zone, confrontate con quelle analoghe del versante opposto sembrano indicare una minore permeabilità (cfr. *Idrogeologia delle formazioni*). La fascia di affioramento di calcari avana, che non raggiunge un km di larghezza a nord di Capistrello, ha una acclività molto marcata e una estensione troppo limitata per favorire una penetrazione abbondante;

le condizioni di infiltrazione migliorano verso SE dove l'affioramento si estende fino a raggiungere una larghezza di circa 3 km e dove, presso la linea di displuvio, la morfologia si fa più piatta e regolare.

Nei calcari bianchi, permeabili, le condizioni di infiltrazione sono favorite dal fatto che l'affioramento, largo circa un km si trova presso la base del versante carbonatico e viene quindi attraversato dalle acque superficiali provenienti dall'alto versante, dove affiorano calcari dolomitici meno permeabili.

Le acque che s'infiltrano in questo settore del versante sinistro si perdono verso est oltre i limiti del bacino imbrifero.

Limiti di permeabilità - I limiti di permeabilità che si possono individuare sono numerosi. Il più importante è certamente quello dovuto alla grande faglia diretta che pone in contatto la serie carbonatica con il complesso argilloso-arenaceo; è un limite continuo che percorre longitudinalmente

tutto il versante, con un andamento subverticale tale da impedire lo scorrimento sotterraneo verso SW. Un secondo limite si trova fra i calcari avana e i calcari dolomitici; è nettamente immerso a NE e facilita lo scorrimento sotterraneo nella stessa direzione, fuori del bacino imbrifero. Il limite che si trova al contatto fra i calcari bianchi e le dolomie è parallelo alla superficie prima considerata e, come questa ha la funzione di favorire il drenaggio sotterraneo verso l'esterno del bacino.

È significativo segnalare che su questo versante esiste, entro i calcari avana, un'altro limite di per-

meabilità e di conseguenza che il livello di base si deve trovare a una quota ancora inferiore.

Sebbene manchino dati sicuri sembra valida l'ipotesi che il livello di base di quest'area si trovi alle sorgenti del Fibreno; l'argomento verrà sviluppato più avanti.

Zona di accumulo e principali direzioni di scorrimento delle acque sotterranee - L'andamento dei limiti di permeabilità e la distribuzione delle aree di penetrazione indica che lo scorrimento entro le strutture carbonatiche del versante sinistro è diretto oltre i limiti orientali del bacino imbrifero

FIG. 116 — Profilo idrogeologico tracciato sulla base del profilo geologico n° 5 (cfr. Carta Idrogeologica).

1) Limite del bacino imbrifero - 2) Limiti di permeabilità principali - 3) Rocce poco permeabili - 4) Rocce permeabili - 5) Rocce impermeabili. Direzioni di scorrimento sotterraneo riconosciute (6) e probabili (7). I gradienti idraulici sono esagerati.

Le principali direzioni di scorrimento sotterraneo nelle rocce permeabili sono rivolte verso NE, oltre i limiti del bacino imbrifero. Il versante sinistro sembra perdere completamente le sue acque di infiltrazione; è tuttavia probabile che queste rientrino all'interno del bacino attraverso le sorgenti del Fibreno.

— Hydrogeological section based on geological section no. 5 (See hydrogeological map).

1) Watershed boundary; 2) permeability main boundaries; 3) weakly permeable rocks; 4) permeable rocks; 5) unpermeable rocks; groundwater flow direction detected (6) and probable (7). Hydraulic gradients have been exaggerated. The main directions of groundwater flow in permeable rocks are directed toward NE, beyond the boundaries of the watershed. The NE slope seems to lose completely its infiltration waters; it is possible, however, that these could flow back inside the basin through the Fibreno Springs.

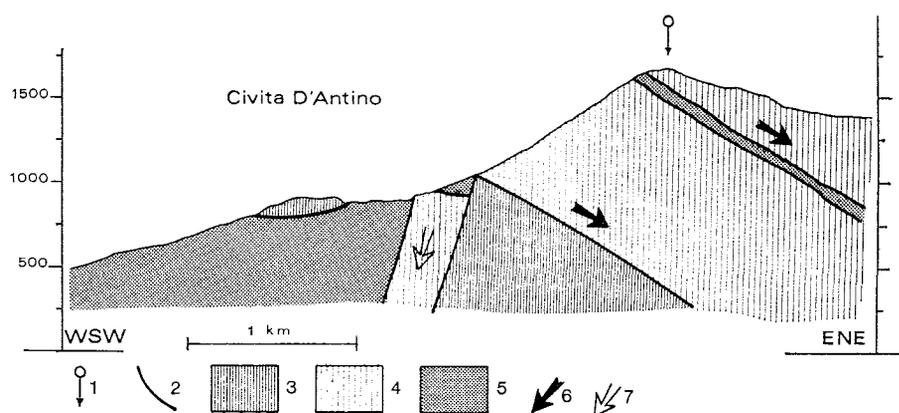
meabilità dovuto a un livello di pochi metri di bauxiti a bassa permeabilità, che mancano sul versante opposto; non si hanno dati sicuri per ritenere che la sua continuità sia garantita all'interno del rilievo; si può tuttavia osservare che, oltre i limiti nord-orientali del bacino, all'altezza degli affioramenti bauxitici si trovano delle modeste sorgenti. Questo fatto suggerisce l'ipotesi che il limite di permeabilità abbia la funzione di ostacolare la penetrazione verticale delle acque di infiltrazione e di accumulare piccole falde discontinue.

Livello di base - Il livello di base del settore nord-orientale del bacino non è noto con certezza; la mancanza di grandi sorgenti lungo il limite di permeabilità fra rocce carbonatiche e complesso argilloso-arenaceo indica che il livello di saturazione è inferiore alla quota di affioramento del limite di

(fig. 116); non è quindi possibile, per mancanza di dati, prevedere in quale area e in quali terreni le acque si vanno ad accumulare. Se si assume che il livello di base, relativo a queste aree di ricarica, sia posto in corrispondenza delle sorgenti del Fibreno si può almeno prevedere che la quota di saturazione è posta intorno ai 300 m; si giustificerebbero anche le principali direzioni di scorrimento sotterraneo previste nello schema di circolazione che figura sulla Carta Idrogeologica. Le acque d'infiltrazione che escono dal bacino imbrifero, dopo un lungo percorso sotterraneo, riemergerebbero al suo interno e sarebbero quindi recuperate.

Sorgenti

Sul versante sinistro, tra Cappadocia e Val Para, mancano sorgenti di particolare interesse per i motivi prima illustrati.



La *Sorgente S. Francesco*, che alimenta l'acquedotto per Civita D'Antino, come risulta chiaramente dalla Carta Idrogeologica, trae la sua origine da una particolare situazione tettonica locale che ha separato dalla parete carbonatica un cuneo di calcari cretaci. L'area di alimentazione, che corrisponde a questa zolla calcarea, è molto ridotta e la portata modesta non confrontabile con quella delle grandi sorgenti del versante opposto, legate a un grande bacino di alimentazione (fig. 117).

In situazione analoga, e con portata ancora minore, si trova la *Sorgente S. Martino* pochi km a Valle di Civita D'Antino.

Al piede del conoide di Balsorano si trovano numerose sorgenti legate al grande ammasso detritico permeabilissimo che poggia sul substrato argilloso-arenaceo. Mancano sufficienti dati per poter studiare il regime di queste sorgenti ma, da numerose osservazioni dirette, risulta che la loro portata è molto irregolare e legata all'andamento delle precipitazioni.

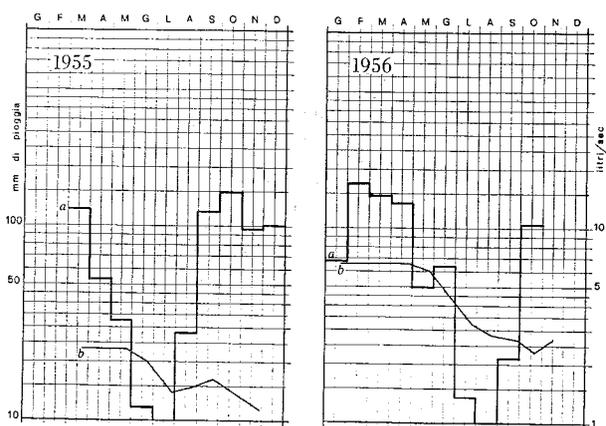


FIG. 117 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alla sorgente S. Francesco (n° 233).

In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate.

— Discharges and Meteoric Inflows Diagrams relative to S. Francesco Spring (no. 233).

On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates, at logarithmic scale, to the left: meteoric inflows, to the right: spring discharges. *a*: inflows curve; *b*: discharges curve.

Versante sinistro: da Val Para al Lago Fibreno

A sud di M. Cornacchia l'assetto strutturale del versante cambia nettamente e le condizioni idrogeologiche si adattano alla diversa situazione geologica.

La regolare monoclinale che caratterizza il versante a nord di Val Para (cfr. M. PAROTTO) viene rotta da due grandi faglie dirette subverticali, quasi ortogonali tra loro, (una trasversale lungo Val Para, l'altra longitudinale che passa nell'alta Valle del Lacerno) che ribassano una zolla di calcari avana disposti a monoclinale con inversione a NE; la grande faglia diretta, che lungo il fianco sinistro della valle mette a contatto il complesso argilloso-arenaceo con la serie carbonatica, alla

altezza de I Ridotti entra nella struttura e si complica in motivi secondari. A SW di questa linea tettonica si trova una monoclinale con pendenza a SW, intensamente fessurata da motivi longitudinali e trasversali.

Il complesso argilloso-arenaceo affiora sul fondovalle, localmente coperto da formazioni più recenti; sui rilievi carbonatici i calcari avana sono divisi in due principali affioramenti: uno a NE della faglia appenninica, in corrispondenza del rilievo Le Scalelle-La Brecciosa, completamente circondato da calcari dolomitici, e un secondo a forma grossolanamente triangolare che da Val Para si allarga verso SE fino oltre il limite del bacino imbrifero. Al margine sud occidentale del loro affioramento i calcari avana sono bordati da una fascia di calcari organogeni (*co*) che, attraverso un livello di marne (*m*) di una decina di metri, passano al complesso argilloso arenaceo. I calcari dolomitici sono poco estesi, si trovano lungo la valle del Lacerno e sul versante occidentale del rilievo Le Scalelle - La Brecciosa. I calcari bianchi (*cb*) affiorano lungo una fascia posta immediatamente a monte della grande faglia appenninica.

Aree di ricarica delle falde idriche - Anche in questa zona le principali aree di alimentazione sono gli affioramenti di calcari avana e di calcari organogeni del Miocene. Le condizioni dell'alto versante, sul fianco sinistro del Lacerno, sono identiche a quelle descritte nell'area precedentemente esaminata: buona penetrazione nei calcari avana e deflusso sotterraneo verso NE oltre lo spartiacque. Nel blocco ribassato Le Scalelle-La Brecciosa l'affioramento di calcari avana è certamente sede di abbondante infiltrazione: il pendio non è molto acclive e disseminato di forme carsiche superficiali; la quota elevata vede in inverno precipitazioni a carattere nevoso; il motivo tettonico dominante è distensivo e la fessurazione, sebbene non intensa, è dovuta a diaclasi aperte. Per il gioco delle faglie che lo isolano, il blocco di calcari avana viene a contatto in ogni direzione con calcari dolomitici; questo motivo strutturale crea le condizioni idrogeologiche che danno origine alle sorgenti captate dall'acquedotto di Val S. Pietro, molto importante nella regione perché alimenta Sora e numerosi altri centri minori (cfr. Carta Idrogeologica).

Nella monoclinale immersa a SW il vasto affioramento di calcari avana è sicuramente sede di un'infiltrazione abbondantissima perché un reticolo di faglie dirette, variamente orientate, ha prodotto

TABELLA 68

SORGENTI DEL VERSANTE SINISTRO: TRA PETRELLA LIRI E VAL PARA

N.	Nome	Tavoletta	Latitudine	Longitudine	Quota	Portata l/sec	Tempera- tura °C	Data delle misure
195	Pisciarello	F. 145 II SO	42° 00' 50"	0° 49' 57"	975	< 0,250	9,7	26-V-1967
196	Nina	F. 145 II SO	42° 00' 39"	0° 50' 42"	970	0,050	11,9	24-VIII-1967
197	S. Pietro	F. 145 II SO	42° 00' 33"	0° 50' 59"	990	0,060	11,4	24-VIII-1967
198	—	F. 145 II SO	42° 00' 12"	0° 52' 11"	1000	0,125	19	24-VIII-1967
199	—	F. 151 I NE	41° 59' 40"	0° 52' 35"	860	< 0,250	—	24-VIII-1967
200	—	F. 151 I NE	41° 59' 06"	0° 53' 31"	900	< 0,250	—	24-VIII-1967
201	—	F. 151 I NE	41° 59' 04"	0° 53' 36"	900	< 0,250	—	24-VIII-1967
202	—	F. 151 I NE	41° 59' 00"	0° 53' 43"	880	< 0,250	—	24-VIII-1967
203	—	F. 151 I NE	41° 59' 12"	0° 53' 42"	970	< 0,250	—	24-VIII-1967
204	F.te Cioccoino	F. 151 I NE	41° 58' 50"	0° 54' 06"	850	0,300	17,7	4-V-1967
205	F.te Civitella	F. 151 I NE	41° 58' 32"	0° 54' 38"	825	0,008	9,8	5-V-1967
206	—	F. 151 I NE	41° 58' 22"	0° 54' 31"	700	0,166	9,5	7-V-1967
207	Sarconi	F. 151 I NE	41° 58' 19"	0° 54' 41"	705	0,143	9,6	7-V-1967
208	Le Peschiere	F. 151 I NE	41° 58' 23"	0° 54' 47"	800	0,028	9,6	5-V-1967
209	S. Antonio	F. 151 I NE	41° 58' 17"	0° 54' 52"	780	0,138	10,5	7-V-1967
210	Dell'Ammalati	F. 151 I NE	41° 58' 01"	0° 55' 10"	700	0,016	10,9	22-VII-1967
211	La Botte	F. 151 I NE	41° 58' 00"	0° 55' 17"	725	1	12	22-VII-1967
212	—	F. 151 I NE	41° 57' 55"	0° 55' 22"	680	0,050	13,1	22-VII-1967
213	—	F. 151 I NE	41° 56' 45"	0° 57' 36"	625	0,023	14,3	22-VII-1967
214	Vecchiarelli	F. 151 I NE	41° 56' 39"	0° 57' 44"	615	0,330	13,5	25-VII-1967
215	—	F. 151 I NE	41° 56' 33"	0° 57' 55"	605	—	—	25-VII-1967
216	—	F. 151 I NE	41° 56' 46"	0° 58' 09"	690	—	—	25-VII-1967
217	—	F. 151 I NE	41° 56' 28"	0° 58' 10"	650	0,021	12,8	25-VII-1967
218	—	F. 151 I NE	41° 56' 03"	0° 58' 32"	675	0,050	13	26-VII-1967
219	—	F. 151 I NE	41° 55' 43"	0° 58' 19"	560	< 0,250	—	26-VII-1967
220	—	F. 151 I NE	41° 55' 48"	0° 58' 28"	600	< 0,250	—	26-VII-1967
221	—	F. 151 I NE	41° 55' 48"	0° 58' 40"	700	< 0,250	—	26-VII-1967
222	—	F. 151 I NE	41° 55' 52"	0° 58' 58"	796	< 0,250	—	26-VII-1967
223	—	F. 151 I NE	41° 55' 33"	0° 59' 15"	825	0,025	12,1	26-VII-1967
224	—	F. 151 I NE	41° 55' 28"	0° 59' 00"	725	0,016	16,7	26-VII-1967
225	—	F. 151 I NE	41° 55' 12"	0° 59' 06"	695	0,100	11,8	26-VII-1967
226	—	F. 151 I NE	41° 55' 10"	0° 59' 18"	675	0,013	16,4	26-VII-1967
227	Le Fosse	F. 151 I NE	41° 55' 14"	0° 59' 32"	850	0,070	11,5	26-VII-1967
228	F. te Porcaro	F. 151 I SE	41° 54' 59"	0° 59' 22"	790	0,100	11	29-VII-1967
229	F.te S. Maria	F. 151 I SE	41° 54' 53"	0° 59' 42"	860	0,370	10,7	29-VII-1967
230	—	F. 151 I SE	41° 54' 09"	0° 58' 51"	500	0,040	12,9	29-VII-1967
231	—	F. 152 IV SO	41° 54' 41"	1° 00' 09"	950	0,060	11,3	19-VIII-1967
232	F.te Vicara	F. 152 IV SO	41° 54' 19"	1° 00' 16"	850	0,250	10,3	19-VIII-1967
233	S. Francesco	F. 152 IV SO	41° 54' 03"	1° 00' 45"	986	P	—	—
234	F.te Arquaro	F. 151 I SE	41° 54' 03"	0° 59' 25"	565	0,250	12,4	31-VII-1967
235	—	F. 151 I SE	41° 54' 41"	0° 59' 09"	675	0,015	12,5	29-VII-1967
236	Ceccamosca	F. 151 I SE	41° 53' 49"	0° 59' 57"	730	0,050	11,1	31-VII-1967
237	—	F. 151 I SE	41° 53' 28"	0° 59' 30"	490	0,018	18	31-VII-1967
238	—	F. 151 I SE	41° 53' 16"	0° 59' 40"	485	0,040	14,7	31-VII-1967
239	F.te Farina	F. 151 I SE	41° 53' 11"	0° 59' 52"	500	0,006	17,5	31-VII-1967
240	—	F. 152 IV SO	41° 53' 55"	1° 00' 17"	850	0,006	20	19-VIII-1967
241	—	F. 152 IV SO	41° 53' 18"	1° 00' 31"	710	0,600	12,5	20-VIII-1967
242	—	F. 152 IV SO	41° 53' 09"	1° 00' 51"	765	0,160	12,4	20-VIII-1967
243	—	F. 152 IV SO	41° 53' 08"	1° 00' 17"	550	0,200	13,3	20-VIII-1967
244	—	F. 152 IV SO	41° 53' 15"	1° 00' 04"	567	< 0,250	—	20-VIII-1967
245	—	F. 152 IV SO	41° 53' 34"	1° 00' 11"	700	0,030	12,8	20-VIII-1967
246	—	F. 152 IV SO	41° 53' 34"	1° 00' 01"	650	0,020	18,5	20-VIII-1967
247	—	F. 152 IV SO	41° 53' 25"	1° 01' 20"	855	1	12	20-VIII-1967
248	—	F. 152 IV SO	41° 52' 56"	1° 00' 54"	775	0,250	12,2	20-VIII-1967
249	—	F. 152 IV SO	41° 52' 16"	1° 00' 22"	440	0,200	17,2	21-VIII-1967
250	—	F. 152 IV SO	41° 52' 30"	1° 00' 29"	520	0,110	16	20-VIII-1967
251	—	F. 152 IV SO	41° 52' 23"	1° 00' 23"	450	0,060	15,3	30-VIII-1967
252	F.te S. Martino	F. 152 IV SO	41° 52' 24"	1° 01' 43"	700	1	12,2	21-VIII-1967
253	S. Elmo	F. 152 IV SO	41° 52' 18"	1° 01' 40"	630	0,050	14,8	21-VIII-1967
254	—	F. 152 IV SO	41° 51' 45"	1° 01' 10"	450	0,140	14	21-VIII-1967
255	—	F. 152 IV SO	41° 51' 46"	1° 01' 22"	530	0,080	14	21-VIII-1967
256	—	F. 152 IV SO	41° 51' 22"	1° 03' 19"	670	0,250	13,1	22-VIII-1967
257	S. Elia	F. 152 IV SO	41° 51' 29"	1° 06' 53"	1415	< 0,250	11,6	23-IX-1967
258	—	F. 152 IV SO	41° 50' 41"	1° 04' 56"	575	0,020	14,5	23-VIII-1967
259	—	F. 152 IV SO	41° 50' 38"	1° 05' 07"	548	0,016	16,1	23-VIII-1967
260	—	F. 152 IV SO	41° 51' 48"	1° 02' 07"	641	0,750	—	21-VIII-1967
261	S. Onofrio	F. 152 III NE	41° 49' 04"	1° 08' 59"	1033	0,200	15	1-VIII-1967

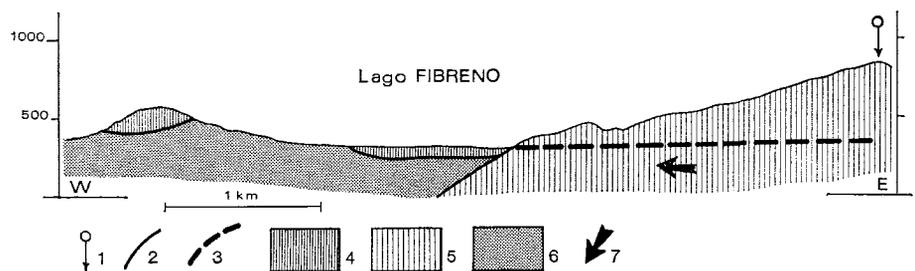
una fessurazione molto intensa e perché il pendio non è molto acclive; presso i limiti orientali del bacino, e soprattutto a oriente di questi, il carsismo superficiale appare più sviluppato che in qualunque altro punto del bacino. Si può concludere che nella zona si trovano ottime condizioni per l'infiltrazione.

Limiti di permeabilità - I limiti di permeabilità principali sono quello, più volte descritto, fra i calcari avana e i calcari dolomitici e un secondo al passaggio fra i calcari organogeni del Miocene e il complesso argilloso-arenaceo.

di marne (*m*) che affiora solo in lembi discontinui; per il suo scarso interesse non se ne terrà conto in questa sede. La superficie impermeabile, diretta NW-SE immerge a SW e impedisce lo scorrimento sotterraneo in questa direzione: il suo andamento si segue bene sul terreno perché è segnato dalla morfologia, affiora a quote sempre più basse fino all'altezza del Lago Fibreno dove raggiunge la massima depressione prima di risalire a quote più elevate, ai limiti meridionali del bacino.

La funzione di questo limite è fondamentale nell'idrogeologia regionale perché taglia longitudinal-

Fig. 118 — Profilo idrogeologico tracciato sulla base del profilo geologico n° 8 (cfr. Carta Idrogeologica).
1) Limite del bacino imbrifero - 2) Limiti di permeabilità principali - 3) Probabile andamento della superficie freatica - 4) Rocce poco permeabili - 5) Rocce permeabili - 6) Rocce impermeabili - 7) Direzione di scorrimento sotterraneo riconosciuta. I gradienti idraulici sono esagerati.



La falda che alimenta le sorgenti del Lago Fibreno ha una portata media di 10 m³/sec.; si è calcolato che la relativa area di ricarica si deve estendere per circa 400-500 km², una superficie prossima a quella dell'intero bacino dell'Alto Liri. È probabile quindi che in questo punto tornino a giorno le acque infiltratesi sul versante sinistro e una buona parte di quelle penetrate nei rilievi carbonatici che si estendono a NE dello spartiacque.

— Hydrogeological section based on the geological section no. 8 (See hydrogeological map).

1) Watershed boundaries; 2) Permeability main boundaries; 3) Probable trend of water table; 4) Weakly permeable rocks; 5) Permeable rocks; 6) Unpermeable rocks; 7) Groundwater flow direction detected; Hydraulic gradients have been exaggerated.

The aquifer feeding the Springs of the Fibreno Lake has an average discharge of 10 m³/sec. The correspondent groundwater basin area has been calculated to be approximately 400-500 km², a total area which is very close to the extension of the whole Upper Liri basin. It is probable, therefore, that in this locality the waters infiltrated through the NE slope and a great amount of waters infiltrated through the calcareous reliefs situated to the NE of the watershed, come back to the surface.

Il limite *c-cd* sul versante orientale dell'alto Lacerno facilita lo scorrimento sotterraneo a NE; lo stesso limite nel blocco ribassato Le Scalelle e La Brecciosa sostiene la falda che, almeno in buona parte, alimenta le sorgenti dell'acquedotto di Val S. Pietro. La superficie assume infatti una forma concava idonea a sostenere una falda perenne che viene a giorno sulla riva destra del Lacerno dove il limite di permeabilità è più depresso.

La seconda superficie da considerare, più importante della precedente, è la prosecuzione verso SE di quel limite di permeabilità che fino all'altezza di Val Para coincide con la grande faglia appenninica; quando questa entra all'interno della struttura il limite di permeabilità si allontana dal piano di faglia, diviene stratigrafico, e prosegue lungo il contatto fra il complesso argilloso-arenaceo e i calcari organogeni. In realtà tra i due terreni a permeabilità nettamente diversa si trova un livello

mente tutto il versante sinistro della valle, sbarcando lo scorrimento sotterraneo verso occidente, fino all'altezza del Lago Fibreno dove si trova un gruppo di sorgenti fra le più grandi dell'Italia centrale.

Livello di base - Lungo il limite di permeabilità che corre sul basso versante sinistro della valle da quota 1000 a quota 305 (Molino di Carpello) non si trovano sorgenti significative; si può quindi escludere che i terreni carbonatici siano saturi all'altezza del limite di permeabilità. Tutte le principali sorgenti del versante sono concentrate su un fronte di due km lungo le rive occidentali del Lago Fibreno. Si può quindi ipotizzare che all'altezza del Lago si trovi il livello di base di tutte le aree di ricarica del versante sinistro (fig. 118).

La portata eccezionale (media annua di circa 10 m³/sec) di queste sorgenti indica che l'area di

alimentazione si estende per molti km oltre il limite del bacino.

Zona di accumulo e principali direzioni di scorrimento delle falde sotterranee - Per definire i limiti della falda che drena nel Fibreno sarebbe necessario estendere lo studio idrogeologico molti chilometri oltre i limiti del bacino imbrifero; in mancanza di dati diretti si possono fare alcune considerazioni che hanno interesse anche in sede applicativa. Dai calcoli effettuati risulta che la falda si deve estendere, a NE del limite di permeabilità che la contiene a SW,; ne consegue che a una quota di 295 m, o leggermente superiore allontanandosi dalle sorgenti, tutte le formazioni permeabili che si trovano in contatto idraulico con le zone di saturazione che alimentano il Fibreno devono essere necessariamente sature.

Per valutare l'estensione dell'area di alimentazione delle sorgenti del Fibreno si è impostato questo calcolo: noto il deflusso medio annuo misurato all'idrometro di Ponte Tapino (Brocco), a circa un km dal Lago, si può risalire al deflusso medio annuo delle sorgenti sottraendo al valore misurato il ruscellamento relativo al bacino imbrifero a monte dell'idrometro (km² 48). Se agli afflussi totali si sottrae l'evapotraspirazione e si considera l'infiltrazione nulla, si può ricavare il ruscellamento, calcolato per eccesso, in modo da ottenere la portata delle sorgenti, calcolata per difetto. Il calcolo, riportato in tabella seguente è stato eseguito su valori della portata mediati nel periodo 1924-42 e 1959-63; per gli afflussi si è considerata la stazione di Alvito, per la temperatura quella di Atina.

TABELLA 69

Deflusso medio annuo misurato a Brocco	m ³ 340, 580 x 10 ⁶ pari a 10,8 m ³ /sec
Afflusso medio annuo sul bacino imbrifero (km ² 48; mm 1.356)	m ³ 65,088 x 10 ⁶
Evapotraspirazione calcolata secondo L. TURC (P = 1.356 mm; T = 14,2°)	m ³ 33,456 x 10 ⁶ pari a 697 mm
Ruscellamento	m ³ 31,632 x 10 ⁶
Portata media annua delle sorgenti	m ³ 308,956 x 10 ⁶ pari a 9,796 m ³ /sec

Per valutare l'estensione dell'area di alimentazione, necessaria per giustificare una portata media annua di 309.000.000 di m³, si può ipotizzare un valore dell'infiltrazione media e ricavare l'area di ricarica relativa.

TABELLA 70

Per una infiltrazione efficace di mm	Occorre un'area di alimentazione di km ²
400	772,390
600	514,926
800	386,195
1000	308,956

Le condizioni idrogeologiche del bacino indicano chiaramente che le sorgenti del Fibreno sono alimentate solo dalle aree di ricarica che si estendono a NE del limite di permeabilità che taglia longitudinalmente tutto il versante sinistro; la superficie complessiva di queste aree, comprese entro i limiti del bacino, non supera i 100 km²; se le sorgenti fossero alimentate solo da questa superficie si dovrebbe ammettere una infiltrazione di 3.089 mm anno, il che ovviamente è assurdo.

Considerando i valori medi riportati nella precedente tabella si può verosimilmente ritenere che l'area di alimentazione delle sorgenti del Fibreno sia compresa fra 400 e 500 km²; va precisato che l'area di infiltrazione così calcolata è relativa alle sole aree di ricarica permeabili la cui superficie è necessariamente inferiore al bacino di influenza, che comprende anche gli affioramenti impermeabili o a bassa permeabilità (complesso argilloso-arenaceo, dolomie etc.) che portano un contributo trascurabile alla infiltrazione.

Non è possibile, con i dati a disposizione, delimitare l'area di alimentazione e quindi tracciare, sul versante sinistro il limite del bacino idrogeologico.

Il risultato di questo calcolo è avvalorato dallo studio dei caratteri chimici delle acque sorgive: il residuo fisso delle acque del Fibreno (cfr. F. BERNARDINI - R. FUNICIELLO) è di 386 mg/l e il contenuto in cloro 0,299 meq, valori molto più elevati di quelli relativi alle sorgenti del versante destro (circa 170-200 mg di residuo fisso e 200 meq in Cl). Questi dati indicano che i percorsi sotterranei compiuti dalle acque sorgive del Fibreno sono molto più lunghi rispetto a quelli delle sorgenti che si trovano sul versante opposto.

Sorgenti

Le Sorgenti di Val S. Pietro che servono Sora e molti altri centri, attraverso una complessa e articolatissima rete idrica (cfr. Carta Idrogeologica), prima di essere captate sono state oggetto di studio da parte di PENTA e CAPOZZA, per conto del Servizio Acquedotti della Cassa per il Mezzogiorno; i risultati della ricerca sono

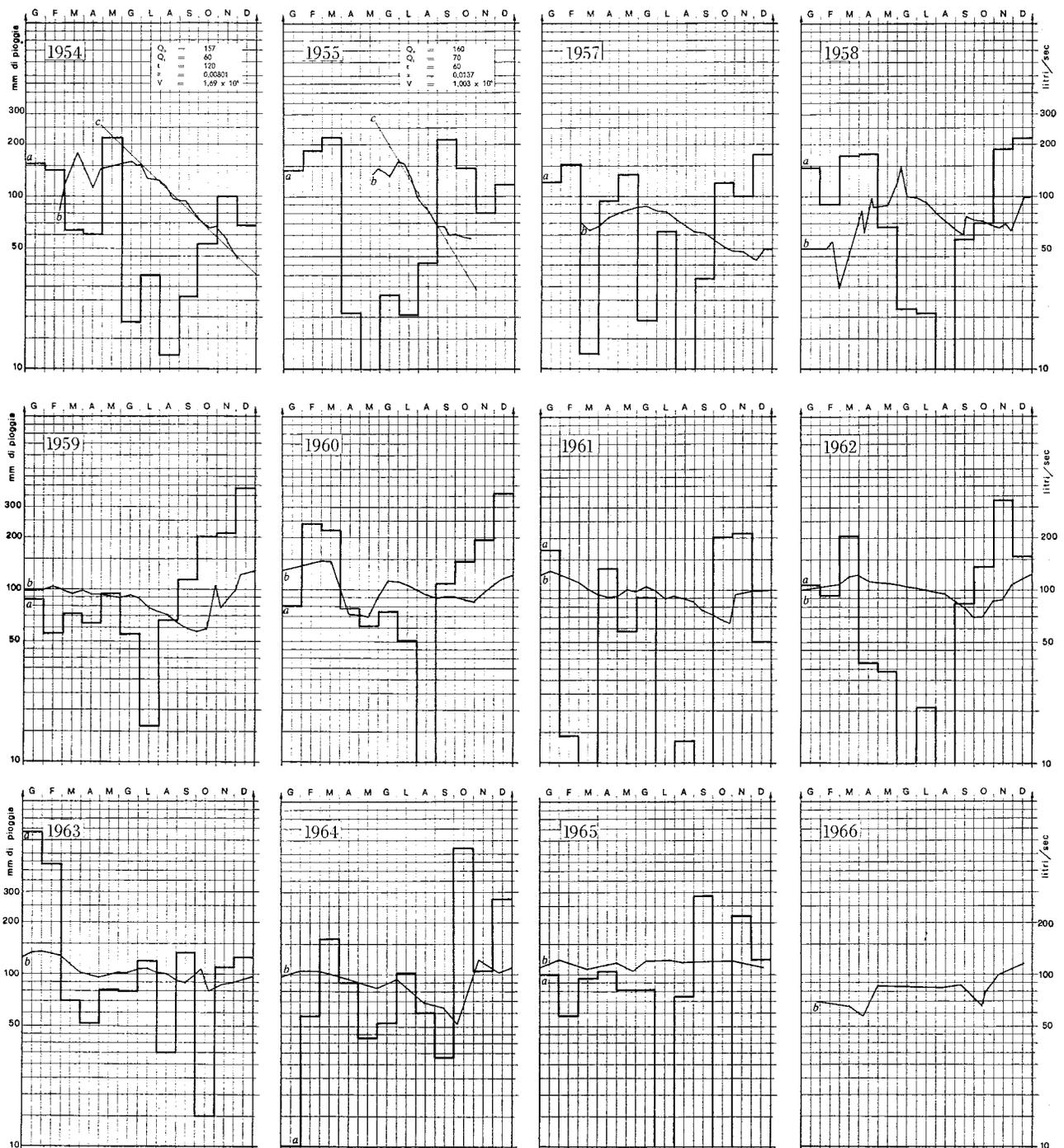


FIG. 119 — Grafici della portata e degli afflussi meteorici relativi alle sorgenti di Val S. Pietro (n° 282). In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, a sinistra gli afflussi meteorici e a destra le portate della sorgente. *a*: curva degli afflussi; *b*: curva delle portate. Dove è stato possibile tracciare la retta di esaurimento (*c*) figurano in grafico: Q_0 = portata iniziale e Q_t = portata finale del periodo di esaurimento; t = tempo di esaurimento in giorni; α = coefficiente di esaurimento; V = volume immagazzinato; calcolati applicando la formula di MAILLET (fig. 94).

— Discharges and meteoric inflow diagrams relative to Val S. Pietro Springs (no. 282). On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates at logarithmic scale: to the left, meteoric inflows; to the right, spring discharges; *a*: inflows curve; *b*: discharges curve. Where it has been possible to trace the recession line, Q_0 = initial discharge and Q_t = final discharge for the recession period, have been represented; t = recession time (in days); α = recession coefficient; V = stored volume; calculated applying MAILLET formula (Fig. 94).

riassunti da BAY (1956) a cui si rimanda. È opportuno aggiungere che l'acquedotto è alimentato da numerose sorgenti distribuite sul versante destro e sinistro dell'alta valle del Torrente Lacerno. La genesi delle sorgenti allineate sul versante destro, da questo studio, risulta legata al blocco ribassato Le Scalle-La Brecciosa, dove le rocce calcaree permeabili (c) si vengono a trovare circondate da calcari dolomitici meno permeabili; anche in questo caso, dove il limite di permeabilità che chiude i calcari raggiunge la massima depressione troviamo un allineamento di sorgenti che si versano nell'alveo del torrente. Un contributo notevole viene anche dal fianco sinistro della valle proprio dove la linea tettonica, che per un lungo tratto corre sul fondovalle con direzione

tentrionale si trova presso il Molino di Carpello, 2 km circa a nord del Lago, alla quota di 305 m. Anche in questo caso la « sorgente geologica » che è mascherata da un ammasso di detriti e di travertino non si trova, come potrebbe sembrare da un frettoloso esame della Carta Idrogeologica, nel complesso argilloso-arenaceo, ma al contatto fra questo e lo sperone di calcari organogeni (co) legato alle strutture calcaree nord orientali. Un rilevamento di dettaglio della zona ha infatti messo in evidenza che le acque sorgive, lasciate le strutture calcaree, scorrono coperte dal detrito di falda e dal travertino sul complesso argilloso-arenaceo per circa 150 m, prima di versarsi in un piccolo lago artificiale. Il regime di questa sorgente non è noto per mancanza di precisi

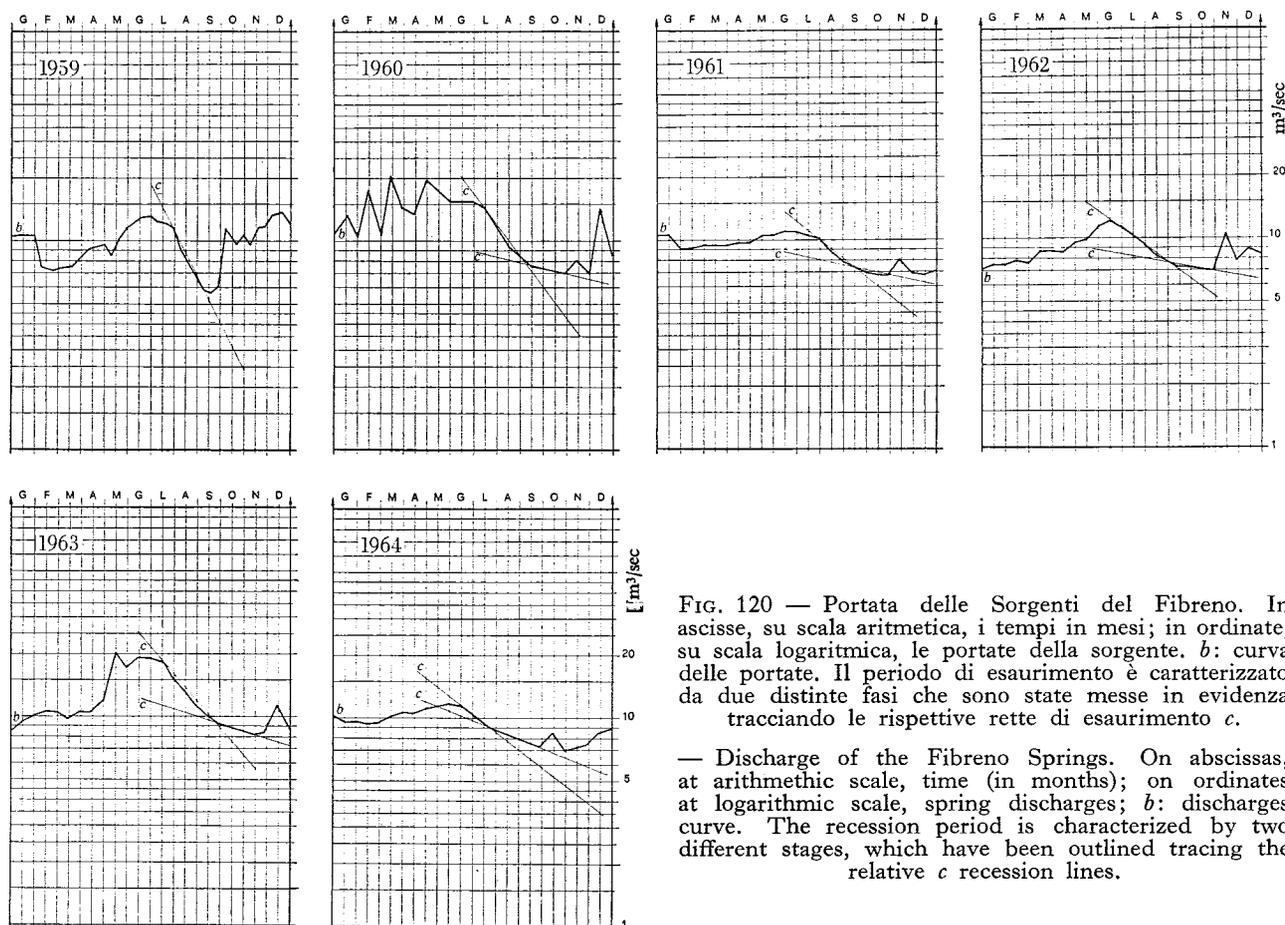


FIG. 120 — Portata delle Sorgenti del Fibreno. In ascisse, su scala aritmetica, i tempi in mesi; in ordinate, su scala logaritmica, le portate della sorgente. *b*: curva delle portate. Il periodo di esaurimento è caratterizzato da due distinte fasi che sono state messe in evidenza tracciando le rispettive rette di esaurimento *c*.

— Discharge of the Fibreno Springs. On abscissas, at arithmetic scale, time (in months); on ordinates at logarithmic scale, spring discharges; *b*: discharges curve. The recession period is characterized by two different stages, which have been outlined tracing the relative *c* recession lines.

NW-SE, entra nel versante e drena l'alto rilievo carbonatico a nord di Punta Mazza.

Il regime di portata, apparentemente molto regolare (fig.119) è in realtà strettamente legato all'andamento delle precipitazioni che sono abbondanti, in questa zona, anche nei mesi estivi; se si osservano infatti gli anni che risultano meno piovosi nel periodo estivo (1954-1955) si nota una netta caduta di portata che manca negli anni successivi in corrispondenza di piogge meglio distribuite nel tempo. In questa situazione il calcolo del coefficiente α e del volume immagazzinato V perde di significato.

Le Sorgenti del Fibreno, con una portata media annua complessiva prossima a $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ sono le più grandi della Valle del Liri. Si è detto nei precedenti paragrafi della loro origine e si è calcolata la probabile estensione del loro bacino di alimentazione. È un gruppo di sorgenti distribuite su un fronte di circa 2 km: la più set-

dati, ma gli abitanti del luogo ricordano che negli anni di eccezionale siccità la portata si riduce notevolmente fino ad andare in secca. Il fenomeno si può spiegare considerando che la sorgente si trova a una quota di circa 15 m superiore rispetto al livello del lago; in questa situazione, quando la falda che alimenta tutto il gruppo di sorgenti si trova in fase di esaurimento, la sorgente di Carpello è ovviamente la prima a risentire l'abbassamento della superficie della falda.

Le altre sorgenti si trovano lungo la riva orientale del lago. Il Dott. L. FERRI RICCHI, geologo sommozzatore, accompagnato dal Sig. RANIERI, si è immerso nella tarda estate del 1969 nel lago Fibreno e ha individuato le principali emergenze, difficilmente visibili dalla superficie. La più grande si trova all'estremo margine orientale del lago, sotto il paese di Posta Fibreno, dove sul fondo si apre un cono rovesciato con diametro massimo di circa 20 m e altezza di 15 m; alla sua base, con

gran turbolenza, sgorga la maggior quantità di acqua che origina il lago e il suo emissario. Una seconda forma, analoga alla precedente, a cono tronco rovesciato, si trova al margine nord-orientale del lago; questa, che in passato doveva essere attiva, è oggi praticamente fossile, si nota solo sul fondo un debole gorgoglio, cui corrisponde una portata non confrontabile con quella dell'emergenza più orientale.

Altre sorgenti relativamente minori, ma sempre dell'ordine di alcune centinaia di l/sec, si trovano allineate lungo la riva occidentale e lungo la strada che costeggia il lago.

Dai dati registrati alla stazione idrometrografica di Ponte Tapino (Brocco) è stato possibile conoscere i valori giornalieri di portata per un lungo periodo di

tempo; il bacino imbrifero a monte dell'idrometro è di circa 48 km² e il contributo delle acque di scorrimento superficiale si può considerare trascurabile, in periodo estivo, rispetto alla portata delle sorgenti. In fig. 120 si sono riportati i dati relativi al periodo 1959-64; mancano sui grafici i dati pluviometrici perché non si conosce ancora nell'area di influenza di quali pluviometri cade il bacino di alimentazione. Va sottolineato che dal 1960 al 1964 il periodo di esaurimento delle sorgenti mostra 2 distinte fasi con coefficienti nettamente diversi; la prima fase va approssimativamente da luglio ad agosto, la seconda da agosto a novembre. Questo fenomeno, osservato alle sorgenti del Fibreno, e già noto in altre sorgenti, è attualmente oggetto di indagini che tendono a chiarirne l'origine.

TABELLA 71

SORGENTI DEL VERSANTE SINISTRO: TRA VAL PARA E IL LAGO FIBRENO

N.	Nome	Tavoletta	Latitudine	Longitudine	Quota	Portata l/sec	Temperatura °C	Data della misura
262	Acqua Visciola	F. 152 III NO	41° 49' 45"	1° 05' 07"	372	< 0,250	14,5	31-IX-1967
263	—	F. 152 III NO	41° 49' 12"	1° 06' 46"	430	0,050	13,8	31-VIII-1967
264	—	F. 152 III NO	41° 48' 59"	1° 06' 41"	400	1	13,8	31-VIII-1967
265	Fontanella	F. 152 III NO	41° 48' 20"	1° 07' 26"	407	0,030	20	1-VIII-1967
266	—	F. 152 III NO	41° 48' 03"	1° 07' 06"	370	< 0,250	—	31-VIII-1967
267	Fonticelli	F. 152 III NO	41° 47' 46"	1° 07' 29"	425	0,200	13	23-VIII-1967
268	Case Ponte	F. 152 III NE	41° 47' 35"	1° 07' 36"	375	0,500	18	25-VIII-1967
269	Case Castella	F. 152 III NE	41° 47' 11"	1° 09' 00"	500	0,250	18	19-VIII-1957
270	—	F. 152 III NO	41° 48' 54"	1° 06' 33"	393	0,200	15,1	31-VIII-1967
271	—	F. 152 III NO	41° 48' 26"	1° 06' 45"	370	< 0,250	12,8	31-VIII-1967
272	—	F. 152 III NO	41° 48' 23"	1° 06' 43"	363	0,600	13,1	31-VIII-1967
273	Fontana	F. 152 III NE	41° 47' 05"	1° 08' 47"	450	0,050	19	1-IX-1967
274	Tre Fontane	F. 152 III NE	41° 47' 26"	1° 07' 32"	350	0,400	18	25-VIII-1967
275	Cartofilo	F. 152 III NE	41° 47' 26"	1° 08' 23"	476	0,008	20	22-VIII-1967
276	Le Fontanelle	F. 152 III NE	41° 46' 37"	1° 09' 00"	380	0,200	20	1-IX-1967
277	Fonzettilla	F. 152 III NE	41° 47' 07"	1° 09' 24"	550	0,200	18	23-VIII-1967
278	Case Valentini	F. 152 III NE	41° 47' 08"	1° 09' 36"	625	0,030	18	23-VIII-1967
279	Case Peruzza	F. 152 III NE	41° 46' 54"	1° 09' 31"	530	0,300	19	23-VIII-1967
280	Case Paoloni	F. 152 III NE	41° 46' 50"	1° 08' 44"	360	0,050	19	1-IX-1967
281	Case Mancini	F. 152 III NE	41° 46' 42"	1° 09' 26"	475	0,130	19	23-VIII-1967
282	Sorgenti di Val S. Pietro	F. 152 III NE	41° 46' 42"	1° 14' 56"	1100	P	—	—
283	Foglia Puzzolenta	F. 152 III NE	41° 46' 50"	1° 14' 32"	1175	< 0,250	—	9-IX-1967
284	F.te Leschia	F. 152 III NE	41° 47' 36"	1° 07' 18"	309	0,150	15	23-VII-1967
285	Case Cerrone	F. 152 III NE	41° 46' 51"	1° 09' 52"	590	0,200	20	23-VIII-1967
286	Castagno	F. 152 III NE	41° 46' 17"	1° 09' 16"	340	0,030	19	1-IX-1967
287	Carovenzi	F. 152 III NE	41° 45' 57"	1° 11' 21"	876	0,030	20	12-IX-1967
288	Vegnole	F. 152 III NE	41° 45' 56"	1° 09' 40"	390	0,250	20	1-IX-1967
289	—	F. 152 III NE	41° 47' 26"	1° 09' 00"	550	0,450	—	1-IX-1967
290	S. V. Ferrero	F. 152 III NE	41° 45' 37"	1° 09' 26"	475	0,050	22	1-IX-1967
291	—	F. 152 III NE	41° 45' 37"	1° 09' 30"	300	< 0,250	—	1-IX-1967
292	Costa Volpe	F. 152 III SE	41° 44' 56"	1° 10' 10"	296	0,030	20	2-IX-1967
293	F.te Canale	F. 162 III NE	41° 45' 07"	1° 12' 16"	625	0,030	20	11-IX-1967
294	Purifica	F. 152 III SE	41° 44' 52"	1° 12' 06"	530	5	19	12-IX-1967
295	S. Maria	F. 152 III SE	41° 44' 43"	1° 12' 21"	570	0,050	20	8-IX-1967
296	Lavannara	F. 152 III SE	41° 44' 43"	1° 12' 25"	580	0,050	19	8-IX-1967
297	F.te di Pedè	F. 152 III SE	41° 44' 27"	1° 10' 28"	336	0,100	20	4-IX-1967
298	F.te dei Muci	F. 152 III SE	41° 44' 34"	1° 12' 24"	540	< 0,250	22	8-IX-1967
299	F.te Chiarenzo	F. 152 III SE	41° 44' 35"	1° 12' 37"	600	0,025	19	8-IX-1967
300	S. Pietro	F. 152 III SE	41° 44' 38"	1° 12' 54"	640	0,050	22	8-IX-1967
301	La Forma	F. 152 III SE	41° 44' 35"	1° 12' 56"	620	0,060	20	8-IX-1967
302	La Fontana	F. 152 III SE	41° 44' 12"	1° 10' 40"	300	< 0,250	22	4-IX-1967
303	S. Restituta	F. 152 III SE	41° 43' 36"	1° 11' 39"	306	0,030	14	23-XI-1967
304	—	F. 152 III SE	41° 43' 39"	1° 11' 55"	389	0,016	14	23-XI-1967
305	—	F. 152 III SE	41° 43' 41"	1° 13' 19"	575	0,010	—	23-XI-1967
306	Mola di Carpello	F. 152 III SE	41° 43' 00"	1° 13' 21"	302	(1) P	—	—
307	Acque Vive di Carpello	F. 152 III SE	41° 43' 42"	1° 13' 10"	380	< 0,250	—	30-IX-1967
308	F.te del Rio	F. 152 III SE	41° 43' 53"	1° 13' 14"	450	0,250	—	30-IX-1967
309	Colle Marchetti	F. 152 III SE	41° 42' 16"	1° 10' 21"	302	0,040	14	10-IV-1968
310	Sorgenti del Fibreno	F. 152 III SE	(2) 41° 41' 27"	(2) 1° 14' 32"	296	P	—	—

P = Misure periodiche riportate nel testo.

(1) La portata viene misurata insieme a quella delle sorgenti del Fibreno (fig. 120).

(2) Le coordinate sono relative a una delle numerose sorgenti distribuite su un fronte di 2 km.



FIG. 121 — Panoramica del Lago Fibreno che dà origine all'emissario omonimo. Il lago è alimentato da grandi sorgenti che hanno una portata media annua prossima a $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ e regime molto regolare; la principale sgorga alla base dello sperone calcareo miocenico (visibile sulla destra) che si immerge a franapoggio sotto il complesso argilloso arenaceo coperto dalle alluvioni; si è calcolato che queste sorgenti devono avere un bacino di alimentazione probabilmente superiore a 400 km^2 .

— View of Fibreno Lake. The lake is fed by springs which have an average discharge close to $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ and a very regular regimen. The main spring outflows at the foot of a miocenic calcareous spur, visible on the right, dipping under the shaly arenaceous complex, covered by alluvium. It has been calculated that these springs should have a groundwater basin larger than 400 km^2 .

La Conca di Sora

La vasta pianura che si estende a ovest di Sora, a quota 270 circa, dai bassi versanti meridionali del rilievo di Serra Alta fino al Fibreno, prende il nome di conca di Sora; è attraversata dagli stretti meandri del Liri che in questo tratto alluviona quasi ogni anno. Questa parte del bacino ha particolare interesse nella ricerca perché, essendo sede di un intensa attività agricola e industriale, necessita di un adeguato approvvigionamento idrico e di opportune difese dalle alluvioni del fiume.

La genesi della conca di Sora non è ancora del tutto chiara sebbene gli studi geologici, idrogeologici e geofisici compiuti durante questa campagna di ricerche abbiano contribuito ad acquisire nuovi interessanti dati (cfr. M. PAROTTO). Estesa su tutta la pianura affiora la formazione lacustre antica in parte coperta dalle alluvioni recenti del Liri. Quando si è intrapreso lo studio non si conosceva la litologia della serie lacustre né il suo spessore: le incognite che lo studio doveva chiarire riguardavano non solo la potenza e la permeabilità dei terreni alluvionali ma soprattutto la natura del substrato sul quale questi poggiano; l'esistenza di una falda nelle

alluvioni è necessariamente condizionata dalla permeabilità del basamento che può essere più o meno idoneo a sostenerla.

Il complesso argilloso-arenaceo viene coperto, ai limiti della pianura, dalla formazione lacustre e dalle alluvioni recenti tanto che un'indagine di superficie non può ricavarne l'andamento in profondità. Per stabilire se sotto la formazione lacustre si trovasse il complesso argilloso-arenaceo si sono adottati due diversi metodi di indagine tra loro complementari: la coltre lacustre è stata studiata cercando di conoscere la stratigrafia e le caratteristiche idrauliche dei pozzi più profondi; il basamento è stato studiato con una campagna di prospezione geoelettrica che ha fornito dati significativi sulla situazione geologica fino ad una profondità stimata di circa 600 m.

Prospezione geoelettrica - È stato impiegato il metodo della resistività e adottato il dispositivo ABMN simmetrico di SCHLUMBERGER.

Lo studio geofisico che si presentava apparentemente semplice per le ottime condizioni morfologiche e la situazione geologica favorevole, ha comportato, in un territorio intensamente abitato e col-

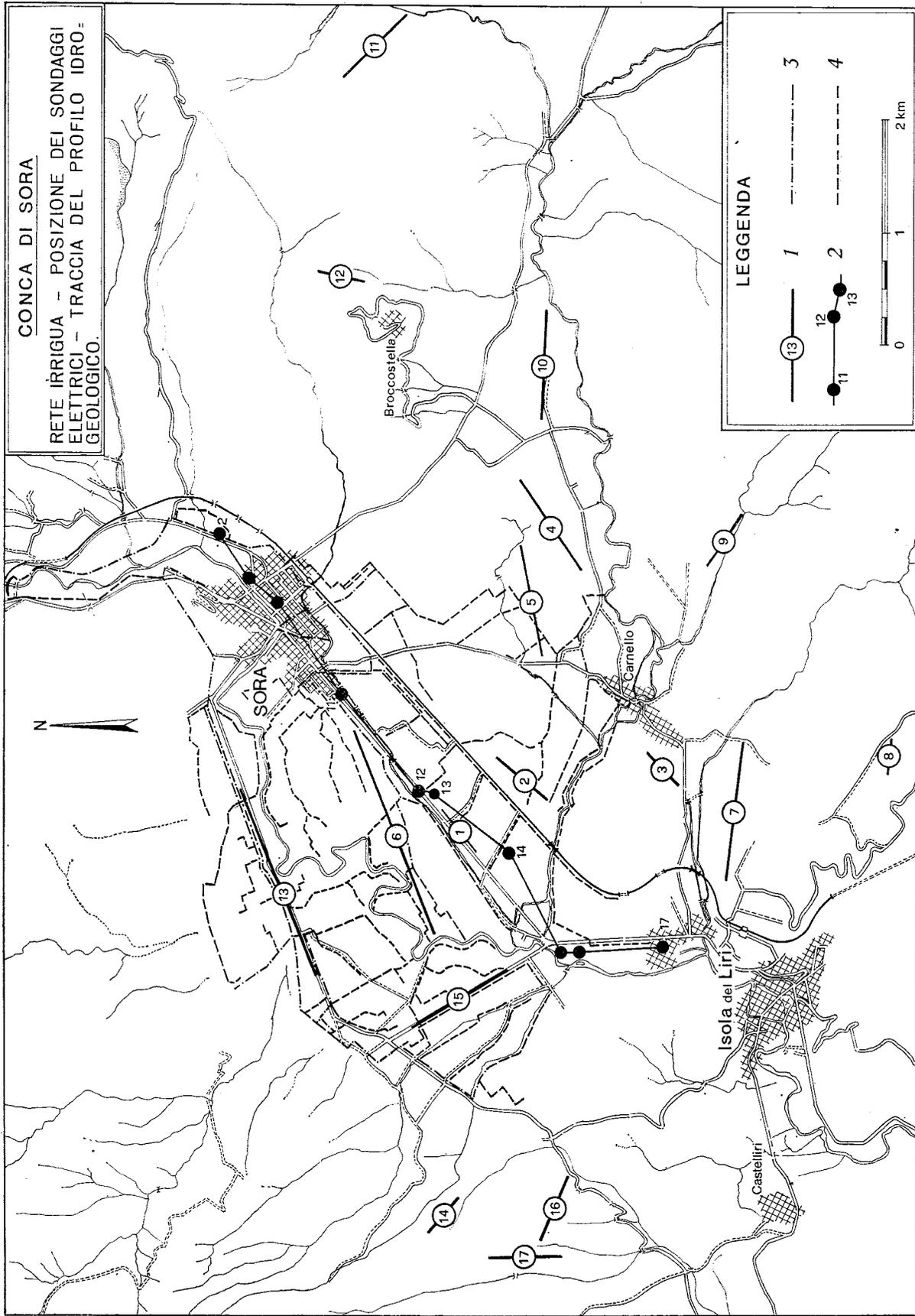


FIG. 122 — 1) Sondaggi elettrici; 2) traccia del profilo idrogeologico; 3) canali primari di irrigazione in condotta; 4) gli stessi in superficie. La rete di irrigazione è alimentata da due canali, che fanno capo alla diga mobile visibile al limite settentrionale, con portata di circa 1 m³ ciascuno. L'indagine geoelettrica indica la presenza di una coltre alluvionale e lacustre potente circa 150 m; alla sua base, per uno spessore di oltre 500 m, si trovano terreni ad alta resistività riferibili a calcari del Cretacico.

— 1) Electrical soundings; 2) trace of the hydrogeological section; 3) primary irrigation piped channels; 4) open channels. The Sora Flat is irrigated by a dense network of channels connected to a mobile dam. The electrical prospection has outlined that the alluvial and lacustrine cover has a maximum thickness of 150 m; calcareous rocks lay at its base.

PROFILO IDROGEOLOGICO DELLA CONCA DI SORA

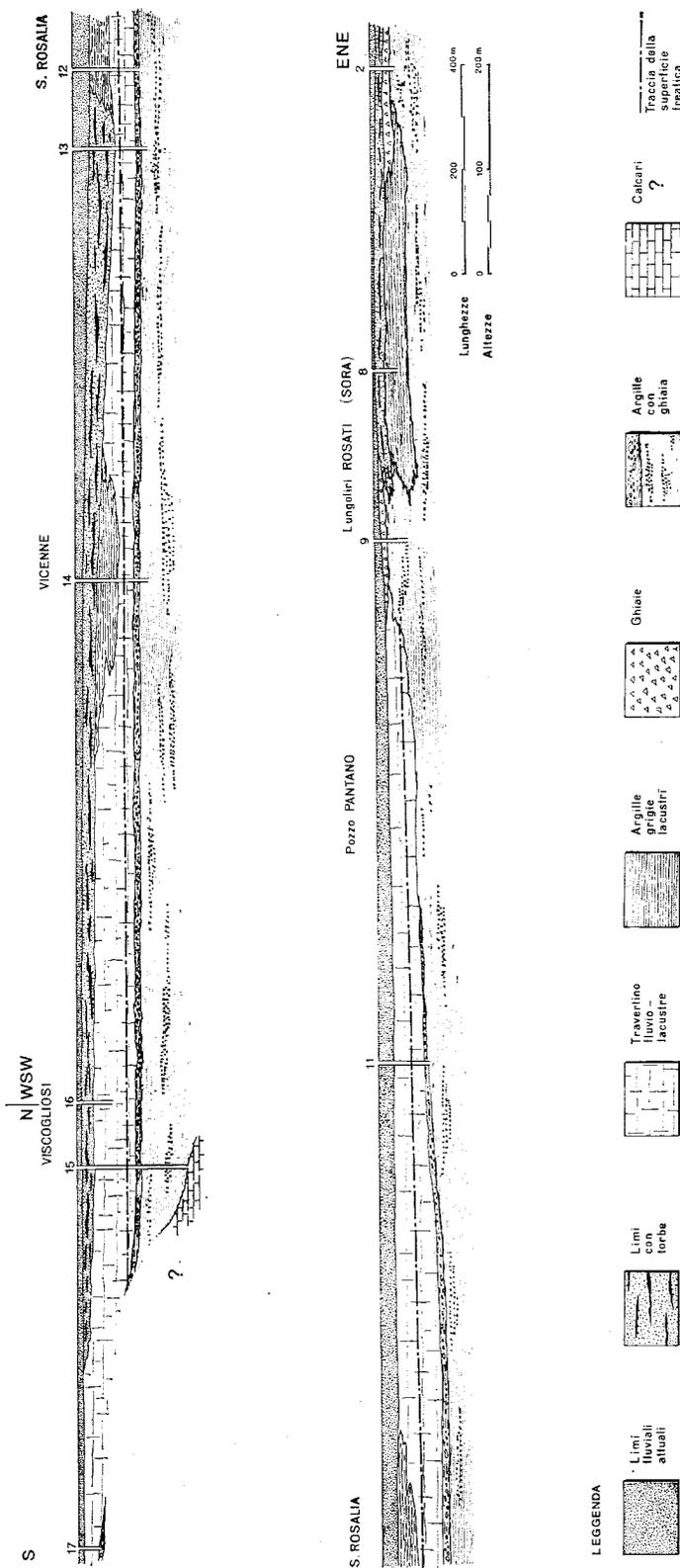


FIG. 123 — Il profilo idrogeologico è basato su dati di perforazione dei pozzi per acqua e sui risultati dell'indagine geoelettrica. Viene indicata la traccia della superficie freatica della falda che si trova nei travertini lacustri, utilizzata da pozzi con portate di 25 l/sec. Questa falda, che sembra continua su tutta l'area coperta da sedimenti lacustri, costituisce un'importante risorsa idrica per la piana di Sora; sarebbe quindi opportuno innanzitutto valutarne le caratteristiche e controllare la sua utilizzazione prima che vada perduta per uno sfruttamento irrazionale. Gli studi condotti nella regione indicano inoltre che intorno a 50 m di quota, e quindi a una profondità di circa 230 m, nelle rocce che formano il basamento della pianura si dovrebbe trovare una grande falda alimentata dai rilievi carbonatici settentrionali. Un solo sondaggio, opportunamente ubicato, potrebbe verificare questa ipotesi; il ritrovamento sarebbe di notevole interesse in una regione in avanzato stato di sviluppo industriale.

— The hydrogeological section is based on water well logs and on results of geoelectrical exploration. Water table (dashed and dotted line) of the aquifer located in lacustrine travertines has been represented. This aquifer, exploited by wells yielding 25 l/sec, seems to be continuous over the whole lacustrine sediment area and is an important local water resource. It would be, therefore, useful to evaluate its characteristics and control its exploitation. Investigations, carried out in the area, show again that a rich aquifer should be located, to a depth of roughly 230 m, within the rocks of the basement; one single drillhole, suitably placed, could verify this hypothesis. Such a discovery could be of great importance in an area of advanced industrial development.

tivato, notevoli difficoltà esecutive; la necessità di spingere l'indagine a notevoli profondità ha richiesto stese elettrodeiche AB lunghe fino a 2 km che sovente andavano a interferire con ostacoli insuperabili. Per questo motivo molti sondaggi non si spingono alla profondità che sarebbe stato opportuno raggiungere.

Sono stati eseguiti 17 sondaggi verticali per uno sviluppo complessivo di 13,880 km di stese elettrodeiche; nelle figure 123, 124 sono indicate le posizioni dei sondaggi eseguiti, contrassegnati con un numero progressivo, e i grafici di resistività ottenuti che vengono di seguito commentati.

— Sondaggio n° 1 - quota 273, AB = 500 m.

A un livello superficiale di 5 m, con resistività inferiore a 10 ohm · m, segue un orizzonte con resistività media di circa 130 ohm · m e dello spessore di 110 m. Si osserva in corrispondenza di $AB/2 = 250$ una leggera caduta di resistività; questo fenomeno si riscontra anche in altri sondaggi.

— Sondaggio n° 2 - quota 274, AB = 640 m.

Il grafico indica genericamente la presenza di terreni a resistività variabile fra 10 e 100 ohm · m, fino alla profondità di circa 150 m; si rimane entro la formazione lacustre.

— Sondaggio n° 3 - quota 270, AB = 400 m.

Il grafico indica un primo strato con resistività di circa 10 ohm · m, fino a 20 m di profondità, cui fa seguito un orizzonte con resistività di 80 ohm · m fino a circa 100 m di profondità; si rimane entro la formazione lacustre.

— Sondaggio n° 4 - quota 291, AB = 1000 m.

Grafico di notevole interesse, ma purtroppo tanto irregolare da non consentire una attendibile interpretazione quantitativa; indica comunque che un orizzonte con resistività crescente dai 10 ai 100 ohm · m raggiunge una profondità di circa 100 m; fa seguito un orizzonte meno resistivo di spessore limitato ad alcune decine di m. Alla base di questo si trova un substrato resistivo che provoca un costante incremento di resistività registrato fra $AB/2 = 250$ e $AB/2 = 500$.

— Sondaggio n° 5 - quota 282, AB = 1000 m.

Coltre superficiale con resistività variabile tra 15 e 25 ohm · m, profonda circa 10 m; segue un terreno a resistività variabile tra 15 e 100 ohm · m, fino a 150 m: si registra una marcata caduta di resistività fra $AB/2 = 300$ e $AB/2 = 500$. Condizioni analoghe si sono trovate nel sondaggio n° 1.

— Sondaggio n° 6 - quota 273, AB = 2000 m.

Grafico molto irregolare simile ai precedenti: nella parte iniziale si sono registrate resistività di 15 ohm · m fino a 15 m di profondità, segue uno strato con resistività media di 100 ohm · m, fino alla profondità di 100 m; una caduta di resistività si ha fra $AB/2 = 250$ e $AB/2 = 600$; successivo netto incremento che tende verso valori di resistività molto elevati. Il sondaggio ha raggiunto il basamento resistivo.

— Sondaggio n° 7 - quota 272, AB = 1000 m.

Resistività di 10-15 ohm · m, fino a 25 m; seguono terreni con resistività di 150 ohm · m, fino a 90 m di profondità; al di sotto si osserva un netto incremento verso valori di resistività che superano 1000 ohm · m.

— Sondaggio n° 8 - quota 430, AB = 200 m.

Sondaggio di taratura sulla formazione delle puddinghe di Santopadre; indica semplicemente che la resistività della formazione è variabile fra 200-300 ohm · m.

— Sondaggio n° 9 - quota 305, AB = 500 m.

Sotto una coltre superficiale, estesa a 25 m di profondità e con resistività variabile fra 40 e 60 ohm · m, si trova una formazione con resistività media di 200 ohm · m.

— Sondaggio n° 10 - quota 297, AB = 1000 m.

Grafico di difficile interpretazione perché dovuto ad un sondaggio probabilmente male impostato; indica genericamente che fino ad una profondità stimata di circa 300 m non si trovano terreni con resistività superiore a 40 ohm · m. Dalla posizione del sondaggio rispetto agli affioramenti circostanti si può dedurre ancora che la resistività del complesso argilloso arenaceo non supera in quella zona i 20 ohm · m.

— Sondaggio n° 11 - quota 395, AB = 1000 m.

Sotto una copertura di 20 m, con resistività di circa 60 ohm · m, si trova una potente formazione con resistività di 15 ohm · m, che si spinge a una profondità di almeno 200 m. Segue un modesto incremento di resistività che si può riferire a una variazione litologica in seno alla stessa formazione o a un basamento più resistivo appena interessato dal sondaggio; non è possibile una interpretazione che vada oltre le ipotesi.

— Sondaggio n° 12 - quota 395, AB = 400 m.

Sondaggio di taratura sul complesso argilloso-arenaceo; risulta una resistività variabile fra 10-15 ohm · m.

— Sondaggio n° 13 - quota 274, AB = 2000 m.

Resistività variabili fra 15-25 ohm · m, fino a 25 m circa; seguono terreni con resistività di circa 70 ohm · m, fino alla profondità stimata di 130 m; al di sotto si nota una debole caduta di resistività dovuta ad un orizzonte di spessore valutabile a poche decine di m, cui fa seguito un substrato molto resistivo che si estende fino a una profondità di almeno 600 m, limite presunto raggiunto dal sondaggio.

— Sondaggio n° 14 - quota 370, AB = 500 m.

Il sondaggio, eseguito sulle puddinghe poligeniche, attraversa la fascia di alterazione di 20 m con resistività di circa 25 ohm · m; segue fino a 200 m di profondità un substrato con resistività di circa 350 ohm · m.

— Sondaggio n° 15 - quota 270, AB = 1000 m.

A una coltre superficiale di 35 m, con resistività di 15 ohm · m, fanno seguito alcune decine di metri di terreni con resistività stimata di 70 ohm · m; alla loro base si trova il substrato a resistività molto elevata che si spinge in profondità.

— Sondaggio n° 16 - quota 300,, AB = 240 m.

Coltre di alterazione superficiale con resistività compresa fra 25 e 35 ohm · m, segue la formazione con resistività valutabile a 300 ohm · m; il sondaggio non supera 100 m di profondità.

— Sondaggio n° 17 - quota 320 AB = 500 m.

Il sondaggio interessa una formazione con resistività variabile fra 100-400 ohm · m, estesa a 90 m di profondità; fa seguito un substrato molto resistivo che è stato appena raggiunto dal sondaggio.

I sondaggi di taratura, eseguiti sulle formazioni affioranti sui rilievi circostanti la pianura, forniscono i valori di resistività necessari alla interpretazione dei grafici ottenuti. Il complesso argilloso-arenaceo ha, in questa zona, una resistività compresa fra 10-20 ohm · m (sond. 10; 11; 12); le puddinghe hanno una resistività variabile fra 200-400 ohm · m (sond. 8; 9; 14; 16); è noto che le formazioni carbonatiche mesozoiche hanno in genere una resistività superiore a 600 ohm · m. I sondaggi, eseguiti direttamente sui depositi lacustri, indicano che in superficie, per uno spessore che raramente supera i 20 m, affiora un terreno a bassa resistività riferibile ai limi argillosi e sabbiosi con torbe, come risulta dal confronto con dati della stratigrafia dei pozzi per acqua. I limi argillosi coprono un altro orizzonte esteso sotto la pianura, che ha una

resistività variabile intorno a 100 ohm · m, di spessore compreso fra 80-150 m. Risulta dai dati di perforazione che si tratta di terreni lacustri che contengono potenti pacchi di travertino spugnoso e vacuolare, acquifero nella sua parte inferiore. Alla base di questo orizzonte i sondaggi che si sono spinti a maggiore profondità mostrano un flesso più o meno marcato che indica la presenza di un livello a bassa resistività e di spessore variabile: questo orizzonte è più potente nell'area orientale, si va esaurendo verso ovest e sembra assente ai margini occidentali della pianura. Non si hanno dati sufficienti per conoscerne con certezza la natura, ma si possono avanzare due ipotesi: presenza alla base dei travertini di un orizzonte di limi e argille lacustri, oppure di un lembo del complesso argilloso-arenaceo, che si va esaurendo da est verso ovest. I dati ricavati dalla stratigrafia dei pozzi sembrano confermare la prima ipotesi perché alla base dei travertini, secondo informazioni attendibili ricevute dai perforatori che operano nella zona, si trovano solo terreni alluvionali a matrice argillosa e non è mai stato incontrato il complesso argilloso-arenaceo. Questo orizzonte poco resistivo e sicuramente impermeabile, qualunque sia la sua natura, ha notevole interesse perché sostiene una ricca falda posta nei travertini.

Sotto l'orizzonte conduttivo si trova un basamento con valore di resistività riferibile a terreni carbonatici mesozoici. Solo un sondaggio meccanico ha raggiunto il substrato, ma le relative informazioni raccolte sono troppo imprecise per consentire una valida interpretazione: risulta comunque che alla profondità di 105 m, in località Viscoqliosi, sotto un considerevole spessore di alluvioni lacustri si sono incontrati terreni carbonatici non acquiferi.

Il dato più interessante che si può ricavare da questa campagna è che, sotto le alluvioni lacustri, si trova certamente un basamento carbonatico; la presenza di terreni permeabili, che da una quota assoluta di circa 120 m si spingono a notevole profondità, può influenzare notevolmente la circolazione delle acque sotterranee non solo sotto la pianura, ma anche nei rilievi del basso versante destro.

Le acque sotterranee della Conca di Sora - I dati raccolti dai numerosissimi pozzi censiti indicano che in quest'area vengono utilizzate due diverse falde. La prima superficiale e discontinua è posta nei limi argillosi e sabbiosi, con torbe, che fanno passaggio laterale a ghiaie e ciottolami; nei pressi

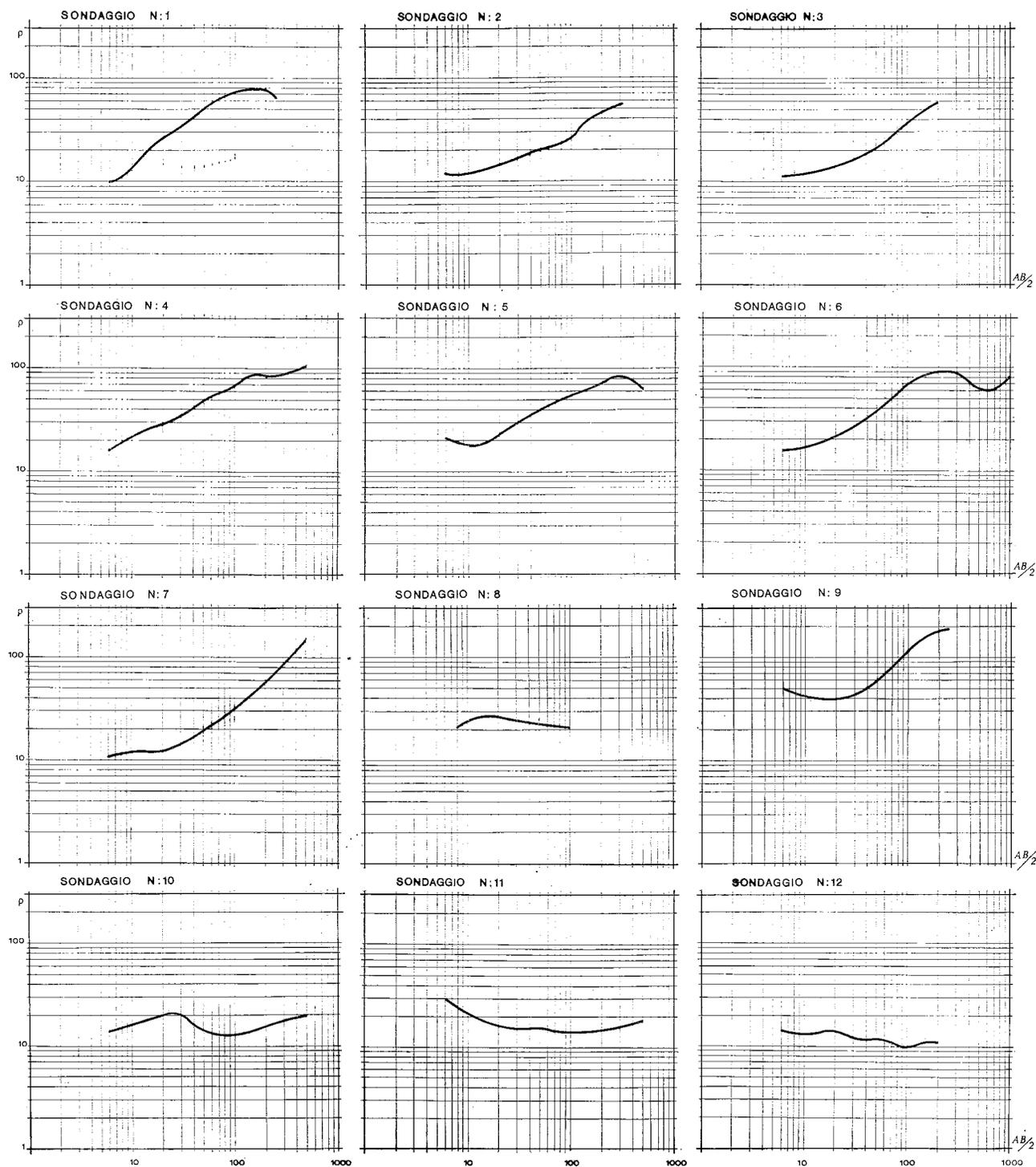


FIG. 124

del fiume Liri questa falda è in contatto idraulico con quella di subalveo, che si trova nelle alluvioni recenti del fiume; la seconda falda, più profonda si trova entro i travertini della formazione lacustre antica.

Si contano a centinaia i pozzi, scavati alla profondità di 5-10 m, che fino a pochi anni addietro

emungevano la falda superficiale; sebbene siano stati censiti e in parte segnati sulla Carta Idrogeologica i dati relativi non vengono qui riportati per il loro scarso interesse; con la diffusione della rete idrica potabile e della rete irrigua i pozzi non vengono più utilizzati. La portata è in genere modestissima e comunque insufficiente per l'irriga-

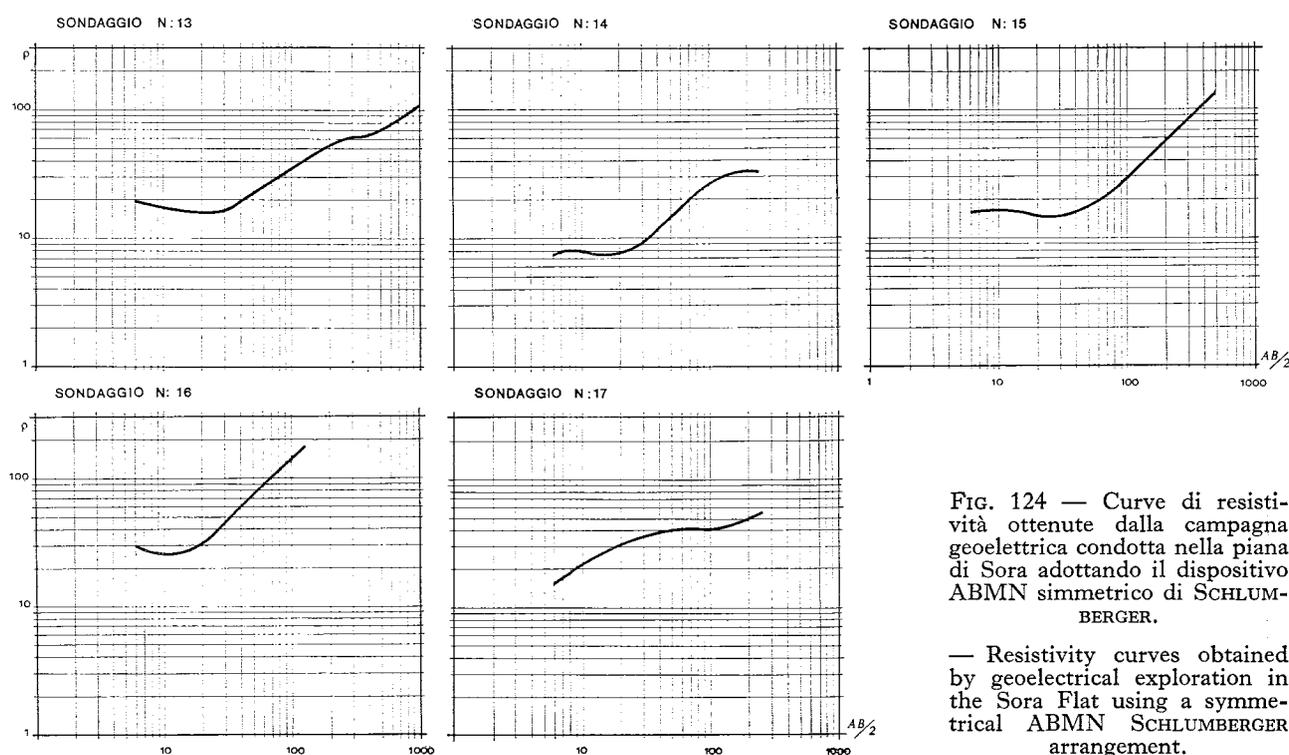


FIG. 124 — Curve di resistività ottenute dalla campagna geoelettrica condotta nella piana di Sora adottando il dispositivo ABMN simmetrico di SCHLUMBERGER.

— Resistivity curves obtained by geoelectrical exploration in the Sora Flat using a symmetrical ABMN SCHLUMBERGER arrangement.

I numeri dei sondaggi si riferiscono a quelli indicati in fig. 122. La scala è bilogarithmica: in ascisse la semilunghezza della stesa elettrodo AB, in m; in ordinate le relative resistività medie registrate, in $ohm \cdot m$; i grafici sono stati corretti e riprodotti nella forma in cui sono stati interpretati, con abachi della C.C.G. (1963). Sotto la coltre lacustre, che raggiunge 150 m di spessore, si trova un basamento, probabilmente carbonatico, a alta resistività che si spinge oltre 500 m di profondità. L'interpretazione di ciascun sondaggio è data nel testo.

Electrical sounding numbers refer to fig. 122. The scale is bilogarithmic. On abscissas the semilength of AB line in m; on ordinates relative average resistivities in $ohm \cdot m$. The curves have been interpreted by C.G.G. master curves (1963). Under the lacustrine cover, which has a thickness of 150 m, there is a highly resistive basement thicker than 400 m.

zione; l'acqua mostra chiari indici chimici di inquinamento e pertanto non è potabile; la variazione della superficie freatica risente notevolmente il regime delle precipitazioni. Risulta quindi chiaramente che la falda superficiale non può venire razionalmente utilizzata.

Di notevole interesse è invece la falda dei travertini che viene già emunta da numerosi pozzi equipaggiati con pompe sommerse (cfr. tab. n° 73); i travertini lacustri, estesi sotto la pianura, poggiano su livelli impermeabili di cui non è ancora nota la natura; la figura 123 sintetizza la situazione idrogeologica sotto la piana di Sora desunta dalla stratigrafia dei pozzi, dalla campagna geofisica, e dai dati idrologici raccolti: i travertini contengono una falda libera nella loro parte inferiore, per uno spessore massimo di circa 20 m che si va riducendo gradualmente da NE a SW; la superficie freatica si trova a circa 244 m nei pressi di Sora e 219 m in località Viscogliosi, con un gradiente idraulico pari a $8 \cdot 10^{-3}$ che indica uno scorrimento da NE verso SW: i caratteri idrochimici della falda sono ottimi

(cfr. FUNICIELLO e BERNARDINI); la temperatura è variabile dai 12° ai 13° nel mese di agosto.

I pozzi più profondi, equipaggiati con pompe sommerse, emungono attualmente 20-25 l/sec, ma non risulta che siano state mai eseguite prove di portata per determinare le proprietà dell'acquifero.

La falda dei travertini, per la considerevole portata e le ottime qualità idrochimiche, rappresenta per la conca di Sora un'importante risorsa idrica che sarebbe necessario innanzitutto conoscere meglio e quindi proteggere attraverso un adeguato controllo della sua utilizzazione; attualmente i pozzi che la utilizzano sono relativamente pochi, ma si vanno moltiplicando con il passare del tempo con conseguenze che possono divenire preoccupanti. Sarebbe necessario determinare le caratteristiche ancora incognite dell'acquifero: permeabilità, trasmissività, coefficiente di immagazzinamento, tempi di ricarica; sarebbe ancora opportuno eseguire prove di interferenza fra pozzi e controllare l'acquifero con piezometri opportunamente disposti in modo da conoscerne le variazioni di livello per determinare

un eventuale sfruttamento eccessivo. È opportuno in sintesi disporre di tutti i dati necessari per evitare che una fonte di approvvigionamento così promettente possa andare perduta perché irrazionalmente utilizzata.

Nei terreni carbonatici che formano il substrato della piana di Sora si trova probabilmente un ricchissimo orizzonte acquifero, ancora inutilizzato, alimentato lateralmente dai rilievi carbonatici che limitano la pianura a settentrione; nella figura 114 si è schematizzata la probabile situazione idrogeologica. Da osservazioni preliminari (fatte molto al di fuori dei limiti considerati in questo studio e che sono oggetto di un lavoro in corso di preparazione), si ricava che la quota di drenaggio naturale di quest'area si può porre a circa 50 m; se l'ipotesi venisse verificata, risulterebbe che le formazioni carbonatiche che si estendono sotto la conca di Sora e i rilievi meridionali, sono sature a una quota inferiore ai 50 m. Una perforazione di 230 m fatta nella piana di Sora dovrebbe di conseguenza incontrare l'acquifero.

Versante sinistro a sud del Fibreno

I rilievi collinari che si trovano nel settore meridionale del bacino, a sud del Fibreno, sono prevalentemente coperti dalle puddinghe fluvio-lacustri

di Santopadre; queste poggiano su un substrato di calcari del Cretacico superiore (c) che affiorano presso i limiti meridionali del bacino imbrifero.

Descrivendo le puddinghe fluvio-lacustri si è detto che la loro area di affioramento si può considerare una buona zona di assorbimento e che la penetrazione in profondità è favorita dalla natura del substrato molto permeabile. Ne risulta che se si fa eccezione per poche sorgenti con portate che non superano 1 l/sec, le acque che penetrano in profondità in quest'area non riemergono all'interno del bacino, ma escono oltre i suoi limiti meridionali; questo settore perde quindi quasi totalmente le sue acque di infiltrazione.

L'unico importante limite di permeabilità che si può individuare in superficie è posto a NE, al contatto fra le puddinghe e il complesso argilloso-arenaceo; l'andamento di questa superficie non è definibile perché mascherato da terreni di copertura, si può tuttavia ritenere che il complesso impermeabile separi idraulicamente le strutture carbonatiche che si estendono a NE del Lago Fibreno dai rilievi collinari meridionali.

Il livello di base, la zona di accumulo e le direzioni di scorrimento profondo non sono note con certezza, ma può valere anche in questa zona l'ipotesi avanzata trattando il substrato carbonatico della piana di Sora.

TABELLA 72

SORGENTI DEL VERSANTE SINISTRO A SUD DEL FIBRENO

N.	Nome	Tavoletta	Latitudine	Longitudine	Quota	Portata l/sec	Temperatura °C	Data delle misure
311	Vicenne	F. 152 III SE	41° 41' 27"	1° 13' 20"	298	0,150	13	30-IX-1967
312	Case Mastroianni	F. 152 III SE	41° 40' 56"	1° 12' 58"	334	0,020	13	13-IX-1967
313	F.te Castellana	F. 152 III SE	41° 40' 42"	1° 14' 56"	354	0,030	15	24-IX-1967
314	F.te Oco	F. 152 III SE	41° 40' 32"	1° 13' 20"	313	0,250	13	24-IX-1967
315	Canestraro	F. 152 III SE	41° 40' 08"	1° 12' 20"	500	0,300	14	23-IX-1967
316	F.te Falascosa	F. 152 III SE	41° 40' 37"	1° 10' 50"	347	0,250	14	23-IX-1967
317	F.te Magnene	F. 152 III SE	41° 40' 33"	1° 09' 09"	290	0,200	14	30-IX-1967
318	Lavatoio Coperto	F. 152 III SE	41° 40' 47"	1° 08' 07"	385	0,150	13	30-IX-1967
319	Cucù	F. 152 III SE	41° 40' 25"	1° 09' 04"	350	0,058	14	30-IX-1967
320	F.te Porcine	F. 160 IV NE	41° 39' 16"	1° 10' 36"	545	< 0,250	14	12-IV-1967
321	Fontana Reale	F. 152 III SE	41° 40' 03"	1° 13' 35"	368	0,300	13	23-IX-1967
322	La Canalara	F. 160 IV NE	41° 39' 28"	1° 14' 31"	360	0,500	13	23-IX-1967
323	F.te Eschia	F. 160 IV NE	41° 39' 01"	1° 13' 06"	470	0,250	15	23-IX-1967
324	Fontana Vecchia	F. 152 III SE	41° 40' 09"	1° 14' 51"	375	0,170	15	24-IX-1967
325	Carracino	F. 160 IV NE	41° 39' 25"	1° 11' 47"	580	1	14	12-IV-1968
326	F.te Porcine	F. 160 IV NE	41° 39' 14"	1° 10' 45"	545	0,500	14	12-IV-1968
327	—	F. 160 IV NE	41° 39' 16"	1° 10' 36"	545	< 0,250	14	12-IV-1968
328	Grotta delle Fate	F. 160 IV NE	41° 38' 36"	1° 11' 58"	760	0,250	13	23-IX-1968
329	Cirelli	F. 160 IV NE	41° 38' 18"	1° 13' 21"	541	0,050	13	23-IX-1967
330	S. Pietro	F. 160 IV NE	41° 38' 55"	1° 13' 25"	457	0,250	15	23-IX-1967
331	Fontana Vecchia	F. 160 IV NE	41° 38' 56"	1° 12' 22"	650	< 0,250	13	23-IX-1967
332	Pisciarello	F. 160 IV NE	41° 38' 53"	1° 12' 20"	654	0,025	12	23-IX-1967
333	—	F. 160 IV NE	41° 39' 26"	1° 12' 03"	550	< 0,250	—	12-IV-1968

ELENCO DEI PRINCIPALI POZZI

TABELLA 73

N.	Località	Tavoletta	Latitudine	Longitudine	Quota	Profondità foro	Quota pelo libero	Tempera- tura °C	Portata l/sec
1	Case Sciarretta	F. 152 III NE	41° 45' 35"	1° 08' 53"	400	12	394	12,4	—
2	Sora	F. 152 III SE	41° 43' 28"	1° 10' 14"	287	24	281	13	10
3	Sora	F. 152 III SE	41° 43' 18"	1° 09' 54"	286	12	282	13,3	0,5
4	Madonna della Neve	F. 152 III SE	41° 43' 26"	1° 09' 12"	280	10	277,13	13,5	—
5	Passionisti	F. 152 III SE	41° 43' 30"	1° 08' 57"	280	12	269,60	12,9	—
6	S. Apollonio	F. 152 III SE	41° 43' 26"	1° 08' 34"	280	10	276	13,3	—
7	S. Apollonio	F. 152 III SE	41° 43' 26"	1° 08' 34"	280	13	275,74	14	—
8	Sora	F. 152 III SE	41° 43' 13"	1° 09' 57"	286	25	—	—	—
9	Sora	F. 152 III SE	41° 43' 05"	1° 09' 48"	284	33	273	12,7	3
10	Sora	F. 152 III SE	41° 42' 47"	1° 09' 11"	277	50	234	12,5	0,75
11	Sora (Distr. ESSO)	F. 152 III SE	41° 42' 46"	1° 09' 11"	277	48	244	12,5	25
12	S. Rosalia (Distr. MOBIL)	F. 152 III SE	41° 42' 25"	1° 08' 37"	273	63	228	12,7	25
13	Pozzo Pantano (Bassetti)	F. 152 III SE	41° 42' 21"	1° 08' 33"	273	70	228	12,7	25
14	Vicenne (Cart. del Sole)	F. 152 III SE	41° 41' 57"	1° 08' 14"	273	45	267	13	20
15	Viscogliosi (Boimond)	F. 152 III SE	41° 41' 38"	1° 07' 34"	269	105	219	12,6	21
16	Viscogliosi	F. 152 III SE	41° 41' 41"	1° 07' 34"	269	33	—	—	—
17	Isola del Liri	F. 152 III SE	41° 41' 14"	1° 07' 34"	268	20	256	—	—
18	Madonna della Figura	F. 152 III SO	41° 43' 29"	1° 06' 50"	390	10	382,44	15,4	—
19	Grignano	F. 152 III SO	41° 43' 05"	1° 07' 03"	300	10	290,70	14,3	—
20	Selva	F. 152 III SO	41° 42' 27"	1° 06' 53"	281	36	274,80	14,5	2
21	Selva	F. 152 III SO	41° 42' 27"	1° 06' 53"	281	38	275	14,5	0,5
22	Selva	F. 152 III SO	41° 42' 18"	1° 06' 29"	305	11	296,50	13,9	—
23	Felci	F. 152 III SO	41° 42' 02"	1° 06' 51"	267	8	266	14,2	3
24	Isola Liri	F. 152 III SE	41° 40' 53"	1° 07' 30"	250	40	220	—	1
25	C. Marsella	F. 152 III SE	41° 41' 14"	1° 13' 28"	303	28	284	—	1,5
26	Carnello	F. 152 III SE	41° 41' 23"	1° 09' 09"	275	27	264	—	5
27	Pagnanelli	F. 152 III SE	41° 40' 47"	1° 09' 40"	275	33	259	—	—
28	Pagnanelli	F. 152 III SE	41° 40' 49"	1° 09' 40"	280	39	261	—	—
29	Quaglieri	F. 152 III SE	41° 40' 36"	1° 08' 35"	353	20	—	—	—
30	Fossato dei Sassi	F. 152 III NE	41° 47' 04"	1° 08' 16"	330	12	324	20	—
31	Case Valentini	F. 152 III NE	41° 46' 56"	1° 09' 37"	560	10	554	19	—
32	Colle Castagno	F. 152 III NE	41° 46' 16"	1° 09' 09"	315	51	—	20	0,05
33	Colle Castagno	F. 152 III NE	41° 46' 15"	1° 09' 05"	315	20	—	20	0,05
34	Colle Castagno	F. 152 III NE	41° 46' 17"	1° 09' 12"	315	5	310,60	21	—
35	Case Tranna	F. 152 III NE	41° 45' 58"	1° 09' 06"	305	11	295,50	21	—
36	Case del Monaco	F. 152 III NE	41° 45' 47"	1° 09' 24"	310	12	303,20	19	—
37	Case del Monaco	F. 152 III NE	41° 45' 46"	1° 09' 28"	310	15	298,40	20	—
38	Largo Vagnole	F. 152 III NE	41° 45' 54"	1° 09' 30"	362	13	351	20	—
39	Bivio Lanna	F. 152 III NE	41° 45' 14"	1° 09' 46"	299	10	293	20	—
40	Bivio Lanna	F. 152 III NE	41° 45' 12"	1° 09' 50"	299	10	293,30	20	—
41	Casale Iafrate	F. 152 III NE	41° 45' 06"	1° 10' 05"	310	10	304,20	20	—
42	Casale Paletta	F. 152 III SE	41° 44' 29"	1° 10' 46"	350	21	334,80	22	—
43	Bivio Forcella	F. 152 III SE	41° 43' 59"	1° 10' 17"	299	10	289,60	19	—
44	Valle Radice	F. 152 III SE	41° 44' 02"	1° 10' 27"	300	12	292	20	—
45	Valle Radice	F. 152 III SE	41° 44' 04"	1° 10' 24"	299	10	291	19	—
46	Campopiano	F. 152 III SE	41° 44' 01"	1° 11' 14"	325	16	314	21	—
47	Case Cantenne	F. 152 III SE	41° 43' 59"	1° 11' 38"	340	16	325	20	—

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio idrogeologico delle formazioni carbonatiche mesozoiche va necessariamente messo in rapporto con la struttura tettonica del bacino; la permeabilità secondaria è infatti strettamente legata alle condizioni strutturali in cui le formazioni si sono venute a trovare durante le fasi orogeniche.

I calcari cretaciici stratificati sono permeabilissimi sul versante destro, dove hanno subito una tettonica prevalentemente tangenziale che ha prodotto un piegamento esasperato; a questo si associa una vistosa fratturazione particolarmente sviluppata alle cerniere e sui fianchi delle pieghe dove le fessure aperte consentono una infiltrazione notevolissima. Negli stessi terreni, sulla grande e regolare monoclinale del versante sinistro, la permeabilità è meno sviluppata perché la tettonica ha avuto minor peso; solo nel settore sud-orientale, dove si riscontrano gli effetti di una tettonica distensiva, si osserva un carsismo particolarmente sviluppato che è indice di elevata permeabilità.

Le dolomie e i calcari dolomitici hanno, nel bacino del Liri, caratteri idrogeologici nettamente diversi da quelli propri dei calcari; la loro permeabilità è infatti sicuramente inferiore anche dove hanno subito pesantemente gli effetti della tettonica. La scarsa plasticità d'insieme dei terreni dolomitici non consente lo sviluppo di una tettonica plicativa; dove hanno agito spinte tangenziali (particolarmente nelle strutture sud-occidentali) i calcari dolomitici tendono ad insaccarsi e appaiono intensamente laminati assumendo un aspetto massivo e compatto privo di fessure aperte che possano favorire l'infiltrazione.

I calcari miocenici organogeni e particolarmente le breccie monogeniche del settore nord-occidentale, sono sicuramente molto permeabili e interessate da un diffuso carsismo superficiale, particolarmente sviluppato lungo allineamenti NW-SE, paralleli alle linee tettoniche ad andamento appenninico.

Il complesso argilloso arenaceo, nel suo insieme, si può considerare nettamente impermeabile anche dove la componente arenacea risulta dominante.

Le formazioni detritiche di copertura hanno permeabilità variabile con la diversa litologia; le più antiche sono diffuse e potenti nel settore meridionale, mentre le più recenti sono scarsamente rappresentate sulla superficie del bacino.

L'assetto strutturale della valle, che vede i due versanti carbonatici separati da una fascia di ter-

reni impermeabili miocenici condiziona l'idrogeologia del bacino: la presenza del complesso argilloso arenaceo sul fondovalle impedisce infatti qualsiasi rapporto idraulico fra i due versanti.

Il metodo di studio adottato che tende a mettere in rapporto, seguendo l'andamento dei limiti di permeabilità, ciascuna area di infiltrazione con il relativo livello di base, dove riemergono le acque infiltratesi a monte, ha dato buoni risultati nella complessa situazione geologica in cui si è operato. Sul versante destro è stato possibile definire l'area di alimentazione delle principali sorgenti e calcolarne la relativa infiltrazione; sul versante sinistro si sono formulate ipotesi sullo scorrimento sotterraneo che trovano conferma nei dati idrochimici e nei calcoli sull'infiltrazione.

Da questi studi è risultato che il bacino idrogeologico, nel settore nord-occidentale tra Cappadocia e Roccavivi, si apre oltre lo spartiacque e alimenta sorgenti poste all'interno del bacino imbrifero, che erogano ogni anno circa 100 milioni di m³. Le strutture prevalentemente calcareo dolomitiche, che si trovano tra Rendinara e Sora, alimentano una falda profonda che si dovrebbe estendere sotto la piana di Sora e i rilievi collinari meridionali. Sul versante sinistro le acque che si infiltrano nella monoclinale carbonatica, dopo essere uscite temporaneamente dal bacino riemergono al suo interno attraverso le grandi sorgenti del Fibreno che erogano ogni anno circa 300 milioni di m³; a questa portata deve corrispondere un'area di alimentazione probabilmente superiore a 400 km², che si estende entro i rilievi della Marsica.

Sotto la piana di Sora, attraverso lo studio idrogeologico e l'analisi dei pozzi esistenti, in un orizzonte di travertini lacustri, si è individuata una falda (attualmente emunta da pozzi che erogano 25 l/sec) che sarebbe opportuno conoscere meglio per regolarne lo sfruttamento.

Correlando i risultati dello studio idrogeologico con quelli di un'apposita campagna geoelettrica, si può avanzare l'ipotesi che una falda più profonda e molto ricca si estenda sotto la piana di Sora e sotto tutto il settore meridionale del bacino; si dovrebbe trovare entro terreni permeabili del cretaco superiore che, dai dati a disposizione dovrebbero risultare saturi a una quota assoluta di poco superiore a 50 m, a una profondità quindi di 230 m sotto la piana di Sora.

Manoscritto presentato nell'Ottobre 1969

BIBLIOGRAFIA

Si sono adoperate le seguenti abbreviazioni:

A.I.H.S. = Association International D'Hydrologie Scientifique.

A.I.H. = Association International des Hydrogéologues.

B.R.G.M. = Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

A.I.H.S. (1962) — A legend for hydrogeological maps. *A.I.H.S.*, **60**: 1-32, Louvain.

BAY L. (1956) — La captazione delle sorgenti di Val San Pietro (Frosinone) per l'acquedotto omonimo. *Ing. San.*, **1956** (4): 73-89, 15 figg., 1 tab., Roma.

BONI C. F. (1968) — Utilizzazione delle riserve idriche permanenti per regolare il regime delle sorgenti di trabocco. *Geologica Romana*, **7**: 405-416, 8 figg., Roma.

BONI C. F. (1969) — Vantaggi offerti dalle carte idrogeologiche per la sistemazione a fini multipli dei bacini idrografici. *Seminario: Sistemazione a fini multipli di un bacino idrografico*. Ass. It. Ing. San. Catania 1969, in corso di stampa.

BURDON D. J., PAPAKIS N. (1961) — Methods of investigating the ground-water resources of the Parnassos-Ghiona limestones. *A.I.H.S. (Coll. d'Athènes)* **56**: 143-159, 2 figg., Louvain.

CAMPONESCHI B., LOMBARDI L. (1969) — Idrogeologia dell'area vulcanica sabatina. *Mem. Soc. Geol. It.*, **8**: 25-55, 1 carta, Pisa.

CARBONE A. e MADDALENA L. (1952) — Il lago del Fibreno, per la razionale utilizzazione delle acque del bacino del Liri. « *Rivista Economica di Frosinone* », **10**: 25-32, Frosinone.

CASTANY G. (1967) — *Traité pratique des eaux souterraines*. 661 pp., 409 figg., 84 tab., Dunod, Paris.

CASTANY G. (1968) — *Prospection et exploitation des eaux souterraines*. 717 pp., 361 figg., 166 tabb., Dunod, Paris.

CIVITA M. (1969) — Idrogeologia del Massiccio del Terminio Tuoro (Campania). *Mem. e Note dell'Ist. di Geol. Appl. Napoli*, **11**: 1-102, 32 figg., 2 tabb., Napoli.

COMPAGNIE GENERAL DE GEOPHYSIQUE (1963) — *Abaques de sondage électrique*. II ed., tavv. 34, Brill Ed., Leiden.

COMUNE DI SORA (1929) — Brevi cenni sulla utilizzazione delle acque del Liri a monte del Ponte di Napoli per uso irriguo e di forza motrice, pp. 16, 1 all., *Tip. Camastro*, Sora.

COTECCHIA V., MAGRI G. (1966) — Idrogeologia del Gargano. *Geol. Appl. ed Idrogeol.*, **1**: 1-86, 40 figg., 3 tavv., Bari.

D'AMBROSIO L., CASINELLI R. (1924) — L'utilizzazione del Liri intorno a Isola del Liri. *Ed. Pallotta*, Roma.

DUBOIS P. (1964) — Les circulations souterraines dans les calcaires de la région de Montpellier. *Bull. B.R.G.M.* **1964/2**: 1-31, 9 figg., Paris.

IMBEAUX E. (1930) — *Essai d'Hydrologie*. 704 pp., 345 figg., Dunod, Paris.

JOHNSON E. (1966) — *Ground water and wells*. 440 pp., 321 figg., 39 tab., Johnson, Saint Paul, Minnesota.

KELLER G. V., FRISCHKNECHT F. C. (1966) — *Electrical methods in geophysical prospecting*. 519 pp., 283 fig., Pergamon Press, London.

KOLAGO C. (1967) — Sur les méthodes de présentation des ressources en eaux sur les cartes hydrogéologiques. *A.I.H.*, **1967** (Mem. Congr. Hannover 1965): 233-234, Hannover.

KUNETZ G. (1966) — *Principles of direct current resistivity prospecting*. 103 pp., 58 fig., *Gerbüder Borm Traeger*, Berlin.

LASFARGUES P. (1957) — *Prospection électrique par courants continus*. 290 pp., 162 figg., Masson, Paris.

MANFREDINI M. (1964) — *Geologia e geoidrologia* - in Min. LL.PP. *Le Sorgenti Italiane*, pubbl. n. 14, vol. IX (Abruzzo), pp. 26-41, 1 carta, Roma.

MARGAT M. J. (1967) — Age des eaux souterraines et renouvellement des réserves des nappes. *Réflexions sur les bases de l'hydrochronologie*. *A.I.H. S.*, (1967 *Mém. Congr. Hannover*) 1965: 58-61, Hannover.

MEGNIEN C. (1959) — Le karst et la nappe dans la craie turonienne et senonienne du bassin de la Vanne (Yonne). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), **1/5**: 456-460; Paris.

MEGNIEN C. (1964) — Observations hydrogéologiques sur le sud-est du bassin de Paris. *Mém. B.R.G.M.*, **25**: 287 pp., 77 figg., Paris.

MIN. AGR. IND. COMM. (1895) — *Carta idrografica d'Italia*, (Liri-Garigliano), *Min. Agr. Ind. Com.*, 139 pp., 17 tabb., 1 atlante, Roma.

MIN. LL. PP. (1942) — *Le sorgenti italiane*, Volume VII (Campania). *Serv. Idrograf. Pubbl.* **14**: 745 pp., 125 figg., 5 carte, Roma.

MIN. LL. PP. (1964) — *Le sorgenti italiane*, Volume IX (Abruzzo). *Serv. Idrograf. Pubbl.* **14**: 482 pp., 46 figg., 29 tav., 1 carta, Roma.

MONTALDO P. (1967) — Première recherche autour du régime des sources à l'égard des conditions géologiques du bassin alimentateur (bassin hydrogéologique). *A.I.H.*, **1967** (Mém. Congr. Hannover 1965): 35-50, 20 figg., Hannover.

NICOTERA P. (1953) — Studi di geologia applicata su talune sorgenti del Sannio. *Mem. note Ist. Geol. Appl.*, **5**: 60, 13 figg., 1 carta, Napoli.

PALOC H. (1965) — *Carte hydrogéologique de la région karstique nord-montpellieraine a l'échelle du 1: 80000*. *B.R.G.M.*, Paris.

PALOC H. (1967) — *Carte hydrogéologique de la France: région karstique nord-montpellieraine; Notice explicative*. *Mém. B.R.G.M.*, **50**: 229, 17 pl., 20 figg., Orléans.

PALOC H. (1968) — Réalisation d'une maquette de carte hydrogéologique au 1/200,000 de la région karstique des Grands Causses du Massif central français. *A.I.H.*, (Mém. Congr. Istanbul 1967): 147-148, 1 fig., Istanbul.

PLOTNIKOV N. A. (1962) — *Ressources en eaux souterraines: classification et méthodes d'évaluation*. 194 pp., 30 figg., 20 tab., Gauthier-Villars, Paris.

RICHTER W. (1968) — Principles and Problems in hydrogeological mapping. *A.I.H.*, **1968** (Mém. Congr. Istanbul 1967): 114-115, Istanbul.

ROUX J. C. (1964) — Hydrogeologie du bassin de la Somme. *Rev. de Géogr. Physique et géol. dyn.*, (2), **7/3**: 211-240, Paris.

SQUILLA G. (1966) — Valle Roveto - nella geografia e nella storia. pp. 395, 97 foto, *Tip. Abb. di Casamari*, Frosinone.

VISCOGLIOSI A. (1923) — L'utilizzazione delle acque del Liri. pp. 24, 4 figg., *Stab. Tip. « Aeternum »*, Roma.

ZOGOVIC D. (1967) — Petrogenetic properties of dolomites as a factor of their different hydrogeological role in Dinaric Karst. *A.I.H.*, **1967** (Mém. Congr. Hannover 1965): 267-270, 1 figg., Hannover.

ZOGOVIC D. (1968) — Mutual relation between general hydrogeological properties of the area and hydrogeological role of dolomites in the Dinaric Karst Region. *A.I.H.* **1968** (Mém. Congr. Istanbul 1967): 186-188, Istanbul.