

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE INCARICATA DI COORDINARE LA PARTECIPAZIONE ITALIANA
AL DECENNIO IDROLOGICO INTERNAZIONALE

Pubblicazione N. 1

V. COTECCHIA - G. MAGRI

IDROGEOLOGIA DEL GARGANO

Hydrogeology of the Gargano

Collana di pubblicazioni presentate dall'Italia come contributo al
Decennio Idrologico Internazionale

Collana di pubblicazioni presentate dall'Italia come contributo al
Decennio Idrologico Internazionale

Pubblicazione N. 1

P R E S E N T A T I O N

The International Hydrological Decade, which is already in its third year, was sponsored by UNESCO with the aim of promoting the development of hydrological research within the framework of international cooperation.

The Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) set up a Commission with the specific object of coordinating Italian participation. The Commission numbers among its members renowned hydrological experts and representatives of the Administrations directly involved, thus ensuring that Italy will make a significant contribution to the successful outcome of the undertaking.

It is my great pleasure to present this document, which is the first of a series of publications setting forth the original work done by our researchers, under the patronage of the CNR.

The paper deals with the hydrogeology of the Gargano promontory. It provides an answer to problems concerning ground-water circulation in dolomite-limestone rocks which have been subject to various tectonic disturbances and rendered permeable by karstification. Hence, the accent is placed on some of the most important matters to be dealt with during the International Hydrological Decade.

The work is all the more interesting because it also deals with the influence of sea waters on ground waters in the region concerned, a subject which Prof. V. Cotecchia has been studying in all its various aspects for a number of years.

Vincenzo Caglioti
President of the C.N.R.

PRESENTAZIONE

Il « Decennio Idrologico Internazionale », già al terzo anno di vita, è un'iniziativa scientifica dell'U.N.E.S.C.O. intesa a promuovere uno sviluppo della ricerca idrologica, nel quadro di una cooperazione internazionale.

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche ha costituito una apposita Commissione allo scopo di coordinare la partecipazione italiana. La presenza in tale Commissione di insigni studiosi dei problemi idrologici, nonchè dei rappresentanti delle Amministrazioni interessate assicura un contributo significativo dell'Italia al successo dell'iniziativa.

Sono pertanto lieto di presentare questa prima memoria, con la quale ha inizio la pubblicazione delle ricerche eseguite dai nostri studiosi, sotto gli auspici del C.N.R.

Essa illustra l'idrogeologia del promontorio garganico e risolve problemi riferiti ad acque sotterranee circolanti in rocce calcareo-dolomitiche, variamente tettonizzate e rese permeabili per carsismo, ponendo così l'accento su argomenti fra quelli più importanti proposti dal Decennio Idrologico Internazionale.

L'interesse del lavoro è accresciuto dal fatto che esso tratta anche l'influenza dell'acqua marina sulle falde acquifere della regione considerata, argomento che in particolare il Prof. V. Cotecchia ha da tempo preso a considerare nei suoi molteplici aspetti.

Vincenzo Caglioti
Presidente del C. N. R.

V. COTECCHIA - G. MAGRI (*)

IDROGEOLOGIA DEL GARGANO (**)

RIASSUNTO

Il promontorio garganico, nettamente separato dalle basse pianure del Tavoliere da una ben individuata linea di faglia corrente lungo il solco del T. Candellaro, forma una caratteristica unità orografica, geologica, idrografica, idrogeologica, climatica e morfologica.

Il Gargano è in grande prevalenza costituito da masse calcaree e dolomitiche del Cretacico e del Giurassico, non di rado ben stratificate, fessurate e interessate dal fenomeno di dissoluzione carsica. Tale fenomeno assume una grande importanza nel Gargano centrale e occidentale, dove si hanno estesi pianori a doline assolutamente privi di una rete idrografica superficiale; quando il carsismo è assente, numerosi sono invece i brevi corsi vallivi e le incisioni percorsi da acque torrentizie, cariche di materiali solidi, solo durante rovesci di pioggia. In ogni caso, è evidente che lo sviluppo della rete idrografica superficiale è strettamente connesso ai caratteri di permeabilità dei terreni, all'evoluzione del fenomeno carsico e alla tettonica.

Per quanto concerne i principali fattori climatici, la temperatura e le altezze di pioggia presentano forti variazioni con le stagioni e l'altitudine. Per mettere in evidenza quale influenza possono avere sull'alimentazione delle acque di falda del Gargano le precipitazioni e la temperatura insieme in funzione dell'altitudine e delle stagioni, va osservato che mentre nelle aree situate a quota inferiore all'isoipsa di m 400 durante il semestre aprile-settembre si ha un totale medio di pioggia di mm 205,7 con una temperatura media di 20,9°C, nelle aree situate a quote superiori a m 400 durante il semestre ottobre-marzo si ha un'altezza media di pioggia di mm 650,6 (tre volte superiore) con una temperatura media di 7,3°C (tre volte inferiore).

Nel Gargano, a seconda dell'altitudine e dell'esposizione e in dipendenza

(*) Prof. Ing. VINCENZO COTECCHIA, direttore dell'Istituto di Geologia Applicata all'Ingegneria dell'Università di Bari e del Laboratorio per le Applicazioni dei Radioisotopi all'Idrogeologia del CNEN.
Dott. GIORGIO MAGRI, geologo ricercatore del Laboratorio per le Applicazioni dei Radioisotopi all'Idrogeologia del CNEN.

(**) Il presente lavoro è stato stampato col contributo del C. N. R.

dei fattori climatici e dei diversi ambienti geologici e morfologici, si ha una configurazione della flora molto varia; in sintesi: boschi cedui e ad alto fusto 20% della superficie totale; pascoli e incolti 40%; seminativi 40%.

Sulla scorta dei numerosi dati raccolti (stratificazione, diagenesi, granulometria, carsismo, fratturazione, cadenti piezometriche delle acque di falda, sorgenti, idrografia superficiale, ecc.) si sono distinti i caratteri (tipo e grado) di permeabilità delle rocce. Si è riconosciuto inoltre che la distribuzione spaziale dei terreni a diverso grado di permeabilità determina, in particolari situazioni, una ripartizione dell'acqua di pioggia in acque di infiltrazione, di evaporazione e di ruscellamento nettamente diversa da quella dipendente dal grado di permeabilità intrinseco delle rocce.

Dalle osservazioni di superficie e dalle caratteristiche idrologiche dei numerosi pozzi perforati per studi e ricerche, talora raggiungenti profondità superiori a m 100 sotto il livello del mare, risulta che quasi tutta l'estensione del promontorio è occupata da una falda d'acqua (falda principale) avente come livello di base l'orizzonte marino e sostenuta, almeno per quel che è noto ai bordi del Gargano, dall'acqua di mare che invade il continente. Il luogo dei punti della falda aventi altezza piezometrica nulla non coincide però con il litorale ma si rinviene nel mare, talora a distanze considerevoli dalla costa. A causa dell'esistenza di una zona di diffusione salina tra l'acqua di mare e l'acqua dolce di falda e delle oscillazioni stagionali della superficie piezometrica, la superficie di fondo (interfaccia) della falda principale è indefinita e mobile.

Si è ritenuto interessante ed utile esaminare i dati numerici e le informazioni in possesso al fine di ricavare una valutazione anche solo indicativa dell'alimentazione della falda.

Le numerose sorgenti drenanti le acque di falda sono raggruppate lungo limitati e ben definiti tratti di costa; ciò sta a dimostrare che i deflussi a mare tendono a convogliarsi prevalentemente lungo vie d'acqua preferenziali, dove la permeabilità delle rocce in prossimità del mare è maggiore. In dipendenza dei rapporti esistenti tra le acque di falda e di mare, il regime idrologico delle sorgenti, tutte salmastre, è costante e regolare.

Nelle acque di falda e di sorgente delle differenti zone del promontorio sono stati riscontrati valori di temperatura notevolmente diversi, raggiungenti differenze massime di oltre 12°C; nelle acque di falda si sono osservate differenze di temperatura di oltre 7°C per distanze di soli 3,5 Km. Differenze di temperatura tanto considerevoli possono favorire l'istaurazione nelle acque di falda, sostenute dall'acqua di mare alla base, di moti convettivi di entità non trascurabile, che in presenza di vie d'acqua preferenziali assumono il carattere di vere « correnti », capaci di produrre mescolamenti di acqua di falda a diverso contenuto salino.

Va segnalato inoltre che nelle acque di alcuni pozzi si sono misurati forti gradienti termici (m 14-16); tale fatto, assieme alle elevate temperature osservate nelle acque di falda (26°C) e di sorgente (27°C) e alle concentrazioni fortemente anomale di Radon presenti nelle acque di alcune sorgenti, si potrebbe spiegare, in via d'ipotesi, con l'esistenza di masse magmatiche in via di raffreddamento situate a profondità relativamente modeste. L'esistenza di tali masse è segnalata da indagini geofisiche.

L'ubicazione dell'area di prevalente alimentazione e delle zone di efflusso condizionano nelle grandi linee la circolazione idrica sotterranea. In particolare, la faglia che corre lungo il T. Candelaro non costituisce un diaframma impermeabile, come si era finora presunto, fra i sedimenti quaternari del Tavoliere e i calcari del Gargano. La stessa faglia rappresenta invece una via di più facile deflusso per le acque sotterranee. Sembra inoltre che la falda principale del Gargano e quella « profonda » del Tavoliere siano in comunicazione tra loro.

Per quanto riguarda i rapporti dell'acqua di mare con le acque della falda principale il Gargano si comporta quasi come un'isola. Inoltre, in conseguenza della particolare situazione geologica esistente ai bordi del

promontorio, per la quale i terreni permeabili vengono a diretto contatto col mare solo lungo una fascia non continua e alta pochi metri, i movimenti dell'acqua di mare da e verso il continente sono costretti a prodursi per buona parte attraverso detta fascia, e principalmente lungo i tratti di essa costituiti dalle rocce più permeabili. Attraverso la medesima fascia (o poco al di sopra), ma soprattutto attraverso gli stessi tratti a rocce più permeabili, defluisce a mare buona parte delle acque di falda; ne conseguono più facili mescolamenti tra le acque di falda ed il mare.

Dai dati concernenti la composizione chimica delle acque di falda risultano in genere trascurabili i fenomeni di scambio ionico tra le acque sotterranee e le rocce che le contengono.

SUMMARY

The Gargano promontory, which is distinctly separated from the low-lying plains of the Tavoliere by a well-defined fault line along the Candelaro valley, forms a characteristic unit from the orographic, geologic, hydrographic, hydrogeologic, climatic and geomorphologic points of view.

The Gargano consists mainly of Cretaceous and Jurassic limestones and dolomites. These are not infrequently well bedded, jointed and subject to Karst phenomena. The latter assume considerable importance in the central and western part of the Gargano where the extensive doline plateaux are completely devoid of any hydrographic net. When Karst phenomena are absent, numerous short gorge-like valleys appear and these carry torrential siltladen waters only during the rains. In any case, it is quite apparent that the development of the surface drainage network is closely related not only to the permeability of the ground, but also to the evolution of Karst phenomena and to the tectonic structure.

The main climatic factors, temperature and rainfall vary appreciably with season and elevation. The combined influence exerted by rainfall and temperature — both as a function of elevation and season — on the recharge of the groundwaters of the area, can be gauged from the fact that whereas in the areas lying below the 400 m contour the average rainfall in the six-month April-September period is 205.7 mm with an average temperature of 20.9°C, in the six-month period October-March average rainfall and temperature for the parts above 400 m are 650.6 mm and 7.3°C respectively. It will be seen that in the latter case rainfall is three times higher and temperature three times lower than the former.

In the Gargano the distribution of the flora varies considerably, not only in sympathy with elevation and exposition, but also in relation to the climatic, geological and topographic factors. Essentially, 20% of the area is covered by coppices and forests, 40% by uncultivated or pasture lands, and the remaining 40% by crops.

The type and degree of the permeability of the rocks have been determined on the basis of the numerous data collected (stratification, diagenesis, grain-size distribution, Karst phenomena, jointing, piezometric gradients of the groundwaters, springs, surface hydrography, etc.). It has also been recognised that in certain situations the division of rainwater into infiltration water, evaporation water and runoff water is governed by the spatial distribution of ground having different degrees of permeability rather than by what might be expected if only the inherent degree of permeability of the rocks was involved.

Observations of surface conditions and a study of the hydrological characteristics of the numerous exploratory wells drilled (some of which have penetrated to over 100 m below sea level) indicate that an aquifer (the main aquifer) occurs throughout almost the whole of the promontory. The lower side of this aquifer is at sea level, and around most of the Gargano it lies above an intruded wedge of sea water. The points where the piezometric heights of the water table are nil do not however coincide with the coastline but are located out to sea, sometimes at considerable distances from the shore, and because of diffusion which occurs between the sea water and the fresh ground waters, and the seasonal fluctuations of the piezometric surface, the aquifer seawater interface is indefinite and mobile.

It has been thought worthwhile to examine the numerical data and information available so as to make an assessment — even if only a tentative one — of ground water recharge.

As the numerous springs draining the ground waters are grouped along short and well-defined parts of coast, it would appear that the seaward flow of waters tends to take place mainly along preferential waterways where the permeability of the coastal rocks is greatest. Because of the relationships existing between the ground waters and the sea waters, the hydraulic regime of the springs — all of which are brackish — is constant and regular.

Very marked differences in temperatures have been encountered in the ground waters and springs in different parts of the promontory, the maximum differences exceeding 12°C. In the ground waters, temperature differences of over 7°C were observed over distances of no more than 3.5 km. It may well be that where the aquifer overlies a salt water wedge, temperature differences of this magnitude result in there being considerable convection, which in the presence of preferential waterways produces true « currents » capable of producing mixtures of ground waters of varying degrees of salinity.

It should also be noted that very considerable temperature gradients (14-16 m) have been measured in the waters of a number of wells. This fact, together with the high temperatures observed in the aquifer (26°C) and spring waters (27°C), coupled with the very anomalous concentration of Radon present in some spring waters, could be explained theoretically by assuming the existence of relatively shallow-seated magmatic masses still in the cooling-down stage. In fact geophysical investigations have indicated the possibility of such masses existing.

The broad lines of ground water circulation are determined by the location of the main recharge area and outflow zones. It is particularly noted that the fault which runs along the Candelaro river does not constitute an impermeable diaphragm between the Quaternary sediments of the Tavoliere and the limestones of the Gargano as has been previously supposed. On the contrary, the fault represents one of the easiest lines of flow for the ground waters. It also seems that the main aquifer in the Gargano and the « deep » aquifer in the Tavoliere are interconnected.

As far as the relationship between the sea waters and the waters of the main aquifer is concerned, the Gargano behaves almost like an island. Furthermore, because of the particular geological situation around the edges of the promontory, permeable ground is only in direct contact with the sea along a discontinuous strip a few meters thick. Hence the movement of the sea waters to and from the land mass must, to a large extent, occur through that strip; and mainly along those stretches consisting of the most permeable rocks. An appreciable part of the ground waters flow to the sea through this strip (or a little above it), but especially through the same stretches of more permeable rock. This factor naturally facilitates the mixing of ground waters and sea waters.

The data on the chemical composition of the waters in the aquifer would seem to indicate that negligible ion exchange occurs between the ground waters and the host rocks.

1. PREMESSA

Il Gargano rappresenta a tutt'oggi una regione ancora poco conosciuta sotto l'aspetto idrogeologico e in buona parte anche sotto l'aspetto geologico-strutturale. Constatato quindi, durante studi e sperimentazioni idrogeologiche in corso nell'intera regione pugliese, l'interesse scientifico e pratico di particolari aspetti connessi alla presenza di acque sotterranee nelle rocce del promontorio garganico, gli Autori hanno ravvisato l'opportunità di fornire col presente studio, sulla base degli elementi a tutt'oggi raccolti e delle conoscenze maturate, un inquadramento idrogeologico generale.

Riferito ad una vasta e talora aspra regione, ove l'approvvigionamento di acqua — derivante da una esigua rete di condotte diramantisi dall'Acquedotto del Sele — è diretto soltanto e in misura insufficiente ai principali centri abitati, questo studio riveste anche non trascurabili e attuali finalità pratiche, in quanto lo sviluppo di una così affascinante regione è essenzialmente condizionato da un più largo e diffuso approvvigionamento idrico. Questo, nelle condizioni attuali, non può che trarre alimento da risorse locali, tant'è vero che a più riprese l'Ente Irrigazione di Puglia e Lucania, l'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese, il Consorzio di Bonifica di Capitanata, il Consorzio di Bonifica Montana e infine l'ENI hanno, con fondi Cassa per il Mezzogiorno, provveduto nei recenti anni all'esecuzione di numerosi pozzi per i fabbisogni più urgenti.

I rilevamenti e gli studi in parola sono stati svolti principalmente dal *Laboratorio per le Applicazioni dei Radioisotopi all'Idrogeologia* del CNEN. Al termine di detti studi ci si è anche avvalsi dell'appoggio del *Consiglio Nazionale delle Ricerche*, in sede di attuazione del *Programma di Ricerca Scientifica per l'Approvvigionamento Idrico*, entro il cui ambito all'*Istituto di Geologia Applicata all'Ingegneria* dell'Università di Bari è stata affidata l'attuazione di un progetto di ricerche sulle acque sotterranee della Puglia.

Il presente studio rappresenta anche, come il *Programma italiano* prevede, uno dei contributi all'attuazione del *Decennio Idrologico Internazionale* dell'UNESCO. Esso costituisce infatti un valido esempio di impostazione di ricerche acquifere sotterranee nei complessi calcareo-dolomitici mesozoici del bacino del Mediterraneo.

Lo studio in parola è lungi dal potersi ritenere esauriente; non di rado infatti gli elementi disponibili sono apparsi del tutto insufficienti per spiegare taluni importanti fenomeni. Tuttavia l'inquadramento generale che qui viene fornito rappresenta il necessario punto di partenza per la risoluzione particolareggiata di specifici problemi, come quelli riguardanti i rapporti tra la falda contenuta nelle masse calcaree del Gargano e quella superficiale contenuta nei depositi della vasta piana alluvionale del Tavoliere, le frequenti variazioni di temperatura dell'acqua di falda, i forti gradienti geotermici, i rapporti dell'acqua di falda con quella di mare.

Posto in rilievo l'indispensabile ruolo delle conoscenze geologiche e idrogeologiche di base, gli studi proseguono attualmente, in sede di attuazione delle summenzionate ricerche programmate per la Puglia e finanziate dal C.N.R., sotto profili più particolareggiati; avvalendosi, quando è il caso, dell'impiego di sostanze traccianti radioattive e stabili e di sonde a radio-

isotopi, si effettuano in particolare misure di velocità dei deflussi sotterranei in pozzi, misure di portata di polle e sorgenti costiere, determinazioni del contenuto in Radon delle acque di sorgente, ecc.

Tutto ciò allo scopo di guadagnare ad un Paese assetato una cospicua risorsa acquifera, che oggi si disperde per la massima parte a mare.

2. CENNI GEOLOGICI

2. 1. Quaternario

I terreni quaternari sono rappresentati da spiagge attuali, lidi e dune recenti, depositi alluvionali attuali e recenti, detriti di falda, depositi eluviali e colluviali e depositi costieri terrazzati (tav. I b).

a) SPIAGGE ATTUALI. — Sono sabbiose o ghiaiose e generalmente di estensione limitata; si rinvengono nelle zone di Siponto - Manfredonia, di Rodi - San Menaio e nelle insenature che frastagliano le coste del Gargano orientale.

b) LIDI. — Sono rappresentati da lunghe strisce di sabbia, denominate « Isole », che separano dal mare i laghi di Varano e di Lésina, specchi d'acqua costieri poco profondi.

c) DUNE RECENTI. — Si osservano alcuni cordoni a poche centinaia di metri dal mare, lungo il tratto di costa compreso tra Peschici e Vieste.

d) DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI E RECENTI. — Sono costituiti in prevalenza da ciottoli calcarei subarrotondati, spesso frammisti a terre rosse residuali e a detriti di falda mal cementati. Tali terreni si rinvengono nelle valli che sfociano nel mare tra S. Menaio e Mattinata, nei pressi di Carpino e nel pianoro estendentesi al piede della parete di faglia che corre a nord di Manfredonia, all'incirca da Rignano G. a Punta Rossa. In quest'ultima zona il materiale alluvionale è stato trasportato ed abbandonato nel pianoro dalle acque incanalate nei ripidi valloni solcanti la parete di faglia, durante i periodi di forte piovosità.

e) DETRITI DI FALDA. — Sono costituiti da elementi calcarei di dimensioni molto variabili ed a spigoli vivi o smussati, inglobati da materiali semi-coerenti tufaceo-terrosi più o meno abbondanti, a volte impastati con terre rosse residuali. La formazione, sempre di potenza piuttosto ridotta, si rinviene addossata al piede delle pareti di faglia e lungo i fianchi delle valli più incise.

f) DEPOSITI ELUVIALI E COLLUVIALI. — Sono costituiti da ciottoli di calcare e talora di selce inglobati in sabbioni calcareo-terrosi e in terre rosse residuali. La potenza dei depositi eluviali è spesso molto ridotta, onde tali terreni sono difficilmente delimitabili; ben più potenti sono invece i depositi colluviali

che occupano il fondo di numerosissime doline e di grandi depressioni di origine tettonica (Impagnatiello, Piano S. Martino, Spianata Giovanni, Valle Cerasaldi, Piano Incudine, Piano S. Maria, Piano S. Egidio (fig. 23), Piano Mezzanella, Campolato (fig. 22), Cotennerosse, ecc.).

g) DEPOSITI COSTIERI TERRAZZATI. — Affiorano estesamente fra Manfredonia e Punta Rossa e ad est di Vieste; si osservano anche in lembi di estensione limitata lungo la costa tra Mattinata e Testa del Gargano e nella regione di Peschici. Sono costituiti da conglomerati talora ben cementati, tal'altra incoerenti, ad elementi prevalentemente calcarei, spesso arrotondati, raramente a spigoli smussati, di dimensioni molto variabili. Il cemento è limoso, sabbioso o arenaceo, talvolta rossastro per inclusioni di terre rosse residuali. Ai conglomerati si alternano strati, livelli e lenti di arenarie tenere giallastre, inglobanti ciottoli calcarei subarrotondati raggiungenti al massimo le dimensioni di un decimetro. Ai conglomerati si alternano anche rari livelli limosi. La stratificazione è irregolare e mai netta.

Non si rinvencono macrofossili; le microfaune contengono frammenti di Gasteropodi e di Lamellibranchi, piccoli Gasteropodi e rari Foraminiferi (*Rotalia* sp.).

I depositi terrazzati affioranti tra Manfredonia e Punta Rossa formano lungo la costa una ripida scarpata (figg. 1 e 2), che si innalza progressivamente sul l. m. procedendo da SO (m 2 ÷ 3) verso NE (m 50 ÷ 60). Allontanandosi dal mare, in prossimità della ripida parete di faglia che con direzione E-O corre a nord di Manfredonia, i depositi terrazzati sono mascherati da depositi alluvionali e da detriti di falda; non è possibile pertanto individuare l'antica linea di costa, che doveva correre a m 100 ÷ 120 sull'attuale orizzonte marino.

Al margine del Gargano occidentale affiorano i sedimenti quaternari del Tavoliere di Foggia: argille, argille sabbiose, sabbie e conglomerati.

2. 2. Miocene

I terreni miocenici sono rappresentati da arenarie calcaree tenere giallastre, generalmente a scarso cemento calcareo e a struttura tufacea, e subordinatamente da arenarie calcaree tenere grigie a cemento argilloso-limoso con rare intercalazioni di argille siltose giallastre; affiorano ai margini occidentali del promontorio e nella conca dell'antico bacino di S. Egidio (tav. I b). Tali sedimenti, attribuibili in base alle microfaune al Miocene medio, sono ovunque direttamente trasgressivi sui calcari mesozoici. Durante tutto il Paleogene e per parte del Miocene si ebbe quindi nel Gargano occidentale una generale lacuna stratigrafica.

Dopo la sedimentazione dei terreni miocenici e prima della sedimentazione dei depositi quaternari, intense dislocazioni tettoniche per faglie condussero al sollevamento della regione e donarono alla stessa l'attuale configurazione topografica. A partire quindi dalla fine del Miocene la quasi totalità delle rocce attualmente affioranti al Gargano rimase emersa sino ai giorni nostri. Si spiega così come l'intensa erosione conseguente ai sollevamenti abbia potuto asportare per la massima parte i sedimenti miocenici



Fig. 1 — Un tratto di costa in depositi costieri terrazzati, a NE di Manfredonia: è evidente che il mare sta compiendo essenzialmente un lavoro di erosione.



Fig. 2 — Scarpata in depositi costieri terrazzati, tra Manfredonia e Punta Rossa.

che, a giudicare dalla posizione occupata dall'affioramento del bacino di S. Egidio, dovevano avere una estensione rilevante.

2. 3. Eocene

I sedimenti eocenici affiorano al margine del Gargano orientale: alla Punta Rossa (a sud di Mattinata) e tra Monte Pucci (a ovest di Peschici) e Vieste (tav. I b). I termini trasgressivi della formazione, riposante quasi in concordanza sui calcari cretacici tra Monte Pucci e Vieste e in netta discordanza alla Punta Rossa, sono rappresentati da arenarie calcaree grigiastre a Nummulitidi e da breccie ad elementi di calcari organogeni bianchi e vacuolari. Le dimensioni di detti elementi diminuiscono rapidamente procedendo dal basso verso l'alto. La potenza dei termini trasgressivi varia generalmente da 5 a 10 metri. La trasgressione è magnificamente osservabile nelle cave situate sulla sinistra della strada che da Vieste conduce verso Peschici, appena fuori dell'abitato di Vieste (fig. 3).

Sui termini trasgressivi si ha un calcare arenaceo a stratificazione irregolare, non netta e mai fitta (fig. 4). Il calcare arenaceo è bianco se fresco, giallastro quando alterato.

La formazione, localmente potente fino a circa m 300, non è litologicamente uniforme; il calcare arenaceo varia infatti di grana e a volte fa addirittura passaggio a calcari detritici, a calcari organogeni brecciati, a calcari a grana medio-fina, ecc.

Nel calcare arenaceo a zone sterili si alternano zone riccamente fossilifere a Nummuliti e Discocicline. Le faune permettono di attribuire i terreni sopra descritti all'Eocene inferiore e medio.

La formazione si presenta spesso fessurata; le fessure sono prevalentemente subverticali (fig. 5). I fenomeni carsici sono scarsamente sviluppati, i terreni residuali praticamente assenti.

2. 4. Cretacico

Il promontorio garganico è costituito in grande prevalenza da rocce cretaciche (tav. I b); tuttavia, mentre i calcari del Cretacico inferiore occupano una grande estensione, i termini del Cretacico superiore sono invece limitati ai margini meridionali (a sud di S. Giovanni Rotondo e di Monte S. Angelo) e nord-orientali (a nord della linea Vieste-Ischitella).

Il fatto sta a significare che il Gargano era per buona parte emerso già nel Cretacico superiore.

Carattere comune ai calcari della regione è la preminente facies di scogliera, sia quando si presentano irregolarmente stratificati con faune a Corallari e Rudiste, sia quando si mostrano a grana fina e ben stratificati. Si possono così distinguere facies di retroscogliera (nelle zone centro-occidentali del promontorio), facies bioermali di scogliera propriamente detta (lungo una fascia estendentesi a sud della linea Testa del Gargano-Carpino, fascia comprendente peraltro terreni di età precretacica) e fascie di avanscogliera (a NE di detta fascia). Ancora più a NE, a nord della linea Vieste-



Fig. 3 — Breccie calcaree eoceniche (in alto) trasgressive sul calcareo cretaceo (in basso), alla cava situata a circa m 500 a SO di Vieste.



Fig. 4 — Calcarea arenacea biancastro eocenica, a stratificazione non netta e irregolare, affiorante a circa Km 1,5 a SO di Peschici.



Fig. 5 — Fratture subverticali nel calcare arenaceo dell'Eocene, permeabile per fessurazione, affiorante in una cava situata a circa Km 1,5 a SO di Peschici.



Fig. 6 — Calcari nocciola a grana fina del Cretacico superiore, permeabili per fessurazione, affioranti a sud di S. Giovanni Rotondo.

Ischitella, affiorano in prevalenza sedimenti cretacici in facies di mare aperto (calcarei a grana finissima con intercalazioni marnose) (1).

I fenomeni carsici hanno quasi sempre ampio sviluppo nei calcari infracretacici (se si escludono i calcari bianchi a grana fina con selci, tipo « maiolica »); gli stessi fenomeni sono di regola invece molto meno frequenti o addirittura assenti nei calcari del Cretacico superiore.

Tra i terreni cretacici si sono distinti:

- calcari organogeni bianchi e calcari detritici (Cretacico sup.);
- calcari nocciola a grana finissima (Cretacico sup.);
- calcari bianchi a grana fina (Cretacico sup. e inf.);
- dolomie e calcari dolomitici grigi (Cretacico inf.);
- calcari bianchi o rosati a grana fina e dolomie grigiastre (Cretacico inf.).

a) **CALCARI ORGANOGNI BIANCHI E CALCARI DETRITICI.** — Nelle zone di Vico del Gargano-Ischitella e di Manfredonia-Monte S. Angelo affiorano in prevalenza calcari organogeni bianchi, ceroidi, vacuolari, fossiliferi (Rudiste, Gasteropodi, Corallari, ecc.), talora brecciati e pseudoolitici e subordinatamente calcari detritici grigi, calcari arenacei, brecce calcaree. La stratificazione è irregolare e spesso non netta.

Nella zona di Vico del Gargano-Ischitella la formazione sovrasta in concordanza ai calcari bianchi a grana fina con intercalazioni marnose del Cretacico superiore.

Nella zona di Manfredonia-Monte S. Angelo si osserva il passaggio per alternanze ai sottostanti calcari bianchi e rosati a grana fina infracretacici del Gargano occidentale e ai sovrastanti calcari bianchi a grana medio-grossa, friabili e fossiliferi affioranti a sud di Monte S. Angelo. Nella stessa zona i fenomeni carsici superficiali sono poco sviluppati (assenza di doline, di terre rosse residuali nelle fratture e nei giunti di stratificazione, ecc.); numerose sono invece le grotte, fra le quali meritano di essere ricordate quelle della Scalogna (o Scaloria) e di Occhiopinto, situate ai lati della rotabile Manfredonia-Ruggiano e sedi di stazioni preistoriche.

Si attribuisce la formazione al Cretacico superiore per la presenza di Ippuritidi.

b) **CALCARI NOCCIOLA A GRANA FINISSIMA.** — Affiorano a sud di S. Marco in Lamis-S. Giovanni Rotondo. I termini basali, trasgressivi su calcari del Cretacico inferiore, sono rappresentati da conglomerati di potenza molto variabile, ad elementi calcarei e a cemento marnoso. Seguono verso l'alto calcari nocciola e grigio-biancastri, a grana finissima, a frattura subconcoide, ben stratificati (fig. 6). Non si rinvencono macrofossili; i dati in possesso (micro-

(1) Durante la stampa del presente lavoro è apparso uno studio di M. MANFREDINI [12], secondo il quale « i caratteri geologici osservabili nel promontorio del Gargano sono simili a quelli riscontrati nella zona di transizione fra la facies abruzzese e umbra ». Lo stesso autore precisa inoltre che « sul bordo nordorientale della penisola garganica affiora una serie pelagica in massima parte simile alla serie di facies umbra; nel Gargano sudoccidentale affiora invece la serie di facies abruzzese ».

In realtà, se da un lato esiste qualche similitudine tra la serie pelagica del promontorio e quella umbra, dall'altro lato esistono anche discordanze di rilievo. Per esempio, non affiora nelle regioni nord-orientali del Gargano « un orizzonte di marne e marne argillose identificabili con le marne a fucoidi della facies umbra ».

Per quanto riguarda il bordo meridionale della miogeosinclinale umbra, che interesserebbe le regioni nord-orientali del promontorio, è da rilevare che i calcari tipo « scaglia » e « maiolica » sono presenti anche all'estremità occidentale del Gargano, e precisamente, come si dirà più avanti, nei pressi di Apricina, ad occidente dei calcari in facies abruzzese del promontorio.

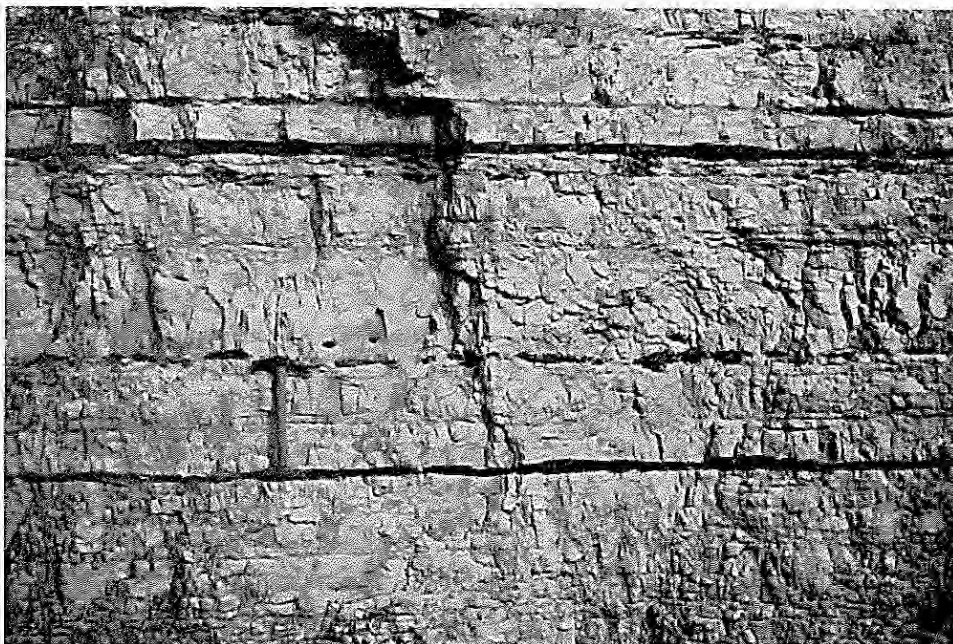


Fig. 7 — Calcari bianchi a grana fina con straterelli di selce, sulla Strada Statale fra Vieste e Mattinata.



Fig. 8 — Calcari bianchi a grana fina con selci, sulla Strada Statale fra Peschici e Vieste; in questo punto la roccia è praticamente impermeabile.

faune, posizione stratigrafica e analogia litologica) permettono di attribuire la formazione al Cretacico superiore [11].

c) **CALCARI BIANCHI A GRANA FINA.** — Calcari bianchi o giallicci, a grana fina o finissima, a volte leggermente marnosi, fittamente stratificati, anche se a stratificazione non sempre netta, in superficie polverulenti quando alterati ad opera degli atmosferici, a frattura subconcoide. Si osservano frequentemente straterelli, liste e noduli globulari, lenticolari e sferoidali di selce (formazione tipo « maiolica » - figg. 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 21, 31 e 33).

I fenomeni carsici sono del tutto subordinati, praticamente assenti. Frequenti le macchiette e le dentriti di manganese.

I caratteri litologici sopradescritti sono quelli fondamentali e comuni a tutta la formazione, che occupa la maggior parte del Gargano orientale. Si osservano tuttavia numerose e notevoli variazioni litologiche, sia verticali che laterali. Ad esempio, nella zona compresa tra Rodi Garganico e Vieste si intercalano non di rado straterelli di marne bianche o verdoline, di calcari marnosi e di marne e calcari marnosi silicizzati. Quando la porzione marnosa è abbondante, calcari tipo « scaglia », la stratificazione diventa più netta e regolare (fig. 13). In questa zona la formazione, per essere fittamente stratificata e nel complesso piuttosto plastica, ha reagito alle sollecitazioni prevalentemente con pieghe e pieghe-faglie. Nelle altre regioni, dove sono assenti le intercalazioni marnose, il calcare è interessato da numerose faglie dirette a modestissimo rigetto verticale e localmente si presenta intensamente fratturato in prismi di piccole dimensioni, sull'ordine del decimetro (figg. 9 e 10).

Nella parte più alta della formazione, come ben si può osservare nei pressi di Vieste al di sotto della trasgressione eocenica, la grana dei calcari si fa più grossa, la stratificazione si fa meno fitta e la selce viene a mancare. Alla parte alta della formazione appartengono appunto i calcari affioranti a sud di Monte S. Angelo. Si osservano infatti qui calcari bianchi e giallicci a grana medio-grossa, a stratificazione non netta ed irregolare, friabili, polverulenti sulle fratture, a volte riccamente fossiliferi (fig. 14). Frequenti i frammenti di gusci e i modelli interni con impronte di Gasteropodi, Rudiste, Echinidi, ecc. Ai termini descritti si alternano con passaggio graduale orizzonti di calcari bianchi a grana fina, fittamente stratificati, litologicamente del tutto simili a quelli affioranti nelle regioni orientali del promontorio.

La formazione affiorante a sud di Monte S. Angelo passa gradualmente verso il basso ai calcari bianchi organogeni di Manfredonia - Monte S. Angelo, terreni pure con faune del Cretacico superiore. La stessa formazione si rinviene in esigui lembi nei pressi di Apricena, dove si intercalano anche calcari detritici (Mass.a del Campo) e a grana fina (Mass.a S. Giovanni in Pane e Apricena) e, sporadicamente, straterelli di marne (pozzi n. 45 e n. 47 - tav. II).

In alcune zone, in particolare nella regione di Testa del Gargano, non di rado si osservano, nei calcari bianchi a grana fina fittamente stratificati, orizzonti a *slumping*: fenomeni di slittamenti singenetici indicanti in genere movimenti del substrato durante la sedimentazione (figg. 11 e 12). Nella stessa regione sono abbastanza frequenti i fenomeni di dolomitizzazione secondaria.



Fig. 9 — Calcari bianchi a grana fina con selci, permeabili per fessurazione, affioranti a Testa del Gargano.



Fig. 10 — Calcari bianchi a grana fina con selci, intensamente fratturati e fittamente stratificati (permeabili per fessurazione), affioranti a Testa del Gargano.



Fig. 11 — Fenomeni di «slumping» nei calcari bianchi a grana fina con selci di Testa del Gargano.

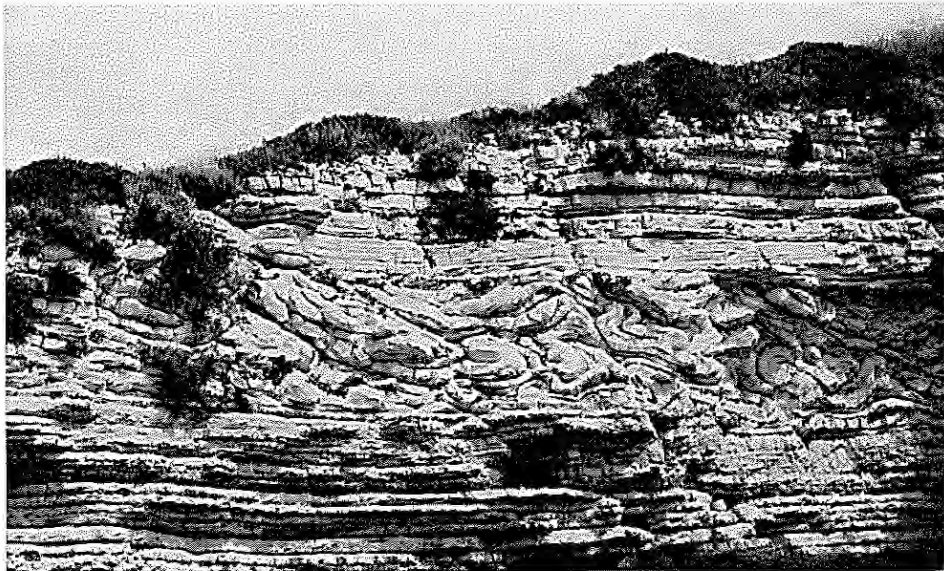


Fig. 12 — Orizzonte a «slumping» nei calcari bianchi a grana fina con selci di Testa del Gargano.

L'età della formazione è comprensiva di tutto il Cretacico. Sono state rinvenute infatti faune del Neocomiano a sud di Vieste, del Turoniano a Vieste, del Senoniano a nord di Vico del Gargano e a sud di Monte S. Angelo.

d) DOLOMIE E CALCARI DOLOMITICI GRIGI. — Sono a grana media, compatti, irregolarmente stratificati in banchi di potenza variabile da m 0,5 a m 2 e più, con noduli, liste e straterelli di selce (fig. 15), non di rado brecciati e includenti frequenti frammenti angolosi di selce (fig. 16), sovente fessurati, in superficie spesso alterati ad opera degli atmosferici (vacuoli, lapiez a scanellature, fessure allargate per dissoluzione, ecc. - fig. 17), con terra rossa fra i piani di stratificazione e nelle fratture.

La formazione sovrasta ai terreni del Giurassico superiore e fa graduale passaggio verso l'alto ai calcari bianchi a grana fina. Al passaggio con questi ultimi non sono infrequenti variazioni verticali e laterali di facies dall'uno all'altro tipo litologico.

I calcari dolomitici grigi affioranti tra Monte Iacotenente e Testa del Gargano formano una piega anticlinale poco pronunciata, con asse diretto all'incirca SO-NE immergentesi verso NE. In corrispondenza della zona di cerniera si sono impostate la Valle di Grotta Gualano e la Valle Puzillo; l'erosione che ha portato a giorno lungo le valli i calcari dolomitici grigi sottostanti ai calcari bianchi a grana fina, offre qui un tipico esempio di inversione del rilievo.

Nei calcari dolomitici grigi non si rinvengono faune che consentano una precisa datazione; poichè fanno passaggio graduale verso l'alto ai calcari bianchi a grana fina che nella zona contengono microfaune del Neocomiano, si attribuiscono i calcari dolomitici grigi pure al Neocomiano, senza peraltro escludere che possano in parte appartenere al Giurassico superiore.

e) CALCARI BIANCHI O ROSATI. — A grana medio-fina, a frattura sub-concoide, scheggiosi, ben stratificati, compatti, fossiliferi, spesso fratturati, a volte oolitici, pseudoolitici, detritici o brecciati.

Nelle regioni di S. Marco in Lamis e di Sannicandro si osserva il passaggio a dolomie grigiastre e a calcari dolomitici biancastri subcristallini.

La formazione mostra sovente di aver subito intensi fenomeni di erosione per dissoluzione; all'affioramento la roccia si presenta infatti spesso vacuolare, con lapiez a scanellature, con giunti di stratificazione e fessure allargati per dissoluzione e riempiti di terreno residuale (figg. 18, 19, 25, 27, 28 e 35).

Nella formazione, che sovrasta verso est i terreni del Giurassico superiore ed occupa per la massima parte le regioni occidentali del Gargano, si rinvengono macrofossili (Chamidi, Caprinidi, ecc.) che permettono l'attribuzione al Cretacico inferiore. Nelle aree prossime alla fascia di terreni giurassici si rinvengono però microfaune del Giurassico superiore (*Trocholina elongata*, *T. alpina*, ecc.).

2. 5. Giurassico

CALCARI ORGANOGENI, CALCARI DOLOMITICI E DOLOMIE. — Tali terreni, biancastri o rosati, spesso subcristallini e vacuolari, massicci o a stratificazione irregolare



Fig. 13 — Calcari bianchi a grana fina con interstrati marnosi, praticamente impermeabili, affioranti a nord di Vico del Gargano.

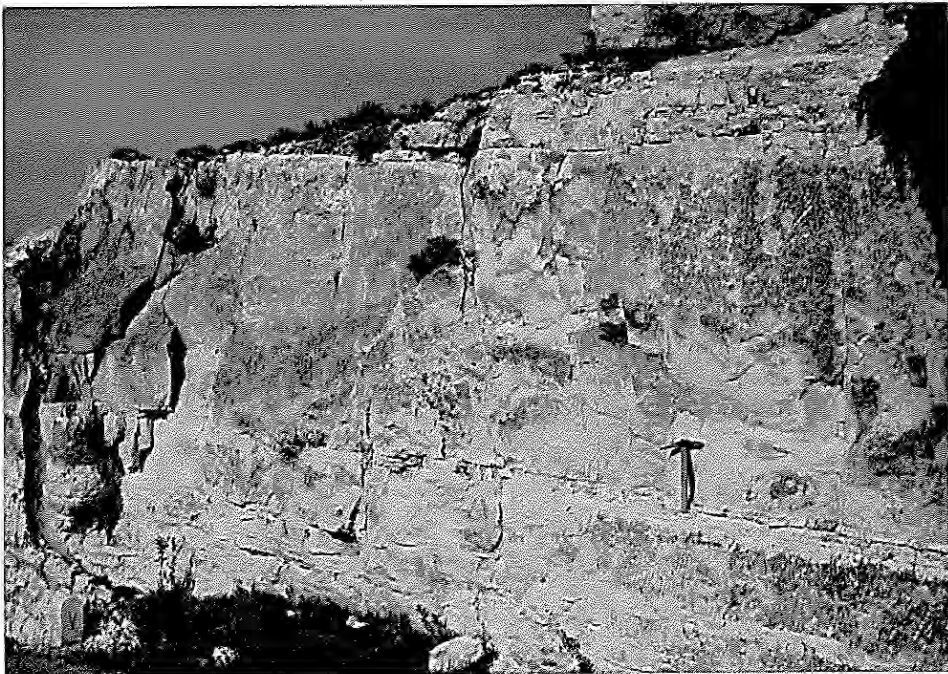


Fig. 14 — Calcari bianchi a grana medio-grossa, friabili, irregolarmente stratificati, affioranti a ESE di Monte S. Angelo.



Fig. 15 — Calcari dolomitici grigi con selci affioranti sulla Strada Statale fra Vieste e Mattinata; rocce a permeabilità mista per fessurazione e carsismo.



Fig. 16 — Breccia includente frammenti angolosi di selce nei calcari dolomitici grigi di Testa del Gargano.

in grossi banchi, occupano una fascia larga mediamente Km 5 che va dal Monte Sacro al lago di Varano (tav. I b).

I fenomeni di erosione per dissoluzione sono frequentissimi (fig. 34) ed abbondante è la terra rossa nelle fratture e nei piani di stratificazione.

Nella formazione si rinvencono, tra gli altri fossili, degli Ellipsactinidi che permettono l'attribuzione al Giurassico superiore.

2. 6. Triassico

I terreni triassici, limitati ad un esiguo affioramento alla punta delle Pietre Nere (lago di Lésina - tav. I b), sono rappresentati da calcari marnosi neri fossiliferi con gessi più o meno bituminosi⁽²⁾; l'attuale giacitura di detti sedimenti è dovuta a « intrusione diapirica » dei gessi in una faglia profonda [4, 14]. Associati ai calcari marnosi e ai gessi si rinvencono rocce ignee basiche [1, 3, 4]⁽³⁾.

2. 7. Tettonica

Le attuali conoscenze sulla stratigrafia del Gargano, riassunte nelle pagine precedenti, permettono di ricostruire nelle grandi linee l'evoluzione delle vicende tettoniche subite dal promontorio e dalle sue zone limitrofe.

I terreni del Cretacico superiore affiorano ai margini meridionali ed orientali del Gargano. Il fatto non è da imputare a fenomeni erosivi conseguenti a sollevamenti post-cretacici ma piuttosto all'emersione della maggior parte della regione, verificatasi verso la fine del Cretacico inferiore. E' infatti probabile che durante il Cretacico, in seguito a lenti sollevamenti, la linea di costa si andasse progressivamente spostando verso il margine del promontorio, di talchè alla fine del Cretacico si aveva la completa emersione delle assise calcaree oggi affioranti. Ciò è dimostrato dalla trasgressione, con leggera discordanza angolare, dei terreni eocenici sui calcari del Cretacico superiore al margine orientale (tra S. Menaio e Vieste) e meridionale (a sud di Mattinata) del promontorio; l'invasione del mare eocenico indica infatti che un movimento subsidente interessò i sedimenti supracretacici di quelle regioni in precedenza emersi. In ogni caso detto movimento subsidente deve essere stato di lieve entità e di breve durata; i sedimenti eocenici sono infatti limitati a ristrette aree situate ai margini orientali e meridionali del promontorio. Tali sedimenti non sono ricoperti da terreni più recenti e quindi sono rimasti emersi dall'Eocene superiore ai nostri giorni.

Nel Gargano occidentale si ebbe invece una lacuna stratigrafica dal Cretacico al Miocene inferiore. Infatti sui calcari cretacici, lungamente sotto-

(2) Il pozzo Foresta Umbra 1 dell'AGIP, ubicato nella zona di Monte Iacotenente, ha attraversato da m 3295 a m 5912 una formazione evaporitica triassica, analoga a quella affiorante a Punta delle Pietre Nere [13].

(3) Un esiguo affioramento di rocce ignee basiche si rinviene anche nei pressi di Mass. S. Giovanni in Pane, a circa km. 4 a ONO di Apricena. La messa in posto di dette rocce sarebbe di età post-cretacica e pre-miocenica [1, 3].



Fig. 17 — Fenomeni di dissoluzione carsica nei calcari dolomitici grigi: rocce a permeabilità mista per fessurazione e carsismo.



Fig. 18 — Calcari bianchi e rosati a grana fina del Cretacico inferiore, ben stratificati, fessurati e mostranti evidenti i segni dell'erosione per dissoluzione: rocce a permeabilità mista per fessurazione e carsismo.

posti ad azioni erosive subaeree come lo dimostra l'intenso sviluppo del fenomeno carsico, trasgrediscono direttamente sedimenti mesomiocenici. Tali terreni attualmente affiorano su aree di estensione limitata, dove risparmiati dall'erosione, ai margini occidentali del Gargano e nella conca di S. Egidio (alla quota di circa m 500).

Dopo la sedimentazione dei terreni del Miocene medio si svilupparono intensi sollevamenti che condussero di nuovo all'emersione delle regioni occidentali del Gargano. Detti sollevamenti si verificarono probabilmente prima della fine del Miocene; non affiorano infatti nel promontorio terreni pliocenici.

A partire quindi dal Miocene superiore la quasi totalità delle rocce attualmente affioranti al Gargano sono rimaste emerse sino ai giorni nostri. Contemporaneamente ai sollevamenti supramiocenici si instaurava una rete di faglie di distensione, aventi direzione prevalenti secondo NO-SE e O-E, che favorivano nello stesso tempo lo sprofondamento delle regioni marginali del promontorio (tav. I b). In particolare, a SO del Gargano una serie di faglie distensive provocava la formazione della « fossa bradanica », nella quale ingrediva successivamente il mare pliocenico.

Nella zona compresa tra Rodi Garganico e Vieste i calcari bianchi a grana fina con intercalazioni marnose reagirono alle sollecitazioni prevalentemente con ondulazioni, pieghe e pieghe-faglie a modesto rigetto. Nelle altre regioni del Gargano orientale, dove le intercalazioni marnose sono assenti, gli stessi calcari furono interessati invece da numerose faglie dirette a modestissimo rigetto.

Tra Monte Iacotenente e Testa del Gargano i calcari dolomitici grigi ed i sovrastanti calcari bianchi a grana fina venivano a formare una piega



Fig. 19 — Terreno residuale nei giunti di stratificazione dei calcari bianchi e rosati del Cretacico inferiore.

anticlinale poco pronunciata, con asse diretto all'incirca SO-NE immergentesi verso NE (4).

In conseguenza delle dislocazioni tardomioceniche, il Gargano assumeva l'attuale conformazione topografica e costituiva nel mare pliocenico un'isola separata dall'Appennino e dalle Murge a mezzo di un ampio braccio di mare in corrispondenza della « fossa bradanica ». In altre parole, il Gargano assumeva nel complesso la struttura di un Horst nettamente delimitato su tre lati (a SO, a N ed a S) da faglie dirette e intersecato da una rete di faglie, pure di distensione a prevalenti direzioni appenninica e tirrenica, che lo suddividevano in numerosi Horst e Graben secondari.

I terreni giurassici, affioranti lungo una fascia allungata da NO a SE, costituiscono il nucleo dell'Horst garganico e nello stesso tempo anche il nucleo di una piega con asse che corre lungo la stessa fascia, come appare dalle giaciture dei terreni postgiurassici che formano i fianchi della piega: i terreni del Gargano nord-orientale immergono infatti mediamente verso NE e quelli del Gargano sud-occidentale verso SO. I terreni giurassici, affioranti lungo l'asse della piega, sono quindi quelli che hanno subito complessivamente i maggiori sollevamenti.

A SO del Gargano, i sedimenti quaternari del Tavoliere di Foggia addossati alle masse calcaree del promontorio andarono soggetti, a partire dal Pleistocene, a sollevamenti che li innalzarono sino ad una altitudine massima di circa m 150 sul l. m. (a SO di Poggio Imperiale). Non è però detto che i calcari abbiano subito sollevamenti di pari ampiezza; infatti, il limite tra i terreni calcarei cretacici ed i sedimenti quaternari del Tavoliere di Foggia corre quasi ovunque lungo preesistenti linee di faglia che potrebbero aver favorito movimenti differenziali.

L'instabilità tettonica delle regioni situate ai margini occidentali del promontorio è ancora oggi sottolineata da forti e non infrequenti terremoti con profondità ipocentrali di 25 ÷ 30 Km. Nel massiccio garganico i terremoti sono pure frequenti, ma con profondità ipocentrali minori (Km 10 ÷ 20) [16].

A NE di Manfredonia affiorano depositi costieri terrazzati di probabile età pleistocenica, sedimentatisi in un mare basso con linea di costa a m 100 ÷ 120 sull'attuale orizzonte marino; nel Quaternario i terreni della zona hanno subito quindi un innalzamento complessivo di almeno 100 ÷ 120 metri. Nella stessa zona, lungo la costa, è presente una ripida scarpata indicante che l'azione del mare è attualmente in fase erosiva (figg. 1 e 2); ciò è probabilmente dovuto ad un innalzamento del livello marino (o abbassamento del continente), prodottosi in tempi relativamente recenti.

Nel Gargano orientale, tra S. Menaio e Mattinata, le coste erano nel Pleistocene del tipo a *rias*; la porzione terminale delle valli era infatti parzialmente invasa dal mare. Le coste a *rias* sono ora parzialmente rettificata da alluvionamenti in corrispondenza delle valli e ad opera dell'intensa azione erosiva marina sui salienti rocciosi protesi nel mare. Attualmente lungo la

(4) Ad ovest di Testa del Gargano B. MARTINI [13] segnala « una serie di faglie sub-parallele, visibili per parecchi chilometri, che danno luogo ad una successione di Horst e Graben secondari ». Le faglie, a direzione NO-SE, presentano in genere « rigetti modesti » e « di difficile determinazione, mancando nelle serie affioranti sicuri livelli di riferimento ». L'Autore avverte poi che « l'esame delle fotografie aeree si è mostrato talora indispensabile per orientare le osservazioni di campagna ».

costa è quasi sempre presente, sia in corrispondenza dei calcari bianchi cretacici che dei calcari arenacei e dei depositi alluvionali, una ripida scarpata sempre spoglia di vegetazione, indicante che l'azione del mare è in fase erosiva (figg. 20, 21, 30 e 31); ciò è dovuto probabilmente ad oscillazioni di modeste proporzioni del livello marino avvenute in tempi del tutto recenti.

Nel Gargano orientale i movimenti verificatisi nel Quaternario si possono così riassumere: ad un primo innalzamento del livello marino rispetto al continente, che ha provocato la formazione delle coste a *rias* e l'alluvionamento delle valli, è seguita una fase di ritiro del mare. Un secondo, ma più modesto innalzamento del livello marino ha determinato la instaurazione dell'attuale ripida scarpata in corrispondenza tanto dei depositi alluvionali che dei calcari bianchi a grana fina del Cretacico e dei calcari arenacei eocenici.

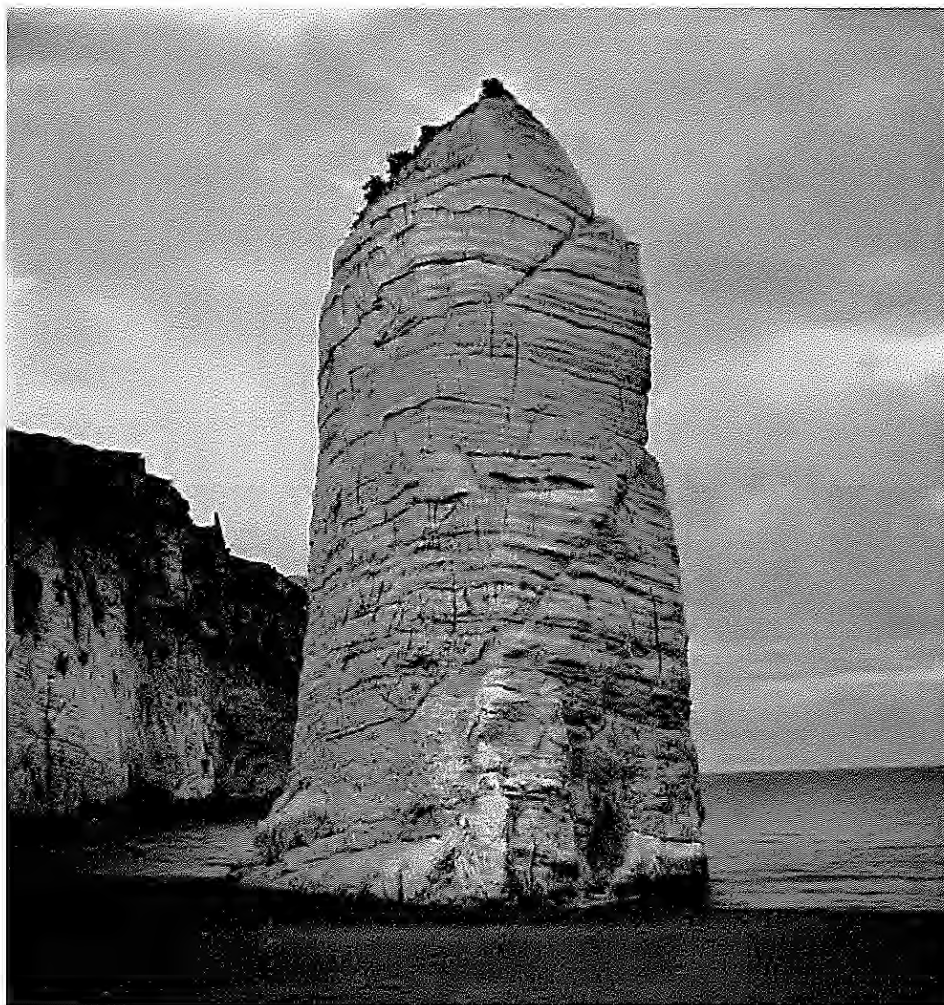


Fig. 20 — Il « Pizzimunno », a sud di Vieste: scoglio formatosi ad opera dell'intensa azione erosiva del mare.

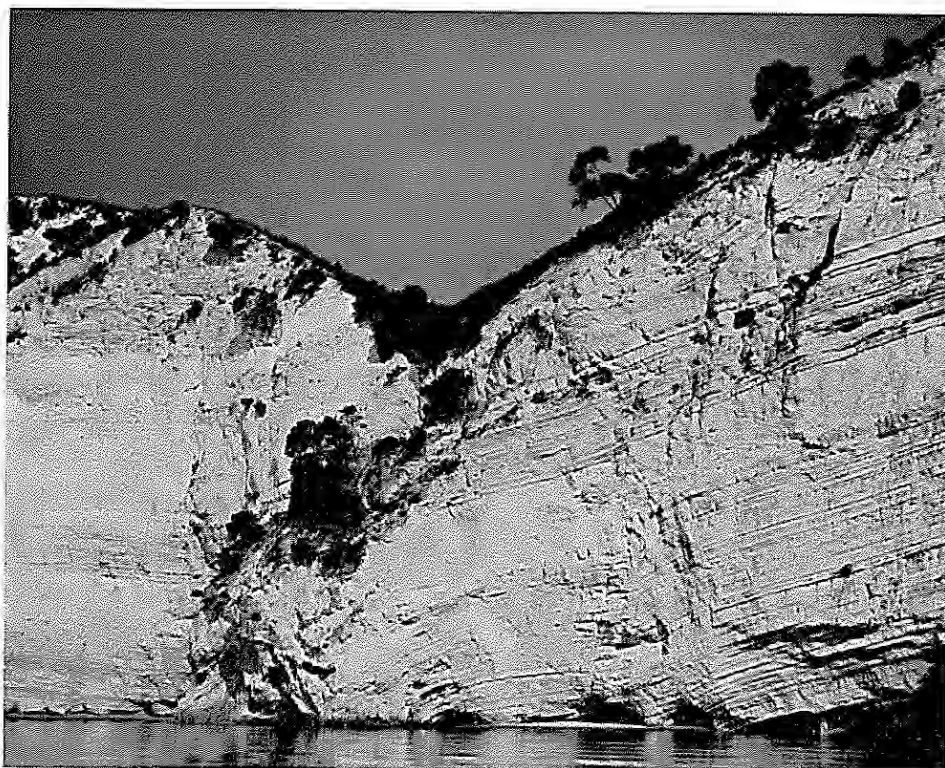


Fig. 21 — Un tratto di ripida falaise in calcari bianchi a grana fina con selci, tra Testa del Gargano e Mattinata.



Fig. 22 — La conca di Campolato vista da est; in alto a destra la cima di M. Calvo (m. 1055), il monte più elevato del Gargano.

3. MORFOLOGIA

La faglia che corre lungo il solco del T. Candelaro separa nettamente dalle basse pianure del Tavoliere di Foggia il massiccio promontorio garganico, che viene così a formare una caratteristica unità orografica, geologica, idrografica e morfologica.

Dal punto di vista morfologico, per le diversità di alcuni caratteri, primo fra tutti lo sviluppo del fenomeno carsico⁽⁵⁾, è opportuno suddividere la descrizione del promontorio in due parti, concernenti rispettivamente il Gargano centrale e occidentale la prima e il Gargano nord-orientale la seconda.

3. 1. Gargano centrale e occidentale

Il Gargano centrale e occidentale si innalza verso meridione dal Tavoliere con un primo ampio terrazzo di forma triangolare, estendentesi fino alla quota di circa m 200 e limitato ai tre lati da nette linee di faglia (tav. I b): a SO dalla faglia del T. Candelaro, a nord dalla faglia che corre grosso modo dai pressi di Rignano G. a Punta Rossa lungo la isoipsa di m 200, a SE dalla faglia che passa per Siponto. In questa regione l'idrografia superficiale è praticamente assente (tav. I a) e le forme carsiche sono ridotte a valli morte, rare doline e lapiez sulle superfici esposte della roccia.

Una nuda e ripida scarpata di faglia conduce ad un secondo terrazzo, mediamente largo circa 5 Km. e lungo 40 Km. La scarpata è incisa da numerosi e profondi valloni (tav. I a) percorsi da acque torrentizie solo durante rovesci di pioggia. Mentre le zone più depresse del terrazzo sono occupate da valli morte e ampie conche a fondo ricoperto da terreno residuale (Piano Mezzanella a sud di S. Giovanni Rotondo, Campolato (fig. 22), S. Egidio (fig. 23), le aree più elevate, estendentesi a quote nettamente superiori a quella media del terrazzo, sono sede di più o meno estesi pianori a doline: a nord di Rignano G., alla Coppa Castellera, alla Coppa Chiancatone ed a ovest del Monte degli Angeli. E' tuttavia evidente che la maggior parte delle più tipiche forme carsiche superficiali, i pianori a doline, è stata cancellata dall'erosione dovuta alle acque di ruscellamento. Nelle aree occupate un tempo dai pianori a doline, ora smembrati e attaccati da ogni lato dall'erosione (fig. 24), si osservano *campi solcati*, *campi di pietre* (fig. 25) e *lapiez* sulla nuda roccia. E' chiaro quindi che la massima evoluzione del carsismo superficiale si è sviluppata nella regione considerata prima che si verificassero i forti sollevamenti di età tardomiocenica e che in conseguenza di tali movimenti si è avuto un intenso ringiovanimento morfologico.

Immediatamente a nord della faglia limitante a settentrione il terrazzo sopra descritto, faglia che ai suoi estremi occidentali e orientali segue rispettivamente le profonde incisioni della Valle di Stignano e della Valle Carbo-

⁽⁵⁾ E' di fondamentale importanza negli studi idrogeologici delle regioni calcaree e dolomitiche la conoscenza dell'estensione, della distribuzione e dello sviluppo del fenomeno carsico, sia che si tratti di carsismo superficiale, per quello che concerne le aree di alimentazione e le vie di più facile infiltrazione, che di carsismo profondo, perchè determina vie preferenziali di circolazione e di emergenza delle acque di falda, o di carsismo costiero, che favorisce l'invasione delle acque di mare nel continente e quindi un ulteriore sviluppo del carsismo, poichè la quantità di CaCO₃ che un'acqua può disciogliere è proporzionale, entro certi limiti, al tenore in NaCl dell'acqua.



Fig. 23 — La conca di S. Egidio vista da NO; i terreni miocenici affiorano tra il gruppo di case bianche e il margine destro della figura.

nara e che nella parte centrale corre a ridosso di una ripida scarpata solcata da brevi e ripidi valloni percorsi dalle acque torrentizie solo durante piovoschi, si erge una lunga dorsale comprendente i rilievi montuosi più elevati del Gargano. Tale dorsale è costituita in grande prevalenza da dossi arrotondati e assai bene raccordati degradanti dolcemente verso nord. A settentrione della dorsale si estendono due vaste aree a doline, rispettivamente con superfici di circa 130 e 50 Km², assolutamente prive di una rete idrografica superficiale (tav. I a) e costellate da un numero eccezionale di doline (fig. 26) di dimensioni qualche volta imponenti. Tra queste merita di essere ricordata la « Pozzatina », depressione carsica di forma ellittica dalle dimensioni di m 600 per 400 e profonda m 100, situata a circa 5,5 Km a sud di Sannicandro.

Le due vaste aree a doline, mentre verso sud sono nettamente delimitate dalla detta scarpata di faglia, ai loro margini settentrionali sono attaccate e smantellate dall'erosione dovuta alle acque di ruscellamento; l'erosione si produce di preferenza lungo le numerose valli dirette da SE

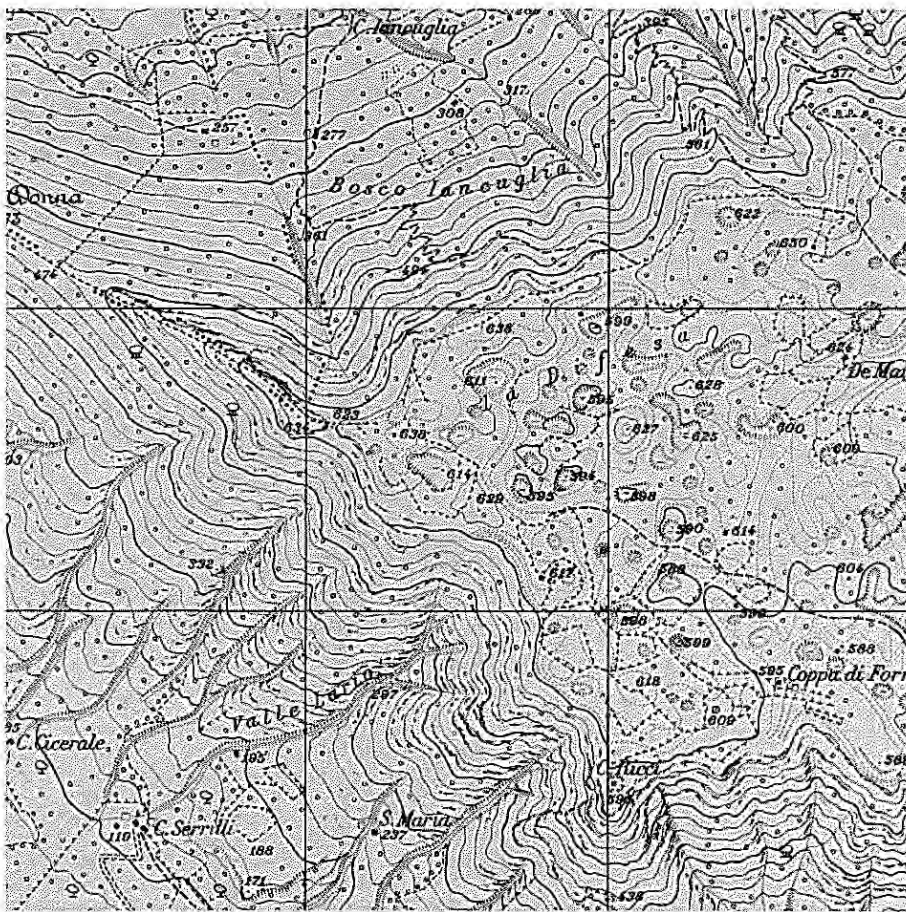


Fig. 24 — Lembo di pianoro a doline, a NO di Rignano G., in via di smantellamento ad opera dell'erosione dovuta alle acque di ruscellamento (dalla tavoletta F 156 III SO dell'I.G.M.).

a NO (tav. I a), impostatesi in grande prevalenza in corrispondenza di faglie con direzione appenninica.

Anche nella zona compresa fra le due aree a doline l'intensa fratturazione, prodotta dalle dislocazioni tardomioceniche, ha favorito l'instaurazione di una idrografia superficiale, che ha in gran parte cancellato le tipiche forme carsiche lungo una fascia diretta da NO a SE e larga circa Km 10.

Come si è detto, il fenomeno carsico è diffuso nel Gargano centrale e occidentale, in quasi tutta l'area estendentesi a SO della linea congiungente Testa del Gargano con Carpino, e comprende numerose forme classiche: *doline* di ogni tipo e dimensione, *depressioni*, *conche*, *campi carreggiati*, *campi di pietre*, *voragini*, *valli cicche*, *inghottitoi* e *lapiez* (*a scanellature*, *a solchi*, *a nido di gallina*, *a spigoli*, *a punte*, ecc.). Non si osservano invece nella regione alcuni dei caratteri morfologici caratteristici dei rilievi calcarei, quali *picchu dentellati* a bordi verticali, *rilievi ruiniformi*, ecc. Sono peraltro presenti le *gravine* (*cañions*); queste tuttavia non si formano per dissoluzione delle masse calcaree ma per erosione subaerea delle acque incanalate durante i piovvaschi, anche se il processo di erosione è favorito ed esaltato dalla solubilità della roccia. Tipici esempi di cañions al Gargano sono offerti dalla Valle della Vecchia, a nord di Mattinata, e dalla Valle del Reddito, a SO di Carpino.

Le aree carsiche del Gargano sono in parte nude (zone di Rignano G., S. Marco in Lamis, ecc.) e in parte ricoperte da una potente coltre di terreno residuale o vegetale (ad esempio alla Foresta Umbra). In quest'ultimo caso lo sviluppo del fenomeno carsico è favorito attualmente dalla gran quantità



Fig. 25 — « Campo di pietre » a sud di Coppa Chiancatone.

di CO₂, prodotta nel suolo (ad opera di organismi animali e vegetali e di fenomeni di ossidazione) e ceduta alle acque di infiltrazione.

Il carsismo predomina oltre che sulle rocce calcaree anche sulle dolomie. Infatti, per quanto in teoria la dolomia sia meno solubile del calcare, essa è tuttavia fortemente esposta all'attacco dell'acqua ricca di CO₂, perchè molto più porosa del calcare per le maggiori dimensioni dei cristalli di dolomite (fig. 27).

La genesi e lo sviluppo del fenomeno carsico sono strettamente collegati alle vicende geologiche che hanno interessato la regione. Alla fine del Cenomaniano movimenti di sollevamento portavano all'emersione la massima parte delle masse calcaree del Gargano centrale e occidentale. Si stabilirono allora condizioni ambientali adatte alla formazione di « terre rosse » residuali per dissoluzione carsica ed alla loro laterizzazione e bauxitizzazione, come lo dimostra la giacitura delle mineralizzazioni a bauxite della Miniera di San Giovanni Rotondo [11]. Il minerale si rinviene infatti, nella sua posizione originaria, tra i calcari del Cenomaniano e quelli sovrastanti del Senoniano, depositatisi a seguito di un movimento subsidente.

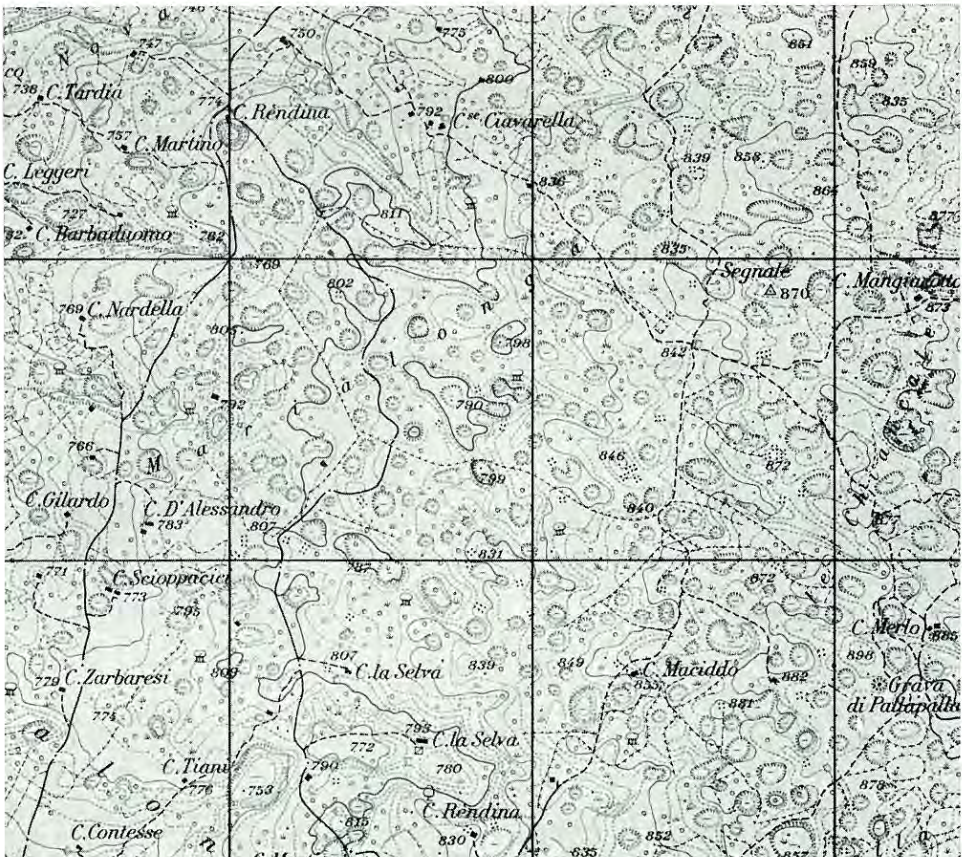


Fig. 26 — Lembo di pianoro a doline, a NE di S. Marco in Lamis; si osservi la frequenza delle doline e l'assenza totale di idrografia superficiale (dalla tavoletta F 156 III NE dell'I.G.M.).



Fig. 27 — Scanellature nella dolomia del Cretacico inferiore, affiorante sulla strada S. Marco in Lamis-Sannicandro Garganico.



Fig. 28 — Antiche vie d'acqua sotterranee, formatesi per allargamento di fessure verticali preesistenti, nei calcari del Cretacico inferiore affioranti a sud di Poggio Imperiale.

Condizioni ambientali adatte allo sviluppo del fenomeno carsico si sono certamente verificate anche dopo i sollevamenti che, alla fine del Cretacico, portarono a giorno le masse calcaree e prima del movimento di subsidenza che condusse poi all'ingressione del mare mesomiocenico su vaste aree del Gargano occidentale. Durante tale lungo periodo di emersione ($40 \div 50$ milioni di anni), il fenomeno carsico ebbe agio di interessare le masse calcaree modellandone gradualmente le forme topografiche, fino a formare estesi pianori a doline, forse a peneplanizzare addirittura la massima parte del Gargano centrale ed occidentale, dove affioravano rocce facilmente aggredibili dal fenomeno carsico.

Detti pianori a doline si sono formati prima dei movimenti tettonici tardomiocenici. Lo stanno a dimostrare tra l'altro i lembi di pianori a doline esistenti a NE e ad ovest di Sannicandro G. e a SO di S. Marco in Lamis. Infatti detti lembi, che un tempo dovevano collegarsi con la vasta area a doline estendentesi a nord di S. Giovanni Rotondo, furono poi da questa nettamente separati e ribassati dalle faglie tardomioceniche passanti per Sannicandro G. e S. Giovanni Rotondo (tavv. I a e I b).

Il carsismo non raggiunse tuttavia lo stadio di senilità, come appare dall'osservazione delle forme carsiche contrassegnanti i pianori a doline. Su questi infatti, anche se si osserva una miriade di doline (fig. 26), le *uvale* sono rarissime e le *polje*, forme tipiche dello stadio molto avanzato del carsismo, sono assenti.

In verità, nel Gargano centrale si osservano numerose depressioni di considerevole estensione, a fondo pianeggiante coperto quasi sempre da depositi colluviali (terre rosse residuali), larghe da qualche centinaio di metri a poco più di un chilometro, lunghe da due a sei chilometri: Piano Mezzanella (a sud di S. Giovanni Rotondo), Lago di S. Egidio (ad est di S. Giovanni Rotondo, fig. 23), Campolato (a est di S. Giovanni Rotondo, fig. 22), Piano Incudine-S. Maria (a SO di M. Spigno), Valle Cerasaldi (a ovest di M. Spigno), Spianata Giovanni (a ESE di M. Spigno), Piano S. Vito (a ovest di M. Sacro), Piano Impagnatiello (a NO di M. Sacro), Piano Cotennerosse (a NE di M. Coppa Ferrata). Probabilmente, al contrario di quanto potrebbe apparire a prima vista, nessuna di tali depressioni è prettamente di origine carsica; infatti la maggior parte di esse, per essere allungate secondo le prevalenti direttrici tettoniche ed addossate a vistose pareti di faglia, è chiaramente di origine tettonica. Inoltre dette depressioni, essendosi formate in conseguenza delle medesime dislocazioni che hanno smembrato i pianori a doline, sono di età posteriore agli stessi pianori e quindi anche della fase di più intenso sviluppo del fenomeno carsico.

I forti sollevamenti tardomiocenici, concomitanti con le dislocazioni tettoniche che originando la « fossa bradanica » separarono il Gargano dall'Appennino e dalle Murge, donarono al promontorio nelle grandi linee la attuale conformazione topografica e provocarono un intenso ringiovanimento morfologico. Iniziò di conseguenza un graduale smantellamento dei pianori a doline, propagantesi a partire dalle ripide pareti di faglia, dove l'erosione dovuta alle acque di ruscellamento era decisamente prevalente sull'erosione per dissoluzione (fig. 24).

Contemporaneamente si verificò un rallentamento, ma non certo l'arresto, della evoluzione del carsismo superficiale sui pianori a doline; ebbe

inizio l'approfondimento della circolazione idrica sotterranea e quindi lo sviluppo di un carsismo profondo, favoriti dalla frequente fessurazione verticale della roccia (fig. 28). Molto scarse sono tuttavia le conoscenze attuali sul carsismo profondo; si sa solo dell'esistenza di numerose cavità a sviluppo orizzontale e verticale.

Nel Gargano centrale ed occidentale la morfologia costiera non presenta ovunque gli stessi caratteri. Lungo le coste settentrionali, ad ovest di San Menaio, si osservano lunghe spiagge indicanti che il risultato del lavoro del mare è costituito da una sedimentazione. Fa eccezione la zona di Torre Mileto (tra i laghi di Lesina e Varano), dove il mare sta compiendo un lavoro di erosione (fig. 29).

Lungo le coste meridionali del promontorio, tra Manfredonia e Testa del Gargano, è presente ovunque una ripida scarpata (figg. 1, 2, 12, 21, 30 e 31), sempre spoglia di vegetazione, a volte costellata da grotte di genesi marina (a sud di Testa del Gargano); il mare sta quindi compiendo lungo questo tratto di costa soprattutto un lavoro di erosione.



Fig. 29 — Forme di erosione costiera nei calcari del Cretacico inferiore di Torre Mileto (tra i laghi di Lesina e Varano).

3. 2. Gargano orientale

A nord della linea Testa del Gargano-Carpino il fenomeno carsico è praticamente assente ed il paesaggio presenta caratteri morfologici molto diversi da quelli del Gargano occidentale e centrale. Infatti affiorano qui per la maggior parte calcari bianchi a grana fina, rocce che per loro natura, specie quando ai calcari si intercalano straterelli di marne, offrono una scarsa resistenza all'erosione superficiale. I rilievi collinari assumono infatti la forma di cupole arrotondate alla sommità e svasate alla base, con profili quindi sempre privi di soluzioni di continuità e di tratti cambianti bruscamente direzione, ma forniti invece di ampi raccordi laddove cambiano direzione (fig. 30). Insomma, si osservano in questa zona tutti i caratteri morfologici di un paesaggio maturo. Si direbbe quindi che non si è avuto ringiovanimento morfologico in conseguenza delle dislocazioni tardo-mioceniche. In realtà i calcari bianchi a grana fina hanno reagito di preferenze alle sollecitazioni non fagliandosi in zolle spostate a varie quote, come i calcari del Gargano centrale e occidentale, ma con ondulazioni e pieghe a largo raggio.

I calcari arenacei eocenici, affioranti tra Vieste e Peschici, sotto l'azione delle spinte tettoniche anzichè deformarsi si sono invece fagliati e fratturati, dando luogo talora a salti bruschi di pendenza. Su tali terreni ha avuto buon gioco l'azione di dissoluzione delle acque di ruscellamento e di infiltrazione. Queste, localmente favorite nella loro opera dall'intensa fratturazione sovente sub-verticale, hanno originato sovente una morfologia carsica, sia superficiale che profonda.

Della morfologia costiera del Gargano orientale si è già detto trattando dei movimenti tettonici quaternari (cap. 2. 7.).

4. IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Nel Gargano non è presente alcun corso d'acqua perenne. Sugli estesi pianori a doline, situati nelle aree più elevate del promontorio, è addirittura assente ogni accenno di idrografia superficiale. Nelle altre regioni numerosi sono invece i brevi corsi vallivi e le incisioni più ampie e profonde percorsi da acque torrentizie, cariche di materiali solidi, solo durante rovesci di pioggia (tav. I a).

In ogni caso, è oltremodo chiaro che lo sviluppo della rete idrografica superficiale è strettamente connesso ai caratteri di permeabilità dei terreni, all'evoluzione del fenomeno carsico e alla tettonica.

Nel Gargano occidentale, a SO della linea Rodi Garganico-Mattinata, è evidente che l'instaurazione della rete idrografica è stata in massima parte condizionata dalle dislocazioni tettoniche e che, data la forte permeabilità delle rocce che favorisce l'infiltrazione in profondità della maggior parte delle acque di pioggia, il ciclo erosivo si trova tuttora nella fase giovanile. Si osservano infatti ripide e profonde incisioni vallive in corrispondenza delle maggiori linee di faglia (tav. I a e I b). A questo proposito



Fig. 30 — Testa del Gargano: tipica morfologia delle regioni orientali del promontorio, in calcari bianchi a grana fina con selci.

esempi classici offrono la Valle Stignano e la Valle Carbonara, impostatesi lungo la stessa linea di faglia con direzione E-O. La stessa cosa avviene per le valli (ad esempio, per la Valle Stretta), che con andamento da SE verso NO, in corrispondenza di faglie e fratture di direzione appenninica, scaricano le loro acque torrentizie cariche di materiali solidi nel lago di Lesina. Anche le innumerevoli *lame* e *gravine* cataclinali, solcanti da nord a sud le ripide scarpate di faglia dirette E-O, sono una conseguenza diretta delle dislocazioni tettoniche.

Il Gargano orientale, a NE della linea Rodi Garganico-Mattinata, è invece solcato da innumerevoli valli cataclinali (tav. I.a), ad andamento pressochè radiale, in genere ripide e più fortemente incise nelle testate, a debole pendenza e svasate nelle loro parti terminali; queste ultime non di rado sono colmate da depositi alluvionali. Il gran numero e la disposizione delle valli in questa parte del promontorio dipende dal fatto che il grado di permeabilità dei terreni è in media molto minore che nel Gargano occidentale e che le dislocazioni tettoniche non hanno visibilmente influenzato l'instaurazione della rete idrografica superficiale. Per le stesse ragioni il ciclo erosivo ha potuto qui raggiungere una fase di maturità.



Fig. 31 — Forme di erosione costiera a Testa del Gargano.

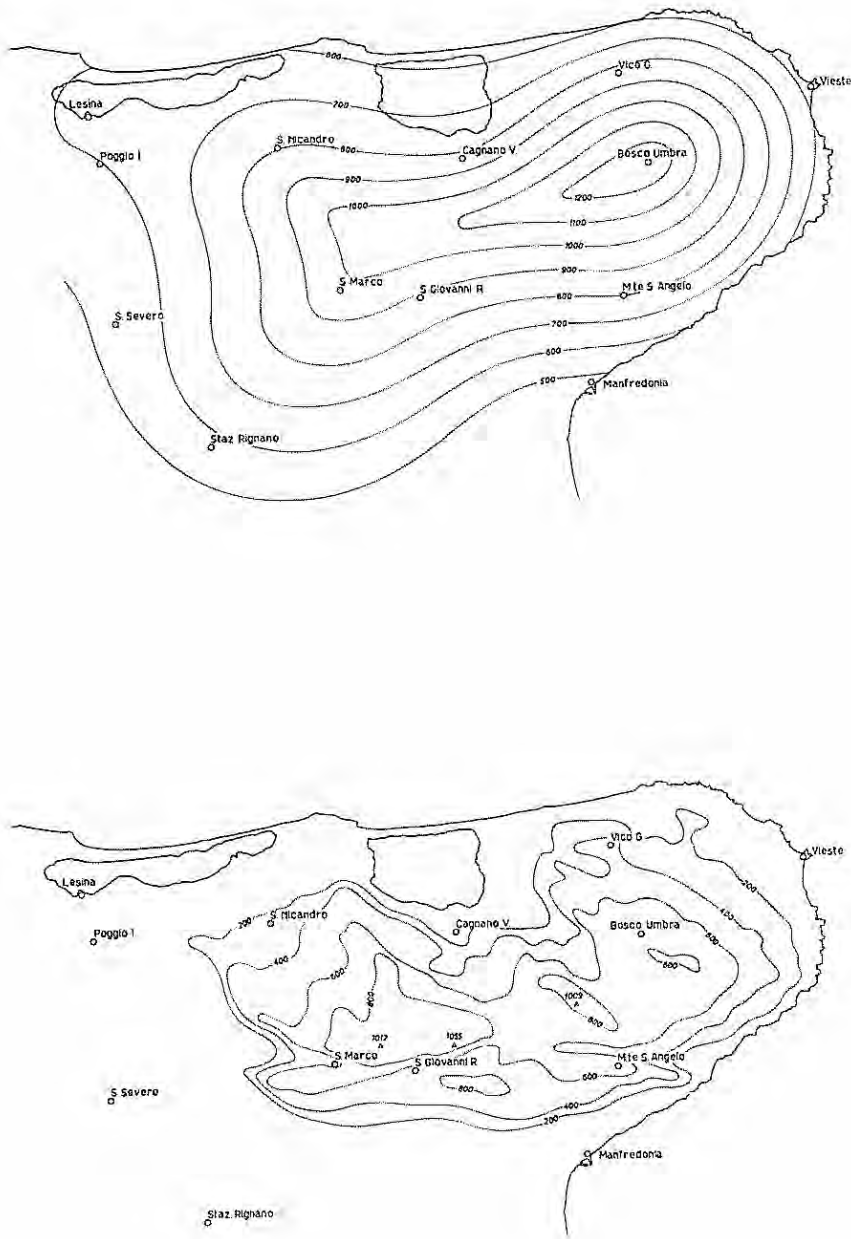


Fig. 32 — L'influenza dell'altitudine sulle precipitazioni atmosferiche risulta evidente dalla corrispondenza esistente tra le isoiete medie (in alto) e le isoipse (in basso).

5. CLIMA

Il Gargano presenta il tipico clima mediterraneo. Da aprile a settembre predomina infatti l'influenza di masse d'aria calda e secca che provocano lunghi periodi di siccità, specie nelle aree situate alle quote più basse, con tempo secco, caldo e stabile. Da ottobre a marzo, a periodi d'intensa piovosità, specie sui rilievi montuosi, dovuti a venti meridionali carichi di umidità, si alternano periodi con tempo secco, sereno e relativamente freddo per l'influenza predominante di venti settentrionali.

Notoriamente in clima mediterraneo le piogge autunno-invernali portano un contributo all'alimentazione delle falde acquifere molto maggiore delle piogge estivo-primaverili; peraltro le precipitazioni atmosferiche aumentano con l'aumentare dell'altitudine, specie quando i rilievi montuosi si ergono a breve distanza dal mare.

Al Gargano, in base ai dati pluviometrici del periodo 1921-1963, risulta che il totale medio delle piogge annuali è di mm 784,4 (tab. 1), di poco superiore a quello delle altre regioni pugliesi.

Per quanto concerne le altezze di pioggia stagionali, che hanno dal punto di vista idrogeologico importanza maggiore delle altezze di pioggia annuali, si rileva che la maggiore quantità di precipitazioni si manifesta, come per le altre regioni della Puglia, nel semestre ottobre-marzo; in tale periodo si ha infatti un'altezza di pioggia media di mm 531,9 pari al 67,8% dei totali annui medi. Assai scarsi risultano di contro gli apporti delle precipitazioni nel semestre aprile-settembre: mm 252,5, pari al 32,2% dei totali annui medi (tab. 1).

Per quanto riguarda la distribuzione delle piogge nel promontorio garganico, va rilevata la grande influenza esercitata sulle precipitazioni atmosferiche dall'altitudine (fig. 32).

Dai dati pluviometrici del periodo 1921-1963 (tab. 2) risulta infatti che nelle località situate a quote inferiori a m 400 (Manfredonia, Lésina, Vieste, Poggio Imperiale, Cagnano Varano e Sannicandro Garganico) l'altezza media annuale delle precipitazioni è di mm 638,5, mentre quella delle località situate a quote superiori a m 400 (Vico Garganico, S. Giovanni Rotondo, S. Marco in Lamis, Bosco Umbra e Monte S. Angelo) è di mm 952,1; lo scarto tra le altezze di pioggia nelle due aree è quindi considerevole.

Altro aspetto interessante del regime pluviale del Gargano risulta dal confronto fra la distribuzione stagionale e quella altitudinale delle piogge (tab. 2). Nelle aree situate a quote superiori alla isoipsa di m 400 nel semestre aprile-settembre il totale medio delle piogge è di mm 308,5, mentre nel semestre ottobre-marzo raggiunge valori più che doppi: mm 650,6. Lo stesso divario si osserva tra i totali medi delle piogge stagionali nelle aree situate a quote inferiori alla isoipsa di m 400: mm 205,7 nel semestre aprile-settembre contro mm 432,8 nel semestre ottobre-marzo. Risulta così evidente l'enorme influenza che i fattori altitudinali e stagionali sommati insieme hanno sul regime delle piogge nel Gargano e quindi, necessariamente, sul regime delle falde acquifere.

Altro fattore climatico importante ai fini idrogeologici è rappresentato dalla temperatura che, regolando l'evapotraspirazione, condiziona in parte l'alimentazione delle falde.

TABELLA 1 — Piogge mensili, semestrali e annuali (altezze medie in millimetri).

Quote sul l. m. (m)	Anni di osservazione (n.)	Località	MEDIE MENSILI												Medie annuali	Medie semestre aprile-settembre	Medie semestre ottobre-marzo
			G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D			
3,60	40 (a)	Manfredonia . . .	46,6	36,2	38,8	34,3	33,8	28,4	14,6	15,5	37,1	53,6	62,4	50,7	452,0	163,7	288,3
15,00	36 (b)	Lésina ,	86,0	59,3	49,6	43,8	33,4	22,6	18,2	26,2	43,5	73,3	84,0	87,1	627,0	187,7	439,3
40,00	43 (c)	Vieste , ,	70,2	52,2	44,8	34,4	29,8	20,9	16,4	19,0	43,9	60,6	77,2	86,2	555,6	164,4	391,2
72,00	26 (d)	Poggio Imperiale .	72,0	55,0	49,0	44,0	30,0	29,0	16,0	21,0	44,0	68,0	79,0	88,0	595,0	184,0	411,0
165,00	35 (e)	Cagnano Varano . .	94,5	74,7	67,2	58,3	50,3	34,3	47,0	32,9	57,9	95,5	98,4	99,8	810,8	280,7	530,1
241,00	30 (f)	Sannicandro Garg. .	107,8	73,8	57,3	49,5	41,0	32,5	32,3	31,4	67,7	84,2	108,5	106,2	792,2	254,4	537,8
470,00	42 (g)	Vico Garganico . .	102,4	77,5	69,2	54,6	45,3	28,9	29,7	30,3	57,0	106,7	107,5	120,0	829,1	245,8	583,3
558,70	35 (h)	S. Giovanni R. . . .	97,0	84,4	82,4	66,5	64,5	49,3	42,4	31,3	56,9	94,3	119,2	103,2	891,4	310,9	580,5
563,00	43 (i)	S. Marco in Lamis .	117,7	90,5	87,0	73,2	64,7	48,6	39,6	32,2	62,9	101,1	121,8	128,9	968,2	321,2	647,0
751,70	34 (l)	Bosco Umbra	161,9	123,5	122,3	84,4	77,4	53,6	47,6	49,9	86,9	130,9	182,9	175,7	1297,0	399,8	897,2
858,00	43 (m)	Monte S. Angelo . .	91,6	71,7	79,1	58,6	46,5	43,2	31,5	27,7	56,9	83,6	113,6	105,8	809,8	264,4	545,4
															784,4	252,5	531,9

(a) Dal 1921 al 1963, esclusi gli anni 1923-45-46.

(b) » 1928 » 1963.

(c) » 1921 » 1963.

(d) » 1921 » 1950, esclusi gli anni 1947-48-49-50.

(e) » 1922 » 1963, » » » 1943-44-45-46-47-48-49.

(f) » 1929 » 1963, » » » 1943-44-45-46-47.

(g) Dal 1922 al 1963.

(h) » 1924 » 1963, esclusi gli anni 1940-45-46-47-51.

(i) » 1921 » 1963.

(l) » 1924 » 1963, esclusi gli anni 1943-44-45-46-47-48.

(m) » 1921 » 1963.

TABELLA 2 — Piogge mensili, semestrali e annuali delle stazioni pluviometriche situate a quote inferiori e superiori a metri 400 sul l.m. (altezza media in millimetri).

Località	MEDIE MENSILI												Medie annuali	Medie semestre aprile-settembre	Medie semestre ottobre-marzo
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D			
Inferiori a quota 400 (*) . . .	79,5	58,5	51,1	44,0	36,4	27,9	24,1	24,3	49,0	72,5	84,9	86,3	638,5	205,7	432,8
Superiori a quota 400 (**). . . .	114,1	89,5	88,0	67,5	59,7	44,7	38,2	34,3	64,1	103,3	129,0	126,7	959,1	308,5	650,6

(*) Manfredonia, Lesina, Vieste, Poggio Imperiale, Cagnano Varano, S. Nicandro Garganico.

(**) Vico Garganico, S. Giovanni Rotondo, S. Marco in Lamis, Bosco Umbra, Monte S. Angelo.

Dai dati termometrici del Gargano (tab. 3) risulta che la temperatura media annuale è 14,4°C. L'escursione termica tra il semestre aprile - settembre (19,5°C) e il semestre ottobre - marzo (9,3°C) è di 10,2°C.

Com'è logico attendersi, sensibile è la variazione della temperatura con l'altitudine (tab. 4): nelle aree situate a quote inferiori a m 400 si ha una temperatura media annuale di 15,8°C (20,9°C nel semestre aprile - settembre e 10,7°C nel semestre ottobre - marzo); nelle aree superiori a m 400 si ha invece una temperatura media annuale di 12,4°C (17,6°C nel semestre aprile - settembre e 7,3°C nel semestre ottobre - marzo).

Per mettere in evidenza quale influenza possono avere sull'alimentazione delle falde del Gargano le precipitazioni e la temperatura insieme in funzione dell'altitudine e delle stagioni va osservato che, mentre nelle aree situate a quote inferiori all'isoipsa di m 400 durante il semestre aprile - settembre si ha un totale medio di pioggia di mm 205,7 con una temperatura media di 20,9°C, nelle aree situate a quote superiori a m 400 durante il semestre ottobre - marzo si ha un'altezza di pioggia di mm 650,6 (tre volte superiore) con una temperatura media di 7,3°C (tre volte inferiore).

6. VEGETAZIONE

Nello studio idrogeologico di una regione non si può non tener conto della distribuzione e della configurazione della vegetazione; questa può assorbire infatti dal suolo considerevoli quantità di acqua, che viene così sottratta all'alimentazione delle acque di falde. E' noto infatti che i terreni coperti da vegetazione arbustiva evaporano più di quelli coperti da erbe e che questi a loro volta evaporano più dei terreni nudi, privi di vegetazione.

Anche le aree coltivate presentano un ruolo importante nei fenomeni d'infiltrazione, perchè i solchi tracciati dall'uomo e le zolle di terra rimosse immagazzinano acqua di pioggia che sfugge al ruscellamento.

E' da osservare ancora che, a parità di altre condizioni, la traspirazione delle piante aumenta con l'aumentare della temperatura e della ventilazione e col diminuire dell'umidità dell'aria. A questo proposito, si ricorda che nel Gargano durante la stagione estiva si ha un clima caldo - secco e spirano venti regolari, i quali mantengono l'aria in costante agitazione.

Nel Gargano, a seconda dell'altitudine e dell'esposizione e in dipendenza dei fattori climatici, delle variazioni dei caratteri morfologici e dei diversi ambienti geologici, si ha una configurazione della flora molto varia. I boschi ad alto fusto (faggio, cerro, pino, ecc.) e i boschi cedui (rovere, farnia, castagno, ecc.) si estendono su di un'area pari a circa il 20% della superficie totale e occupano per la massima parte le regioni orientali del promontorio, dove affiorano in prevalenza calcari bianchi a grana fina scarsamente permeabili e calcari a grana fina con intercalazioni marnose praticamente impermeabili. Altre aree boscate si rinvengono sui calcari molto permeabili del Cretacico inferiore della regione di M. Spigno e delle pendici nord - occidentali della Coppa Ferrata.

I pascoli, i pascoli cespugliosi, gli incolti produttivi e sterili (40% circa

TABELLA 3 — Temperature medie mensili, semestrali e annuali (in °C).

Quote sul l. m. (m)	Anni di osservazione (n.)	Località	MEDIE MENSILI												Medie annuali	Medie semestri aprile-settembre	Medie semestri ottobre-marzo
			G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D			
3,60	23 (a)	Manfredonia	6,8	7,5	9,7	12,6	16,6	19,9	23,5	23,7	20,8	16,5	12,3	8,8	14,9	19,5	10,2
15,00	29 (b)	Lésina	7,7	8,5	10,6	14,3	18,1	22,6	25,4	25,5	22,3	17,4	13,0	9,3	16,2	21,3	11,0
40,00	32 (c)	Vieste	7,9	8,1	10,9	15,0	18,7	23,3	26,2	26,2	22,3	17,1	13,1	9,5	16,5	21,9	11,1
165,00	18 (d)	Cagnano Varano	7,4	8,0	10,2	13,8	17,6	22,0	24,9	24,8	21,5	16,5	12,5	9,2	15,7	20,7	10,6
558,70	28 (e)	S. Giovanni R.	5,1	5,9	7,7	11,7	15,3	20,0	23,3	23,3	20,0	14,9	10,8	7,1	13,8	18,9	8,6
751,70	22 (f)	Bosco Umbra	2,6	3,8	6,4	9,7	13,1	17,8	20,3	20,5	16,9	12,8	8,3	5,3	11,5	16,4	6,5
858,00	29 (g)	Monte S. Angelo	3,4	4,2	6,6	10,4	14,2	18,8	21,5	21,8	18,6	13,4	8,9	5,4	12,3	17,5	7,0
															14,4	19,5	9,3

(a) Dal 1936 al 1963, esclusi gli anni 1945-47-48-53-55.

(b) » 1935 » 1963.

(c) » 1930 » 1963, esclusi gli anni 1958-59.

(d) » 1939 » 1963, » » » 1943-44-45-46-47-48-49.

(e) Dal 1924 al 1963, esclusi gli anni 1929-31-32-40-41-44-45-46-47-48-51-52.

(f) » 1930 » 1963, » » » 1931-36-39-40-42-43-44-45-46-47-48-56.

(g) » 1934 » 1963, escluso l'anno 1958.

TABELLA 4 — Temperature medie mensili, semestrali e annuali delle stazioni termometriche situate a quote inferiori e superiori a metri 400 sul l.m. (in °C).

Località	MEDIE MENSILI												Medie annuali	Medie semestre aprile-settembre	Medie semestre ottobre-marzo
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D			
Inferiori a quota 400 (*)	7,4	8,0	10,3	13,9	17,7	21,9	25,0	25,0	21,7	16,9	12,7	9,2	15,8	20,9	10,7
Superiori a quota 400 (**)	3,7	4,6	6,9	10,6	14,2	18,9	21,7	21,9	18,5	13,7	9,3	5,9	12,4	17,6	7,3

(*) Manfredonia, Lesina, Vieste, Cagnano Varano.

(**) S. Giovanni Rotondo, Bosco Umbra, Monte S. Angelo.

della superficie totale) si estendono a SO del Lago di Varano e lungo una fascia diretta da ovest a est, dal T. Candelaro a Monte S. Angelo e comprendente gli abitati di Rignano Garganico, S. Marco in Lamis e S. Giovanni Rotondo. Si tratta delle regioni tettonicamente più tormentate, dove a causa del forte ringiovanimento morfologico è particolarmente intensa la erosione dovuta alle acque di ruscellamento.

I seminativi semplici ed arborati (40% circa della superficie totale) occupano in prevalenza le aree meno acclivi del Gargano occidentale, situate tanto alle quote più basse (a sud del lago di Lésina, a est del lago di Varano e ad ovest di Manfredonia e di Mattinata) che a quelle più elevate (a nord della dorsale comprendente i rilievi montuosi più elevati), in quest'ultimo caso non di rado in corrispondenza di pianori a doline ricoperti da terreno residuale.

7. CARATTERI DI PERMEABILITA' DELLE ROCCE

Sulla scorta dei numerosi dati raccolti (stratificazione, petrografia, diagenesi, granulometria, carsismo, fratturazione, cadenti piezometriche dell'acqua di falda, idrografia superficiale, ecc.) si sono distinti i caratteri (*tipo* e *grado*) di permeabilità delle rocce del Gargano. Si tratta ovviamente di una schematizzazione, indicante il carattere prevalente di permeabilità che le varie formazioni rocciose presentano, carattere dipendente da fattori (stratificazione, fratturazione, carsismo e porosità) mai uniformemente distribuiti nella stessa formazione rocciosa.

7. 1. Tipo di permeabilità

Si sono distinte rocce *permeabili per porosità, per fessurazione, per carsismo* e *rocce a permeabilità mista per fessurazione e carsismo* (tab. 5).

a) **ROCCE PERMEABILI PER POROSITÀ.** — Presentano tale tipo di permeabilità tutte le rocce clastiche incoerenti affioranti al Gargano, se si escludono quelle praticamente impermeabili: argille e « terre rosse », le prime in lenti e talora alla base dei depositi sabbioso - conglomeratici, le seconde nei depositi eluviali e colluviali e localmente nelle fessure delle masse calcaree e dolomitiche, nei detriti di falda e nei depositi alluvionali.

Le rocce permeabili per porosità sono tutte di età quaternaria e occupano aree marginali del promontorio per una estensione totale relativamente modesta (se si escludono gli adiacenti terreni del Tavoliere). In tali rocce l'infiltrazione e la circolazione delle acque si sviluppano in forma diffusa e il moto avviene pressochè costantemente in regime laminare.

Presentano il tipo di permeabilità per porosità:

- le sabbie e ghiaie delle spiagge attuali, localizzate nelle zone di Siponto-Manfredonia e di Rodi S. Menaio e nelle insenature che frastagliano la costa del Gargano orientale;

TABELLA 5 — Schema dei caratteri di permeabilità delle rocce (le varie formazioni sono elencate secondo l'ordine decrescente del grado di permeabilità).

GRADO DI PERMEABILITA'	FORMAZIONI GEOLOGICHE	TIPO DI PERMEABILITA'
Rocce molto permeabili	— Calcari organogeni, calcari dolomitici e dolomie del Giurassico superiore, affioranti tra M. Sacro e il lago di Varano.	Rocce permeabili per carsismo.
	— Calcari bianchi o rosati a grana medio-fina, calcari dolomitici e dolomie del Cretacico inferiore, affioranti estesamente nelle regioni occidentali del promontorio. — Dolomie e calcari dolomitici grigi con selci, del Cretacico inferiore, affioranti tra la Foresta Umbra e Testa del Gargano.	Rocce a permeabilità mista per fessurazione e carsismo.
Rocce discretamente permeabili	— Calcari organogeni bianchi, calcari arenacei e breccie calcaree del Cretacico superiore, affioranti a nord di Manfredonia e nella zona di Vico del Gargano-Ischitella. — Calcari nocciola o grigio-biancastrì a grana fina del Cretacico superiore, affioranti a sud di S. Giovanni Rotondo. — Calcari arenacei e breccie calcaree dell'Eocene, affioranti tra Peschici e Vieste.	Rocce permeabili per fessurazione.
	— Conglomerati a cemento sabbioso sottostanti alle sabbie più o meno limose o conglomeratiche del Tavoliere di Foggia.	Rocce permeabili per porosità.
Rocce scarsamente o raramente permeabili	— Calcari bianchi a grana fina con selci, del Cretacico, affioranti fra Monte S. Angelo e Vieste, tra Vieste e Carpino e nella regione di Apricena. — Arenarie calcaree tenere del Miocene, affioranti ai margini del Gargano occidentale.	Rocce permeabili per fessurazione.
	— Sabbie delle dune, dei lidi e delle spiagge. — Breccie calcaree in vario grado cementate dei detriti di falda, addossate al piede delle pareti di faglia e lungo i fianchi delle valli più incise. — Sabbie più o meno limose o conglomeratiche affioranti ai margini dei laghi di Lesina e di Varano e nel Tavoliere. — Conglomerati a cemento sabbioso od arenaceo dei depositi costieri terrazzati del Pleistocene, affioranti a NE di Manfredonia e ad est di Vieste. — Conglomerati a cemento sabbioso od arenaceo, talora con inclusioni di terreno residuale, dei depositi alluvionali; si rinvengono nelle valli che sfociano al mare tra S. Menato e Mattinata, nei pressi di Carpino e nel pianoro a ridosso della parete di faglia che corre a nord di Manfredonia. — Ciottolame inglobato in sabbioni calcareo-terrosi o in terre rosse residuali dei depositi eluviali e colluviali, in lembi sulle masse calcaree e dolomitiche (praticamente impermeabili quando la terra rossa è abbondante).	Rocce permeabili per porosità.
Rocce praticamente impermeabili	— Calcari bianchi a grana fina con selci e intercalazioni marnose del Cretacico superiore, affioranti nelle regioni nordorientali del promontorio. — Zolle (non cartografabili) di calcari e dolomie non stratificati, fratturati o carsificati, oppure tali ma con fessure e cavità ostruite da « terra rossa » o da incrostazioni di calcite secondaria. — Arenarie calcaree con intercalazioni argillose del Miocene (rinvenute coi sondaggi perforati sull'« Isola » del lago di Varano). — Argille azzurre sottostanti ai depositi sabbiosi e conglomeratici del Tavoliere e dei margini sud-occidentali del lago di Lesina.	

- le sabbie dei lidi separanti dal mare i laghi di Lésina e Varano;
- le sabbie delle dune recenti, formanti cordoni nelle insenature della costa tra Peschici e Vieste;
- i conglomerati a cemento sabbioso od arenaceo dei depositi costieri terrazzati, affioranti a NE di Manfredonia e ad est di Vieste;
- le breccie calcaree in vario grado cementate dei detriti di falda, addossate al piede delle pareti di faglia e lungo i fianchi delle valli più incise;
- i conglomerati a cemento sabbioso od arenaceo dei depositi alluvionali, che si rinvencono nelle valli sfocianti nel mare tra S. Menaio e Mattinata, nei pressi di Carpino e nel pianoro a ridosso della parete di faglia che corre a nord di Manfredonia;
- il ciottolame inglobato in sabbioni calcareo-terrosi o in terreni residuali dei depositi eluviali e colluviali, in lembi sulle masse calcaree e dolomitiche (quando la porzione di terra rossa è più abbondante tali terreni sono praticamente impermeabili);
- le sabbie più o meno limose o conglomeratiche affioranti ai margini dei laghi di Lésina e Varano e nel Tavoliere;

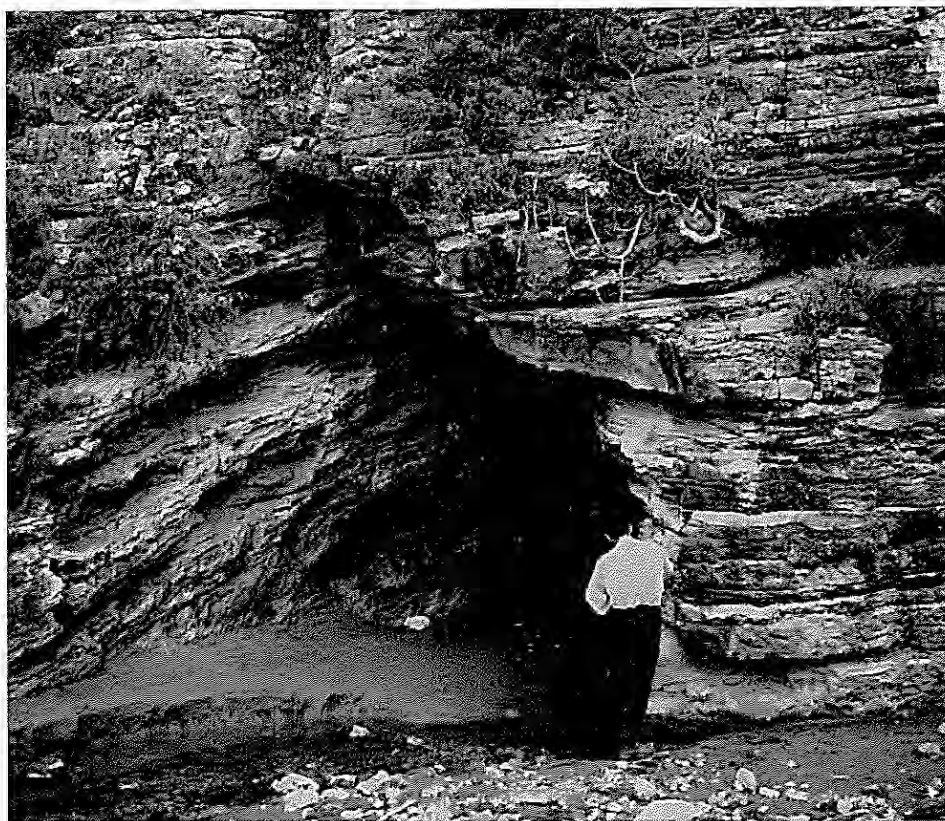


Fig. 33 — Calcarei bianchi a grana fina con selci di Torre del Ponte, a sud di Vieste (rocce permeabili per fessurazione). Dai piani di stratificazione sgorgano acque di sorgente; la grotta si è impostata, come spesso avviene, in corrispondenza di una frattura.

— i conglomerati a cemento sabbioso sottostanti alle sabbie più o meno limose o conglomeratiche del Tavoliere.

b) ROCCE PERMEABILI PER FESSURAZIONE. — Si considerano tali le rocce interessate da una rete di fessure (giunti di stratificazione e diaclasi) intercomunicanti, in assenza del fenomeno di dissoluzione carsica.

Al Gargano, nelle rocce presentanti tale tipo di permeabilità, i giunti di stratificazione sono spesso suborizzontali o poco inclinati (figg. 6, 10, 11, 12 e 33); in genere quindi favoriscono il movimento orizzontale delle acque di falda e non l'infiltrazione delle acque meteoriche. Le diaclasi si presentano invece quasi sempre subverticali o molto inclinate (figg. 5 e 10), in conformità con lo stile tettonico, a faglie dirette subverticali, prevalente nella regione. Le diaclasi favoriscono quindi in linea generale sia l'infiltrazione delle acque meteoriche che il movimento verticale e orizzontale delle acque di falda; si ricorda a questo proposito che numerose sorgenti costiere della regione di Manfredonia e del lago di Varano defluiscono a mare attraverso fessure verticali.

Talora le rocce presentano una stratificazione netta e fitta e sono intensamente fratturate in prismi di piccole dimensioni, sull'ordine del decimetro (figg. 9 e 10); in tal caso la rete di fessure intercomunicanti è molto densa e l'acqua è costretta a circolare in lame sottili, di talchè il sistema di fessure può essere assimilato ad un sistema poroso. Altre volte invece, di preferenza quando i giunti di stratificazione e le diaclasi sono molto distanziate, il fenomeno di dissoluzione carsica può aver prodotto l'allargamento di parte delle fessure, pur senza interessare mai la massa rocciosa. In tal caso il tipo di permeabilità si avvicina a quello delle rocce a permeabilità mista per fessurazione e carsismo, di cui si dirà più avanti.

Presentano il tipo di permeabilità per fessurazione:

- calcari bianchi a grana fina son selci del Cretacico inferiore e superiore, affioranti tra Monte S. Angelo e Vieste, tra Vieste e Carpino, e nella regione di Apricena;
- calcari nocciola e grigio-biancastri a grana fina del Cretacico superiore, affioranti a sud di S. Giovanni Rotondo;
- calcari organogeni bianchi, calcari arenacei e brecce calcaree del Cretacico superiore, affioranti a nord di Manfredonia e nella zona di Vico del Gargano-Ischitella;
- calcari arenacei e brecce calcaree dell'Eocene, affioranti tra Peschici e Vieste e a sud di Mattinata;
- arenarie calcaree tenere del Miocene, affioranti in lembi sparsi ai margini del Gargano occidentale.

c) ROCCE PERMEABILI PER CARISMO. — Tale tipo di permeabilità è dovuto principalmente all'intensa evoluzione del fenomeno carsico. In dette rocce, massicce o irregolarmente stratificate e a fratture subverticali, il fenomeno carsico ha in genere preso l'avvio dalle fessure, relativamente poco frequenti se non localmente lungo le principali linee di faglia, e man mano ha interessato quasi tutta la massa rocciosa, allargando molte delle fessure preesistenti e creando innumerevoli vacuoli, cavità e canali intercomunicanti, di forma e dimensioni variabilissime (fig. 34).

Sono prevalentemente permeabili per carsismo i calcari organogeni, i calcari dolomitici e le dolomie del Giurassico superiore, affioranti tra M. Sacro e il lago di Varano, che rappresentano le rocce più antiche tra quelle affioranti al Gargano. In tali rocce l'infiltrazione e la circolazione delle acque si sviluppano spesso in forma concentrata, in prevalenza lungo fessure allargate dalla dissoluzione, che costituiscono vie preferenziali per le acque sotterranee. Il movimento avviene quindi in genere in regime misto, laminare nelle fessure più strette e turbolento in quelle più larghe.

d) ROCCE A PERMEABILITÀ MISTA PER FESSURAZIONE E CARISMO. — Tale tipo di permeabilità è presentato da rocce a stratificazione sempre netta e regolare, a luoghi intersecate da una fitta rete di fratture; i giunti di stratificazione e le diaclasi sono di frequente allargati dalla dissoluzione carsica. L'infiltrazione e la circolazione delle acque sotterranee avviene tanto in forma



Fig. 34 — Calcari organogeni bianchi del Giurassico superiore intensamente attaccati dall'azione di dissoluzione carsica, affioranti alla Foresta Umbra (rocce permeabili per carsismo).

diffusa che concentrata; il prevalere dell'una o dell'altra forma dipende dalla frequenza delle fessure e dall'importanza dei fenomeni di dissoluzione (figg. 15, 17, 18, 27, 28 e 35).

Presentano il tipo di permeabilità mista per fessurazione e per carsismo le formazioni:

- calcari bianchi o rosati a grana medio-fina, calcari dolomitici e dolomie del Cretacico inferiore, occupanti per la massima parte le regioni occidentali del promontorio;
- dolomie e calcari dolomitici grigi con selci del Cretacico inferiore, affioranti tra la Foresta Umbra e Testa del Gargano.

7. 2. Grado di permeabilità

Si sono distinte rocce *molto permeabili, discretamente permeabili, scarsamente o raramente permeabili e praticamente impermeabili* (tab. 5). Si tratta ovviamente di una distinzione schematica, che sarebbe impossibile tradurre in valutazioni a carattere numerico, talora molto soggettiva e certamente nel dettaglio non sempre aderente alla realtà, per quanto confortata dalla elaborazione e correlazione di numerosi dati ed osservazioni.

Nella classifica che segue il grado di permeabilità è suffragato essenzialmente dai caratteri di stratificazione, fratturazione, carsismo e porosità



Fig. 35 — Antiche vie d'acqua preferenziali, incrostazioni di calcite secondaria e fratture ostruite da terreno residuale (in basso a sinistra) nei calcari del Cretacico inferiore, affioranti in una cava situata a SE di Poggio Imperiale.

presenti nelle varie formazioni. In realtà si è tenuto conto di numerosi altri fattori, quali la distribuzione e la portata delle manifestazioni sorgentizie costiere, i valori delle cadenti piezometriche in relazione all'alimentazione delle acque di falda, la distribuzione e la densità della rete idrografica superficiale, ecc.

Quest'ultima in effetti offre informazioni altamente indicative dei gradi di permeabilità delle rocce. Osservando infatti la tav. I a, appare a prima vista evidente che nelle regioni orientali del promontorio, dove affiorano in gran prevalenza calcari bianchi a grana fina con selci, il ruscellamento superficiale è molto più forte che nel Gargano occidentale; il grado di permeabilità delle rocce è quindi in media molto minore. Lo stesso dicasi per i terreni quaternari affioranti ai margini del lago di Lesina e per quelli del Tavoliere.

Per converso, negli estesi pianori a doline situati nelle aree più elevate del promontorio, dove purtuttavia gli afflussi meteorici sono molto più intensi che altrove, è praticamente assente ogni accenno di idrografia superficiale; deve quindi essere molto alto il grado di permeabilità delle rocce, come è ovvio dato il forte sviluppo del fenomeno carsico.

a) ROCCE MOLTO PERMEABILI. — Si sono classificate come tali le rocce interessate in tutta o in buona parte della massa rocciosa dal fenomeno di dissoluzione carsica. Si tratta quindi delle rocce presentanti i tipi di permeabilità per carsismo e di permeabilità mista per fessurazione e carsismo⁽⁶⁾.

b) ROCCE DISCRETAMENTE PERMEABILI. — Rocce a fessure in media relativamente frequenti, aperte e non interessate dalla dissoluzione carsica se non localmente, lungo vie d'acqua privilegiate. Si tratta quindi di rocce permeabili per fessurazione. Lo stesso grado di permeabilità presentano i conglomerati a cemento sabbioso sottostanti alle sabbie più o meno limose o conglomeratiche del Tavoliere.

c) ROCCE SCARSAMENTE O RARAMENTE PERMEABILI. Sono tali per la massima parte le rocce permeabili per porosità e parte di quelle permeabili per fessurazione, quando le fessure sono poco aperte o molto distanziate.

Si considerano scarsamente permeabili anche i depositi sabbioso-limosi e subordinatamente conglomeratici dell'attuale piattaforma costiera sommersa, che circondano tutt'intorno il promontorio fino a distanze dalla costa talora considerevoli.

d) ROCCE PRATICAMENTE IMPERMEABILI. — Rocce non fessurate e non carsiche, in vario grado porose, ma a pori non intercomunicanti o, se tali, a pori di dimensioni non sufficientemente grandi da consentire una circolazione idrica apprezzabile. Vengono considerati praticamente impermeabili:

— calcari bianchi a grana fina con selci e con intercalazioni marnose del Cretacico superiore, occupanti le regioni nord-orientali del promontorio;

⁽⁶⁾ Determinazioni del coefficiente di permeabilità su rocce classificate molto permeabili, effettuate a cura degli scriventi con traccianti (nei pressi di Carpino e Manfredonia) o basati sulla trasmissione della marea sull'acqua di falda (nei pressi di Manfredonia), hanno dato valori dell'ordine di 10^{-1} cm/s.

- arenarie calcaree con intercalazioni argillose del Miocene (rinvenute nei pozzi perforati sull'Isola del lago di Varano);
- zolle (non cartografabili) di calcari e dolomie non stratificati, fratturati e carsificati, oppure tali ma con fessure e cavità ostruite da « terra rossa » o da incrostazioni di calcite secondaria; le dimensioni di tali zolle variano da poche decine di metri cubi a più milioni di metri cubi;
- argille azzurre sottostanti ai depositi sabbiosi e conglomeratici del Tavoliere e dei margini del lago di Lésina.

7. 3. Influenza della distribuzione spaziale delle rocce a diverso grado di permeabilità sull'alimentazione e sulla circolazione idrica sotterranea.

La distribuzione spaziale dei terreni a diverso grado di permeabilità determina, in particolari situazioni, una ripartizione dell'acqua di pioggia in acque di infiltrazione, di evaporazione e di ruscellamento nettamente diversa da quella dipendente dal grado di permeabilità intrinseco delle rocce affioranti. Si prenda ad esempio il caso, abbastanza frequente al Gargano, di lembi di terreni di per sè scarsamente permeabili, o praticamente impermeabili, circoscritti in tutto o in massima parte da terreni molto permeabili: depositi eluviali e colluviali sovrastanti alle masse calcaree, depositi alluvionali affioranti estesamente a ovest di Manfredonia, ecc. L'acqua di ruscellamento scorrente su detti terreni è costretta dopo un percorso più o meno lungo a defluire sui terreni circostanti a più forte grado di permeabilità e quindi ad infiltrarsi (tavv. I a, I b).

Da rilevare ancora che il grado di permeabilità intrinseco delle rocce non coincide sempre necessariamente con il grado reale di permeabilità agli effetti della circolazione idrica sotterranea. Ad esempio, i terreni miocenici dai quali sgorgano le scaturigini della sorgente Bagno (sorgente n. 14 di tav. II) o i calcari bianchi a grana fina con selci affioranti tra Testa del Gargano e Vieste, dai quali sgorgano oltre una sessantina di scaturigini, sono di per sè scarsamente permeabili; tuttavia, attraverso le loro rade fessure (rocce raramente permeabili), talora leggermente allargate dalla dissoluzione carsica, filtra una grande quantità di acqua, alimentata dalle formazioni molto permeabili situate immediatamente a ridosso.

Nel Gargano la distribuzione spaziale delle rocce a diverso grado di permeabilità determina inoltre l'esistenza di due ben distinti sistemi acquiferi: uno occupante quasi tutta l'estensione del promontorio (*falda principale*)⁽⁷⁾, l'altro limitato alla zona di Vico-Ischitella (*falda secondaria*).

La falda principale ha come livello di base l'orizzonte marino ed è sostenuta, almeno per quel che è noto ai bordi del promontorio, dall'acqua di mare che invade il continente. A causa dell'esistenza di una *zona di diffusione salina* tra l'acqua dolce e l'acqua di mare e delle oscillazioni

(7) Localmente questa falda viene definita spesso *falda profonda*, pur risultando, specie in prossimità della costa, l'unica falda esistente e assai superficiale. Ciò alla stregua di quanto avviene per la estesa falda contenuta nei calcari della Terra di Bari e del Salento.

stagionali della superficie piezometrica, la superficie di fondo della falda (*interfaccia*) è indefinita e mobile⁽⁸⁾.

La falda secondaria ha sede nei calcari organogeni e nei calcari detritici di Vico-Ischitella; la superficie di contatto di tali rocce, discretamente permeabili, con i sottostanti calcari bianchi con selci e con intercalazioni marnose, praticamente impermeabili, rappresenta anche la superficie di fondo della falda, la quale pertanto è in questo caso definita e fissa. Trovandosi detta superficie ad oltre 100 metri sul l. m., è ovvio che la falda non ha alcun rapporto con l'acqua di mare.

8. FALDA PRINCIPALE

8. 1. Alimentazione

E' noto che numerosi sono i fattori influenzanti la ripartizione della acqua di pioggia fra *acqua di infiltrazione*, *acqua di evaporazione* e *acqua di ruscellamento superficiale*: altezza delle piogge, loro distribuzione nel tempo e nello spazio, grado di permeabilità delle rocce affioranti, distribuzione spaziale delle rocce a diverso grado di permeabilità, morfologia, temperatura, vegetazione, ecc.

Dell'importanza che tali fattori assumono nel Gargano si è già trattato in precedenza. Si è tuttavia in possesso di dati numerici solo per le altezze di pioggia e per la loro distribuzione nello spazio e nel tempo. Degli altri fattori si hanno solo dati qualitativi indicativi che non consentono di stabilire valori attendibili per l'entità dell'evaporazione e del ruscellamento superficiale. Rimane quindi una notevole incertezza nel fissare i *coefficienti di assorbimento* dell'acqua di pioggia da parte dei terreni affioranti e di conseguenza è impossibile un calcolo preciso dell'alimentazione della falda profonda.

Si ritiene tuttavia interessante ed utile esaminare i dati numerici e le informazioni in possesso, al fine di circoscrivere le aree che portano un contributo preponderante al ravvenamento della falda in parola e di ricavare una valutazione anche solo indicativa dell'alimentazione.

Nella tabella 6 sono riportati i volumi di acqua relativi alle piogge medie annuali e semestrali incidenti sulle rocce a diverso grado di permeabilità, affioranti nell'intero bacino di alimentazione della falda e nelle aree situate a quote rispettivamente inferiori e superiori alla isoipsa di m 400. Occorre però ricordare che le estensioni delle superfici riferite nella tabella sono relative ai gradi di permeabilità intrinseci delle rocce; in altre parole non si è tenuto conto, per difficoltà obiettive, della distribuzione spaziale

(8) In schematizzazioni teoriche e per impostazioni di calcoli idraulici aventi scopi pratici, si usa comunemente prendere in considerazione una *interfaccia teorica*, individuata dalla superficie, « mobile e definita », separante due liquidi in equilibrio a diversa densità, in ossequio alla nota legge di GHYBEN ed HERZBERG.

Peraltro, nella realtà sono numerosi i fattori condizionanti i rapporti di equilibrio fra l'acqua marina e l'acqua di falda e quindi le dette schematizzazioni [10].

delle rocce a diverso grado di permeabilità, circostanza che, come si è detto in precedenza, può talora influenzare considerevolmente la ripartizione delle acque di pioggia in acque di infiltrazione, di evaporazione e di ruscellamento superficiale.

Dalla tabella 6, com'è logico attendersi dato il carattere stagionale delle piogge, risulta che i volumi di acqua di pioggia incidenti sull'intero bacino di alimentazione durante il semestre ottobre-marzo ($m^3 932 \times 10^6$, pari al 67,6% del totale annuo) sono molto maggiori di quelli che cadono nel semestre aprile-settembre ($m^3 447 \times 10^6$, pari al 32,4% del totale annuo). A parità di altre condizioni, le piogge del semestre ottobre-marzo portano quindi un contributo preponderante all'alimentazione della falda. Si aggiunga che durante il semestre autunno-invernale la quantità d'acqua assorbita ed evaporata per traspirazione dalla vegetazione è limitata e che nello stesso tempo la temperatura media, condizionante l'evaporazione, è decisamente inferiore ($9,3^\circ C$) a quella del semestre aprile-settembre ($19,5^\circ C$); ne deriva che la percentuale dell'acqua di pioggia che si infiltra, a parità di altre condizioni, durante il semestre ottobre-marzo sarà molto maggiore di quella aprile-settembre. In altre parole, *i coefficienti di assorbimento* delle rocce saranno in media diversi nei due semestri, maggiori nel semestre ottobre-marzo, minore nel semestre aprile-settembre.

Per tale ragione e tenuto conto che i volumi di pioggia che cadono sulle rocce discretamente e scarsamente permeabili durante il semestre aprile-settembre sono relativamente modesti (pari rispettivamente a $m^3 26 \times 10^6$ e a $m^3 158 \times 10^6$), in un calcolo prudenziale per difetto dell'alimentazione si ritiene di poter trascurare il loro contributo al ravvenamento della falda.

Non altrettanto può dirsi per il considerevole volume di pioggia ($m^3 263 \times 10^6$, pari al 19,1% del volume totale annuo) che cade nel semestre aprile-settembre sulle sole rocce molto permeabili, a coefficiente di assorbimento certamente non trascurabile, nonostante la temperatura media relativamente elevata e la forte quantità d'acqua assorbita dalla vegetazione.

Per le ragioni innanzi esposte, permane una notevole incertezza nello stabilire *i coefficienti di assorbimento*, i quali allo stato dei fatti non possono che essere frutto di valutazioni soggettive e cumulative dei molteplici fattori che influenzano i coefficienti stessi.

Purtuttavia una valutazione, sia pure solo a carattere indicativo, della alimentazione della falda principale, sulla scorta di tutti i dati e le informazioni in possesso, appare utilissima. Si è ritenuto pertanto di stabilire i seguenti coefficienti di assorbimento per i volumi di pioggia del semestre ottobre-marzo: 65% in corrispondenza delle rocce molto permeabili, 30% per le rocce discretamente permeabili e 10% per quelle scarsamente permeabili. Per i volumi di pioggia del semestre aprile-settembre ci si è orientati verso un coefficiente di assorbimento del 20% per le rocce molto permeabili; si è invece trascurato, per le ragioni già dette, il contributo al ravvenamento della falda delle piogge incidenti nel semestre aprile-settembre sulle rocce discretamente e scarsamente permeabili.

Si ritiene che, nel complesso, i valori dei coefficienti di assorbimento scelti siano prudenziali, nel senso che danno una valutazione in difetto dell'alimentazione della falda.

TABELLA 6 — Aree di alimentazione della falda principale e volumi medi delle piogge annuali e semestrali, in relazione al grado di permeabilità delle rocce affioranti.

Grado di permeabilità delle rocce affioranti (*)	Superfici delle aree di alimentazione, in Km ²			Volumi di pioggia, in milioni di m ³ (**) (I valori tra parentesi rappresentano le altezze di pioggia, in mm)								
	Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione	Piogge annuali			Piogge del semestre ottobre - marzo			Piogge del semestre aprile - settembre		
				Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione	Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione	Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione
Molto permeabili .	572	367	939	546 (955)	256 (698)	802 (854)	369 (645)	170 (463)	539 (574)	177 (309)	86 (234)	263 (280)
Discretamente permeabili	47	68	115	36 (766)	45 (662)	81 (704)	24 (511)	31 (456)	55 (478)	12 (255)	14 (206)	26 (226)
Scarsamente o raramente perm.	162	497	659	157 (969)	339 (682)	496 (753)	108 (667)	230 (463)	338 (513)	49 (302)	109 (219)	158 (240)
TOTALI	781	932	1713	739 (946)	640 (687)	1379 (805)	501 (641)	431 (462)	932 (544)	238 (305)	209 (224)	447 (261)

(*) Si veda in proposito il cap. 7.2. e la tabella 5.

(**) I volumi medi delle piogge annuali e semestrali sono stati calcolati sulla base delle isoiete medie, costruite con i valori delle altezze medie annuali e semestrali delle precipitazioni misurate alle stazioni pluviometriche del Gargano (tab. 1).

Dalla tabella 7, nella quale sono riportati gli *assorbimenti pluviometrici* annuali calcolati sulla base dei coefficienti e dei volumi di pioggia scelti come detto innanzi, risulta che l'alimentazione annuale totale della falda profonda è dell'ordine di $m^3 453 \times 10^6$. Appare inoltre evidente che le aree situate ad altitudini superiori a m 400, e cioè in pratica le aree centrali del promontorio, portano un contributo preponderante al ravvenamento idrico della falda profonda: $m^3 293 \times 10^6$, pari al 64,7% dell'alimentazione annuale totale.

Il ravvenamento della falda non avviene quindi in modo uniforme su tutto il bacino di alimentazione; tale fatto influenza certamente la circolazione idrica sotterranea e i rapporti tra le acque di falda e quelle di mare sottostanti: più ampie oscillazioni stagionali dei livelli statici e della interfaccia nelle zone centrali del promontorio, lunghi percorsi della maggior parte delle acque sotterranee prima di defluire a mare, ecc.

Essendo trascurabili gli attuali attingimenti dalla falda profonda del Gargano e considerando detta falda perfettamente isolata dalle acque sotterranee del Tavoliere di Foggia, dagli assorbimenti pluviometrici annuali calcolati può farsi scaturire un deflusso medio annuale di detta falda verso mare pari a $14,36 m^3/s$.



Fig. 36 — Polla di Cala della Pergola, a sud di Testa del Gargano.

TABELLA 7 — Assorbimenti annuali delle piogge, in rapporto al grado di permeabilità delle rocce affioranti.

Grado di permeabilità delle rocce affioranti	Volumi di pioggia in milioni di m ³			Coefficienti di assorbimento %	Assorbimenti, in milioni di m ³		
	Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione		Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione
Molto permeabili (*) (**)	369	170	539	65	239,9	110,5	350,4
	177	86	263	20	35,4	17,2	52,6
Discretamente permeabili (*)	24	31	55	30	7,2	9,3	16,5
Scarsamente o raramente permeabili (*)	108	230	338	10	10,8	23,0	33,8
TOTALI	678	517	1195		293,3	160,0	453,3

(*) Valori relativi al semestre ottobre-marzo.

(**) Valori relativi al semestre aprile-settembre.

8. 2. Sorgenti

Numerose e talora cospicue sono nel Gargano le manifestazioni sorgentizie costiere di acque salmastre; durante i rilievi svolti se ne sono contate oltre duecento. Sgorgano pressochè tutte lungo ben definiti tratti di costa: sulle sponde sudorientali del lago Lésina (con portata media complessiva valutata sui 1140 l/s), sulle sponde del lago di Varano (l/s 1400), tra Vieste e Testa del Gargano (l/s 1400) e nella zona di Manfredonia-Siponto (l/s 900). Si veda in proposito la tavola II e la tabella 8.

Molto meno numerose sono risultate invece, durante le osservazioni di campagna, le *sorgenti carsiche ascendenti subacquee (polle)*: circa 10 polle (o gruppi di polle) si rinvennero lungo le sponde del lago di Varano, una a sud di Testa del Gargano (alla Cala della Pergola, fig. 36) e due nella zona di Manfredonia. Non si hanno ancora elementi che consentano una valutazione anche solo grossolana della portata delle polle⁽⁹⁾.

Il fatto che le sorgenti costiere e le polle siano raggruppate lungo limitati e ben definiti tratti di costa sta a dimostrare che i deflussi a mare tendono a convogliarsi prevalentemente lungo vie d'acqua preferenziali, dove la permeabilità della roccia è maggiore, in concordanza con i risultati delle osservazioni geologiche e morfologiche avanti esposti.

La portata media complessiva delle « sorgenti visibili » alimentate dalla falda principale è di circa 5 m³/s, senza tener conto della portata delle polle, portata certamente non trascurabile. Rispetto al deflusso medio annuale della falda principale verso il mare (dell'ordine di 14 m³/s), risulta quindi considerevole la portata media complessiva delle sorgenti note, tanto da influenzare certamente l'uniforme deflusso a mare delle acque di falda.

In tabella 8 sono riportate le portate delle sorgenti; si tratta di valori grossolanamente approssimati, a causa delle grandi e spesso insormontabili difficoltà che si incontrano nell'effettuare le misure di portata quando le acque di sorgente non sono incanalate verso il mare; è questo il caso di gran lunga più frequente. Per la stessa ragione, riesce oltremodo difficile misurare le variazioni di portate. Tuttavia queste, sulla scorta di numerose osservazioni, risultano relativamente modeste e regolari: la grande maggioranza delle sorgenti presenta infatti un *indice di variabilità* (rapporto tra la portata massima e minima) inferiore a due, onde si possono definire *costanti*.

La costanza e la regolarità del regime delle sorgenti, in contrasto con l'irregolarità del regime pluviale (durante il semestre ottobre-marzo cade il 68% delle piogge medie annuali), dipende dai rapporti esistenti tra le acque di falda e il mare: ad un piccolo innalzamento del livello della falda che alimenta le sorgenti corrisponde un forte abbassamento della interfaccia e viceversa; ne derivano anche corrispondenti spostamenti della acqua di mare sottostante all'interfaccia⁽¹⁰⁾.

⁽⁹⁾ Si ha in programma di effettuare misure di portata delle polle impiegando traccianti.

⁽¹⁰⁾ Tale meccanismo di regolazione tendente a ridurre più o meno fortemente le variazioni degli efflussi delle falde sostenute dall'acqua di mare è stato messo in evidenza da V. COTECCHIA [8].

TABELLA 8 — Caratteri idrologici delle sorgenti alimentate dalla falda principale.

N.	Denominazione	q	d	Q	s	t	NOTE
1	S. Nazario	6,0	2100	250	2,1	27	Sgorgante dal calcare e filtrante su di un'area di circa m ² 1000 da depositi costieri sabbioso-conglomeratici poco potenti, addossati ai calcari (<i>sorgente di trabocco</i>).
2	Caldoli	2,2	1280	200	2,2	20	Filtrante, su di un'area di circa m ² 1000 da depositi costieri sabbioso-conglomeratici ricoprenti calcari (<i>sorgente ascendente</i>).
3	Mascolo	1,8	1000	150	4,3	18	Filtrante, su di un'area di circa m ² 1000 da depositi costieri sabbioso-conglomeratici ricoprenti i calcari (<i>sorgente ascendente</i>).
4	Mascione	2,0	1600	50	3,3	17	Sgorgante da arenarie calcaree, al contatto con depositi costieri sabbioso-conglomeratici (<i>sorg. di trabocco</i>).
5	Lauro	2,5	1750	450	2,8	15	Costituita da alcune scaturigini sgorganti dai calcari al contatto con depositi costieri (<i>sorgente di trabocco</i>).
6	Milena	1,8	700	35	3,1	15	Costituita da alcune scaturigini filtranti da depositi costieri ricoprenti calcari (<i>sorgente ascendente</i>).
7	Mileto	0,2	3	5	3,0	16	Sgorgante da una fessura dei calcari (<i>sorgente di emergenza</i>).
8	Calarossa	0,0	0	5	3,2	17	Sgorgante da una fessura dei calcari (<i>sorgente di emergenza</i>).
9	Baresella	0,0-1,5	0-200	220	2,8-5,9	16	N. 15 scaturigini sgorganti da fessure subverticali dei calcari, lungo un tratto di costa di circa km 3.
10	San Nicola	0,4-0,6	30-150	100	2,7-3,0	14	N. 2 scaturigini sgorganti da fessure delle arenarie calcaree al contatto con depositi costieri (<i>sorgente di trabocco</i>).
11	Fascia	0,0-0,5	0-150	120	2,9-3,6	14	N. 8 scaturigini sgorganti da fessure delle arenarie calcaree, in parte al contatto con depositi costieri.
12	Valle S. Angelo	0,0-0,2	0	5	3,0-4,2	14	N. 2 scaturigini sgorganti da fessure delle arenarie calcaree, al contatto con depositi costieri.
13	Costa del Pozzone	0,0-0,2	0	10	4,0-4,3	14	N. 5 scaturigini sgorganti da fessure delle arenarie calcaree.
14	Bagno	0,0-0,5	0-30	250	2,3-4,4	14	N. 10 scaturigini sgorganti da fessure delle arenarie calcaree e dei calcari, talora al contatto con depositi costieri, lungo un tratto di costa di circa km 1.
15	Arancio - Orti Tullio	0,2-0,6	50-100	30	2,2-2,5	14	Numerose scaturigini filtranti da depositi sabbioso-conglomeratici su un tratto di costa di circa km 1 (<i>sorgente ascendente</i>).
16	Fiumicello	1,0	350	10	1,9	15	Sgorgante da fessure delle arenarie calcaree, al contatto con depositi costieri (<i>sorgente di trabocco</i>).
17	Irchio	0,0-0,4	0-5	650	3,0-4,2	14	N. 20 scaturigini sgorganti da fessure dei calcari lungo un tratto di costa di circa km 1 (<i>sorg. di emerg.</i>).
18	La Salata	1,0-2,0	150-200	60	4,6-4,5	17	N. 3 scaturigini, di cui una sgorgante da una grotta nei calcari arenacei e due filtranti dai depositi costieri al contatto con gli stessi calcari.
19	Palude	1,0-2,0	650-1700	100	1,4-3,8	17	Numerose scaturigini filtranti da depositi alluvionali in prossimità di calcari arenacei.
20	Scialara	1,0-2,8	150-550	250	2,2-4,1	17	N. 20 scaturigini filtranti da depositi costieri sabbiosi, lungo un tratto di costa di circa km 1,5.
21	Torre del Ponte	0,2-2,6	0-300	350	4,8-6,1	18	N. 25 scaturigini sgorganti in prevalenza da giunti di stratificazione dei calcari su un fronte di circa km 1.
22	Calcari	0,5-2,0	100-270	150	5,3-6,2	18	N. 5 scaturigini sgorganti dai calcari, su di un fronte di circa km 0,4.
23	Torre Porto-Nuovo	0,2-1,0	0-120	350	5,0-5,6	18	N. 15 scaturigini sgorganti dai calcari o filtranti da depositi costieri su di un fronte di circa km 0,7.
24	Cala S. Felice	0,2-0,8	0	300	5,6-6,4	18	N. 7 scaturigini sgorganti dalle fessure del calcare dolomitico, lungo un tratto di costa di circa km 0,4 (<i>sorgente di emergenza</i>).
25	Convento	0,0-0,4	0-5	160	4,2-5,6	19	N. 12 scaturigini sgorg. dalle fessure del calcare, lungo un tratto di costa di circa km 1 (<i>sorg. di emerg.</i>).
26	Acque di Cristo	0,3	10	15	4,6	19	Sgorgante da fessure del calcare.
27	S. Pietro - Castello	0,2-0,8	0-10	65	4,2-5,5	19	N. 10 scaturigini sgorganti in parte dalle fessure del calcare e in parte filtranti da depositi della spiaggia, lungo un tratto di costa di circa km 0,5.
28	Porto	0,1-0,4	0-5	60	4,2-5,2	20	N. 3 scaturigini sgorganti dai calcari.
29	Molo - Orto d. Breccie	0,0-0,2	0	70	3,6-5,6	20	N. 30 scaturigini sgorganti da fessure subverticali dei calcari, lungo un tratto di costa di circa km 1,3.
30	Conchiglia	0,0-0,3	0	100	5,2-5,8	22	N. 5 scaturigini sgorganti da fessure subverticali dei calcari, lungo un tratto di costa di circa km 0,2 (<i>sorgente di emergenza</i>).
31	Foce canale	0,4	60	130	4,1-4,2	22	N. 2 scaturigini sgorganti dal calcare (<i>sorgente di emergenza</i>).
32	Papa Orsini	2,0	500	50	3,2	22	Alcune scaturigini sgorganti dal calcare o filtranti dai depositi costieri addossati al calcare (<i>sorg. di trab.</i>).
33	Centrone	2,0	700	150	3,1	22	Alcune scaturigini sgorganti dal calcare o filtranti dai depositi costieri addossati al calcare (<i>sorg. di trab.</i>).
34	Mascherone	2,5	1300	100	2,5	22	Filtrante dai depositi costieri, su di un'area di circa m ² 300 (<i>sorgente ascendente</i>).

q : quota approssimata sul livello mare, in m.
d : distanza dalla linea di costa, in m.
Q : portata media approssimata, in l/s.

s : salinità misurata con salinometro, in g/l.
t : temperatura, in °C.

Le acque delle sorgenti sono tutte salmastre; il contenuto salino varia da un minimo di g/l 1,4 (sorgente Palude o Molinello) ad un massimo di g/l 6,4 (sorgente Cala S. Felice) ⁽¹¹⁾.

In effetti le acque delle sorgenti, anche se drenate da punti della falda dove l'acqua è dolce e incanalate quindi in vie preferenziali, prima di sgorgare sono costrette ad attraversare una fascia di acque salmastre che borda le coste e quindi a contaminarsi.

Le sorgenti del promontorio si attribuiscono al *tipo carsico*, anche quando non scaturiscono direttamente dalle fessure delle rocce allargate per dissoluzione carsica, perchè la loro effettiva provenienza è sempre da ricercarsi; per ragioni di carattere idrogeologico e geochimico, nella falda principale contenuta nelle masse calcaree e dolomitiche carsiche del Gargano.

Per quanto riguarda le modalità di affioramento, si distinguono sorgenti di trabocco per sbarramento, ascendenti (*pseudo-artesiane*), di emergenza e ascendenti subaquee (*polle*).

a) **SORGENTI DI TRABOCCO PER SBARRAMENTO.** — Lo sbarramento è formato da un mantello di terreni quaternari scarsamente permeabili addossato ai calcari, alle dolomie e alle arenarie. Le sorgenti sgorgano dalle fessure di tali rocce al contatto coi sedimenti quaternari. La portata di esse è talora cospicua (S. Nazario circa l/s 250, Lauro l/s 450, Centrone l/s 150), la distanza dalle coste spesso notevole (S. Nazario Km 2,1, Lauro Km 1,75, Mascione Km 1,6, Centrone Km 0,7), la quota di affioramento in genere a circa m 2 sullo zero I. G. M. A quota sensibilmente più elevata (circa m 6 sullo zero I. G. M.) sgorga la sorgente S. Nazario.

Tra le sorgenti che drenano la falda principale, quelle di trabocco sono tra le meno salmastre; il contenuto salino oscilla fra 1,4 e 4,2 g/l.

b) **SORGENTI ASCENDENTI.** — Sgorgano dove il mantello di terreni quaternari ricoprenti i calcari e le dolomie lascia filtrare le acque di falda aventi un carico piezometrico che si eleva al di sopra del piano campagna. Tale situazione idrogeologica si rinviene ai margini sud-orientali del lago di Lesina (schizzo 2 di tav. III) e a SO di Siponto (schizzo 8 di tav. III).

In queste zone scaturiscono alcune sorgenti ascendenti, situate a considerevole distanza dalle rocce (Mascherone Km 1,3, Caldoli Km 1,28, Mascolo Km 1,0, Milena Km 0,8) e con portate relativamente copiose (Caldoli l/s 200, Mascolo l/s 150, Mascherone l/s 100). La quota di affioramento delle principali sorgenti ascendenti oscilla tra 1,8 e 2,5 metri sullo zero I. G. M.; il contenuto salino tra 2,2 e 4,3 g/l.

c) **SORGENTI DI EMERGENZA.** — Numerosissime e spesso con portata modesta, sgorgano in prossimità del mare ed a quote molto basse (in genere inferiori a m 1 sullo zero I. G. M. e talora al di sotto del livello di alta marea o addirittura del livello medio marino) da fessure delle rocce calcaree, dolomitiche ed arenacee. Le fessure sono rappresentate in prevalenza da giunti di

⁽¹¹⁾ Veramente notevole è la salinità della sorgente S. Nazario (g/l 2,1), considerata la quota di affioramento (circa m 6 sul l.m.), la distanza dalle sponde del lago di Lesina (km 2,1) e la salinità relativamente moderata delle acque del lago (circa g/l 25).

stratificazione tra Vieste e Testa del Gargano (fig. 33) e da fratture, spesso subverticali, al lago di Varano e nella zona di Manfredonia - Siponto. Le acque delle sorgenti di emergenza presentano contenuti salini piuttosto considerevoli, variabili tra 3,0 e 6,4 g/l.

A questo punto, per chiarire le modalità di affioramento delle sorgenti di emergenza, occorre osservare che, essendo le rocce calcaree pressochè costantemente bordate nel mare, a distanze e a profondità piccolissime dalle coste (sull'ordine di pochi metri, ma talora anche inferiori al metro) da terreni della piattaforma costiera scarsamente permeabili (comunque molto meno permeabili delle masse calcaree), l'acqua di falda è dotata di una certa altezza piezometrica in prossimità del litorale, anche in corrispondenza del mare. In altre parole, la cosiddetta *linea di spiaggia effettiva*, vale a dire il luogo dei punti della falda aventi altezza piezometrica nulla, non coincide con il litorale ma si rinviene nel mare, talora a distanze considerevoli dalle coste. Tale situazione idrogeologica, frequente al Gargano, è particolarmente evidente al lago di Varano (schizzo 3 di tav. III), dove la falda principale presenta ancora un'altezza piezometrica di circa m 0,50 sullo zero I. G. M. al centro dell'« Isola » (pozzo n. 15 di tab. 8 e di tav. II), a molti chilometri di distanza dalle sponde meridionali del lago (a oltre 7 Km dalla sorgente Bagno). La stessa situazione idrogeologica dà ragione delle numerose sorgenti ascendenti subacquee (*polle*) che bordano le sponde del lago di Varano. Altre polle si osservano, come già si è detto, a sud di Testa del Gargano e nei pressi di Manfredonia.

8. 3. Temperatura delle acque

Le misure di temperatura effettuate sulle acque di falda e di sorgente, per quanto non eseguite sistematicamente per un periodo sufficientemente lungo, consentono di fare interessanti considerazioni sulle variazioni stagionali di temperatura, sulle differenze di temperatura esistenti tra le acque delle diverse zone del promontorio, sulle variazioni di temperatura con la profondità nelle aree costiere e in quelle interne e sui rapporti tra la temperatura delle acque di falda e quelle di sorgente.

a) VARIAZIONI STAGIONALI DI TEMPERATURA. — Per quanto riguarda le acque di falda, se si escludono quelle situate nelle immediate vicinanze delle coste, che per l'influenza esercitata dal mare presentano, come l'acqua di mare⁽¹²⁾, una eterotermia stagionale, le variazioni stagionali della temperatura sono praticamente nulle.

Nelle acque di sorgente le stesse variazioni sono deboli; in genere inferiori a 1°C. Il fatto sta ad indicare che la zona di eterotermia stagionale ha una scarsa influenza sulle acque di sorgente; altrettanto dicasi per le acque di infiltrazione. In effetti le sorgenti del Gargano non sono mai alimentate

⁽¹²⁾ Nel basso Adriatico, alla superficie del mare si misurano valori minimi di temperatura in febbraio (circa 13°C) e massimi in agosto (24 ÷ 26°C); alla profondità di m 100 la temperatura minima è ancora di circa 13°C in febbraio mentre la massima si riduce a circa 14°C in agosto. A profondità maggiori le variazioni stagionali di temperatura praticamente si annullano.

direttamente da queste ultime, ma drenano le acque di falda, come lo dimostra la loro portata relativamente costante, malgrado il regime pluviale irregolare.

b) DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA DELLE ACQUE DI FALDA E DI SORGENTE. — Nelle acque sotterranee delle diverse zone del promontorio sono stati riscontrati valori di temperatura notevolmente diversi.

Nelle acque di falda prossime alla superficie freatica si passa (tav. II) da 26°C a SE di Monte Granata a 22°C ad ovest di Manfredonia, a sud di Rignano G. e ad est di Poggio Imperiale, da 17°C a NO di Sannicandro Garganico a 14-15°C a Carpino e a Testa del Gargano.

Nelle acque delle sorgenti alimentate dalla falda principale (tav. II e tab. 8) si passa da 27°C⁽¹³⁾ a 20°C, 18°C, 17°C e 15°C allontanandosi da Poggio Imperiale verso ENE, da 14°C al lago di Varano a 17°C a NO di Vieste, da 18°C tra Vieste e Testa del Gargano a 19-22°C nella zona di Manfredonia.

In sintesi, le acque di falda in prossimità della superficie freatica, presentano differenze massime di temperatura di 12°C (14°C a Carpino e 26°C a SE di Monte Granata) e le acque di sorgente di 13°C (14°C alle sorgenti del lago di Varano e 27°C alla sorgente S. Nazario).

Differenze considerevoli di temperatura sono state osservate anche fra punti della falda relativamente vicini; ad esempio, tra le acque dei pozzi n. 39 e n. 40, distanti tra loro solo 3,5 Km, si ha una differenza di temperatura di oltre 7°C (fig. 37).

E' certo che differenze di temperatura tanto considerevoli possono favorire l'instaurazione nelle acque di falda, sostenute dall'acqua di mare alla base, di *moti convettivi* di entità non trascurabile, che in presenza di vie di acque preferenziali assumono il carattere di vere « *correnti* », capaci di produrre mescolamenti di acque di falda a diverso contenuto salino.

E' noto che significativi incrementi di temperatura delle acque sotterranee rispetto alla temperatura media annuale dell'aria possono essere dovuti a reazioni chimiche esotermiche (ossidazione di mineralizzazioni a pirite e a petrolio, idratazione dell'anidrite, ecc.). Gli incrementi di temperatura osservati nelle acque di falda del Gargano occidentale (20 ÷ 26°C contro i 14,4°C della temperatura media annuale dell'aria) sono però troppo forti per essere imputati a reazioni chimiche esotermiche; è invece più probabile che valori tanto alti di temperatura siano dovuti a gradienti geotermici elevati⁽¹⁴⁾. L'osservazione è convalidata dal forte gradiente termico

⁽¹³⁾ Si tratta della temperatura, in verità considerevolmente elevata e della quale va cercata una spiegazione, della sorgente S. Nazario.

Acque di sorgente presentanti temperature superiori a 20°C rientrano in quelle classificate come « tiepide » da CAUSSE, « ipotermali » da MOUREN e da HINTZ e GRUNHUT, « calde » da SCHNEIDER e da KEILLACK, « temperate » da JARDIN e ASTRUC.

SCHOELLER definisce « termali » le acque presentanti temperature di 4 o più gradi centigradi superiori alla temperatura media annuale dell'aria. Questa al Gargano è di 14,4°C e quindi andrebbero classificate come « termali » tutte le acque con temperature superiori a 18,5°C.

⁽¹⁴⁾ Un gradiente geotermico elevato nelle rocce calcaree e dolomitiche, rocce a gradiente geotermico generalmente basso, si potrebbe spiegare, in via d'ipotesi, con l'esistenza di masse magmatiche in via di raffreddamento situate a profondità relativamente modeste. In effetti sono noti affioramenti di rocce ignee basiche alla Punta delle Pietre Nere (lago di Lésina) e alla Masseria S. Giovanni in Pane (Apricena). Inoltre, i risultati di indagini geofisiche al Gargano [16] hanno messo in evidenza che « le anomalie gravimetriche precisano il prolungamento verso il basso delle faglie e gradoni visibili in superficie... Le anomalie magnetiche rivelano inoltre una risalita cospicua del materiale magmatico

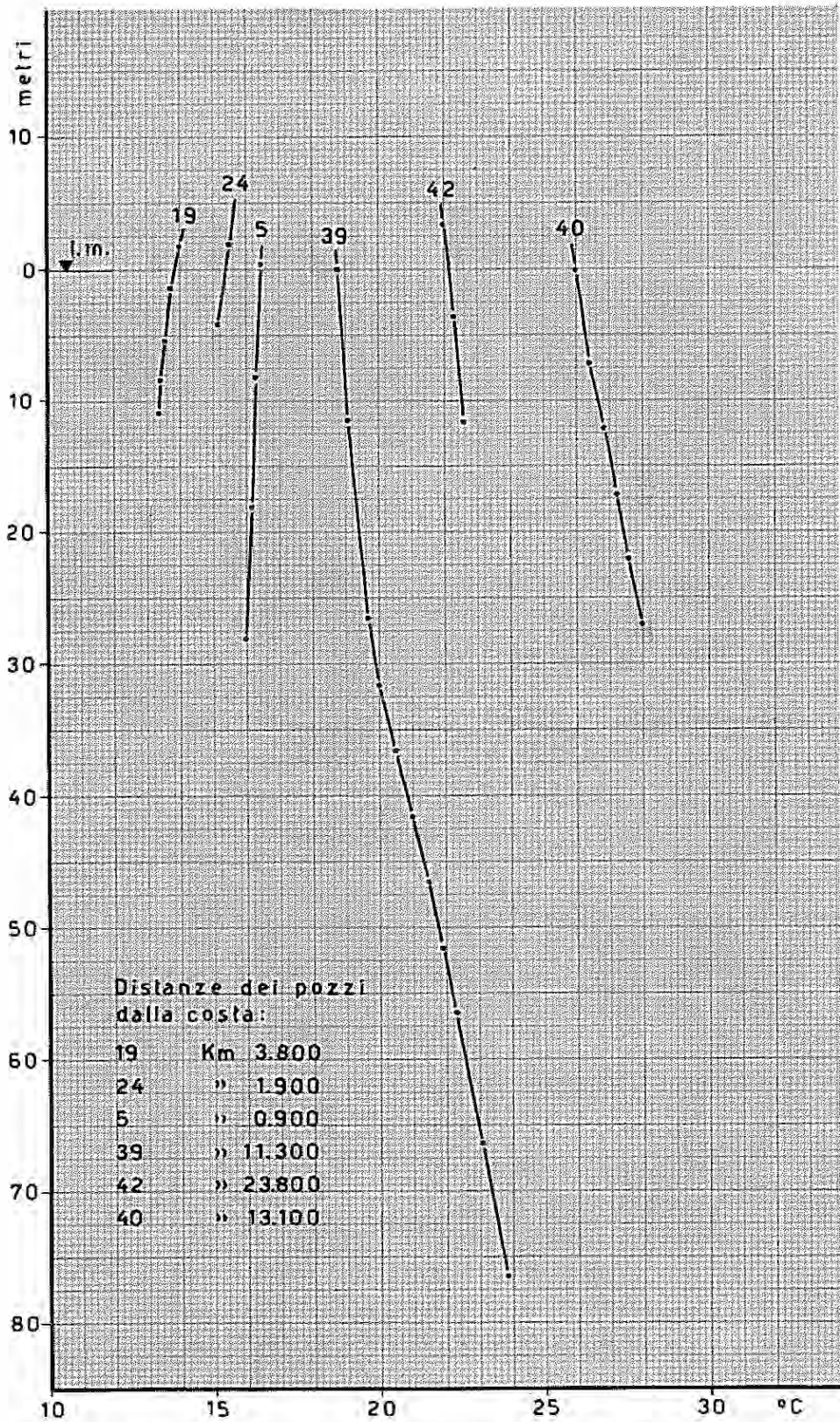


Fig. 37 — Variazioni della temperatura con la profondità nelle acque di alcuni pozzi.

(m. 13 ÷ 18) misurato nelle acque dei pozzi nn. 39, 40 e 42, tutti ubicati in prossimità della faglia del T. Candelaro (tav. II e fig. 37) ⁽¹⁵⁾.

c) **VARIAZIONE DELLA TEMPERATURA DELLE ACQUE DI FALDA CON LA PROFONDITÀ.** — Com'era logico attendersi è stato rilevato che, mentre lungo le coste le acque di falda presentano un gradiente termico negativo per l'influenza esercitata dal mare, nelle aree più distanti dalla costa esse mostrano invece, come il terreno che le contiene, un gradiente termico positivo (fig. 37).

Tale diversità di gradienti termici comporta l'insorgere di moti convettivi che, influenzando in modo uniforme lungo le coste e nelle aree più interne il fenomeno della diffusione alina, possono produrre mescolamenti di acque a diversa salinità.

d) **RAPPORTI TRA LA TEMPERATURA DELLE ACQUE DI FALDA E QUELLE DI SORGENTE.** — Nelle zone di Manfredonia e del lago di Varano le acque di falda prossime alla superficie freatica e quelle di sorgente presentano la stessa temperatura: 22°C a Manfredonia, 14°C al lago di Varano. Evidentemente le sorgenti drenano acque di falda prossime alla superficie freatica oppure, pur drenando acque di falda più profonde o più interne, comunque a temperatura diversa da quella che mostrano alle scaturigini, durante i loro tragitti sotterranei hanno avuto agio di mettersi in equilibrio termico con le rocce incassanti situate in prossimità delle coste e quindi anche con le acque di falda prossime alla superficie freatica.

A ENE di Poggio Imperiale e nella zona di Vieste-Testa del Gargano le acque di sorgente presentano invece temperature sensibilmente più elevate (di 3° ÷ 5°C) di quelle delle acque di falda. In tal caso le sorgenti devono drenare acque di falda più calde, probabilmente da zone più interne e più profonde. Infatti in linea generale solo le acque alimentate da vie preferenziali orizzontali e soprattutto ascendenti hanno acque più calde di quelle delle falde prossime alle scaturigini. Dette sorgenti presentano temperature tanto più elevate quanto maggiore è la profondità di provenienza, l'inclinazione della via preferenziale, la portata e la velocità di ascensione.

8. 4. Circolazione idrica sotterranea

La tav. II riproduce i caratteri geolitologici e le permeabilità dei terreni situati al livello mare; rappresenta quindi una sezione idrogeologica orizzontale tracciata in corrispondenza dell'orizzonte marino il quale, per quanto

lungo le faglie in corrispondenza del lago di Lésina. L'entità dell'anomalia e dei gradienti di faglia denoterebbe inoltre che l'equilibrio è instabile; e questo viene confermato dalla sismicità, che indica l'instabilità ed i conseguenti moti di assestamento sul fianco meridionale ed occidentale». Le analisi chimiche delle acque non hanno rivelato peraltro la presenza di elementi indicanti una circolazione idrica a contatto con acque juvenili.

Va però segnalato che studi in corso presso questo Laboratorio mostrano concentrazioni fortemente anomale di Radon nelle acque di sorgenti della zona di Testa del Gargano, a non grande distanza da un debole massimo magnetico e dal cospicuo massimo di una grande anomalia gravimetrica positiva, « indice di un avvicinarsi alla superficie di materiale molto denso » [13, 16].

⁽¹⁵⁾ I valori di temperatura riportati in fig. 37 sono quelli effettivamente misurati nei pozzi alle varie profondità, senza tener conto dell'eventuale influenza dei moti convettivi lungo la verticale dei pozzi.

riguarda la falda principale, poco si discosta dalla superficie freatica (o piezometrica).

E' ovvio che i limiti tra le varie formazioni geologiche sono nella maggior parte dei casi molto imprecisi. Infatti, pur tenendo conto, sulla base dei dati stratigrafici e tettonici, dei rapporti spaziali esistenti tra le diverse formazioni in relazione alle quote di affioramento, riesce molto spesso impossibile, coi dati disponibili tracciare i limiti tra le formazioni a quota zero con buona approssimazione. Cionondimeno una sezione idrogeologica così concepita, pur cogliendo errori che necessariamente comporta, è molto più espressiva ed aderente alla reale situazione delle acque sotterranee delle usuali carte idrogeologiche, aventi come base la geologia delle rocce affioranti. Un esempio: nella zona di Testa del Gargano, dalla carta della geologia e delle permeabilità delle rocce affioranti (tav. I b) il deflusso verso mare delle acque contenute nei terreni molto permeabili risulterebbe fortemente ostacolato da una larga fascia di calcari bianchi a grana fina con selci scarsamente permeabili. In realtà la potenza di tale fascia di terreni, formante il matello di una piega anticlinale poco pronunciata con asse immergentesi verso NE, è piuttosto modesta, di talchè le acque di falda possono defluire nelle sottostanti rocce molto permeabili fino in prossimità del mare, come appunto appare dalla sezione idrogeologica (tav. II). Tale sezione offre il vantaggio fondamentale di rappresentare le permeabilità dei terreni situati alle profondità ove attualmente circolano le acque di falda, permeabilità che necessariamente non coincidono per estensione e distribuzione con quelle delle rocce affioranti. Al Gargano, ad esempio, l'estensione dei terreni molto permeabili in corrispondenza del livello mare è molto maggiore (circa Km² 1360) di quella presentata dalle rocce molto permeabili affioranti (circa Km² 940).

Se si escludono i terreni del Tavoliere di Foggia, dei lidi dei laghi di Lésina e Varano e della zona di Vico-Ischitella, le rocce permeabili indicate in tav. II contengono le acque di un'unica falda (*falda principale*) avente come livello di base l'orizzonte marino e sostenuta per la massima parte dall'acqua di mare che invade il continente.

Come già si è detto l'area di prevalente alimentazione di detta falda è situata nelle zone centrali del promontorio e gli efflussi delle acque della falda si producono in gran prevalenza lungo limitati e ben definiti tratti di costa (sponde sud-orientali del lago di Lésina, sponde del lago di Varano, tra Vieste e Testa del Gargano, zona di Manfredonia-Siponto) e lungo la bassa valle del T. Candelaro (a valle della stazione ferroviaria di S. Marco in Lamis).

L'ubicazione dell'area di prevalente alimentazione e delle zone di efflusso condizionano nelle grandi linee la circolazione idrica sotterranea della falda principale. La descrizione della medesima verrà fatta zona per zona, a partire dalle regioni sud-occidentali del lago di Lésina e procedendo verso est; allo scopo si farà riferimento, assieme alla tabella 9, che dà i caratteristici idrologici dei pozzi e alla sezione idrogeologica alla quota livello mare (tav. II), anche agli schizzi indicativi delle varie situazioni idrogeologiche di tav. III.

a) MARGINI SUD-OCCIDENTALI DEL LAGO DI LÉSINA (tav. II e schizzo 1 di

tav. III). — I pozzi n. 1 e n. 2, perforati a nord della faglia di Poggio Imperiale, hanno attraversato per circa m 200 terreni scarsamente permeabili o praticamente impermeabili prima di incontrare calcari molto permeabili. Detti terreni, che per certo si estendono anche sotto alle acque del lago e nel mare antistante, ostacolano il libero efflusso della falda contenuta nei calcari. Questa, non potendo sottopassare i suddetti terreni, assume un carico tale (m 10 ÷ 15 sul l. m.) da consentirle in parte di aggirare l'ostacolo verso NE, dove può defluire attraverso sorgenti di trabocco e ascendenti, che sgorgano ai margini centro-meridionali del lago, e in parte filtrare verso nord attraverso le sabbie sovrastanti alle argille.

Le acque sotterranee di questa zona trovano essenzialmente alimentazione dagli afflussi meteorici che incidono sulla regione di Poggio Imperiale-Apricena; si tratta di volumi d'acqua piuttosto modesti.

b) MARGINI CENTRO-MERIDIONALI DEL LAGO DI LÉSINA (tav. II e schizzo 2 di tav. III). — In questa zona, dove la potenza dei terreni scarsamente permeabili addossati ai calcari si riduce ad alcune decine di metri (pozzi nn. 3, 4, 5 e 6), l'altezza del rigurgito prodotto da tali terreni supera la quota del piano di campagna, di talchè si determinano sorgenti di trabocco per sbarramento e sorgenti ascendenti. La loro portata media è considerevole: circa 1100 l/s.

Le acque sotterranee di questa zona sono per la maggior parte alimentate dagli abbondanti afflussi meteorici che si verificano sull'esteso pianoro a doline situato a SO.

c) MARGINI SUD-ORIENTALI DEL LAGO DI LÉSINA (tav. II). — I calcari molto permeabili di base sono ricoperti da potenti arenarie calcaree mioceniche scarsamente permeabili (pozzi nn. 7, 8 e 9), che ostacolano il libero deflusso delle acque di falda verso il lago. Queste aggirano l'ostacolo e si riversano per la maggior parte ai margini del ricoprimento di terreni scarsamente permeabili, dove sgorgano le sorgenti nn. 4, 5, 6 e 7.

d) MARGINI DEL LAGO DI VARANO (tav. II e schizzo 3 di tav. III). — Lungo la costa si hanno considerevoli efflussi di acqua di falda; sono state infatti individuate una settantina di scaturigini (portata media circa l/s 1400) e una decina di polle o gruppi di polle. In effetti il lago rappresenta una vasta cicatrice di origine tettonica drenante la falda principale. Questa è abbondantemente ravvenata dai forti afflussi meteorici che incidono sulle aree centrali del promontorio.

Come già si è detto, a causa della particolare situazione idrogeologica (potenti sedimenti scarsamente permeabili o praticamente impermeabili che nel lago ricoprono i calcari di base), la *linea di spiaggia effettiva* si rinviene nel mare. Al centro dell'« Isola » (pozzo n. 15), le acque della falda principale presentano ancora un'altezza piezometrica di circa cm. 50 sullo zero I. G. M. Tale situazione idrogeologica rende ragione delle numerose polle che bordano le sponde del lago di Varano.

e) REGIONI NORD-ORIENTALI DEL GARGANO. — A nord della Foresta Umbra (tav. II e schizzo 5 di tav. III) il deflusso delle acque di falda verso il mare è

sbarrato per un lungo tratto (circa Km 30) dai calcari bianchi a grana fina con selci e intercalazioni marnose, terreni praticamente impermeabili.

f) TRA PESCHICI E VIESTE (tav. II e schizzo 5 di tav. III). — Sui calcari bianchi con selci e intercalazioni marnose affiorano calcari arenacei a stratificazione irregolare, fessurati, discretamente permeabili.

Nei calcari arenacei ha sede una falda d'acqua sostenuta in parte dal substrato calcareo-marnoso praticamente impermeabile e in parte dall'acqua di mare che invade il continente.

Il substrato impermeabile inclinato verso mare costringe la falda ad occupare un'area prossima alla linea di costa. Pertanto, in considerazione anche del forte sviluppo del carsismo costiero, grande dovrebbe essere in queste regioni l'influenza nociva dell'acqua di mare sulle acque di falda.

Le considerazioni svolte per la falda dei calcari arenacei valgono anche per le modeste falde che hanno sede nei depositi alluvionali affioranti tra S. Menaio e Peschici.

g) TRA VIESTE E TESTA DEL GARGANO (tav. II e schizzo 6 di tav. III). — Le acque di falda, abbondantemente alimentate in corrispondenza del pianoro a doline della Foresta Umbra, scorrono nei calcari dolomitici grigi molto permeabili fino in prossimità del mare; la fascia di calcari bianchi scarsamente permeabili che separa dal mare i calcari dolomitici grigi non impedisce l'efflusso delle acque di falda, che avviene attraverso numerose scaturigini presentanti una portata complessiva di l/s 1400.

Le acque sgorgano talora dai piani di stratificazione dei calcari bianchi ma più spesso in corrispondenza di livelli dolomitici formati per dolomitizzazione secondaria dei calcari bianchi.

h) TRA TESTA DEL GARGANO E IL CONVENTO DI MANFREDONIA (tav. II e schizzo 7 di tav. III). — Una fascia costituita da calcari bianchi e da terreni quaternari scarsamente permeabili, addossati a calcari e dolomie molto permeabili, ostacola il deflusso a mare delle acque di falda. Queste per aggirare l'ostacolo, si dirigono verso Testa del Gargano a Manfredonia.

i) ZONA DI MANFREDONIA. — Le acque di falda sgorgano da numerosissime sorgenti di emergenza situate in prossimità del mare, lungo la bassa falaise in calcari molto permeabili.

l) TRA SIPONTO E IL T. CANDELARO (tav. II e schizzo 8 di tav. III). — Terreni quaternari scarsamente permeabili o praticamente impermeabili, addossati a calcari molto permeabili, provocano il rigurgito delle acque di falda. Queste defluiscono a mare, filtrando in parte attraverso i terreni scarsamente permeabili e in parte, dove l'altezza del rigurgito supera la quota del piano campagna, attraverso sorgenti di trabocco per sbarramento e sorgenti ascendenti.

m) BASSO CORSO DEL T. CANDELARO. — A valle della Stazione di S. Marco in Lamis (tav. II e schizzo 9 di tav. III) i sedimenti quaternari del Tavoliere⁽¹⁶⁾,

⁽¹⁶⁾ Per dettagliate notizie sull'idrogeologia del Tavoliere si rimanda agli studi di V. COTECCHIA [7] e di L. ZORZI-C. REINA [18, 19].

costituiti da sabbie più o meno limose scarsamente permeabili, conglomerati a cemento sabbioso discretamente permeabili e argille azzurre praticamente impermeabili, si addossano alla parete della faglia che corre lungo il corso del T. Candelaro. Essendo l'età della faglia tardomiocenica - infrapliocenica, i rapporti tra i calcari mesozoici del Gargano e i sedimenti quaternari del Tavoliere non sono tettonici. Al contatto tra i due terreni, oltre ai normali conglomerati trasgressivi, si dovrebbero sovente interporre brecce di falda, probabilmente a discreta permeabilità, accumulatesi al piede della ripida parete di faglia. In ogni caso, non vi è nessuna ragione a carattere geologico perchè la faglia del T. Candelaro rappresenti un diaframma impermeabile tra i sedimenti del Tavoliere e i calcari del Gargano. Tale osservazione è confermata dai dati idrologici offerti dai pozzi perforati ai due lati della linea di faglia (schizzo n. 9 di tav. III); le altezze piezometriche sia della falda superficiale del Tavoliere come quella della falda del Gargano si abbassano avvicinandosi alla faglia del T. Candelaro (tav. II), il che sta ad indicare che questa costituisce una via di più facile deflusso per le acque sotterranee e non un diaframma impermeabile, come si era finora presunto.

Che le acque sotterranee del Tavoliere e del Gargano trovino all'incirca in corrispondenza della faglia del T. Candelaro una via preferenziale di deflusso verso mare è avvalorato dalle bassissime cadenti piezometriche presenti nelle acque di falda del Gargano in prossimità della faglia: in corrispondenza dei pozzi nn. 39, 40 e 42 (tab. 9 e tav. III) la cadente piezometrica assume valori medi, grossolanamente approssimati (ottenuti rapportando i livelli statici alle distanze minime dei pozzi dal mare), rispettivamente di 0,11, 0,14 e 0,19‰.

Le acque del pozzo n. 39, alla profondità di m 76,5 sotto il livello mare, presentano un contenuto salino di ben 31 g/l; evidentemente avvicinandosi alla faglia, ad un abbassamento delle altezze piezometriche corrisponde un sollevamento dell'interfaccia; la stessa osservazione vale per le acque della « falda profonda » avente sede nei calcari sottostanti ai sedimenti del Tavoliere⁽¹⁷⁾. E' molto probabile quindi che la falda del Gargano e quella « profonda » del Tavoliere siano in comunicazione fra loro.

n) ZONA DI APRICENA (schizzo n. 10 di tav. III). — I sedimenti del Tavoliere si addossano a calcari bianchi a grana fina con selci (pozzo n. 45) e rari interstrati marnosi (pozzi nn. 45 e 47) e con intercalazioni di calcari bianchi a grana medio grossa e di calcari detritici, terreni del Cretacico superiore scarsamente permeabili. Mentre le altezze piezometriche delle acque aventi sede nella formazione calcarea si abbassano procedendo verso NE, quelle della falda superficiale del Tavoliere si abbassano verso sud (tav. II). Inoltre, in prossimità della zona di contatto fra i terreni del Tavoliere e quelli del Gargano, i carichi piezometrici della falda del Tavoliere sono considerevolmente più elevati di quelli della falda del Gargano. Tuttavia, data la scarsa permeabilità dei calcari e per essere le acque della falda del Tavoliere alimentate esclusivamente dagli afflussi meteorici che incidono nella zona, even-

⁽¹⁷⁾ Si veda in proposito nello studio di L. ZORZI-C. REINA [18] lo schema 2 e i dati idrologici di tre pozzi profondi perforati nel Tavoliere.

TABELLA 9 — Caratteristiche idrologiche dei pozzi.

N.	Sigla	q	s	L	L'	t	i	Q	d	R	C
1	2/FP	36,46	3,10	354,50	318,04	13,60	4,39	39,00	16,35	3,50	242,00
2	3/FP	28,91	3,00	190,50	161,59	10,87	3,62	50,00	1,73	2,36	180,00
3		(7,50)	1,75	47,50	(40,00)	(9,50)	(5,40)			1,76	36,60
4		(1,20)	(0,25)	80,30	(79,10)	(1,20)	(4,80)			15,00	78,00
5		(7,00)	0,91	38,00	(31,00)	(1,50)	(1,60)			1,08	17,00
6	1/RF	36,99	2,10	55,00	18,01	5,66	2,69	52,50	0,08	1,90	0,00
7	10/RF	(24,00)	2,75	182,00	(158,00)	(2,00)	(1,10)	16,50	15,80	16,42	173,10
8	8/RF	(42,00)	3,45	200,35	(158,35)	(3,00)	(1,20)	2,50	14,90	2,12	95,00
9	2/RF	30,79	3,00	68,00	37,21	2,79	0,93	51,50	0,24	2,50	50,50
10	7/RF	18,83	1,35	66,00	47,17	1,43	1,10	9,50	3,07	2,10	0,00
11	3/RF	14,70	2,25	41,00	26,30	1,95	0,87	60,00	1,45	1,99	0,00
12	6/RF	19,70	2,75	28,00	8,30	2,35	0,80	6,00	3,50	0,46	0,00
13	9/RF	(88,50)	5,20	145,00	(56,50)	(3,50)	(1,00)	15,00	17,68	2,93	0,00
14		6,00	(0,40)	147,00	140,00	1,00	(2,50)			29,78	100,00
15		5,50	(0,30)	118,35	112,85	0,50	(1,70)			23,97	116,00
16		5,00	(0,30)	106,00	101,00	0,50	(1,70)			27,30	99,00
17		(1,80)	0,60	41,50	(39,70)	(2,00)	(3,30)			19,36	—
18	6/RG	112,75	2,80	180,30	67,55	5,25	1,87	11,00	0,60	1,71	5,00
19	4/RG	71,81	3,80	84,70	12,89	2,81	0,74	17,50	0,00	0,93	6,00
20	7/RG	149,80	5,70	200,50	50,70	—	—	0,00	—	—	0,00
21		(72,00)	3,37	76,76	(4,76)	0,44	0,13	16,00	0,55	1,05	—
22	24/AP	74,14	3,20	80,10	5,96	6,44	2,01	14,00	—	0,82	47,50
23	23/AP	70,77	3,05	73,10	2,33	6,07	1,99	8,88	3,18	0,61	—
24	5/RG	80,41	1,87	85,40	4,99	5,31	2,84	17,00	0,10	1,57	0,00
25	4/TG	223,70	4,50	241,15	17,45	6,05	1,34	8,00	1,00	0,52	0,00
26	3/TG	353,22	7,00	445,00	91,78	6,57	0,94	5,00	(3,00)	0,62	0,00
27	1/TG	205,15	3,15	249,30	44,15	4,80	1,52	2,00	7,50	1,01	0,00
28		40,00	0,62	50,00	10,00	4,00	6,45	7,00	7,00	—	9,00
29	2/RG	166,22	2,60	192,85	26,63	0,92	0,35	11,00	1,90	15,10	0,00
30		36,00	0,90	51,00	15,00	4,00	4,44	—	—	—	0,00
31		(1,50)	(0,30)	35,00	(33,50)	(1,50)	6,00	3,00	6,90	3,91	32,00
32		(1,00)	(0,20)	28,00	(27,00)	(1,20)	(6,00)	3,00	6,00	3,19	23,00
33		(1,20)	(0,80)	35,00	(33,80)	(1,40)	(1,75)	3,00	6,00	3,26	32,00
34		(1,00)	(0,50)	35,00	(34,00)	(1,00)	(2,00)	5,00	6,00	4,17	—
35		(1,70)	(1,70)	46,00	(44,30)	(1,80)	(1,05)	5,00	5,00	10,00	45,00
36		(0,80)	(0,65)	121,00	(120,20)	(0,80)	(1,23)	—	—	—	99,50
37		(1,00)	(1,50)	41,00	(40,00)	(1,40)	(0,93)	4,00	3,00	—	—
38	5/FP	24,33	4,50	51,30	26,97	2,24	0,50	52,00	4,04	1,80	0,00
39		(13,50)	11,30	93,00	(79,50)	(1,20)	(0,11)	—	—	1,50	87,00
40	4/FP	52,67	13,10	89,30	36,63	1,83	0,14	37,00	4,18	2,52	0,00
41	1/RG	142,69	16,00	220,70	78,01	5,19	0,32	1,76	45,00	1,20	0,00
42	3/RG	86,63	23,80	100,30	13,67	4,53	0,19	15,00	0,00	2,22	0,00
43	4/RF	48,53	17,00	201,20	152,67	19,54	1,15	2,00	12,00	—	—
44		(47,00)	36,50	300,00	(253,00)	(52,20)	(1,43)	—	—	—	—
45	5/RF	72,57	11,30	151,00	78,43	17,57	1,55	0,03	15,70	0,96	0,00
46	25/AP	122,76	8,00	140,00	17,24	11,76	1,46	1,00	20,00	—	4,90
47	22/AP	97,17	7,10	150,00	52,83	—	—	0,00	—	—	0,00

Sigle: riferimento appartenente all'Ente o Consorzio che ha eseguito il pozzo

q : quota del boccapozzo, in m.

s : distanza minima dalla linea di spiaggia, in Km.

L : profondità del pozzo a partire dal p.c., in m.

L' : profondità del pozzo a partire dalla quota zero dell'I.G.M., in m.

t : livello statico dell'acqua di falda, riferito alla quota zero dell'I.G.M., in m.

i : valore medio approssimato della cadente piezometrica, data da l/s, in m/km (%)

Q : portata del pozzo, in l/s.

d : depressione dinamica in m, relativa alla portata misurata Q.

R : residuo salino a 110°C dell'acqua emunta con la portata Q, in g/l.

C : profondità di rinvenimento del tetto dei calcari mesozoici dal p.c., in m.

Tra parentesi i valori grossolanamente approssimati; in bianco i dati mancanti.

tuali travasi delle acque del Tavoliere verso la falda avente sede nei calcari del Gargano devono essere di entità molto modesta.

8. 5. Rapporti tra le acque di falda e quelle del mare

E' noto che la diffusione salina, dovuta a fenomeni di diffusione molecolare e di miscelamento fra acque a differente contenuto salino, si esercita al contatto acqua di mare-acqua di falda e quindi sia dal basso, dove le seconde galleggiano sulla prima, che lungo le coste⁽¹⁸⁾.

Per quanto riguarda i rapporti dell'acqua di mare con le acque della falda principale, il promontorio garganico, per il forte sviluppo delle coste (circa 160 Km di fronte ad una superficie di circa 2.000 Km²) e per la descritta situazione idrogeologica esistente lungo la faglia del Candelaro a valle della strada S. Severo-S. Marco in Lamis (schizzo 9 di tav. III), si comporta quasi come un'isola. Infatti lungo valle del Candelaro, così come lungo le coste dove la falda principale viene in contatto col mare, una fascia di acqua di falda salmastra borda il promontorio. Si veda in proposito la tav. II nella quale, estrapolando gli scarsi dati in possesso, si è indicata a tratto e punto la presunta linea di separazione, alla superficie della falda, tra le acque a salinità inferiore e superiore a 1 g/l.

Altro ruolo importante sui rapporti acqua di mare-acqua di falda è rappresentato dalla forte permeabilità della maggior parte dei terreni del promontorio situati in corrispondenza della superficie freatica (o piezometrica) della falda (tav. II). Tale permeabilità da un lato consente cadenti piezometriche relativamente modeste e quindi, per l'equilibrio dinamico che deve esistere tra le acque salate e le sovrastanti acque dolci, proporzionati accumuli di acque di falda, dall'altro lato facilita la diffusione salina. Sotto questo aspetto particolarmente nociva è al Gargano la presenza del carsismo profondo che, creando vie d'acqua preferenziali, favorisce il miscelamento di acque a diverso contenuto salino.

A complicare i rapporti tra il mare e la falda principale interviene la particolare situazione geologica presente lungo le coste: nel mare si addossano alle rocce permeabili del promontorio terreni scarsamente permeabili o praticamente impermeabili, che ostacolano il libero flusso dell'acqua di mare da e verso il continente.

Lungo le coste meridionali e settentrionali detti terreni rappresentano la naturale estensione sotto il mare dei sedimenti che nel Tavoliere e nella zona di Lésina sovrastano ai calcari. Il prolungamento della piana costiera del Tavoliere nel mare è confermato dal rilievo batimetrico del golfo di Manfredonia: l'isobata di m 20 dista ben 30 Km dalle foci del T. Candelaro.

Lungo le coste orientali ai calcari cretaci ed eocenici si addossano sedimenti quaternari rappresentanti la continuazione nel mare dei depositi costieri, ma in media più fini e quindi meno permeabili, che affiorano estesamente nella zona di Vieste.

⁽¹⁸⁾ Su tale argomento esiste una vasta letteratura; per quanto riguarda l'influenza dell'acqua di mare sulle acque di falda contenute nelle masse calcaree della Puglia si veda V. COTECCHIA [5, 6, 8, 9, 10], E. ORADONA-V. COTECCHIA [15] e L. ZORZI-C. REINA [17, 18].

In conseguenza di tale situazione geologica i terreni permeabili del promontorio vengono a contatto diretto col mare solo lungo una fascia non continua e alta pochi metri (in genere $1 \div 5$ m).

I movimenti dell'acqua di mare da e verso il continente sono quindi costretti a prodursi per buona parte attraverso detta fascia, e principalmente lungo i tratti di essa costituiti dalle rocce più permeabili. Attraverso la stessa fascia (o poco al di sopra), ma principalmente attraverso gli stessi tratti a rocce più permeabili, defluisce a mare buona parte delle acque di falda; ne conseguono più facili mescolamenti tra le acque di falda e quelle di mare.

Al Gargano i movimenti dell'acqua di mare da e verso il continente devono essere, in proporzione ai deflussi dell'acqua di falda, considerevoli, in quanto l'alimentazione della falda si verifica quasi esclusivamente nel semestre autunno-invernale; una tale alimentazione concentrata nel tempo comporta infatti un relativamente forte abbassamento dell'interfaccia e conseguentemente costringe parte dell'acqua salata sottostante all'interfaccia a defluire verso mare, assieme all'acqua di falda e quindi mescolata con questa, attraverso la stretta fascia di terreni permeabili di cui si è detto, proprio dove la marea fa maggiormente sentire la sua azione.

Durante il semestre primaverile-estivo, quando l'alimentazione della falda è praticamente nulla, il deflusso a mare delle acque di falda provoca l'innalzamento dell'interfaccia e conseguentemente un richiamo di acqua di mare verso il continente⁽¹⁹⁾.

A titolo grossolanamente orientativo, assumendo un deflusso medio annuale della falda principale verso il mare pari a $15 \text{ m}^3/\text{s}$ con una salinità media di 5 g/l , si ha che $2 \text{ m}^3/\text{s}$ sono costituiti da acqua di mare; altrettanta acqua marina deve affluire dal mare verso il promontorio. A questa si deve aggiungere l'acqua di mare che si muove da e verso il continente senza mescolarsi con l'acqua di falda.

Va segnalato che le forti oscillazioni dei livelli dell'interfaccia, conseguenti al carattere stagionale dell'alimentazione della falda, provocano mescolamenti tra l'acqua di falda e quella di mare, che sono probabilmente la causa principale della formazione di una *zona di diffusione*, in cui l'acqua di falda è più o meno salmastra. Sullo spessore di questa zona hanno certamente influenza l'ampiezza delle escursioni dell'interfaccia, la permeabilità e il carattere anisotropo della permeabilità delle rocce, fattori tutti che al Gargano assumono sovente notevole importanza, tanto da essere nel complesso responsabili della salinità dell'acqua della zona di diffusione certamente più della *diffusione molecolare*.

Da segnalare ancora che, essendo l'alimentazione idrica della falda in media molto maggiore nelle aree centrali che in quelle periferiche del promontorio, le oscillazioni dell'interfaccia, con le conseguenze che ne derivano, potrebbero essere del pari proporzionalmente più accentuate in corrispondenza delle aree centrali. Allo scopo di accertare il comporta-

⁽¹⁹⁾ Il fenomeno non è sconosciuto nella letteratura concernente l'idrogeologia delle rocce carsiche costiere. Si ricorda in proposito il corso d'acqua che muovendosi dal mare verso l'entroterra, dove scompare in un inghiottitoio, fa girare le ruote del mulino di Argostolion a Cefalonia.

Fenomeni analoghi sono segnalati a Creta, in Attica e lungo le coste jugoslave [2].

mento dell'interfaccia sono in programma ricerche in Puglia che prevedono la perforazione di pozzi profondi.

Come si è già detto, anche le forti differenze di temperatura esistenti in punti della falda tra loro relativamente vicini, favorendo l'instaurazione di moti convettivi di entità non trascurabile, possono provocare miscelamenti di acque a differente contenuto salino.

Le considerazioni sopra esposte, circa la possibilità che si verifichino miscelamenti, danno forse ragione del contenuto salino, relativamente elevato, dovuto a contaminazione di acqua marina, ma costante con la profondità per più decine di metri a partire dalla superficie della falda, osservato nei pozzi n. 39 (a NO di M. Aquilone, nei pressi della faglia del Candelaro)

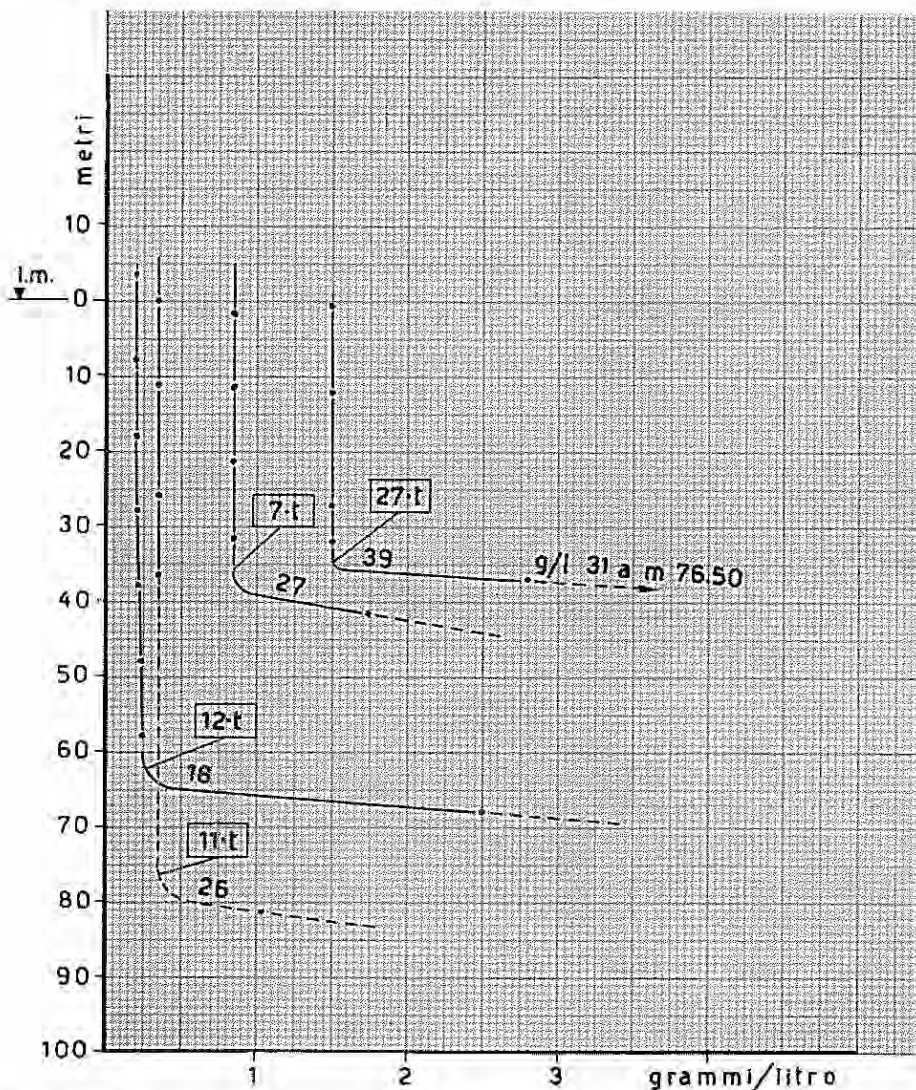


Fig. 38 — Variazione del contenuto salino con la profondità nelle acque di alcuni pozzi (t = livello statico riferito al l.m.).

e n. 27 (a SO di Testa del Gargano); si veda in proposito la fig. 38. E' infatti evidente che in detti pozzi, come del resto, nei pozzi nn. 18 e 26, l'influenza nociva dal basso si arresta dove inizia il tratto a salinità costante.

Si osservi ancora che in corrispondenza dei pozzi nn. 18, 26, 27 e 39 (fig. 38), dai dati in possesso, non esiste alcuna relazione tra le profondità alle quali iniziano detti tratti a contenuto salino costante, i valori degli stessi contenuti salini e i livelli statici riferiti al l.m.

Dalle considerazioni sopra esposte, risulta evidente che il fenomeno dell'influenza marina sulla falda principale presenta allo stato delle conoscenze attuali aspetti fondamentali da chiarire e che meritano di essere attentamente studiati.

8. 6. Composizione chimica delle acque

Nella tabella 10 sono riportate le composizioni chimiche in milligrammi equivalenti per litro delle acque del Mare Adriatico (il campione analizzato è stato prelevato a Km 1 dalla spiaggia di Mola e a m 20 sotto il livello marino), della sorgente Canneto, sgorgante dalla falda secondaria di Vico-Ischitella (certamente non contaminata dall'acqua di mare) e di n. 13 pozzi perforati nelle rocce contenenti la falda principale. I caratteri idrologici dei pozzi sono riportati nella tabella 9 e la loro ubicazione è indicata nella tavola II.

Nella tabella 10 le composizioni delle acque sono elencate secondo il contenuto decrescente di Cl^- che, assieme a Na^+ , al contenuto salino totale r e ai rapporti Cl^-/r , $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ e $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{--} / \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{CO}_3^{--}$, è un ottimo indicatore del grado di contaminazione dell'acqua di falda ad opera del mare; infatti quanto maggiore è il contenuto in Cl^- nell'acqua di falda tanto più la composizione salina di questa si avvicina a quella dell'acqua di mare.

In tabella 10 sono dati anche alcuni *rapporti caratteristici* delle stesse acque.

Nel diagramma semilogaritmico di fig. 39 sono riprodotte le composizioni, in milligrammi equivalenti per litro, delle acque del Mare Adriatico, della sorgente Canneto e di n. 9 pozzi della falda principale. Nel diagramma non si sono riportate le composizioni delle acque di n. 4 pozzi, delle n. 13 in possesso, solo per semplificazione grafica. Tale diagramma consente di rendersi conto a colpo d'occhio delle affinità o differenze di composizione chimica delle varie acque e di «vedere» i rapporti caratteristici delle acque.

Dalla tabella 10 e dal diagramma di fig. 39 risulta (in milligrammi equivalenti per litro):

- per l'acqua di mare ($\text{Cl}^- = 597,75$),
 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{CO}_3^{--} \approx \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$;
- per l'acqua del pozzo n. 39 ($\text{Cl}^- = 436,34$),
 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{CO}_3^{--} \approx \text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$;
- per l'acqua dei pozzi nn. 1, 2, 40, 42, 18, 38, 24, 41, 19 e 26 (Cl^- compreso tra 51,32 e 5,29),
 $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{--} > \text{SO}_4^{--} \approx \text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$;

TABELLA 10 — Composizione chimica delle acque, in milligrammi equivalenti per litro.

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁼	r (totale co- lonne pre- cedenti)	Cl ⁻ /SO ₄ ⁻	Cl ⁻ Na ⁺ +K ⁺	$\frac{Na^{++}+K^{+}+Cl^{-}+SO_{4}^{-}}{Ca^{++}+Mg^{++}+CO_{3}^{=}}$	$\frac{Na^{++}+K^{+}}{Ca^{++}+Mg^{++}}$	Cl ⁻ r	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺
Mare Adriatico	47,30	87,17	515,13	14,56	597,75	61,94	2,63	1326,48	9,65	1,13	8,67	3,94	0,45	0,54
Pozzo n. 39	77,50	30,00	373,48	14,10	436,34	41,67	12,00	985,09	10,47	1,12	7,24	3,60	0,44	2,58
» » 1	9,30	6,92	43,65	0,77	51,32	2,46	6,70	121,12	20,86	1,16	4,28	2,74	0,42	1,34
» » 2	8,30	5,08	26,17	0,92	31,01	2,50	6,90	80,88	12,40	1,14	2,99	2,02	0,38	1,63
» » 40	9,10	6,42	24,56	0,90	30,56	4,67	5,60	81,77	6,54	1,20	2,87	1,64	0,37	1,42
» » 42	7,10	5,75	25,61	0,79	25,29	2,98	6,70	74,22	8,49	0,96	2,80	2,05	0,34	1,23
» » 18	6,50	5,75	14,52	0,56	20,56	2,37	4,40	54,66	8,68	1,36	2,28	1,23	0,38	1,13
» » 38	5,75	4,25	16,91	0,77	19,44	3,12	5,07	55,31	6,23	1,10	2,67	1,77	0,35	1,35
» » 24	6,20	3,58	17,04	0,38	17,77	1,89	5,50	52,36	9,40	1,02	2,43	1,78	0,34	1,73
» » 41	4,35	3,50	11,69	0,51	13,18	1,19	4,27	38,69	11,07	1,08	2,19	1,55	0,34	1,24
» » 19	3,80	3,42	8,69	0,18	10,34	1,23	3,40	31,06	8,41	1,16	1,92	1,23	0,33	1,11
» » 27	6,25	4,50	5,91	0,28	8,28	0,75	7,60	33,57	11,04	1,34	0,83	0,58	0,25	1,39
» » 26	3,65	2,83	4,13	tracce	5,29	0,56	5,27	21,73	9,45	1,28	0,85	0,64	0,24	1,29
» » 25	4,05	2,75	2,78	tracce	3,38	0,42	5,90	19,28	8,05	1,22	0,52	0,41	0,17	1,47
Sorg. Canneto	4,00	1,67	0,44	tracce	0,85	0,21	4,67	11,84	4,05	1,93	0,15	0,08	0,07	2,39

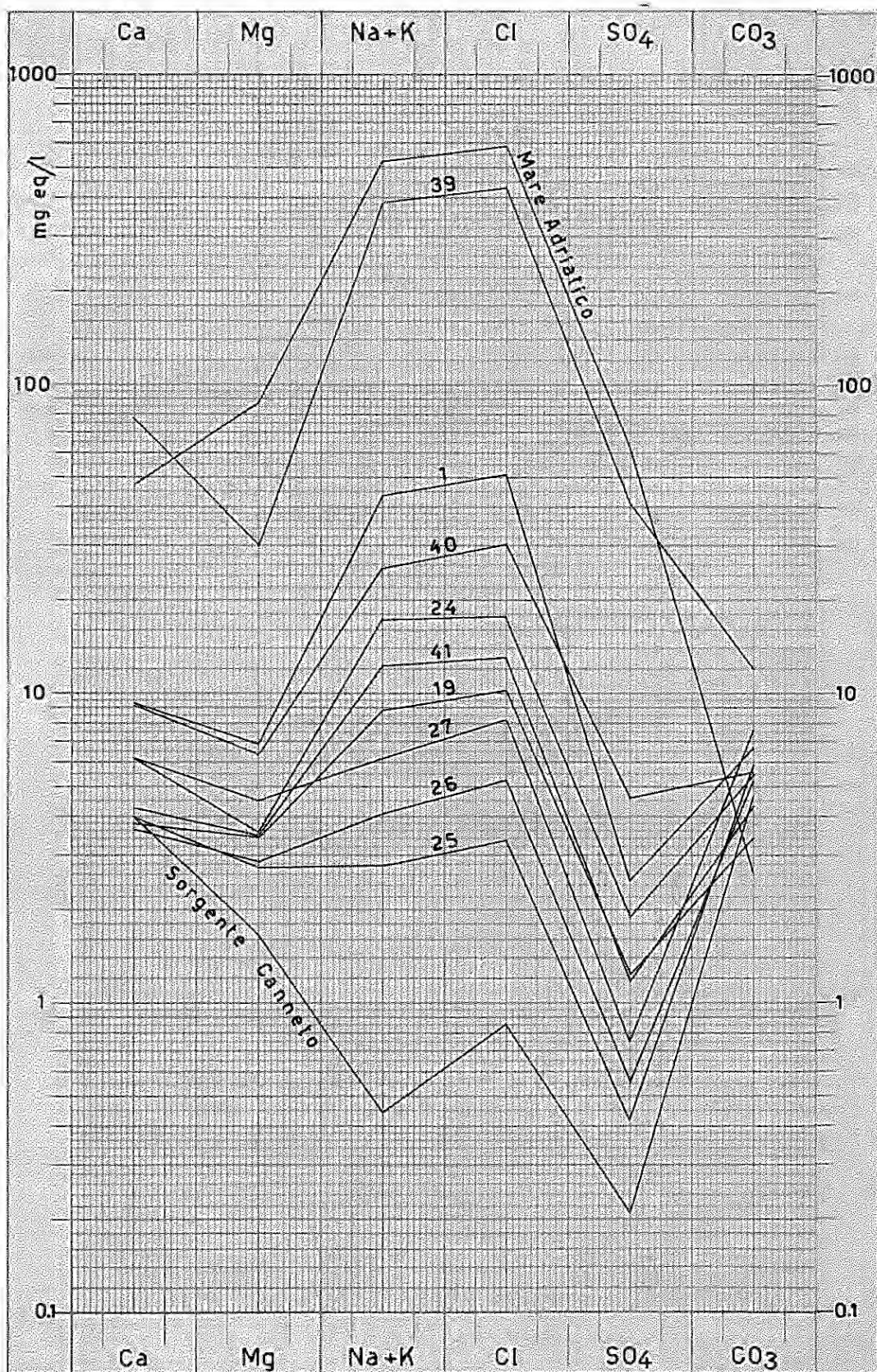


Fig. 39 — Diagramma semilogaritmico rappresentante la composizione chimica delle acque dei pozzi nn. 39, 1, 40, 24, 41, 19, 27, 26 e 25, del mare Adriatico e della sorgente Canneto.

- per l'acqua del pozzo n. 27 ($\text{Cl}^- = 8,28$),
 $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} \approx \text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$;
- per l'acqua del pozzo n. 25 ($\text{Cl}^- = 3,38$),
 $\text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \approx \text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$;
- per l'acqua della sorgente Canneto, certamente non contaminata dal mare ($\text{Cl}^- = 0,85$).
 $\text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \approx \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$.

Da quanto sopra, si ricava che le acque di falda si differenziano dalla acqua di mare per avere $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$; inoltre le acque di falda e forti contenute di Cl^- hanno, come il mare, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ quelle con tenori Cl^- intermedi (compresi tra 51,32 e 8,28 mg eq/l) hanno $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$ e le acque con i più bassi tenori di Cl^- (inferiori a 3,38 mg eq/l) hanno $\text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$.

In altre parole, quanto minore è il contenuto in Cl^- , tanto maggiori sono i contenuti di Ca^{++} , Mg^{++} e CO_3^{2-} e tanto minori sono i contenuti di Na^+ , K^+ , Cl^- e SO_4^{2-} . I rapporti $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} / \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{CO}_3^{2-}$ e $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ assumono infatti valori rispettivamente di 0,15 e 0,08 per l'acqua dolce (sorgente Canneto) e di 8,67 e 3,94 per l'acqua di mare, valori questi ultimi di ben 58 e 49 volte maggiori dei primi.

I rapporti $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Cl}^- / \text{Na}^+ + \text{K}^+$ assumono invece per l'acqua della sorgente Canneto e per quella di mare valori che si discostano relativamente poco, almeno come ordine di grandezza: $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ assume valori di 4,05 per la sorgente e 9,65 per il mare, $\text{Cl}^- / \text{Na}^+ + \text{K}^+$ di 1,93 per la sorgente e 1,13 per il mare. Ciò è dovuto al fatto che nelle acque della falda alimentante la sorgente Canneto, ed in generale nelle *acque dolci* (non contaminate dal mare) della falda principale, Na^+ , K^+ , Cl^- e SO_4^{2-} derivano essenzialmente dall'acqua di pioggia, che per la conformazione topografica del Gargano cade a non grande distanza dal mare.

Le acque di pioggia in vicinanza del mare presentano infatti, specie per quanto riguarda il tenore in Na^+ , K^+ , Cl^- e SO_4^{2-} una composizione pressochè proporzionale a quella del mare.

Nelle *acque dolci* (non contaminate dal mare) delle falde del Gargano si ritrovano quindi contenuti di Na^+ , K^+ , Cl^- e SO_4^{2-} in proporzioni simili a quelle dell'acqua di mare; Ca^{++} , Mg^{++} e CO_3^{2-} derivano invece essenzialmente dalla dissoluzione delle rocce per l'attacco operato dalla CO_2 .

A causa della relativamente piccola differenza esistente fra i rapporti $\text{Cl}^- / \text{Na}^+ + \text{K}^+$ e $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ dell'acqua di mare e dell'*acqua dolce* sotterranea e data la forte differenza dei tenori in Na^+ , K^+ , Cl^- e SO_4^{2-} (in media circa 800 volte maggiori nel mare), avviene che è sufficiente una leggerissima contaminazione perchè i sopradetti rapporti praticamente si uguagliano a quelli dell'acqua di mare.

Ad esempio, in una miscela formata dall'1,6% di acqua di mare e dal 98,4% di acqua della sorgente Canneto i rapporti $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Cl}^- / \text{Na}^+ + \text{K}^+$ assumono rispettivamente valori di 8,69 (contro 4,05 per l'acqua della sorgente e 9,65 per il mare) e di 1,17 (contro 1,93 per la sorgente e 1,13 per il mare). Valga anche l'esempio delle acque dei pozzi nn. 25 e 26, che pur presentando contenuti di Cl^- , Na^+ , K^+ e SO_4^{2-} molto modesti, a causa di una leggerissima contaminazione, presentano rapporti $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Cl}^- / \text{Na}^+ + \text{K}^+$ molto vicini a quelli dell'acqua di mare.

Da quanto sopra risulta che, con particolare riferimento alle acque sotterranee del Gargano, i suddetti rapporti sono ottimi indicatori (« spie ») dell'eventuale esistenza di anche leggerissime contaminazioni dell'acqua di falda da parte del mare⁽²⁰⁾; gli stessi rapporti ben poco servono invece per stabilire l'entità di tale contaminazione.

Per quanto riguarda il rapporto $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^-$, occorre però mettere in evidenza che il radicale SO_4^- può subire fenomeni di riduzione in presenza di sostanze organiche; a tali fenomeni va appunto attribuito il tenore anormalmente basso in SO_4^- delle acque del pozzo n. 1 e di conseguenza il valore eccezionalmente elevato del rapporto $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^-$ (uguale a 20,86).

Si possono verificare anche fenomeni di doppio scambio tra l'acqua di falda e la roccia, che portano ad un arricchimento di Ca e ad un impoverimento di Mg nelle acque sotterranee.

Interessante è a questo riguardo il caso dell'acqua del pozzo n. 39; tale acqua, pur presentando una composizione salina molto vicina a quella del mare, ha un rapporto $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ (= 2,58) molto discosto da quello del mare (= 0,54), anzi addirittura superiore a quello della sorgente Canneto (= 2,39). Evidentemente, in un ambiente a temperatura relativamente elevata (oltre 23°C nel punto di prelevamento del campione analizzato) e in presenza di acqua con forti concentrazioni di sali, in particolare di Mg (l'acqua analizzata presenta un residuo secco a 110°C di g/l 31,66), si è prodotto doppio scambio tra l'Mg dell'acqua e il Ca della roccia, cosicchè l'acqua è risultata impoverita in Mg e arricchita in Ca. Si tratterebbe quindi del normale processo di *dolomitizzazione secondaria* delle rocce calcaree. Da osservare che in questo caso tale processo non sarebbe penecontemporaneo alla sedimentazione della roccia, come si ritiene dalla maggior parte degli studiosi.

Le composizioni delle acque di falda riportate in tabella, se si esclude quella della sorgente Canneto, che del resto non scaturisce dalla falda principale, sono tutte in vario grado contaminate dall'acqua di mare; la entità della contaminazione risulta evidente dal diagramma semilogaritmico di fig. 39 e dai rapporti caratteristici più significativi di tabella 10.

E' interessante anche osservare che, miscelando l'acqua di mare con l'acqua della sorgente Canneto in proporzioni tali da ottenere lo stesso valore di Cl^- della composizione media delle acque di falda (escludendo dal computo della media le acque del pozzo Ricciardi, interessate dai sopradetti processi metasomatici), si ottiene un'acqua avente una composizione che ben poco si discosta da quella media dell'acqua di falda. Si veda in proposito il diagramma semilogaritmico di fig. 40, nel quale sono riportate la composizione media dell'acqua di falda (a segmenti continui) e quella ottenuta miscelando acqua di mare con acqua della sorgente Canneto in proporzione tale da ottenere lo stesso valore di Cl^- della composizione media delle acque di falda (a segmenti tratteggiati). Dal diagramma risulta evidente la forte affinità di composizione tra le due acque. In realtà le acque di falda si mostrano più ricche in Ca^{++} , Mg^{++} e CO_3^- delle acque

⁽²⁰⁾ Le stesse considerazioni valgono per le acque sotterranee contenute nelle masse calcaree costiere della Terra di Bari e del Salento.

Si veda in proposito V. COTECCHIA [5, 6, 10] e E. ORABONA-V. COTECCHIA [15].

che si ottengono per miscelamento. Ciò senz'altro è dovuto in buona parte al fatto che le acque di mare invadenti il continente e miscelantisi con le acque di infiltrazione per formare le acque di falda salmastre, sono più ricche in Ca^{++} , Mg^{++} e CO_3^{--} di quella propriamente di mare, impiegata nei computi.

Da quanto sopra deriva che, limitatamente ai dati in possesso, risultano in genere trascurabili i fenomeni di scambio ionico tra le acque di falda e le rocce che le contengono.

9. FALDA SECONDARIA DI VICO-ISCHITELLA

Nella zona di Vico-Ischitella, sui calcari bianchi a grana fina con selci e interstrati marnosi del Cretacico superiore, praticamente impermeabili e aventi la funzione di superficie di fondo, affiorano calcari

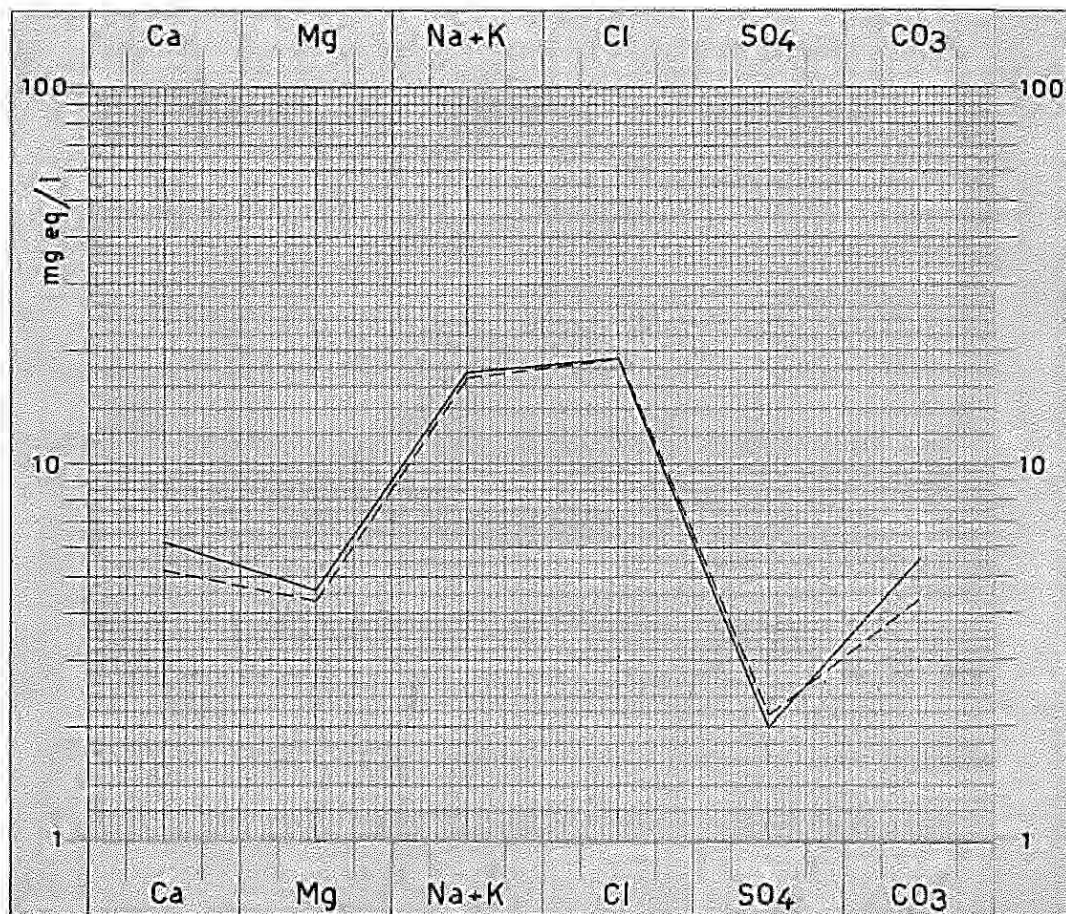


Fig. 40 — Diagramma semilogaritmico rappresentante la composizione media delle acque di falda (spezzata a segmenti continui) e la composizione dell'acqua avente uguale contenuto di Cl⁻, ottenuta miscelando acqua di mare con acqua della sorgente Cannelto (spezzata a segmenti tratteggiati).

detritici, brecce calcaree e calcari organogeni a stratificazione irregolare e vacuolari. I rapporti tra le due formazioni sono stratigrafici e la superficie di contatto presenta una leggera inclinazione verso NO (tav. I b e schizzo n. 4 di tav. III). Nella formazione di Ischitella - Vico, che per essere stratificata e fratturata può considerarsi discretamente permeabile, ha sede, ad una quota sempre superiore a m 100 s. l. m., una falda d'acqua secondaria poggianti sui sottostanti calcari con marne impermeabili. Numerose piccole sorgenti, per la maggior parte sgorganti al contatto tra i terreni permeabili e quelli impermeabili, costituiscono il naturale affioramento della falda.

La portata media complessiva di dette sorgenti è grossolanamente valutabile in l/s 150, pari a circa $m^3 4,7 \times 10^6$ in un anno. Tale volume di acqua rappresenta il 47,5% degli afflussi meteorici che incidono sulla formazione di Vico-Ischitella ($Km^2 17$) durante il semestre ottobre-marzo (mm 583,3 alla stazione pluviometrica di Vico del Gargano).

Si ringrazia il Per. Min. Ferdinando CARLIN per la valida collaborazione prestata nella raccolta ed elaborazione dei dati.

Un particolare ringraziamento va rivolto all'Ente Irrigazione di Puglia e Lucania, cui va il merito di aver raccolto con cura gli elementi emersi nell'esecuzione dei pozzi quasi sempre ad esso concessa, per aver cortesemente agevolato gli scriventi nello svolgimento del presente lavoro.

LAVORI CITATI

- 1 — AMENDOLAGINE M., DELL'ANNA L., VENTRIGLIA U.: *Le rocce ignee alla Punta delle Pietre Nere presso Lesina (provincia di Foggia)*. Periodico di Mineralogia, a. XXXIII, n. 2-3, 1964.
- 2 — BURDON D. J., PAPAKIS N.: *Handbook of Karst Hydrogeology*. Inst. for Geol., Athens, 1963.
- 3 — CARELLA R.: *Eruttivi di S. Giovanni in Pane e della Punta delle Pietre Nere (Gargano)*. Boll. Soc. Geol. It., vol. LXXXII, 1963.
- 4 — COTECCHIA V., CANITANO A.: *Sull'affioramento delle « Pietre Nere » al lago di Lesina*. Boll. Soc. Geol. It., vol. LXXIII, 1954.
- 5 — COTECCHIA V.: *Influenza dell'acqua marina sulle falde acquifere in zone costiere, con particolare riferimento alle ricerche d'acqua sotterranea in Puglia*. Geotecnica, a. II, n. 3, 1955.
- 6 — COTECCHIA V.: *Sulle caratteristiche delle sorgenti e sulle modalità di rinvenimento della falda profonda nella Penisola Salentina in rapporto alla struttura dei calcari cretaci della regione*. Ann. Fac. Ing. Univ. Bari, vol. II, 1955-56.
- 7 — COTECCHIA V.: *Gli aspetti idrogeologici del Tavoliere delle Puglie*. L'Acqua, a. XXXIV, n. 11-12, 1956.
- 8 — COTECCHIA V.: *Sviluppi della teoria di Ghyben ed Herzberg nello studio idrogeologico dell'alimentazione e dell'impiego delle falde acquifere, con riferimento a quella profonda delle Murge e del Salento*. Geotecnica, a. V, n. 6, 1958.
- 9 — COTECCHIA V.: *Geohydrological aspects of the cretaceous limestone aquifer in Apulia, and their bearing on the practical avoidance of sea water contamination in extraction from wells and springs*. Quad. di geof. appl., vol. XXIV, 1963.

- 10 — COTECCHIA V.: *Sullo stato delle conoscenze del fenomeno dell'influenza marina sulle falde acquifere*. Atti « Convegno sul problema delle acque in Italia », organizzato dalla FAST; Milano, 1965.
- 11 — CRESCENTI U., VIGHI L.: *Caratteristiche, genesi e stratigrafia dei depositi bauxitici cretatici del Gargano e delle Murge; cenni sulle argille con pisoliti bauxitiche del Salento (Puglie)*. Boll. Soc. Geol. It., vol. LXXXIII, 1964.
- 12 — MANFREDINI M.: *Sui rapporti fra facies abruzzese e facies umbra nell'Appennino centro meridionale*. Boll. Serv. Geol. d'It., vol. LXXXVI, 1965.
- 13 — MARTINIS B.: *Osservazioni sulla tettonica del Gargano orientale*. Boll. Serv. Geol. d'It., vol. LXXXV, 1964.
- 14 — MOLINA F., BATELLI O., VENTRIGLIA U., VISCO S.: *Sull'affioramento delle « Pietre Nere » al lago di Lesina. Direzione della magnetizzazione*. Rend. Soc. Min. It., vol. XVII, 1961.
- 15 — ORABONA E., COTECCHIA V.: *La stratificazione alina nelle falde con superfici di fondo rappresentate dall'acqua marina e precisazioni sul comportamento idraulico dei pozzi relativi a siffatte falde*. Ingegneria Sanitaria, n. 1, 1959.
- 16 — ZACCARA G., RAIMONDI C., MORELLI C., DICEGLIE S., COTECCHIA V.: *Studio geofisico della regione pugliese*. Metano, a. X, n. 10, 1956.
- 17 — ZORZI L., REINA C.: *Le acque sotterranee in Terra d'Otranto*. Doc. n. 1 della Cassa per il Mezzogiorno, 1955.
- 18 — ZORZI L., REINA C.: *Sulla presunta idrografia sotterranea profonda della Capitanata*. Geotecnica, a. III, n. 1, 1956.
- 19 — ZORZI L., REINA C.: *Nuove vedute sul movimento delle acque sotterranee nel bacino artesiano del Tavoliere di Puglia*. L'Acqua, a. XXXVIII, n. 1, 1960.

INDICE

1. PREMESSA	pag. 5
2. CENNI GEOLOGICI	» 6
2. 1. Quaternario	» 6
2. 2. Miocene	» 7
2. 3. Eocene	» 9
2. 4. Cretacico	» 9
2. 5. Giurassico	» 17
2. 6. Triassico	» 20
2. 7. Tettonica	» 20
3. MORFOLOGIA	» 26
3. 1. Gargano centrale e occidentale	» 26
3. 2. Gargano orientale	» 34
4. IDROGRAFIA SUPERFICIALE	» 34
5. CLIMA	» 38
6. VEGETAZIONE	» 41
7. CARATTERI DI PERMEABILITA' DELLE ROCCE	» 44
7. 1. Tipo di permeabilità	» 44
7. 2. Grado di permeabilità	» 49
7. 3. Influenza della distribuzione spaziale delle rocce a diverso grado di permeabilità sull'alimentazione e sulla circolazione idrica sotterranea	» 51
8. FALDA PRINCIPALE	» 52
8. 1. Alimentazione	» 52
8. 2. Sorgenti	» 57
8. 3. Temperatura delle acque	» 60
8. 4. Circolazione idrica sotterranea	» 63
8. 5. Rapporti tra le acque di falda e quelle del mare	» 69
8. 6. Composizione chimica delle acque	» 72
9. FALDA SECONDARIA DI VICO-ISCHITELLA	» 77
LAVORI CITATI	» 78

TAVOLE Ia e Ib

LEGGENDA TAVOLA I b

1. Spiagge attuali; lidi e dune recenti; depositi alluvionali attuali e recenti; detriti di falda; depositi eluviali e colluviali; depositi costieri terrazzati; sedimenti del Tavoliere di Foggia (QUATERNARIO).
2. Arenarie calcaree tenere giallastre, generalmente a scarso cemento calcareo e a struttura tufacea; subordinatamente arenarie grigie a cemento argilloso-limoso con rare intercalazioni di argille siltose giallastre (MIOCENE).
3. Calcari arenacei biancastri, a stratificazione irregolare, fossiliferi, passanti inferiormente a brecce calcaree e a calcari organogeni trasgressivi (EOCENE).
4. Calcari organogeni bianchi, ceroidi, vacuolari, fossiliferi, talora brecciati e pseudoolitici; calcari detritici grigi, calcari arenacei, brecce calcaree; stratificazione irregolare (CRETACICO SUPERIORE).
5. Calcari nocciola e grigio-biancastri, a grana finissima, a frattura subconcoide, ben stratificati (CRETACICO SUPERIORE).
- 6a. Calcari bianchi e giallicci, a grana fina o finissima, talora leggermente marnosi, fittamente stratificati, a frattura subconcoide, con straterelli liste e noduli di selce (formazione tipo « maiolica » - CRETACICO INFERIORE tra Mattinata, Testa del Gargano e Carpino; CRETACICO SUPERIORE a Vieste); a sud di Monte S. Angelo si intercalano orizzonti di calcari bianchi a grana medio-grossa, friabili, porosi, a stratificazione non netta e irregolare, fossiliferi, tipo « craie » (CRETACICO SUPERIORE); nella zona di Apricena si intercalano anche calcari detritici o a grana fina e rari straterelli di marne (CRETACICO SUPERIORE).
- 6b. Calcari e calcari marnosi, bianchi o giallicci, a grana fina o finissima, a frattura subconcoide fittamente stratificati, con straterelli liste e noduli di selce e con intercalazioni di marne bianche o verdoline, di calcari marnosi e marne silicizzati (formazione tipo « scaglia » - CRETACICO SUPERIORE).
7. Dolomie e calcari dolomitici grigi, con straterelli, liste e noduli di selce, a volte brecciati, irregolarmente stratificati, carsificati e con terreno residuale nelle fratture e nei giunti di stratificazione (CRETACICO INFERIORE).
- 8a. Calcari bianchi o rosati a grana medio-fina e a frattura subconcoide, scheggiati; a volte oolitici, pseudoolitici, detritici o brecciati; fossiliferi, ben stratificati, carsificati e con terreno residuale nelle fratture e nei giunti di stratificazione (CRETACICO INFERIORE).
- 8b. Dolomie e calcari dolomitici biancastri, subcristallini, carsificati e con terreno residuale nelle fratture e nei giunti di stratificazione (CRETACICO INFERIORE).
9. Calcari organogeni, calcari dolomitici e dolomie, biancastri o rosati, spesso subcristallini e vacuolari, massicci o a stratificazione irregolare in grossi banchi, carsificati e con terreno residuale nelle fratture e nei giunti di stratificazione (GIURASSICO SUPERIORE).
10. Calcari marnosi fossiliferi con gessi più o meno bituminosi (TRIASSICO).

TAVOLA II

LEGGENDA TAVOLA II

- 1a. Sabbie talora limose delle spiagge, delle dune, dei lidi e del Tavoliere (QUATERNARIO).
- 1b. Conglomerati dei depositi alluvionali e costieri (QUATERNARIO).
- 2a. Conglomerati a cemento sabbioso e breccie del Tavoliere (QUATERNARIO).
- 2b. Argille del Tavoliere (PLEISTOCENE).
3. Arenarie calcaree tenere (MIOCENE).
4. Calcari arenacei e breccie calcaree (EOCENE).
5. Calcari organogeni bianchi, calcari detritici, breccie calcaree (CRETACICO SUPERIORE).
6. Calcari bianchi a grana fina con selci e intercalazioni di straterelli marnosi (CRETACICO SUPERIORE).
7. Calcari bianchi a grana fina con selci, talora con intercalazioni di calcari friabili bianchi a grana medio-grossa (a sud di Monte S. Angelo), di calcari detritici e di rari straterelli marnosi (zona di Apricena) (CRETACICO).
8. Dolomie e calcari dolomitici grigi con selci (CRETACICO INFERIORE).
9. Calcari bianchi o rosati, calcari dolomitici biancastri e dolomie (CRETACICO INFERIORE).
10. Calcari organogeni, calcari dolomitici e dolomie (GIURASSICO SUPERIORE).
11. Calcari marnosi con gessi (TRASSICO).


TAVOLA III


LEGGENDA TAVOLA III

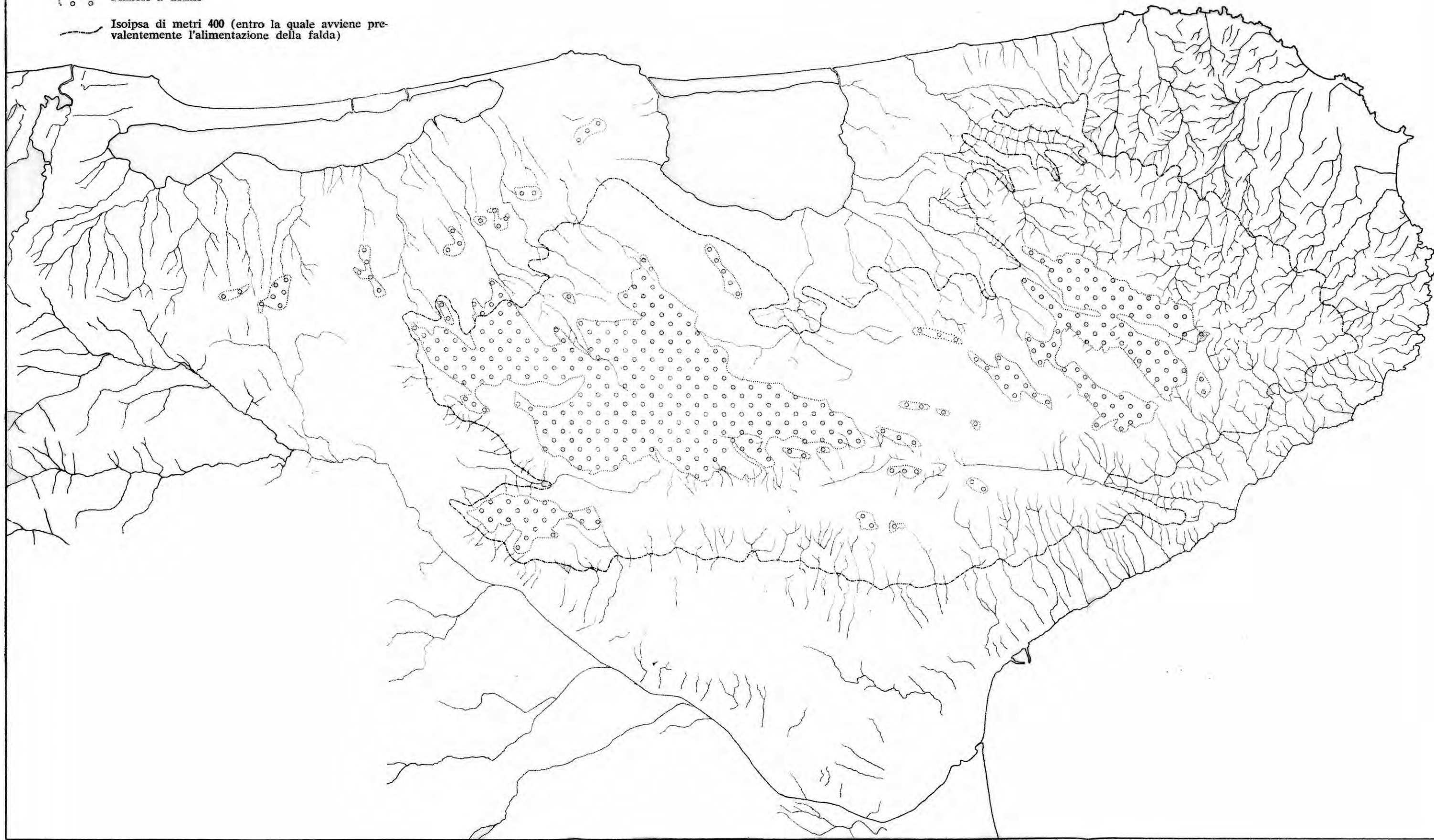
1. Sabbie talora limose (QUATERNARIO).
2. Conglomerati a cemento sabbioso o arenaceo (QUATERNARIO).
3. Argille azzurre del Tavoliere (PLEISTOCENE).
4. Arenarie calcaree tenere, talora con intercalazioni argillose (MIOCENE).
5. Calcari arenacei e breccie calcaree (EOCENE).
6. Calcari organogeni bianchi, calcari detritici, breccie calcaree (CRETACICO SUPERIORE).
7. Calcari bianchi a grana fina con selci e intercalazioni di straterelli marnosi (CRETACICO SUPERIORE).
8. Calcari bianchi a grana fina con selci, talora con intercalazioni di calcari friabili bianchi a grana medio-grossa (a sud di Monte S. Angelo), di calcari detritici e di rari straterelli marnosi (zona di Apricena) (CRETACICO).
9. Dolomie e calcari dolomitici grigi con selci (CRETACICO INFERIORE).
10. Calcari bianchi o rosati, calcari dolomitici biancastri e dolomie (CRETACICO INFERIORE).
11. Calcari organogeni, calcari dolomitici e dolomie (GIURASSICO SUPERIORE).

Estratto da
GEOLOGIA APPLICATA E IDROGEOLOGIA
VOLUME 1 - BARI, 1966

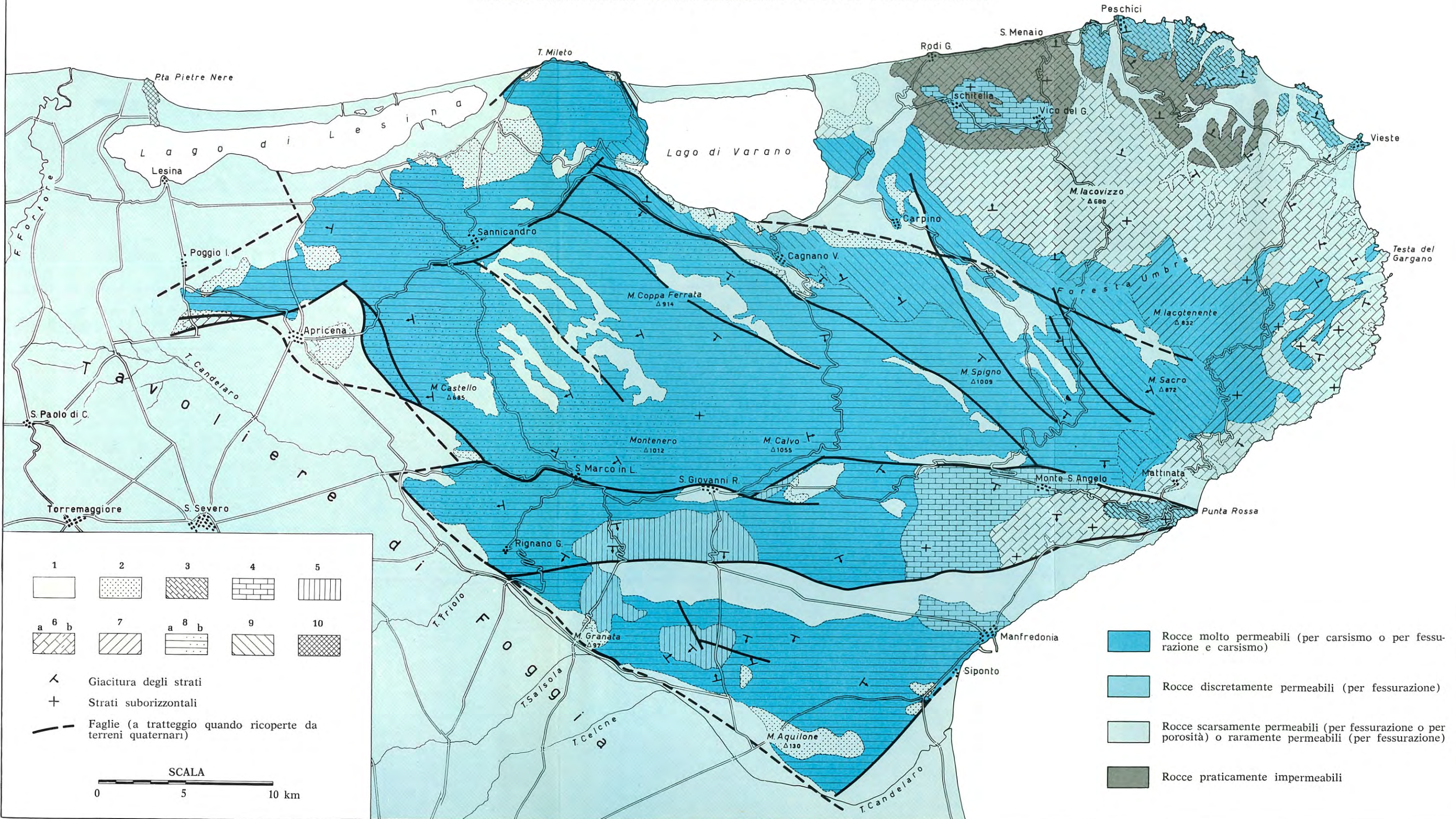
TAV. Ia IDROGRAFIA SUPERFICIALE

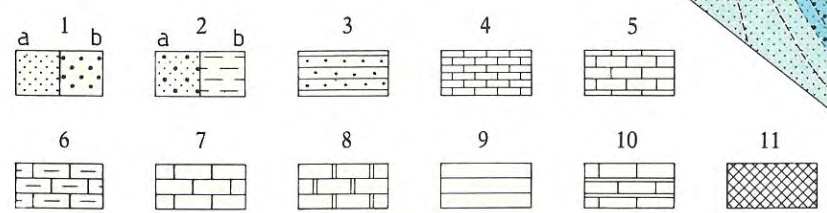
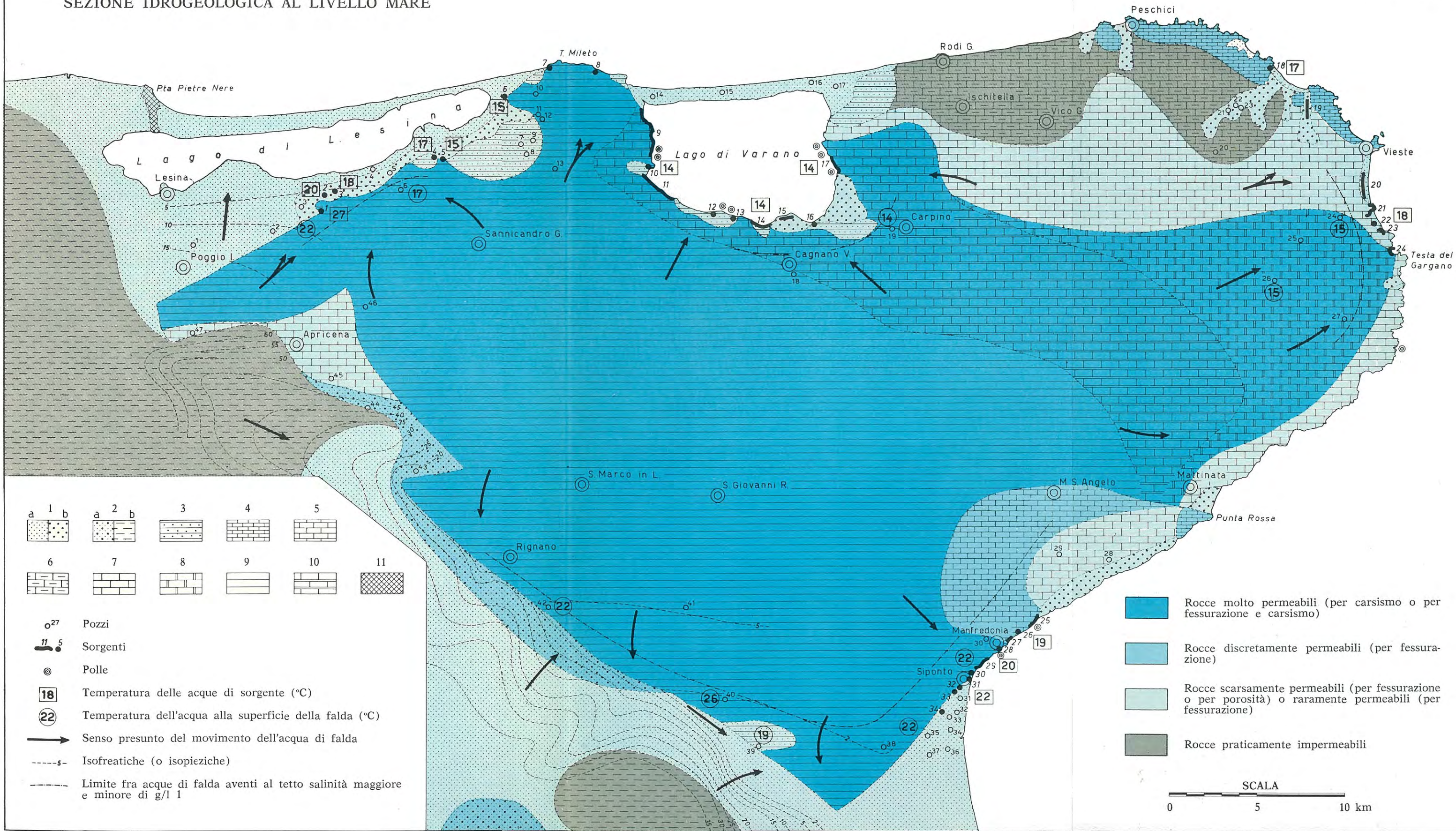
 Pianori a doline

 Isoipsa di metri 400 (entro la quale avviene prevalentemente l'alimentazione della falda)



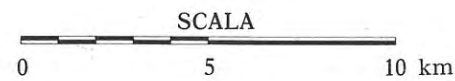
V. COTECCHIA - G. MAGRI: IDROGEOLOGIA DEL GARGANO
 CARTA SCHEMATICA DELLA GEOLOGIA E DELLE PERMEABILITA'

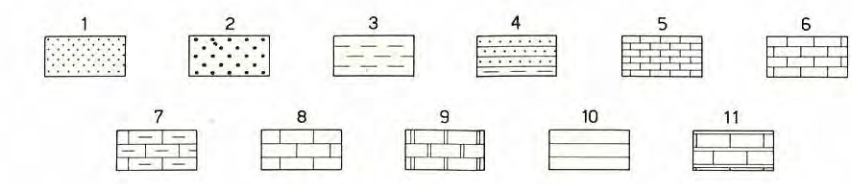
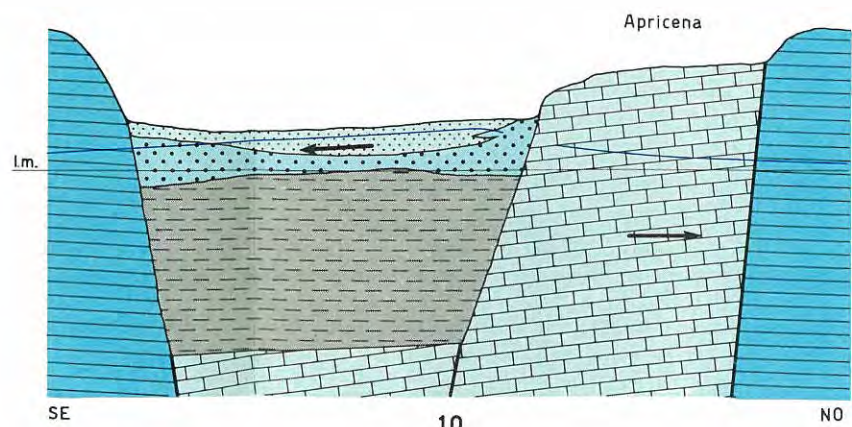
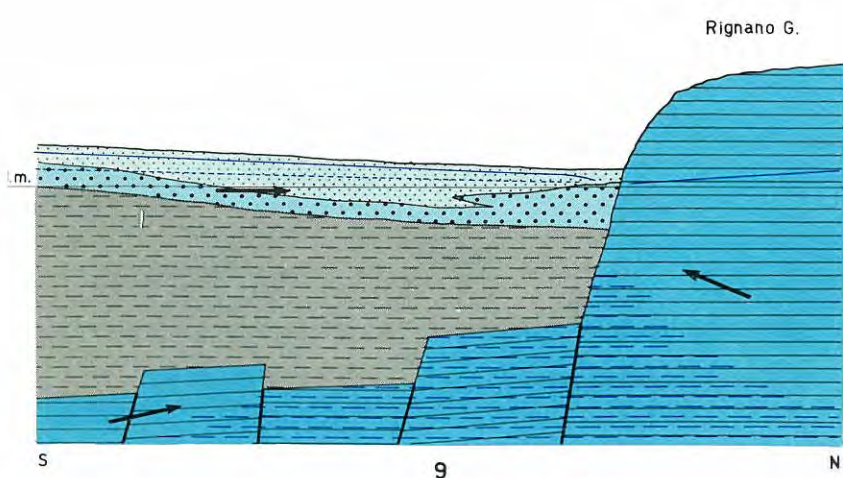
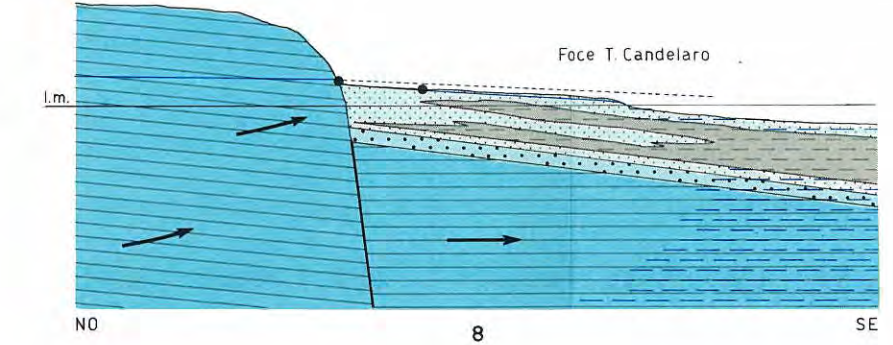
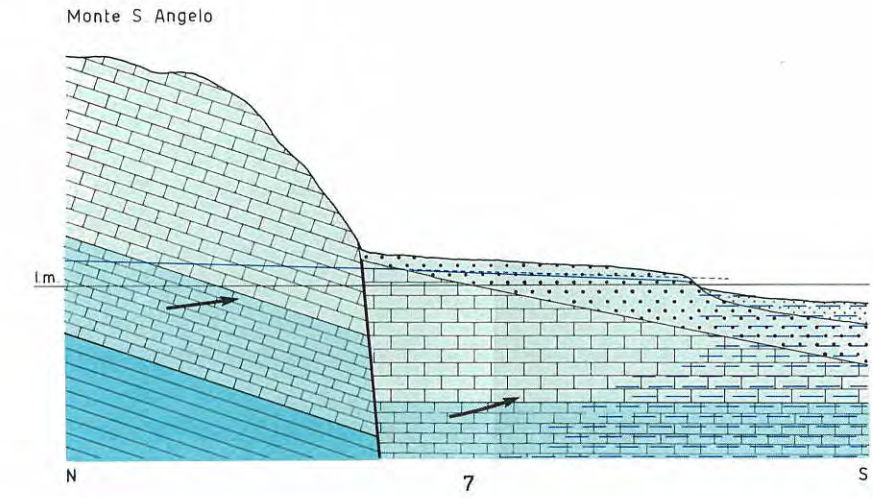
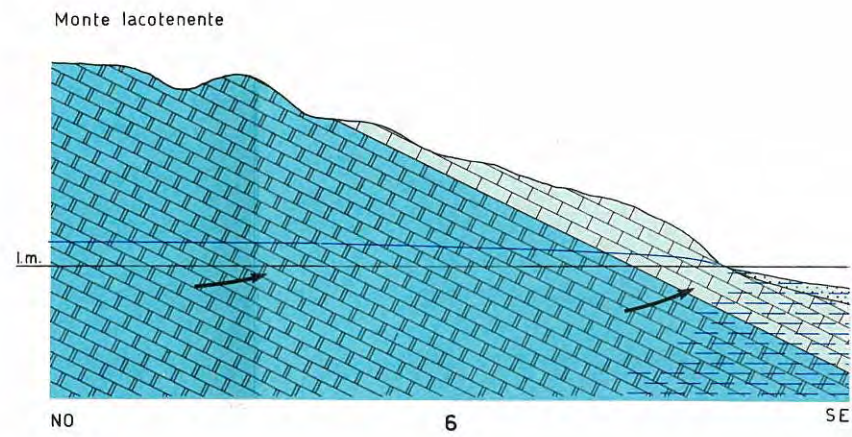
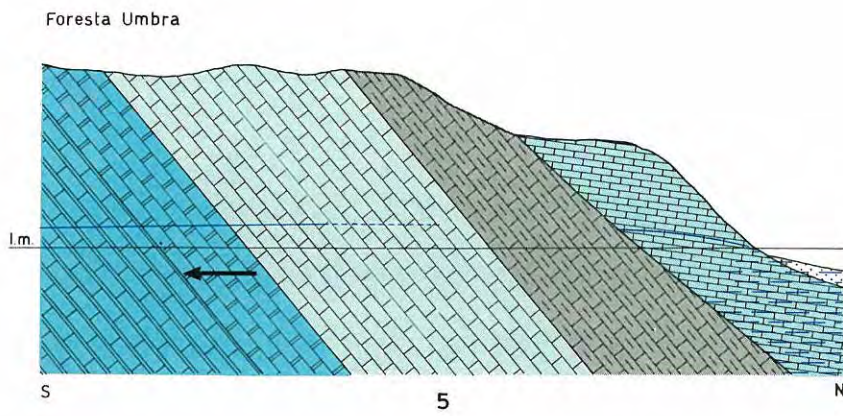
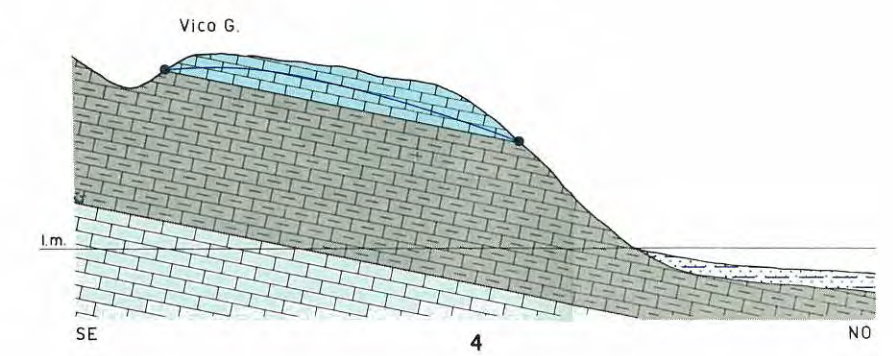
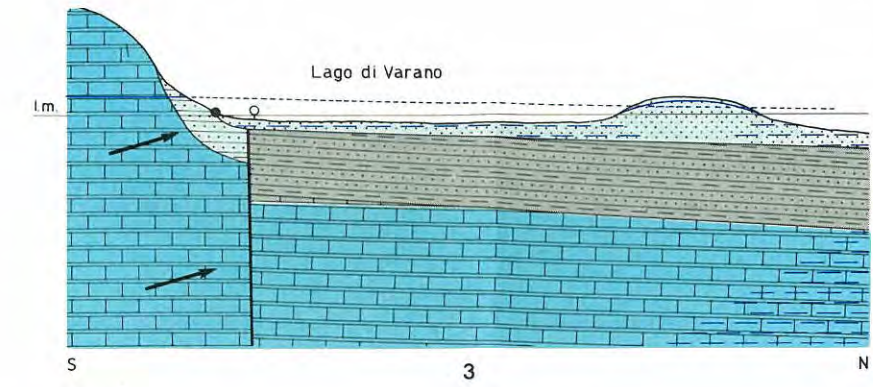
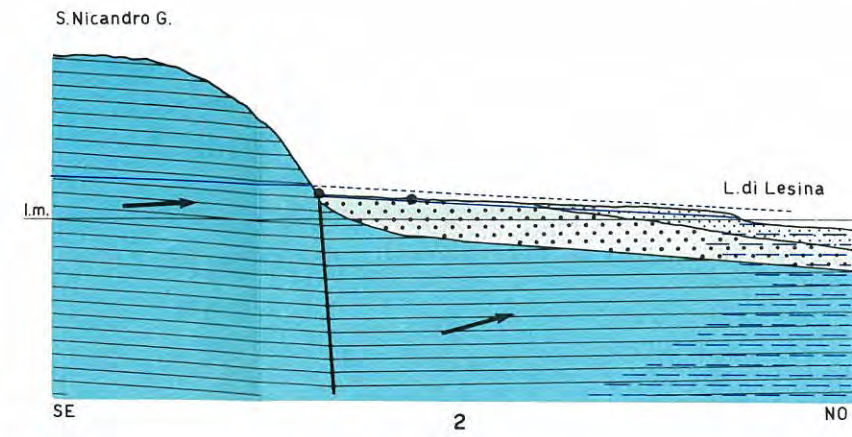
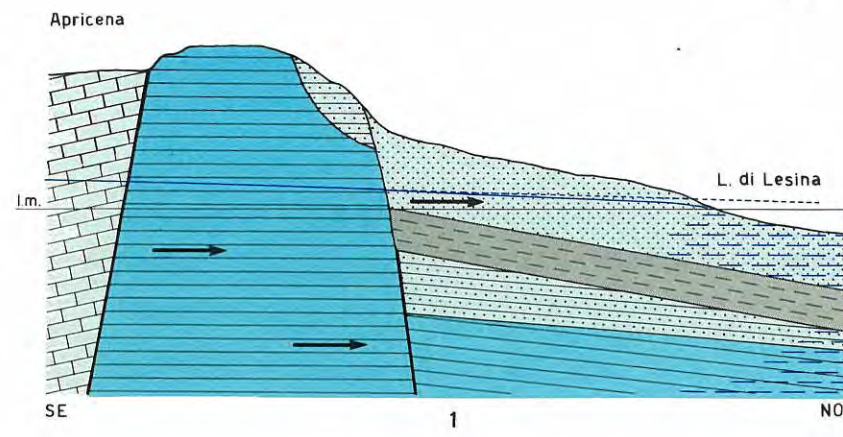




- Pozzi
- Sorgenti
- Polle
- Temperatura delle acque di sorgente (°C)
- Temperatura dell'acqua alla superficie della falda (°C)
- Senso presunto del movimento dell'acqua di falda
- Isofreatiche (o isopieziche)
- Limite fra acque di falda aventi al tetto salinità maggiore e minore di g/l 1

- Rocce molto permeabili (per carsismo o per fessurazione e carsismo)
- Rocce discretamente permeabili (per fessurazione)
- Rocce scarsamente permeabili (per fessurazione o per porosità) o raramente permeabili (per fessurazione)
- Rocce praticamente impermeabili





- Rocce molto permeabili (per carsismo o per fessurazione e carsismo)
- Rocce discretamente permeabili (per fessurazione)
- Rocce scarsamente permeabili (per fessurazione o per porosità) o raramente permeabili (per fessurazione)
- Rocce praticamente impermeabili

- Faglie
- Sorgenti
- Polle
- Componenti del movimento delle acque di falda nel piano delle sezioni
- Superfici freatiche (o piezometriche)
- Acque salate