

ACQUE

Ricerca
Trivellazione
Captazione

FASCICOLO 68

SOTTERRANEE

LE ACQUE SOTTERRANEE DEL GARGANO: RISORSE IDRICHE INTEGRATIVE E DI EMERGENZA

M. POLEMIO, M. DI CAGNO, R. VIRGA



Le acque sotterranee del Gargano: risorse idriche integrative e di emergenza *

Polemio M., Di Cagno M., Virga R.
CNR-CERIST, c/o Politecnico di Bari, Via Orabona 4, Bari, Email polemio@area.area.ba.cnr.it

*Pubblicazione n.2204 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, U.O.4.14 (CNR-CERIST, BARI), responsabile Prof. Vincenzo Cotecchia.

Riassunto

Il presente lavoro intende caratterizzare il rapporto tra alimentazione della falda idrica sotterranea del Gargano e il prelievo dai pozzi, gli efflussi dalle sorgenti e l'esistenza di risorse idriche sotterranee ulteriormente utilizzabili. L'area, di circa 2.000 km², è stata discretizzata in un reticolo a maglie quadrate di 4 km², per ciascuna delle quali è stata stimata la litologia affiorante prevalente, la quota e la pendenza media.

Caratterizzato nel dettaglio il regime termopluviometrico vigente nel Gargano, si è proceduto, per ogni cella, al calcolo delle grandezze termopluviometriche e alla definizione del bilancio idrologico.

Sono state raccolte tutte le informazioni disponibili relative alle portate sorgive e ai pozzi al fine di una stima, ad oggi possibile soltanto in difetto, degli efflussi sorgivi e degli emungimenti.

Al fine di meglio quantificare le portate sorgive, è stato definito un bilancio idrologico semplificato del lago di Varano.

Il metodo utilizzato è stato positivamente validato su un piccolo acquifero campione del Gargano, l'acquifero carbonatico e superficiale di Vico-Ischitella.

In termini medi, dei circa 37 m³/s di precipitazioni meteoriche si stima che non meno di 8,12 m³/s finiscano per alimentare l'unità idrogeologica del Gargano.

Si è stimato che non meno di 3,4 m³/s alimentino sorgenti, pari al 42 % dell'infiltrazione, mentre almeno 0,53 m³/s, pari al 7%, viene prelevato dai pozzi.

Il 50 % dell'alimentazione del Gargano dà vita ad una risorsa idrica sotterranea il cui recapito finale non è ad oggi noto. Trattasi di non meno di 4 m³/s che si versano a mare senza che si abbiano notizie certe sull'ubicazione e la reale portata, anche approssimata, di tali sorgenti.

La notevole entità delle portate in gioco e la buona qualità delle acque sotterranee del Gargano impongono

di considerare tale acquifero profondo come una fonte per l'utilizzazione razionale e sostenibile di risorse idriche integrative e di emergenza.

1. Premessa

L'approvvigionamento idrico è tuttora un problema che condiziona negativamente lo sviluppo socio-economico e lo stato di salute delle popolazioni pugliesi. Dal punto di vista economico, l'indisponibilità di risorse idriche a costi competitivi limita la crescita o la nascita di attività produttive idroesigenti e colpisce gravemente le attività agricole, le prime sacrificate in occasione delle siccità, come accaduto nel triennio 1988- 1990 e come si è nuovamente verificato nel corso della primavera-estate del 2000.

Gli effetti in termini occupazionali e in genere sociali sono facilmente immaginabili.

Gli effetti negativi in termini sanitari sono connessi alla diffusione di specifiche malattie infettive, derivanti, in estrema sintesi, dalla cattiva gestione del ciclo di utilizzo delle acque.

In entrambi i casi, la causa comune, nonché principale, è la scarsa disponibilità di risorse idriche di buona qualità. Si consideri che la scarsa piovosità nel territorio regionale determina un afflusso per pioggia che si stima in media pari a 3.429 m³/(anno ab) a fronte di una media nazionale di 5.273 m³/(anno ab) e che determina, stante le elevate temperature medie e il conseguente forte tasso di evapotraspirazione nonché i non favorevoli caratteri idrogeologici del territorio, una disponibilità di risorse regionali pari a 220 m³/(anno ab) contro una media nazionale di 921 m³/(anno ab) (IRSA 1999).

Questi pochi dati spiegano quale sia la dipendenza della popolazione pugliese dalle risorse idriche provenienti da altre regioni, principalmente Basilicata e secondariamente Campania e Molise.

Tale dipendenza introduce un costo non solo più psicologico ma anche economico in quanto la recente ten-

denza al federalismo, applicata anche alla gestione delle risorse idriche, prevede che il trasferimento idrico tra regioni contermini possa essere oneroso per la popolazione beneficiaria.

Tale quadro spiega quanto sia importante l'utilizzo razionale delle risorse idriche locali per la Puglia.

In effetti, un grande sforzo è stato svolto negli ultimi decenni dalla comunità scientifica operante nel territorio pugliese per fornire le conoscenze idrogeologiche indispensabili per perseguire un uso razionale delle risorse idriche nonché metodologie e formazione**.

La nota si propone di fornire un ulteriore contributo in tale senso.

Si consideri che le risorse idriche pugliesi sono di tipo superficiale nella porzione nord-occidentale della regione, fondamentalmente nell'Appennino Dauno e nel Tavoliere. Tali risorse sono già quasi del tutto utilizzate mediante invasi artificiali, il cui esercizio ha avuto come effetto secondario la diminuzione della ricarica dell'acquifero superficiale del Tavoliere (Polemio et al. 1999).

In tutta la restante parte della regione, nel Gargano, nella Murgia e nel Salento, le risorse idriche locali sono fondamentalmente di tipo sotterraneo. In tali aree, ad eccezione del solo Gargano, le cui acque sono ancora di discreta qualità, si patiscono gli effetti di un forte degrado qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee, particolarmente accentuato nel Salento (Cotecchia e Polemio, 1995; Polemio e Dragone, 1999; Polemio e Limoni, 2000).

Scopo del presente lavoro è caratterizzare il rapporto tra alimentazione della falda idrica sotterranea del Gargano ed il complesso dei prelievi dai pozzi e gli efflussi dalle sorgenti, al fine di quantificare le risorse idriche sotterranee ulteriormente disponibili e fornire conoscenze utili per perseguire un utilizzo razionale, equilibrato e sostenibile del complesso delle stesse.

Il Gargano rappresenta l'area più elevata dell'avampese appenninico. E' costituito in prevalenza da una potente successione di rocce calcaree e, subordinatamente, dolomitiche, talvolta stratificate, fessurate ed interessate dal fenomeno carsico.

E' sede di un vasto acquifero carbonatico che contiene cospicue risorse idriche ancora non del tutto utilizzate, capaci di fornire grande beneficio sia per gli usi civili che produttivi, agricoli e in particolare turistici.

2. Inquadramento geologico

Il Gargano è sostanzialmente costituito da una potente successione carbonatica di età giurassico-cretacea, dello spessore di alcune migliaia di metri, al di sotto della quale è presente la Formazione delle Anidridi di Burano (Triassico sup.), dello spessore di alcune migliaia di metri.

Questa formazione, formata in ambiente di piattaforma intracontinentale carbonatico-evaporitica, dal punto di vista litologico, è costituita da anidridi a cui sono associate, in quantità nettamente subordinata, dolomie, e raramente salgemma.

Queste rocce si rinvengono in affioramento soltanto in località Punta delle Pietre Nere, associate a calcari e marne di colore nero, e a rocce ultrabasiche (Bosellini et al., 1993).

Le Anidridi di Burano giacciono, probabilmente, su depositi terrigeni ricoprenti il basamento metamorfico-cristallino che, nell'area, sulla base dei dati forniti dai pozzi AGIP (ENI, 1972), si ipotizza presente a profondità variabile tra 8 e 10 km.

Nel Gargano è possibile, quindi, distinguere due zone principali: una zona occidentale, appartenente alla Piattaforma Apula esterna (Mostardini e Merlini, 1986), in cui si rinvengono depositi in facies di scogliera e retroscogliera, e la zona orientale, ove affiorano sedimenti di avanscogliera (fronte e scarpata) e di bacino, quest'ultime facies appartenenti al Bacino Ionico (Aubouin, 1959).

Nel seguito si farà sempre riferimento alla Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000 (F. 155 "San Severo" ed.1969, F. 156 "S.Marco in Lamis" ed.1970, F. 157 M. S. Angelo" ed.1965, F. 164 "Foggia" ed.1969, F. 165 "Trinitapoli" ed.1968 per quanto attiene alla denominazione delle formazioni geologiche ed ai relativi riferimenti cronologici (Fig.1).

Nel Gargano occidentale, a nord-ovest di S.Giovanni Rotondo, si rinvengono le facies di retroscogliera rappresentate da calcari compatti criptocristallini e microcristallini (Giurassico sup.), di colore bianco-grigiastro o rosato, con stratificazione in banchi o strati, e con intercalazioni di calcari dolomitici e dolomie (Formazione di Sannicandro) che, talvolta, risultano prevalenti sui calcari (Formazione di M. La Serra).

Nella parte centrale del promontorio, invece, le facies di retroscogliera (Giurassico sup.- Cretaceo inf.) sono costituite da calcari cristallini e microcristallini, biancastri o rosati, con pisoliti e ooliti, riferibili alle formazioni note come Calcari di S. Giovanni Rotondo, Calcari di

**La nota trae spunto dall'attività svolta nell'ambito del progetto "Rischio idrogeologico di degrado delle risorse idriche sotterranee e tecnologie di gestione", Programma operativo 1994/99 "Ricerca, Sviluppo tecnologico ed Alta formazione", finanziato dal MURST-FSE e svolto presso il CNR-CERIST, responsabile Dott.M.Polemio.

M. Spigno e Calcari di M. Pizzuto, e da calcari oolitici, calcari detritici e bioclastici, e subordinatamente da dolomie cristalline appartenenti ai Calcari di Coppa Guardiola. I calcari di M. Pizzuto e di M. Spigno mostrano raramente una stratificazione netta, mentre le rocce dei Calcari di S. Giovanni Rotondo e di Coppa Guardiola si presentano in strati di potenza variabile da pochi centimetri ad oltre un metro.

A sud di S. Giovanni Rotondo (Fig.1), infine, affiorano i calcari micritici, stratificati, con intercalazioni di marne, appartenenti alla formazione dei Calcari di Casa Lauriola, del Cretaceo sup., che giacciono, in discordanza, e con l'interposizione di un orizzonte bauxitico, sui Calcari micritici di Masseria Quadrone (Cretaceo inf.).

I depositi di scogliera propriamente detta sono rappresentati dai calcari organogeni compatti, grigi o rosati, con subordinate dolomie cristalline (Giurassico sup.), riferibili ai Calcari di M. Sacro.

Nella zona di transizione, interposta tra le bioliti di

scogliera ed i sedimenti di mare aperto, affiorano calcari dolomitici e dolomie grigie, del Giurassico sup.-Cretaceo inf., con liste e noduli di selce, appartenenti alla Formazione di M. Iacotenente e alla Formazione di Cagnano. Se la prima è stratificata in banchi e strati, la seconda non presenta una stratificazione evidente. Secondo Bosellini et al. (1993) alla zona di scarpata-pendio sono ascrivibili i Calcari bioclastici di Mattinata (Cretaceo inf.), la Formazione di M. Sant'Angelo (Cretaceo inf.-sup.) e le Calcareniti di M. Acuto (Cretaceo sup.-Paleocene inf.).

Nel primo caso trattasi di calcari bioclastici grossolani, breccie calcaree e calcari compatti con liste e noduli di selce, in strati di spessore variabile da qualche centimetro ad oltre un metro.

I calcari della Formazione di M. Sant'Angelo sono biogenici, biancastri e stratificati in banchi e strati. Infine le Calcareniti di M. Acuto sono costituite da calcari terrosi bianchi, friabili, in strati irregolari centimetrici ed intercalazioni discontinue di calcari organogeni

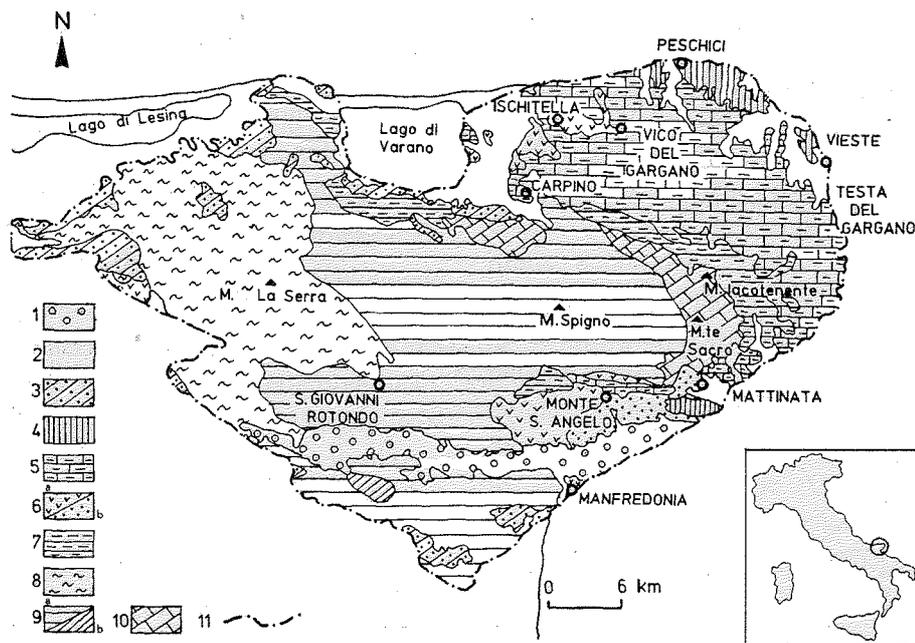


Fig.1 - Carta geologica del Gargano (da Guerricchio, 1983, modificata).

- 1) Conoidi di deiezione, detrito di falda, breccie e conglomerati ad elementi calcarei (Olocene);
- 2) Depositi di spiaggia, palustri ed alluvionali (Pleistocene-Olocene);
- 3) Calcareniti di Apricena (Miocene);
- 4) Calcari a Nummuliti di Peschici (Paleocene-Eocene);
- 5) Maiolica, Formazione di Rodi Garganico e Scaglia (Cretaceo);
- 6a) Formazione di M. Sant'Angelo (Cretaceo med.-sup.);
- 6b) Formazione M. Acuto, Calcari bioclastici di Mattinata (Cretaceo inf.);
- 7) Formazione di M. Iacotenente e Formazione di Cagnano (Giurassico sup.-Cretaceo inf.);
- 8) Formazione di Sannicandro e Formazione di M. La Serra (Giurassico sup.);
- 9a) Calcari di S. Giovanni Rotondo, Calcari di M. Spigno, Calcari di M. Pizzuto e Calcari di Coppa Guardiola e Calcari di Masseria Quadrone (Giurassico sup.-Cretaceo inf.);
- 9b) Calcari di Casa Lauriola (Cretaceo sup.);
- 10) Calcari di M. Sacro (Giurassico sup.);
- 11) Limite unità idrogeologica del Gargano.

e di calcari compatti a grana fine.

Nel settore orientale del promontorio garganico affiorano i sedimenti di bacino rappresentati da calcari e calcari marnosi compatti ed a grana fine, bianchi o nocciola, fittamente stratificati.

Tali rocce mostrano una frattura concoide e sono interessate da strutture di scivolamento e piegamento insedimentario dette "slump" e contengono selce sotto forma di liste e noduli. Trattasi delle formazioni note come Maiolica (Cretaceo inf.), Scaglia (Cretaceo sup.) e Formazione di Rodi Garganico (Giura sup.-Cretaceo inf.). Nella zona costiera tra Peschici e Vieste ed a sud di Mattinata, i sedimenti di bacino sono localmente ricoperti, in trasgressione, da calcari bioclastici, calcareniti e breccie calcaree, riferibili ai Calcari a Nummuliti di Peschici (Paleocene-Eocene).

Nella parte occidentale e meridionale del Gargano affiorano, infine, lembi sparsi di differente estensione e spessore, di calcareniti mioceniche tenere, a granulometria eterogenea, note come Calcareniti di Apricena.

Nelle aree topograficamente depresse e nei bacini endoreici si rinvengono depositi sciolti continentali, quaternari, rappresentati da detriti clastici di versante. Trattasi di breccie, talvolta cementate, depositi alluvionali limoso-argillosi e ghiaioso-sabbiosi o terra rossa. Lungo la fascia costiera si ritrovano depositi di spiaggia a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa e depositi palustri limoso-argillosi.

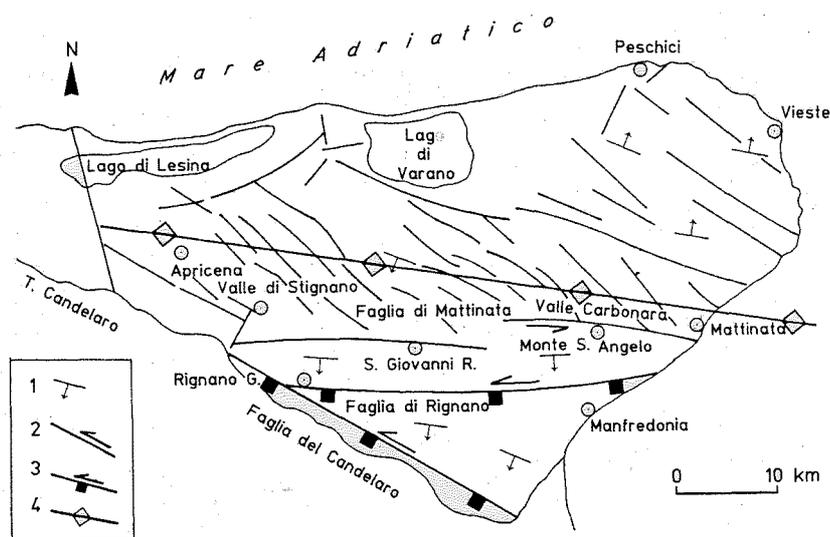


Fig.2 - Schema strutturale del Promontorio del Gargano (Billi e Salvini, 2000, modificato).

- 1) direzione ed immersione degli strati;
- 2) faglia trascorrente;
- 3) faglia con scarpata (rettangoli verso valle);
- 4) traccia di superficie assiale di anticlinale regionale.

Attualmente è in corso una revisione della stratigrafia del Gargano ad opera di diversi autori tra cui Bosellini et al. (1993) e Luperto Sinni (1996). Quest'ultimo, ad esempio, propone di includere i terreni appartenenti alla Formazione di M. La Serra e la parte superiore dei Calcari di Sannicandro entro la formazione dei Calcari di San Giovanni Rotondo e la Formazione di Rodi Garganico e la Formazione di M. Iacotenente entro la Formazione di Mattinata, e di riferirli tutti al Cretaceo inferiore.

2.1 Caratteri strutturali

L'interpretazione dell'evoluzione tettonica del promontorio garganico è tuttora controversa ed è ancora oggetto di studio da parte di più studiosi. Nel seguito si descrivono i lineamenti geostutturali rilevanti ai fini idrogeologici, evidenziando alcuni degli aspetti controversi.

La spessa successione carbonatica giurassico-cretacea del Gargano è blandamente piegata secondo un'ampia anticlinale con asse ONO-ESE ed è dislocata da diversi sistemi di faglia a direzione E-O, ESE-ONO e NO-SE, alcuni dei quali sono rappresentati da faglie trascorrenti sinistre (Fig.2).

Le principali lineazioni tettoniche, a prevalente componente trascorrente e a geometria subverticale, sono le faglie di Mattinata e di Rignano, a direzione E-O, e la faglia del Candelaro, a direzione ONO-ESE.

La faglia di Mattinata, nota anche come Faglia della Val Carbonara, ubicata lungo il fianco meridionale dell'anticlinale garganica, rappresenta un lineamento tettonico di vaste dimensioni che mostra le caratteristiche morfologiche e strutturali di una faglia trascorrente sinistra (Billi e Salvini, 2000). Profili sismici dimostrano che tale faglia continua verso est, in mare, per diversi chilometri, dove è stata chiamata Gondola Line da De Dominicis e Mazzoldi (1989).

Anche Funicello et alii (1988) attribuiscono alla faglia di Mattinata, almeno al movimento più recente, una cinematica trascorrente sinistrorsa. Non tutti, però, sono concordi nel ritenerla tale, ad esempio, Guericchio (1996) e Ortolani e

Pagliuca (1988) interpretano la faglia di Mattinata come trascorrente destra.

La faglia di Rignano e quella del Candelaro, ubicate a sud della faglia di Mattinata, sono anch'esse interpretate come trascorrenti sinistre, però con una loro probabile riattivazione secondo una cinematica a carattere estensionale (Fig.2). Entrambe presentano scarpate subverticali: la prima ha un dislivello superiore ai 400 m e la seconda di 100-150 m (Billi e Salvini, 2000).

Il carattere primariamente trascorrente di tali faglie, come deducibile dalla geometria subverticale dei piani e dalla suborizzontalità delle strie di movimento, e la loro geometria relativamente indisturbata indicano che gran parte del processo che ha generato l'alto strutturale garganico sia precedente allo sviluppo stesso delle faglie, originatesi in regime transpressivo. La successiva riattivazione di parte di queste faglie è riconducibile probabilmente ad un processo di estensione lungo i margini della struttura in sollevamento.

La presenza di evidenti scarpate morfologiche in corrispondenza delle faglie di Rignano e del Candelaro è da attribuire alla riattivazione delle stesse secondo movimenti verticali. La faglia di Mattinata sembra invece aver subito una storia deformativa riconducibile unicamente ad una tettonica trascorrente sinistra (Billi e Salvini, 2000).

Funciello et al. (1988) indicano tre momenti deformativi principali dal Paleogene ad oggi. La struttura, già debolmente deformata secondo una blanda anticlinale ad asse ONO, accompagnata localmente da pieghe minori, è stata interessata da una tettonica distensiva che ha provocato una serie di faglie dirette e sub-verticali. Successivamente l'area è stata interessata da faglie di sbloccamento; a questa fase è riconducibile la formazione della faglia di Mattinata oltre ad una serie di altri sistemi di faglie E-O, N-S e NO-SE, con probabile riattivazione locale dei piani sub-verticali generatisi nella fase precedente. L'ultimo momento, nuovamente a carattere di sbloccamento distensivo, è responsabile dell'attuale assetto del promontorio garganico, con la formazione di faglie a direzione E-O, NE-SO e NO-SE.

Secondo Ortolani e Pagliuca (1987 e 1988), invece, è possibile individuare una prima fase plicativa eocenica-oligocenica, dovuta alle spinte di compressione del fronte dinarico, e responsabile delle strutture anticlinali con asse orientato E-O e vergenza a sud, delimitate da faglie inverse immergenti a nord. A questa segue una seconda fase mio-pliocenica, legata alla dinamica compressiva appenninica, in seguito alla quale si sono individuate o accentuate faglie trascorrenti variamente

orientate.

Billi e Salvini (2000), limitatamente al settore meridionale del Gargano, indicano un'evoluzione post-miocenica, caratterizzata da una tettonica sostanzialmente trascorrente o transpressiva sinistra, che ha determinato la formazione dell'anticlinale e del sistema di faglie trascorrenti sinistre a direzione E-O e ONO-ESE (Fig.2).

Testimonianza dell'intensa e anche recente attività tettonica è la forte sismicità dell'area garganica, i cui epicentri sono per lo più concentrati nella zona centro-orientale della faglia trascorrente della Val Carbonara (Guerricchio, 1983).

2.2 . Caratteri morfologici

Il massiccio montuoso del Gargano, nettamente separato dalla bassa pianura del Tavoliere dalla faglia del Candelaro, si sviluppa, con forma a gradinata, da pochi metri fino ai 1056 m s.l.m. di M. Calvo.

L'ossatura del promontorio garganico, costituita da calcari e calcari dolomitici interessati da uno sviluppato reticolo di fessure e fratture, è sede di fenomenologie carsiche, soprattutto nella parte centrale e occidentale, tra Rignano Garganico, Sannicandro Garganico, M. Sant'Angelo e Manfredonia (Fig.3). Questa zona presenta una morfologia caratterizzata da estesi pianori a doline, e da svariate manifestazioni carsiche epi (valli morte, depressioni, conche, campi carreggiati) ed ipogee (voragini e inghiottitoi). Queste zone sono in parte nude e in parte coperte, ma senza continuità, da una potente coltre di terreno residuale o vegetale. Il fenomeno carsico non ha raggiunto lo stadio di senilità, come dimostra l'assenza di forme tipiche di carsismo avanzato, quali uvale e polje (Cotecchia e Magri, 1966). L'intenso sviluppo del fenomeno carsico, associato all'intensa fratturazione delle rocce presenti, conferisce a quest'area le migliori caratteristiche di permeabilità dell'intero promontorio.

Al contrario, nel Gargano orientale, dove i rilievi assumono forme arrotondate, il carsismo è meno sviluppato in quanto affiorano litotipi, prevalentemente calcari marnosi e con selce, poco suscettibili alla dissoluzione chimica e che permettono l'instaurarsi di una sia pur minima rete idrografica.

La morfologia costiera presenta caratteri disuniformi: le coste settentrionali, sabbiose, sono costituite prevalentemente da lunghe spiagge, mentre quelle meridionali, lungo le quali affiorano rocce carbonatiche, sono caratterizzate da ripide scarpate e da grotte carsico-marine.



Fig.3 - Ubicazione stazioni climatiche. 1) Stazione termopluviometrica; 2) Stazione pluviometrica.

3. Principali caratteri climatici dell'area

Il Gargano presenta il tipico clima mediterraneo, caratterizzato dall'alternarsi di periodi pressoché aridi e periodi prevalentemente umidi.

I primi, che si concentrano nel semestre aprile-settembre, sono dovuti, soprattutto nelle aree situate alle quote minori, alle alte temperature atmosferiche e alle rare piogge, condizione dovuta all'influenza delle prevalenti masse d'aria calda provenienti da sud, dal secondo e terzo quadrante.

I periodi umidi, che in genere si protraggono da ottobre a marzo, invece, sono caratterizzati da basse temperature e da intensa piovosità, in particolar modo nelle aree montane e boscate, legata alla prevalente azione di venti settentrionali, del primo e quarto quadrante, carichi di umidità (Ranieri, 1947).

In termini quantitativi, i principali caratteri climatici sono stati desunti dall'osservazione delle misure registrate in 12 stazioni del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (Fig.3), nel periodo 1921-1994 (Tab.1).

La piovosità annua nel Gargano presenta un andamento tendenzialmente decrescente nel periodo di osservazione. Nel caso della stazione pluviometrica di S. Marco in Lamis, ad esempio, tale trend mostra un calo di 3,3 mm/anno (Fig.4). Questo decremento della piovosità comporta, per un periodo di 50 anni, un calo di 165 mm, pari al 23% della piovosità media annua registrata nella stessa stazione (Di Cagno et al., 1999).

Tale circostanza è coerente con quanto emerso per il contiguo Tavoliere, per il quale il trend pluviometrico è risultato decrescente (Polemio et al., 1999).

Svolta l'analisi della dipendenza, la variabilità spaziale della piovosità risulta in modo rilevante correlata all'altitudine, coefficiente di correlazione pari a 0,806 (Fig.5), e secondariamente all'esposizione dei versanti.

Dalla retta di regressione si scostano in modo significativo le stazioni pluviometriche 11 e 12.

La bassa piovosità registrata nella stazione 12 si giustifica nel fatto che essa è ubicata al di sotto dei rilievi di M. Nero, M. Calvo e M. Spigno, posti nella direzione di provenienza dei venti artefici della piovosità.

Nella stazione pluviometrica 11, ubicata a quota di poco inferiore rispetto alla 12, ma in prossimità

dello spartiacque tra i versanti nord e sud, si registrano valori non poco maggiori di quelli previsti dalla retta di regressione quota-altitudine.

Tali circostanze mostrano anche l'effetto dell'esposizione, che causa, a parità di altre condizioni, una lieve accentuazione della piovosità sui versanti esposti a nord.

La notevole variabilità da punto a punto della piovosità media annua, funzione prevalentemente dell'altitudine, si associa ad una forte variabilità delle piovosità medie mensili.

I minimi valori di piovosità mensile si registrano, in

Nome	N	Tipo	Q (m slm)	P	T	Pm	Tm
Manfredonia	1	P/T	2	67	56	439	15,3
Lesina	2	P/T	5	67	52	622	15,9
Vieste	3	P/T	25	73	48	551	16,6
Masseria Maccallè	4	P	32	25		474	
San Severo	5	P/T	87	66	51	515	15,7
Cagnano Varano	6	P/T	150	66	27	788	15,6
Sannicandro Garganico	7	P	224	61		803	
Vico Garganico	8	P	450	71		810	
San Giovanni Rotondo	9	P/T	557	61	46	865	13,7
San Marco in Lamis	10	P	560	74		924	
Bosco Umbra	11	P/T	750	64	48	1184	11,2
Monte S. Angelo	12	P/T	843	73	45	777	12,1

Tab. 1 - Caratteristiche delle stazioni termopluviometriche. N) numero identificativo; P) stazione di tipo pluviometrico o P/T) termopluviometrico; Q) quota (m slm); P) anni di osservazione pluviometrica e T) anni di osservazione termometrica; Pm) pioggia annua media (mm); Tm) temperatura annua media (°C).

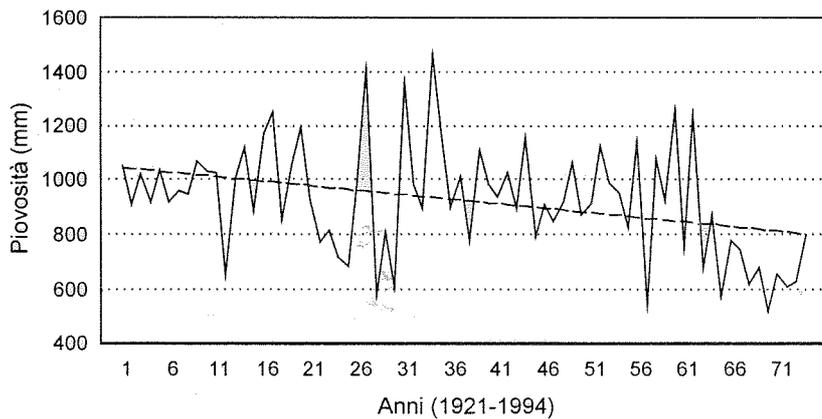


Fig.4 - Idrogramma pluviometrico e trend pluviometrico per la stazione di S. Marco in Lamis.

tutte le stazioni, tra giugno e luglio, e solo raramente in agosto, mentre i valori massimi si hanno sempre tra novembre e dicembre.

I regimi pluviometrici tracciati per ciascuna stazione risultano così diversi, pur se caratterizzati da andamenti simili nell'anno. Per verificare che tale circostanza sia attribuibile fondamentalmente alla diversa altitudine, e che il Gargano possa considerarsi un'area omogenea dal punto di vista della distribuzione media annua

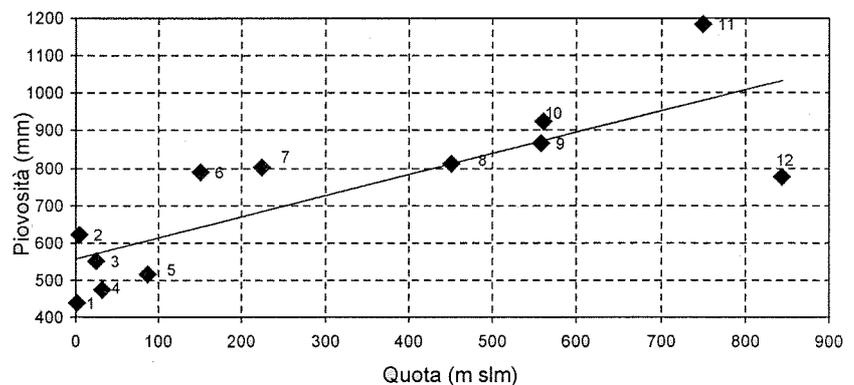


Fig. 5 - Retta di regressione quota-piovosità.

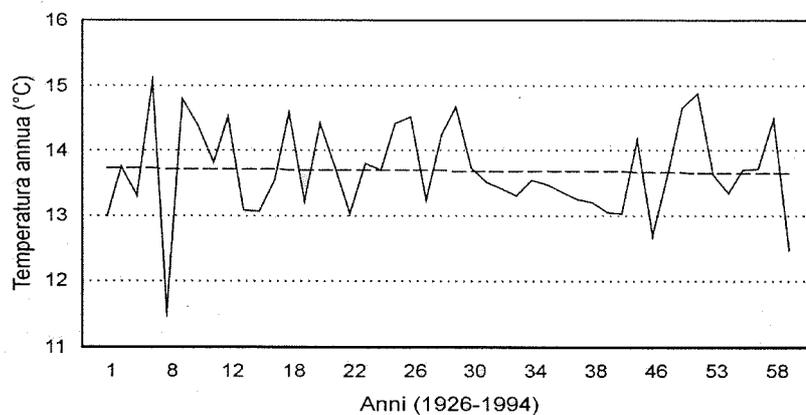


Fig.6 - Trend termometrico per la stazione 9.

delle piogge, si è proceduto nel modo seguente: i valori di precipitazione medi mensili di ciascuna stazione sono stati normalizzati rispetto al relativo totale medio annuo (Tab.2), e in tal modo si è valutato per ciascuna stazione il contributo mensile al totale di pioggia annuo.

Da questa elaborazione si ottiene che la massima ampiezza dell'intervallo definito dalle piovosità mensili normalizzate è pari al 3,6%, valore relativo a dicembre. Trattandosi di un valore molto basso, il regime pluviometrico del Gargano può essere considerato omogeneo.

Il trend termometrico non presenta ovunque uno spiccato carattere crescente o decrescente. Ad esempio, per la stazione di S.Giovanni Rotondo, nel periodo di osservazione 1926-1994, il coefficiente angolare della retta di regressione assume valore di $-0,001$ °C/mese (Fig.6) (Di Cagno et al., 1999). Nel caso della stazione di Manfredonia si ha un trend fortemente positivo, pari ad un incremento di 1°C ogni 50 anni. Quanto emerge per il Gargano contrasta in parte con quanto noto per la contigua area del Tavoliere,

dove il trend termometrico è risultato ovunque positivo (Polemio et al., 1999). Questa diversità in una certa misura può essere dovuta alla breve durata delle serie termometriche disponibili per il Gargano.

La temperatura è strettamente correlata con l'altitudine, coefficiente di correlazione è 0,982 (Fig.7).

Con le stesse finalità perseguite per la piovosità (Fig.8), i valori di temperatura medi mensili di ciascuna stazione sono stati normalizzati rispetto al valore medio annuo (Tab.3).

Le massime temperature si registrano, in tutte le stazioni, nel periodo luglio-agosto mentre le minime si hanno tra gennaio e febbraio (Fig.8).

In questo caso lo scarto tra temperatura mensile normalizzata minima e massima è ampio, il massimo è relativo a luglio ed è pari al 24%.

Tale scarto è in genere maggiore per i mesi in cui si osservano le temperature estreme (luglio, agosto, gennaio e febbraio) e minore nei restanti mesi.

Per quanto l'andamento medio annuo delle tempera-

stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1	9,7	8,0	8,7	7,7	7,3	6,7	4,0	4,7	9,3	10,5	13,2	11,0
2	11,4	9,3	7,7	7,1	5,4	4,2	4,8	5,4	8,4	10,7	12,8	12,9
3	11,4	9,3	8,6	7,1	5,5	4,7	3,5	4,3	8,6	10,2	13,1	14,0
4	10,3	7,9	7,7	8,3	8,4	6,2	4,9	5,5	7,3	10,3	11,1	11,5
5	10,5	8,7	8,4	7,6	6,7	5,1	4,1	4,6	8,2	11,0	12,5	12,5
6	10,6	8,8	8,0	7,5	6,2	5,2	5,6	5,5	8,5	10,4	11,7	11,8
7	11,2	8,8	7,5	7,0	5,6	4,7	5,4	4,9	9,1	10,2	12,5	12,6
8	11,7	9,1	8,3	7,2	5,7	4,3	4,4	4,8	7,4	10,6	12,7	13,3
9	10,8	9,4	9,0	7,8	6,5	5,1	4,6	4,7	7,8	9,5	11,8	13,2
10	9,6	9,0	8,9	7,6	6,5	5,5	5,2	4,3	7,1	8,8	12,4	14,6
11	11,7	9,6	9,6	7,8	6,1	4,8	3,8	4,6	6,9	9,1	13,0	12,9
12	10,8	8,5	9,8	7,6	6,0	5,6	4,6	4,1	7,8	9,3	13,0	12,8

Tab. 2 - Valori medi mensili di precipitazione normalizzati rispetto al totale annuo (%). Per ogni stazione sono evidenziati in grassetto i valori massimi e in grassetto-corsivo i minimi.

ture sia qualitativamente omogeneo, l'adozione di un modello lineare, funzione della sola temperatura media annua, per la definizione del regime termometrico del Gargano potrebbe indurre rilevanti approssimazioni per buona parte dell'anno.

D'altra parte, i mesi suddetti sono quelli per i quali il bilancio idrologico è meno sensibile al valore stimato della temperatura mensile in quanto, ovunque nel Gargano, l'evapotraspirazione reale è comunque molto bassa in un caso per la notevole riduzione del potere evaporante dell'atmosfera (gennaio e febbraio), nell'altro per il fortissimo deficit idrico, in altre parole per la quasi nulla umidità del terreno (luglio e agosto).

Ciò comporta che l'ipotesi, secondo cui il Gargano sia omogeneo anche rispetto al regime termometrico, possa ritenersi dagli effetti trascurabili in termini di bilancio idrologico.

Sulla base dei valori di temperatura e di pioggia normalizzati sono stati determinati i valori medi del coefficiente mensile di temperatura e del coefficiente mensile di pioggia per l'area del Gargano, indicati rispettivamente come CT e CP (Tab.4), ottenuti mediante la media aritmetica dei valori contenuti in ciascuna colonna delle Tab. 2 e 3.

4. Idrogeologia

La potente successione carbonatica giurassico-cretacea costi-

tuisce una vasta unità idrogeologica delimitata a nord, a nord-est e a sud-est dal mare Adriatico, mentre a ovest e, per un breve tratto a sud-est, è separata dal Tavoliere da faglie tra le quali quella del Candelaro.

Si ritiene che la falda idrica sotterranea, avente come livello di base della circolazione l'orizzonte marino, sia sostenuta dall'acqua marina di intrusione (Cotecchia e Magri, 1966). Tale fenomeno, in realtà, è stato osservato soltanto in una ristretta fascia che si sviluppa lungo la costa, mentre non sono disponibili dati all'interno del territorio.

Per approfondire la conoscenza sui caratteri dell'unità idrogeologica del Gargano, si è avviata una sistematica acquisizione di dati da enti territoriali, enti gestori o utilizzatori delle acque sotterranee nonché da imprese di perforazione e da privati.

E' stata realizzata una banca dati georeferenziata costituita da 391 pozzi, contenente dati circa la stratigrafia, i rinvenimenti idrici e la piezometria, le prove di portata e la portata di utilizzo, il tipo di utilizzo nonché i caratteri fisico-chimici delle acque sotterranee.

L'esame delle profondità di rinvenimento idrico e di stabilizzazione del livello piezometrico nei pozzi (Tab.5) la cui risalita varia da qualche metro sino a 300 m, e l'andamento rettilineo della relazione depressione piezometrica-portata emunta, ottenuto durante alcune prove di portata eseguite, evidenziano come la falda idrica sotterranea del Gargano sia quasi ovunque in pressione, come già sostenuto da Cotecchia e Magri (1966).

Lo spartiacque principale per la circolazione idrica

stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1	50	53	66	85	112	139	155	156	137	109	80	60
2	49	53	66	87	112	138	155	155	137	108	81	58
3	50	52	68	88	111	137	155	156	134	106	80	60
5	46	51	66	87	114	142	159	160	138	107	78	55
6	49	51	65	86	113	138	156	156	134	106	77	58
9	38	43	59	83	114	145	168	169	143	109	75	50
11	27	32	51	80	118	155	179	177	146	106	70	42
12	31	35	67	81	117	153	175	177	150	109	70	43

Tab.3 - Valori medi mensili di temperatura normalizzati (%) rispetto al valore medio annuale.

sotterranea coincide grossomodo con l'asse principale del promontorio costituito dall'allineamento S. Severo - Vieste (Cotecchia e Magri, 1966).

I gradienti piezometrici variano dallo 0,01% al 7%.

La falda idrica sotterranea è alimentata dalle acque meteoriche che si infiltrano prevalentemente in corrispondenza del settore centrale ed occidentale del massiccio garganico, dove affiorano depositi di retroscogliera e di scogliera che, per il ruolo svolto dalla fratturazione e dal carsismo, hanno le maggiori permeabilità (Grassi e Tadolini, 1991a).

Gli alti valori di temperatura e di salinità delle acque sotterranee garganiche misurate in due sole aree prospicienti il Tavoliere, suggeriscono l'ipotesi che l'alimen-

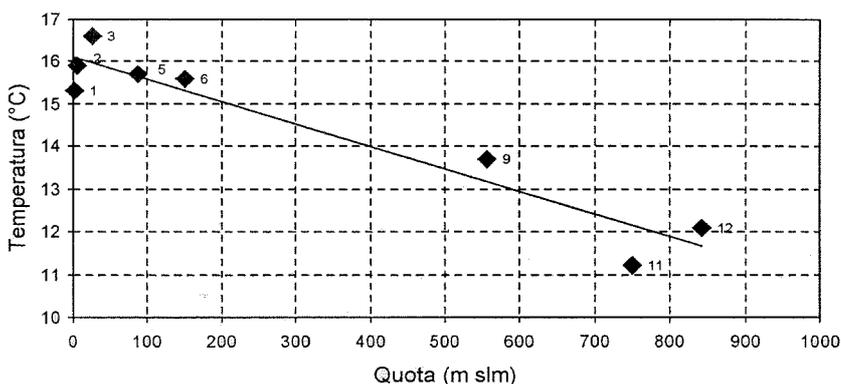


Fig. 7 - Retta di regressione quota-temperatura.

prossimità del limite Gargano-Tavoliere, ma non si ritiene possano modificare in modo rilevante il bilancio complessivo delle risorse idriche sotterranee del Gargano.

In ogni caso, trascurare tale contributo, allo stato attuale non quantificabile, permette una più cauta stima delle risorse idriche sotterranee del Gargano, una delle principali finalità del lavoro.

Nelle aree interne dell'unità idrogeologica la circolazione idrica sotterranea avviene a notevole profondità; infatti, in alcuni casi, la porzione acquifera saturata della successione carbonatica è stata rinvenuta a 700-800 m dal p.c. (Zezza et al., 1996).

La presenza di giunti e cavità beanti, a sviluppo prevalentemente verticale, fa sì che le acque di recente infiltrazione fluiscano rapidamente verso gli strati saturi più profondi, nei quali il flusso idrico sotterraneo si esplica prevalentemente in direzione orizzontale.

L'acquifero possiede una permeabilità fortemente disomogenea ed anisotropa: il flusso idrico avviene lungo direttrici preferenziali che si sviluppano a diverse quote, in corrispondenza delle quali sono presenti strati dotati di elevato grado di permeabilità per fessurazione e per carsismo.

La tettonica è un fattore condizionante le modalità di flusso; gli effetti sono amplificati dalle fenomenologie carsiche, che si instaurano lungo direttrici di debolezza rappresentate dalle lineazioni strutturali.

Numerose sono le faglie dotate di valenza idrogeologica tale da costituire delle linee principali di flusso, lungo le quali le acque sotterranee raggiungono agevolmente la costa.

I giunti tettonici condizionano quindi

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
CP	11	9	9	8	6	5	5	5	8	10	12	13
CT	42	46	64	85	114	143	163	163	140	107	76	53

Tab. 4 - Coefficienti mensili (%) di pioggia e temperatura per il Gargano.

tazione della falda sia garantita, almeno in piccola parte, dalle acque provenienti dal Tavoliere (Grassi e Tadolini, 1991a e 1999b).

Risulta evidente che gli unici scambi idrici possibili tra Gargano e Tavoliere siano dovuti a circuiti idrici profondi.

I rapporti idrogeologici Gargano-Tavoliere, estremamente complessi, sono ancora oggetto di approfondimento scientifico.

Tali rapporti sono in grado di incidere sui caratteri chimico-fisici delle acque sotterranee rinvenibili in

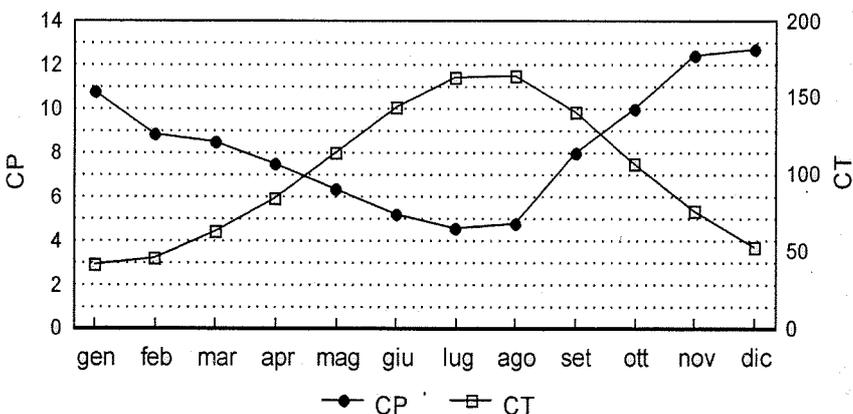


Fig. 8 - Regime termopluviometrico normalizzato del Gargano: 1) CP; 2) CT.

l'ubicazione e la distribuzione della maggior parte delle principali sorgenti (Grassi e Tadolini, 1991a).

4.1. Caratteri idrogeologici dei litotipi affioranti

Il grado di permeabilità delle rocce carbonatiche è correlato alle diverse litologie come si osserva dalla Tab.6.

Sulla base dei caratteri idrogeologici dei litotipi affioranti, quindi, sono stati distinti i seguenti complessi idrogeologici:

COMPLESSO C : Include i calcari appartenenti alle seguenti formazioni: Calcari di M. Pizzuto, Calcari di M. Sacro, Calcari di M. Spigno, Calcari S. Giovanni Rotondo, Formazione di Sannicandro, Calcari di Mattinata, Calcari di M. Sant'Angelo, Calcari di Masseria Quadrone, Calcari di M. Acuto, Calcari di Casa Lauriola, Calcari di Peschici e Calcareniti di Apricena;

COMPLESSO CD : E' costituito da calcari dolomitici e subordinatamente dolomie appartenenti alle seguenti formazioni: Formazione di M. La Serra, Calcari di Coppa Guardiola, Calcari e dolomie di M. Iacotenente e Formazione di Cagnano;

COMPLESSO CM : Include i calcari marnosi ed i calcari con selce riferibili alla Formazione di Rodi Garganico, Maiolica e Scaglia;

COMPLESSO S : E' rappresentato dai depositi continentali sabbiosi, sabbioso ghiaiosi e sabbioso argillosi (depositi di spiaggia e depositi alluvionali).

I complessi C e CD sono caratterizzati da permeabilità per fessurazione e carsismo. Si tratta di rocce stratificate, interessate da una rete di fessure e diaclasi intercomunicanti; i giunti di stratificazione sono spesso suborizzontali mentre le diaclasi sono frequentemente subverticali o molto inclinate.

Il fenomeno carsico, maggiormente sviluppato nella porzione compresa tra Rignano Garganico, Sannicandro

Facies deposizionale	Permeabilità
retroscogliera	media
scogliera	elevata
transizione	medio-bassa
avanscogliera	bassa

Tab.6 - Schema della correlazione tra facies deposizionali e grado di permeabilità (da Zezza, 1977).

Comune	Località	LS	R
Vieste	Segheria Mandrione	64,7	68,0
Vieste	Rucci	212,7	227,0
Vieste	Tacca del Lupo	346,7	373,0
Vieste	Cupari	218,0	223,3
Lesina	C.da Fischino	3,0	4,8
Peschici	Miciri	36,0	38,0
Ischitella	Serbatoio Romondato	140,8	143,0
San Severo	Mass.Sandoni	38,0	195,5
San Marco in Lamis	P.te di Lamis	27,0	40,0-243,0
San Marco in Lamis	Mass.La Foresta	29,0	58,0-78,0
Sannicandro G.	Mass.Posta Milena	39,0	133,5
Sannicandro G.	Az.Don.Luca	85,0	135,5
Sannicandro G.	Mass.Posta Milena	19,0	181,3
Sannicandro G.	Az.Sette Puntoni	71,3	74,3
Sannicandro G.	Az.Scalzi	64,7	69,0
Sannicandro G.	Mass.Trigno	102,6	114,7
Apricena	Cave di Pietra	86,6	103,0
San.G.Rotondo	Signoritti	116,2	150,0
San.G.Rotondo	Polveracchio	178,5	199,0
San.G.Rotondo	Posta De Castro	113,2	162,0
San.G.Rotondo	Mattine	137,5	148,0
Carpino	Valle di S.Elmo	200,0	215,0
Poggio Imperiale	Mass.Amorusi	18,0	180,0
Poggio Imperiale	Mass.Tre Valli	27,0	42,0-344,5
M.S.Angelo	Macchia Taverna	165,3	184,0
Rignano G.	Paolombara	82,0	98,5
Cagnano Varano	Giardiniera	107,5	170,0
Manfredonia	Gragni	79,8	82,0

Tab. 5: Profondità di rinvenimento (R, m da p.c.) e del livello statico (LS, m da p.c.) di alcuni pozzi censiti.

Garganico, M. Sant'Angelo e Manfredonia, in corrispondenza dell'affioramento delle rocce carbonatiche cretaceo-giurassiche (Fig.1), si è impostato localmente lungo le principali discontinuità, prevalentemente subverticali, allargandole e creando cavità e canali di forma e dimensione variabile.

In tali rocce l'infiltrazione e la circolazione delle acque avviene sia in forma diffusa che concentrata, il prevalere dell'una o dell'altra dipende dalla frequenza e apertura delle fessure e dall'intensità della dissoluzione carsica.

Al complesso idrogeologico dei calcari è stato attribuito un coefficiente di infiltrazione (c.i.) variabile nell'intervallo 85-95%, scelto sulla base delle indicazioni desunte da Civita (1969) e modificate considerando i caratteri peculiari dei terreni presenti nell'area in oggetto.

Per il complesso calcareo-dolomitico, invece, il c.i. assunto varia da 60 a 80%, valori intermedi tra quelli posseduti dai calcari e quelli delle dolomie, attribuiti da

Civita (1969).

Nelle porzioni di territorio in cui affiora il complesso idrogeologico CD, a nord di S. Marco in Lamis, si riscontra una vasta area endoreica. In tali casi il c.i. è stato assunto pari al 100%, indipendentemente dal tipo di complesso idrogeologico carbonatico.

Il complesso CM è permeabile per fessurazione, quindi la sua permeabilità primaria è generalmente bassa, ma a luoghi può risultare molto più alta per effetto di fratture e fessure intercomunicanti.

A tale complesso si è associato un c.i. variabile tra il 10 e il 25%, inferiore rispetto a quello attribuito alla stessa litologia da Civita (1969) a causa della rilevante presenza di marna e di selce in liste e noduli.

Il complesso S è caratterizzato da permeabilità per porosità, trattandosi di sabbie e ghiaie, conglomerati a cemento sabbioso, l'infiltrazione e la circolazione delle acque avvengono in modo diffuso.

Il valore del c.i. attribuito, quindi, varia tra il 70% e l'85%, inferiore a quello assegnato da Civita (1969) a causa della presenza, più o meno abbondante, ma sempre significativa, di frazioni limoso-argillose.

Nelle vicinanze dei laghi di Lesina e Varano e al di fuori dell'unità idrogeologica, affiorano depositi lacustri a prevalente componente argillosa e argillo-limosa, caratterizzati da bassa permeabilità.

Per quanto riguarda la permeabilità dei complessi C e CD, sono stati considerati valori ricavati nel corso di prove di emungimento, riportati da Zezza et al. (1996): ai calcari appartenenti al primo complesso, affioranti nel settore centro-occidentale, sono stati attribuiti valori dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-5} m/s, fino a riscontrare permeabilità maggiori ed estremamente elevate

nell'area centrale; mentre ai calcari dolomitici della porzione centro-orientale valori di permeabilità minori, in genere non superiori a 10-5 m/s. Infine, un pozzo ubicato in corrispondenza dell'affioramento del complesso CM è risultato improduttivo.

5. L'alimentazione dell'unità idrogeologica del Gargano

La metodologia utilizzata per il calcolo della più probabile entità dell'alimentazione media annua si basa sulla discretizzazione del territorio in celle.

Dal punto di vista geografico, il promontorio del Gargano si estende per circa 2.000 km² ed è delimitato sostanzialmente dal Torrente Candelaro e dal Mare Adriatico.

Tali limiti geografici corrispondono, all'incirca, anche ai limiti idrogeologici, in quanto il T. Candelaro corre lungo una importante lineazione tettonica che

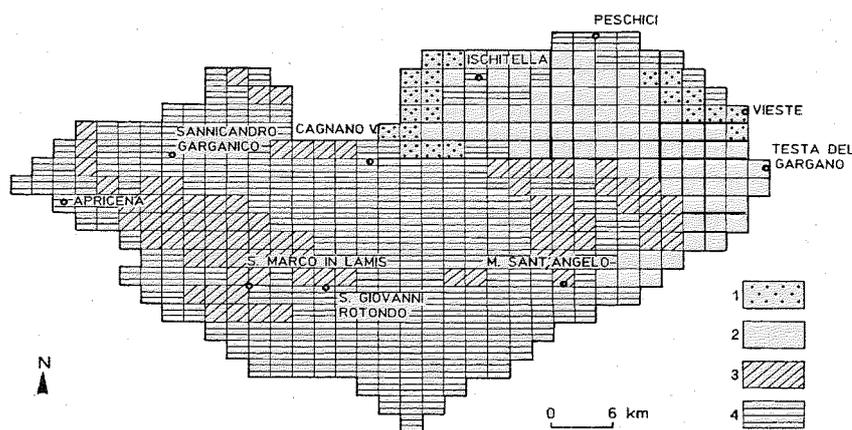


Fig.9: Territorio studiato e carta dei complessi idrogeologici.

separa il Gargano dalla bassa pianura del Tavoliere.

I volumi idrici considerati nel seguito sono riferiti alla sola unità idrogeologica del Gargano, i cui limiti sono rappresentati in Fig.1 e il cui dominio geografico è discretizzato in Fig.9.

L'area della porzione di territorio in cui le precipitazioni meteoriche alimentano per infiltrazione l'unità idrogeologica del Gargano è pari a circa 1.700 km². Nelle restanti aree invece, le acque di infiltrazione si versano, più o meno direttamente, a mare, nei laghi costieri oppure alimentano acquiferi superficiali, come nel caso dell'acquifero carbonatico di Vico-Ischitella (Fig.1) la cui area di affioramento però è stata ignorata nei calcoli di seguito descritti.

L'area considerata è stata suddivisa in 440 celle quadrate di 2 km di lato.

Litologia	c.i. (%)	i (%)
COMPLESSO C	80 - 90	0 - 30
COMPLESSO CD	60 - 80	5 - 27,5
COMPLESSO CM	10 - 25	7,5 - 45
COMPLESSO S	70 - 85	0 - 25

Tabella 7 - Complessi idrogeologici affioranti e intervalli di variabilità del coefficiente di infiltrazione efficace (c.i.) e della pendenza (i).

Per ciascuna cella è stata stimata la quota e la pendenza media nonché il complesso idrogeologico affiorante in prevalenza (Fig.9).

Le elaborazioni altimetriche e di pendenza sono state effettuate sulla base della Carta Topografica d'Italia (IGM) in scala 1:100.000.

Il bilancio idrologico relativo all'anno medio (Tab.8) si basa, come è noto, sulla relazione:

$$P = I + R + E$$

dove P, I, R ed E rappresentano rispettivamente l'altezza di pioggia, di infiltrazione, di ruscellamento e l'evapotraspirazione reale medie annue.

In ciascuna cella è stata calcolata la piovosità media annua utilizzando la retta di regressione quota-piovosità (Fig.5): l'altezza di precipitazione media annua sull'unità idrogeologica del Gargano, quindi, è risultata essere pari a 766 mm.

Analogamente si è proceduto per il calcolo della temperatura annua media (Fig.7): la temperatura media annua è pari a circa 14°C.

L'evapotraspirazione reale è stata determinata utilizzando il metodo di Turc (1954), modificato mediante l'uso della Tc, temperatura media annua corretta, che è funzione del regime termopluviometrico dell'area (Castany, 1968), quindi i valori medi mensili di pioggia e temperatura sono stati stimati, cella per cella, sulla base dei CP e dei CT, riportati in Tab. 4.

Per verificare l'entità dell'approssimazione derivante dalla stima delle temperature dei mesi di gennaio, febbraio, luglio e agosto, si è proceduto a determinare delle rette di regressione quota- temperatura mensile. Il bilancio idrologico, effettuato sia con la metodologia proposta che con i valori derivanti dall'uso delle rette di regressione quota-temperatura mensile, è stato elaborato in celle campione.

Le differenze emerse non sono risultate significative e non certo tali da giustificare l'ulteriore "appesantimento" del calcolo, derivante dall'uso di rette di regressioni mensili.

	Mm ³ /anno	m ³ /s	mm	% P	% S
Pioggie reali (P)	1.314	41,6	766	100	
Evapotraspirazione (E)	891	28,2	519	67,8	
Surplus idrico (S=I+R)	423	13,4	247	32,2	
Infiltrazione (I)	340	10,8	198	25,9	80,4
Ruscellamento (R)	83	2,6	49	6,3	19,6

Tab.8 - Bilancio idrogeologico dell'unità idrogeologica del Gargano.

Per ogni cella è stato così calcolato il valore di E; il valore medio dell'evapotraspirazione reale sull'unità idrogeologica del Gargano è risultato pari a 519 mm.

La differenza tra P ed E rappresenta il surplus idrico, o pioggia efficace o deflusso globale (S), corrispondente quindi all'aliquota d'acqua disponibile per l'infiltrazione e il ruscellamento. Questo parametro è risultato essere pari a 247 mm per l'intera estensione dell'unità idrogeologica. Al fine di stimare il volume di acqua che si infiltra in media ogni anno, si è associato ad ogni cella un valore di coefficiente di infiltrazione funzione del complesso idrogeologico prevalente e della pendenza media del terreni. In sostanza, ad ogni complesso idrogeologico è stato attribuito un intervallo di valori del c.i., messo in relazione con un intervallo di valori di pendenza, scaturito, per ciascun complesso, dall'acquisizione dei dati cartografici. Alle massime pendenze corrispondono i valori minimi del coefficiente di infiltrazione (Tab.7).

Alle aree endoreiche, che coprono un'area pari a circa 600 km², è stato assegnato un coefficiente di infiltrazione pari al 100%.

L'altezza di infiltrazione media annua è risultata pari a 198 mm mentre il ruscellamento superficiale, calcolato come differenza tra pioggia efficace ed infiltrazione, risulta pari ad un'altezza idrica media annua di 49 mm.

5.1. Bilancio idrogeologico per l'acquifero superficiale di Vico-Ischitella

L'affidabilità del metodo, utilizzato per determinare il bilancio per l'unità idrogeologica del Gargano, è stata verificata stilando il bilancio idrogeologico relativo al solo acquifero di Vico-Ischitella.

Tale scelta è dovuta alla presenza di un acquifero superficiale, costituito da rocce carbonatiche del complesso C (calcari e calcari con selci delle formazioni dei Calcari di Monte S. Angelo e di Rodi Garganico), limitato inferiormente da calcari marnosi con liste e noduli di selce (Formazione di Rodi Garganico), appartenenti al poco permeabile complesso CM.

Il letto di tale acquifero è definito e fisso. La profondità di tale superficie, posta a circa 100 m s.l.m., è tale che la relativa falda idrica non possa avere rapporti con l'acqua di intrusione marina. Il suo naturale affioramento è rappresentato da numerose e modeste sorgenti sgorganti al limite di permeabilità tra l'acquifero ed il complesso CM (Regione Puglia, 1984). Per tale acquifero sono disponibili un discreto

numero di misure delle portate sorgive (LL.PP., 1953). Viste le condizioni idrogeologiche vigenti al contorno e a letto, si può ritenere che le perdite da tale acquifero, per quanto non nulle, siano quantitativamente trascurabili, ipotesi coerente con quanto riportato per lo stesso acquifero da Tadolini et al. (1976).

La zona esaminata ha un'ampiezza di circa 20 km², corrispondente a 5 delle celle con cui si è discretizzata l'area garganica. Le modeste dimensioni dell'acquifero, la disponibilità di dati e l'esistenza di ricerche pregresse hanno permesso di approfondire lo studio dell'estensione reale dell'acquifero e della natura dei complessi idrogeologici dell'acquifero con un dettaglio ed una scala maggiore di quanto conseguito a scala di unità idrogeologica. Tali elaborazioni, omesse per brevità, sono risultate coerenti con quanto emerso applicando il metodo proposto, sia pure con alcuni distinguo resisi possibili in virtù del maggiore dettaglio. In particolare, il termine calcareo con liste e noduli di selce della Formazione di Rodi Garganico è risultato idrogeologicamente assimilabile al complesso C. Tale aspetto, non generalizzabile all'intero Gargano, non sarebbe emerso operando a scala di unità idrogeologica.

Il valore della piovosità media annua, pari a 743 mm, è stato calcolato come media delle piogge relative a ciascuna delle celle. Analogamente si è proceduto per il calcolo dell'evapotraspirazione che risulta pari a 531

	mm	m ³ /s	% P	% S
Totale pioggia (P)	743	0,471	100	
Evapotraspirazione (E)	531	0,337	71,5	
Surplus idrico (S)	212	0,134	28,5	100
Infiltrazione (I)	183	0,116	24,6	86,3
Ruscellamento (R)	29	0,018	3,9	13,7

Tab. 9 - Bilancio idrogeologico relativo all'acquifero superficiale di Vico-Ischitella.

mm. La differenza tra la piovosità e l'evapotraspirazione fornisce, con riferimento all'anno medio, il valore del surplus idrico, è pari a 212 mm. L'infiltrazione ed il ruscellamento sono risultati rispettivamente di 183 e 29 mm nell'anno medio.

La portata totale media delle sorgenti alimentate dall'acquifero di Vico-Ischitella, pari a 0,12 m³/s, è stata calcolata in base alle misure edite, effettuate da maggio a settembre 1927 e da luglio ad ottobre 1951 (LL.PP., 1953). Si consideri che le portate sorgive sono state determinate in un periodo di tempo limitato e ormai lon-

tano, effettuando non più di 5 misure per sorgente. In tale periodo lo sfruttamento mediante pozzi era assente.

I risultati del bilancio (Tab. 9) mostrano come l'infiltrazione sia sostanzialmente pari alla portata totale delle sorgenti, risultata in modestissimo eccesso sull'infiltrazione.

Visto il trend termopluviometrico del Gargano, in termini generali si deve ritenere che andando a ritroso nel tempo le condizioni siano sempre più favorevoli alla formazione del surplus idrico.

Le portate sorgive registrate alcuni decenni orsono dovrebbero essere tendenzialmente maggiori di quelle attuali. Dato che negli anni immediatamente precedenti i due periodi di misura esistono numerose lacune nelle serie termopluviometriche, non si può raggiungere un maggiore dettaglio.

Quello che è certo, è che anche la serie pluviometrica di Vico del Gargano, la stazione più prossima all'acquifero, presenta uno spiccato trend negativo. I mesi di misura delle portate sorgive, di converso, variabili da maggio ad ottobre, non sono quelli in cui si registrano le massime portate sorgive in questo tipo di acquifero.

Si può concludere, pertanto, che la metodologia proposta si applica positivamente all'acquifero di Vico-Ischitella e che il c.i. assegnato al complesso C non è stato sovrastimato. L'eventuale approssimazione nella stima dell'infiltrazione induce, comunque, una stima cauta delle risorse disponibili. Ad analoga conclusione si perviene in merito all'eventuale ulteriore presenza in affioramento di calcari con selce ad alta permeabilità, non nota a scala di unità idrogeologica, cautamente inclusi in complessi idrogeologici a medio-bassa permeabilità.

I termini ottenuti dal bilancio idrologico in relazione all'anno medio sono stati confrontati con quelli ricavati dal bilancio idrogeologico eseguito per la medesima area da Tadolini et al. (1976) per l'anno idrologico '69 - '70 sulla base di misure delle portate sorgive rilevate dagli autori, tuttora inedite in quanto descritte soltanto mediante valori statistici. In ogni caso, sia operando sulla base dei dati editi (LL.PP., 1953) mediante la metodologia proposta, sia considerando il bilancio formulato da Tadolini et al. (1976), le ipotesi assunte sono risultate attendibili e la metodologia proposta ha fornito risultati soddisfacenti. Tale risultato è particolarmente positivo se si considera che le dimensioni delle celle, definite per studiare l'intero Gargano, mal si conciliano con la modesta estensione dell'acquifero di Vico-Ischitella.

Le informazioni raccolte permettono di ritenere che i

pozzi censiti nei comuni di Vico e di Ischitella non attingano alla falda idrica in questione. In ogni caso non si hanno informazioni circa la portata emunta da questi. Tali pozzi sono stati tutti realizzati successivamente alle misure di portate sorgive e quindi, hanno una scarsa rilevanza ai fini della validazione del metodo proposto.

6. Sorgenti

Il deflusso della falda idrica sotterranea avviene attraverso numerose e talvolta cospicue manifestazioni sorgentizie costiere, eroganti generalmente acque salmastre a causa di fenomeni di miscelamento tra le acque di falda e quelle marine di invasione continentale.

Il contenuto salino delle acque sorgive varia in un intervallo compreso tra 1,4 e 6,4 g/l (Cotecchia e Magri, 1966). Esse sgorgano lungo ben definiti tratti di costa ed in particolare sulle sponde sud-orientali del Lago di Lesina, sulle sponde del Lago di Varano, tra Vieste e Testa del Gargano e nella zona di Manfredonia-Siponto.

Le modalità di affioramento delle sorgenti gargariche possono essere ricondotte a due tipi principali: per soglia di permeabilità e per affioramento della superficie piezometrica (Civita, 1973).

Nelle sorgenti appartenenti alla prima tipologia, quali la sorgente S.Nazario o la sorgente Lauro, ubicate a sud del lago di Lesina, il ricoprimento, costituito dai terreni quaternari, scarsamente permeabili, ostacola il flusso idrico presente entro i terreni carbonatici. Le acque delle sorgenti appartenenti alla seconda tipologia, invece, sgorgano o dove la copertura modesta dell'acquifero, offerta dai depositi quaternari, lascia emergere le acque sotterranee, come nel caso della sorgente Caldoli (nei pressi di Manfredonia) e della sorgente Mascherone (nei dintorni del Lago di Lesina), oppure sgorgano in prossimità del mare, ed a basse quote, da fessure delle rocce carbonatiche affioranti.

Alcuni autori ipotizzano, sulla base della più alta temperatura e salinità delle acque sorgive, che le sorgenti ubicate nei pressi del lago di Lesina e di Manfredonia possano essere in parte alimentate dalle acque profonde provenienti dal Tavoliere (Grassi e Tadolini, 1991a).

Un caso significativo è rappresentato dalla Sorgente S. Nazario, ubicata a quota 10 m slm

Sorgente		Comune	Portata (l/s)			Misure
N	Nome		Min.	Media	Max	n.
1	S.Nazario	Sannicandro G.	100,0	216,8	312,0	26
2	Zanella	Sannicandro G.	61,0	128,2	191,0	21
3	Lauro	Sannicandro G.	214,0	391,4	573,0	27
4	Bagno	Cagnano Varano	100,0	147,4	184,0	5
5	Arancio	Cagnano Varano	5,0	13,5	20,0	4
6	Fiumicello	Carpino	2,1	8,2	20,0	4
7	Irchio	Ischitella	300,0	418,7	536,0	6
8	S.Francato	Ischitella	0,3	0,6	1,0	3
9	Pincio	Rodi	2,5	4,0	6,0	3
10	Sorienze	Rodi	2,7	4,9	7,9	3
11	S. Lucia	Rodi	2,0	2,0	2,0	1
12	S.Barbara	Rodi	9,0	9,0	9,0	1
13	Carnevale	Vico G.	1,6	1,9	2,0	3
14	S.Nicola 1	Vico G.	4,7	9,5	15,0	5
15	S.Nicola 2	Vico G.	0,4	2,3	4,0	5
16	Calociocco	Vico G.	1,2	1,6	2,0	3
17	S.Giacomo	Vico G.	0,0	1,2	3,0	3
18	Salata	Vieste	48,0	62,6	89,0	5
19	Molinello	Vieste	47,0	71,0	100,0	4
20	Scialara	Vieste	246,0	311,2	387,0	5
21	Calcari	Vieste	44,0	58,6	74,0	5
22	Caruso	Vieste	242,0	329,2	420,0	5
23	Lago S.Chiera	Vieste	18,0	68,6	120,0	5
24	Lago Porto Nuovo	Vieste	47,0	84,2	158,0	5
25	Sorgive di Siponto	Manfredonia	10,0	10,0	10,0	1
26	Mascherone	Manfredonia	46,0	71,0	121,0	17
27	Capparella	Manfredonia	2,0	13,3	27,0	5
28	Valle di Centrone	Manfredonia	43,0	81,0	157,0	20
29	Papa Orsini	Manfredonia	5,0	20,4	54,0	16
30	Maddalena	Vico G.	0,5	1,4	2,0	3
31	Acqua Prete	Vico G.	0,1	0,5	1,0	3
32	Acqua Confine	Vico G.	0,3	1,2	2,0	2
33	Acqua Vezzaro	Ischitella	0,7	1,2	2,0	3
34	Font.Pub.Ischitella	Ischitella	1,2	2,3	4,0	3
35	Mortero	Ischitella	1,0	2,7	5,0	3
36	Ciccotonno	Ischitella	1,5	3,5	5,0	3
37	Acqua d'Antro	Ischitella	2,2	5,3	10,0	5
38	Galluccio	Ischitella	2,7	3,8	4,4	3
39	Canneto	Vico G.	17,0	25,8	34,0	5
40	Font.Pub.Vico	Vico G.	2,0	2,0	2,0	1
41	Asciatizza 1	Vico G.	12,0	20,1	30,0	5
42	Asciatizza 2	Vico G.	5,0	8,1	12,0	5
43	Asciatizza 3	Vico G.	4,4	7,8	14,0	3
44	Montenero 1	Vico G.	10,0	11,1	12,3	5
45	Montenero 2	Vico G.	1,5	3,2	4,0	5
46	Valchiera	Vico G.	3,0	3,7	4,0	3
47	Vasto	Vico G.	1,5	2,6	4,2	3
48	Moroso	Vico G.	1,0	1,0	1,0	1
49	Chirce	Vico G.	1,5	2,5	4,0	3

Tabella 10 - Sorgenti censite e relative portate.

nei pressi del Lago di Lesina, la cui portata media complessiva è di 0,22 m³/s. Le acque sorgive sono caratterizzate da elevata temperatura (27°C) in tutte le stagioni dell'anno e da un contenuto salino non basso (2,5 g/l).

Si ritiene che le acque di questa sorgente provengano, in parte, da livelli acquiferi molto profondi, circa 2000 m, del basamento carbonatico mesozoico, e che risalgano rapidamente attraverso discontinuità tettoniche verticali, miscelandosi infine con le acque sotterranee più fredde, dolci e di recente infiltrazione, provenienti dal massiccio carbonatico del Gargano (Maggiore e Mongelli, 1991).

Si è proceduto al censimento delle principali sorgenti riferibili all'unità idrogeologica del Gargano per le quali erano disponibili misure di portata (LL.PP., 1953), ad eccezione delle sorgenti dal n. 30 al n. 49, alimentate dall'acquifero superficiale di Vico-Ischitella (Tab.10). Nei calcoli che seguono queste ultime non sono state considerate.

Dalla somma delle singole portate medie è stata calcolata una portata media totale, risultata pari a 2,5 m³/s, corrispondente a circa il 23% dell'infiltrazione annua nell'unità idrogeologica del Gargano.

Altri autori (Cotecchia e Magri, 1966) riportano un valore della portata sorgiva media totale molto più elevata, pari a circa 5 m³/s.

Tale valore è da ritenersi una stima che include le numerose sorgenti, molte subacquee, per molte delle quali si ritiene non esistano ad oggi rilievi quantitativi di dettaglio.

6.1 Bilancio idrologico del Lago di Varano

Il Lago di Varano presenta una superficie idrica di circa 64 km².

Lungo la sua costa, a differenza del lago di Lesina, si rinvengono numerose sorgenti, molte delle quali subacquee. La presenza di efflussi sorgivi è stata accertata anche grazie al telerilevamento, effettuato da aereo mediante scanner multispettrale, operando nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso termico (CASMEZ) (Fig.10).

Nel tratto di costa compreso tra Bocche di Terzagna e Torre Antoniacca, lungo la costa orientale del lago, sono stati censiti efflussi di notevoli dimensioni ed elevato contrasto termico.

Tali sbocchi sono localizzati in corrispondenza dei calcari appartenenti al complesso CM o al contatto tra questo e le alluvioni.

Nella stessa area, Cotecchia e Magri (1966)

individuano tre polle subacquee e una cospicua sorgente subaerea, nota come sorgente Irchio.

Il tratto costiero compreso tra Fiumicello e S. Nicola Varano, nel settore meridionale, presenta altri gruppi di sbocchi molto estesi, associati al complesso C. Gli autori su menzionati individuano, lungo tale fascia, due polle subacquee ed una serie di scaturigini di modesta entità oltre alla più cospicua sorgente Bagno.

Il tratto S. Nicola Varano - Ponte Girevole presenta efflussi di dimensioni e contrasto termico medi, in corrispondenza di affioramenti calcarei e calcareo-dolomiti riferibili, rispettivamente, al complesso C e CD.

Nello stesso settore, Cotecchia e Magri (1966) localizzano due polle ed una serie di scaturigini, tra le quali, quelle di maggiore portata sono Baresella, S. Nicola e Fascia.

Gli studi effettuati sul lago evidenziano che, in sostanza, il livello del lago è sostanzialmente stabile e di poco superiore a quello del mare; gli scambi idrici tra i due corpi si possono ritenere esigui, vista la modesta sezione idrica che li pone in comunicazione (Perrone, 1906; De Angelis, 1964). Numerosi interventi umani si sono succeduti nei decenni per ridurre prima i rischi sanitari e quindi quelli ecologici connessi allo scarso ricambio delle acque.

Tale effetto è stato ottenuto, in estrema sintesi, favorendo l'ingresso di acqua marina.

In tal modo la salinità idrica è tendenzialmente aumentata pur se è definibile bassa per tale tipo di lago.

In particolare, nel periodo compreso tra il 1949 ed il 1963, la salinità è variata in un range compreso tra 16,42

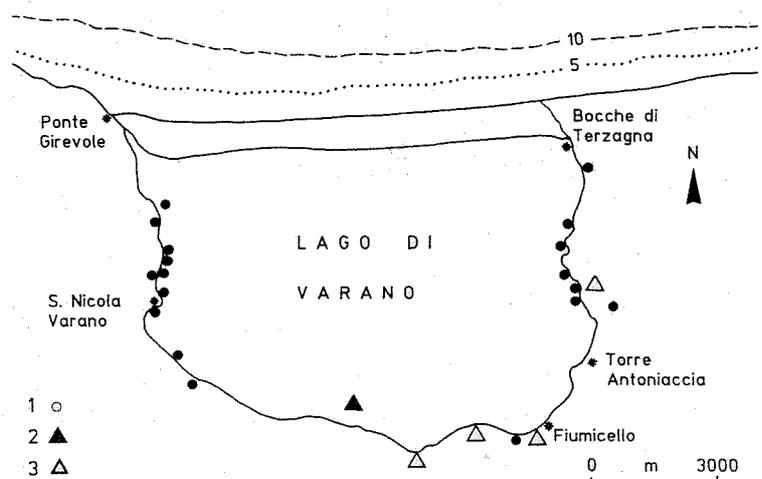


Fig.10: Schema degli efflussi individuati lungo le sponde del lago di Varano.

1) sorgente; 2) fronte sorgivo; 3) sorgente di cui sono disponibili misure di portata.

g/l e 23,12 g/l (De Angelis, 1964). I massimi corrispondono ai rilievi effettuati subito dopo interventi su ciascun incile. Dato il carattere saltuario ed effimero dei contributi provenienti dal ruscellamento, si può assumere, in prima approssimazione, che le uniche entrate nel lago siano rappresentate dalle piogge dirette e dalle acque sorgive aeree e subacquee.

Le uscite, invece, sono date in sostanza dalla sola evaporazione.

Il valore di piovosità media annua misurato nella stazione climatica di Lesina è pari a 622 mm, corrispondente a 1,3 m³/s.

La portata media totale delle sorgenti subaeree misurate dal Servizio Idrografico (LL.PP., 1953), tra il 1926 ed il 1951, è pari a 0,6 m³/s.

Le sorgenti oggetto di misurazioni sono solo una piccola parte di quelle note.

L'evaporazione media annua, pari a 1387 mm, ovvero 2,8 m³/s, è stata stimata utilizzando i dati evaporimetrici misurati nel periodo compreso tra il 1986 ed il 1994 nella stazione agrometeorologica di Lesina, gestita dal Consorzio di Bonifica della Capitanata.

Il metodo applicato da De Angelis (1964), e le stime di Perrone (1906) determinano un tasso di evaporazione rispettivamente di 1.580 e 1.500 mm all'anno.

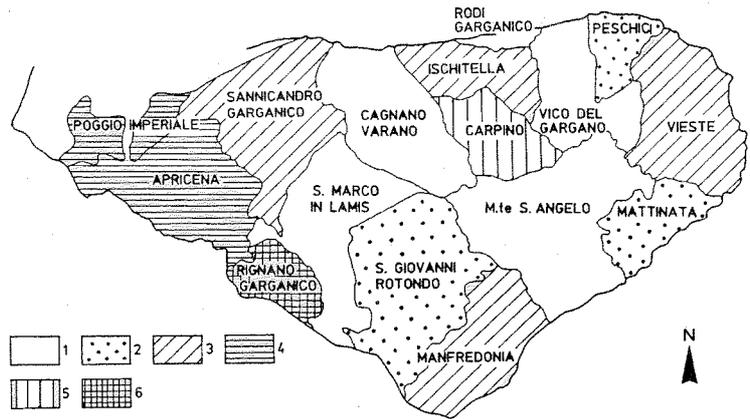


Fig.11: Densità dei pozzi in ciascun comune del Gargano.

Nel seguito si assume il dato evaporimetrico, che garantisce una stima più cautelativa e attendibile del fenomeno in oggetto.

Per differenza si deduce che le portate delle sorgenti non misurate, sia subacquee che subaeree, dovrebbero ammontare a circa 0,9 m³/s.

Tale risultato è coerente con quanto stimato da Perrone (1906) per il quale la portata complessiva delle acque sorgive alimentanti il lago di Varano è pari a 1,6 m³/s,

Per quanto approssimato per aver ignorato il contributo del ruscellamento e degli apporti marini, tale dato mostra che la portata totale delle sorgenti misurate è, in sostanza, dello stesso ordine di grandezza di quella delle sorgenti prive di misure.

Si può quindi stimare in 1,5 m³/s la portata sorgiva confluyente nel Lago di Varano e in non meno di 3,4 m³/s la portata media che scaturisce dalle sorgenti dall'unità idrogeologica del Gargano e che, in gran parte inutilizzata, si versa nei corpi idrici superficiali.

7. Pozzi

Le uscite idriche dall'unità idrogeologica sono rappresentate, oltre che dalle sorgenti, anche dai prelievi dai pozzi di emungimento, utilizzati prevalentemente a scopo irriguo.

Al fine di valutare indicativamente i prelievi, sono stati utilizzati i dati dei pozzi censiti, la gran parte dei quali denunciati al Genio Civile di Foggia. La portata totale emunta è stata riassunta per ciascun comune, considerando esclusivamente i pozzi realizzati nell'unità idrogeologica (Fig.11 e Tab.11).

La massima densità di pozzi compete al territorio

Comune	N.Pozzi	Q	qmin	qmax
Apricena	67	603	0,04	16,00
Cagnano Varano	7	273	0,34	5,04
Carpino	38	760	0,07	88,40
Ischitella	19	304	0,10	6,00
Lesina	24	360	0,08	32,80
Manfredonia	35	210	0,02	17,43
Mattinata	11	110	0,32	2,00
M.S.Angelo	1	---	---	---
Peschici	5	30	0,30	1,10
Poggio Imperiale	20	240	0,08	5,00
Rignano G.	22	264	0,13	30,00
S.G.Rotondo	33	396	0,13	25,00
S.Marco in Lamis	17	102	0,02	3,00
Sannicandro G.	43	946	0,11	94,12
Vico G.	3	15	0,40	0,40
Vieste	45	360	0,02	35,00

Tab. 11: Caratteristiche dei pozzi censiti per ambito comunale. Q) portata di esercizio (l/s), qmin) portata specifica minima (l/s m), qmax) portata specifica massima (l/s m).

comunale di Rignano Garganico (Fig.11). Generalmente i pozzi sono localizzati a quote non superiori ai 100 m, rarissimi sono quelli ubicati nella porzione centrale del promontorio. In ogni caso lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee mediante pozzi è risultato di recente sviluppo.

Per ciascun pozzo sono stati determinati la portata d'esercizio e l'intervallo di variabilità della portata specifica, intesa come il rapporto tra la portata emunta e la corrispondente depressione piezometrica. La portata specifica, correlabile alla conducibilità idraulica negli acquiferi in pressione, è risultata variabile da punto a punto anche nello stesso comune, fino a quattro ordini di grandezza.

Le perforazioni eseguite nel comune di Sannicandro Garganico hanno mostrato le migliori caratteristiche idrogeologiche.

Per alcuni pozzi sono noti i giorni all'anno di utilizzo; per i restanti, il numero di giorni è stato stimato sulla base dell'uso delle acque emunte. Ipotizzando per tutti i pozzi un esercizio di 8 ore al giorno, è stato determinato il volume più probabile emunto in ciascun territorio comunale.

Informazioni più dettagliate si hanno circa la portata di esercizio emunta dai pozzi utilizzati nel Gargano per scopi potabili, tra il 1986 e il 1993 (Cotecchia e Polemio, 1995); su tali basi possiamo stimare il prelievo potabile in 0,05 m³/s.

Tra tutti i pozzi presenti nei comuni di Vico ed Ischitella ne potrebbero esistere alcuni che attingono dalla falda superficiale anziché da quella profonda, ma le scarse informazioni disponibili non ne permettono una sicura identificazione. Nei calcoli eseguiti, quindi, le portate emunte da tali pozzi sono state incluse tra le uscite dell'acquifero garganico profondo.

E' necessario ribadire, infine, che il calcolo dei volumi idrici emunti è stato sottostimato dato che per alcuni comuni, quali ad esempio Peschici e Vico, non è stato possibile ricavare alcuna informazione inerente la portata di esercizio e/o i giorni di utilizzo.

Il valore più probabile della portata media totale emunta dall'unità idrogeologica del Gargano mediante i pozzi censiti è risultato pari a 0,48 m³/s (Tab.12).

Il totale delle uscite note, dovute ai pozzi ed alle sorgenti, è stimabile quindi in circa 3,88 m³/s. Si consideri che lo sviluppo dello sfruttamento mediante pozzi è recente, relativo agli ultimi decenni, mentre tutte i dati relativi alle sorgenti sono antecedenti.

8. Conclusioni

E' stato analizzato il rapporto tra alimentazione della falda idrica sotterranea del Gargano e il complesso dei prelievi dai pozzi e degli efflussi dalle sorgenti, al fine di quantificare le risorse idriche sotterranee disponibili per un loro utilizzo razionale, equilibrato e sostenibile.

In termini medi, dei circa 42 m³/s di precipitazioni meteoriche circa il 68% (28 m³/s) viene perso per evapotraspirazione. Della restante, si stima che non meno di 10,8 m³/s alimentino l'unità idrogeologica del Gargano. Si consideri che si è profuso il massimo sforzo per stimare, in ogni caso di incertezza, quantità di infiltrazione approssimate per difetto.

Si è stimato che non meno di 3,4 m³/s alimentino sorgenti, pari a circa il 32% dell'infiltrazione, mentre almeno 0,48 m³/s, pari al 4,5%, viene prelevato dai pozzi. Il livello di utilizzo delle sorgenti censite è ad oggi molto basso, spesso in relazione alla non bassa salinità delle acque, tale però da non impedire un uso integrato delle stesse.

Risulta che non meno del 60% dell'alimentazione del Gargano dà vita ad una risorsa idrica sotterranea il cui recapito finale non è ad oggi noto. Trattasi di non meno di 6,5 m³/s che si versano a mare senza che si abbiano notizie certe sull'ubicazione e la reale portata, anche approssimata, di tali sorgenti.

La notevole entità delle portate in gioco e la buona qualità delle acque sotterranee del Gargano, assicurata dalla scarsa antropizzazione delle zone di alimentazione dell'unità idrogeologica, appena compromessa in prossimità della costa dall'intrusione marina, impongono di

Comune	N.Pozzi	Portata (l/s)
Apricena	63	107,3
Cagnano Varano	6	31,1
Ischitella	15	43,4
Mattinata	8	10,5
Poggio Imperiale	19	34,4
Rignano G.	21	52,4
S.G.Rotondo	29	37,2
S.Marco in Lamis	15	27,4
Sannicandro G.	30	103,3
Vieste	33	33,5
Q totale		480,5 l/s

Tab. 12: Numero dei pozzi e stima del totale delle portate medie emunte per ambiti comunali.

considerare tale acquifero profondo come una fonte per l'utilizzazione razionale e sostenibile di risorse idriche integrative e di emergenza.

A tale fine, una grande sforzo nello studio dell'unità idrogeologica andrebbe svolto. In particolare si dovrebbe provvedere al censimento di tutte le sorgenti e alla rilevazione nelle principali delle portate e dei principali caratteri chimico-fisici delle acque sorgive, per non meno di un anno idrologico. In tal modo si potrebbe disporre di dati completi e recenti, confrontabili con quelli relativi all'emungimento dai pozzi. Inoltre si potrebbe definire con una certa precisione il livello di utilizzo delle sorgenti subaeree, attualmente basso.

Particolare attenzione dovrebbe essere dedicata allo studio idrologico e idrogeologico del corpo idrico superficiale del Lago di Varano che da solo drena circa 1,5 m³/s di acque sorgive. La conoscenza dettagliata del bilancio idrologico del lago e dei suoi caratteri ecologici potrebbero ispirare un utilizzo delle acque sotterranee ivi emergenti, ad oggi poco utilizzate, rispettoso degli equilibri ecologici.

Le conoscenze così maturate permetterebbero di pianificare un utilizzo della gran quantità di acque sotterranee che oggi fluiscono a mare, prima che le stesse siano irrimediabilmente degradate dall'intrusione marina.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Dott.ssa Francesca Santaloia per i suggerimenti profusi durante la stesura della nota.

Bibliografia

- Aubouin J. (1959).** Contribution a l'etude geologique de la Grece septentrionale: les confins de l'Epire et de la Thessalie. *Ann. Geol. Pays Hell.*, v.10, 483 pp., Atene.
- Billi A. e Salvini F. (2000).** Sistemi di fratture associati a faglie in rocce carbonatiche: nuovi dati sull'evoluzione tettonica del Promontorio del Gargano. *Boll. Soc. It.*, 119, 237-250, 11 ff.
- Bosellini A., Neri C. e Luciani V. (1993).** Guida ai carbonati cretaceo-eocenici di scarpata e di bacino del Gargano (Italia Meridionale). *Annali dell'Università di Ferrara*, 4, suppl., 1-77.
- CASMEZ.** Rilievo aereo multispettrale Puglia. Cassa per il Mezzogiorno, Progetto Speciale 14, Idrotecnico S.p.A.
- Castany G. (1968).** *Prospection et exploitation des eaux souterraines.* Dunod, Paris.
- Civita M. (1969).** L'infiltrazione potenziale media annua nel massiccio carbonatico del Matese (Italia Meridionale). *Atti II Conv. Internaz. Acque Sott.*, 129-142, Palermo.
- Civita M. (1973).** Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di presa. *Mem. e Note Ist. Geol. Appl.*, 12, Napoli.
- Cotecchia V. e Magri G. (1966).** *Idrogeologia del Gargano.* *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 1, Bari.
- Cotecchia V. e Polemio M. (1995).** L'inquinamento e il sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee pugliesi. 6° Workshop

Progetto Strategico Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno. Taormina, 13-15 dicembre 1995.

De Angelis R. (1964). *Il Lago di Varano.* Ministero della Marina Mercantile, Aziende tipografiche eredi Dott. G.Bardi, Roma.

De Dominicis A. e Mazzoldi G. (1989). Interpretazione geologica strutturale del margine orientale della piattaforma apula. *Mem. Soc. Geol. It.*, 38.

Di Cagno M., Dragone V., Polemio M. e Virga R. (1999). Caratteri idrogeologici delle sorgenti circostanti il lago di Lesina. CNR-Ce.R.I.S.T. Rapporto Tecnico Interno CNR n°60, Bari.

ENI (1972). *Acque dolci sotterranee.*

Funicello R., Montone P., Salvini F. e Tozzi M. (1988). Caratteri strutturali del Promontorio del Gargano. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 41, 1235-1243.

Grassi D. e Tadolini T. (1991a). La circolazione idrica sotterranea nell'ammasso carbonatico mesozoico del Gargano. Convegno "Ricerca e protezione delle risorse idriche sotterranee delle aree montuose", Brescia.

Grassi D. e Tadolini T. (1991b). Caratteristiche fisico-chimiche delle acque della falda carsica del Gargano, Convegno "Ricerca e protezione delle risorse idriche sotterranee delle aree montuose", Brescia.

Guerricchio A. (1983). Strutture tettoniche di compressione nel Gargano di elevato interesse applicativo evidenziate da immagini da satellite. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 18, I, 491-505, Bari.

Guerricchio A. (1996). Strutture di blocco (curve di imbottigliamento) lungo la faglia di Mattinata (Gargano) *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 31, Bari

IRSA (1999). Un futuro per l'acqua in Italia. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque, Quaderno 109, Roma.

Luperto Sinni E. (1996). Schema stratigrafico del Cretacico del Gargano basato su risultati di recenti ricerche. *Mem. Soc. Geol. It.*, 51, 1019-1036.

Maggiore M. e Mongelli F. (1991). Hydrogeothermal model of ground water supply to San Nazario spring - Gargano, Southern Italy. *Quaderni del Dip. di Geograf.*, 13, 307-324, Padova.

LL.PP. (1953). *Le Sorgenti Italiane.* Elenco e descrizione. Regione Pugliese. Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio Idrografico, Pubbl. n.14, Vol. 1, Roma.

Mostardini e Merlini (1986). Appennino Centro Meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale. AGIP Mineraria. 73° Congresso Società Geologica Italiana, Roma, pp. 1-59.

Ortolani F. e Pagliuca S. (1987). Tettonica transpressiva nel Gargano e rapporti con le catene appenninica e dinarica. *Mem. Soc. Geol. It.*, 12 ff., 205-224.

Ortolani F. e Pagliuca S. (1988). Il Gargano (Italia meridionale): un settore di "avampaese" deformato tra le catene appenninica-dinarica. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 1245-1252.

Perrone E. (1906). Carta Idrografica d'Italia - Corsi d'Acqua dell'Appennino Meridionale e dell'Antiappennino Adriatico a sud del Sele e del Sangro. Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio.

Polemio M. e Dragone V. (1999). Serie storiche piezometriche delle unità idrogeologiche pugliesi: regime piezometrico, effetti climatici ed antropici. *Pubbl. GNDCI n. 2015, Quaderni di Geologia Applicata*, 1999, 4, 153-162, Pitagora Editrice, Bologna.

Polemio M., Dragone V. e Di Cagno M. (1999). Effetti antropici e naturali sul degrado quantitativo delle acque sotterranee del Tavoliere. *Pubbl. GNDCI n. 2011, Quaderni di Geologia Applicata*, 4, 143-152, Pitagora Editrice, Bologna.

Polemio M. e Limoni P.P. (2000). L'evoluzione dell'inquinamento salino delle acque sotterranee della Murgia e del Salento. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 56, in corso di stampa.

Ranieri L. (1947). Il clima del Gargano. *Mem. Ist. Geograf.*, Bari. Regione Puglia (1984). Piano Regionale Acque (PRA), Bollettino Ufficiale della Regione Puglia, anno XV n.57 suppl.

Tadolini T., Tulipano L. e Zanframundo P. (1976). La falda idrica della zona compresa tra Vico del Gargano ed Ischitella (Puglia): caratteristiche ed equilibrio idrologico. *Giornale del Genio Civile*, fasc. 10, Roma.

Turc L. (1954). Le bilan d'eau des sols. Relation entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agron.*, 1954-1955, Paris.

Zeza F. (1977). Aspetti e problemi idrogeologici e geologico-tecnici del Carsismo in Puglia. *Rassegna Tecnica Pugliese - Continuità*, anno XI, 2, Bari.

Zeza F., Macri F. e Polemio M. (1996). Nuove conoscenze idrogeologiche del Gargano centrale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 1037-1043.

le o semipermeabile; per facilitare i calcoli si pone che tale strato arrivi fino alla superficie del suolo, come pure la superficie piezometrica.

Ponendo i seguenti valori $b' = 12 \text{ m}$, $s = 2 \text{ m}$, $a' = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kg}$, relativi a tale strato, si ottiene una subsidenza che è circa 220 volte quella che si ha nello strato acquifero e pertanto l'acqua fornita da tale strato è 220 volte quella fornita dallo strato acquifero. Però nel caso dei terreni plastici il fenomeno della subsidenza è molto lento e quindi richiede molto tempo (infinito). Nel caso in esame, relativo a $t = 1$ giorno la subsidenza di tale strato è circa il 10% di quella totale.

Quindi riassumendo il volume d'acqua fornita dallo strato semipermeabile per $R = 13.000 \text{ m}$ è di $4,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$, mentre per $R = 500 \text{ m}$ tale volume è $4.560 \text{ m}^3/\text{d}$.

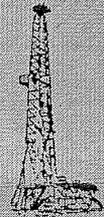
In definitiva si ha che la portata fornita dai due strati è di $(4560+210) = 4.770 \text{ m}^3/\text{d}$, quantità maggiore di quella estratta in realtà dal pozzo. Se come si sostiene da più parti l'acqua emunta dal pozzo proviene sia dal costipamento del terreno sia dall'espansione dell'acqua stessa, se si opera in una falda con moto proprio (tutte le falde sono dotate di moto proprio!) si ha che lo spartiacque sotterraneo non ha più le dimensioni che la teoria dice di avere, cioè, con i dati su indicati, $2y = 1325 \text{ m}$, $2y_0 = 662,5 \text{ m}$, $x_s = 211 \text{ m}$, valori ricavati senza considerare i due suddetti fenomeni. Infatti tale spartiacque delimita l'area o zona della falda che alimenta il pozzo, cioè tutta l'acqua della falda che fluisce entro tale spartiacque penetra nel pozzo e viene emunta con la portata suindicata. Anche in queste condizioni si ha il costipamento del terreno e l'espansione dell'acqua e quindi la quantità o portata d'acqua che fluisce entro tale spartiacque è maggiore di quella fornita dalla falda racchiusa dallo spartiacque, le cui dimensioni sono state ricavate senza considerare questi due ultimi fenomeni o processi. In definitiva si ha che lo spartiacque e quindi la zona di alimentazione del pozzo sono molto più piccoli di quelli ricavati con le normali equazioni relative ai pozzi in falde con moto proprio, oppure lo spartiacque sotterraneo impiega più tempo per raggiungere la sua posizione finale. Tutto ciò è molto importante quando si fanno le barriere idrauliche per bloccare il flusso dei pennacchi di acqua inquinata. Si manifesta questa incongruenza anche quando si opera nel campo del prosciugamento delle falde per eseguire qualche scavo; infatti, considerando i fenomeni del costipamento del terreno e dell'espansione dell'acqua sarebbe necessario estrarre più acqua di quella prevista operando con l'equazione di Dupuit in regime stazionario. Per l'esperienza acquisita in questo campo, posso affermare che l'acqua emunta dalla falda corrisponde a quella che si ricava usando tale equazione, e non molta di più. È probabile che durante la fase iniziale, cioè quando si ha il regime transitorio, la quantità d'acqua da estrarre sia maggiore di quella prevista dalla teoria relativa al regime stazionario, però data la non lunga durata del regime transitorio è molto difficile accorgersi di tale anomalia. Per quanto poi riguarda i fenomeni di subsidenza che si hanno in molti casi in seguito ad emungimento di acqua, si può dire che probabilmente essi sono dovuti essenzialmente al parziale costipamento degli strati argilloso-limosi che si trovano entro gli strati acquiferi o che delimitano tali strati oppure all'estrazione di troppa sabbia durante l'esercizio del pozzo, se questo non è stato completato a regola d'arte.

Bibliografia

- Bouwer H.** - *Groundwater Hydrology* - McGraw-Hill, 1978
Burbey T.J. - *Storage coefficient revisited: Is purely vertical strain a good assumption?* - *Ground Water* v.39 n.3 p.458/464 - 2001
Butler J.J. - *The role of pumping tests in site characterization: Some theoretical considerations* - *Ground Water* v.28, n.3,

p.394/402, 1990

- Domenico P.A.** - *Concepts and Models in Groundwater Hydrology* - McGraw-Hill Book Co., 1972
Gambolati G. - *Deviation from the Theis solutions in aquifers undergoing three-dimensional consolidation* - *Water Resources Research*, v.13, n.1, p.62/68, 1977
Hubbert M.K. - *The Theory of ground-water motion* - *The Journal of Geology*, v.48, n.8, parte 1, 1940
Jacob C.E.J. - *On the flow of water in an elastic artesian aquifer* - *Trans. American Geophysical Union*, pt.2, p.574/586, 1940
Muskat M. - *The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media* - McGraw-Hill, 1937
Sauveplane C. - *Pumping test analysis in fractured aquifer formations: State of the art and some perspectives* - "Groundwater Hydraulic" di Rosenshein J. e Bennett G.D. ed. American Geophysical Union, 1984
Theis C.V. - *The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage* - *Trans. American Geophysical Union*, 16th annual meeting, 1935
Verruijt A. - *Elastic storage of aquifers, in "Flow through porous media"* di DeWiest R.J.M., Academic Press 1969, p.331/376
Wolff R.G. - *Relationship between horizontal strain near a well and reverse water level fluctuation* - *Water Resources Research* v.6, n.4, 1970, p.1721/1728



RONCHI S.r.l.

- Trivellazione pozzi
- Pompe sommerse
- Impianti di sollevamento
- Ricerche idriche
- Spurghi e controlli
- Sondaggi geognostici

Via Goldoni 5/7 Tel. 02-2542076 Fax 02-2549690
 20093 COLOGNO MONZESE (MI)

ERRATA CORRIGE

In riferimento all'articolo "Le Acque sotterranee del Gargano: risorse idriche integrative e di emergenza" di M.Polemio - M.Di Cagno - R.Virga, pubblicato nel numero 68 - Dicembre 2000, sono da apportare le seguenti correzioni :

- pag. 41 (1ª colonna) sostituire :

37 m ³ /s	con 42	m ³ /s
8,12 m ³ /s	con 10,8	m ³ /s
42 m ³ /s	con 31	m ³ /s
7%	con 5%	
50%	con 60%	
4 m ³ /s	con 6,5	m ³ /s

- pag. 50 (2ª colonna) sostituire :

85-95%	con 80-90%
--------	------------

- pag. 51 (Figura 9) sostituire didascalia con :

Carta dei complessi idrogeologici :

1) complesso S; 2) complesso CM; 3) complesso CD; 4) complesso C

- pag. 56 (Figura 11) aggiungere in didascalia :

1) <0,1; 2) 0,1- 0,2; 3) 0,2-0,3; 4) 0,3-0,4; 5) 0,4-0,5; 6) >0,5 (n.pozzi / km²)