

CARLO F. BONI

Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Roma

UTILIZZAZIONE DELLE RISERVE IDRICHE PERMANENTI PER REGOLARE IL REGIME DELLE SORGENTI DI TRABOCCO

L'indagine idrogeologica condotta su alcune sorgenti della Val Roveto (alta Valle del Liri, Abruzzo occidentale) ha fornito l'occasione per studiare un metodo di presa capace di modificare il regime delle sorgenti di trabocco. Operando opportunamente è possibile aumentare la portata di magra e diminuire la portata di piena di tutte le sorgenti situate in corrispondenza di un limite di permeabilità che si estende ad una quota inferiore a quella del punto di natural deflusso. Il criterio, che si basa sulla utilizzazione, nel periodo di morbida, delle « Riserve idriche permanenti » e del loro immediato ripristino nella successiva fase di afflusso, permette di ottenere una portata pressoché costante durante l'intero anno.

Lavoro eseguito con il contributo del C.N.R. e compreso nel programma di studi interdisciplinari applicati sui problemi di idrogeologia, erosioni, movimenti franosi e regime dei litorali, promossi dai Comitati per le Scienze Geologiche e Minerarie e per le Scienze dell'Ingegneria e Architettura del C.N.R.

Introduzione

Le grandi riserve idriche che vengono classificate dagli Autori come « Riserve permanenti » o « Riserve profonde » sono oggi spesso inutilizzate. L'impiego di questo patrimonio idrico, pur nell'assoluto rispetto degli equilibri naturali, permette di modificare il regime di portata delle sorgenti di trabocco e di ottenere un deflusso pressoché costante durante l'intero anno. In Val Roveto esistono le condizioni idrogeologiche che hanno suggerito questo studio (1).

Geologia della Val Roveto

La stretta depressione della Val Roveto, (alta Valle del Liri, Abruzzo occidentale) orientata in direzione appenninica, divide il rilievo dei Simbruini a SO dai monti della Marsica Sud occidentale a NE. La serie stratigrafica che affiora sul versante destro della valle è così formata:

— Alternanze di calcari, calcari dolomitici e dolomie saccaroidi in strati e banchi. Giurese sup. Cretatico inf. (Formazione poco permeabile)

(1) Ringrazio vivamente l'Ing. BAJ, Direttore del Servizio Acquedotti della Cassa per il Mezzogiorno e tutti i suoi collaboratori che, fornendomi i dati di portata delle sorgenti, hanno facilitato questo studio. Ringrazio i colleghi Dott. DEVOTO e Dott. PAROTTO che mi hanno fornito molti dati geologici inediti e con i quali ho avuto utili e frequenti scambi di opinione sulla geologia dell'area presa in esame.

— Calcari stratificati e calcari organogeni a rudiste in bancate, spessore 900-1000 m. (Cretatico medio-sup. (Formazione molto permeabile per l'intensa fratturazione)

— Breccie calcaree monogeniche trasgressive sulle formazioni precedenti, spessore massimo 400-500 m. Elveziano-Tortoniano p.p. (Formazione molto permeabile per fessurazione e per porosità)

— Complesso argilloso arenaceo costituito da una fitta alternanza di argille e arenarie con alla base lenti di breccie e calcareniti, depositosi in regolare continuità sulle breccie. Spessore non inferiore a 500 m. Tortoniano p.p. Messiniano? (Formazione impermeabile).

Seguono terreni più recenti che non interessano direttamente il problema che qui si affronta.

Il fianco Sud-occidentale della Valle, nel tratto compreso tra Morino e Cappadocia (fig. 1) è caratterizzato da una piega frontale coricata che si va smorzando procedendo da Sud verso Nord. Tra gli abitati di Morino e Canistro, i terreni carbonatici mesozoici vengono in contatto tettonico con il Miocene argilloso-arenaceo; più a Nord, da Canistro a Cappadocia, il motivo tettonico appare sempre meno evidente e il limite tra terreni carbonatici e terrigeni diviene stratigrafico lungo piani prossimi alla verticale.

La componente tettonica traslativa, orientata verso NE, ha avuto un maggiore sviluppo nella parte meridionale della Valle, dove figurano motivi

tettonici inversi; a Nord di Canistro, il raccorciamento viene assorbito quasi interamente dal plastico complesso argilloso arenaceo, che appare intensamente piegato fino ad assumere una giacitura del tutto caotica.

Il limite, in parte tettonico e in parte stratigrafico, che lungo il versante destro mette a contatto i terreni carbonatici permeabili con la formazione terrigena impermeabile, passa per tutte le più importanti sorgenti che si trovano nella Valle. La natura della linea di discontinuità litologica, che costituisce l'elemento fondamentale nello schema idrogeologico regionale, è stata studiata in grande dettaglio nel quadro di approfonditi studi di prossima pubblicazione condotti dall'Istituto di Geologia dell'Università di Roma. (ACCORDI e altri 1969) Se ne anticipano, molto sinteticamente, gli aspetti più significativi indispensabili per comprendere la natura e l'origine delle sorgenti allineate lungo il limite di permeabilità.

Le breccie mioceniche e i calcari del Cretaceo medio sup. che poggiano su calcari dolomitici poco permeabili, appaiono, lungo il versante destro della Valle, piegati a festone, fortemente raddrizzati o rovesciati (Figg. 1-2); con queste giaciture i terreni calcarei fanno passaggio alla serie terrigena impermeabile. Ciò che interessa, ai fini di questa nota, è che il limite di permeabilità, che si viene a determinare, assume, in prossimità della superficie topografica, una forte inclinazione rispetto all'orizzontale. Le sorgenti si trovano, generalmente, nei punti di maggiore depressione di questo limite, in corrispondenza di incisioni sviluppatesi lungo il fianco destro della Valle e accentuate dal noto processo di arretramento delle sorgenti (Fig. 1).

Il versante sinistro della valle non viene preso in considerazione perché, a causa del suo assetto strutturale, è privo di sorgenti; il drenaggio profondo è infatti diretto al di fuori del bacino imbrifero.

Idrogeologia delle sorgenti

Le sorgenti di trabocco situate lungo il versante destro della Val Roveto vengono alimentate dalle acque contenute nei calcari del Cretaceo medio-sup. e nelle breccie mioceniche. Queste formazioni molto permeabili e porose, per l'intensa fessurazione subita, vengono a trovarsi delimitate a SO dalla formazione calcarea dolomitica del Giurese sup. Cretaceo inf., poco permeabile perché ricca di dolomie saccaroidi, e ad Est, ad una quota inferiore, dal complesso argilloso arenaceo miocenico, impermeabile (fig. 2). In una tale situazione si

verificano ottime condizioni idrogeologiche perché si possa formare un orizzonte acquifero molto ricco.

Perché abbia origine una sorgente perenne a forte portata è necessario ammettere che la superficie topografica, il limite di permeabilità e la superficie freatica vengano in contatto nel punto in cui si trova la sorgente. Nella situazione geologica precedentemente descritta il limite di permeabilità è dato dal complesso argilloso arenaceo e l'orizzonte acquifero dalle breccie e dai calcari molto permeabili e porosi. Dall'esame dettagliato della roccia, visibile in affioramento, risulta che la fessurazione non presenta direttrici preferenziali, ma interessa irregolarmente e uniformemente tutta la massa. Si può quindi ammettere, in prima approssimazione, che in un tale tipo litologico la permeabilità sia statisticamente isotropa e che il grado di porosità efficace sia elevato. Solo in corrispondenza dei più vistosi motivi disgiuntivi si possono avere condizioni di drenaggio preferenziale lungo allineamenti a maggiore permeabilità. Da queste premesse risulta che, tranne limitate eccezioni, nei calcari fratturati saturi, l'acqua dovrebbe scorrere in modo laminare.

I considerevoli afflussi meteorici (fig. 3), l'assetto strutturale del versante destro, la forte porosità e permeabilità dei calcari fratturati e soprattutto la presenza di sorgenti perenni a forte portata, lungo tutte le depressioni del limite di permeabilità, indicano che la massa calcarea costituisce un grande serbatoio saturo d'acqua. Le scaturigini che hanno origine in situazioni geologiche analoghe a quella ora descritta, schematizzate in fig. 6, vengono classificate dagli Autori come sorgenti di trabocco in senso lato: si tratta in effetti di sorgenti poste su un limite di permeabilità che si estende a quote inferiori a quella della sorgente. Nel caso della Val Roveto, dove questa situazione idrogeologica è caratteristica e in molte altre località dove si trovano condizioni analoghe, non vengono oggi utilizzate in alcun modo le enormi quantità di acqua contenute nell'immenso serbatoio che si estende al di sotto del livello freatico minimo, ma solamente l'acqua che il serbatoio stesso non è in grado di contenere e che per questa ragione defluisce naturalmente e in modo del tutto irregolare.

A questo proposito va ricordato che secondo gli Autori è possibile dividere le Riserve idriche freatiche in due parti; Riserve regolatrici e Riserve permanenti (Fig. 6).

Le Riserve regolatrici corrispondono al volume d'acqua libera immagazzinata negli strati acquiferi delimitati dalle superfici corrispondenti al livello

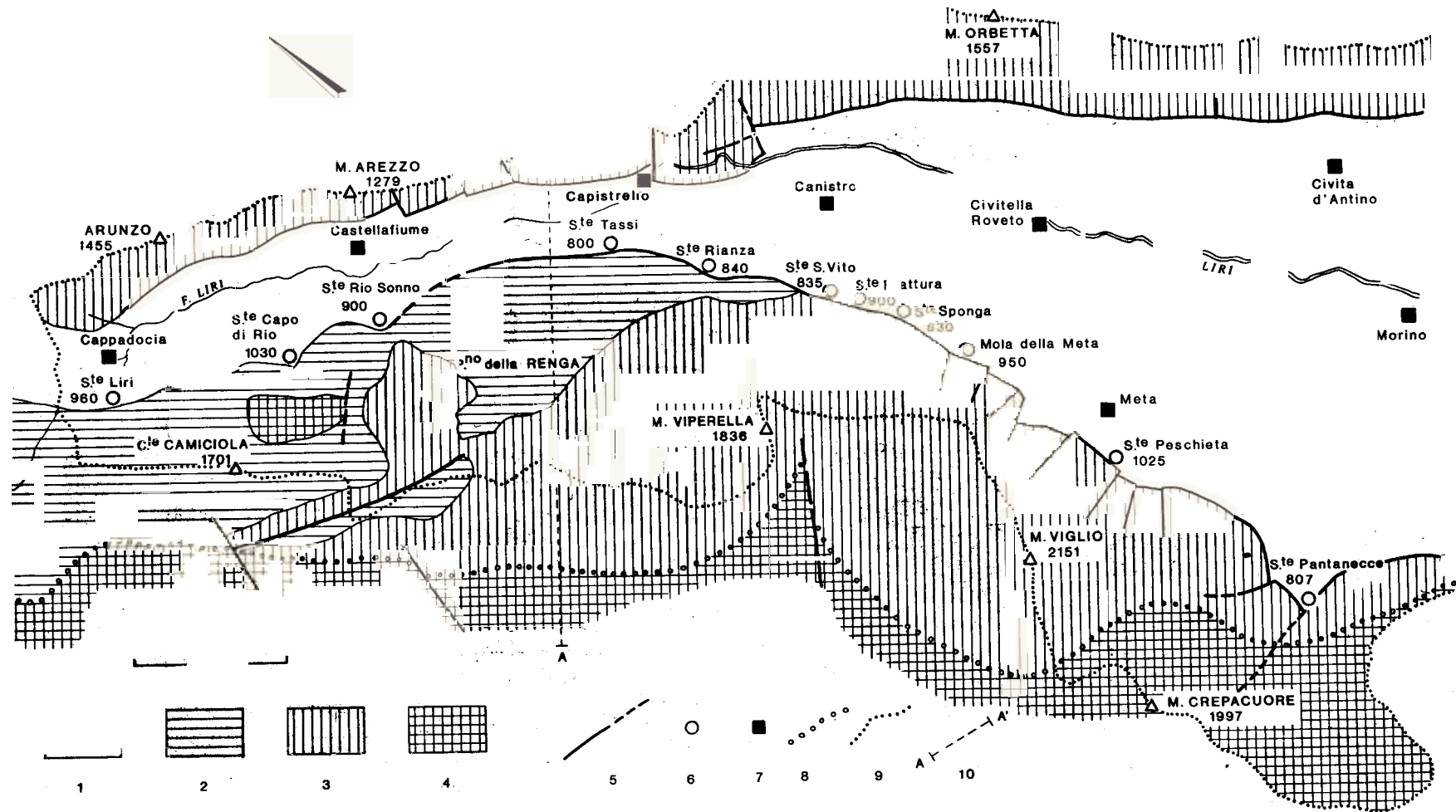


FIG. 1 — Schema idrogeologico dell'alta valle Roveto. 1) Complesso argilloso arenaceo del Tortoniano p.p. (impermeabile); 2) Breccie calcaree monogeniche in banchi con lenti di argille azzurre, Elveziano-Tortoniano p.p., trasgressive sul 3 e sul 4, (molto permeabili); 3) Calcari in strati e banchi del Cretacico medio-sup. (molto permeabili); 4) Calcari, calcari dolomitici e dolomie saccaroidi del Giurese sup.-Cretacico inf. (poco permeabili); 5) Principali sorgenti di trabocco; 6) Centri abitati; 7) Limiti sud-occidentale del bacino idrogeologico; 8) Limite del bacino imbrifero; 10) Profilo geologico. Sul fianco sud-occidentale della valle, fra Morino e Canistro, motivi tettonici inversi portano le masse calcaree mesozoiche in contatto tettonico con la serie terigena; fra Canistro e Cappadocia il limite litologico diviene stratigrafico lungo superfici fortemente inclinate. All'altezza del contatto litologico è allineata la serie di sorgenti di trabocco a forte portata esaminata in questa nota. Sul fianco sinistro della valle non vi sono sorgenti a causa delle condizioni strutturali (fig. 2). Il bacino idrogeologico si estende verso occidente oltre la linea di dispiuvio e assicura una buona alimentazione alla falda che dà origine alle sorgenti.

— Hydrogeological scheme of the Upper Roveto Valley. 1) Middle-Upper Miocene « Complesso argilloso-arenaceo », (impermeable); 2) Middle Miocene calcareous breccia with clay lenses, (very permeable), transgressive on 3 and 4; 3) Cretaceous limestone regularly stratified (very permeable); 4) Dolomitic limestone (impervious); 5) Main tectonic lines; 6) Main overflowsprings; 7) Villages; 8) SW limit of hydrogeological basin; 9) Limit of Liri River basin; 10) Cross section. Along the south-western side of the valley, between Morino and Canistro, an overturned fold puts in contact the Cretaceous limestone with the « Complesso argilloso-arenaceo », while between Canistro and Cappadocia the tectonic line becomes stratigraphic along strongly stightened surfaces. Along this boundary there is a series of large overflowsprings which are taken into consideration in this paper. Springs are lacking on the left side of the valley (Fig. 2). The hydrogeological basin is, towards SW, larger than the river basin and this secures a good recharge to the aquifer which gives rise to the springs.

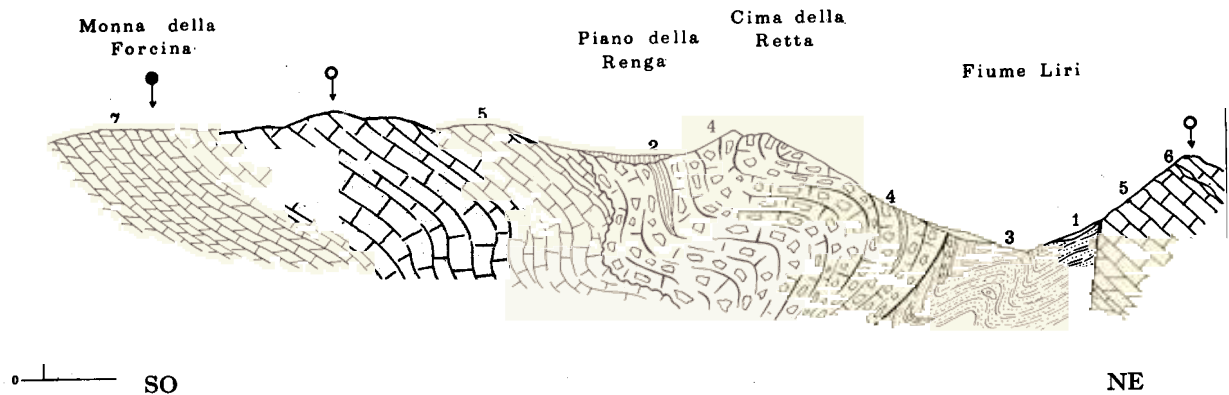


FIG. 2 — PROFILO GEOLOGICO ATTRAVERSO LA VALLE ROVETO. 1) Detrito di falda; 2) «Terra rossa»; 3) Complesso argilloso arenaceo con alla base lenti di breccie e calcareniti, Tortoniano p.p.; 4) Breccie calcaree monogeniche in banchi con lenti di argille azzurre, Elveziano-Tortoniano p.p., trasgressive sul 5; 5) Calcari in strati e banchi del Cretacico medio-sup. con lenti bauxitiche (6) sul versante nord-orientale; 7) Calcari, calcari dolomitici e dolomie saccharoidi del Giurese sup.-Cretacico inf.; la freccia con il tondo nero indica il limite del bacino idrogeologico, quella con il tondo bianco il limite del bacino imbrifero. Sul fianco sud-occidentale le breccie mioceniche, trasgressive sui calcari del Cretacico sup., vengono in contatto tettonico con la formazione terrigena e impermeabile del Tortoniano. Lungo la superficie fortemente inclinata che segna il limite litologico e di permeabilità, sono allineate le numerose sorgenti di trabocco prese in esame in questa nota; il profilo passa fra la sorgente dei Tassi e quella di Rio Sonno. Il bacino idrogeologico è limitato a SO dalla formazione calcareo dolomitica del Giurese sup. - Cretacico inf. ed è più esteso del bacino imbrifero: le acque che penetrano nei calcari e nelle breccie trovano a SO un limite di permeabilità nelle dolomie e defluiscono quindi verso Est dove scaturiscono lungo la soglia idraulica formata dal Complesso argilloso arenaceo. Sul fianco nord-orientale una grande faglia diretta mette a contatto i calcari del Cretacico inclinati a NE con la formazione terrigena miocenica; lungo questo limite non vi sono sorgenti perché il drenaggio sotterraneo è diretto verso NE al di fuori del bacino imbrifero.

— GEOLOGICAL SECTION OF THE ROVETO VALLEY. 1) Slope wash; 2) «Terra rossa»; 3) «Complesso argilloso-arenaceo» having at the base breccia and calcarenite lenses, Upper Miocene; 4) Calcareous breccia with clay lenses (Middle-Upper Miocene), transgressive on 5; 5) Middle-upper Cretaceous stratified limestone with bauxite lense (6) on the north-eastern side of the valley; 7) Upper Jurassic and Lower Cretaceous dolomitic limestone. The Miocene breccias, transgressive on Upper Cretaceous limestone, is in tectonic contact with the Upper Miocene «Complesso argilloso-arenaceo». Along this contact, which marks the permeability limit, are placed the overflowsprings examined by this paper. The cross section passes between Tassi and Rio Sonno springs. The Upper Jurassic - Lower Cretaceous calcareous dolomitic formation forms the SW limit of the hydrogeological basin which is larger than the river basin. Water entering the limestone and the breccia finds SW the dolomitic impervious formation and therefore flows eastwards towards the springs. On the NE side, springs are lacking because ground water flows towards NE, outside the river basin.

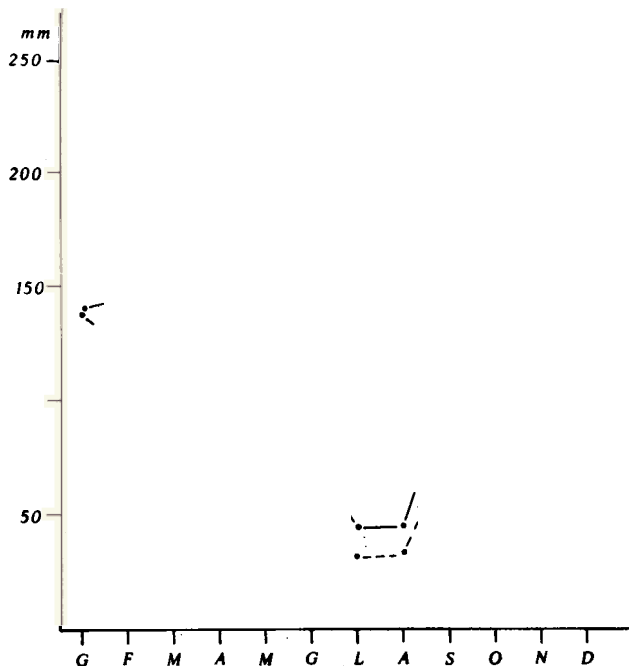


FIG. 3 — Precipitazioni medie mensili calcolate nel periodo 1921-65, relative al pluviometro di Capiستrello (625 m di quota, media annua 1310 mm, linea tratteggiata) e Cappadocia (1157 m di quota, media annua 1571 mm, linea intera). Confrontando questo grafico con quelli delle

freatico massimo e minimo, misurato in un lungo intervallo di tempo. Tali Riserve, legate alla fluttuazione della superficie freatica e perciò variabili, sono in sostanza le acque che defluiscono verso le aree o i punti di drenaggio naturale; la loro quantità è determinata dall'abbondanza delle precipitazioni, dalla incidenza dell'evapotraspirazione e dalla infiltrazione efficace.

Le Riserve permanenti, o profonde, rappresentano invece il volume di acqua libera contenuto nell'orizzonte acquifero delimitato alla base da una superficie impermeabile e alla sommità dalla su-

figg. 4 e 5 risulta la stretta relazione esistente fra il regime delle precipitazioni e delle portate. Dati tratti dallo studio climatologico di LUPA PALMIERI E. in ACCORDI & altri 1969.

— Average monthly precipitations covering the period 1921-1965 and concerning the rain gages of Capiستrello (altitude: 625 m, annual average: 1310 mm; dashed line) and Cappadocia (altitude: 1157 m, annual average: 1571 mm; full line). The comparison of this diagram with the ones of figures 4 and 5 emphasizes the close relationship existing between precipitation and the discharge regimen. Data drawn from the climatological study of LUPA PALMIERI E. in ACCORDI & altri 1969.

perficie freatica minima. Queste Riserve non vengono interessate dalla fluttuazione della superficie freatica e il loro volume si può considerare costante. Hanno un regime influenzato solo da grandi variazioni climatiche, o di altra natura, che avvengono su scala secolare. La somma delle Riserve regolatrici e delle Riserve permanenti rappresenta le Riserve totali.

In sostanza, nelle attuali condizioni di utilizzazione, le sorgenti di trabocco drenano solamente le acque riferibili alle Riserve regolatrici, con l'inconveniente di fornire una disponibilità di acqua eccessiva nei periodi di piena e spesso insufficiente

immediatamente dalla legge fondamentale di Darcy espressa nella forma

$$q = K i$$

dove: q = portata attraverso la sezione unitaria, pari alla velocità di deflusso

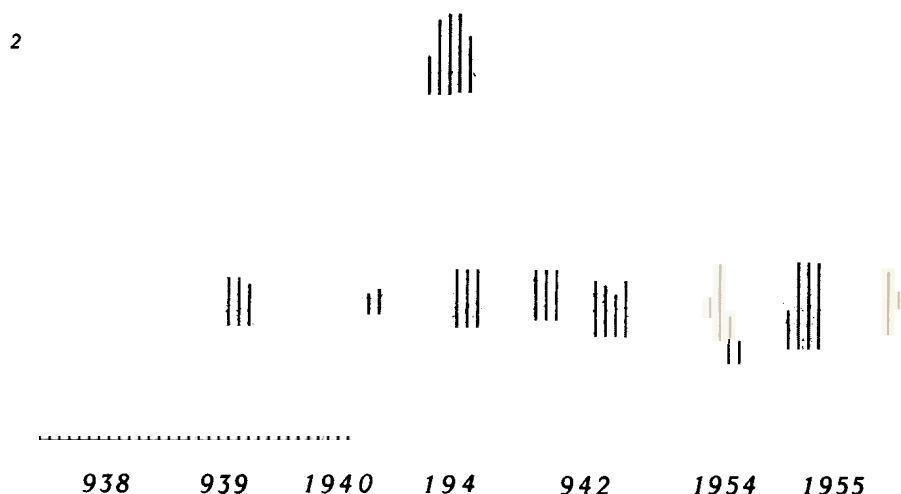
K = coefficiente di Darcy

i = gradiente idraulico pari ad H/L

rimane valido, in sostanza, anche nelle vicinanze delle opere di presa, dove il moto naturale della falda viene turbato e la legge di Darcy non può più essere applicata nella sua espressione più semplice, ma va modificata; si presenteranno vari casi,

FIG. 4 — Portate medie mensili misurate alla stazione idrometrografica di Cappadocia (Sorgenti del Liri). Nel periodo di osservazione il rapporto tra minimi e massimi scende raramente al di sotto di 1/4. Va osservato che nel biennio 1954-'55 la portata media annua è inferiore a quella del quinquennio 1938-'42. Le minime si registrano di norma nel periodo settembre-ottobre.

— Average monthly discharge of Liri spring in the periods 1938 - 1942 and 1954 - 1955. Maximum and minimum discharge ratio was rarely lower than 1/4 in the concerned periods. Minimum discharge generally occurs during September-October. During the period 1954-1955 the average annual discharge was lower than during the preceding period.



nei periodi di morbida; mentre le Riserve permanenti, che stanno al di sotto della superficie freatica minima non vengono in alcun modo utilizzate.

Si vuole quindi richiamare l'attenzione degli Idrogeologi sulla possibilità di utilizzare queste grandi riserve naturali, contenute in strutture geologiche favorevoli, per regimare la portata delle sorgenti, così come i bacini di ritenuta sono in grado di regimare il deflusso delle acque superficiali.

Se si fa riferimento ai fattori che regolano il deflusso delle falde freatiche che scorrono in moto laminare, attraverso un mezzo dotato di sufficiente permeabilità, verso un'opera di presa o un'area di drenaggio naturale, risulta chiaramente che, a parità di permeabilità, la portata è funzione del gradiente idraulico della falda e quindi della differenza di carico esistente fra l'area di alimentazione e il punto di drenaggio.

Questo concetto molto noto (fig. 6), che si ricava

ciascuno dei quali risolvibile in modo appropriato secondo gli studi condotti da numerosi Autori, riassunti da CASTANY (1963 cap. 17).

Risulta comunque sempre che, in qualsiasi situazione idrogeologica, la portata è funzione diretta del gradiente idraulico.

Prendiamo ora in considerazione una sorgente posta in A, che abbia origine in una situazione geologica analoga a quella descritta in fig. 6 e consideriamo costante il coefficiente K di Darcy nei calcari. Secondo la legge di Darcy avremo:

$$q_2 = K i_2$$

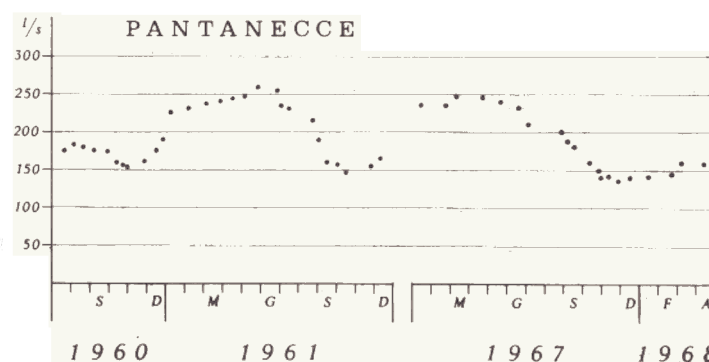
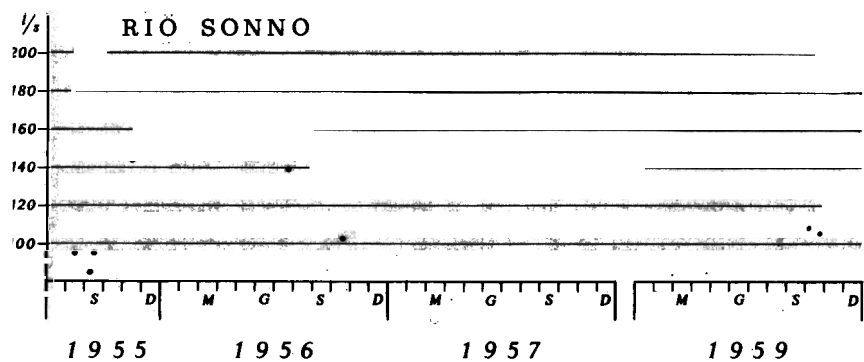
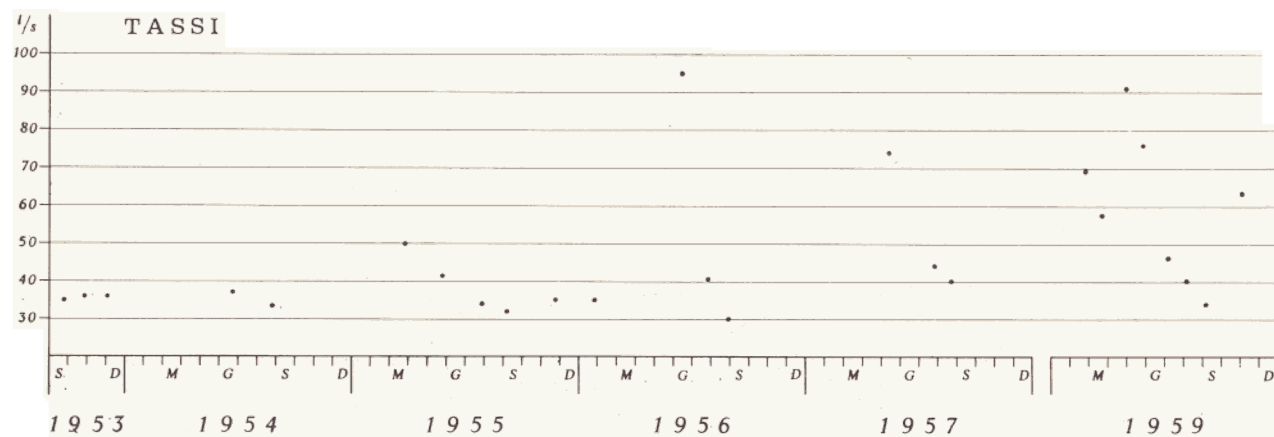
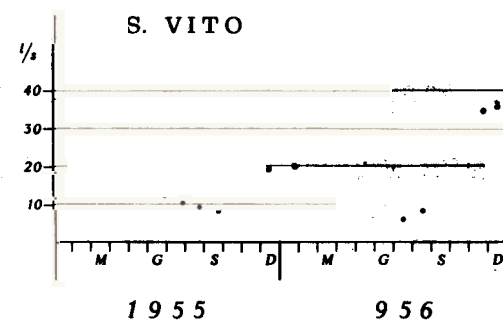
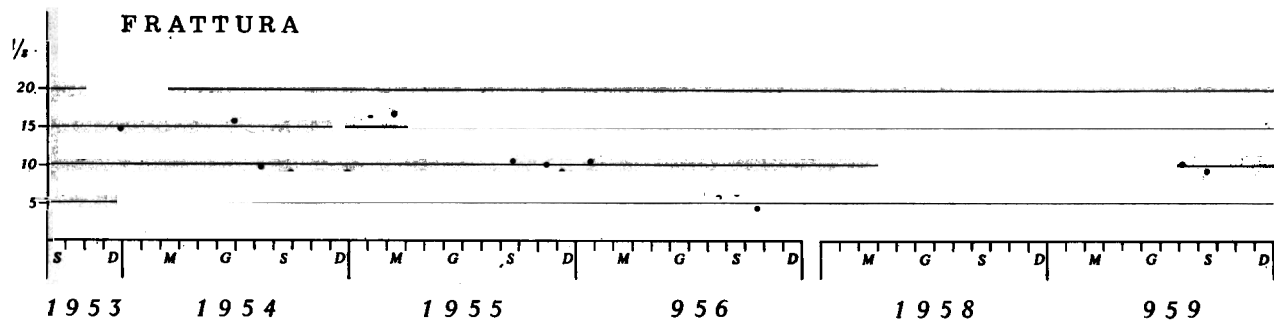
$$q_1 = K i_1$$

per K costante avremo:

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{i_2}{i_1}$$

dove: q_2 — portata massima corrispondente al livello freatico Z_2 e a un carico H_2

DIAGRAMMI DI PORTATA



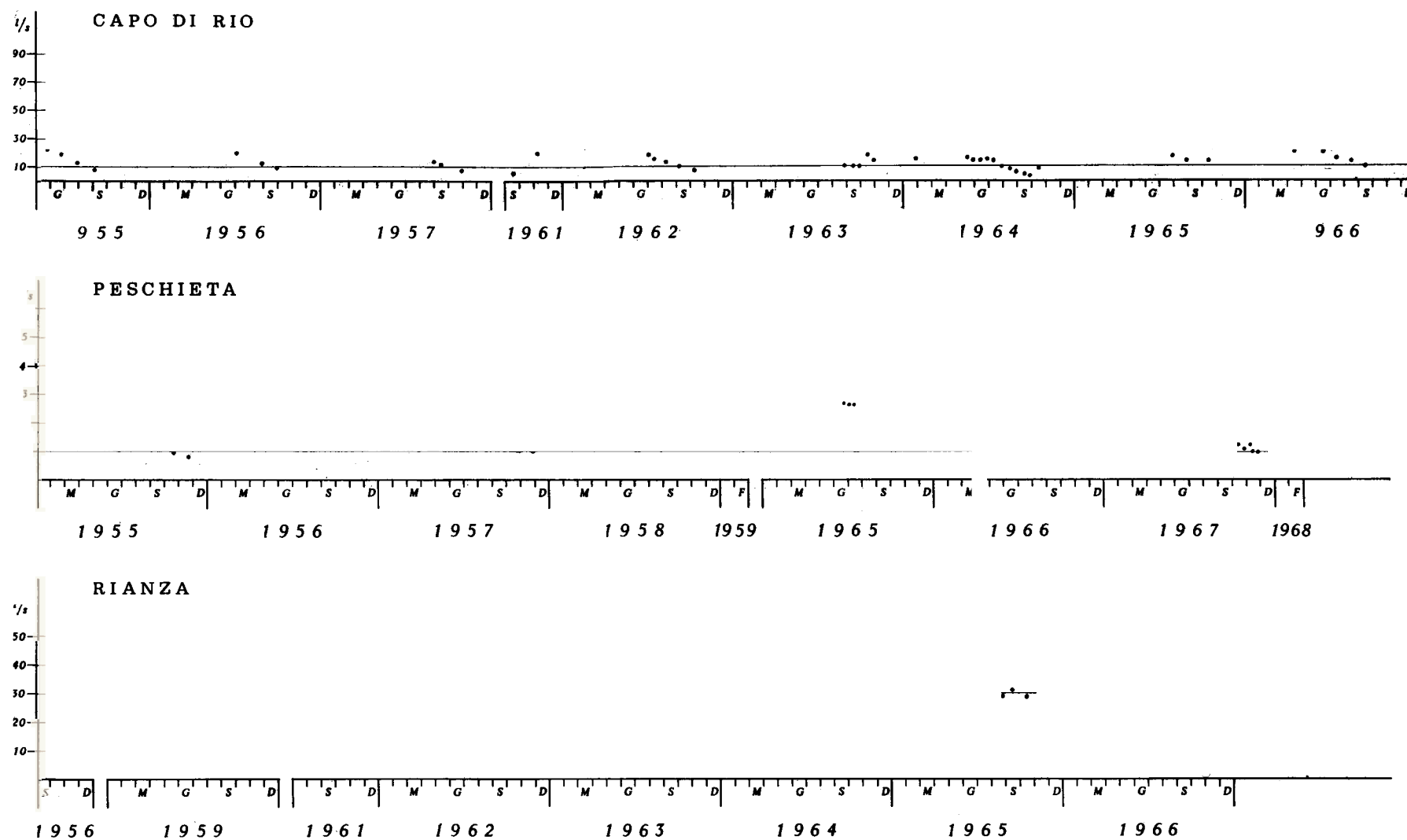


FIG. 5 — Diagrammi di portata di alcune sorgenti dell'alta valle Roveto. Il regime delle sorgenti ricalca quello delle precipitazioni (fig. 3) con un ritardo variabile da uno a due mesi. Il rapporto fra la portata di magra e di piena va da un minimo di $1/9$ a un massimo di $1/2$, mediamente si può assumere il valore di $1/4$. In questa nota si propone un sistema di presa che potrebbe rendere più regolare il deflusso, lasciando invariata la portata totale annua.

— Discharge diagram of some springs of the Upper Roveto Valley. The spring regimen follows the precipitation one (Fig. 3) with a delay varying between one and two months. Lowest and highest flow ratio varies from a minimum of $1/9$ to a maximum of $1/2$, $1/4$ may be taken as average value. This paper proposes a system which could make the flow more regular while leaving unchanged the total annual discharge.

- q_1 — portata minima corrispondente al livello freatico Z_1 e a un carico H_1
 i_2 — gradiente idraulico massimo pari a H_2/L
 i_1 — gradiente idraulico minimo pari a H_1/L
 L — distanza fra la zona di alimentazione e il punto di drenaggio.

Poiché $i_2 > i_1$, essendo $H_2 > H_1$, sarà $q_2 > q_1$.

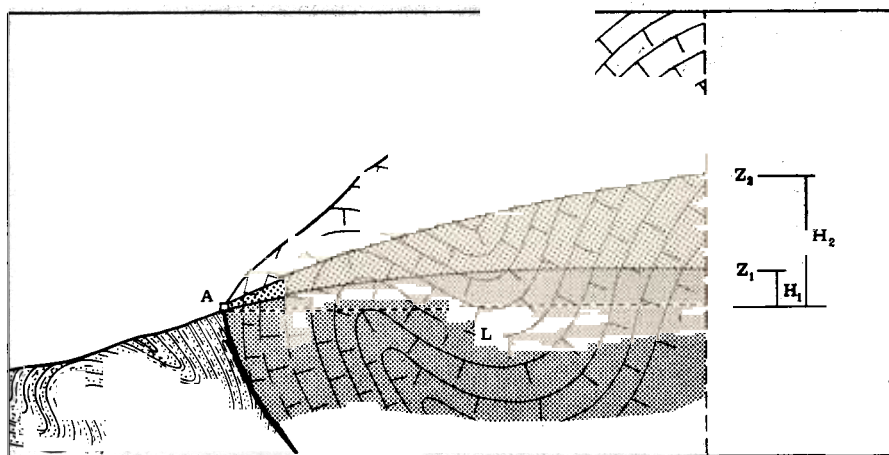
In altre parole, per avere una portata $q_2 > q_1$ la superficie freatica dovrà raggiungere la quota

sotto del livello AZ_1 non vengono in alcun modo utilizzate (Riserve permanenti).

Nella fig. 3 vengono riportati alcuni grafici degli afflussi meteorici registrati nell'alta Val Roveto, nella figg. 4, 5, sono riportati alcuni grafici tratti da misure di portata eseguite alle sorgenti e gentilmente forniti dalla Cassa per il Mezzogiorno.

Sebbene le misure alle sorgenti non siano molto frequenti e complete, perché mancano sovente interi cicli annuali che interessano particolarmente ai fini di questo studio, si può vedere che il regime risulta piuttosto irregolare e ricalca sostanzialmente,

FIG. 6 — Schema semplificato di una sorgente di trabocco (A). La linea più marcata che dal punto di emergenza (A) scende verso il basso indica la superficie limite di permeabilità fra terreni impermeabili, a valle, e rocce permeabili e porose a monte. Z_1 e Z_2 indicano rispettivamente il livello freatico minimo e massimo; H_1 e H_2 le relative differenze di carico rispetto alla sorgente; L è la distanza fra l'area di alimentazione e il punto di drenaggio. In base alla legge di Darcy, la portata sarà massima quando il livello freatico si troverà in Z_2 e minima quando questo si troverà in Z_1 . Viene indicata a punteggiaggio più aperto l'area AZ_1Z_2 corrispondente al volume occupato dalle Riserve idriche regolatrici, e a punteggiaggio più fitto l'area relativa



alle Riserve idriche permanenti.

N. B. - I gradienti idraulici sono esagerati.

— Simplified scheme of an overflowspring (A). The darkest line, that from the spring point (A) goes downwards, indicates the limit of permeability between impermeable rocks, downhill, and permeable and porous rocks, uphill. Z_1 and Z_2 indicate respectively minimum and maximum water level; H_1 and H_2 the relative hydraulic head in respect to the spring point; L is the distance between the recharge area and the drainage point. According to Darcy's law, the peak flow will occur when the water level will be in Z_2 and the minimum flow when the water level will be in Z_1 . AZ_1Z_2 area is marked by more spaced dots and corresponds to the volume taken by safe yield (réserves régulatrices). Closer dots indicate the area corresponding to the volume taken by « permanent storage » (réserves permanentes).

N. B. - Hydraulic gradients are exaggerated.

$Z_2 > Z_1$ con gradienti idraulici rispettivamente $i_2 > i_1$.

Poiché la superficie freatica si innalza quando viene alimentata dalle acque di percolazione, in terreni molto permeabili, il regime delle sorgenti dipenderà strettamente dal regime delle precipitazioni. A periodi di forte piovosità e quindi di abbondante alimentazione seguono periodi di forte portata, mentre a periodi di siccità seguono fasi di morbida con portate inferiori. Questo è in effetti il regime proprio delle sorgenti della Val Roveto (figg. 4, 5).

Nella situazione illustrata dalla fig. 6 cioè in condizioni di deflusso naturale è possibile utilizzare esclusivamente il volume di acqua rappresentato nel profilo dalla superficie AZ_1Z_2 , comprendente le Riserve regolatrici, mentre le acque al di

con un ritardo variabile fra uno e due mesi, il regime degli afflussi meteorici. Le portate di piena salgono frequentemente al quadruplo delle portate di magra, e superano a volte il rapporto di 9 ad 1. Va considerato ancora a questo proposito che difficilmente le portate di piena registrate corrispondono realmente alle massime assolute. Sono infatti rare e spesso imprecise le misure eseguite in periodo di massima piena; rare, per difficoltà di accesso alla sorgente e per altre cause analoghe; imprecise, perché la portata è in genere tale da non essere contenuta dai dispositivi di misura. È quindi probabile che, se si disponesse di misure più precise e frequenti e si considerassero anche le abbondanti perdite laterali, le portate di piena risulterebbero certo più elevate. Agli effetti pratici, la portata alla sorgente nel periodo di morbida, quando maggiore

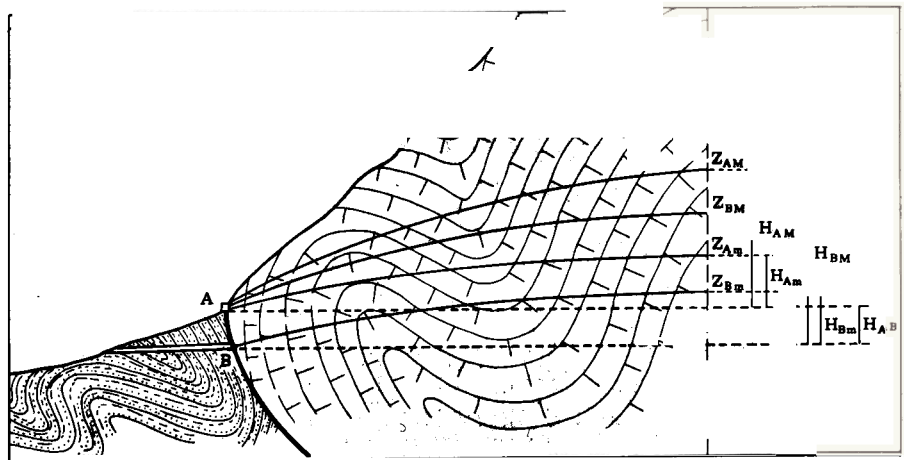
è la necessità di acqua, risulta scarsa, mentre nelle fasi di piena è sovente eccessiva.

Prendiamo in considerazione lo schema illustrato nella fig. 7 analogo a quello della fig. 6 e immaginiamo di raggiungere con una galleria il limite di permeabilità nel punto B. Costruiamo con questo sistema un'opera di presa che abbassa la soglia idraulica di un valore pari ad H_{AB} e che sarà in grado di fornire, a causa del maggior carico che ne deriva, una portata in B superiore a quella che defluisce naturalmente dalla sorgente posta in A. Se mettiamo in esercizio il punto B, per ogni va-

piezometrica massima al livello Z_{AM} ma solo al livello Z_{BM} ; si verrebbero a ristabilire, in pratica, le condizioni precedenti con lo svantaggio di avere una scaturigine a quota inferiore a quella della sorgente naturale.

La quota del livello freatico della zona di alimentazione, e quindi il carico idraulico, è infatti regolata dagli afflussi che si possono considerare, in un lungo intervallo di tempo, mediamente costanti. *Non è quindi possibile pensare di ricavare dalla sorgente, in un lungo arco di tempo, una portata annua complessiva superiore a quella attualmente*

FIG. 7 — Se abbassiamo le opere di presa da A in B la sorgente, per un certo periodo, fornirà una portata in B superiore a quella che scaturisce naturalmente da A. L'incremento di portata sarebbe tuttavia effimero perché si estrarrebbe dalla falda più acqua di quanta la falda stessa ne riceve dagli afflussi meteorici; ciò provocherebbe il progressivo abbassamento del livello piezometrico minimo da Z_{Am} a Z_{Bm} e si ricostituirebbero le condizioni precedenti. È possibile tuttavia, operando opportunamente (fig. 8) sulle opere di presa, modificare il regime della sorgente senza variare la portata totale annua. N. B. - I gradienti idraulici sono esagerati.



— If we lower the flow point from A to B, the spring will supply, for a certain period, a flow in B higher than the one naturally issuing from A. The discharge increase, however, would only be transitory because one would take from the aquifer more quantity of water than what the aquifer itself can receive from the recharge. There would therefore be a progressive lowering of the maximum piezometric level from Z_{Am} to Z_{Bm} and in practise, previous conditions would occur again. It is possible, however, to modify the regimen of the spring, without varying its annual discharge operating as shown in Fig. 8. N. B. - Hydraulic gradients are exaggerated.

lore di Z , qualunque valore H_B , compreso fra H_{BM} e H_{Bm} , sarà sempre maggiore del corrispondente valore H_A . Ne consegue che, considerando applicabile la legge di Darcy, la portata in B sarà sempre superiore a quella che si può ottenere nello stesso momento nel punto A. Solo le portate di minima q_{Am} e q_{Bm} vengono a coincidere, quando le superfici freatiche si dispongono rispettivamente a quota Z_{Am} e Z_{Bm} , essendo $H_{Am} = H_{Bm}$.

Sarebbe tuttavia un grave errore pensare di poter applicare a tempo indeterminato una tale opera di presa e di ricavare dalla falda una portata media annua superiore a quella di cui attualmente si dispone, senza rompere gli equilibri naturali oggi esistenti. Se ponessimo in esercizio continuo il drenaggio nel punto B, incrementando la portata per l'intero anno, in breve tempo il livello freatico minimo scenderebbe dalla quota Z_{Am} alla quota Z_{Bm} perché gli afflussi, che consideriamo costanti non sarebbero più in grado di elevare la superficie

disponibile perchè in questo caso, si estrarrebbe dalla falda più acqua di quanta la falda stessa ne riceve e si provocherebbe necessariamente l'abbassamento della superficie freatica con le conseguenze negative prima ricordate.

È possibile invece modificare con opportune opere di presa il regime di portata, in modo da renderlo più regolare nel corso dell'anno facendo ricorso alle « Riserve permanenti » in periodo di magra.

Metodo di regimazione proposto

Nelle attuali condizioni di utilizzazione, in base allo studio del regime delle sorgenti esaminate, possiamo ammettere che ogni anno gli afflussi siano in grado di innalzare il livello freatico da Z_1 (livello minimo) a Z_4 (livello massimo) in modo da elevare la portata da q_1 a q_4 (fig. 8).

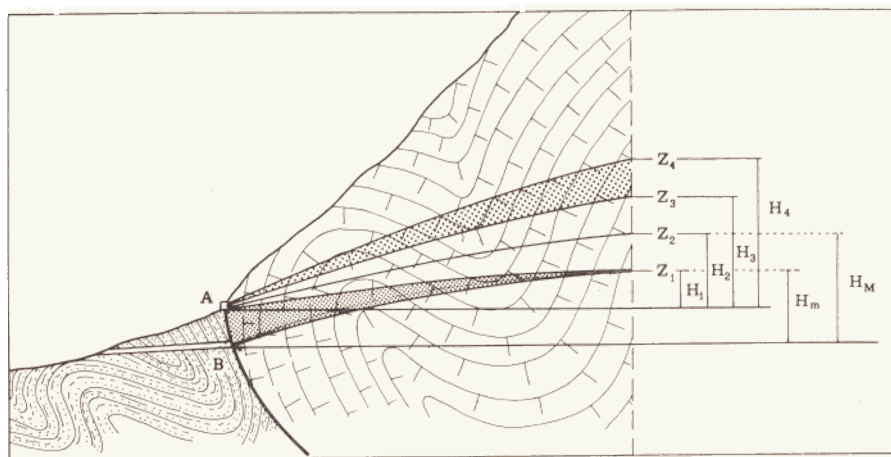
Supponiamo di voler ricavare durante l'intero anno una portata che non scenda sotto il valore di

q_2 e non superi il valore di q_3 . Costruiamo a questo scopo una galleria che raggiunga il limite di permeabilità nel punto B scelto ad una quota tale da ottenere in periodo di massima magra (livello freatico Z_1) un carico minimo H_m pari ad H_2 . Se, a partire dal livello freatico massimo Z_4 lasciamo in esercizio solo il punto A finché la portata non scende al valore di q_2 (livello freatico Z_2), avremo portate comprese fra q_4 e q_2 . Quando il livello freatico raggiunge la quota Z_2 si metta in

salirà progressivamente fino a Z_2 . Si potrà a questo punto sospendere l'erogazione dal punto B e ripristinare il deflusso nel punto A, che avrà una portata pari a q_2 con carico H_2 .

Se consideriamo l'alimentazione progressiva e mediamente costante il livello freatico non raggiungerà più la quota Z_4 , ma solamente la quota Z_3 perché un volume di afflussi corrispondente alla superficie AZ_4Z_3 , la cui area si può considerare uguale a quella ABZ_1 , sarà già stato utilizzato per

FIG. 8 — È possibile modificare il regime della sorgente A in questo modo. Si apra una seconda presa in un punto B, in modo da ottenere con il livello freatico in Z_1 una portata q_2 ($H_m = H_2$). A partire da Z_4 (portata q_4) si lasci in esercizio solo il punto A finché la portata scende a q_2 e il livello freatico a Z_2 . Si metta a questo punto in esercizio solo la presa in B che erogherà una portata q_3 ($H_m = H_3$). La portata diminuirà progressivamente fino a q_2 (livello Z_1 , $H_m = H_2$). In questo periodo la presa in B avrà drenato un volume di serbatoio (ABZ_1Z_2) circa doppio rispetto a quello che la sorgente A sarebbe stata in grado di drenare in condizioni naturali; si utilizza infatti un volume di Riserve permanenti pari a ABZ_1 . Cessato il ciclo di magra nuovi afflussi solleveranno la superficie freatica in Z_2 , mentre la portata in B salirà progressivamente a q_3 . Si sospenda l'erogazione in B e si metta in esercizio il punto A: il livello freatico continuerà a salire fino a Z_3 ma non raggiungerà il livello Z_4 perché un volume di afflussi corrispondente alla superficie AZ_4Z_3 (approssimativamente uguale ad ABZ_1) sarà già stato utilizzato per ricostituire le Riserve permanenti precedentemente sfruttate; non si registreranno quindi portate superiori a q_3 e minori di q_2 .



N. B. - I gradienti idraulici sono esagerati.

— It is possible to modify A spring regimen in the following way: A second flow point should be opened in B so that to obtain during minimum discharge period (Z_1 water level) a q_2 discharge (water head $H_m = H_2$). Starting with Z_4 (q_4 discharge), only point A is left in operation until the discharge decreases to q_2 and the water level to Z_2 . At this moment only point B will be put in operation and it will supply a q_3 drainage (hydraulic head $H_m = H_3$). The discharge will decrease progressively to q_2 (hydraulic head $H_m = H_2$; water level Z_1). During this period the catchment in B has totally drained a storage volume (corresponding in the section to ABZ_1Z_2) roughly double of the one the spring would have drained under natural conditions; it has, in fact, been utilized a volume of « permanent storage » (réserves permanentes) corresponding to the surface ABZ_1 . When the minimum discharge period ends, new recharge will rise the piezometric surface to Z_2 , while the discharge in B will rise progressively to q_3 . Discharge in B must now be stopped and point A is put in operation again: the water level will constantly rise up to Z_3 but will not reach Z_4 level because the volume of recharge water corresponding to AZ_4Z_3 surface (roughly equal to ABZ_1) has already been utilized to reconstitute the « permanent storage » previously employed. No discharge exceeding q_3 will therefore occur.

N. B. - Hydraulic gradients are exaggerated.

esercizio il punto B, in modo da avere nuovamente una portata pari a q_3 (carico H_m pari ad H_3); la portata diminuirà progressivamente fino ad un valore q_2 , (carico H_m e livello freatico Z_1). In questo periodo di magra si sarà utilizzata una quantità di acqua libera proveniente da un volume (corrispondente nel profilo alla superficie ABZ_1Z_2) doppia rispetto a quella che la sorgente sarebbe stata in grado di erogare in condizioni naturali (AZ_1Z_2); si è infatti utilizzato anche il volume di « Riserve permanenti » rappresentato in sezione dall'area ABZ_1 .

Cessato il ciclo di magra, gli afflussi meteorici ricominceranno ad alimentare la falda, il cui livello

ricostituire le Riserve sfruttate durante la magra. In questo modo la portata di piena non raggiungerà più il valore di q_4 , ma al massimo il valore di q_3 , e si sarà evitato lo spreco inutile oggi esistente durante i periodi di piena con portate comprese fra q_4 e q_3 .

Servendosi del serbatoio naturale, come ci si serve di un bacino di ritenuta, è possibile immagazzinare e utilizzare in periodo di magra, l'eccesso di acqua di cui si dispone in periodo di piena, mentre il deflusso totale annuo rimane invariato.

Nel caso illustrato si è ottenuto un deflusso di magra doppio rispetto a quello naturale. Abbassando opportunamente la quota di B, in condizioni

di alimentazione favorevoli, è possibile migliorare il risultato.

In fase sperimentale si potrà studiare la possibilità di adottare sistemi più semplici che possono fornire risultati analoghi o migliori.

Considerando ad esempio la legge di Darcy nell'espressione

$$Q = K S \frac{H}{L}$$

dove: Q portata
S sezione attraverso cui defluisce la portata Q
H/L gradiente idraulico

appare ovvio che è possibile regolare più semplicemente la portata Q variando la sezione S, cioè la superficie attraverso cui defluisce l'acqua della falda. Sarebbe quindi possibile operando solamente nel punto B, sulla sezione S, regolare le portate in modo opportuno durante l'intero arco dell'anno. Questi particolari si possono chiarire in fase sperimentale in base alle esigenze tecniche e ai costi di esercizio.

È ovvio che lo schema proposto per incrementare la portata delle sorgenti dell'alta Valle del Liri è valido anche per tutte le numerosissime sorgenti di trabocco alimentate da una falda che ha il letto impermeabile posto ad una quota inferiore a quella del punto di natural deflusso e che si trovi in condizioni topografiche tali da consentire lo scavo della

galleria ad una quota inferiore a quella della sorgente.

Il metodo non è senza incognite: se si può considerare valido nelle sue linee generali e a livello qualitativo, solo in fase sperimentale sarà possibile metterlo a punto per determinare le relazioni quantitative che dipenderanno ovviamente dalle caratteristiche idrogeologiche dell'orizzonte acquifero che si vuole sfruttare. Sempre in fase sperimentale sarà possibile valutare i costi, le difficoltà esecutive e di esercizio, che tuttavia non dovrebbero essere eccessive, con le tecniche oggi a disposizione.

Conclusioni

Modificando le opere di presa è possibile regolare il regime delle sorgenti di trabocco; il metodo qui proposto consente di diminuire le portate di piena e di aumentare le portate di morbida lasciando invariato il deflusso totale annuo. Il risultato si può ottenere utilizzando nelle fasi di magra, parte delle Riserve idriche permanenti; perché il miglioramento ottenuto non sia effimero è necessario operare in modo che le Riserve permanenti utilizzate vengano prontamente ricostituite nel periodo di maggior afflusso che segue la fase di magra.

Lo schema, valido in termini qualitativi nella sua formulazione teorica, in fase sperimentale potrà essere verificato, migliorato, e definito anche in termini quantitativi.

ABSTRACT

The hydrogeological investigation carried out on some springs of the Upper Liri Valley (western Abruzzo - Italy) gave the opportunity to study a method able to modify the discharge regimen of overflowsprings. By means of suitable works, here described, it is possible to increase minimum discharge and decrease maximum discharge of all

springs having the impervious surface lower than the spring level. The method is based on the utilization, during the minimum discharge period, of the « permanent storage » (réserves permanentes) and its immediate reconstitution during the subsequent recharge phase. It allows to obtain a flow which remains nearly constant the whole year long.

Manoscritto presentato nell'Ottobre 1968

BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI B. (1966) — La componente traslativa nella tettonica dell'Appennino laziale-abruzzese. *Geol. Rom.*, V, pp. 355-406, figg. 33, 1 Carta tettonica, Roma.
- ACCORDI B. e altri (1969) — Idrogeologia dell'alta Valle del Liri (Appennino Centrale) - *Geol. Rom.*, VIII, (in corso di stampa).
- Carta Geologica d'Italia (1939) — Foglio 151 (Alatri) a cura di Beneo, Roma.
- CASTANY G. (1963) — *Traité pratique des eaux souterraines*. Dunod Ed., Paris, pp. 658.
- CASTANY G. (1968) — *Prospection et exploitation des eaux souterraines*. Dunod. Ed., Paris., pp. 718.

- DEVOTO G. (1967a) — Le brecce calcaree nell'alta Valle Roveto tra Castellafiume e Canistro. *Geol. Rom.*, VI, pp. 75-86, 8 figg., Roma.
- DEVOTO G. (1967b) — Note geologiche sul settore centrale dei M. Simbruini ed Ernici (Lazio Nord-occidentale). *Boll. Soc. Nat. Napoli.*, LXXVI, pp. 112, 23 figg., Napoli.
- Min. Lavv. Pubbl., Serv. Idrogr. (1921-65) — *Annali idrologici*, parte I e II. Sez. Aut. del Genio Civile, Napoli.
- PLOTNIKOV N. A. (1962) — *Resources en eaux souterraines: Classification et méthodes d'évaluation*, Gauthier-Villars et Cie Ed., pp. 194, Paris.
- TODD D. K. (1964) — *Ground Water hydrology*. Wiley J. and Sons. Inc., pp. 336 New York.