

**CASSA PER OPERE STRAORDINARIE DI PUBBLICO INTERESSE  
NELL' ITALIA MERIDIONALE  
(CASSA PER IL MEZZOGIORNO)**



***Indagine sulle acque sotterranee  
del Tavoliere - Puglia***

**ASPETTI GEOIDROLOGICI DELLA ZONA E PRESUMIBILE  
PORTATA DELLE ACQUE FREATICHE ED ARTESIANE**

CASSA PER OPERE STRAORDINARIE DI PUBBLICO INTERESSE  
NELL'ITALIA MERIDIONALE  
(CASSA PER IL MEZZOGIORNO)

*Indagine sulle acque sotterranee  
del Tavoliere - Puglia*

ASPETTI GEOIDROLOGICI DELLA ZONA

*Prof.* FELICE IPPOLITO e VINCENZO COTECCHIA

PRESUMIBILE PORTATA DELLE  
ACQUE FREATICHE E ARTESIANE

*Prof.* GIULIO DE MARCHI

# SOMMARIO

<i>Presentazione</i>	pag.	7
GLI ASPETTI GEOIDROLOGICI DEL TAVOLIERE ( <i>Felice Ippoliti e Vincenzo Cotecchia</i> )		
GENERALITÀ	»	11
1 - GEOLOGIA DELLA REGIONE	»	12
2 - IDROGEOLOGIA DEL TAVOLIERE	»	15
3 - NATURA E PERMEABILITÀ DEI TERRENI SUPERFICIALI DELLA CAPITANATA	»	17
4 - CONSISTENZA, NATURA E GIACITURA DEL MATERASSO ACQUIFERO SOVRASTANTE ALLE ARGILLE SABBIOSE GRIGIO AZZURRE DEL PLIOCENE E DEL CALABRIANO	»	20
5 - CONCLUSIONI	»	23
INDAGINE SULLA PRESUMIBILE PORTATA DELLE ACQUE FREATICHE ED ARTESIANE DEL TAVOLIERE ( <i>Giulio De Marchi</i> )		
PREMESSA	»	27
1 - TOPOGRAFIA E IDROGRAFIA SUPERFICIALE DEL TAVOLIERE: CENNO INTRODUTTIVO	»	27
2 - CARATTERI GENERALI DELL'IDROGRAFIA SOTTERRANEA: VOLUME D'ACQUA ACCUMULATO NEL SOTTOSUOLO	»	28
3 - ALIMENTAZIONE DELLE FALDE ACQUIFERE SOTTERRANEE	»	31
4 - REGIME IDROLOGICO DEI BACINI DEL TAVOLIERE: SUE CARATTERISTICHE FONDAMENTALI IN RAPPORTO ALLA ALIMENTAZIONE DELLE FALDE ACQUIFERE	»	33
5 - VARIAZIONI DELLA FALDA ACQUIFERA SOTTERRANEA	»	35
6 - PERMEABILITÀ DELLE FORMAZIONI ALLUVIONALI ACQUIFERE	»	36
7 - TENTATIVO DI CALCOLO DELLA PORTATA DELLA FALDA ACQUIFERA	»	38
8 - CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI FINALI	»	41

*L'* esigenza di definire la disponibilità di acque sotterranee nel Tavoliere (Puglia), ai fini delle possibili utilizzazioni potabili, irrigue ed industriali, è da tempo sentita: risale anzi al secolo scorso, quando nel lontano 1886 furono intraprese a cura del Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio — Corpo delle Miniere — i primi studi sull'argomento.

Tali studi furono ripresi in base ad un organico piano di ricerche dell'Ufficio Speciale per l'Irrigazione dell'Ente Autonomo dell'Acquedotto Pugliese e furono condotti fino al 1932 quando, per mutato ordinamento dell'Ente, l'Ufficio Speciale fu soppresso, mentre il Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici proseguiva i rilevamenti freaticometrici.

Più di recente, nel secondo dopoguerra, il Consorzio Generale di Bonifica della Capitanata raccolse ed elaborò ulteriori elementi di studio, mentre il crescente fervore dell'iniziativa privata per lo sfruttamento dell'acqua sotterranea veniva concretandosi attraverso l'esecuzione di numerosi pozzi nel comprensorio.

Altro notevole contributo è stato poi apportato dall'Ente per l'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania sia con importanti interventi di studio e di ricerca promossi e finanziati dalla Cassa per il Mezzogiorno, sia con una vasta attività di approvvigionamenti aziendali mediante pozzi freatici a servizio degli estesi appoderamenti realizzati per conto della Sezione Speciale per la Riforma Fondiaria.

L'iniziativa della Cassa non si è però limitata al finanziamento delle suddette indagini comprendenti principalmente prospezioni geoelettriche e perforazioni meccaniche spinte anche a grande profondità. La finalità di arrivare a conclusioni per quanto possibile definite, su di un problema complesso ed importante quale quello della valutazione della presumibile portata delle acque sotterranee, richiedeva necessariamente un ulteriore studio che, anche sulla base di un coordinamento organico ed aggiornato del materiale già acquisito, offrisse un'efficace sintesi del fenomeno idrologico del Tavoliere.

Per l'espletamento di tale delicato compito venne richiesta l'autorevole collaborazione del prof. Giulio De Marchi, su proposta del quale si dispose preliminarmente l'esecuzione di una specifica e dettagliata indagine geologica affidata ai professori Felice Ippolito e Vincenzo Cotecchia.

Le conclusioni degli studi in parola, conseguite attraverso un vasto e impegnativo lavoro di accertamenti ed elaborazioni, ci permettono oggi di considerare raggiunto l'obiettivo prefissato di determinare nel suo ordine di grandezza la consistenza delle risorse idriche sotterranee del Tavoliere.

Al prof. De Marchi e ai proff. Ippolito e Cotecchia porgiamo quindi un fervido ringraziamento per il pregevole lavoro svolto, così come pure va il nostro grato riconoscimento all'opera competente ed appassionata condotta in epoca recente e lontana da tutti gli Enti dianzi citati.

A completamento dell'iniziativa intrapresa, la Cassa ha ritenuto utile di pubblicare nel loro testo originale le relazioni di studio elaborate; ciò in quanto esse, oltre che di interesse tecnico e scientifico, possono considerarsi un primo prezioso contributo per il razionale inquadramento dei futuri interventi destinati alla valorizzazione del più vasto comprensorio di bonifica della Puglia.

# Gli aspetti geoidrologici del Tavoliere

*Relazione dei Proff. FELICE IPPOLITO e VINCENZO COTECCHIA*

## GENERALITA'

E' ormai accertato che nella vasta provincia di Foggia, nota pure sotto il nome di Capitanata, particolari condizioni geologiche e morfologiche consentono una duplice circolazione acquifera sotterranea, con caratteristiche idrologiche sostanzialmente diverse e con altrettanto diverse possibilità di sfruttamento.

Si rinviene, infatti, a forti profondità la cosiddetta « falda profonda », la quale ha sede in rocce calcaree fessurate del Cretacico, soggiacenti nella maggior parte della Capitanata a rilevanti profondità sotto il piano campagna, sotto una spessa e continua coltre di sedimenti pelitici, psammitici terziari e quaternari. Le acque di questa falda circolano in pressione e, data la grande profondità a cui spesso si rinven- gono, sono generalmente alquanto salmastre per fenomeni di influenza da parte delle acque marine che invadono il continente. Risulta anzi a tutt'oggi individuata nella regione una vasta zona, fra Foggia e il Gargano, nella quale le acque dei calcari cre- taci di base sono rappresentate quasi esclusivamente da acque di mare. In ogni caso le acque profonde della Capitanata ri- sultano tali da non potersi adibire per al- cun uso comune: solo nel massiccio del Gargano e nelle zone marginali delle Murge baresi, ove i calcari del Cretacico affiorano, ovvero giacciono a solo qualche centinaio di metri di profondità sotto il livello del mare, la « falda profonda » risulta abba- stanza dolce.

In conseguenza di quanto si è detto, gran- de importanza pratica assumono invece, per il loro facile rinvenimento, per la mo- desta soggiacenza che le rende di utilità immediata, per la grande diffusione in tutta la regione e per la ottima qualità, quelle acque che circolano tra i depositi sabbiosi-

ghiaiosi quaternari, ricoprenti con una gran- de continuità, dall'Appennino al mare, la parte più pianeggiante della Capitanata.

E' superfluo in questa sede soffermarsi sulle ricerche all'uopo svolte negli ultimi cinquant'anni e sulle opinioni espresse da coloro che condussero dette ricerche. Nu- merosi sono infatti i lavori a stampa che trattano l'argomento, ma le conclusioni cui essi giungono frequentemente non si accor- dano fra loro, soprattutto per la mancanza di un coordinamento geologico generale del- la larga messe di dati ottenuti dalle utilis- sime ricerche fino ad oggi svolte.

Fra i risultati di queste, sono da porsi par- ticularmente in rilievo quelli ottenuti dall'En- te per lo Sviluppo della Irrigazione e la Tra- sformazione fondiaria in Puglia e Lucania, attraverso i pozzi trivellati per conto della Cassa per il Mezzogiorno e della Sezione Spe- ciale Riforma Fondiaria. Le numerose cam- pionature e stratigrafie, accertate a mezzo di questi pozzi e cortesemente fornite da detto Ente, sono state infatti utilmente coordinate nonché riferite ai rilevamenti svolti in su- perficie da uno degli scriventi (Cotecchia) e ai dati noti per gli altri pozzi della zona.

Le note che qui si esporranno riguardano, come si è detto, unicamente la circolazione acquifera superficiale del Tavoliere. Esse non vogliono essere una elencazione di dati, dei quali è possibile prender visione in altri lavori, ma piuttosto rappresentare una sin- tetica discussione sulle vie di alimentazione delle falde e sulla entità del materasso acquifero vero e proprio, elementi questi che scaturiscono principalmente dalla strut- tura geo-litologica della regione. Questi ele- menti rappresentano in sostanza i punti più salienti del problema delle risorse idriche del Tavoliere, problema sul quale converge oggi l'attenzione di tecnici e studiosi, che ravvisano in esso una delle più importanti risorse per lo sviluppo agricolo della Ca- pitanata.

## 1. — GEOLOGIA DELLA REGIONE.

Va comunemente sotto il nome di Tavoliere quella vasta pianura, delimitata a Sud Est dal basso tronco del fiume Ofanto avente da Lavello alla foce grosso modo andamento rettilineo; ad Ovest da un arco collinare che da Ascoli Satriano, passando per Troia, Lucera e S. Severo, si spinge fino ad Apricena; a Nord Est dal torrente Candelaro che, scorrendo in una direzione esattamente rettilinea da Nord-Ovest verso Sud-Est, separa la pianura dal promontorio del Gargano e, di seguito, con continuità e nella stessa direzione, dal litorale adriatico fra il Pantano di Celentano e Margherita di Savoia, presso la foce dell'Ofanto.

Se a questa immensa pianura si aggiunge pure quella estrema propaggine settentrionale di terreni, egualmente pianeggianti, compresi fra la riva destra del fiume Fortore e il contorno occidentale del lago di Lesina, si raggiunge la estensione di circa 3.500 kmq. interamente ricoperti da depositi quaternari, in prevalenza di facies alluvionale. Tra questi depositi prevale, al centro del Tavoliere, un banco di argilla marnosa, di probabile origine lagunare, ricoperta qua e là da lenti di conglomerato e da straterelli superficiali di calcare evaporitico (crosta). Sotto l'argilla si rinviene in generale un deposito clastico sabbioso-ghiaioso, nel quale ha sede la massima parte della riserva idrica sotterranea della regione, cui fa da basamento impermeabile il noto complesso delle argille azzurre della potente serie pliocenico-calabriana, immancabilmente rinvenuto alla base dei pozzi fino ad oggi eseguiti nella zona.

Gli affioramenti in superficie di detto complesso, partendo dalla bassa valle del Fortore, si protendono verso Sud in una fascia che, sviluppandosi quasi ininterrottamente subito a valle dei paesi di Castelnuovo della Daunia, Biccari, S. Agata e Candela, raggiunge il corso medio e inferiore del fiume Ofanto, ammantando le estreme propaggini del Terziario medio e inferiore lungo una direttrice unica, dai Monti della Daunia fino al versante in destra della fossa bradanica.

Questa in breve la costituzione geologica della regione in esame, la quale si presenta nel dettaglio estremamente più complicata di

quanto possa apparire dalle grandi linee sopra descritte.

Passando ad un esame più particolareggiato delle varie formazioni affioranti nel Tavoliere e ai margini di esso, si segnala nel versante sud-occidentale dalle quote più elevate fino a scendere in qualche punto a quota 200, un alternarsi monotono di rocce in facies di flysch, con predominio di strati di materiale argilloso e calcareo, prevalentemente attribuiti a vari livelli del Miocene. Fra queste rocce non mancano gli affioramenti di argille e scaglie e argille varicolori, in prevalenza riconosciute come appartenenti all'Oligocene.

Tralasciando l'esame minuzioso di dette rocce, il quale interesserebbe ben poco lo scopo del presente lavoro, si passa poi al complesso, già accennato, delle cosiddette argille grigio-azzurre del Pliocene e del Calabriano, le quali, degradando dall'Appennino, si immergono lentamente sotto i terreni acquiferi del Tavoliere, con pendenza più o meno costantemente rivolta verso il Gargano e la costa.

A questo punto si fa notare che, nelle carte geologiche di cui oggi si dispone e nei vari lavori che riguardano la regione, si parla genericamente di « Pliocene argilloso », ricalcando praticamente l'errore di datazione nel quale incorse a suo tempo il Checchia-Rispoli nel descrivere talune serie affioranti ai margini occidentali della Capitanata. Studi molto recenti sono stati infatti svolti nella zona, accertando la presenza, al di sopra del Pliocene, di estesi sedimenti argillo-sabbiosi del Calabriano, i quali costituiscono col Pliocene medio superiore un unico ciclo sedimentario. Detto ciclo è caratterizzato da una formazione di base, rappresentata da argille grigio-azzurre sormontate da sabbie gialle, corrispondenti rispettivamente ai noti livelli Piacenziano e Astiano del Pliocene medio-superiore, formazione questa che si continua a sua volta, senza alcuna discordanza, in una seconda serie di argille sabbiose grigio-azzurre e sabbie soprastanti, da attribuirsi invece al Calabriano.

La serie regressiva del Calabriano si chiude naturalmente con rocce conglomeratiche, le quali si saldano probabilmente in non poche zone con i depositi ghiaiosi costituenti l'arco alluvionale di monte del Tavoliere vero e proprio, come avviene in particolare nella zona compresa fra l'Ofanto e il fiume

Carapelle. Data però la forte rassomiglianza dei sedimenti argillosi e argillo-sabbiosi del Pliocene e del Calabriano, nonché la pratica impossibilità di distinguere sul terreno gli uni dagli altri, è opportuno parlare, come si è dianzi detto, di un unico complesso argillo-sabbioso pliocenico-calabriano, terminante in sommità con depositi grossolani, del tipo di quelli di Ascoli Satriano e Candela.

I depositi pianeggianti del Tavoliere sono infine rappresentati da una complicata combinazione di sedimenti del mare tirreniano con depositi alluvionali di facies continentale, in genere legati questi ultimi direttamente alla morfologia di bacini collettori di monte, in parte coincidenti con gli attuali, in parte deviati nel tempo.

Come si è accennato in principio, suole attribuirsi ai terreni superficiali del Tavoliere, sovrastanti alle argille sabbiose plioceniche e calabriane, il seguente profilo geologico schematico, procedendo dal basso verso l'alto:

- *argille azzurre di base;*
- *sabbie e conglomerati sabbiosi, spessi generalmente da pochi metri fino a oltre 10 m.;*
- *argille grigie e giallastre, potenti da 10 a 80 m.*
- *sabbie argillose e, subordinatamente, conglomerati superficiali, aventi spessore medio sui 10 m.;*
- *crosta evaporitica o concrezionaria di natura calcarea avente piccolo spessore.*

Tale schematizzazione è in realtà rappresentata, come ben mostrano le sezioni geologiche contenute nelle tavole III, IV, e V, attentamente ricostruite sulla base delle numerosissime stratigrafie ottenute dai pozzi perforati nella zona e di apposite osservazioni condotte sul terreno, da una complicata alternanza lenticolare di materiali psammitici, psammitici e pelitici, che si incrociano e si anastomizzano di frequente, come comunemente accade di notare ogni qualvolta ci si imbatte in depositi di origine marina e salmastra misti ad alluvioni deltizie pedemontane, che si incuneano e si saldano nei depositi marini stessi. Per di più le alluvioni del Tavoliere si presentano spessissimo ricoperte da calcari concrezionari (crosta), talora con inclusioni di ossidi vari di manganese,

se, i quali in qualche punto, come può facilmente riscontrarsi nei pressi della stazione ferroviaria di Cerignola Campagna, assumono una potenza dell'ordine di 10 m. Tale costituzione superficiale sta a dimostrare, come osserva il D'Erasmus, la fase lagunare con la quale, procedendo da SO a NE, dovette chiudersi il colmataggio ultimo di gran parte del Tavoliere sud-orientale.

Per quanto riguarda infine la tettonica delle formazioni costituenti l'ossatura fondamentale del Tavoliere va qui utilmente segnalato che il basamento calcareo cretaceo ha rivelato, all'indagine geofisica svolta in questi ultimi anni nel quadro delle ricerche di acqua profonda eseguite dall'Ente Irrigazione di Puglia e Lucania, una prevalente struttura a *horst* e *graben*, originata da un sistema di faglie appenniniche, parallele alla faglia marginale del Gargano, detta pure « faglia del Candelaro ». Con ciò le argille e le sabbie argillose della serie pliocenico-calabriana si rinvergono nel Tavoliere fino ad una profondità variabile da 300 a 1000 m. sotto il piano campagna, onde le grandi difficoltà che si incontrano nel rinvenimento di acque dolci nei calcari cretacei giacenti a tali profondità.

Nulla di particolare rilievo sembra invece doversi segnalare nella struttura tettonica delle formazioni argillo-sabbiose immediatamente sottostanti ai terreni alluvionali della pianura: ciò naturalmente per quanto è possibile dedurre dall'andamento del tetto di esse, che ben si conosce attraverso le numerosissime stratigrafie dei pozzi perforati nella regione fino a raggiungere, come sogliono dire i tecnici locali, le « argille azzurre » impermeabili di base alle falde acquifere della zona.

In genere il tetto delle formazioni argillose e argillo-sabbiose del complesso pliocenico-calabriano si abbassa sotto il piano campagna sempre più, via via che si procede verso la costa, laddove si rinviene talora a 110 m. sotto il livello del mare (zona di Manfredonia). Le formazioni alluvionali quaternarie, sovrastanti ad esso, seguono grosso modo l'andamento delle argille di base e, a loro volta, procedendo verso la costa, vanno ricoprendosi di un banco sempre più potente di argille grigio-giallastre (probabilmente di facies lagunare), le quali costringono, come meglio si dirà in seguito, a circolare in pressione le acque sotterranee contenute nel-



le dianzi dette alluvioni conglomeratiche e sabbiose.

In poche parole può dirsi che ai margini sud-occidentali la Capitanata è delimitata da formazioni impermeabili, le quali, affondandosi in direzione della costa, costituiscono l'imbasamento fondamentale delle acque sotterranee superficiali. Nella parte alta e media della regione, la successione stratigrafica normale dei ricoprimenti quaternari, a cominciare dal piano di campagna, è rappresentata, nelle zone a quota più elevata, da conglomerati sabbio-ghiaiosi con diverso grado di cementazione da punto a punto (fig. 1 e 2), da sabbie gialle talora arenacee, sempre più argillose con la profondità e, infine, da argille gialle e argille azzurre. Nelle zone vallive le argille azzurre, specie laddove si rinvencono notevolmente incise dagli agenti erosivi, risultano ricoperte da stretti e sottili lembi di sedimenti alluvionali re-

centi, costituiti da strati alterni di varia granulometria (ghiaie, argille e sabbie).

Al margine della zona mediana, rivolto verso la costa, aumenta sempre più la potenza del mantello di argilla gialla superficiale, mentre le formazioni clastiche di base vanno suddividendosi in diversi orizzonti, ad opera di piccole lenti o di veri e propri strati argillosi. Verso la costa, infine, e lungo i bordi occidentali del Gargano, l'argilla gialla si fa ancora più spessa e le formazioni clastiche che sottostanno ad essa, risultano prevalentemente rappresentate dagli elementi più minuti, derivanti dal disfacimento dei terrazzi quaternari di monte (sabbie arenarie e sabbie argillose). In questa zona terminale, al disopra delle argille gialle superficiali, si estende con continuità una coltre di argille rimaneggiate, generalmente sabbiose, le quali raccolgono modestissime mappe acquifere corticali.

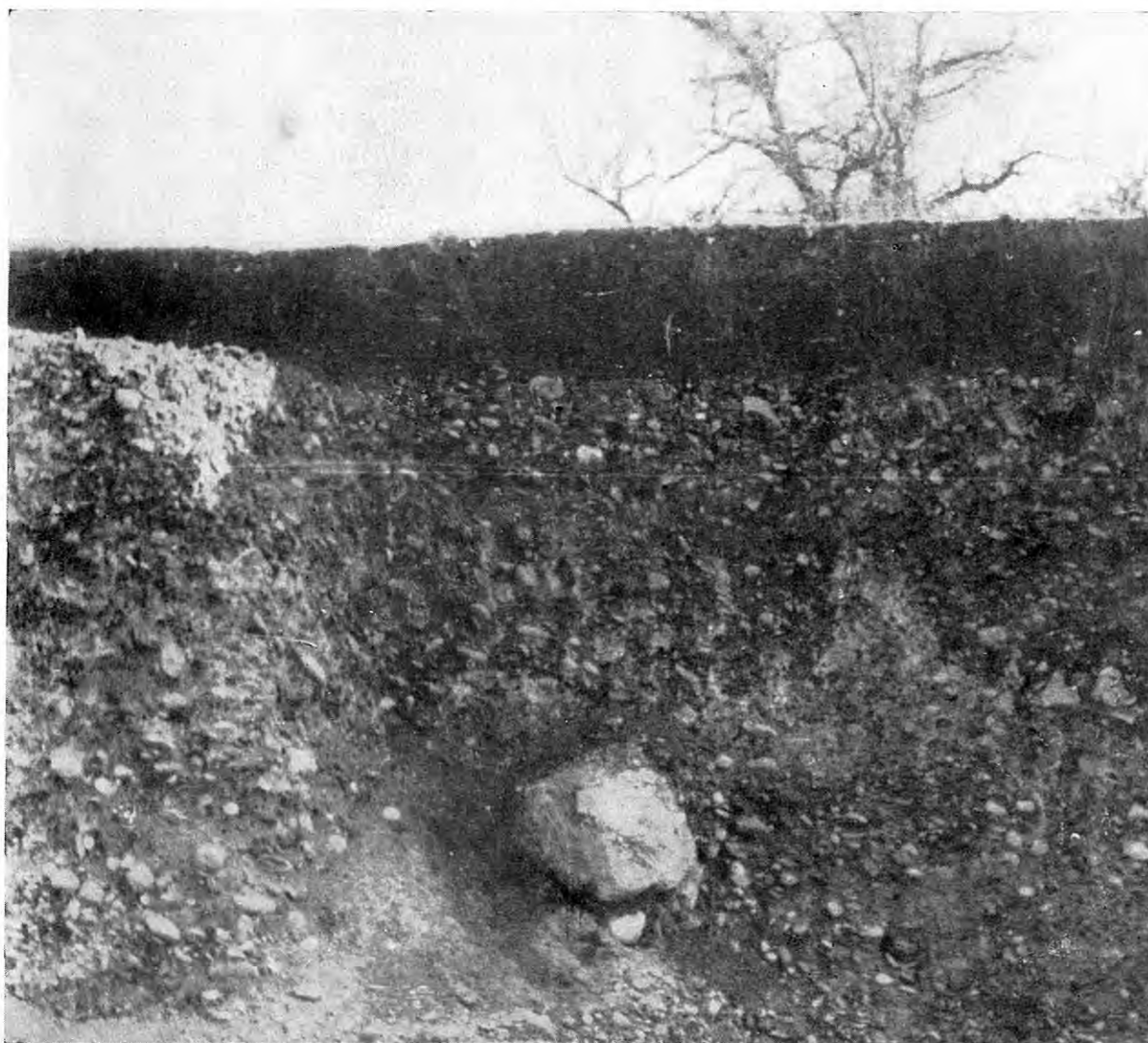


Fig. 1 - Tipo di conglomerati superficiali nella parte alta del Tavoliere



Fig. 2 - Conglomerati lungo la svolta Cerignola-Candela a monte della località Torre Alemanna

In grandi linee, e come meglio può notarsi dalle sezioni geologiche delle tavole III, IV e V, nelle zone alte lo spessore della serie stratigrafica sovrastante alle argille azzurre del Pliocene e del Calabriano si aggira mediamente sui 50 metri; così è pressappoco nella zona mediana. In basso, verso la costa, detta serie aumenta di spessore, superando talora i 100 metri presso il mare; ciò in particolare si riscontra nella valle del torrente Carapelle.

## 2. — IDROGEOLOGIA DEL TAVOLIERE

Come conseguenza diretta della struttura geologica della regione, le risorse acquifere del Tavoliere vanno ricercate principalmente nella falda acquifera sotterranea che si forma e circola nel materasso di materiale clastico grossolano, immediatamente sovrastante alle argille grigio-azzurre del Pliocene e del Calabriano. Detto materasso assume caratteristiche idrologiche diverse a seconda della giacitura, della natura e dell'assortimento dei materiali che lo formano.

Per quanto riguarda poi le modalità di deflusso di questa falda, può dirsi in linea del tutto generale che essa circola a pelo libero sia nelle zone alte, ove giace a 20 ÷ 30

m. sotto il p.c., sia nel medio Tavoliere, ove le quote diminuiscono sensibilmente in direzione della costa e il tetto della falda si avvicina sempre più alla superficie del suolo. Nel basso Tavoliere invece, come si è detto dianzi, la falda si rinviene in pressione, al disotto di formazioni argillose giallastre. Peraltro, in una fascia piuttosto larga, disposta lungo la costa ai piedi del Gargano, le acque di falda rinvenute attraverso i pozzi eseguiti risultano traboccanti al piano di campagna.

A tale punto può affermarsi quindi, con il Di Lonardo, che effettivamente « le acque artesiane del Tavoliere altro non sarebbero che le acque freatiche della media ed alta pianura, le quali iniziano il loro corso forzato verso il mare sotto la coltre argillosa ».

Valga a chiarire quanto sopra lo schizzo geologico di fig. 3, nel quale, tralasciando per ragioni di spazio ogni rapporto di scala, si è voluto raffigurare schematicamente la struttura fondamentale del materasso di terreni permeabili della Capitanata, secondo una sezione tracciata da Sud-Ovest a Nord-Est.

Più aderenti al vero, sebbene meno rappresentative, risultano invece le sezioni A-B e C-D disegnate in scala e dirette anch'esse da SO a NE, secondo le tracce indicate nel-

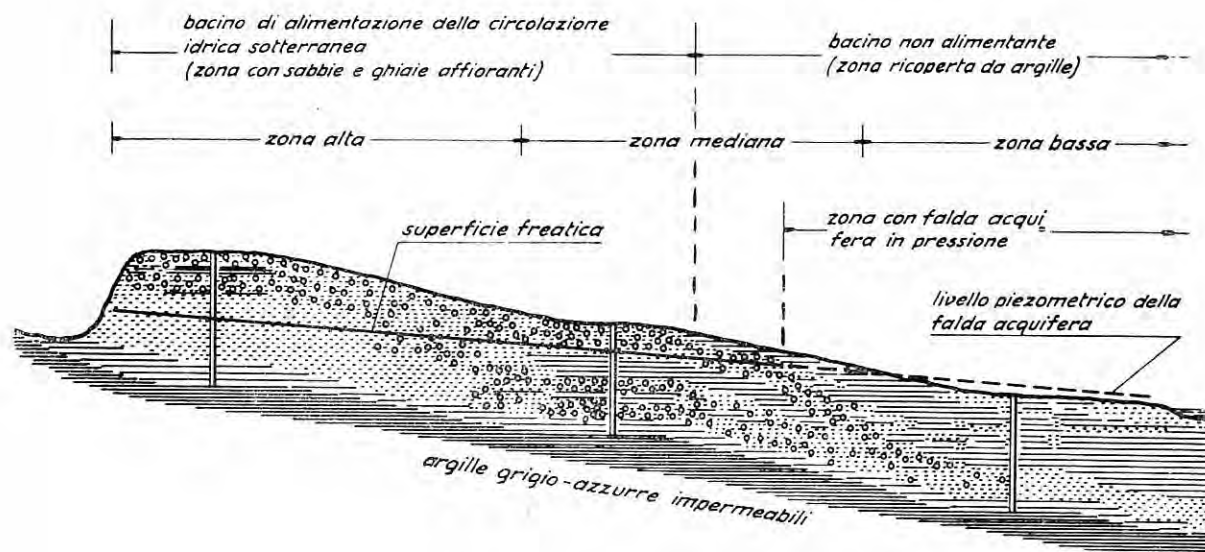


Fig. 3 - Idrogeologia del Tavoliere, secondo una sezione schematica che va dalle alture sub-appenniniche al litorale adriatico del golfo di Manfredonia

le cartine di tav. III e IV. In dette sezioni sono indicati altresì i pozzi che sono serviti per la elaborazione di esse, i vari ritrovamenti acquiferi e l'andamento approssimativo della superficie piezometrica della falda rinvenuta.

La ricchezza della falda acquifera varia sensibilmente da zona a zona, a seconda della combinazione di fattori diversi, d'ordine morfologico e stratigrafico: le acque si accumulano infatti maggiormente laddove il sottofondo argilloso impermeabile forma dei veri e propri impluvi, ed i tributari acquiferi risultano maggiori quanto più potente è lo spessore del materasso permeato e quanto più diffuso in esso si rinviene l'elemento ghiaia. Si riscontrano infatti non poche località, specie a valle della ferrovia Barletta-Foggia, nella zona compresa fra i torrenti Cervaro e Carapelle, laddove, a partire dal piano di campagna e fino a raggiungere talune sabbie argillose, ricoprenti le argille azzurre di base probabilmente calabriane, si incontrano conglomerati acquiferi senza alcuna intercalazione di materiale argilloso, il che dà luogo a notevoli portate specifiche nei pozzi della zona. Circa l'ordine di grandezza delle portate emungibili dai singoli pozzi della regione, si sa di portate dell'ordine di 40 ÷ 50 litri al secondo in alcuni pozzi delle aziende Feudo della Paglia e Tre Titoli, ubicate rispettivamente nella parte bassa e nella parte alta del Tavoliere, in condizioni stratigrafiche diverse (vedi sezio-

ni geologiche); come pure si è rilevato l'esiguo tributo di acqua di alcuni pozzi perforati nelle stesse aziende, a poche centinaia di metri da quelli che hanno portate rilevanti. Ciò dipende fondamentalmente dalla circostanza che le formazioni acquifere, come si è detto nella parte geologica, specie nelle zone basse risultano stratigraficamente piuttosto discontinue, perchè vario fu il gioco delle correnti che ebbero a depositarle. Va a tale proposito altresì segnalato che le stesse formazioni sabbio-ghiaiose si presentano talora localmente fortemente cementate, cosicchè esse sono da ritenersi, in tal caso, prevalentemente impermeabili.

La risalienza dell'acqua nelle zone ove la falda è in pressione aumenta naturalmente via via che si procede verso la spiaggia, mentre gli orizzonti acquiferi diventano sempre più profondi. Verso la spiaggia del golfo di Manfredonia e nella fascia pedergarganica adiacente al torrente Candelaro, in conseguenza della rilevante profondità degli strati acquiferi sotto il livello del mare e in osservanza alla nota legge di Ghyben ed Herzberg, le formazioni acquifere risultano però spesso invase dalle acque marine, le quali, attraverso gli stessi materiali permeabili che si immergono nel mare, penetrano entroterra fino a distanze notevoli dalla linea di spiaggia. La salinità dovuta all'intrusione marina non deve confondersi però con quella salinità che caratterizza alcune falde superficiali del Tavoliere centrale, nelle quali il contenu-

to salino deriva esclusivamente dalla natura di talune argille sabbiose salmastre, di facies lagunare, nelle quali hanno sede dette falde

Nella stessa fascia costiera adriatica del golfo di Manfredonia si verifica talora il caso che, al disotto di terreni includenti acque salmastre o addirittura marine, si rinvenano strati acquiferi di caratteristiche dolci (zona di Vangelese). Si tratta, in genere, di strati acquiferi interessati da una falda fluente fino alla costa con pressione tale da scaricarsi in mare senza subirne influenza alcuna.

A dimostrazione di quanto si è detto sopra valga l'esempio di un pozzo in località Beccarini, a circa 5 km di distanza dalla spiaggia, nel bacino del torrente Cervaro. In questo pozzo la prima falda, rinvenuta fra m. 29 e 31,70 sotto il piano di campagna, è risultata avere una salinità di 12-13 gr/l, con concentrazione cloroionica di 6,24 gr/l, mentre una seconda falda, rinvenuta fra m. 35,90 e 60,20, è risultata avere una salinità di soli 1,06 gr/l con 0,28 gr/l di Cl.

Circa l'intrusione di acqua marina lungo la faglia del Candelaro, ai piedi del Gargano, si cita infine il caso di un pozzo in località Marana, in prossimità del Casone del Re, ad una distanza di ben 25 km. dal mare in direzione della detta faglia, pozzo nel quale la falda rinvenuta è risultata avere un contenuto salino (residuo secco a 110°) di 19,68 gr/l, con una concentrazione cloroionica di 8,33 gr/l.

### 3. — NATURA E PERMEABILITA' DEI TERRENI SUPERFICIALI DELLA CAPITANATA.

Allo scopo di indagare sulle possibili vie di alimentazione dall'esterno della falda acquifera sostenuta dalle cosiddette argille azzurre di base della Capitanata, una particolareggiata ricerca è stata svolta sulla natura e giacitura dei terreni superficiali della regione, onde definirne il grado di permeabilità ed il loro più o meno valido concorso al ravvenamento stagionale della falda acquifera. Tale studio è stato possibile compiere non solo in base a talune osservazioni condotte sopralluogo, le quali danno in genere scarsi risultati per l'esteso mantello di terreno agrario che ricopre ovunque il Tavoliere, bensì sulla base delle stratigrafie ottenute dallo scavo dei numerosi pozzi eseguiti

da privati e dall'Ente Irrigazione di Puglia e Lucania.

In genere le zone alimentanti la falda acquifera della regione sono rappresentate da quelle aree non ricoperte da materiali argillosi, con caratteristiche stratigrafiche tali da poter assorbire buona parte delle precipitazioni pluviometriche e destinarle in profondità ad alimentare la circolazione acquifera sotterranea. Tale funzione viene egregiamente esplicata, ad esempio, dai materassi sabbio-ghiaiosi della parte media ed alta della regione, ove detti materiali affiorano alla superficie del suolo. La capacità assorbente di esse dipende naturalmente dalla costituzione petrografica e dall'assortimento granulometrico dei conglomerati, i quali si comportano talora come rocce impermeabili, specie se nel cemento legante gli elementi grossolani vi è presenza di molta argilla.

E' da considerare infine la circostanza che nelle zone permeabili, ma molto acclivi, anziché l'assorbimento, prevale il ruscellamento delle acque nei fiumi e torrenti, che, con direzione prevalente OSO-ENE incidono la regione (Triolo, Salsola, Celone, Cervaro, Carapelle, Ofanto).

Molto discusso e controverso è stato fino ad oggi il problema del ravvenamento delle falde acquifere del Tavoliere da parte dei corsi d'acqua della zona, argomento questo recentemente trattato dall'ing. G. Colacicco, già Direttore del Consorzio di bonifica della Capitanata, il quale ritiene determinante tale alimentazione agli effetti dell'impinguamento delle falde in questione.

Effettivamente, sorvolando sui caratteri precipui della idrologia superficiale della regione, argomento questo che esorbita dal presente studio, esistono, dal punto di vista geologico, fondate ragioni per ritenere non trascurabile il tributo che alle falde del Tavoliere vien dato dagli apporti dei corsi d'acqua della zona. Come mostra infatti la cartina della tav. I, nella quale si è rappresentata la natura e il relativo grado di permeabilità dei terreni affioranti nella regione, il fiume Ofanto, tra San Ferdinando e Ofantino, il fiume Carapelle, tra Ascoli Satriano ed il Ponte della ferrovia Foggia-Trinitapoli, il T. Cervaro, tra la stazione di Bovino, e il Ponte di Verginale, il T. Celone ed il T. Vulgano, in qualche particolare tratto intermedio, attraversano terreni francamente per-

meabili, onde vengono a trovarsi in condizioni tali da tributare alla falda acquifera sotterranea buona parte delle portate di piena.

D'altra parte, tenuto conto della estensione relativamente rilevante dei terreni aventi capacità assorbenti nel Tavoliere sud - occidentale e considerate altresì l'abbondanza e la continuità con cui si esplica il fenomeno di falda nella regione, il tributo derivante alla falda dai corsi d'acqua deve necessariamente prendersi in considerazione. In particolare vale la pena qui ricordare che il

noto e abbondante rinvenimento acquifero della stazione ferroviaria di Ofantino, alla profondità di  $7 \div 8$  m sotto il piano campagna, ha sede effettivamente nelle alluvioni permeabili accumulate alla foce dell'Ofanto ed oggi in parte ricoperte dai depositi sabbiosi e sabbioso-argillosi sopraggiunti posteriormente. Non v'è dubbio, in questo caso, che le acque subalvee del fiume Ofanto, il quale, come osserva l'ing. Colacicco, d'estate si ritrova nel corso inferiore completamente asciutto, penetrino nel sottosuolo molti km. a monte della foce, laddove le sabbie e i conglomerati affiorano lungo il suo



Fig. 4 - Banchi di conglomerati costituenti le sponde del torrente Cervaro a valle del ponte della strada statale Cerignola-Foggia

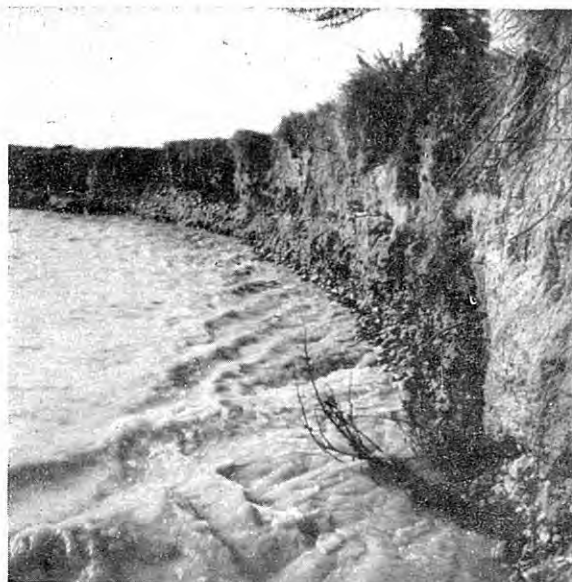


Fig. 5 - Banchi di conglomerati costituenti le sponde del torrente Carapelle a valle del ponte della strada statale Cerignola-Foggia

corso (all'altezza della località S. Samuele di Cafiero).

Le fotografie di figg. 4 e 5 sono chiaramente indicative ai fini di quanto si è detto circa il ravvenamento della falda acquifera da parte delle acque di piena dei torrenti Cervaro e Carapelle, poco a valle dei ponti della strada statale Cerignola-Foggia.

Per meglio interpretare gli elementi contenuti nella cartina dei terreni di Tav. I, valgano infine le considerazioni che qui si espongono. Nella detta cartina sono stati indicati con uguale simbolo tutti i tipi di formazioni argillose impermeabili, siano esse appartenenti al complesso delle « argille azzurre » di base, che alla serie di terreni alluvionali e lagunari più recenti. Le formazioni in facies flyscioide del Terziario medio e inferiore, affioranti a monte delle formazioni plioceniche e calabriane, ai margini orientali dell'Appennino, sono da ritenersi anch'esse prevalentemente impermeabili, capaci cioè soltanto di favorire il ruscellamento nei corsi d'acqua. Viste sotto tale aspetto e rammentando quanto dianzi si è detto sul tributo che deriva alla circolazione idrica sotterranea del Tavoliere dai corsi d'acqua della zona, le formazioni marginali impermeabili del versante appenninico devono considerarsi, nel bilancio idrologico relativo alle falde acquifere della regione, largamente influenti sull'alimentazione di esse.

I conglomerati a cemento sabbioso vanno distinti nettamente da quelli caratterizzati dalla presenza di minerali argillosi, i quali rendono meno permeabile l'insieme. Ambedue queste formazioni tributano, nelle zone più elevate, direttamente al bacino acquifero sotterraneo, il che è fra l'altro facilitato dalla uniformità stratigrafica lungo la verticale, tipica di quelle zone; verso i bordi orientali del medio Tavoliere, ove la falda si suddivide in due o più « aves », i conglomerati alimentano solo gli aves superficiali. Ciò si verifica, ad esempio, tra Cerignola e Ortona.

Con simbolo diverso si sono indicati gli affioramenti arenacei, laddove spesso l'erosione ha asportato il mantello conglomeratico superficiale. Questi terreni sabbiosi sono abbastanza permeabili e solitamente tributano direttamente alla falda acquifera.

Per quanto riguarda gli affioramenti di argille sabbiose e sabbie argillose, essi possono lentamente imbibirsi di acqua e cederla

con altrettanta lentezza al sottosuolo, se poggiano naturalmente su complessi permeabili; tale è in genere il caso di quei terreni che costeggiano i corsi d'acqua, mentre nelle bassure del Tavoliere, laddove cioè le sabbie argillose sono sostenute da argille gialle impermeabili, le formazioni sabbio-argillose danno luogo a qualche limitata mappa acquifera locale, quasi sempre salmastra.

In qualche punto è stato infine indicato nella descritta cartina, al disopra delle argille giallastre o delle sabbie, il calcare concrezionario, abbastanza permeabile, di cui si è detto nelle pagine precedenti. Detto calcare però dà luogo solo a modeste falde acquifere corticali (zona di Tressanti - Cerignola).

In sostanza dalla cartina di Tav. I è facile rilevare come dai conglomerati e dalle sabbie del versante occidentale del Tavoliere si passa via via, verso oriente, alle argille, le quali vanno ricoprendosi a loro volta di argille sabbiose e sabbie argillose in tutto il basso Tavoliere. La zona permeabile in superficie ha inizio al piede delle ultime propaggini orientali dell'Appennino e termina con i conglomerati e le sabbie di S. Ferdinando e di Poggio Imperiale. I terreni calcarei del Cretacico, costituenti il Gargano occidentale e terminanti verso il Tavoliere con la faglia del Candelaro, per la loro particolare disposizione tettonica, anche se molto permeabili, non influiscono sulla idrografia sotterranea delle formazioni superficiali della zona piana della Capitanata. Le precipitazioni da essi assorbite interessano unicamente il fenomeno della cosiddetta « falda profonda » cui si è accennato nelle notizie di carattere generale, non essendo argomento di questo studio.

Nella tabella I che segue si riportano le estensioni dei vari tipi di terreni che si rinvengono immediatamente sotto lo strato di terreno vegetale di superficie nella zona pressappoco pianeggiante della Capitanata, vale a dire cioè nel Tavoliere propriamente detto, esattamente secondo quanto è indicato nella cartina di Tav. I. La planimetrazione, da cui deriva la detta tabella, è stata svolta su 4.300 kmq dall'arco occidentale subappenninico, in corrispondenza del quale le strette vallate incise dai corsi d'acqua della regione si aprono nella piana, fino a Candelaro e al mare, escludendo quindi del tutto il promontorio Garganico.

Tabella I. - ESTENSIONE DEI VARI TIPI DI TERRENO IN RELAZIONE ALLA LORO NATURA E PERMEABILITÀ

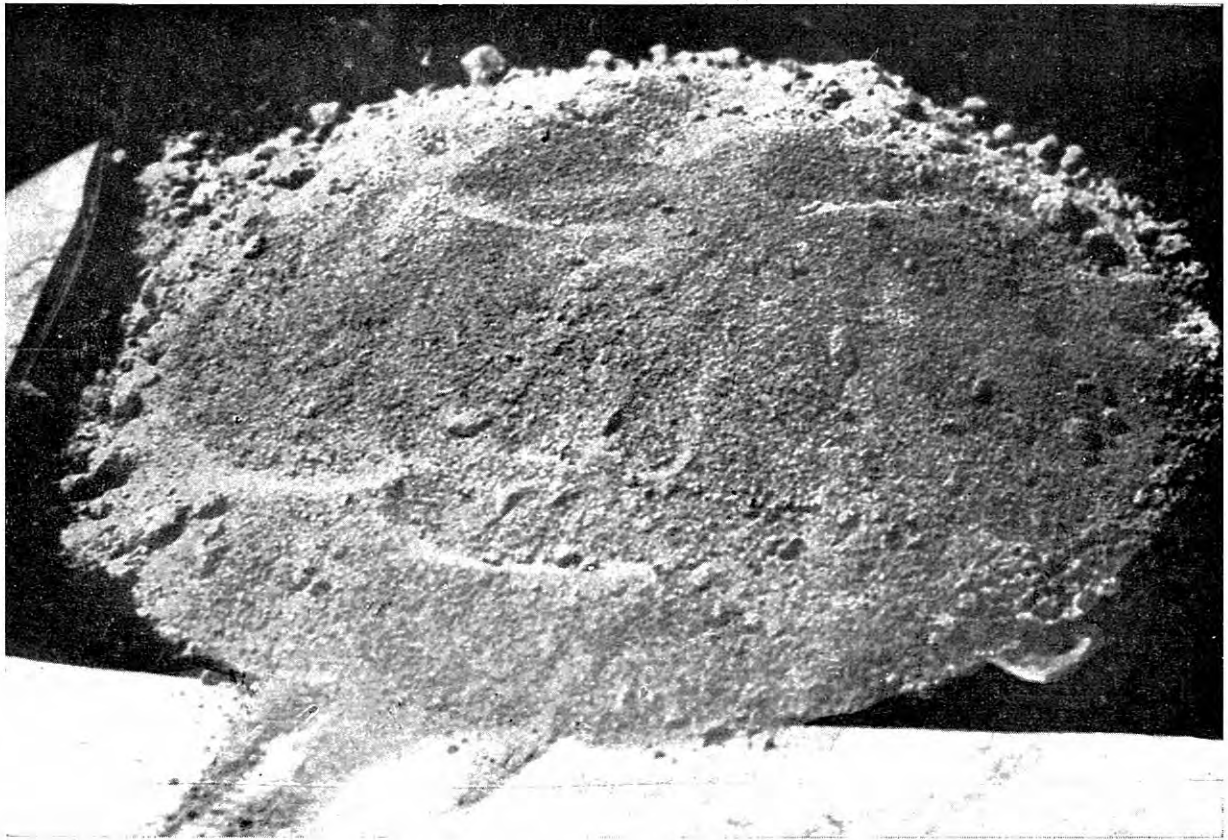
NATURA DEI TERRENI	Estensione in Km <sup>2</sup>	Caratteristiche di permeabilità
Argille grigio-giallastre del Quaternario, argille azzurre del Pliocene e del Calabriano	1.000	Prevalentemente impermeabili
Argille sabbiose e sabbie argillose	1.580	Poco permeabili (per una buona parte poggianti su terreni impermeabili e, pertanto, in condizioni da non tributare acqua alle falde sotterranee)
Sabbie e arenarie	750	Abbastanza permeabili
Conglomerati a cemento sabbioso-argilloso	450	Nell'insieme mediamente permeabili
Conglomerati a cemento sabbioso	470	Molto permeabili
Calcari teneri concrezionari	50	Abbastanza permeabili (non danno tributo, se non localmente, a falde sotterranee, perchè di solito poggiano su sabbie argillose o su argille sabbiose)

4. — CONSISTENZA, NATURA E GIACITURA DEL MATERASSO ACQUIFERO SOVRASTANTE ALLE ARGILLE SABBIOSE GRIGIO-AZZURRE DEL PLIOCENE E DEL CALABRIANO.

Poichè, come già si è detto, l'abbondanza della falda acquifera del Tavoliere è subordinata in genere alla natura e alla consistenza del materasso permeabile nel quale detta falda è contenuta, ai fini di fornire gli elementi per una valutazione di massima delle disponibilità idriche sotterranee della Capitanata, è stata redatta la cartina di tavola II, nella quale, avvalendosi dei risultati ottenuti dalle surrichiamate perforazioni ivi eseguite

dai privati e dall'Ente di Puglia e Lucania, si è illustrata punto per punto, in linea schematica e indicativa, la situazione relativa alla natura ed allo spessore del materasso acquifero. Pertanto, nel calcolare detto spessore, si sono considerati solo gli strati acquiferi veri e propri; laddove la falda ha sede in più strati distinti, giacenti a profondità diverse l'uno dall'altro, lo spessore riportato in cartina si riferisce alla somma degli spessori degli strati effettivamente acquiferi.

Dal punto di vista petrografico si è fatta distinzione fra materasso acquifero di natura prevalentemente sabbiosa o arenacea (fig. 6) e quello di natura ghiaiosa o conglomeratica variamente cementato (fig. 7).



*Fig. 6* - Esempio di sabbie che comunemente si rinvencono fra i terreni alluvionali del Tavoliere



*Fig. 7* - Esempio di ghiaie che comunemente si rinvencono fra i terreni alluvionali del Tavoliere



Come può facilmente rilevarsi dalla cartina di tav. II, nel versante sud-orientale della Capitanata le acque di falda sono contenute in sabbie o arenarie. Esse infatti permeano gli strati inferiori della serie stratigrafica locale che, come si è descritto precedentemente, risultano grosso modo rappresentati da conglomerati a cemento sabbioso, ricoprenti sabbie gialle e arenarie. Ciò si riscontra pure nella parte nord-occidentale della regione, verso S. Severo e Apricena.

Nella parte mediana del Tavoliere risulta evidente in cartina la prevalenza delle formazioni ghiaio-sabbiose. Esse talora derivano dall'erosione di terrazzi di monte, posti a quota più elevata, talora invece rappresentano la continuazione delle stesse formazioni conglomeratiche di monte (in parte costituenti il termine regressivo della serie stratigrafica del Calabriano) che, affondandosi verso la costa, vengono a trovarsi a quote inferiori a quelle del livello acquifero della zona. E' caratterizzato infatti da conglomerati il materasso acquifero della regione

compresa tra il torrente Triolo, Foggia e Cernignola.

Nella parte bassa del Tavoliere e nelle zone adiacenti ai bordi del Gargano torna infine a prevalere nel materasso acquifero la sabbia, solo qua e là interrotta da conglomerati. Laddove nella cartina è indicata assenza d'acqua sotterranea, ciò deriva generalmente o dall'assenza assoluta del materasso acquifero, ovvero dalla scarsissima permeabilità di quest'ultimo.

Nella cartina di tav. II è tracciato altresì, con una linea a tratti neri, il limite fra la zona con falda a pelo libero (a monte) e la zona con falde in pressione defluenti verso la costa. Sulla base degli elementi contenuti in detta cartina, la tabella II riassume i dati di una valutazione orientativa e di larga massima della consistenza del materasso acquifero del Tavoliere, valutazione eseguita su 4.300 kmq, vale a dire cioè entro i limiti della zona compresa tra l'arco subappenninico marginale del Tavoliere, il torrente Candelaro e il mare, secondo quanto è rappresentato nella relativa cartina.

Tabella II. - VALUTAZIONE ORIENTATIVA DELLA CONSISTENZA DEL MATERASSO ACQUIFERO

Costituzione formazioni acquifere		Spessore del materasso acquifero				Totali
		da 2 a 6 m	da 6 a 10 m	da 10 a 20 m	da 20 a 30 m	
Sabbie e arenarie	Estensione del materasso acquifero in Km <sup>2</sup>	345	576	369	162	1.452
	Volume del materasso acquifero, in mc	1.380 x 10 <sup>6</sup>	4.608 x 10 <sup>6</sup>	5.542 x 10 <sup>6</sup>	4.050 x 10 <sup>6</sup>	16.264 x 10 <sup>6</sup>
Conglomerati variamente cementati da materiale sabbioso	Estensione del materasso acquifero, in Km <sup>2</sup>	516	272	491	171	1.450
	Volume del materasso acquifero, in mc	2.064 x 10 <sup>6</sup>	2.176 x 10 <sup>6</sup>	7.365 x 10 <sup>6</sup>	4.275 x 10 <sup>6</sup>	16.475 x 10 <sup>6</sup>

## 5. — CONCLUSIONI.

Le considerazioni sopra esposte mettono in luce la grande estensione del materasso acquifero che ricopre pressappoco quasi ininterrottamente l'intero Tavoliere. Esso si estende infatti su una superficie di ben 2.900 kmq. con uno spessore medio dell'ordine di 10 m. circa. Composto per metà da sabbie e arenarie scarsamente cementate e per l'altra metà da conglomerati a cemento sabbioso, detto materasso acquifero risulta avere un volume complessivo di oltre 32 miliardi di mc, con conseguente capacità di riserva idrica indubbiamente notevole.

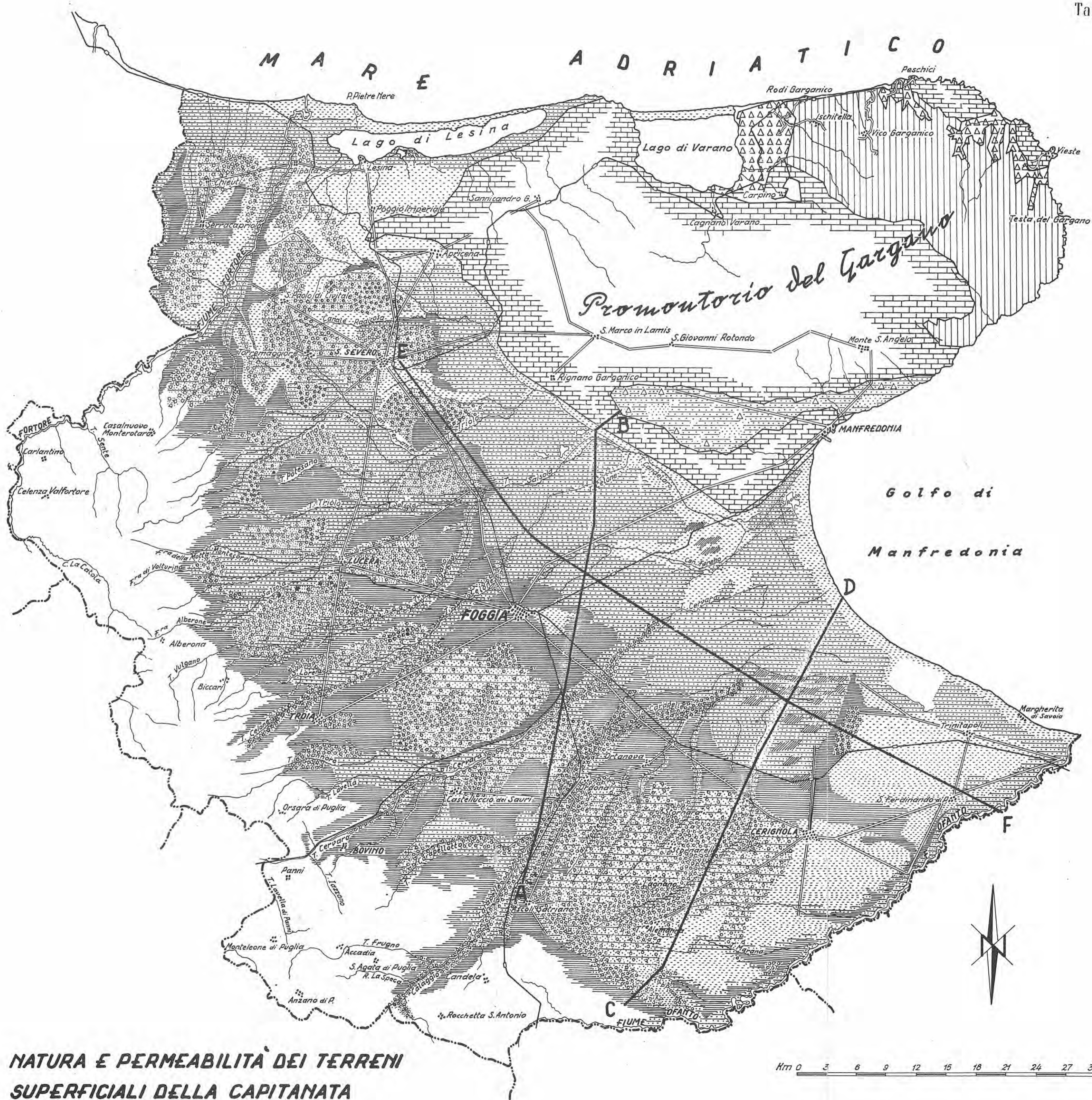
Le osservazioni geologiche condotte in merito al problema dell'alimentazione delle falde acquifere contenute nel materasso descritto indicano altresì che un certo tributo idrico a dette falde deriva dall'assorbimento di parte delle piene dei corsi di acqua della regione, i quali, provenendo dallo spartiacque appenninico fra il Tirreno e l'Adriatico, costituito in prevalenza da formazioni impermeabili del Terziario, spandono nella pianura di Foggia, dopo averle prima raccolte, le acque di piena di bacini imbriferi molto estesi. La disposizione pressappoco pianeggiante degli strati acquiferi rappresenta inoltre un fattore determinante

nella regolazione delle portate che, attraverso i materiali costituenti il materasso acquifero della regione, defluiscono verso il mare.

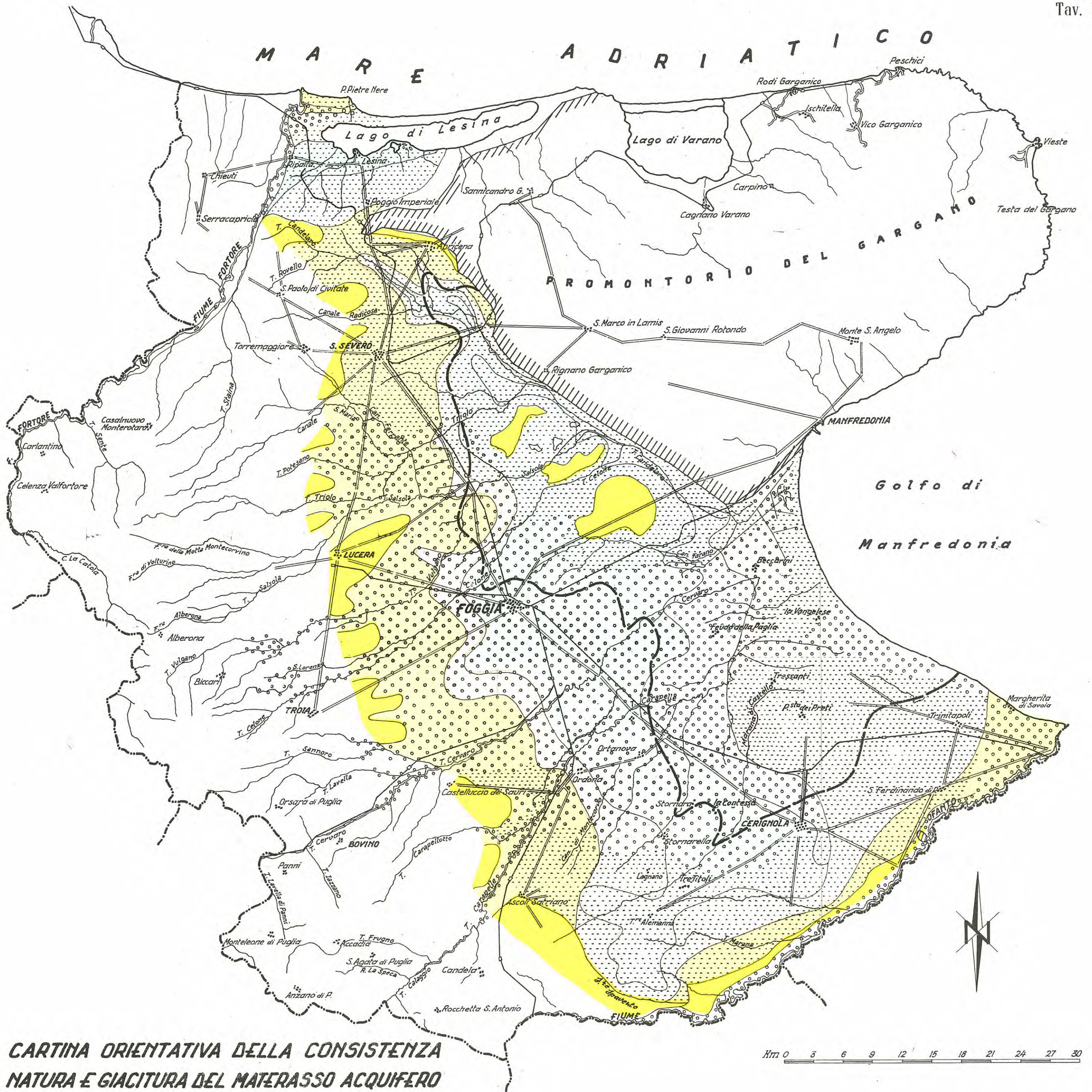
D'altra parte, sulla base dei rilevamenti svolti in merito alle effettive estensioni degli affioramenti di terreni permeabili costituenti il materasso acquifero, disposti ad arco nelle parti a monte del Tavoliere, è facile rendersi conto che dette estensioni non sono sufficienti a fornire, con l'assorbimento diretto delle precipitazioni, quell'afflusso idrico annuale alla falda, sul quale hanno riferito, benchè in via del tutto sommaria, coloro che fino ad oggi hanno potuto controllare in qualche modo le variazioni delle altezze piezometriche della falda stessa, nelle varie stagioni e in particolare dopo periodi di prolungate piogge.

E' naturale che, con le considerazioni di ordine geologico sopra esposte, si sia voluto solo chiarire e rendere attendibili taluni aspetti fondamentali del problema, il cui discernimento è alla base di ogni soluzione idraulica sulle possibilità di attingimento alle notevoli riserve di acqua sotterranea del Tavoliere.

Resta su queste basi ai tecnici idraulici di procedere alle calcolazioni ed alle prove necessarie a chiarire, in tutti gli aspetti anche di dettaglio, il non semplice problema.



**NATURA E PERMEABILITÀ DEI TERRENI SUPERFICIALI DELLA CAPITANATA**



**CARTINA ORIENTATIVA DELLA CONSISTENZA  
NATURA E GIACITURA DEL MATERASSO ACQUIFERO**

	Materasso costituito prevalentemente da sabbie spesso arenacee		Zona caratterizzata da materasso acquifero con spessore compreso fra 2 e 6 mt
	Materasso costituito prevalentemente da ghiaie variamente cementate		" " " " " " " " " " " " 6 e 10 mt
	" " " " " " " " " " " " 10 e 20 mt		" " " " " " " " " " " " 20 e 30 mt

Km 0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30

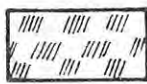
Zona generalmente priva di acqua sotterranea, talora per mancanza di materasso acquifero, talora invece per scarsa permeabilità di quest'ultimo

Perimetro della zona con acque in pressione

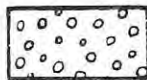
Margine degli affioramenti calcarei del Cretacico

## LEGGENDA RELATIVA ALLE SEZIONI GEOLOGICHE DELLE TAVOLE III IV V

Terreni costituenti il materasso acquifero  
 sovrastante alle argille grigio-arrurre del  
 ciclo di sedimentazione pliocenico - calabriano



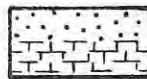
Calcarei teneri concrezionati ricoprenti con discontinuità talune formazioni sabbioso-argillose (abbastanza permeabili).



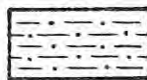
Conglomerati a cemento sabbioso (molto permeabili)



Conglomerati ad abbondante cemento sabbioso-argilloso (nell'insieme mediamente permeabili; localmente la permeabilità varia a seconda del contenuto di argilla)



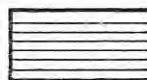
Sabbie e arenarie (abbastanza permeabili)



Argille sabbiose giallastre, sabbie argillose e detriti vari (poco permeabili)



Argille grigiastre o giallastre contenute nel materasso alluvionale (prevalentemente impermeabili)



Argille azzurre del PLIOCENE e del CALABRIANO (prevalentemente impermeabili)



Arenarie calcaree a struttura tufacea del PLIOCENE (scarsamente permeabili)

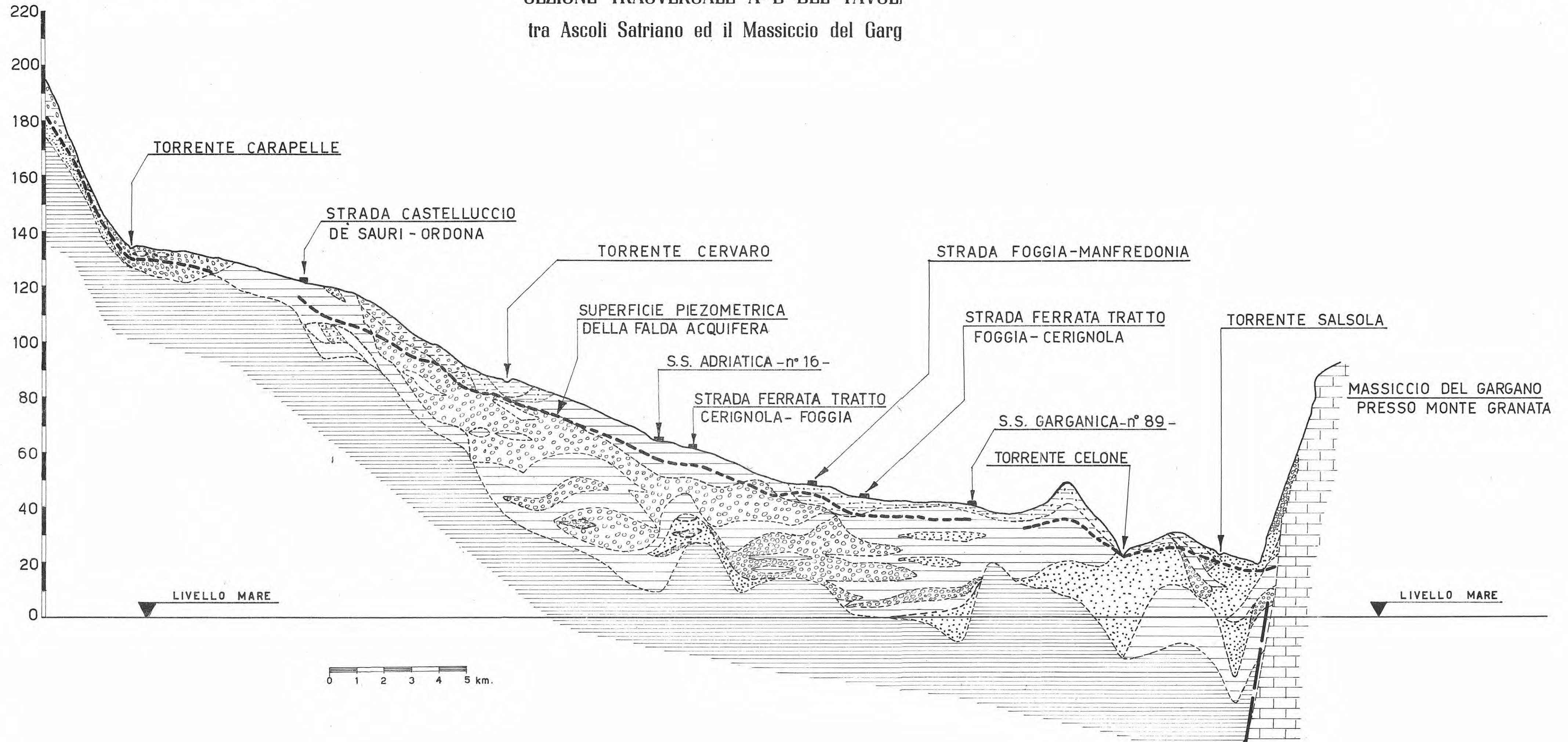


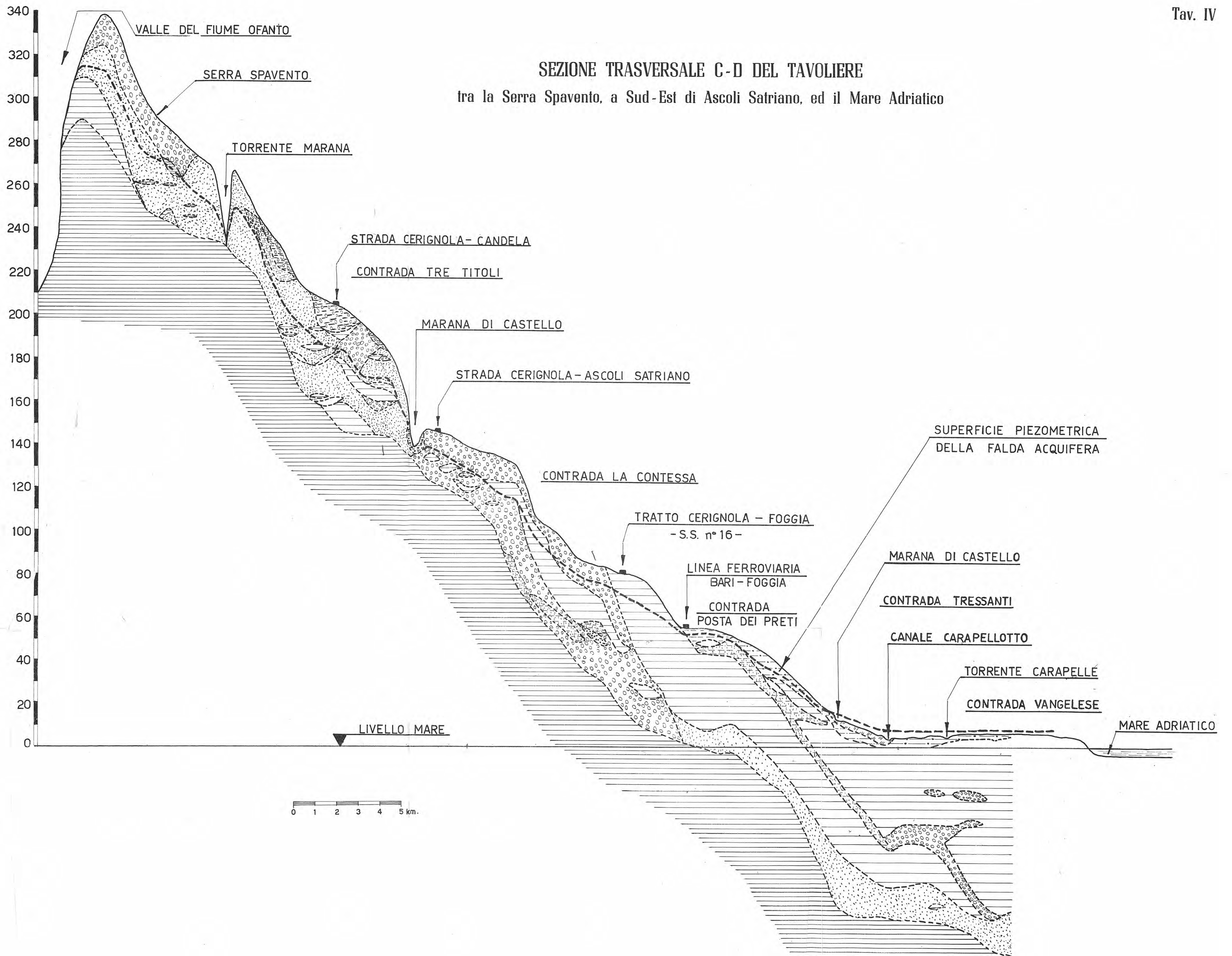
CRETACICO SUPERIORE e EOCENE : Calcarei bianchi, dolomie cristalline e calcari granulari (largamente permeabili per fessurazioni)



Superficie piezometrica della falda acquifera

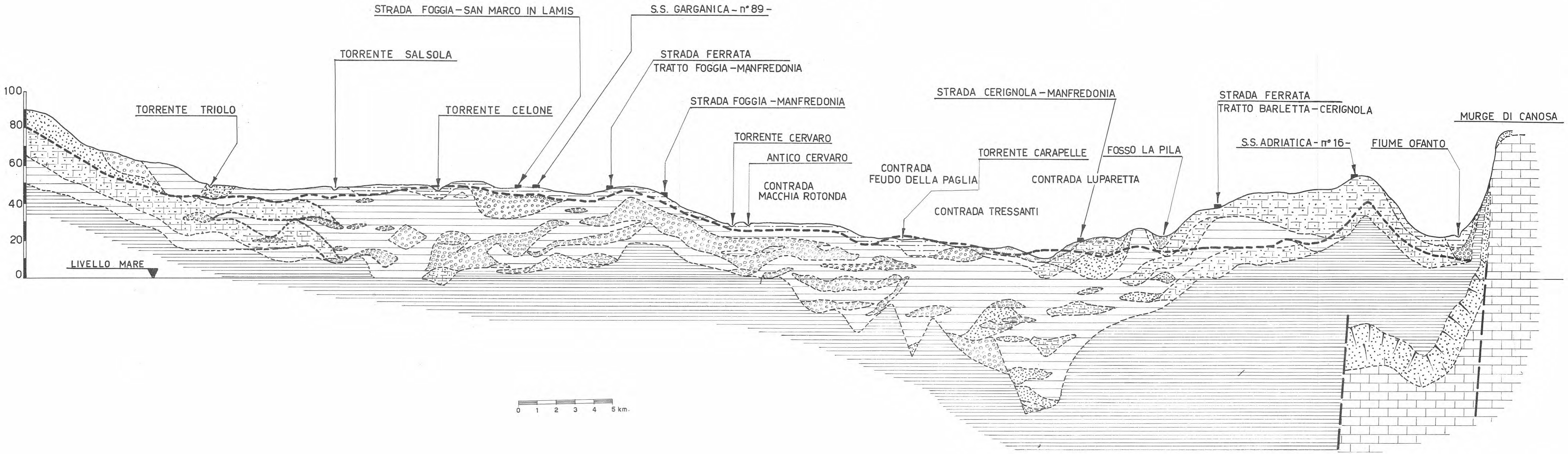
### SEZIONE TRASVERSALE A-B DEL TAVOLI tra Ascoli Satriano ed il Massiccio del Garg





# SEZIONE LONGITUDINALE E-F DEL TAVOLIERE

tra le Murge di Canosa e San Severo





Indagine sulla presumibile portata  
delle acque freatiche ed artesiane del Tavoliere

*Relazione del Prof. GIULIO DE MARCHI*

## PREMESSA

La presente indagine non vuol essere uno studio delle acque sotterranee, freatiche e artesiane, del Tavoliere, nè intende presentare un quadro generale della loro situazione e distribuzione. Essa è stata redatta con l'intendimento, più modesto e circoscritto, di arrivare ad una valutazione non priva di attendibilità della loro consistenza, e in ispecie di stabilire l'ordine di grandezza del volume liquido che, nel presente stato delle conoscenze, appare plausibile prevedere di poter estrarre ogni anno dal materasso alluvionale, poggiante sulla potente coltre di argille grigio azzurre, nel quale hanno sede le formazioni permeabili del Tavoliere.

Nella redazione ho tenuto particolarmente presenti — oltre alla esauriente relazione stesa dai professori F. Ippolito e V. Cotecchia per incarico della Cassa per il Mezzogiorno, relazione che mi ha fornito le basi geologiche di partenza e che sarà ripetutamente citata — tutti gli studi e le indagini recenti e soprattutto i risultati delle numerose perforazioni eseguite negli ultimi anni, le quali hanno recato un sostanziale contributo alla conoscenza dello stato reale del sottosuolo. A questo riguardo ricordo in particolare oltre al primo fondamentale lavoro, dovuto al compianto ing. Di Lonardo, « *Le acque sotterranee del Tavoliere Foggiano* » (Roma 1935), le due pubblicazioni dell'ingegnere G. Colacicco: « *Carta delle acque sotterranee del Tavoliere* » (Foggia 1950) e 1° *Supplemento alla carta* (Foggia 1952) le quali contengono elenco e caratteristiche dei 770 pozzi, comuni e trivellati, che erano stati aperti fino al 1951, e il « *Contributo allo studio delle acque sotterranee di Capitanata* » pubblicato dall'ing. Tramonte due anni or sono. In questo « *Contributo* » sono considerati circa 150 pozzi trivellati in aggiunta a quelli elencati nelle precedenti pubblicazioni dall'ing. Colacicco e nelle evidenti cartine

che lo corredano, stato di fatto e situazione del Tavoliere in rapporto alle acque sotterranee trovano una rappresentazione particolarmente espressiva.

Le mie conclusioni sembreranno meno ottimistiche di quelle alle quali erano pervenuti questi due Autori: ma l'obbiettivo esame delle condizioni del sottosuolo del Tavoliere, quali risultano dai dati di fatto finora raccolti, non autorizzano a mio giudizio conclusioni diverse.

Nei vari paragrafi della relazione sono esposte le successive fasi dell'esame e le argomentazioni che ne giustificano le conclusioni. L'appendice, dovuta all'ing. Roberto Dentice, precisa modalità e risultati delle prove su due pozzi trivellati eseguite, con la sua collaborazione, dal Consorzio Generale di Bonifica della Capitanata.

### 1. — TOPOGRAFIA E IDROGRAFIA SUPERFICIALE DEL TAVOLIERE: CENNO INTRODUTTIVO.

La situazione idrografica di quella vasta zona pianeggiante che è nota sotto il nome di Tavoliere e costituisce gran parte della Capitanata, è stata ripetutamente e autorevolmente descritta: non ritengo il caso di soffermarmi su di essa, e mi limiterò a richiamarne rapidamente le caratteristiche fondamentali.

L'estensione di quella zona supera i 3000 km<sup>2</sup>, e la sua forma è quella di un grossolano quadrilatero, del quale l'Ofanto segna con suo corso il lato sud est, mentre altri due lati opposti e pressochè paralleli corrono, l'uno a nord est, lungo il litorale adriatico fino quasi a Manfredonia, e poi alla base del massiccio Garganico, lungo il corso del Candelaro, l'altro a sud ovest, seguendo le ultime propaggini dell'Appennino lucano, fino al corso inferiore del Fortore. Verso setten-

trione, a rigore, il Tavoliere arriva fino alla costa adriatica. Nella presente relazione noi riterremo però il quadrilatero chiuso dalla linea di spartiacque fra il territorio scolante verso il Golfo di Manfredonia e quello che scola invece al mare Adriatico, a nord del Gargano. La relazione, cioè, considererà soltanto la parte inferiore pianeggiante della area imbriferà a nord del bacino dell'Ofanto, le cui acque superficiali defluiscono al Golfo di Manfredonia. A quest'area, come è noto, non reca contributo alcuno, nè superficiale, nè sotterraneo, il grande massiccio calcareo del Gargano, che ne è idrologicamente separato dalla faglia del Candelaro.

La pianura presenta una pendenza generale da sud ovest verso nord est, dalle ultime basi della montagna, verso il mare nella parte sud e poi verso il Candelaro, al quale scola la metà settentrionale del Tavoliere. Questa pendenza nel suo valore medio è dell'ordine del 3%, ma arriva al 6%-7% nelle zone più elevate, mentre si riduce a valori molto bassi in prossimità della costa, ove sono ancora in atto varie zone di colmata.

Sono pure tutti diretti da sud ovest a nord est i numerosi corsi d'acqua che intersecano la pianura e raccolgono i contributi dei bacini estremamente torrentizi del versante pugliese dell'Appennino. Fanno capo direttamente al mare attraverso la zona delle colmate, il Carapelle ed il Cervaro, mentre i torrenti defluenti a nord di Foggia (Celone, Salsola e Triolo) confluiscono nel Candelaro. Gli alvei fluviali sono più o meno incassati nei loro tratti più alti e diventano superficiali in quelli inferiori, ove corrono in gran parte arginati. Qui i livelli delle massime piene si elevano in generale a quote superiori a quelle delle latistanti campagne, di modo che nei periodi di piena gli scoli di queste non sono più ricevuti dai corsi d'acqua. A sud del Celone, ultimo affluente del Candelaro, gli scoli dei terreni compresi tra i due fiumi confluiscono alle marane, che li scaricano nei bacini di colmata; nella parte a nord, invece, durante le maggiori piene diventa praticamente inevitabile la temporanea sommersione dei territori più bassi, che si prolunga fino a quando, trascorsa la piena, gli alvei fluviali ritornano in condizione di ricevere.

Nessun contributo alla idrografia superficiale e sotterranea del Tavoliere può essere

attribuito all'Ofanto e nemmeno al Fortore, in quanto ambedue hanno alvei più o meno incassati entro formazioni impermeabili, le quali escludono ogni disperdimento sotterraneo laterale: merita dire, tuttavia, che il tronco terminale dell'Ofanto, per una decina di chilometri dalla foce, dà luogo a disperdimenti subalvei rilevanti; in sinistra questi alimentano la ristretta zona dell'Ofantino, ove esiste una falda acquifera abbondante, la quale peraltro non può esercitare alcuna azione sulle acque sotterranee del Tavoliere propriamente detto.

## 2. — CARATTERI GENERALI DELL'IDROGRAFIA SOTTERRANEA: VOLUME DI ACQUA ACCUMULATO NEL SOTTOSUOLO.

Il sottosuolo del Tavoliere è costituito, come è noto, da un grande materasso alluvionale che si appoggia sopra un potente strato di argille grigio-azzurre impermeabili. L'idrologia sotterranea delle falde acquifere, superficiali e profonde, delle quali è stata riconosciuta l'esistenza in quel materasso ed è stata iniziata la messa in valore, è in stretto legame con l'idrologia superficiale. Quelle falde, infatti, non possono trarre alimento che dalle infiltrazioni di acqua meteorica, che avvengono nelle zone dove la superficie del suolo è permeabile e quindi assorbente, o da perdite di fondo lungo i tratti permeabili degli alvei dei numerosi corsi che attraversano la grande pianura. Origine meteorica hanno, comunque, tutte le acque del sottosuolo, in quanto direttamente o indirettamente provengono dalle precipitazioni sullo stesso Tavoliere o sui sovrastanti bacini montani e collinari.

Qualunque indagine, o tentativo di indagine, inteso a valutare l'entità e le possibilità di pratico impiego di quelle acque presupponeva, come indispensabile base di partenza, la conoscenza della situazione geologica del mezzo, entro il quale esse defluiscono, sia pure lentissimamente, verso il mare.

Appunto in vista di questo, ebbi a proporre che quella situazione geologica formasse oggetto di apposito esame da parte di un geologo, e suggerii che questi venisse in particolare invitato a precisare i punti seguenti:

a) estensione delle zone superficialmente permeabili, le quali possano prevedibil-

mente dar luogo ad infiltrazione nelle falde profonde, appoggiate alle argille grigio-azzurre, o in quelle superficiali, distinguendo possibilmente le prime dalle seconde;

b) valutazione, sulla base delle perforazioni finora eseguite, del volume di invaso sotterraneo e della parte di detto invaso da ritenere utile ai fini degli emungimenti dalle falde sovrastanti alle argille.

Con piacere vidi la mia proposta accolta, ed affidato l'incarico di compiere l'esame da me richiesto al prof. Felice Ippolito dell'Università di Napoli. Questi ha reso conto del lavoro compiuto ed ha esposto le proprie conclusioni con la relazione « Gli aspetti idrogeologici del Tavoliere di Foggia » che porta la data 15 maggio 1956 ed è firmata da lui e dal prof. ing. V. Cotecchia: la chiamerò per brevità « Relazione I.C. » nel seguito, nelle numerose citazioni che ne dovrò fare.

I proff. Ippolito e Cotecchia hanno corrisposto in modo veramente esauriente alle mie richieste, ed è con vivo piacere che io qui esprimo loro la mia viva gratitudine. Il quadro geologico tracciato nella loro relazione mi ha fornito una solida base, da cui prendere le mosse per il tentativo di valutazione, del quale nel presente rapporto mi propongo di esporre modalità e risultati. Grazie ad essa, quel tentativo può appoggiarsi ad una conoscenza dei caratteri globali delle formazioni acquifere del sottosuolo del Tavoliere, voglio dire della estensione e degli spessori rispettivi, sufficientemente sicura e senza confronti più definita e attendibile di quella a disposizione di quanti si occuparono dello stesso argomento prima di me.

Le constatazioni fornite dalle trivellazioni oramai numerosissime eseguite in tutto il Tavoliere per l'apertura di pozzi spinti a raggiungere le argille grigio-azzurre del pliocene, hanno consentito ai professori Ippolito e Cotecchia di individuare la consistenza geometrica delle formazioni più o meno permeabili esistenti nel vasto materasso alluvionale. Tali formazioni, pur alternandosi nel modo più irregolare ad altre decisamente impermeabili, costituiscono nel loro insieme un sistema estremamente complesso, ma sostanzialmente unico, che si estende quasi ininterrottamente al sottosuolo dell'intero

Tavoliere di Foggia sopra una superficie di 2900 km<sup>2</sup>, con uno spessore medio dell'ordine di 10 m. Esse sono composte all'incirca per metà da sabbie e arenarie scarsamente cementate e per l'altra metà da conglomerati a cemento sabbioso o argilloso-sabbioso, e la chiara cartina della Tav. II allegata alla Relazione I.C. ne fornisce un'evidente rappresentazione d'insieme. La stessa Relazione offre anche una valutazione del loro volume complessivo che, nel suo ordine di grandezza, risulta di ben 32 miliardi di metri cubi.

Conviene avvertire che nell'area predetta di 2900 km<sup>2</sup> è compresa, a sud est, la zona dell'Ofantino, la quale è alimentata dallo Ofanto, mentre non riceve alcun contributo dal territorio considerato nel presente rapporto, e a nord l'estrema propaggine del Tavoliere, fino alla costa adriatica, che è esterna al bacino del Candellaro e scola verso il Fortore o verso il lago di Lesina. Alla formazione dei valori d'insieme queste due zone marginali, come area e come volume di materasso permeabile, recano un contributo del tutto secondario che in ordine di grandezza riteniamo contenuto nei limiti da cinque a sette centesimi dei valori stessi. In vista del limitato grado di precisione che è lecito pretendere da valutazioni come le presenti, le differenze di qualche centesimo non possono avere che una importanza secondaria. Ad ogni modo, e facendo caso unicamente agli ordini di grandezza, in ciò che segue si riterà che, nell'ambito dei territori scolanti al golfo di Manfredonia, le formazioni permeabili si estendano a 2700 km<sup>2</sup>, e il loro volume ammonti a 30 miliardi di metri cubi, in cifra tonda. Per la parte superiore del Tavoliere, ove le falde acquifere hanno carattere freatico e non artesiano, a formare tale volume, ai sensi della Relazione I.C., contribuisce soltanto la parte del materasso che soggiace alla superficie libera delle falde stesse, nella sua posizione media.

Converrà altresì avvertire che, attesa la grande eterogeneità del materasso alluvionale, nella zona delle acque freatiche può accadere che sotto la prima falda, effettivamente freatica, se ne incontrino altre, da essa separate da strati impermeabili e che, a rigore, si dovrebbero dire artesiane. E' evidente però che in generale si tratta di una stessa massa liquida, suddivisa da stratificazioni argillose in generale discontinue, in diramazioni disposte l'una sopra l'altra.

Nella citata Tav. II è tracciata la linea di confine fra la zona ove si trovano soltanto acque in pressione, e quella superiore, delle acque freatiche: l'area delimitata da questa linea, dal litorale del Golfo di Manfredonia e dal corso del Candelaro, che segue da vicino la faglia Garganica, corrisponde ad una frazione non grande, fra un terzo e un quarto, di quella totale di 2700 km<sup>2</sup>, e cioè dell'ordine di 800 km<sup>2</sup>.

La profonda coltre di argille grigio-azzurre, che ricopre i sottostanti calcari cretacei e sostiene il materasso alluvionale, presenta una inclinazione generale da sud-est a nord-ovest intorno al 7%, assai più marcata cioè di quella del piano di campagna; deprimendosi così progressivamente essa raggiunge in corrispondenza della costa marina profondità prossime, e in qualche tratto superiori a 100 m sotto il livello del mare. Il carattere artesiano che le falde acquifere acquistano nel medio e nel basso Tavoliere, è dovuto ad un banco superficiale continuo di argille grigio-giallastre, praticamente impermeabili, che ricoprono le formazioni permeabili e il cui spessore, col deprimersi della coltre argillosa di base, presenta un progressivo ispessimento. Così una porzione non irrilevante delle formazioni stesse, interamente occupata da acque in pressione, soggiace al livello del mare.

Dalle planimetrie e dalle sezioni allegate alla Relazione I.C. abbiamo desunto che la area, entro la quale le falde acquifere artesiane soggiacciono al livello del mare, è di circa 600 km<sup>2</sup> mentre il volume delle formazioni permeabili entro le quali esse sono contenute — sempre al di sotto di tale livello — risulta dell'ordine di 5 miliardi di metri cubi, rappresentando quindi un sesto circa di quello complessivo per la parte del Tavoliere qui considerata.

Nella prossimità del mare, e nelle parti più profonde, tale volume è certamente occupato da acqua marina che il maggior peso specifico fa penetrare nelle formazioni permeabili, al di sotto della corrente di acqua dolce che, defluendo nelle parti più alte di esse, trova sfogo nel mare. La falda artesianà è soggetta come vedremo a variazioni modeste, di portata e di pressione: sta di fatto in ogni modo che la penetrazione dell'acqua marina si deve rendere più marcata nei pe-

riodi di magra, quando si riduce la portata della falda.

Del volume complessivo del materasso acquifero, valutato in 30 miliardi di metri cubi, solo la parte sovrastante al livello del mare dovrà essere presa in considerazione, quando si tratterà del possibile impiego dell'acqua di sottosuolo; a norma delle valutazioni precedenti, questa parte risulta quindi dell'ordine di 25 miliardi di metri cubi.

Per passare dai volumi ora stabiliti a quelli dell'acqua effettivamente accumulata nel sottosuolo del Tavoliere, sopra e sotto il livello del mare, occorre conoscere la porosità (intesa come rapporto fra il volume dei vuoti e quello complessivo, vuoti più pieni) del sistema incoerente entro il quale l'acqua trapela. Gli elementi raccolti e chiaramente esposti nella Relazione I.C., fanno ritenere che questa porosità assuma valori alquanto diversi da zona a zona, a seconda della struttura e della composizione del materasso filtrante, il quale comprende, come già accennato, conglomerati a cemento sabbioso molto permeabili, conglomerati a cemento sabbioso-argilloso di permeabilità variabile a seconda della percentuale di argilla, sabbie e arenarie, abbastanza permeabili, e, infine, argille sabbiose e sabbie argillose, poco permeabili.

Se, a titolo di primo orientamento, la porosità si assumesse pari al presumibile valore *geometrico* medio, che dovrebbe essere di circa 0,4, il volume complessivo della sola acqua contenuta nel materasso permeabile risulterebbe di dodici miliardi di metri cubi, dei quali dieci situati a quote superiori al livello del mare.

Però solo una parte di questo volume entra nel gioco delle vicende freaticometriche e potrebbe essere estratta dal sottosuolo; è noto, infatti, che quando il piano idrostatico si deprime naturalmente, o viene abbassato artificialmente, alla superficie degli elementi solidi che emergono da esso resta aderente uno straterello liquido, il quale non ne può essere totalmente staccato se non per evaporazione. Il volume così trattenuto è tanto più grande, quanto più gli elementi sono minuti e maggiore è la loro superficie complessiva, e arriva a costituire la totalità dell'acqua di imbibizione nei terreni limosi o argillosi. Di conseguenza la porosità efficace o effettiva, intesa come rapporto fra l'acqua

estraibile meccanicamente da una certa porzione di materasso filtrante e il volume di questa, è sempre inferiore alla porosità geometrica, potendo variare entro un campo molto più ampio, fino a ridursi a zero nei terreni argillosi.

Le misure compiute in una delle zone più permeabili e più ricche d'acqua hanno portato a stabilire per la porosità efficace dei valori poco superiori a 0,10. Ciò sta a dire che la effettiva riserva liquida sulla quale, allo stato delle cose, è lecito far conto, non sarebbe da ritenere molto superiore a un decimo del volume del materasso imbevuto, al di sopra del livello del mare, cioè a due miliardi e mezzo di metri cubi, o poco più: volume, rilevante sempre, che — si noti — corrisponde a uno strato di acqua dello spessore uniforme di circa un metro, esteso all'intera area di 2700 km<sup>2</sup> che scola al Golfo di Manfredonia.

L'esistenza di una riserva siffatta costituisce un elemento assai importante ai fini della pratica utilizzazione delle acque sotterranee. Esso, fra l'altro, basta certamente ad assicurare la regolazione poliennale delle medie annuali delle portate sotterranee, che sono modeste e per gran parte del Tavoliere assai variabili da un anno all'altro. Un piano di utilizzazione di tali portate può così essere riferito alla media di vari anni, anziché ai valori, assai inferiori, che si verificherebbero negli anni di massima magra.

### 3. — ALIMENTAZIONE DELLE FALDE ACQUIFERE SOTTERRANEE

La Relazione I.C. indica ed esamina le vie di alimentazione della falda acquifera, della quale ha individuato l'estensione e le dimensioni.

E' esclusa ogni possibilità di contributo sotterraneo da parte delle zone contigue dell'Appennino, data la natura decisamente impermeabile dei terreni che ricoprono le estremità propaggini del Terziario medio e inferiore, costituente l'ossatura montuosa, lungo la quale corre lo spartiacque sud-ovest della zona imbriferà del Tavoliere. E' esclusa del pari — come già si è ricordato — ogni provenienza d'acqua dal grande massiccio permeabile del Gargano per la esistenza della faglia marginale, detta del Candelaro, e dai due fiumi di confine, Ofanto a sud e Fortore

a nord: l'uno e l'altro, infatti, corrono più o meno profondamente incassati nelle argille grigio-azzurre, e nei loro tronchi inferiori sono contenuti entro formazioni permeabili che le stesse argille isolano idraulicamente dalle formazioni del Tavoliere. In prossimità della foce dell'Ofanto, dove si sono accumulate le alluvioni permeabili, si rinviene in sponda sinistra a 7 ÷ 8 metri sotto il piano di campagna la falda acquifera della quale si è parlato sopra, che è senza dubbio alimentata dalle acque subalvee di quel fiume: ma, come già si disse, per la sua stessa posizione questa falda non esercita alcuna azione di rilievo sulle acque sotterranee del Tavoliere propriamente detto.

E' evidente che queste acque non possono avere altra origine che dalle precipitazioni meteoriche dirette sull'area di pertinenza del Tavoliere, essendo costituite da quella parte di tali precipitazioni che penetra nel sottosuolo, dove la superficie del terreno è atta ad assorbirle.

Aderendo cortesemente al desiderio da me espresso, i professori Ippolito e Cotecchia hanno condotto una particolareggiata indagine sulla natura e giacitura dei terreni superficiali, al fine di distinguere quelli fra essi che presentano la attitudine a trattenere la acqua meteorica, lasciandola permeare nel sottosuolo.

L'indagine è stata estesa alla superficie di 4300 km<sup>2</sup>, che oltre alle zone pressapoco pianeggianti che scolano al golfo di Manfredonia, comprende a nord alcuni territori di pertinenza del corso inferiore del Fortore, la zona di Serracapriola in sinistra di questo fiume, nonché quella afferente al lago di Lesina in destra; come pure, lungo il confine meridionale, l'area scolante alla sponda sinistra dell'Ofanto.

La cartina dei terreni, che è riportata nella Tav. I allegata alla Relazione I.C., fornisce un evidente ed espressivo quadro della situazione, dimostrando che una fascia di terreni permeabili e assorbenti si estende al piede delle ultime propaggini orientali dello Appennino, in modo pressochè continuo dall'estremo nord, presso Poggio Imperiale, fin verso le foci dell'Ofanto, presso S. Ferdinando, protendendosi generalmente verso monte in corrispondenza degli alvei dei corsi d'acqua.

La tabella I della stessa Relazione (pagina 20) riporta anche le estensioni dei vari

tipi di terreno che si rinvenivano sotto lo strato superficiale di terreno vegetale.

Nei 4300 km<sup>2</sup>, che hanno formato oggetto di rilievo, risultano compresi 470 km<sup>2</sup> di conglomerato a cemento sabbioso giudicato *molto permeabile*, 450 km<sup>2</sup> di conglomerato a cemento sabbioso-argilloso giudicato *mediamente permeabile*, e infine 750 km<sup>2</sup> di sabbie ed arenarie giudicate *abbastanza permeabili*: in totale 1720 km<sup>2</sup>, su 4300, atti a lasciar penetrare acqua nel sottosuolo.

Sulla cartina della Tav. I, ho procurato di valutare, in approssimato ordine di grandezza, la parte di quest'area che non ricade entro i bacini dei corsi d'acqua scolanti al Golfo di Manfredonia, e sono arrivato a ritenere che possa trattarsi di 250-300 km<sup>2</sup>. Con ciò l'ordine di grandezza dell'area assorbente nell'ambito dei bacini predetti viene a risultare compresa fra 1470 e 1420 km<sup>2</sup>: in cifra tonda l'assumerò di 1450 km<sup>2</sup>.

In questo vasto territorio sono compresi terreni di permeabilità e potere assorbente alquanto diversi e, per una buona parte di esso, assai limitati. Non sarà inutile rilevare, tuttavia, che ad ogni millimetro d'acqua penetrato nel terreno corrisponde l'afflusso di 1 milione e 450 mila metri cubi alla falda acquifera: talchè per fornire a questa il volume di 31,5 milioni di m<sup>3</sup>, che corrisponde alla portata di 1 m<sup>3</sup>/sec, continua per tutto un anno, nella parte assorbente del territorio debbono penetrare poco meno di 22 mm.

Per ora mi limiterò alla indicazione di queste cifre, riservandomi di ritornare più avanti su di esse e sul loro significato.

Si legge nella Relazione I.C., sempre a proposito delle fonti di alimentazione della falda, che « dal punto di vista geologico esistono fondate ragioni di ritenere non trascurabile il tributo dato dagli apporti dei corsi d'acqua » giacché gli alvei dei principali fra questi, per tratti non brevi dei loro corsi intermedi attraversano terreni francamente permeabili, venendo a trovarsi in condizioni che — sempre secondo la Relazione — li porrebbero in grado di tributare alla falda acquifera sotterranea *buona parte* delle portate di piena.

Viene con ciò accettato e confermato un punto di vista che in precedenza era stato ripetutamente affermato dall'ing. Giuseppe Colacicco, già direttore del Consorzio di Bonifica della Capitanata.

Senza entrare ora nel vivo della questione, osserverò qui che i corsi d'acqua dei quali la Relazione I.C. fa specificamente parola sono il Carapelle, il Cervaro, il Celone e il Vulgano. I tratti potenzialmente disperdenti di questi corsi d'acqua hanno uno sviluppo complessivo di poche centinaia di km, certo assai inferiore ai 500, e larghezze mediamente modeste: quindi l'area di possibile penetrazione delle loro acque non potrebbe, nel suo insieme, che sommare a qualche chilometro quadrato, corrispondendo a pochi millesimi soltanto della totale superficie assorbente. Devesi pure considerare che in quegli alvei mancherebbero in generale i grandi depositi ghiaiosi molto permeabili, atti a diventar sede di abbondanti correnti subalvee: al contrario, secondo l'ing. Di Leonardo, si avrebbero solo « materassi detritici di limitato spessore, che in molti punti lasciano il letto scoperto ». Le perdite d'acqua sarebbero quindi soltanto quelle compatibili con la permeabilità del materiale in posto, che di regola è piuttosto bassa nel suo valore assoluto, se pure può apparire elevata rispetto a quella delle formazioni argillose, che ricoprono la maggior parte del Tavoliere. Il contributo dei corsi d'acqua alla falda acquifera sotterranea potrebbe diventare di maggior rilievo in occasione di piene le quali non fossero contenute negli alvei, determinando la sommersione di zone assorbenti alquanto estese, perchè allora una parte anche rilevante dell'acqua esondata potrebbe penetrare nel terreno e arrivare alle falde sotterranee.

Comunque, e lo vedremo meglio in seguito, con gli elementi di cui ora si dispone non pare praticamente possibile associare dei numeri, anche di semplice orientamento, al contributo che i corsi d'acqua possono recare alla alimentazione della falda acquifera profonda, e nemmeno è possibile trarne una sicura conferma della importanza di tale contributo.

\* \* \*

Parlando, come si è fatto finora, di materasso alluvionale permeabile e di falda acquifera in esso contenuta, si è implicitamente ammessa l'esistenza di una falda d'acqua unica per l'intero Tavoliere. Sembra infatti che tale essa debba ritenersi nella realtà, per quanto a causa delle irregolarità e delle discontinuità stratigrafiche conseguenti al

vario gioco delle correnti che depositarono le diverse formazioni, certamente essa si presenta suddivisa da lenti e intercalazioni di materiale poco permeabile o del tutto impermeabile, in numerose e complicate diramazioni. Ma è presumibile che queste siano fra loro comunicanti, così da costituire un unico sistema entro il quale l'acqua percola secondo le vie più diverse verso il Golfo di Manfredonia.

Questa falda unica circola a pelo libero nelle zone alte, ove essa giace a 20 ÷ 30 m sotto il piano di campagna, e nel medio Tavoliere, ove la sua profondità è minore, e si rinviene in pressione nel basso Tavoliere, al di sotto delle formazioni argillose grigiastre già ricordate. E' certo, infatti, e lo aveva notato già il Di Lonardo, che le acque artesiane del Tavoliere « non sono altro che le acque freatiche della media e dell'alta pianura, le quali continuano sotto la coltre argillosa il loro viaggio verso il mare ».

Interessa però avere presente che, specie nel Tavoliere inferiore, dove la falda è artesianica, « al di sopra delle argille gialle superficiali si estende con continuità una coltre di argille rimaneggiate generalmente sabbiose, le quali raccolgono modestissime falde acquifere isolate », le quali nella Relazione I.C. sono chiamate corticali. Le acque di queste falde corticali sono spesso salmastre e il loro regime è indipendente da quello della falda profonda; del tutto secondaria è la loro importanza in rapporto al problema delle irrigazioni, per quanto siano numerosi i pozzi che pescano in esse, tutti con portate minime.

Falde superficiali a sè stanti si incontrano del resto anche nel Tavoliere medio, tutte anche qui di minima importanza.

Le osservazioni freatimetriche iniziate quasi trenta anni or sono nel Tavoliere e pubblicate negli Annali Idrologici della Sezione Idrografica di Bari, vengono in gran parte effettuate entro pozzi aperti nelle falde freatiche superficiali, i quali sono generalmente soggetti ad attingimenti. Esse pertanto non valgono che a indicare molto imperfettamente le vicende della falda profonda, che è la sola suscettibile di utilizzazione sistematica su ampia scala.

#### 4. — REGIME IDROLOGICO DEI BACINI DEL TAVOLIERE: SUE CARATTERISTICHE FONDAMENTALI IN RAPPORTO ALLA ALIMENTAZIONE DELLE FALDE ACQUIFERE

Che il Tavoliere sia zona poco piovosa è notissimo. Nella parte superiore della Tav. 1 è riportato il diagramma dei totali annui delle precipitazioni misurate a Foggia nell'ottantennio dal 1873 al 1952 con due lacune, di sei anni complessivamente, fra il 1891 e il 1894 e fra il 1945 e il 1946. La media generale arriva appena a 500 mm, ma nella successione dei totali annui si rilevano variazioni molto notevoli da un anno all'altro, con una escursione, fra il massimo di 940 mm (anno 1915) e il minimo di 250 (anno 1876), che ammonta al 138% della media generale.

Merita altresì avvertire che nelle dette variazioni da oltre un cinquantennio si riscontrano, non dirò una periodicità, ma delle ricorrenze di una certa regolarità, nel senso che a intervalli di quattro o cinque anni se ne trova costantemente uno (o talora due consecutivi) nel quale la precipitazione ha superato la media distaccandosi nettamente dai totali degli anni che precedono e che seguono (anni 1896, 1900, 1904, 1909-10, 1915, 1921, 1925, 1929, 1934, 1940). Queste ricorrenze si ripercuotono, come vedremo fra breve, assai chiaramente sul livello freatico presso Foggia.

Come in tutte le regioni meridionali, le piogge sono concentrate soprattutto nei mesi invernali: infatti i sette mesi da ottobre ad aprile forniscono, in media, l'80% del totale annuo, e i quattro mesi da novembre a febbraio, da soli, poco meno del 60%. E' certo soprattutto in questi quattro mesi, o al massimo nei cinque, fino al marzo, che avvengono le penetrazioni d'acqua nel terreno alle quali si deve il normale rifornimento della falda. Le precipitazioni dei mesi rimanenti si disperdono di regola per evaporazione, salvo il caso non frequente che esse raggiungano totali elevati e notevoli intensità, dell'ordine di qualche decina di millimetri almeno nelle ventiquattro ore.

Alla distribuzione delle piogge nel corso dell'anno corrisponde il regime dei corsi di



acqua: nella serie degli Annali Idrologici della Sezione Idrografica di Bari vengono pubblicati, oramai da oltre un ventennio, i valori delle portate giornaliere di vari bacini del Tavoliere: Carapelle, Cervaro, Celone, Salsola. Poiché questi dati dimostrano che, come del resto era prevedibile, i regimi idrologici di tali bacini sono molto simili fra loro, mi basterà considerare i due indicati

appresso e i dati per essi pubblicati nel fascicolo degli Annali (Parte II) relativo all'anno 1953: *Cervaro*, alla stazione di Incoronata che sottende il bacino imbrifero di 657 km<sup>2</sup>, con 20 anni di osservazioni e *Salsola* alla stazione di Ponte Foggia-S. Severo con bacino di 463 km<sup>2</sup> e dodici anni di osservazioni.

Sembrano indicativi i seguenti valori medi annui per i rispettivi periodi di osservazione:

	Afflusso meteorico mm	Deflusso mm	Perdita apparente mm	Coefficiente di deflusso
Cervaro (20 anni) 1928-52 con 5 lacune	667	124	543	0,19
Salsola (12 anni) 1935-42 e 1949-52	630	67	563	0,10

Notiamo in particolare che per ambedue i bacini le perdite apparenti si aggirano intorno ai 550 mm nell'anno. A formare questi 550 mm concorre con ogni probabilità in piccola parte l'acqua che penetra nel sottosuolo e ogni anno va a rifornire la falda acquifera. Ma, oltre e forse più che i valori re-

lativi all'anno possono riuscire significativi quelli relativi ai cinque mesi da dicembre ad aprile, nei quali si concentra la gran parte del deflusso (l'87% per il Cervaro, il 77% per il Salsola) e, presumibilmente, anche la totalità, o quasi, degli apporti alla falda sotterranea; essi sono i seguenti:

	Afflusso meteorico mm	Deflusso mm	Perdita apparente mm	Coefficiente di deflusso
Cervaro . . . . .	324	106	218	0,32
Salsola . . . . .	307	51	256	0,17

La perdita apparente dei cinque mesi ne risulta compresa fra i 220 e i 250 mm.

Considerate le posizioni dei due bacini rispetto al Tavoliere, pare lecito ammettere che dello stesso ordine di grandezza e cioè di circa 230 millimetri debba essere per quei cinque mesi la perdita apparente media dell'intera area imbrifera fra il crinale appenninico e il bordo superiore (tracciato nella Tav. II della Relazione I. C.) del mantello di argilla sabbiosa, che ricopre il basso Tavoliere: bordo che segna il termine della parte freatica della falda e l'inizio della parte artesiana.

Si tratta nell'insieme, di una superficie di circa 3000 km<sup>2</sup>. Per la parte impermeabile di essa, che ne costituisce poco più della metà (1550 km<sup>2</sup>), la perdita è unicamente quella dovuta alla evaporazione; per la parte rimanente, superficialmente permeabile, e atta quindi alla penetrazione dell'acqua, alla evaporazione (che in linea di massima sembra doversi ritenere la stessa) si aggiunge la infiltrazione, onde la perdita apparente è inevitabilmente più alta. Se in questa parte la infiltrazione assorbisse, poniamo, i 22 millimetri, che occorrono, come si disse, a fornire alla falda l'apporto equivalente alla

portata media continua di  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$  per tutto l'anno, le perdite apparenti nell'anno dovrebbero essere rispettivamente di 539,4 mm (sola evaporazione) per la parte impermeabile ( $1550 \text{ km}^2$ ) e di 561,4 mm (evaporazione più infiltrazione) per quella permeabile ( $1450 \text{ km}^2$ ). Per i cinque mesi invernali, supposte in essi concentrate le infiltrazioni e assunto l'ammontare medio delle perdite apparenti in 230 mm, si avrebbero invece 219,4 mm per la parte impermeabile e 241,4 per l'altra. Che se, invece, sempre in via di ipotesi, l'infiltrazione si assumesse di 66 mm. (portata media continua di  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$ ), l'evaporazione dovrebbe ritenersi dell'ordine di 198 mm nei cinque mesi, e dell'ordine di 518 mm nell'anno, mentre le perdite complessive della parte permeabile salirebbero rispettivamente a 264 e a 584 mm: di questi ultimi l'infiltrazione costituirebbe poco più del 10%.

Questi numeri definiscono diverse eventualità, che rientrano tutte nel campo dei fatti possibili e ammissibili allo stato delle cognizioni intorno a evaporazione e infiltrazione nel terreno su ampie superfici.

Ben diversamente si presenterebbero invece le cose qualora, facendo un'ipotesi estrema, si ammettesse che la penetrazione dell'acqua meteorica raggiungesse il valore di 220 mm che sarebbe necessario per alimentare una portata media continua dell'ordine di  $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ . In tale ipotesi, infatti, le perdite medie da ascrivere alla sola evaporazione si ridurrebbero a 444 mm, nell'anno, e a 124 mm, nei cinque mesi da dicembre ad aprile (ammessa la perdita apparente media di 230 mm in tale periodo), mentre per la area permeabile assorbente di  $1450 \text{ km}^2$ , le perdite apparenti complessive salirebbero rispettivamente a 664 mm e 344 mm. E' evidente la sproporzione fra la parte che nei cinque mesi da dicembre ad aprile si dovrebbe ritenere evaporata (124 mm, pari al 38%) e quella che invece si dovrebbe ritenere penetrata nel terreno (220 mm, pari al 62%) ed è evidente pure che, qualora dovesse raggiungere, come si è affermato, il valore di  $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ , la portata sotterranea di  $10 \text{ m}^3/\text{sec}$  non potrebbe essere alimentata dalla sola infiltrazione attraverso la superficie permeabile di  $1450 \text{ km}^2$ .

## 5. — VARIAZIONI DELLA FALDA ACQUIFERA SOTTERRANEA

Come già ebbi occasione di dire, le osservazioni freatiche pubblicate negli Annali del Servizio Idrografico sono effettuate in pozzi superficiali, che spesso pescano in falde isolate e sono soggetti ad attingimenti. A questa circostanza, oltre che alla ineguale distribuzione delle precipitazioni, che spesso si concentrano su zone determinate, sembrano da attribuire le differenze notevoli di andamento dei livelli freatici, che le tabelle pubblicate negli Annali Idrologici segnalano fra pozzo e pozzo, e la non contemporaneità dei massimi e dei minimi, che cadono, gli uni e gli altri, nei mesi più diversi.

Più significative sarebbero probabilmente riuscite le osservazioni ai pozzi profondi infissi per l'alimentazione della cartiera di Foggia e funzionanti oramai da vari lustri, e ai tredici infissi con scopo sperimentale nel 1950.

Senonchè non mi risulta che i primi abbiano formato oggetto di letture sistematiche, le quali del resto non sarebbero state facili e forse nemmeno utili, dato che quei pozzi sono stati quasi continuamente in funzione, ed è spiacevole che nemmeno i secondi, nonostante la loro finalità sperimentale, siano stati sistematicamente letti.

Solo a partire dal 1953, accogliendo un mio suggerimento, sono stati tenuti in osservazione a cura del Consorzio di Bonifica della Capitanata i quattro pozzi sperimentali distinti con i numeri: 74 (località Le Vigne), 75 (Macchia rotonda), 76 (Mezzanone), 84 (S. Felicità) che raggiungono tutti la coltre argillosa profonda e ricadono nella zona fra il Cervaro e il Carapelle, a sud di Foggia.

Ma anche i dati raccolti da questi pozzi denotano delle vicende estremamente discordanti, come dimostrano i diagrammi della Tav. 2. Due di essi, il 74 e il 76 (rispettivamente con quote del terreno a 55 m.s.m. e a 38 m.s.m., livelli massimi a 52,8 m.s.m. e 35,00 m.s.m.) hanno segnato un aumento progressivo del livello freatico dal 1953 al 1956, dell'ordine di qualche metro, al quale sono sovrapposte delle oscillazioni annuali assai marcate nel primo, estremamente modeste nel secondo: dei due rimanenti il 75 (quota del terreno 26 m.s.m., livello massimo 23,2 m.s.m.) denota pure un certo aumento progressivo con oscillazioni, mentre il livello nel

pozzo 84 (quota del terreno 45 m, livello massimo 44,6) è stato soggetto nel corso del quadriennio a un progressivo abbassamento, sovrapposto ad oscillazioni marcate. Manca ogni elemento per spiegare plausibilmente queste differenze di andamento: si può pensare soltanto che i pozzi peschino in vene sotterranee fra loro localmente indipendenti e perciò non soggette a reciproche influenze.

A una interessante constatazione dà luogo invece la serie dei massimi e dei minimi livelli annui verificati dal 1926 al pozzo dello Istituto Agrario della Capitanata. Ne emerge infatti l'esistenza di un evidente legame tra le variazioni del livello freatico nel medio Tavoliere e le precipitazioni di Foggia, che appare assai chiaramente dalla Tav. 1. Questa contiene nella sua parte superiore, come già vedemmo, il diagramma delle precipitazioni annue a Foggia, e nella parte inferiore il diagramma delle escursioni del pelo d'acqua nel detto pozzo, fra il novembre di ogni anno, che segna di regola l'epoca del minimo livello, e il febbraio dell'anno successivo, nel qual mese cade di regola il livello massimo. Tali escursioni sono state dedotte per il periodo dal 1926 al 1952 dalla tabella pubblicata nello studio dell'ing. Colacicco « Sulla alimentazione e il ravvenamento della falda sotterranea del Tavoliere » (Boll. dell'Ordine degli Ingegneri di Foggia, Giugno-Luglio 1956 - pag. 7) e per gli anni successivi fino al 1956 dai dati che lo stesso ingegnere mi ha cortesemente comunicati.

La Tav. 1 pone in rilievo come ad ogni massimo del diagramma delle piogge ne corrisponda uno nel diagramma delle escursioni, che tre volte su quattro cade nell'anno successivo. Una volta, nel 1939-40, il massimo freatico precede, ma il fatto trova facile spiegazione nella circostanza che tanto il totale del 1939, quanto quello del 1940 sono stati assai superiori alla media, soprattutto in dipendenza della elevata piovosità della stagione invernale 1939-40.

## 6. — PERMEABILITA' DELLE FORMAZIONI ALLUVIONALI ACQUIFERE

Nel quadro delle iniziative promosse dalla Cassa attraverso il Consorzio di Bonifica della Capitanata, e con la collaborazione del sig. ing. Roberto Dentice della Cassa stessa, è stata eseguita nell'ottobre 1953 una serie di prove al pozzo n. 76, alla quale

seguirono due altre serie nel luglio 1954 rispettivamente allo stesso pozzo 76 e a quello 75. Questi pozzi, giova notare, sono situati ambedue nella zona fra Cervaro e Carapelle, dove secondo il parere espresso nella Relazione I. C., « si incontrano conglomerati acquiferi senza alcuna intercalazione di materiale argilloso, il che dà luogo a notevoli portate specifiche nei pozzi ».

Le prove erano intese a stabilire i valori della permeabilità e quelli della porosità efficace del materasso alluvionale in corrispondenza dei due pozzi. Nell'Appendice è descritta l'attrezzatura utilizzata, sono esposte le modalità delle prove e sono riportati i risultati delle misure di portata e di tutte le letture compiute. Dal materiale raccolto, opportunamente elaborato, è stata inoltre ricavata per ogni portata la permeabilità ed è stata dedotta, per talune portate, anche la porosità efficace del materiale filtrante.

Non ritengo di fermarmi qui sui criteri con i quali le elaborazioni sono state condotte e sul significato che può essere attribuito ai risultati. Ciò comporterebbe una discussione del problema generale della determinazione della permeabilità di un terreno filtrante, che ancora presenta dei lati non chiariti, e che spero di riprendere, se mai, in altra sede. Mi basterà dire che gli ordini di grandezza dei valori ottenuti valgono a individuare con attendibilità, certo sufficiente ai fini pratici, le condizioni reali dei materassi alluvionali nei quali sono state effettuate le prove.

Intorno ad ognuno dei due pozzi, che sono metallici con raggio interno di 15 cm, erano stati infissi sedici pozzi di spia collocati su due rette fra loro ortogonali, alle distanze di 10, 50, 120 e 200 mm dall'asse del pozzo di misura. Il terreno in corrispondenza del pozzo 76 è alla quota 39,43 m.s.m. mentre il pelo liquido entro il pozzo, prima dell'inizio delle misure dell'ottobre 1953 era alla quota 34,07 m.s.m. e, prima dell'inizio di quelle del luglio 1954, a 34,58 m.s.m. Intorno al pozzo 75 il terreno è invece a 26 m.s.m. e il pelo liquido, prima delle misure del luglio 1954 si trovava alla quota di 18,97 m.s.m.

Il sistema dei pozzi di spia ha consentito di determinare la pendenza della superficie libera indisturbata della falda prima delle prove: in corrispondenza del pozzo 76 essa è risultata di 0,00269 nell'ottobre 1953 e

di 0,00244 nel luglio 1954: in corrispondenza del pozzo 75 risultò di 0,00271.

Durante ogni serie di prove, alla portata erogata dal pozzo in esame furono assegnati successivamente valori sempre maggiori, ogni valore essendo mantenuto fino a che le letture ai pozzi di spia segnalassero il raggiungimento delle situazioni di regime. Per ognuna di queste situazioni si assunsero, poi, a definire la sezione meridiana del corrispondente conoide di depressione, le medie delle letture ad ogni gruppo di quattro pozzi di spia equidistanti da quello centrale di prova e, applicando diversi procedimenti (*Thiem, Dupuit*), si dedussero vari valori della permeabilità del materasso filtrante, sia intorno al primo, sia intorno al secondo pozzo. Per il calcolo della permeabilità si sono introdotte nelle formule per ogni portata le medie di gruppo delle corrispondenti letture a due quaterne di piezometri di spia equidistanti dal pozzo.

I valori così calcolati sono riportati nell'Appendice; ne appare chiaro che, per l'uno e per l'altro pozzo, si ha a che fare con permeabilità molto modeste, e che in corrispondenza del pozzo 76 il materasso alluvionale presenta una permeabilità certamente superiore a quella che si verifica in corrispondenza del pozzo 75. Infatti la media generale dei valori ottenuti al pozzo 76 nelle misure dell'ottobre 1953 è di 0,062 cm/sec, e in quelle del luglio 1954 di 0,073 cm/sec, mentre al pozzo 75 le misure dello stesso mese di luglio hanno fornito la media di 0,048 cm/sec.

Siamo cioè nel campo delle permeabilità dei depositi alluvionali con notevole percentuale di elementi fini, limosi e argillosi, del tipo che si incontra frequentemente nella pianura Emiliana: le permeabilità riscontrate nel sottosuolo della pianura lombarda sono da venti fino a cento volte più grandi.

Ma occorre anche osservare che dalle medie generali predette la permeabilità risulta con ogni probabilità sopravvalutata rispetto ai suoi effettivi valori. Se, infatti, si analizzano le serie dei dati singoli che hanno servito per stabilire le dette medie, si nota che quelli ricavati dai due gruppi di piezometri più vicini al pozzo di misura (alle distanze, cioè, di 10 e di 50 metri) sono costantemente più bassi da quelli provenienti dagli altri gruppi (cioè fra 50 e 120 metri e fra 120 e

200). Per dare qualche esempio, nelle misure compiute al pozzo 75 la media dei valori ottenuti operando sulle letture alla coppia di piezometri più vicini (a 10 e 50 m) è di soli 0,024 cm/sec, mentre sale a 0,084 la media dei valori ricavati dalla coppia successiva (a 50 e 120 m): in modo analogo, per il pozzo 76 e per le stesse coppie di piezometri le misure dell'ottobre 1953 hanno fornito rispettivamente i valori di 0,043 cm/sec e 0,103 cm/sec e le misure del luglio quelli di 0,043 cm/sec e 0,89 cm/sec. Ometto di considerare la terza coppia (fra 120 e 200 m.), perchè nei piezometri più lontani le variazioni di livello si rendevano apprezzabili soltanto per le portate più rilevanti e le differenze fra i livelli a 200 m e quelli a 120 m, sempre piccole, erano soggette ad errori proporzionalmente troppo elevati per poter dar luogo a determinazioni sufficientemente attendibili della permeabilità.

Sta di fatto, in ogni modo, che facendo caso soltanto alle permeabilità fornite dai pozzi di spia a 10 m e 50 m dai pozzi di prova, si arriverebbe a valori dell'ordine della metà delle medie generali riportate sopra, restando quindi fra 0,02 e 0,03 cm/sec per il pozzo 75, e fra 0,04 e 0,045 per il pozzo 76. Se invece si considerasse solo la coppia di pozzi di spia a 50 e 120 m dal pozzo di prova, le medie generali risulterebbero superate di oltre il 50%.

Mancano basi sicure per fare una scelta fondata fra questi numeri: sembra però che a quelli ottenuti dai pozzi di spia più vicini al pozzo di misura vada riconosciuta in linea di massima una attendibilità maggiore, perchè è più probabile che nell'ambito del raggio di cinquanta metri (e specialmente per le portate meno elevate) siano state effettivamente raggiunte, durante le prove, le situazioni di regime corrispondenti alle varie portate erogate, e anche perchè i dislivelli piezometrici sono più rilevanti; minore quindi risulta la incidenza degli inevitabili errori di lettura sui risultati.

Senza fissarci sopra precisi valori numerici, la cui scelta non sarebbe esente da arbitrarietà, ci limiteremo a concludere che nel suo ordine di grandezza la permeabilità sembra da ritenere non superiore a 0,03 cm/sec intorno al pozzo 75, e non superiore a 0,05 cm/sec intorno al pozzo 76.

Siccome, poi, l'uno e l'altro pozzo cadono proprio in una delle zone del Tavoliere ove, dalle perforazioni eseguite finora, le acque sotterranee risultano particolarmente abbondanti, sembra di dover pure ritenere che nella generalità delle altre zone, e in ispecie in quelle che affluiscono al Candelaro, la permeabilità, non solo non raggiunga questi valori, ma in media si mantenga decisamente più bassa.

## 7. — TENTATIVO DI CALCOLO DELLA PORTATA DELLA FALDA ACQUIFERA

E' ovvio che si può parlare di portata della falda come di grandezza abbastanza ben definibile, soltanto se si considera la parte artesianiana di essa, perché qui la corrente sotterranea, riempiendo completamente il sistema permeabile, presenta una configurazione invariabile, e quindi la portata presenta in ogni istante un unico valore per le varie sezioni trasversali del sistema, fino allo sbocco in mare. Invece nella parte superiore, freatica, la portata aumenta da monte verso valle in conseguenza degli apporti che la falda viene progressivamente ricevendo.

La Relazione I. C. è corredata da tre sezioni geologiche trasversali sulle quali sono tracciati gli spaccati del materasso acquifero, dedotti dall'insieme delle perforazioni finora eseguite. Queste sezioni si vedono riportate nella planimetria schematica di Tav. 3, ove sono distinte con le stesse lettere adottate dalla Relazione I. C. La Sezione EF (Tav. V della Relazione I.C.) taglia trasversalmente la falda artesianiana dallo spartiacque fra il Tavoliere e l'Ofanto fino al Salsola; nel tratto meridionale, fino al Cervaro e forse anche fino alla sezione AB (Tav. III della Relazione I. C.), l'orientamento di essa appare all'incirca normale a quella che ragionevolmente si deve ritenere la direzione prevalente del moto sotterraneo. Sulla planimetria schematica di Tav. 3, è indicata con la lettera M la intersezione della sezione EF con la sezione AB, che cade all'incirca all'altezza di Foggia. E' presumibile che a nord di M le correnti sotterranee, le quali hanno, comunque, il loro definitivo recapito nel Golfo di Manfredonia, incontrino la EF sotto un angolo sempre più acuto, quanto più ci si allontana da M.

Dello spaccato della sezione EF abbiamo cercato di trarre profitto per addivenire ad una valutazione d'orientamento della portata della falda artesianiana.

A tal fine, ne abbiamo anzitutto dedotta per misurazione diretta l'estensione della parte che vi è indicata come molto, o mediamente o abbastanza permeabile, a partire dall'estremo sud fino all'altezza del Celone: non abbiamo creduto di procedere oltre, giacché l'eventuale apporto del tratto più a nord dello spaccato è certamente di secondaria entità, per la forte inclinazione delle correnti sotterranee, e anche perché, come diremo, la pendenza piezometrica si riduce qui a valori molto bassi.

Siamo pervenuti ai valori seguenti dell'area della sezione trasversale della falda artesianiana: dall'estremo sud fino all'intersezione M con la sezione AB: 428.000 mq; dall'estremo sud fino al Celone: 614.000 mq.

L'aggiunta della estremità sud del materasso, verso S. Ferdinando, ove il movimento avviene a pelo libero, eleva quell'area a 661.000 mq.

A titolo di verifica, abbiamo ripetuto il calcolo prendendo a base la Tav. II della Relazione I. C., ove sono indicati con diverse tinteggiature gli spessori del materasso permeabile, e siamo pervenuti, per il tratto dalla estremità meridionale fino al Celone, al valore di 626.000 metri quadrati, che conferma soddisfacentemente il precedente.

Quest'area costituisce uno dei fattori per il calcolo della portata della corrente sotterranea che attraversa la sezione EF: l'abbiamo assunto in cifre tonde di 615.000 mq per la parte artesianiana, e di 650.000, compresa l'estremità meridionale della falda, ove il moto avviene a superficie libera.

L'altro fattore è la velocità di permeazione. E' ovvio che questa è soggetta a notevoli variazioni da zona a zona, e anche da punto a punto, in relazione alle variazioni della permeabilità le quali sono certo rilevanti, e ai valori della cadente piezometrica, che pure varia certo notevolmente da zona a zona. Ed è chiaro altresì che la portata deve essere soggetta a variare col tempo: vedremo però fra breve che queste variazioni non possono essere di grande rilievo.

Gli elementi sopra ricavati, se non bastano per istituire dei calcoli di assoluta atten-

dibilità, ci consentiranno almeno di delineare il campo entro il quale dovrebbe essere presumibilmente contenuto il valore della portata della falda.

Sarà facile riconoscere che questo valore deve comunque ritenersi assai modesto.

\* \* \*

Vediamo intanto di stabilire l'ordine di grandezza della velocità di permeazione, espressa, come noto, dal prodotto della permeabilità per la cadente piezometrica.

I pozzi ai quali sono state eseguite le misure sono aperti fra il Cervaro e il Carapelle, poco a monte della linea che segna il limite inferiore della parte freatica della falda acquifera e l'inizio della parte artesianiana, e ricadono pochi chilometri a monte della sezione EF, in una plaga che è giudicata fra le più permeabili del Tavoliere.

Indicazioni circa le cadenti piezometriche della falda nella direzione normale alla sezione EF si ricavano dalle sezioni geologiche AB e CD, allegate alla Relazione I. C., sulle quali è segnata la traccia della superficie piezometrica della falda stessa.

La sezione CD taglia la EF quasi normalmente. Il valore della cadente che se ne deduce in corrispondenza dell'intersezione è di 0,004: siccome però subito a monte la pendenza (media stabilita su cinque km) sale a 0,006, mi è parso che nel calcolo fosse plausibile introdurre il valore 0,005, come meglio atto a rispecchiare la situazione media lungo un tratto abbastanza lungo della EF (tale valore, converrà tener presente, è all'incirca doppio di quelli rilevati localmente in corrispondenza dei pozzi 75 e 76, sui quali sono state compiute le prove).

In corrispondenza della intersezione della sezione EF con la CD la cadente piezometrica risulta alquanto inferiore al valore precedente e pure tenuto conto della evidente non ortogonalità delle due sezioni non arriva certo a 0,003.

Per quanto riguarda la permeabilità, abbiamo visto che le misure ai pozzi 75 e 76 hanno fornito valori assai diversi tra loro. Se si fa riferimento a quello di 0,05 cm/sec che, per le considerazioni svolte poco sopra, sarebbe atto a definire la permeabilità intorno al pozzo 76, in località non lontana dalla sezione EF, per la velocità di filtrazione si ottiene il valore di  $0,005 \times 0,05 = 25 \times 10^{-5}$  cm/sec =  $2,5 \times 10^{-6}$  m/sec. Ritenuto che que-

sto valore sia valevole per tutte le parti dello spaccato EF fino al Celone, che sono indicate come permeabili, sia pure in varia misura, e ricordando che la loro area complessiva fu valutata dianzi in 615.000 mq, si perviene per la falda artesianiana alla portata di soli 1,53 m<sup>3</sup>/sec. Se il calcolo si estendesse anche alla parte non artesianiana (area permeabile 650.000 mq), si otterrebbe la portata di 1,62 m<sup>3</sup>/sec.

Qualora poi, procedendo sicuramente per eccesso, si introducessero nel calcolo la cadente piezometrica 0,006 e la permeabilità 0,079 cm/sec, media generale ricavata dalle misure al pozzo 76, si arriverebbe a 3,08 m<sup>3</sup>/sec.

Per contro, si scenderebbe ad 1 m<sup>3</sup>/sec soltanto, se si assumesse la permeabilità di 0,03 cm/sec misurata al pozzo 75, che pure potrebbe aver titolo per rappresentare la situazione media del materasso alluvionale, dato che ambedue i pozzi nei quali le prove sono state eseguite non sono lontani dalla sezione EF e sono praticati in una zona nota per essere fra le più ricche d'acqua sotterranea.

In conclusione fino a che si opera nel campo dei valori della permeabilità e della cadente che allo stato dei fatti possono essere applicati al caso, si arriva sempre, comunque il calcolo venga condotto, a portate molto modeste, comprese nell'intervallo fra uno e tre metri cubi secondo, entro il quale secondo ogni plausibile valutazione dovrebbe cadere il valore effettivo.

A titolo di primo grossolano orientamento ritengo che la media aritmetica fra i due estremi anzidetti, e cioè 2 m<sup>3</sup>/sec, possa costituire un riferimento non inattendibile per lo studio di eventuali piani di utilizzazione, secondo linee direttive che accennerò più avanti. Imprudente sarebbe a mio giudizio — sempre allo stato delle cose, cioè sulla base dei dati attualmente a disposizione — appoggiare questi piani ad un valore più alto della portata media annua.

\* \* \*

Ma converrà fissare chiaramente il significato da attribuire a questa portata. Essa vuol rappresentare il volume che attraversa in *media* ogni secondo le parti permeabili dello spaccato del sottosuolo, lungo la sezione EF, nel tratto che va dall'estremo sud del Tavoliere fino al Celone, per la lunghezza di

circa 46 km. A rigore una certa quantità di acqua defluisce anche a nord del Celone, e arriva al mare passando fra la stessa sezione EF e il Gargano, nella direzione del corso del Candelaro. Ma è chiaro che questa quantità non può che essere minima perchè, fra la sezione EF e il Candelaro, il sottosuolo è in molte parti impermeabile e perchè, come appare dalla Tav. V della Relazione I. C. a nord del Celone le quote piezometriche si abbassano leggermente, mentre aumenta la distanza dal mare: sicchè si riduce la cadente disponibile, e con essa le possibili velocità di permeazione.

Per contro nel calcolo precedente si è ammesso che la sezione EF sia attraversata ovunque normalmente dalla corrente sotterranea, per l'intero tratto a sud del Celone; ciò che a rigore può accadere solo per una parte di esso, e comunque non sembra possa verificarsi a nord della ferrovia Foggia-Manfredonia, ove invece la direzione generale del moto dovrebbe essere più o meno marcatamente inclinata. E' stato ammesso inoltre che la cadente piezometrica mantenesse per tutta la sezione il valore costante stabilito in corrispondenza della intersezione con la sezione CD, mentre in realtà essa è soggetta a diminuire con l'aumentare della distanza dal mare.

Per tutte queste circostanze sembra lecito ritenere che la portata complessiva della intera falda artesianiana, permeante nel sottosuolo del basso Tavoliere fino a scaricarsi al Golfo di Manfredonia, non possa differire sensibilmente da quella che attraversa la sezione EF a sud del Celone. Essa, ovviamente, è tutta fornita dalla falda freatica superiore, che alimenta quella artesianiana.

Torna naturale pensare che quella portata vada soggetta a variazioni col tempo, nel corso dell'anno e da un anno all'altro. Ma è facile riconoscere che tali variazioni non possono essere di grande rilievo: che, cioè, gli scostamenti dalla media debbono rivestire importanza limitata, molto minore e del tutto secondaria rispetto a quelli che si possono verificare e si verificano nella falda freatica sovrastante. Basti notare, ad esempio, che nella sezione geologica CD (Tav. IV della Relazione I. C.) la falda profonda comincia a diventare artesianiana all'altezza della strada Naz. Cerignola - Foggia, e cioè a oltre 20 km dal mare, dove il medio livello freatico risulta alla quota di circa 75 m. s. m.. Le

massime escursioni del livello freatico sono in generale contenute nei limiti di qualche metro: ma se anche si ammettesse che all'inizio della falda artesianiana, fra le quote di 70 e di 80 m. s. m. esse raggiungessero i 10 m (come accade presso Foggia), la variazione che ne seguirebbe nel valore della portata artesianiana, essendo proporzionale a quella del livello all'inizio, risulterebbe di un settimo appena del valore medio; fra i 1,86 e 2,13 m<sup>3</sup>/sec, se quel valore medio si assume uguale a 2 m<sup>3</sup>/sec.

Questo significa che, in linea generale, le escursioni del livello freatico nell'alto e medio Tavoliere, comunque grandi esse possano essere, hanno sempre ripercussioni limitate, sostanzialmente trascurabili nei loro effetti pratici, sulla portata della falda artesianiana permeante al di sotto della coltre argillosa, onde è costituito il suolo del Tavoliere inferiore: questa falda, cioè, è animata da moto pressochè stazionario, con portata soggetta a scostamenti modesti dal valore di 2 m<sup>3</sup>/sec che nel nostro pensiero dovrebbe rappresentare la media di un lungo periodo.

Nel suo schema idraulico il movimento di filtrazione che ha la sua sede nel sottosuolo del Tavoliere si può, infatti, assimilare a quello che si verificherebbe nel sistema costituito da un ampio bacino, corrispondente al materasso alluvionale del Tavoliere superiore e medio, dove la falda è freatica, il quale scarichi in altro bacino molto più ampio, a livello costante, che è il mare, attraverso un condotto in pressione di forte resistenza (o ristretta sezione) che corrisponde invece alla parte artesianiana della stessa falda.

Le variazioni degli afflussi di origine meteorica, che pervengono al bacino superiore, si traducono allora essenzialmente in variazioni del volume in esso accumulato, in quanto la portata del condotto di scarico si mantiene pressochè costante, e il bacino stesso funziona come vasca di raccolta e di compenso.

Abbiamo avuto occasione di ricordare le notevoli escursioni osservate al pozzo dello Istituto Agrario presso Foggia, che sono arrivate a superare i 13 metri. Variazioni di pari entità, a quanto risulta, non sarebbero state verificate in altro luogo del medio Tavoliere; la loro importanza induce a pensare che al materasso alluvionale intorno a Foggia confluiscono acque provenienti da

una zona molto vasta rispetto alla capacità di portata della diramazione del materasso stesso attraverso la quale quelle acque debbono defluire, in pressione, per arrivare al mare. La rapidità dei sopraelevamenti del livello freatico, che ha particolarmente richiamato l'attenzione dell'ing. Colacicco, conforta l'ipotesi che, in occasione di precipitazioni molto rilevanti seguite da piene ed esondazioni, alla falda arrivino anche apporti da zone sommerse o dovuti a perdite d'acqua lungo tronchi disperdenti degli alvei nel territorio sovrastante.

Poichè la capacità di scarico della susseguente falda artesianiana è pressochè costante, gli apporti in un primo tempo si accumulano a monte di questa, ove pertanto il livello freatico si alza con relativa rapidità e in misura tanto più notevole quanto minore è la porosità efficace del materiale che viene raggiunto e sommerso dalle acque sotterranee.

E' ben probabile che fatti analoghi intervengano, sia pure in misura meno vistosa, in altre zone, quando vi si verificano piogge e piene rilevanti: resta però il fatto che, comunque, la portata complessiva della parte artesianiana della falda non ne risente se non in misura molto secondaria.

A tale riguardo gioverà pure aver presente la grande eterogeneità del materasso alluvionale, attraverso il quale le acque sotterranee si debbono aprire la via verso il mare. Per semplicità di esposizione abbiamo parlato della falda artesianiana come di un tutto unico, ma nella realtà si deve trattare di un insieme estremamente complesso di stratificazioni più o meno permeabili, interposte tra depositi che lo sono assai meno o non lo sono del tutto, e tra loro variamente collegate, così da costituire un sistema di vasi fra loro comunicanti, in seno ai quali il movimento procede verso il mare con velocità che possono differire notevolmente da punto a punto, in dipendenza dalle dimensioni trasversali delle formazioni alluvionali e dalla loro permeabilità.

Dell'ordine di 2 m<sup>3</sup>/sec dovrebbe essere la portata complessiva che si muove entro quel sistema: siccome però la sua configurazione è sostanzialmente ignota, e ignote del pari sono le caratteristiche di permeabilità delle sue parti, sarebbe vano ogni tentativo

di indicare come quella portata si distribuisca nel sottosuolo e per quali vie essa raggiunge il mare.

\* \* \*

Osserviamo infine che, per dare alimento alla portata di 2 m<sup>3</sup>/sec continua per tutto l'anno si richiedono, e bastano, delle infiltrazioni molto limitate attraverso le parti della superficie del Tavoliere che sono atte a lasciar penetrare le acque meteoriche.

E invero il volume del deflusso annuo corrispondente a quella portata ammonta a 63 milioni di metri cubi; rapportato alla estensione dell'area assorbente nell'ambito dei bacini afferenti al Golfo di Manfredonia, estensione che fu riconosciuta di 1450 chilometri quadrati, esso dà luogo ad uno strato di altezza uniforme pari a 43 millimetri soltanto. Si tratta, quindi, di meno dell'8% delle perdite apparenti annue, determinate per il bacino del Cervaro e per quello del Salsola, e di meno di un quinto di quelle relative ai soli cinque mesi da dicembre ad aprile, nel corso dei quali con ogni probabilità si concentrano le infiltrazioni nel terreno. Numeri così bassi sono ammissibili con ogni tranquillità, anche tenuto conto della non grande permeabilità superficiale di una parte dei 1450 km<sup>2</sup>.

Ciò sta a dire che il problema della alimentazione della falda trova una sufficiente spiegazione nella sola penetrazione delle acque meteoriche, senza che sembri necessario ipotizzare dei sostanziali contributi da parte degli alvei dei fiumi in piena.

Che questi contributi esistano, non può certo essere escluso; che essi, come si è detto sopra, possano assumere importanza in occasione di vaste esondazioni è pure possibile: ma i dati esposti, e in specie il limitato valore della portata artesianiana, rendono affatto improbabile che, nei loro effetti medi, essi arrivino ad esercitare un'azione determinante su quella portata.

## 8. — CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI FINALI.

Le varie considerazioni che siamo venuti svolgendo nei precedenti paragrafi e i computi che le corredano ci hanno condotti alle seguenti conclusioni:

a) la portata della falda artesianiana che ha recapito nel Golfo di Manfredonia è sog-



getta a variazioni di modesta importanza intorno a un valore medio che ci è sembrato plausibile indicare in  $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;

b) il volume d'acqua che annualmente si infiltra nel sottosuolo dell'alto e del medio Tavoliere va soggetto invece a variazioni molto notevoli da un anno all'altro, in dipendenza dalle vicende meteoriche. Queste variazioni si traducono in notevoli escursioni del livello freatico del medio Tavoliere, le cui formazioni sotterranee permeabili funzionano come capacità regolatrice.

In relazione alla situazione così definita deve essere stabilito il volume che, secondo caute e plausibili previsioni, può essere annualmente estratto dal sottosuolo per essere destinato a irrigazioni nell'ambito del Tavoliere.

Accettato in  $2 \text{ m}^3/\text{sec}$  l'ordine di grandezza della portata media della falda artesianiana, il deflusso che annualmente questa reca al Golfo di Manfredonia risulta di 63 milioni di metri cubi. Questo deflusso rappresenta anche il massimo volume che annualmente potrebbe essere estratto dal sottosuolo del Tavoliere stesso, senza correre il pericolo di un progressivo esaurimento della riserva liquida accumulata nelle formazioni permeabili ivi esistenti.

Conviene tuttavia notare subito che il volume della riserva, valutato precedentemente in 2,5 miliardi di metri cubi per la parte di essa al di sopra del livello del mare, è molto superiore al deflusso annuo predetto, il quale ne rappresenta appena la quarantesima parte. Soltanto, quindi, se le estrazioni annuali d'acqua superassero in notevole misura i 63 milioni di  $\text{m}^3$ , la riserva ne potrebbe essere sensibilmente intaccata. La esistenza di essa, e la sua importanza, consentono pertanto di considerare con una certa tranquillità l'eventualità (che a priori non può certo essere esclusa) che la portata della falda artesianiana sia stata sopravvalutata, e quella che le estrazioni annue abbiano a superare i 63 milioni di metri cubi. Gioverà dire, a questo proposito, che la seconda eventualità, e cioè quella che i 63 milioni di  $\text{m}^3$  vengano superati, sarebbe da prendere senz'altro in considerazione qualora, con l'attuazione del serbatoio del Fortore, le acque di questo fiume venissero condotte a irrigare vaste zone del Tavo-

liere e, penetrando sia pure in piccola parte nel sottosuolo, contribuissero alla alimentazione delle falde acquifere sotterranee.

Comunque, assunta, come si è detto, in  $2 \text{ m}^3/\text{sec}$  la portata media della falda artesianiana, e tenuto presente che tale portata va soggetta a variazioni di modesto rilievo nel corso di uno stesso anno e anche da un anno all'altro, occorre esaminare su quali basi e secondo quali direttive ne possa essere prevista e orientata la utilizzazione a scopo irriguo.

Se la durata della stagione irrigua si ritiene, almeno in primo tempo, di mesi sei, da metà aprile a metà ottobre, il volume di 63 milioni di metri cubi che rappresenta il deflusso medio annuo delle falde sotterranee, viene a corrispondere per quei sei mesi alla portata continua di  $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ , la quale pertanto potrebbe essere estratta dal sottosuolo in quei sei mesi in modo continuo senza dar luogo a progressivo esaurimento della riserva sotterranea.

Questa portata consentirebbe l'irrigazione di 8.000 ettari, con la dotazione di  $0,5 \text{ l}/\text{sec}$  per ettaro, equivalente, nei sei mesi, al volume di  $7750 \text{ m}^3$  per ettaro.

L'area irrigabile aumenterebbe se si reputasse ammissibile una dotazione più bassa. Però nella situazione climatica del Tavoliere potrebbe invece riuscire troppo breve la durata assunta per la stagione irrigua, presentandosi non di rado la necessità di cominciare le irrigazioni più presto del 15 aprile e anche quella di continuarle oltre il 15 ottobre; per questo motivo non conviene partire, a mio parere, dalla previsione di una dotazione inferiore a  $7750 \text{ m}^3$  per ettaro nell'intera stagione. Evidentemente ciò significa anche ritenere in partenza che allo stato delle cose l'area irrigabile con acque di sottosuolo non possa comunque superare gli 8.000 ha.

Non mi sembra inutile notare che, sempre allo stato delle cose, la detta estensione è da accettare come un massimo raggiungibile soltanto attraverso la cattura di tutto il deflusso sotterraneo che annualmente arriva al mare. Le perforazioni eseguite in gran numero nel dopo guerra, e quelle che tuttora si vengono effettuando, forniscono già ora un quadro abbastanza definito delle condizioni del sottosuolo, individuando, anche con qualche dettaglio, le zone ove l'acqua è pre-

sente in maggior copia e la profondità alla quale è prevedibile incontrare le vene più abbondanti.

A questo riguardo potranno fornire utilissime indicazioni anche le pubblicazioni dell'ing. Colacicco e quella dell'ing. Tramonte, ricordate nella premessa.

In queste zone soprattutto dovrebbero avere sede i pozzi destinati alla estrazione dell'acqua. Ignorando la precisa situazione attuale, voglio dire numero e rendimento dei pozzi attualmente aperti e funzionanti o in grado di funzionare, non posso fare alcuna previsione circa i pozzi che ancora potrebbero essere aggiunti a quelli esistenti, al fine di mettersi in grado di estrarre annualmente il volume di sessantatre milioni di metri cubi. Mi basterà dire che tale numero è subordinato a due condizioni: depressione massima da consentire per ogni pozzo in normale funzionamento e orario di questo funzionamento.

E' noto che al fine di assicurare una conveniente durata al pozzo e soprattutto di ritardarne l'insabbiamento, conviene contenere il valore della depressione entro certi limiti che io indicherei in quattro o cinque metri al di sotto del livello indisturbato: gli impianti di sollevamento dovrebbero cioè, per la condizione di normale esercizio essere, caso per caso, commisurati alla portata fornita dal pozzo con depressione di quattro o

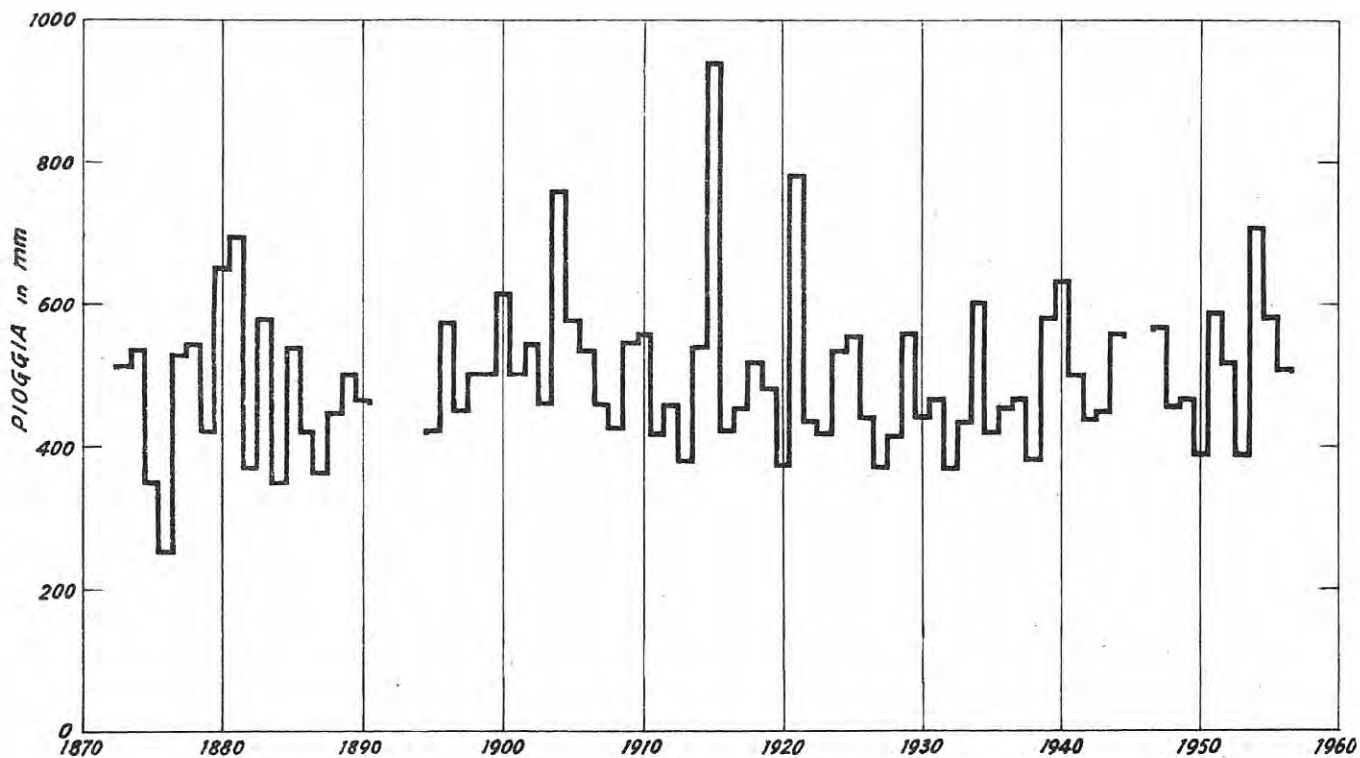
cinque metri e non oltre. Tale limitazione, ovviamente, comporta una corrispondente riduzione nella portata ricavabile da ogni pozzo, e a parità di altre condizioni un aumento del numero dei pozzi da aprire: ma ha il vantaggio di lasciare la possibilità di estrarre portate maggiori di quelle di normale esercizio, qualora circostanze eccezionali lo rendessero assolutamente necessario.

Quanto all'orario di funzionamento, se si potesse far caso unicamente alla spesa di impianto del pozzo, la soluzione più economica sarebbe certo quella del funzionamento continuato, notte e giorno, in quanto richiede il minimo numero di pozzi.

Poichè nella realtà sarà normale l'esercizio discontinuo, il sollevamento della portata media di  $4 \text{ m}^3/\text{sec}$  nelle ventiquattro ore richiederà un insieme di pozzi correlativamente più vasto. Così, se fosse previsto il funzionamento di dieci ore soltanto su 24, l'insieme dei pozzi dovrebbe essere capace di estrarre in quelle dieci ore la portata di  $9,6 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

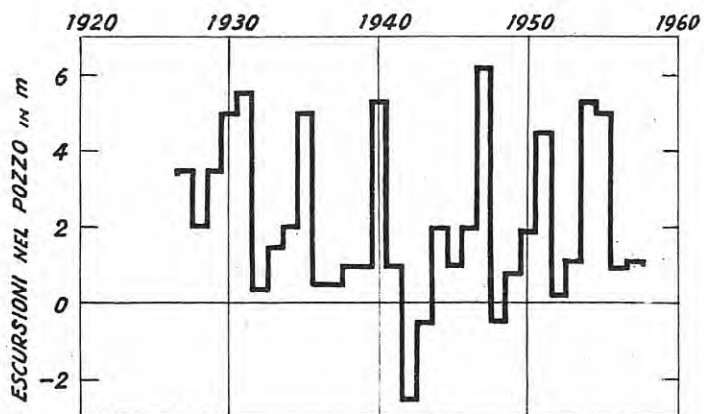
Queste indicazioni e queste cifre vengono esposte non perchè ad ognuna di esse singolarmente considerata si attribuisca gran valore e significato, ma perchè si ritiene che nel loro complesso esse valgano a delineare nella loro probabile consistenza le opere da eseguire per l'emungimento di tutte le risorse idriche utilizzabili dal sottosuolo della zona scolante al Golfo di Manfredonia.

Successione naturale dei totali annui di pioggia a Foggia (Osservatorio)

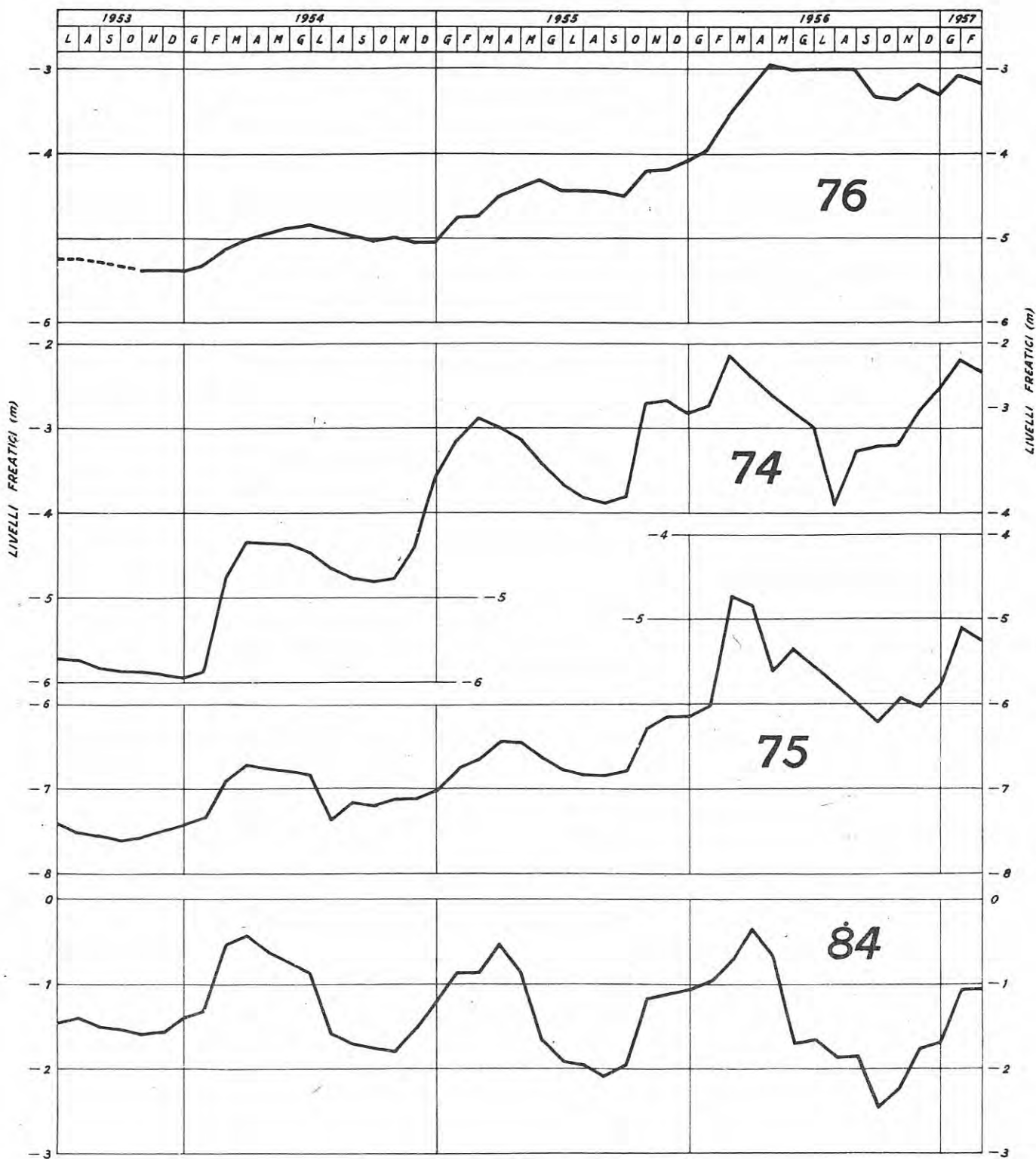


Escursione dei livelli freatici al pozzo dell'Istituto Agrario

(da novembre a febbraio)

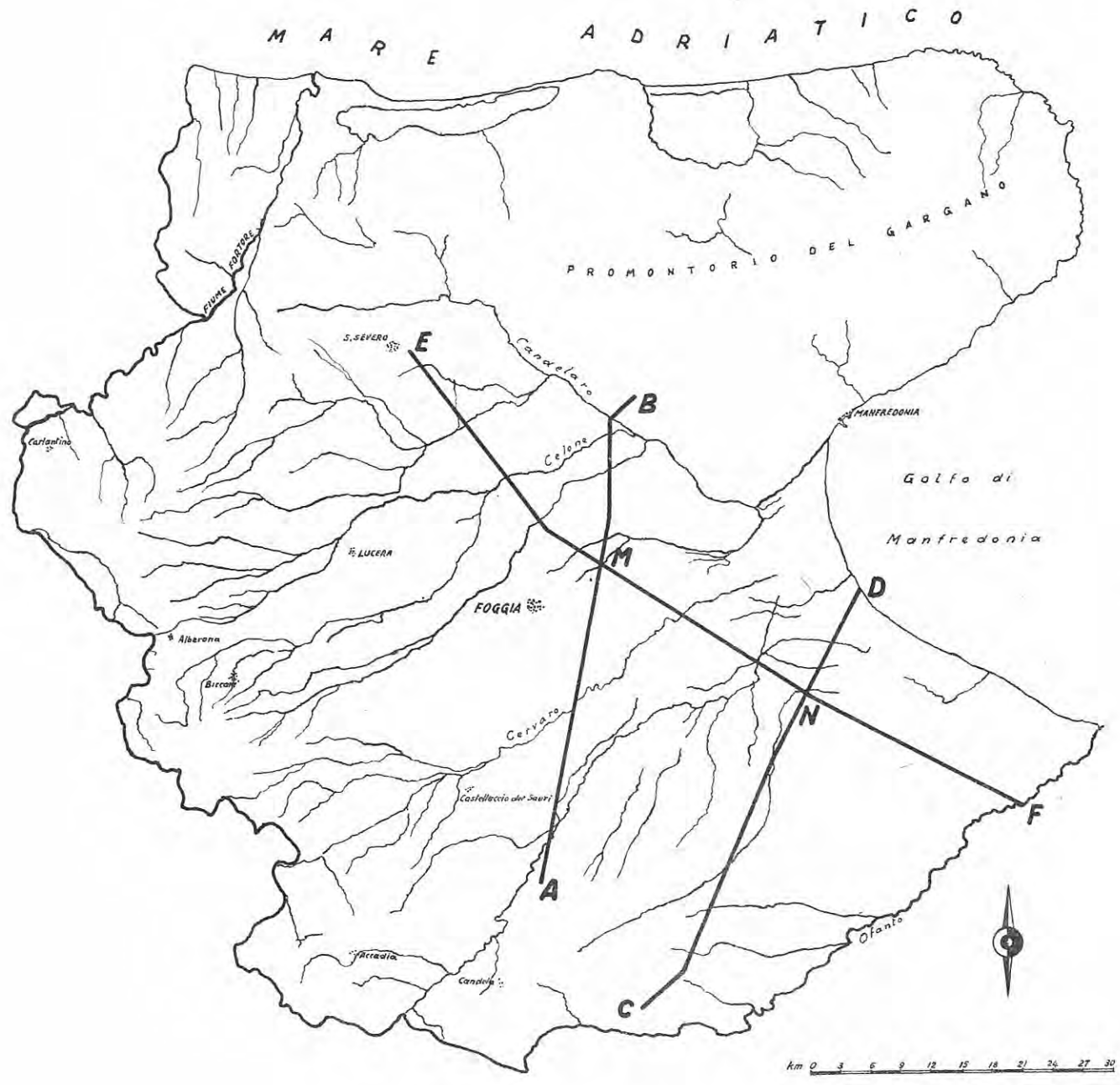


Escursione del livelli freatici in quattro pozzi sperimentali del Tavoliere centrale



La numerazione dei pozzi è riferita alla "Carta delle acque sotterranee del Tavoliere .. dell'Ing. G. Colacicco

Corografia indicativa degli spaccati geologici



# Prove sperimentali per la determinazione in sito dei coefficienti di permeabilità

*Appendice dell'Ing. ROBERTO DENTICE*

Tra gli accertamenti geoidrologici predisposti dal prof. G. De Marchi per l'espletamento dell'incarico a lui conferito circa lo studio delle acque sotterranee del Tavoliere, una non trascurabile importanza rivestono le sperimentazioni effettuate per la determinazione della permeabilità degli strati filtranti attraversati dalla falda acquifera oggetto di studio; vale a dire, di quegli strati compresi tra il piano di campagna ed il tetto delle argille azzurre del pliocene per una profondità variabile da un minimo di una diecina di metri al massimo di oltre cento in prossimità del litorale adriatico.

Sui valori di tale permeabilità ben poche erano le indicazioni disponibili all'inizio dello studio e non sufficientemente idonee per la loro specifica utilizzazione ai fini dell'indagine intrapresa, ed in particolare per servire da base a valutazioni quantitative sulla potenzialità della falda.

Va in proposito osservato che, se già in situazioni geolitologiche di assai maggiore omogeneità ed uniformità, l'adozione di valori dedotti da campioni mediante esperienze di laboratorio difficilmente può riprodurre la situazione reale del terreno, per il sottosuolo del Tavoliere, caratterizzato da una estrema variabilità per granulometria e grado di assestamento, l'acquisizione del dato di permeabilità con sufficiente approssimazione — chè sempre di sola approssimazione può parlarsi — comportava necessariamente l'impiego di diversi e più appropriati metodi di accertamento basati sull'osservazione in sito del fenomeno idrologico sotterraneo.

Tra i vari procedimenti impostati appunto sull'indagine in campagna, fu prescelto, perchè di più idonea applicazione al problema in questione, il metodo del *Thiem*, adottato diffusamente anche negli Stati Uniti di America per importanti studi similari, e fondato sullo studio della falda in regime di emungimento da pozzi. In particolare, poichè

tale metodo presuppone il raggiungimento di una situazione di regime, e quindi di condizioni di equilibrio per il conoide di depressione provocato dal pompaggio, esso è indicato dagli autori statunitensi anche come il « metodo dell'equilibrio ».

Tralasciando per il momento l'illustrazione della formula risolutiva del *Thiem* e delle ipotesi cui la sua validità è subordinata, va subito fatto presente che l'applicazione del metodo in parola comporta la preventiva acquisizione di numerosi elementi d'osservazione attraverso lo svolgimento di accurate, sistematiche prove sperimentali in loco.

Per lo studio dell'idrologia sotterranea del Tavoliere tali sperimentazioni, predisposte dal prof. De Marchi, ed affidate per l'esecuzione al Consorzio di Bonifica della Capitanata con la collaborazione dello scrivente, si sono svolte con i criteri e le modalità, che qui di seguito vengono brevemente illustrati.

*Scelta della zona d'indagine.* La scelta della zona oggetto delle prove sperimentali in questione, è stata fatta sulla base dei numerosi requisiti di carattere idrologico necessari per l'impiego attendibile del metodo prescelto per la determinazione del coefficiente di permeabilità, e tenendo conto delle esigenze connesse alla pratica attuazione delle osservazioni.

Si è quindi rivolta l'attenzione a quella parte del Tavoliere che fosse caratterizzata da una notevole permeabilità apparente, da circolazione di acque con comportamento freatico e a profondità non eccessive, e che apparisse in complesso abbastanza rappresentativa del fenomeno idrologico oggetto di studio.

Rispondente in massima a tale caratteristiche è apparsa la zona del Medio Tavoliere compresa tra i fiumi Cervaro e Carapelle, e posta a cavallo della strada Foggia-Mezzanone-Trinitapoli, con quote topografiche va-

riabili dai 50 ai 20 m.s.m. (Tav. 1<sub>A</sub>); in particolare, la zona in questione è risultata non soggetta — sia pure in misura relativa — a prolungati attingimenti della falda, la quale pertanto poteva ritenersi con fondata presunzione « indisturbata », ipotesi questa pure assai importante per la corrente applicazione del metodo del *Thiem*.

Circoscritto con i criteri suaccennati il perimetro d'intervento, si è proceduto alla selezione dei pozzi in esso già esistenti, che fossero suscettibili di essere opportunamente utilizzati per le prove di pompaggio relative alle indagini. Scartati ovviamente i pozzi scavati a mano, in massima di modeste profondità e non idoneamente condizionati, furono scelti due pozzi trivellati in data abbastanza recente a cura del Consorzio di Boninca della Capitanata, ed attraversanti il complesso degli strati impermeabili sino al raggiungimento della argilla azzurra pliocenica (pozzi n. 75 località Macchiarotonda, e n. 76 località Mezzanone, dalla pubblicazione « *La carta delle acque sotterranee del Tavoliere* » dell'ing. G. Colacicco). Le caratteristiche stratigrafiche e di condizionamento di tali pozzi sono illustrate al dettaglio nell'allegata Tav. 2<sub>A</sub> desunta da tale pubblicazione.

*Tubi di spia.* Al fine di osservare il comportamento della falda durante le prove di pompaggio a diverse distanze dal centro dell'emungimento, fu disposta l'infissione di un certo numero di tubi spia con allineamento a croce attorno a ciascuno dei due pozzi trivellati prescelti (vedi Tav. 3<sub>A</sub>).

In occasione del primo ciclo di osservazioni (ottobre 1953) che riguardò il pozzo n. 76, i tubi spia furono infissi in numero di 12, così distanziati:

4 alla distanza di m. 10; 4 alla distanza di m. 50; 4 alla distanza di m. 200.

Quando nella successiva estate 1954 si eseguirono gli accertamenti per il pozzo n. 75, si ritenne opportuno integrare la disposizione dei tubi spia infiggendone complessivamente 16:

4 alla distanza di m. 10; 4 alla distanza di m. 50; 4 alla distanza di m. 120; 4 alla distanza di m. 200.

In tale occasione vennero inseriti analogamente anche per il pozzo n. 76 i 4 tubi spia a 120 m., e fu eseguito per questo impianto un secondo ciclo di osservazioni.

I tubi spia, dopo l'esecuzione con sonda a percussione di fori del diametro di 100 mm, furono infissi a profondità ampiamente sufficienti a consentire la lettura del livello freatico relativo alle massime portate estraibili nei rispettivi pozzi di pompaggio; la finestratura, per la parte ricadente nella falda, fu ottenuta praticando fori del diametro di mm. 10, situati su quattro generatrici del tubo a 90° e distanziati di mm. 100.

La lettura dei livelli veniva effettuata direttamente a mezzo di cordini metrici a galleggiante.

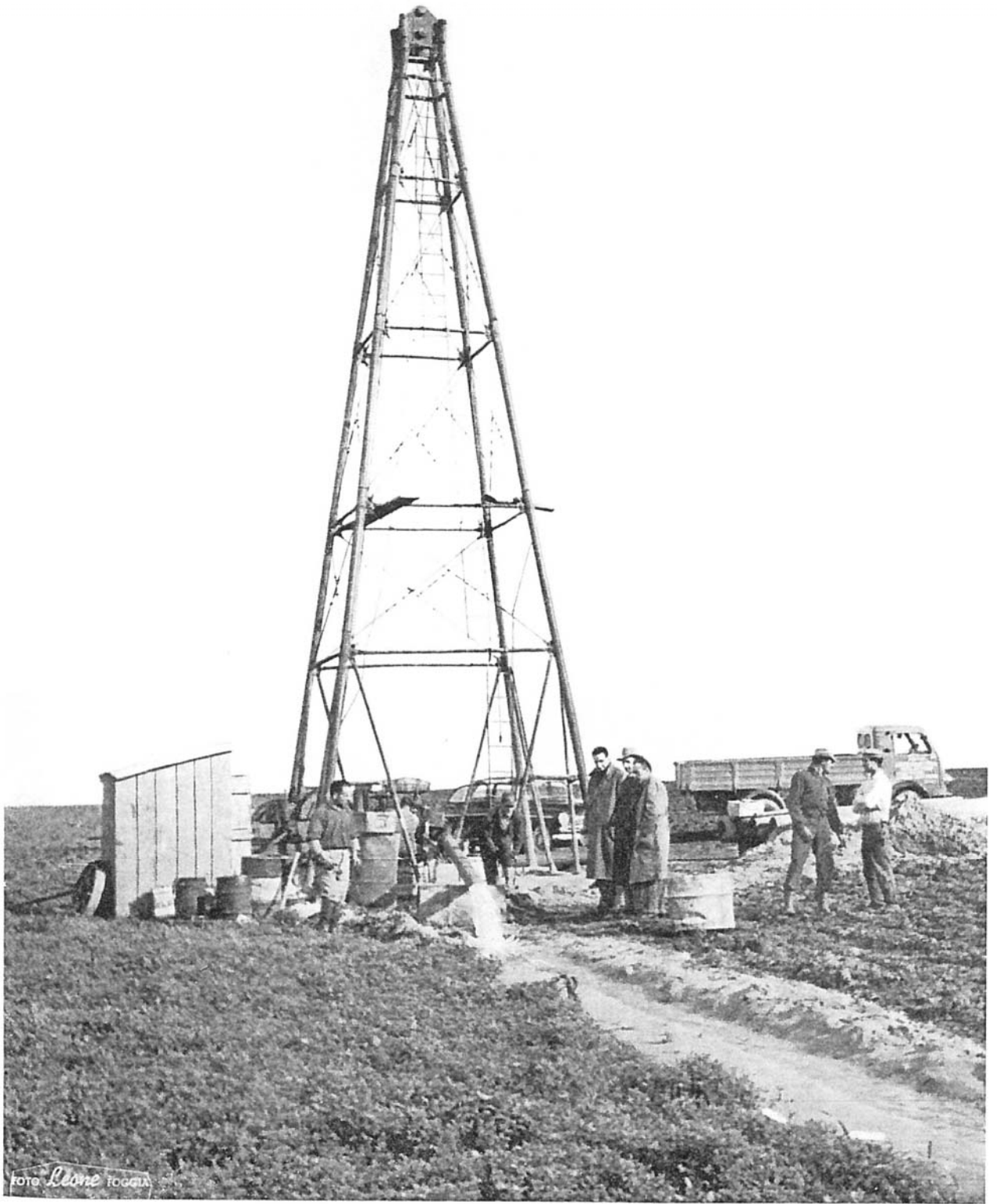
*Gruppo di pompaggio.* Per le prove di emungimento venne impiegata una pompa ad asse verticale « Pellizzari » a giranti multiple capace di una portata da litri/sec. 1 a litri/sec 40 alla prevalenza manometrica di 30 m, ed azionata con trasmissione a cinghia da un motore « Lombardini » da 50 Cv.

La misura delle portate veniva effettuata a mezzo di venturimetro e controllata con misure dirette (cassone del volume di un metro cubo); il livello dell'acqua nel pozzo di emungimento veniva rilevato a mezzo di un dispositivo elettrico di segnalazione.

*Modalità delle prove.* Il criterio informatore delle prove di pompaggio fu quello di raggiungere per ogni determinato valore della portata erogata la condizione di equilibrio del conoide di depressione della falda, osservando il comportamento della stessa alle varie distanze, e per intervalli di tempo opportunamente brevi, fino al presunto verificarsi della condizione sopradetta.

Preliminarmente all'inizio delle prove si procedeva — per il pozzo di pompaggio e per tutti i pozzi spia — alla lettura dei livelli della falda indisturbata rispetto a punti di riferimento fissi (es. la sommità dei tubi) di cui in precedenza era stata determinata la quota topografica; le misure effettuate permettevano di valutare la pendenza naturale





della falda nelle direzioni ortogonali degli allineamenti dei tubi spia, e quindi il valore massimo della stessa (tabelle di Tav. 3<sub>A</sub>).

Successivamente, una volta iniziato il pompaggio al regime prestabilito, la prima lettura nel pozzo centrale e nei tubi spia veniva effettuata dopo un'ora, e le successive ogni 2 o 3 ore, curando per quanto possibile la contemporaneità delle osservazioni per ogni singolo intervallo; pervenuti presumibilmente alla condizione di regime per il primo valore della portata, vale a dire accertata la costanza dei livelli alle varie distanze per un periodo sufficientemente lungo, veniva aumentata la portata della pompa dando inizio ad una nuova serie di osservazioni, e così via per i diversi regimi di emungimento prestabiliti.

Terminato il pompaggio, veniva effettuata l'osservazione della fase di ritorno dei livelli.

*Il primo gruppo* di osservazioni ebbe luogo al pozzo n. 76 dal 20 al 24 ottobre 1953.

Eseguite, come anzidetto, tutte le misure preliminari a falda indisturbata, si diede inizio all'emungimento dal pozzo ed alle sistematiche letture nei tubi spia per la durata ininterrotta di 72 ore così ripartite:

ore	7	alla portata di litri/sec.	10
»	17	»	»
»	24	»	»
»	24	»	»

A questo punto venne arrestata la pompa e fu seguita la risalita dei livelli per circa 24 ore.

*Il secondo gruppo* di osservazioni fu effettuato dall'11 al 17 luglio del successivo anno 1954, sempre per il pozzo n. 76 integrato, come già accennato, dall'infissione di 4 tubi spia 120 m, al fine di seguire meglio le variazioni del conoide di depressione.

In questa seconda prova venne prolungata la durata dell'emungimento per ogni valore della portata onde rendere più probabile il raggiungimento della condizione di regime. Pertanto il pompaggio — con le

stesse modalità d'osservazioni — venne effettuato per il periodo ininterrotto di 126 ore così suddivise:

ore	9	alla portata di litri/sec.	10
»	39	»	»
»	48	»	»
»	30	»	»

Va subito osservato che la non completa identità dei valori della portata assunti per i vari stadi di pompaggio con quelli relativi alle prove dell'anno precedente non comporta inconveniente alcuno, essendo il fine specifico delle prove in questione l'accertamento della permeabilità, nel quale, come si vedrà, la portata entra in giuoco rapportata all'abbassamento di livello provocato.

*Il terzo gruppo* di osservazioni fu eseguito per il pozzo n. 75 (Macchiarotonda) dal 27 luglio al 2 agosto 1954. La durata della prova fu qui di 114 ore così suddivise:

ore	48	alla portata di litri/sec.	7,2
»	48	»	»
»	18	»	»

I numerosi elementi d'osservazione raccolti nel corso delle prove sopra dette, e che per brevità qui non possono essere riportati, hanno permesso l'elaborazione di alcuni dei grafici più caratteristici del comportamento della falda alle varie distanze e per i diversi regimi di emungimento.

— *Diagrammi delle depressioni* (Tav. 4<sub>A</sub>, 5<sub>A</sub>, 6<sub>A</sub>) nei quali vengono riportati, in funzione del tempo e per tutto il periodo di pompaggio, gli abbassamenti del livello nel pozzo centrale e quelli mediati nei tubi spia per ciascun ordine di distanza.

— *Sezioni meridiane dei conoidi di depressione* (Tav. 7<sub>A</sub>, 8<sub>A</sub>, 9<sub>A</sub>), nei quali vengono riportate le disposizioni assunte dal conoide all'equilibrio per i diversi valori della portata emunta.

*Valutazione della porosità media efficace degli strati filtranti*

Indicazioni di massima circa i valori della porosità media efficace degli strati filtranti, la quale, come è noto, esprime l'attitudine degli stessi alla estrazione meccanica dell'ac-

qua contenuta, sono state fornite dal confronto, effettuato alla fine di alcune fasi di emungimento, tra i volumi d'acqua edotti dalla pompa (V) e i volumi geometrici corrispondenti del conoide di depressione (V').

Sono state pertanto ricavate, relativamente alle prove sperimentali eseguite, le seguenti tabelle di valori.

*Prova al pozzo 76 del 20 ottobre 1953*

Q in l/sec	V in mc	V' in mc	$\frac{V}{V'}$	Valore medio di $\frac{V}{V'}$
22	1.598	16.200	0,099	0,113
34	4.536	43.500	0,101	
50	8.856	63.200	0,140	

*Prova al pozzo 76 dell'11 luglio 1954*

Q in l/sec	V in mc	V' in mc	$\frac{V}{V'}$	Valore medio di $\frac{V}{V'}$
22,2	3.430	48.500	0,071	0,093
33,3	9.185	89.700	0,102	
41,5	13.667	116.100	0,117	

*Prova al pozzo 75 del 27 luglio 1954*

Q in l/sec	V in mc	V' in mc	$\frac{V}{V'}$	Valore medio di $\frac{V}{V'}$
7,2	1.244	22.600	0,055	0,054
10,7	3.093	59.200	0,052	
15,0	4.065	72.300	0,056	

*Calcolo dei coefficienti di permeabilità.*

Le modalità seguite per l'esecuzione delle prove di pompaggio, e la lettura dei diagrammi caratteristici allegati, mettono in evidenza, come del resto già più volte accennato nel corso di questa appendice, che il criterio informatore delle prove eseguite è stato quello di individuare per quanto possibile le varie condizioni di regime della falda, in vista dell'applicazione del metodo del *Thiem* per la valutazione dei coefficienti di permeabilità. La formula risolutiva del *Thiem* che esprime in sostanza l'eguaglianza a regime tra la portata emunta dal pozzo di pompaggio e quella filtrante attraverso ogni superficie cilindrica coassiale al pozzo stesso, qualunque ne sia la distanza da esso, è la seguente:

$$f = \frac{Q \times (\ln R'' - \ln R')}{3,14 \cdot (h' + h'') \times (s' - s'')}$$

dove:

$f$  = permeabilità (in m/sec).

$Q$  = portata emunta dal pozzo (in mc/sec).

$R''$  = distanza maggiore dal pozzo (in m).

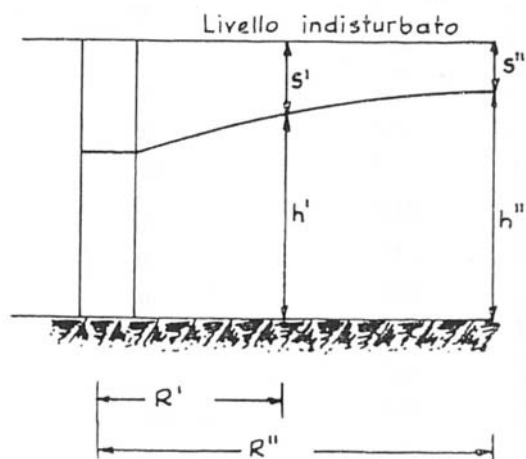
$R'$  = distanza minore dal pozzo (in m).

$h''$  = carico d'acqua alla dist.  $R''$  (in m).

$h'$  = carico d'acqua alla dist.  $R'$  (in m).

$s''$  = abbassamento del livello freatico alla distanza  $R''$  al di sotto di quello preesistente indisturbato (in m).

$s'$  = abbassamento del livello freatico alla distanza  $R'$  al di sotto di quello preesistente indisturbato (in m).



Si riportano ora le tabelle contenenti i valori di  $f$  calcolati con la formula sopra scritta, in base ai dati acquisiti per le tre serie di prove eseguite.

Va rilevato in proposito che i valori di  $s$  e di  $h$  introdotti nella formula, sono quelli mediati relativi ai 4 tubi spia posti alla stessa distanza radiale dal pozzo di pompaggio. Il calcolo è stato eseguito per varie combinazioni di  $R''$  e  $R'$  e per le diverse portate di emungimento.

*Prova al pozzo 76 del 20 ottobre 1953*

Portata di regime in litri/sec	$R'$ in m	$R''$ in m	Permeabilità $f$ in cm/sec	Valore medio $f$ per ogni valore della portata
10	10	50	0,056	0,056
22	10	50	0,05	0,05
34	10	50	0,035	
34	10	200	0,051	0,06
34	50	200	0,096	
50	10	50	0,04	
50	10	200	0,057	0,069
50	50	200	0,11	

Prova al pozzo n. 76 dell'11 luglio 1954

Portata di regime in litri/sec	R' in m	R'' in m	Permeabilità $f$ in cm/sec	Valore medio $f$ per ogni valore della portata
10	10	50	0,055	
10	10	120	0,064	0,073
10	50	120	0,10	
22,2	10	50	0,044	
22,2	10	120	0,054	
22,2	10	200	0,060	0,077
22,2	50	120	0,087	
22,2	50	200	0,097	
22,2	120	200	0,12	
33,3	10	50	0,038	
33,3	10	120	0,045	
33,3	10	200	0,052	0,071
33,3	50	120	0,084	
33,3	50	200	0,09	
33,3	120	200	0,12	
41,5	10	50	0,037	
41,5	10	120	0,046	
41,5	10	200	0,050	
41,5	50	120	0,086	0,071
41,5	50	200	0,096	
41,5	120	200	0,11	

Prova al pozzo n. 75 del 27 luglio 1954

Portata di regime in litri/sec	R' in m	R'' in m	Permeabilità $f$ in cm/sec	Valore medio $f$ per ogni valore della portata
7,2	10	50	0,035	
7,2	10	120	0,040	
7,2	10	200	0,042	0,046
7,2	50	120	0,056	
7,2	50	200	0,053	
7,2	120	200	0,050	
10,7	10	50	0,027	
10,7	10	120	0,037	
10,7	10	200	0,039	0,051
10,7	50	120	0,075	
10,7	50	200	0,067	
10,7	120	200	0,062	
15,00	10	50	0,012	
15,00	10	120	0,017	
15,00	10	200	0,019	0,047
15,00	50	120	0,089	
15,00	50	200	0,080	
15,00	120	200	0,069	

Si riportano ora, a titolo indicativo, i valori di  $f$  ottenuti applicando la nota formula del Dupuit per pozzi freatici:

$$f = \frac{\ln 2R - \ln D}{3,14 (2H - \hat{z}) \cdot \hat{z}} \times Q$$

dove:

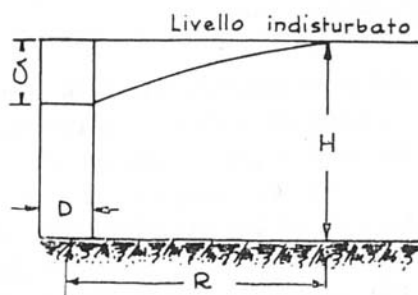
$Q$  = portata estratta dal pozzo, (in mc/sec).

$R$  = distanza alla quale la falda resta indisturbata (in m).

$D$  = diametro del pozzo = m. 0,30.

$H$  = carico d'acqua nel pozzo a falda indisturbata (in m).

$\hat{z}$  = depressione del livello nel pozzo per effetto della  $Q$  (in m).



I valori di  $R$  sono stati presunti in base ai diagrammi delle meridiane ricavati dalle prove sperimentali (Tav. 7<sub>A</sub>, 8<sub>A</sub>, 9<sub>A</sub>). Accanto ai valori di  $f$  ottenuti con la formula soprascritta, si sono riportati — nelle tabelle che seguono — anche quelli ottenuti applicando la formula « approssimata »;

$$f = \frac{Q}{0,5 (2H - \hat{z}) \hat{z}} \text{ valevole per } 2R \text{ maggiore di } 100 D.$$

*Prova al pozzo n. 76 del 20 ottobre 1953*

$Q$ in l/sec	$2R$ in m	$H$ in m	$d$ in m	$f$ in cm/s	$f'$ in cm/s
10	310	14,50	0,84	0,093	0,084
22	350	»	2,25	0,082	0,073
34	420	»	5,04	0,063	0,056
50	460	»	9,80	0,061	0,053

*Prova al pozzo n. 76 dell'11 luglio 1954.*

$Q$ in l/sec	$2R$ in m	$H$ in m	$d$ in m	$f$ in cm/s	$f'$ in cm/s
10	320	14,50	0,85	0,093	0,083
22,2	680	»	2,35	0,088	0,071
33,3	760	»	5,55	0,061	0,050
41,5	850	»	8,35	0,060	0,048

*Prova al pozzo n. 75 del 27 luglio 1954.*

$Q$ in l/sec	$2R$ in m	$H$ in m	$d$ in m	$f$ in cm/s	$f'$ in cm/s
7,2	225	20,30	1,04	0,040	0,037
10,7	300	»	3,24	0,021	0,018
15,00	340	»	8,44	0,014	0,012

### Considerazioni.

Dal confronto dei valori di  $f$  ottenuti con la formula del *Thiem* rispettivamente per il pozzo n. 76 e per il pozzo n. 75, si rileva anzitutto che essi rispecchiano in effetti una differenza di permeabilità che, sia pure in misura indeterminata, era prevedibile in base alla campionatura estratta dai pozzi stessi all'atto della loro esecuzione (Tav. 2<sub>A</sub>): « ghiaia acquifera con strati di conglomerato » per il primo e « ghiaia con strati di puddinga acquifera » per il secondo. Talchè, la resa del pozzo 76, pur relativa ad uno strato filtrante di altezza notevolmente minore di quella del pozzo 75 (m. 14,50 contro m. 20,30), è risultata assai più abbondante.

Può essere opportuna, ora, qualche breve considerazione in merito alle tabelle contenenti i dati singoli ricavati dall'applicazione, per le varie portate e per le diverse distanze interessate, delle formule del *Thiem* prima, e del *Dupuit* poi.

Dall'esame delle tabelle riguardanti le prove eseguite per i due pozzi considerati nell'estate dell'anno 1954, può notarsi che:

— i valori medi di  $f$  riferiti ad ogni valore della portata sono in definitiva pressochè coincidenti;

— esiste invece in ogni tabella un divario tra i singoli valori relativi ad una stessa portata ma calcolati tra diverse coppie di superfici cilindriche coassiali al pozzo di emungimento, nonchè — sia pure in minor misura — tra i valori relativi a superfici filtranti equidistanti ma a portate diverse.

Numerose possono essere le cause cui ciò può essere ascritto; anche supponendosi effettuate in massima con sufficiente precisione e tempestività tutte le misurazioni di livelli e di portata durante le prove, va osservato che, come già accennato in precedenza, la piena validità della formula del *Thiem* è subordinata a svariate condizioni di carattere geoidrologico.

In particolare tra le ipotesi di base risultano non rigorosamente verificate quelle relative:

— all'omogeneità del materiale filtrante nell'ambito della zona interessata dal pozzo di emungimento e dai tubi spia;

— alla uniformità dello spessore dello strato filtrante;

— al raggiungimento della condizione di regime del conoide di depressione, che in realtà è da ritenersi verificata con sufficiente approssimazione solo per le minori distanze essendo normalmente assai lenta la estensione del conoide a larghe zone. Di qui la minore attendibilità attribuibile ai valori ricavati con la formula del *Dupuit*, in quanto vi compare il raggio  $R$ , il cui valore, comunque assunto o calcolato (formule di Turneure-Russel), è sempre sensibilmente lontano dal vero.

Verificate per contro, per le zone in questione, o comunque improbabile causa di scarto nei risultati, sono certamente le ipotesi riguardanti:

— l'attraversamento da parte del pozzo di emungimento di tutto lo strato filtrante sino alla base impermeabile;

— l'orizzontalità iniziale della falda, in quanto gli effetti dell'esistenza di una pendenza naturale possono ritenersi nulli, avendo introdotto nella formula del *Thiem* le medie degli abbassamenti  $s$  in tutte le direzioni (1);

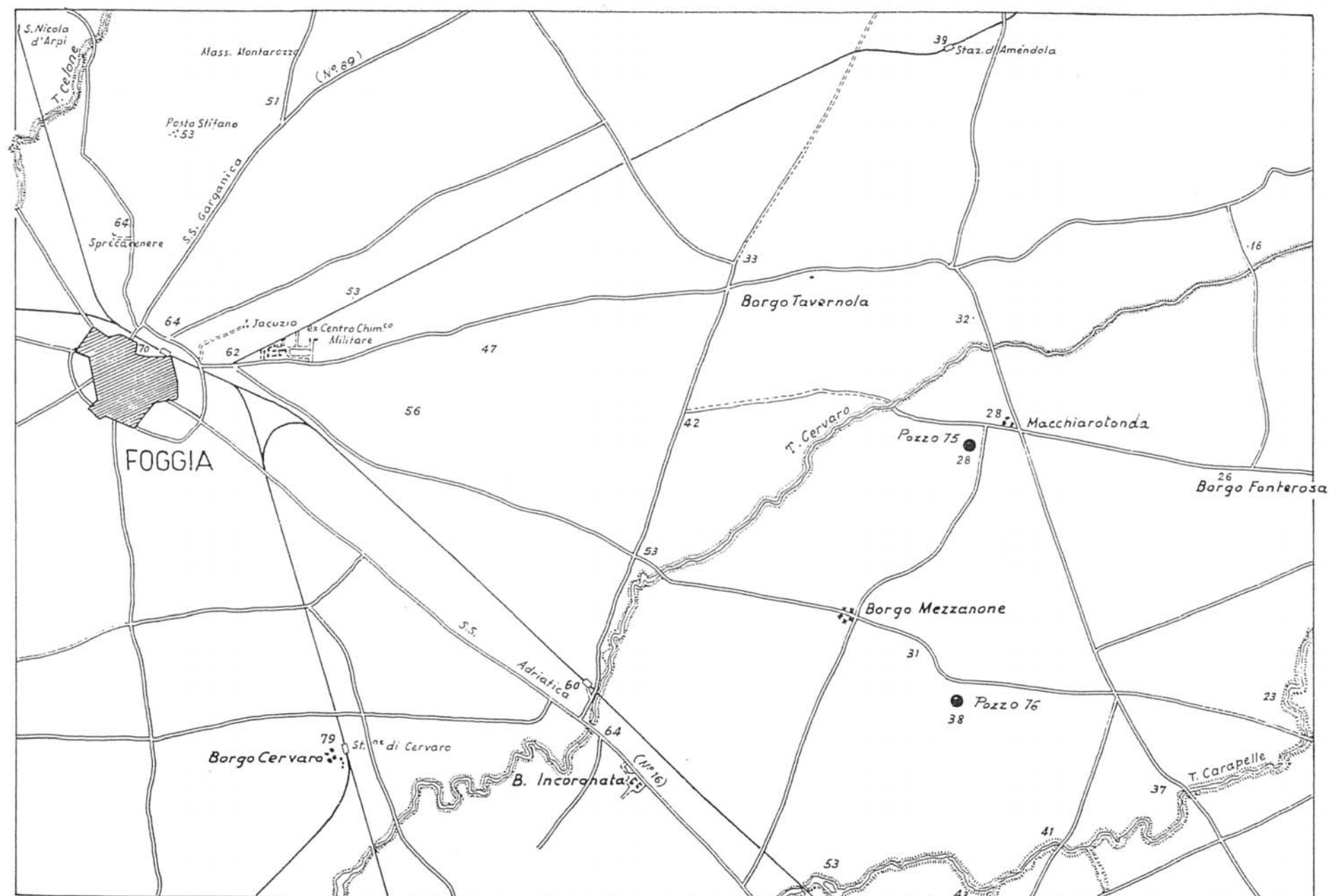
— la condizione di « falda non turbata » da emungimenti nelle vicinanze, durante, o anche in periodo immediatamente antecedente alle osservazioni.

In conclusione, sulla scorta di quanto sopra detto, può ritenersi che la scelta di un *valore medio* del coefficiente di permeabilità debba basarsi preferibilmente sui valori calcolati tra le superfici filtranti più vicine al centro di emungimento; ciò in quanto con tale criterio, oltre a diminuire l'incidenza di eventuali errori di misura, risultano verificate con maggiore approssimazione le ipotesi di uniformità d'altezza e di omogeneità degli strati filtranti, nonchè la condizione di equilibrio raggiunto per la falda sotto pompaggio.

Possono quindi assumersi con sufficiente fondatezza per le zone interessate dai pozzi n. 76 e n. 75, rispettivamente le permeabilità medie di 0,04-0,06 e di 0,025-0,035 cm/sec.

(1) Afferma in proposito lo *Slichter*: « il flusso in un pozzo resta invariato, perchè la maggiore velocità di un punto a monte è compensata dalla minore del simmetrico a valle ». Con l'introduzione delle medie degli abbassamenti, la formula dello equilibrio viene denominata del « *Limiting* ».

Corografia della zona oggetto delle prove sperimentali  
per l'accertamento della permeabilità



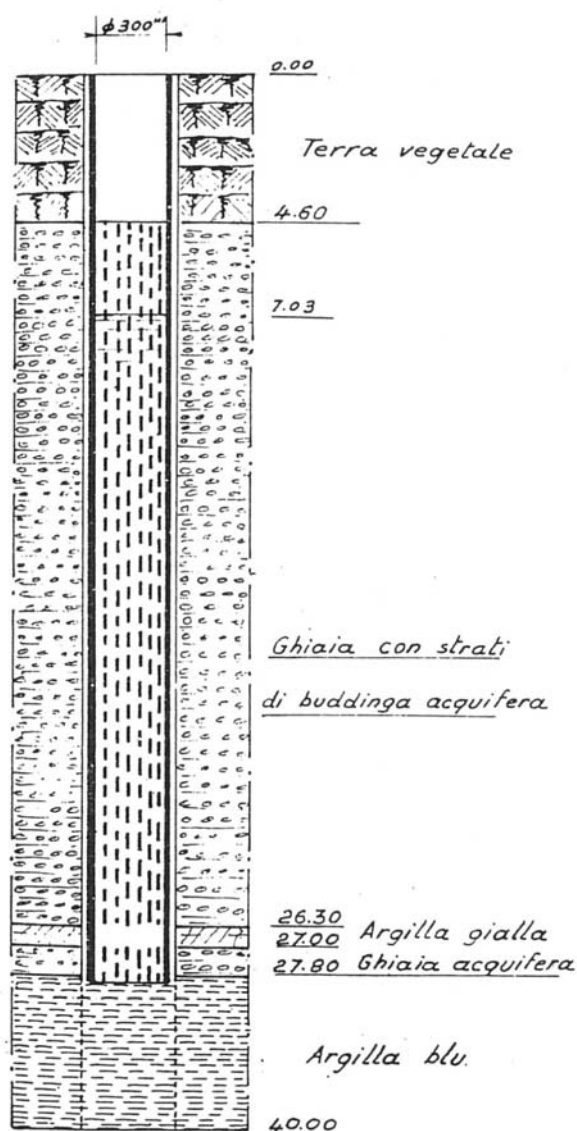
● Pozzi prescelti per le prove

Scala 1:100.000

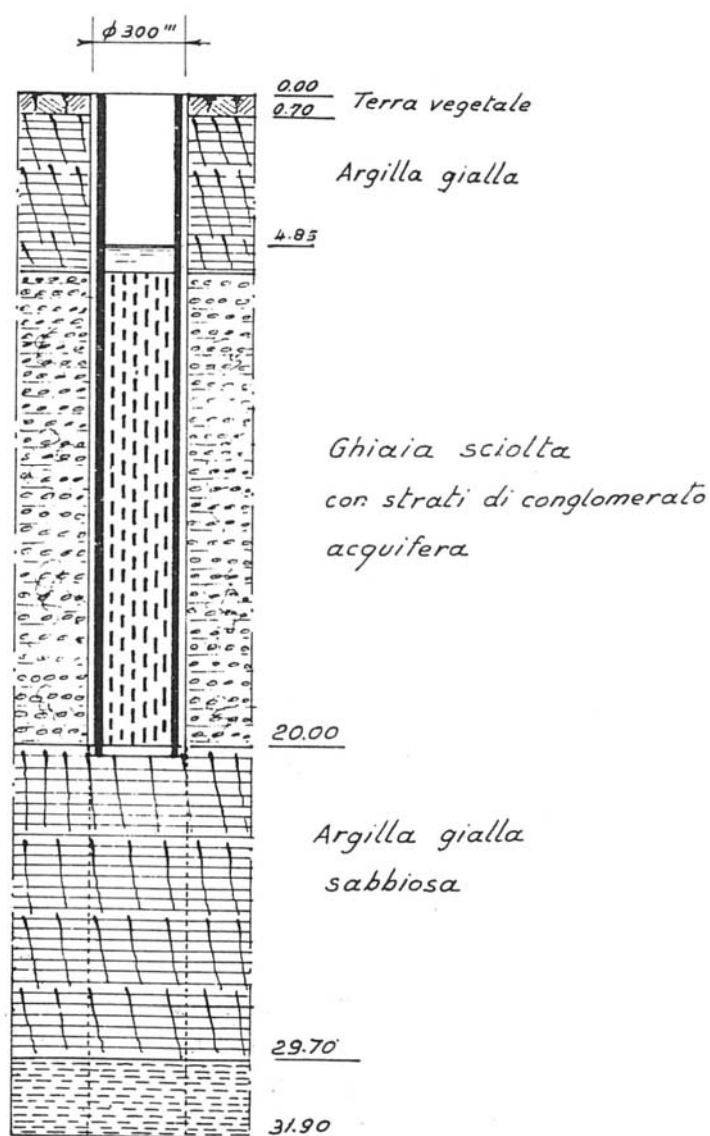


Stratigrafie dei pozzi prescelti per l'accertamento della permeabilità

POZZO N. 75  
(Località Macchiarotonda)

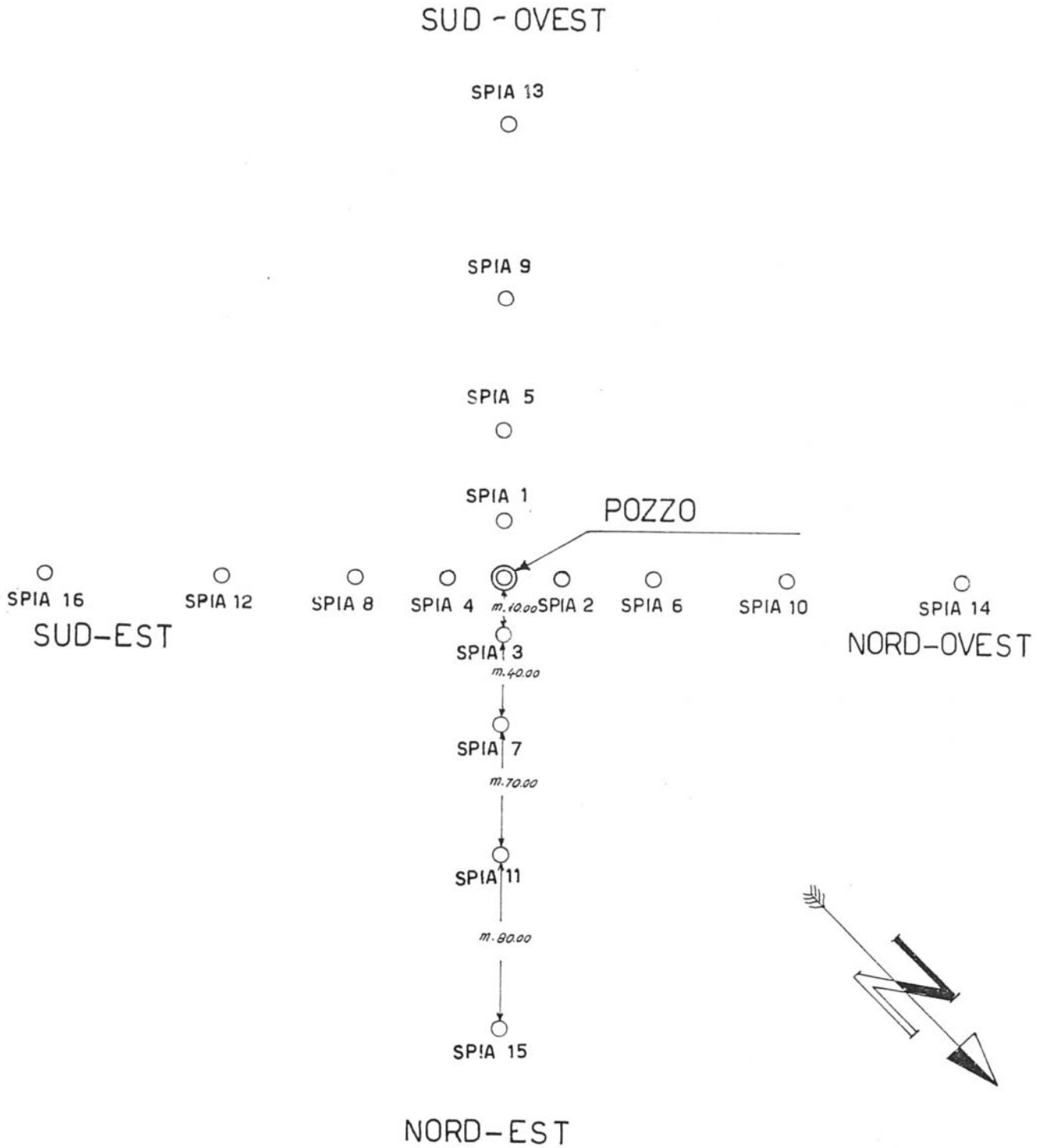


POZZO N. 76  
(Località Mezzanone)



Dalla "Carta delle Acque Sotterranee del Tavoliere", dell'Ing. G. Colacicco  
i dati di livello si riferiscono alle prove del luglio 1954

Disposizione planimetrica dei tubi spia  
per le prove sperimentali



Prova al pozzo 76 del 20 ottobre 1953

$$i_{SO-NE} = 0,00235 \quad i_{SE-NO} = 0,00132 \quad i_{MAX} = 0,00269$$

Pozzo di pomp.	tubi spia n°	Distanza dal pozzo 76 ml	Quota del piano camp. m.s.m.	Quota iniziale livello statico m.s.m.
76	—	—	39,43	34,07
	1	10	39,50	34,09
	2	10	39,64	33,98
	3	10	39,59	34,06
	4	10	39,40	34,02
	5	50	39,59	34,15
	6	50	39,16	33,99
	7	50	39,26	33,99
	8	50	39,50	34,02
	9	200	39,74	34,58
	10	200	38,18	33,70
	11	200	37,22	33,64
	12	200	39,00	34,23

Prova al pozzo 76 dell'11 luglio 1954

$$i_{SO-NE} = 0,00208 \quad i_{SE-NO} = 0,00127 \quad i_{MAX} = 0,00244$$

Pozzo di pomp.	tubi spia n°	Distanza dal pozzo 76 ml	Quota del piano camp. m.s.m.	Quota iniziale livello statico m.s.m.
76	—	—	39,43	34,58
	1	10	39,50	34,63
	2	10	39,64	34,60
	3	10	39,59	34,60
	4	10	39,40	34,60
	5	50	39,59	34,69
	6	50	39,16	34,56
	7	50	39,26	34,53
	8	50	39,50	34,92
	9	120	39,74	34,96
	10	120	39,52	34,57
	11	120	38,82	34,47
	12	120	39,17	34,73
	13	200	39,74	35,12
	14	200	38,18	34,29
	15	200	37,22	34,29
	16	200	39,00	34,80

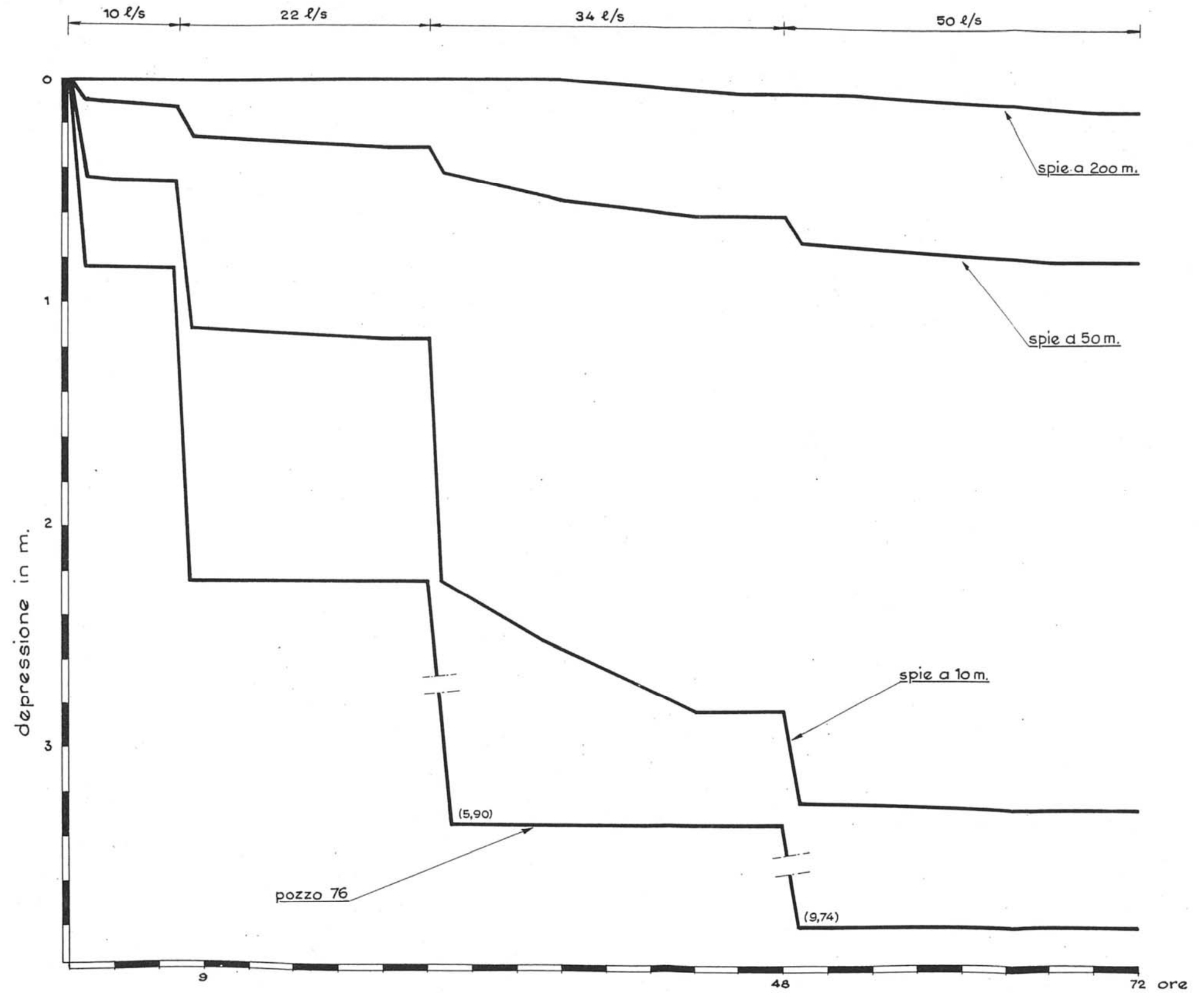
Prova al pozzo 75 del 27 luglio 1954

$$i_{SO-NE} = 0,00268 \quad i_{SE-NO} = 0,00042 \quad i_{MAX} = 0,00271$$

Pozzo di pomp.	tubi spia n°	Distanza dal pozzo 76 ml	Quota del piano camp. m.s.m.	Quota iniziale livello statico m.s.m.
75	—	—	26	18,97
	1	10	26,11	18,98
	2	10	25,88	18,95
	3	10	25,80	18,95
	4	10	25,83	18,96
	5	50	26,30	19,10
	6	50	25,79	18,82
	7	50	25,52	18,83
	8	50	25,60	18,95
	9	120	26,65	19,22
	10	120	24,82	18,77
	11	120	24 —	18,50
	12	120	25,06	18,96
	13	200	26,63	19,29
	14	200	23,28	18,75
	15	200	22,26	18,22
	16	200	24,82	18,92

Diagramma della depressione nel pozzo di emungimento e delle depressioni medie nei tubi spia a 10; 50; 200 metri di distanza

[Prova del 20 ottobre 1953 al pozzo 76]



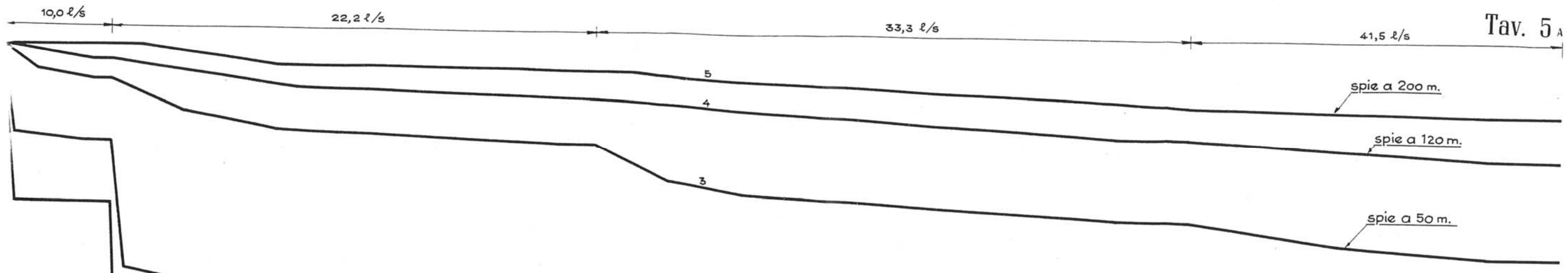


Diagramma della depressione nel pozzo di emungimento e delle depressioni medie nei tubi spia a 10 : 50 : 120 : 200 metri di distanza  
[Prova dell'11 luglio 1954 al pozzo 76]

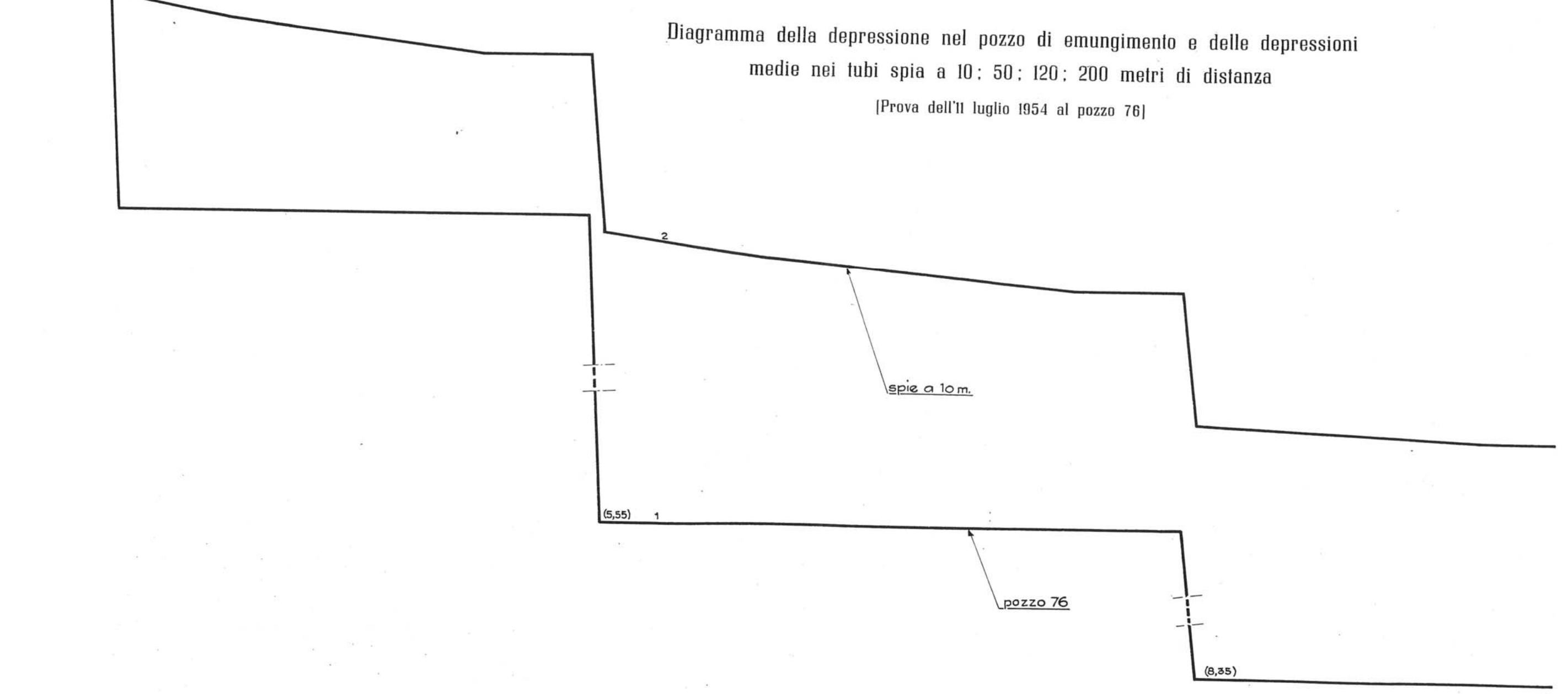
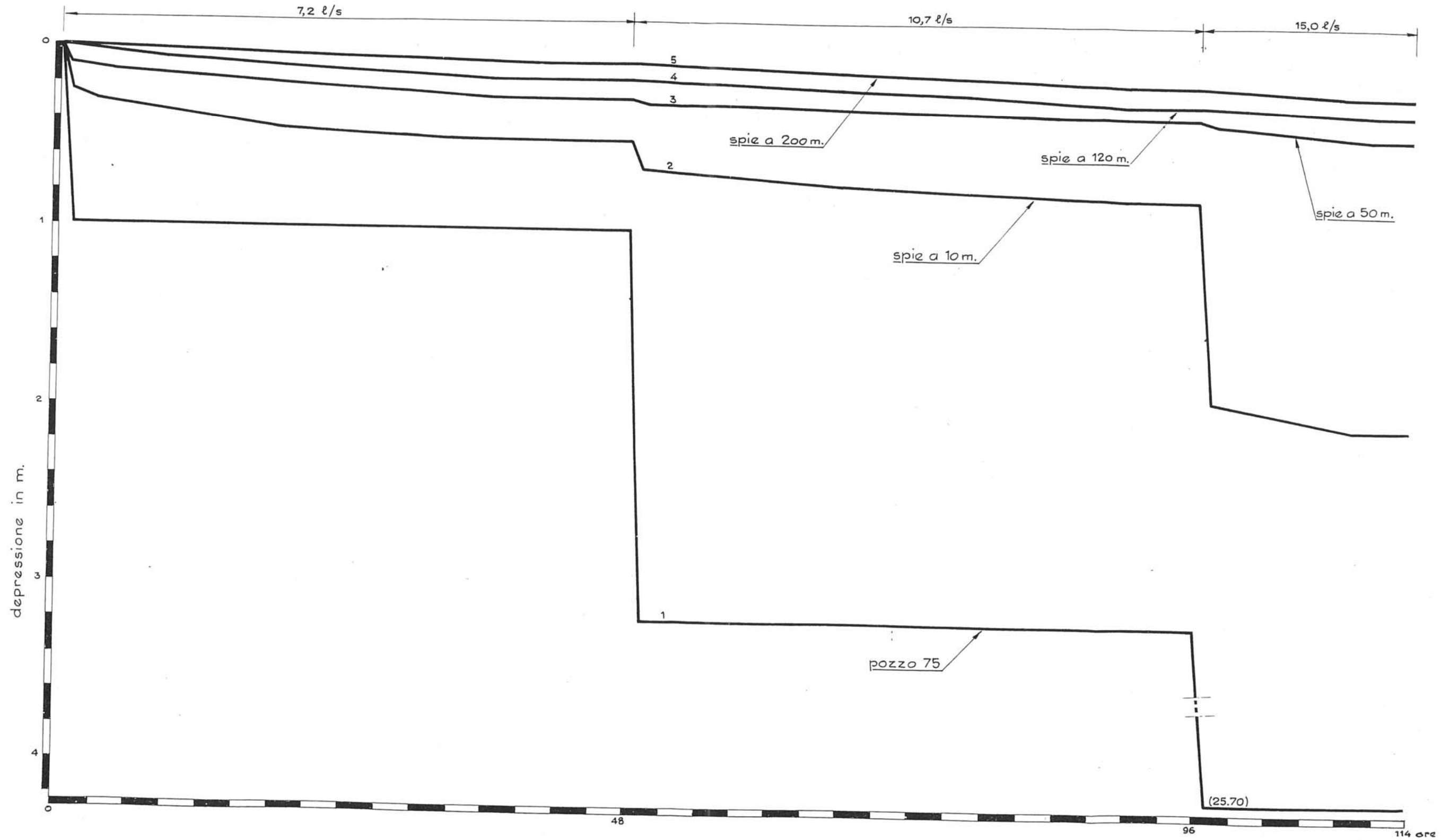
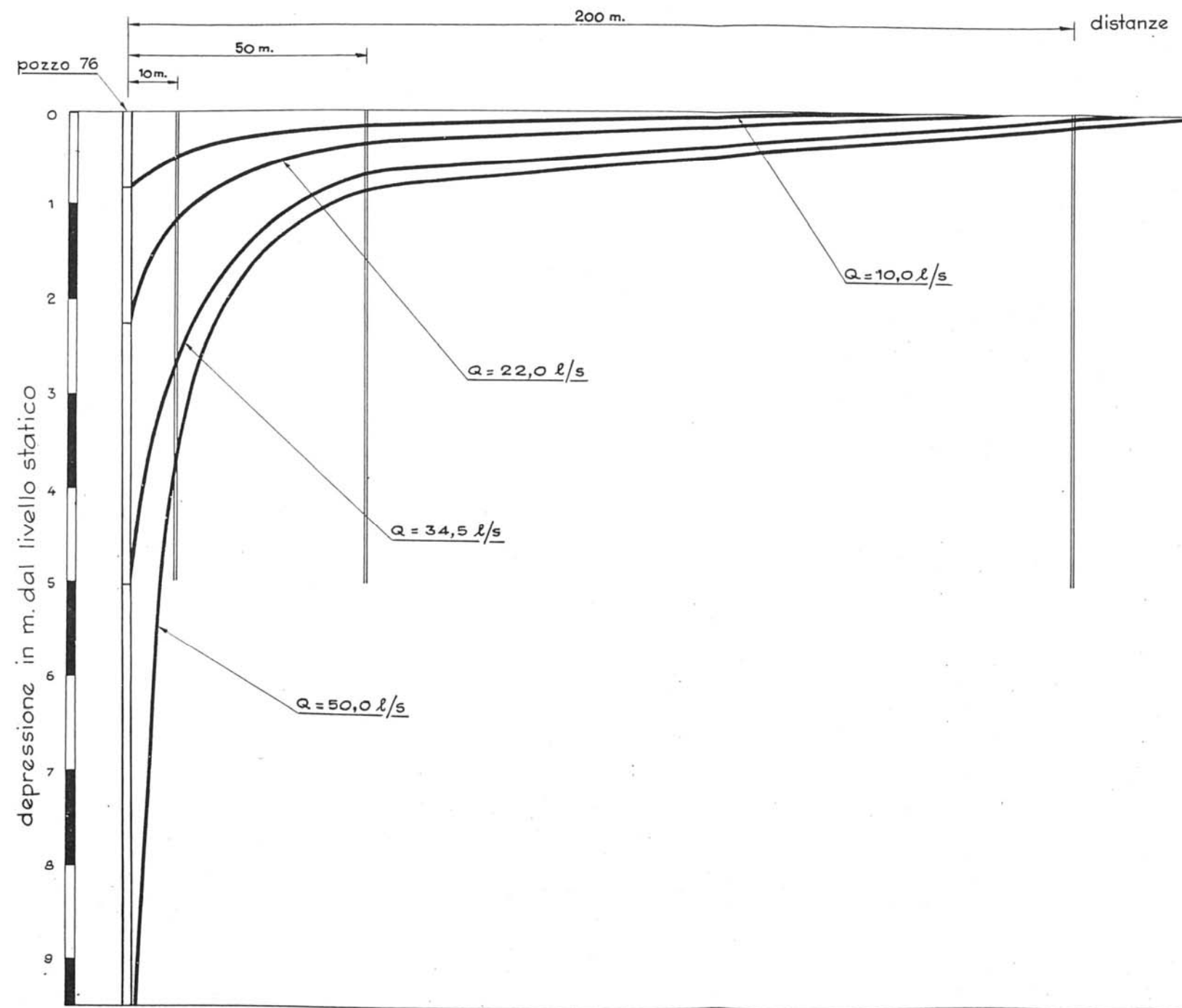


Diagramma della depressione nel pozzo di emungimento e delle depressioni medie nei tubi spia a 10: 50: 120: 200 metri di distanza  
[Prova del 27 luglio 1954 al pozzo 75]



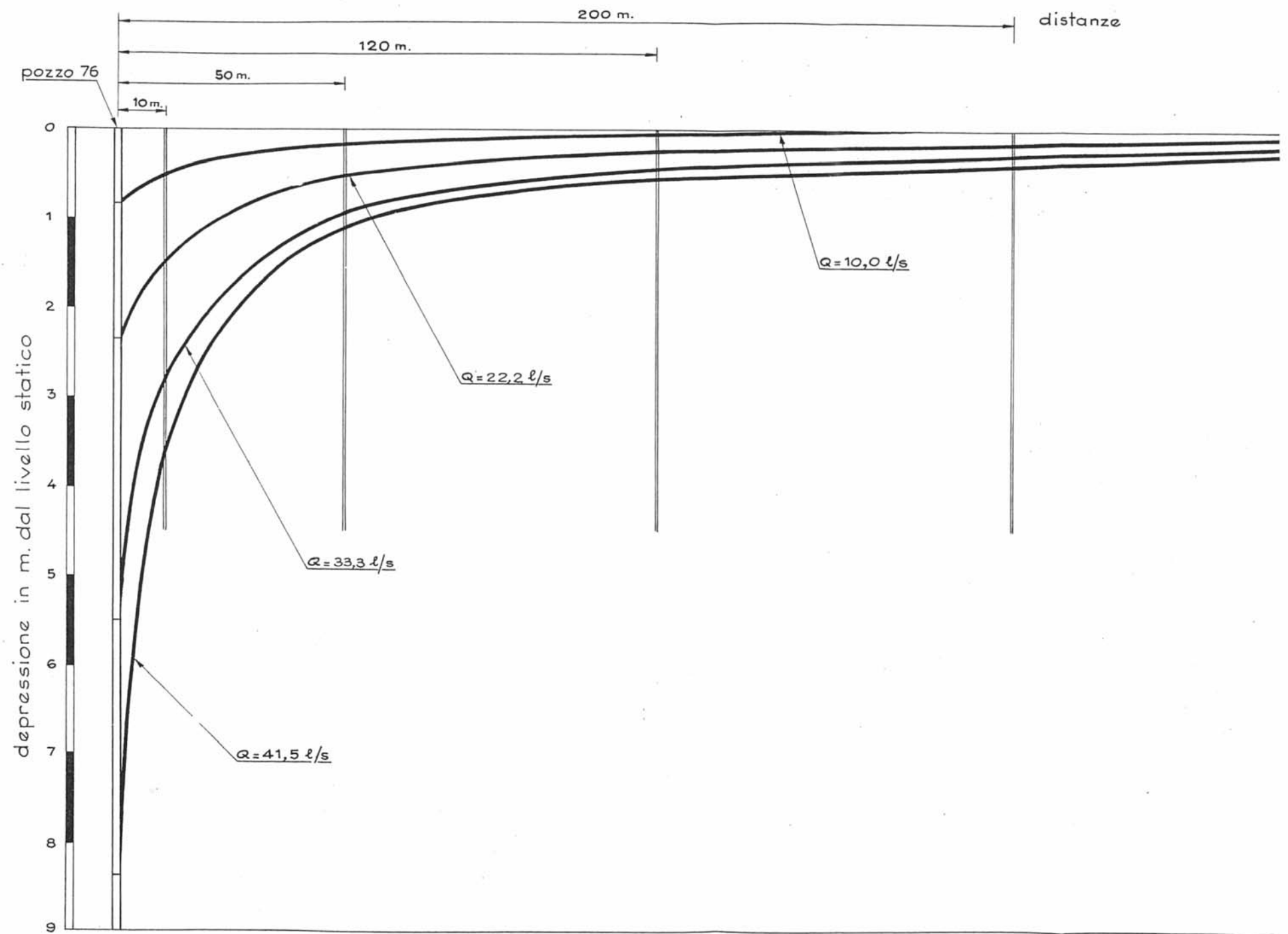
Sezione meridiana all'equilibrio per le portate  $Q = 10; 22; 34.5; 50$  l/sec.

[Prova del 20 ottobre 1953 al pozzo 76]



Sezione meridiana all'equilibrio per le portate  $Q = 10; 22.2; 33.3; 41.5$  l/sec.

[Prova dell'11 luglio 1954 al pozzo 76]





Sezione meridiana all'equilibrio per le portate  $Q = 7.2; 10.7; 15$  l/sec.

[Prova del 27 luglio 1954 al pozzo 75]

