

CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DELLA PIANA DI METAPONTO, QUALITÀ E RISCHI DI DEGRADO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISATION OF THE METAPONTO PLAIN, QUALITY AND POLLUTION HAZARD OF GROUNDWATER

Polemio M., Dragone V., Limoni P.P., Mitolo D., Santaloia F.: CNR – IRPI, Sezione di Bari, via E. Orabona 4, 70125 Bari, email: cerimp01@area.ba.cnr.it

Riassunto. La Piana di Metaponto si estende per circa 40 km lungo la costa ionica lucana, tra i fiumi Sinni e Bradano. L'assetto geologico e idrogeologico dell'area e i caratteri chimico-fisici delle acque sotterranee ivi circolanti sono stati dedotti dall'analisi dei dati censiti, rivenienti da 1130 pozzi. Diversi acquiferi, collegati tra loro, caratterizzano l'idrogeologia dell'area. Il flusso delle acque sotterranee è principalmente freatico nell'interno, dove affiorano i depositi marini terrazzati e i depositi alluvionali, ed essenzialmente confinato nella piana costiera alluvionale, a causa della presenza di uno strato argilloso, posto a tetto dell'acquifero costiero sabbioso, caratterizzato da una conducibilità idraulica media pari a $2,3 \cdot 10^{-4}$ m/s. A fronte di una ricarica naturale bassa per infiltrazione, la ricarica dell'acquifero costiero è garantita prevalentemente dalle acque provenienti dagli acquiferi a monte che dalle perdite del reticolo fluviale. L'analisi dei dati chimico-fisici delle acque circolanti nell'acquifero costiero ha evidenziato che il fenomeno dell'intrusione marina sembra coinvolgere un tratto della piana costiera per una larghezza di 1÷1,5 km, area in cui il letto dell'acquifero costiero giace al di sotto del livello medio del mare. Infine, l'inquinamento caratterizzante le acque sotterranee è risultato essere un reale problema ambientale. Il degrado quantitativo e qualitativo costituiscono quindi un rischio concreto che minaccia le risorse idriche sotterranee della Piana di Metaponto.

Parole chiavi: risorse idriche sotterranee, intrusione marina, parametri idrogeologici, Italia meridionale.

Abstract. *The study area falls within the Ionian coastal plain (Southern Italy), bounded on the West by the Sinni River and on the East by Bradano River. It covers 40 km along the coast and 6 km inland. The geological and hydrogeological features of the study area and the chemical-physical groundwater characterisation have been inferred from the data analysis of 1130 boreholes. Some aquifers, connected among them, constituted by soils of different geological origin, exist in the area also if the coastal plain aquifer is the most interesting for practical utilisation. Groundwater flow is mainly unconfined inland, where the aquifer is constituted by terraced deposits and confined in the alluvial coastal plain. An upper clayey layer overlies the sandy coastal aquifer characterised by a mean hydraulic conductivity value equal to $2.3 \cdot 10^{-4}$ m/s. Being the direct natural recharge extremely low, the recharge of this coastal aquifer is mainly guaranteed by the discharge from upward aquifers and from the river leakage. The bottom of the aquifer is a silty-clayey bed which lies under the sea level permitting so the seawater intrusion. This phenomenon involves the studied coastal plain for a width of 1-1.5 km on average and it is less evident moving inwards where the altitude of the clayey bottom of the aquifer becomes progressively higher than the sea level. Other chemical-physical data, studied to determine the quality of the waters, showed that the pollution of the groundwater is considered a grave environmental problem for the studied area.*

Keywords: groundwater resources, seawater intrusion, hydrogeological parameters, Southern Italy

INTRODUZIONE

Da alcuni anni la Sezione di Bari del CNR-IRPI è impegnata in ricerche a carattere idrogeologico nell'area metapontina (Polemio & Ricchetti, 1991).

Di recente l'attenzione è stata rivolta alle risorse idriche sotterranee dell'intera Piana di Metaponto grazie ad un recente progetto di ricerca, dal titolo "Crystallisation technologies for

prevention of salt water intrusion", finanziato dall'Unione Europea (V Programma Quadro, 1998-2002). In particolare, il suddetto progetto prevede la realizzazione di barriere fisiche per contrastare l'intrusione marina, attraverso la riduzione della permeabilità degli acquiferi mediante la cristallizzazione controllata di sostanze naturali. L'intrusione marina costituisce un fenomeno particolarmente dannoso in ampie porzioni delle pianure costiere dell'Italia meridionale, dove, nel

tempo, si sono concentrate le popolazioni nonché le attività agricole e industriali più pregiate, tutte utenze che richiedono acqua di buona qualità. Tale fenomeno di degrado qualitativo delle acque è particolarmente temibile in quanto spesso si manifesta con un lento ma progressivo deterioramento, difficilmente apprezzabile per l'uomo comune in quanto le sue conseguenze si evidenziano solo nel corso di alcuni decenni (Polemio & Limoni, 2001).

La caratterizzazione geologica e idrogeologica degli acquiferi presenti nell'area metapontina e quella chimico-fisica delle acque sotterranee ivi circolanti, unitamente all'individuazione degli effetti delle modificazioni naturali e antropici del ciclo idrologico sulla disponibilità delle risorse idriche sotterranee sono state perseguite, in tale contesto, al fine di effettuare la scelta ottimale del sito sperimentale previsto in Italia, appunto nella Piana di Metaponto, nonché la dettagliata valutazione degli effetti dell'intervento sperimentale previsto, mediante modelli di calcolo numerici.

Il presente articolo riporta sinteticamente le conoscenze emerse fino ad oggi, sia sulla base degli studi pregressi che alla luce di nuovi approfondimenti, maturati con un approccio interdisciplinare in merito ai caratteri idrogeologici degli acquiferi costituenti la Piana di Metaponto nonché alla qualità e ai rischi di degrado delle relative risorse idriche sotterranee (Polemio et al., 2002a; 2002b; 2002c; Polemio e Dragone, 2002).

L'area di studio corrisponde alla piana costiera che si estende dalla foce del fiume Sinni a quella del Bradano (Figura 1). Durante il ventesimo secolo, i lavori di bonifica, la costruzione di oltre una decina di dighe o traverse nelle porzioni poste a monte dei bacini idrografici che attraversano la Piana nonché l'introduzione di reti irrigue servite da acque addotte dagli invasi, hanno modificato profondamente il ciclo dell'acqua lungo la pianura costiera. L'area, già notevolmente antropizzata, è soggetta ad una crescente espansione turistica e ad un potenziamento delle pratiche zootecniche e agricole di pregio. La crescita socio-economica di un'area è funzione anche della disponibilità di acque di buona qualità, la quale diminuisce nei periodi di siccità. Allo stesso tempo lo sviluppo economico, non opportunamente pianificato o gestito, crea condizioni potenzialmente rischiose per la salvaguardia delle risorse idriche, con particolare riferimento a quelle sotterranee.

L'assetto geologico ed idrogeologico dell'area in esame e le caratteristiche chimico-fisiche e qualitative delle acque sotterranee ivi circolanti sono state studiate sulla base di conoscenze pregresse e alla luce di nuovi dati desunti da accurati rilievi e

indagini in sito svolte in occasione del progetto, in precedenza citato.

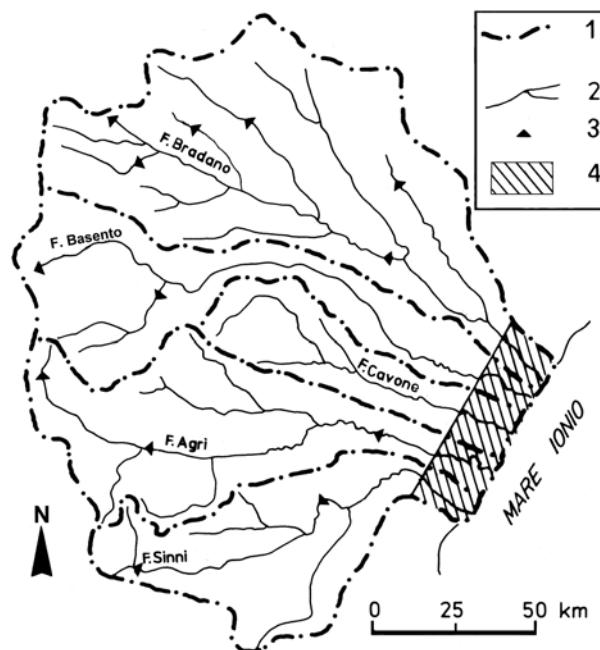


Figura 1: Area di studio, bacini imbriferi e opere di invaso e derivazione: 1) limite di bacino imbrifero, 2) reticolo idrografico, 3) diga o traversa, 4) area di studio.

A tale fine, sono stati esaminati i dati provenienti da 1130 perforazioni, eseguite da diverse istituzioni pubbliche (Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania, Regione Basilicata, Provincia di Matera, Ministero dei LL. PP., Ministero dell'Ambiente, Comune di Policoro, ANAS e Ferrovie dello Stato), realizzati principalmente per approvvigionamento idrico e secondariamente a fini geognostici. Dopo una complessa lavorazione di validazione e un'attenta analisi dei molteplici dati raccolti, si è provveduto a georeferenziare i diversi pozzi censiti e a creare data base relazionali, contenenti le diverse informazioni acquisite. In sintesi, le informazioni stratigrafiche ed idrogeologiche hanno riguardato il 71,9 % dei pozzi censiti, mentre i dati chimico-fisici e geotecnici sono stati disponibili rispettivamente per il 13,9 % e per il 5,4 % dei pozzi.

L'analisi dei diversi dati raccolti ha permesso sia di ricostruire l'assetto litologico e idrogeologico dei diversi acquiferi presenti nell'area di studio che definire i caratteri chimico-fisiche delle acque ivi circolanti. In particolare l'esame della distribuzione degli ioni principali dissolti nelle acque sotterranee ha permesso di definire i caratteri chimici principali delle stesse acque. Altresì, sono stati definiti gli andamenti areali della salinità, della conducibilità

elettrica, del pH e della temperatura delle acque sotterranee circolanti nei diversi acquiferi. Inoltre, sono state analizzate le relazioni esistenti tra precipitazioni meteoriche, temperature atmosferiche, deflussi fluviali, prelievi dai principali invasi lucani e quote piezometriche, attraverso elaborazioni statistiche dei diversi dati su un intervallo ampio diversi decenni dell'intero ventesimo secolo. Si è operato ad una scala "regionale", considerando anche gli effetti derivanti dalla costruzione di numerose dighe e traverse, avvenuta fra gli anni '60 e '80, all'interno dei bacini idrografici sottesi dai fiumi che solcano la piana (Figura. 1).

Infine, nel corso dell'attività di ricerca in esame, l'attenzione è stata principalmente focalizzata sull'acquifero superficiale esistente nella piana costiera, intensamente sfruttato, come già evidenziato da Radina (1956). L'assetto litologico di questo acquifero, la sua posizione rispetto al livello mare, il suo spessore e quello della zona non satura, l'andamento della superficie piezometrica, la variabilità nello spazio della sua conducibilità idraulica, i caratteri fisico-chimici sono stati quindi attentamente studiati.

Sulla base delle analisi svolte, l'acquifero costiero è risultato soggetto al fenomeno dell'intrusione marina ed al rischio di degradazione qualitativa per effetto delle attività antropiche presenti sul territorio (Polemio et al., 2002a; 2002b; 2002c). La contaminazione chimico-fisico-batterologica delle sue acque sotterranee, legata agli eccessivi emungimenti, alle pratiche agricole, zootecniche e al non sempre corretto smaltimento delle acque reflue e dei rifiuti, costituisce già, per quanto emerso, un serio problema ambientale. Inoltre, a causa della recente siccità e dell'aumento delle attività agricole, il rischio di intrusione marina nell'acquifero del litorale metapontino costituisce un concreto problema per lo sviluppo sociale ed economico di questa zona.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio ricade nella porzione meridionale della Fossa Bradanica, lo stretto bacino di sedimentazione plio-pleistocenico, compreso tra il margine esterno della catena appenninica meridionale e l'avampaese apulo, allungato in direzione NO-SE (lungo 200 km; e ampio da 15-20 fino a 50-60 km), colmato da una potente successione sedimentaria del Pliocene-Pleistocene, spessa fino a 2-3 km. La porzione superiore di questa successione (Pliocene superiore ?-Pleistocene superiore), caratterizzata da uno spiccato trend regressivo, affiora estesamente a

causa dell'intenso sollevamento neotettonico che ha coinvolto l'avampaese pugliese e la Fossa Bradanica, a partire dal Pleistocene inferiore-medio, indotto da una resistenza alla subduzione della spessa litosfera continentale pugliese (100-110 km; Doglioni et al., 1996). Il suddetto sollevamento neotettonico ha coinvolto quindi prima i settori settentrionali e successivamente quelli meridionali della fossa, inoltre, esso è stato maggiore lungo i settori occidentali rispetto a quelli orientali della fossa, determinando un conseguente basculamento regionale della successione plio-pleistocenica verso il Mar Adriatico (Ciaranfi et al., 1983; Tropeano et al., 2001; 2002).

A questo progressivo sollevamento si sono sovrapposte oscillazioni del livello marino di tipo glacioeustatico che hanno interferito e complicato il meccanismo di regressione. Infatti sia pure con modalità intermittenti e con periodiche inversioni di tendenza, durante il Pleistocene il mare è regredito fino a quote di 100 m sotto il livello marino attuale (Cotecchia & Magri, 1967; Cotecchia et al., 1971), quota raggiunta durante l'acme della glaciazione würmiana alla fine del Tirreniano (circa 15.000 anni B.P.), per poi risalire progressivamente all'attuale livello medio del mare in seguito alla deglaciazione post-würmiana. In particolare, tra i fiumi Basento e Bradano, l'ubicazione dell'antica Metaponto indicherebbe che 2500-3000 anni B.P. la linea di costa correva sicuramente ad una distanza inferiore a 2 km da quella attuale (Cotecchia et al., 1971). Inoltre, l'allineamento delle torri marittime quadrangolari, costruite nella seconda metà del XVI secolo, mostrerebbe come 400 anni fa la linea di costa non avesse ancora raggiunto quella attuale. Variazioni della linea di costa, connesse a fattori naturali e antropici, sono avvenute anche in tempi recenti: gradualmente accrescimenti e progressive riduzioni sono stati stimati rispettivamente in corrispondenza della foce del fiume Cavone e lungo i tratti costieri comprendenti le foci degli altri fiumi lucani (Guerricchio e Melidoro, 198; Spilotro et al., 1998).

La porzione superiore della successione sedimentaria della Fossa Bradanica, con carattere regressivo e spessori massimi intorno a 600 m (Pieri et al., 1996; Tropeano et al., 2002) è costituita dalle emipelagiti argilloso-limose delle Argille subappennine (tardo Pliocene- Pleistocene medio), passanti verso l'alto ai depositi regressivi costieri del Pleistocene inferiore-medio (Sabbie di Monte Marano e Conglomerato di Irsina) e a quelli del Pleistocene medio-superiore (Depositati Marini Terrazzati).

In particolare, nell'area di studio affiorano estesamente le Argille subappennine, i sovrastanti Depositi Marini Terrazzati, i depositi alluvionali e costieri (Figura 2).

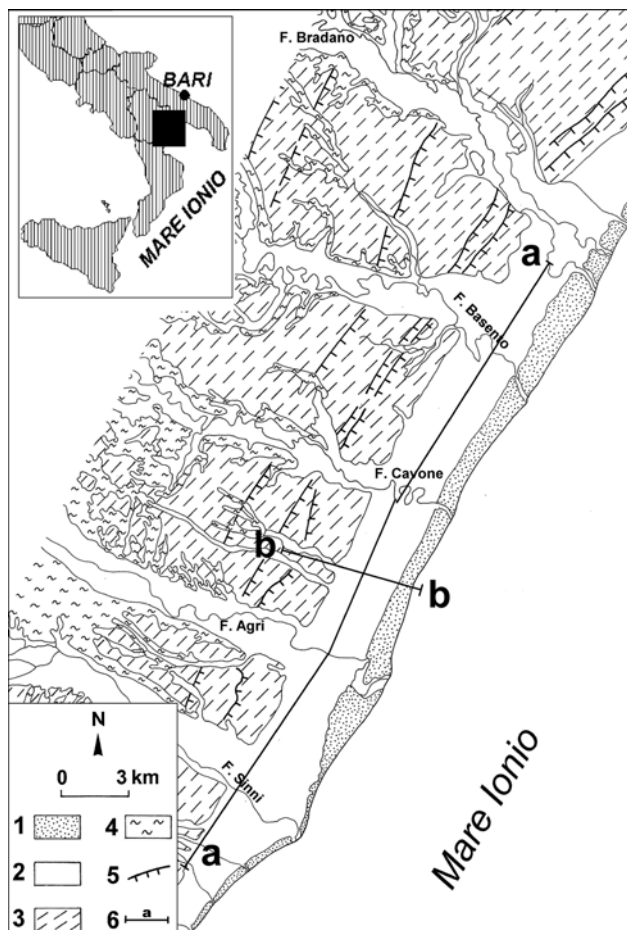


Figura 2: Carta geologica schematica: 1) dune e spiaggia; 2) depositi alluvionali marini e di transizione; 3) depositi marini terrazzati; 4) Argille subappennine; 5) scarpata dei terrazzi marini; 6) traccia di sezione.

Le Argille subappennine sono rappresentate da argille e argille marnose di colore grigio e giallastro, quando sono alterate, passanti verso l'alto ad argille limose e/o sabbiose. A diverse altezze dal piano campagna, sono presenti livelli e lenti sabbioso-limosi, maggiormente frequenti nelle porzioni superiori della successione, e livelli vulcanoclastici di diversa età (Montalbano Ionico: 1.07 Ma-780ka; Pisticcio 0.98±0.15 Ma; Capaldi et al., 1979; Ciaranfi et al., 1996). Questa formazione affiora nei settori occidentali dell'area di studio con assetti suborizzontali o debolmente immergenti verso Sud-Est (Figura 2).

I Depositi marini terrazzati affiorano dalle quote di circa 350-400 m fino a circa 12 m s.l.m. (Figura 2). Essi sono costituiti essenzialmente da tre unità litologiche (Bozzano et al., 1991; Bozzano &

Scarascia Mugnozza, 1994), variamente combinate nelle successioni verticali e con frequenti passaggi laterali. Esse sono rappresentate da un'unità sabbiosa (sabbie da medie a grossolane, con sottili intervalli limosi, arenacei e ghiaiosi), da un'unità conglomeratica (ghiaia immersa in una matrice sabbioso-limosa, localmente cementata) e, infine, da un'unità sabbioso-ghiaiosa con caratteristiche litologiche intermedie tra le prime due. Sulla base delle caratteristiche morfologiche delle aree di affioramento dei depositi marini terrazzati, sono stati riconosciuti otto ordini di terrazzi (Brückner, 1980; Ciaranfi et al., 1988), con estensione areale diversa ed età variabile da 650.000 anni (VIII ordine) a 80.000 (I ordine). I massimi spessori di affioramento dei terrazzi marini sono stati rilevati nel bacino idrografico del fiume Bradano (circa 30 m) mentre quelli minimi in quello del fiume Sinni (Bozzano & Scarascia Mugnozza, 1994). Le loro superfici sommitali tabulari mostrano una debole inclinazione sia verso NE che verso SE, connessa sia alla genesi di questi depositi che al sollevamento neotettonico differenziale. Infine, la progressiva diminuzione altimetrica osservata per ciascun ordine di terrazzo dall'area del fiume Sinni a quella del Bradano (Bozzano & Scarascia Mugnozza, 1994) evidenzia un basculamento più pronunciato per gli ordini più antichi rispetto a quelli più recenti con differenze di quote comprese tra 150 m (V ordine) e 25 m (I ordine). I depositi alluvionali e costieri affiorano lungo le valli fluviali e nella piana costiera ionica (Figura 2). Nello specifico, i depositi alluvionali terrazzati olocenici, posti a quote variabili tra 300-100 m s.l.m., sono costituiti da ghiaie con lenti sabbioso-limosi, quelli recenti sono rappresentati da depositi argilloso-sabbioso-ghiaiosi e quelli attuali da depositi ciottoloso-sabbiosi. Altresì, nella piana costiera i depositi alluvionali recenti si confondono con quelli di origine mista e lagunari, costituiti da sabbie, ghiaie e limi in lenti e livelli, variamente distribuiti nello spazio il cui assetto litostratigrafico è connesso sia all'evoluzione tettonica e alle variazioni glacioeustatiche avvenute nell'area a partire dal Tirreniano che all'evoluzione costiera recente (regime idraulico dei fiumi, apporti solidi, azioni antropiche ecc.).

Infine, i depositi di spiaggia e le dune costiere affiorano lungo la fascia costiera, pressoché continua e larga in media un chilometro (Figura 2). Le dune costiere, costituite da sabbie ocracee poco cementate, sono allineate parallelamente alla costa con altezze di 12-16 m. Le spiagge, ampie da 10 m fino a 100 m, sono essenzialmente sabbiose, con dimensione dei granuli tra 500-300 micron, e progressivamente diventano sabbioso-ghiaiose o

sabbiose con lenti di ghiaia procedendo verso il fiume Sinni (Cocco et al., 1975).

ASSETTO LITOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

La ricostruzione litologica dell'area di studio è stata desunta dall'analisi dei dati stratigrafici relativi essenzialmente ai sondaggi eseguiti dall'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione in Puglia Basilicata ed Irpinia nel periodo 1952÷1956, essendo questi in maggior numero e meglio distribuiti su tutta l'area; ulteriori dati, in particolare stratigrafici e geotecnici, sono stati acquisiti grazie al Comune di Policoro, all'ANAS, alle Ferrovie dello Stato, alla MARINAGRI S.p.A. e alla SO.R.I.M. S.p.A. La profondità delle perforazioni censite è in media circa 30 m, raramente si raggiungono gli 80 m di profondità. Alla luce dei dati esaminati, nelle aree di affioramento dei Depositi marini terrazzati, al di sotto del terreno agrario, sono state distinte tre principali unità litologiche: un'unità superiore, ghiaiosa, un'unità intermedia, sabbiosa, ed un'unità inferiore, argillosa (Figura 3).

L'unità superiore, spessa da qualche centimetro a 10 m, è costituita da ghiaia, localmente cementata o dispersa in matrice sabbiosa. L'unità intermedia, spessa al massimo circa 40 m, è composta da sabbia, da fine a media, grigia o giallastra, con livelli o strati argillosi o limoso-argillosi di diverso spessore e lenti di ghiaia. Infine, l'ultima unità è rappresentata da una successione argillosa e argilloso-limosa. Nella piana costiera, al di sotto del terreno agrario (spesso da 1 a 4 m), sono state

individuare quattro principali unità litologiche: una argillosa superiore, una sabbiosa intermedia, una argillosa inferiore ed una limoso-sabbiosa inferiore (Figura 3).

L'unità argillosa superiore, costituita da argilla e argilla limosa grigia o gialla, è presente, con andamenti discontinui; in particolare nel settore costiero compreso tra il fiume Cavone e il fiume Sinni, essa raggiunge lo spessore massimo di 10 m. Sottostante al terreno agrario o alla precedente unità argillosa, è presente l'unità sabbiosa intermedia. Essa si rinviene fino a profondità di 45-50 m dal p.c., con spessori medi intorno a 35 m. Il letto di tale unità raggiunge il livello del mare in prossimità della costa nei pressi del fiume Sinni e lontano da essa nell'area dei fiumi Basento e Bradano. E' composta da sabbia, da fine a grossolana, localmente ghiaiosa, con diversi livelli o lenti argillose e limoso-argillose di spessore variabile da alcuni centimetri fino a circa 10 m. L'unità argillosa inferiore è rappresentata da argilla o argilla limosa grigia; nelle sue porzioni superiori sono presenti talora lenti ghiaiose, spesse meno di 6 m e a luoghi cementate.

I sondaggi analizzati terminano generalmente all'interno o a letto di quest'unità, per cui la stima del suo spessore è orientativa e approssimata per difetto. La potenza sembra variare da alcuni metri fino a circa 30 m; i valori massimi sono stati riscontrati nella zona dei fiumi Basento e Bradano. L'unità limoso-sabbiosa inferiore, raggiunta solo in alcune perforazioni, è costituita da limo, localmente argilloso con intervalli sabbiosi.

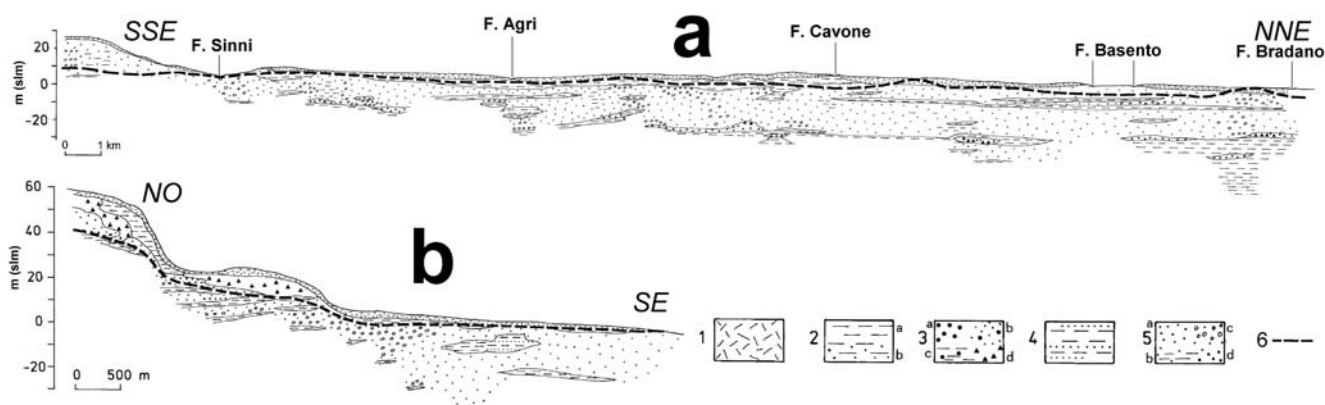


Figura 3: Sezione litologica schematica: 1) suolo; 2) argille o argille limose (a) e localmente argille sabbiose (b); 3) ciottoli (a) in una matrice sabbiosa (b) o argillosa (c) oppure localmente cementati (d); 4) sabbie con livelli argillosi; 5) sabbie o sabbie limose (a), localmente sabbie argillose (b) o con ghiaie (c), localmente arenarie (d); 6) superficie piezometrica (m s.l.m.).

CARATTERI CLIMATICI ED IDROLOGICI

Per delineare le caratteristiche climatiche ed idrologiche dell'area sono stati raccolti i dati mensili pluviometrici, termometrici e idrometrici pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN, 1923-2000).

Le stazioni termopluviometriche considerate sono Metaponto, Nova Siri Scalo, Poliporo e S. Basilio, quest'ultima solo pluviometrica.

Il regime pluviometrico è di tipo marittimo, con minimo tra luglio ed agosto e massimo tra ottobre e dicembre (Figura 4). La piovosità media annua è compresa tra 536 e 586 mm, in ogni caso quindi molto bassa. La piovosità annua minima registrata è relativa alla stazione di Metaponto pari a 236 mm, verificatasi nel 1922, la massima è relativa a S. Basilio, pari a 1106 mm, caduti nel 1946.

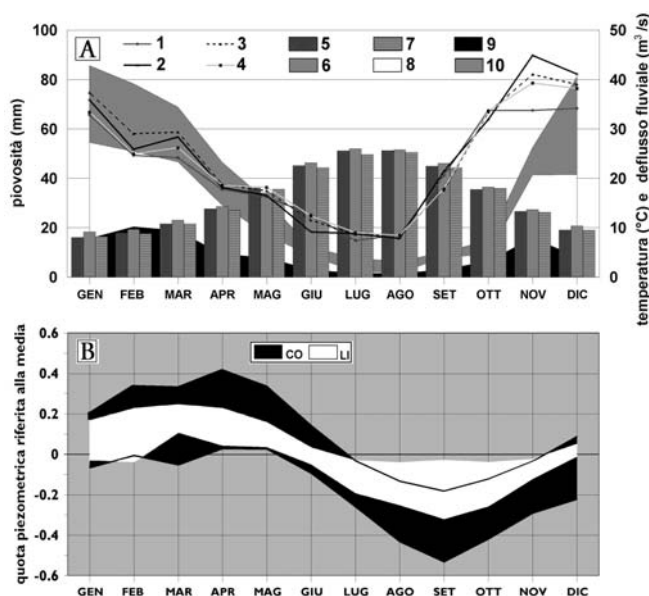


Figura 4: Relazione tra i regimi termopluviometrico, idrometrico e piezometrico. Diagramma A: stazioni pluviometriche di 1) Metaponto, 2) Nova Siri Scalo, 3) Policoro, 4) S. Basilio; stazioni termometriche di 5) Metaponto, 6) Nova Siri Scalo, 7) Policoro; stazioni idrometriche del 8) F. Basento (Menzena), 9) F. Bradano (Tavole Palatine), 10) F. Sinni (Valsinni). Diagramma B: fuso definito dai regimi piezometrici dei pozzi in falda confinata (CO) e libera (LI).

La temperatura atmosferica è stata rilevata in tre stazioni, in periodi diversi, di durata variabile da 26 a 56 anni. Il regime termometrico è moderato, con massimi tra luglio e agosto e minimi a gennaio (Figura 4). La temperatura atmosferica media annua è compresa tra 16,2 e 16,8 °C.

Utilizzando il tradizionale metodo di Thornthwaite e Mather, risulta per la stazione di

Metaponto, assunta una capacità di ritenzione di 100 mm, che la piovosità efficace annua è pari a 101 mm, distribuiti da dicembre a marzo. Secondo la classificazione climatica di Thornthwaite il clima è semiarido. Il clima vigente lungo l'arco costiero ionico-lucano non favorisce quindi la disponibilità di risorse idriche.

Le portate fluviali misurate dalle stazioni sui fiumi Basento (a Menzena), Bradano (a Tavole Palatine) e Sinni (a Valsinni) hanno mostrato un regime sostanzialmente regolare, con un minimo ad agosto e un massimo a gennaio o febbraio. Il regime idrometrico relativo al fiume Bradano appare meno regolare e dissimile dai restanti due. Tutti i regimi idrometrici mostrano un andamento stagionale molto simile a quello pluviometrico, denotando una relazione significativa tra piogge e portate fluviali, le cui variazioni seguono con un ritardo variabile da zero a 2 mesi quelle pluviometriche, al passare dalla stagione arida estiva a quella umida invernale (Figura 4).

CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nell'area sono presenti 28 sorgenti; la portata media è generalmente bassa, pari a 0,1 l/s. Numerose sorgenti sono alimentate grazie alle perdite dagli alvei fluviali; non sorprende quindi così che si sia osservata la scomparsa di alcune sorgenti determinata dalla costruzione delle dighe.

Il regime piezometrico è stato studiato utilizzando i rilievi eseguiti dal SIMN dal 1927 al 1985 su 60 pozzi. Si è scelto di tracciare il regime piezometrico riferendo per ciascun pozzo l'altezza piezometrica media mensile alla quota piezometrica media del pozzo stesso al fine di eliminare l'effetto della diversa altimetria, generalmente molto accentuato sulla piezometria degli acquiferi superficiali, soprattutto se questi sono caratterizzati da una modesta soggiacenza.

L'analisi delle curve relative a ciascuna stazione ha evidenziato la presenza di due regimi principali: il primo è relativo ai pozzi la cui falda è confinata, il secondo è inerente ai pozzi interessati da flusso idrico sotterraneo freatico. Questi due tipi sono rappresentativi del 90% dei pozzi considerati. I due tipi sono molto simili poiché presentano un unico minimo, principalmente nel mese di settembre e secondariamente ad ottobre, ed un unico massimo, da febbraio ad aprile. In termini di differenze, è possibile osservare che il massimo per i pozzi in pressione sembra arrivare con un ritardo di un mese rispetto a quello dei restanti. Inoltre, come già osservato da Polemio & Ricchetti (1991), il regime

piezometrico dei pozzi in pressione è caratterizzato da maggiori escursioni e da andamenti costituiti da spezzate, bruscamente raccordate in prossimità dei valori estremi. Laddove si osservano condizioni freatiche, il regime presenta minori escursioni e un andamento sostanzialmente sinusoidale.

L'escursione piezometrica nell'anno medio è risultata essere compresa tra 0,1 m e 4,8 m. Escludendo quattro dei 60 pozzi considerati, in quanto posti in condizioni idrogeologiche particolari nell'interno rispetto a Nova Siri scalo, il massimo dell'escursione piezometrica diminuisce a 1,0 m. La massima escursione piezometrica mensile, ovvero la differenza tra il massimo e il minimo assoluto mensile di ciascun pozzo, è risultata essere compresa tra 0,5 e 14,7 m, il cui massimo diminuisce a 4,9 m una volta trascurato i quattro pozzi precedentemente citati. Considerando l'andamento planimetrico della massima escursione piezometrica mensile, essa sembra crescere dalla costa verso l'interno e al crescere della distanza dai principali corsi d'acqua. In ogni caso, essa aumenta, anche se lievemente, al crescere del numero di anni di misura considerati.

I caratteri idrogeologici dell'area di studio sono strettamente correlati all'assetto geologico e geomorfologico dell'area stessa. Infatti, le configurazioni litologico-strutturali dell'area determinano l'esistenza di due tipi principali di acquiferi: il primo include gli acquiferi presenti nei depositi marini terrazzati e in quelli alluvionali fluviali, invece il secondo tipo identifica essenzialmente l'acquifero della piana costiera.

Gli acquiferi dei depositi marini terrazzati mostrano una conducibilità idraulica da media ad alta, sono in prevalenza freatici ma anche diffusamente in pressione. La limitata e non omogenea estensione dei livelli a bassa conducibilità idraulica posti al tetto degli stessi acquiferi favorisce l'infiltrazione delle acque pluviali e quindi la loro naturale ricarica (Figura 3). La continuità di questi acquiferi attraverso l'area è regolarmente interrotta dalle valli fluviali.

L'estensione degli acquiferi dei depositi alluvionali è limitata nonché minore di quella degli acquiferi dei depositi marini terrazzati. La conducibilità idraulica di questi acquiferi, variabile da bassa a media, non permette la captazione di rilevanti risorse idriche sotterranee, salvo in corrispondenza delle alluvioni del fiume Sinni. Inoltre, le loro potenzialità per il rinvenimento di risorse idriche sotterranee, rilevanti solo nel caso del fiume Sinni, sono fortemente condizionate sia dalla morfologia e dalla profondità dell'alveo fluviale che dall'entità dei relativi deflussi fluviali.

L'importanza del secondo tipo di acquifero individuato, quello della piana costiera, non deriva dalla sua conducibilità idraulica, essendo essa non particolarmente elevata, bensì è connessa alla continuità, all'estensione (circa 40 km lungo la costa e alcuni chilometri nella direzione trasversale) e alla maggiore potenza dell'acquifero costiero. Inoltre, esso ricade nell'area interessata dal maggiore sviluppo delle attività economiche idroesigenti.

L'acquifero costiero superficiale coincide con l'unità sabbiosa intermedia della piana costiera (Figura 3), caratterizzata da un assortimento granulometrico alquanto variabile: la frazione ghiaiosa varia da 0 al 11%, quella sabbiosa dal 0 fino al 96 %, con valori medi intorno a 48%, la frazione limosa dal 4 al 99%, con valori medi pari al 38% e infine quella argillosa dal 0 al 55%, con valori medi intorno a 14%. Inoltre, la frazione sabbiosa risulta essere maggiore per i campioni prelevati nella zona costiera compresa tra i fiumi Cavone e Basento.

Nell'acquifero costiero, gli strati più permeabili, generalmente sabbiosi, sono confinati all'interno di livelli impermeabili di varia estensione e spessore (Figura 3). Lo spessore totale degli strati permeabili dell'acquifero è maggiore di 10 m e tende ad aumentare generalmente dall'interno verso costa, ad eccezione dell'area compresa fra i fiumi Agri e Cavone.

La quota della letto del suddetto acquifero, coincidente con il tetto dell'unità argillosa inferiore della piana costiera (Figura 3), decresce dall'interno verso la costa, pur se con un andamento alquanto irregolare, caratterizzato anche da locali depressioni del letto, subparallele alla costa. Vicino alla costa il letto dell'acquifero costiero si spinge sotto il livello del mare, permettendo in tal modo, in funzione delle condizioni idrodinamiche, l'intrusione marina. Come evidenziato nel seguito, tale fenomeno sembra accentuarsi da SO verso NE, muovendosi lungo costa poiché il tetto dell'unità argillosa degrada dolcemente dal fiume Sinni al fiume Bradano.

In prossimità della linea di costa e in alcune zone intorno al fiume Basento, l'acquifero è freatico mentre diventa confinato nelle aree ove è delimitato al tetto da un esteso strato impermeabile di argille limose che presenta spessori variabili fra i 3 ed i 10 m (Figura 3).

L'acquifero costiero è limitato a valle (SE) dal Mar Ionio mentre a monte (NO) è in contatto con gli acquiferi dei depositi alluvionali e dei terrazzi marini. Tale limite è generalmente di alimentazione, come si evince dalle Figure 3 e 5. Allo stesso tempo, localmente esso costituisce un

limite idrogeologico di emergenza per gli acquiferi dei depositi marini terrazzati, come in prossimità dell'abitato di Policoro, dove si osservano alcune sorgenti al piede della scarpata, dovute al contatto tra conglomerati acquiferi e strati argillosi sottostanti, entrambi appartenenti ai terrazzi marini.

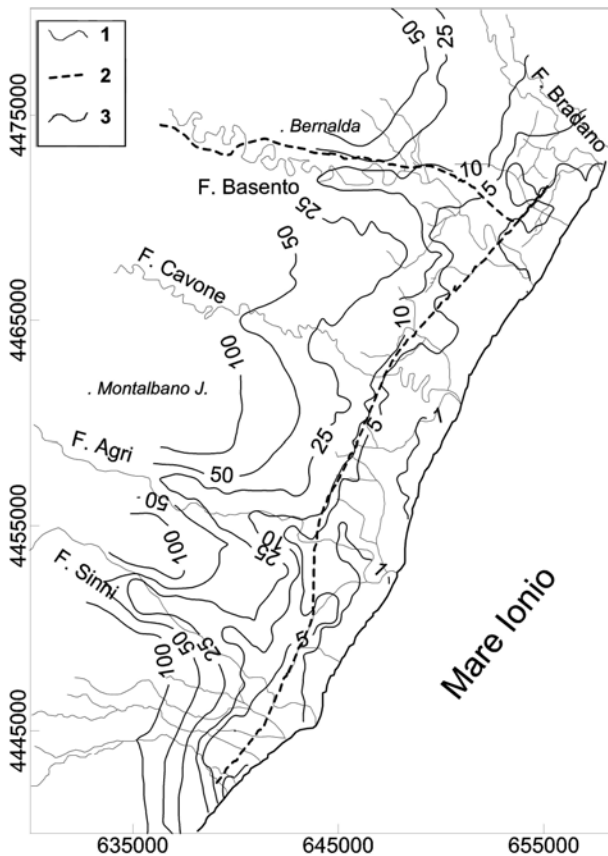


Figura 5: Carta piezometrica dell'area di studio: 1) reticolo idrografico, 2) linea ferroviaria, 3) isopiezie (m s.l.m.).

La ricarica diretta, per infiltrazione di acque piovane, è da ritenersi modesta se non trascurabile per il basso valore della piovosità efficace e per l'effetto del tetto impermeabile. Per questi motivi, la ricarica dell'acquifero costiero è maggiormente garantita dalle acque provenienti dagli acquiferi di monte, in particolare quelli dei terrazzi marini. A tale proposito, si osservi che le isopiezie sono abbastanza rettilinee e alquanto parallele sia alla linea di costa sia al limite idrogeologico tra depositi marini terrazzati e l'acquifero costiero (Figura 5). Tale circostanza permettere di ritenere che le linee principali di flusso idrico sotterraneo, orientate ortogonalmente alla costa, attraversino tale limite senza alcun rilevante effetto, segnalando l'alimentazione a favore dell'acquifero costiero.

L'andamento della superficie piezometrica (Figura 5) indica che i fiumi potrebbero drenare le

acque circolanti negli acquiferi delle valli fluviali. Questo effetto sembra particolarmente evidente per i fiumi Basento ed Agri. In ogni caso, come per il fiume Sinni, la concavità verso il basso delle isopiezie non è esattamente sovrapposta all'attuale letto del fiume ma potrebbe essere correlata alla presenza di un alveo sepolto. Inoltre, l'effetto drenante della falda idrica diminuisce gradualmente, termina o si inverte allorché i fiumi fluiscono lungo la piana costiera. Questo cambiamento è maggiormente evidente in prossimità di alcuni fiumi, quali il Sinni e il Bradano. Altresì, è possibile evidenziare che nella piana costiera gli alvei risultano essere abbastanza incisi, tanto da raggiungere l'acquifero, a scapito del tetto a bassa permeabilità (Figura 3).

Il valore minimo della conducibilità idraulica dell'acquifero costiero (Figura 6), ottenuto dall'analisi delle prove di emungimento, è pari a $3,47 \cdot 10^{-6}$ m/s, dovuto ad una portata di pozzo pari a 0,8 l/s ed ad una depressione di 25,9 m.

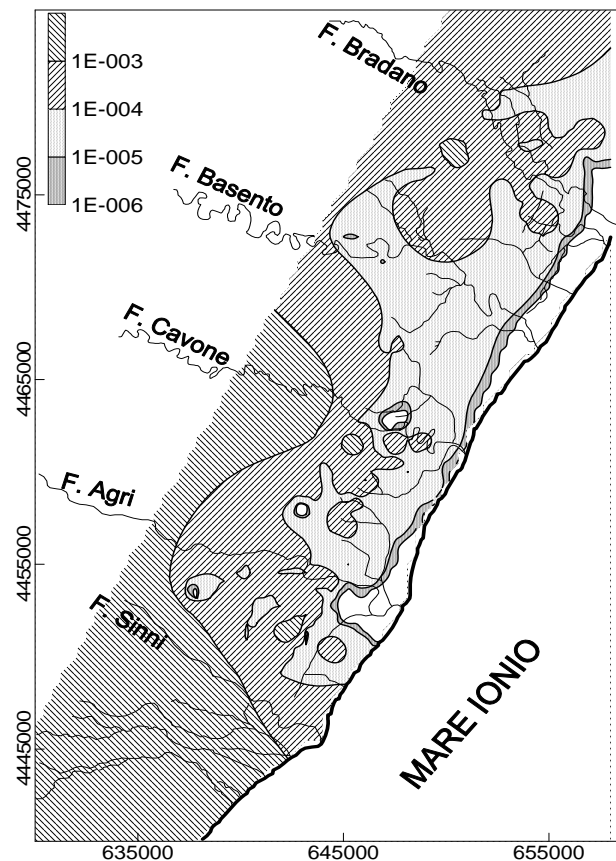


Figura 6: Distribuzione della conducibilità idraulica (m/s).

Il valore medio è pari a $2,28 \cdot 10^{-4}$ m/s e la mediana a $6,53 \cdot 10^{-5}$ m/s. Il valore massimo della conducibilità idraulica è uguale a $5,69 \cdot 10^{-3}$ m/s,

determinato per una portata da pozzo pari a 2,3 l/s e depressione di 0,2 m. Il reticolo idrografico non sembra influenzare l'andamento planimetrico della conducibilità idraulica (Figura 6). La conducibilità idraulica diminuisce muovendosi dall'interno verso la costa e dal Sinni verso il Bradano. La diminuzione di questo parametro vicino alla costa non sembra essere sufficiente a contrastare il pericolo di intrusione marina.

LE CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La caratterizzazione chimico-fisica delle acque sotterranee è scaturita dall'analisi di diversi campioni d'acqua, provenienti da 158 pozzi uniformemente distribuiti su tutta l'area in studio. Un riassunto statistico dei principali parametri chimico-fisici è riportato in Tabella 1.

		T (°C)	pH	TDS a 110°C (mg/l)	CE(*) a 25°C (µS/cm)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
Depositi marini terrazzati	minimo	16,0	6,7	271	348	19	9	27	3	20	1	40
	massimo	22,0	8,6	2310	4000	208	102	549	76	805	372	807
	media	19,3	7,2	868	1333	98	38	142	1	167	127	372
Depositi alluvionali	minimo	16,3	6,7	179	211	6	2	14	4	17	2	11
	massimo	22,3	8,8	3410	9031	160	153	2175	38	2645	804	1251
	media	19,3	7,6	940	1786	54	40	180	15	268	123	334
Depositi costieri	minimo	19,0	6,8	261	446	12	9	33	49	30	37	124
	massimo	20,2	8,3	1487	15052	192	251	2700	71	3000	163	763
	media	19,5	7,7	805	3190	87	64	510	60	661	101	405

Tabella 1: Valori statistici di alcuni parametri chimici principali in relazione ai litotipi affioranti. (*) Conducibilità elettrica delle acque sotterranee.

Si consideri che i dati utilizzati, determinati da terzi, sono stati attentamente validati dal punto di vista statistico e idrogeochimico. Nonostante la cura prestata in tale fase, non si può valutare quale sia l'accuratezza e la precisione raggiunta con tali determinazioni in quanto generalmente non descritta dalle fonti stesse. Le concentrazioni dei costituenti maggiori sono riportati nel Diagramma di Piper (Figura 7) il quale mostra un'alta dispersione dei punti rappresentativi del chimismo delle acque sotterranee. Tale dispersione non può essere semplicemente giustificata in virtù della diversa natura delle fonti utilizzate, in quanto tale dispersione non si riduce in modo apprezzabile ignorando una o più fonti. Nonostante la dispersione dei dati raccolti, la loro distribuzione permette di riconoscere due principali tipi d'acqua: la bicarbonato-alcalina-terrosa e la solfato-clorurato-alcalina. La prima è tipica delle acque prelevate in corrispondenza dei pozzi eseguiti nei depositi marini terrazzati ed alluvionali, mentre la seconda è ascrivibile ai campioni d'acqua dei pozzi ubicati nei depositi della piana costiera.

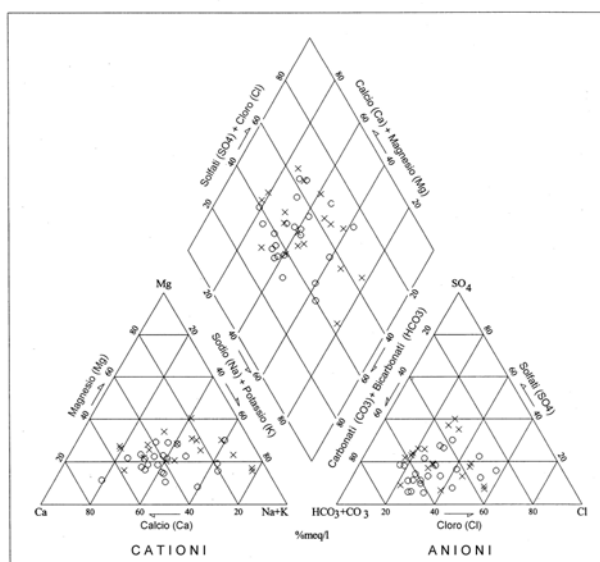


Figura 7: Diagramma di Piper. Campioni di acque sotterranee prelevati ○) dagli acquiferi costituiti dai depositi marini terrazzati e +) dall'acquifero della piana costiera.

Infine, il tipo solfato-clorurato-alcalina-terroso risulta essere molto raro, e caratterizza i campioni d'acqua prelevati in prossimità del fiume Basento, e quindi sembra essere correlabile a fenomeni di inquinamento rivelati in questa zona, descritti nel seguito. Inoltre, è importante ricordare che il bacino imbrifero del fiume Basento è caratterizzato dalle più alte densità abitative e dalla più alta concentrazione di industrie della Basilicata, quindi le stesse acque fluviali sono soggette ad un maggior rischio di inquinamento e, per possibili perdite dal fiume stesso, conseguentemente anche la falda idrica sotterranea ivi presente.

La temperatura delle acque sotterranee, compresa fra i 16°C ed i 22°C, tende ad aumentare verso la costa. Si tratta di un dato da valutare con prudenza in quanto ottenuto con strumentazioni e metodologie varie. In ogni caso, la variabilità della temperatura delle acque sotterranee sembra essere dovuta al progressivo aumento della temperatura dalle aree di alimentazione, poste nell'interno, laddove affiorano i depositi marini terrazzati, che raccolgono le acque di precipitazione meteorica, alle aree di recapito, poste in prossimità delle sorgenti, delle foci fluviali e del mare. Lungo la fascia costiera, dove l'infiltrazione diretta delle acque piovane risulta essere modesta, i tempi di residenza delle acque sotterranee, parametro del quale non si dispone attualmente di dati quantitativi, dovrebbero essere elevati e costituire i massimi assoluti nell'area, se non fosse per l'azione di ricarica svolta dai fiumi. Ciò spiega l'innalzamento progressivo della temperatura per scambio termico fra acque sotterranee e rocce serbatoio. Infine, in prossimità della costa si risente dell'influenza termica del mare.

Il pH varia circa da 6,7 a 9 e tende ad aumentare avvicinandosi alla costa. In prossimità degli alvei fluviali, i valori di questo parametro sembrano essere influenzati dalla presenza delle acque superficiali.

Le maggiori concentrazioni dello ione calcio ed dei bicarbonati sono state misurate nelle zone più interne dell'area in esame mentre quelle più basse sono state registrate per i campioni di acqua prelevati in corrispondenza dei pozzi ubicati in prossimità della costa. Anche in questo caso, seppur meno evidente rispetto al pH, si riscontra un effetto del reticolo idrografico sulla concentrazione di questi ioni.

La concentrazione dello ione magnesio aumenta in prossimità della fascia costiera, maggiormente nel tratto di costa compreso fra i fiumi Bradano e Cavone.

Le notevoli ampiezze degli intervalli di concentrazione definiti da ciascuno dei principali

ioni non possono essere spiegate semplicemente come l'effetto degli errori associati all'uso di fonti diverse, in quanto tali intervalli non si modificano sostanzialmente al ridursi delle fonti. Altresì, esse non sembrano essere connesse all'inquinamento delle acque sotterranee, essendo inoltre quest'ultimo influenzato da fattori locali. Le ragioni di questa variabilità dovrebbero essere ascrivibili ad altri fattori naturali e antropici.

Primo di tutto, gli ambienti deposizionali delle differenti unità litologiche individuate e i processi litogenetici ad esse associate hanno influenzato i caratteri geochimici dei diversi litotipi, costituenti gli acquiferi, e indirettamente anche il chimismo delle acque sotterranee circolanti in essi. Ad esempio, la presenza di intervalli limoso-argillosi nei depositi marini terrazzati e nella piana costiera possono aver favorito l'instaurarsi di scambi ionici tra questi e le acque sotterranee ivi circolanti.

I suddetti fattori naturali e quelli antropici connessi all'inquinamento delle acque fluviali non possono comunque giustificare la maggiore variabilità delle concentrazioni ioniche stimate per le acque sotterranee circolanti nei depositi alluvionali e costieri rispetto a quelle agenti nei depositi marini terrazzati. Di conseguenza, nel caso dell'acquifero costiero l'elevata variabilità può essere connessa ad altri fattori antropici e all'intrusione marina. Tra i fattori antropici, un rilevante contributo è legato alle diffuse ed irrazionali pratiche irrigue. Queste possono comportare sia un surplus di acqua d'irrigazione, nonché l'utilizzo non oculato di concimi e diserbanti, il quale determina immissioni di sostanze chimiche inquinanti negli acquiferi. Inoltre, essendo l'area in studio caratterizzata da un clima semiarido, con elevato tasso di evapotraspirazione potenziale (860 mm come valore medio annuale e 161% in percentuale della piovosità annuale), l'acqua d'irrigazione diventa un elemento importante per le pratiche agricole dell'area e per la vita delle popolazioni ivi presenti, quindi la variabilità osservata può essere connessa alla composizione chimica delle acque di irrigazione. A partire dagli anni sessanta, queste acque sono fornite dalle dighe, in esercizio nei settori montani dei bacini fluviali principali (eccetto il fiume Cavone). Prima dell'utilizzo delle reti di acquedotto alimentate dalle dighe, invece esse erano fornite dai pozzi, come avviene ancora oggi durante i periodi di siccità. Lo sfruttamento intenso delle acque sotterranee, non associato ad una costante ricarica dell'acquifero, e l'utilizzo di sostanze inquinanti aggiunte al suolo, principalmente fertilizzanti, possono determinare un degrado della qualità delle acque sotterranee e

originare una variabilità delle concentrazioni ioniche. Inoltre, un crescente carico di sale e una distribuzione della massa di sale sembrano essere causate dalle pratiche irrigue, quando queste ultime sono alimentate dalle acque dei pozzi, secondo il fenomeno del “ritorno di massa” (Milnes e Renard, 2002).

La sopra menzionata variabilità delle concentrazioni ioniche è relazionata anche alla bassa capacità di drenaggio della piana costiera, che è soggetta a frequenti e vaste inondazioni da parte dei fiumi e, secondariamente, al ruscellamento proveniente dalle alture costituite dai depositi marini terrazzati. L'evaporazione di tali acque è quindi un'altra fonte di sali e di inquinamento, aggiunti al sistema, come già segnalato da Lopez. et al. (1986). Questa situazione è improvvisamente cambiata dagli anni sessanta, quando i lavori di bonifica hanno fortemente ridotto intensità e frequenza degli eventi alluvionali.

EFFETTO DELL'INTRUSIONE MARINA SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE E SUL LORO DEGRADO

In base all'andamento del letto dell'acquifero costiero superficiale rispetto al livello medio del mare, è plausibile che il fenomeno dell'intrusione marina possa coinvolgere un tratto costiero maggiormente esteso procedendo da SO verso NE, come descritto in precedenza. Al fine di delineare la zona costiera maggiormente soggetta al rischio di intrusione salina, sono state analizzate la distribuzione spaziale della salinità (TDS), della conducibilità elettrica e dei cloruri delle acque sotterranee, tutti parametri sensibili all'intrusione dell'acqua marina.

Le più alte concentrazioni di TDS, eccedenti 1.000 mg/l, sono state registrate vicino al litorale e lungo i fiumi Bradano, Basento e Cavone, con alcune eccezioni poco significative. Questa tendenza conferma la stretta relazione esistente tra i fiumi e la circolazione idrica sotterranea dell'area in esame. Si noti che in prossimità della costa il letto degli alvei è posto a quote prossime o inferiori a quelle del mare. Di conseguenza, in assenza di deflussi, durante i periodi di bassa pressione, spirando venti del secondo quadrante e comunque in condizioni di alta marea, il reticolo idrografico può divenire un reale veicolo per l'intrusione di acqua di mare vero l'interno. In tal modo è possibile che l'acqua marina risalga gli alvei e quindi si possa infiltrare nell'acquifero. Tale fenomeno potrebbe spiegare gli aumenti della salinità osservati in alcune aree dell'area in esame, in genere altimetricamente

deprese, poste non a ridosso della costa. Inoltre, la salinità attualmente misurata potrebbe essersi originata allorquando le morfologie delle foci dei fiumi e la posizione della linea di costa erano diverse da quelle attuali.

La conducibilità elettrica delle acque sotterranee (Figura 8) e la concentrazione dei cloruri tendono ad aumentare irregolarmente procedendo verso l'attuale linea di costa, raggiungendo i massimi valori nell'area intorno al fiume Basento. Quest'ultimo fenomeno presumibilmente è connesso alla maggiore densità di dati a disposizione per la zona del Basento.

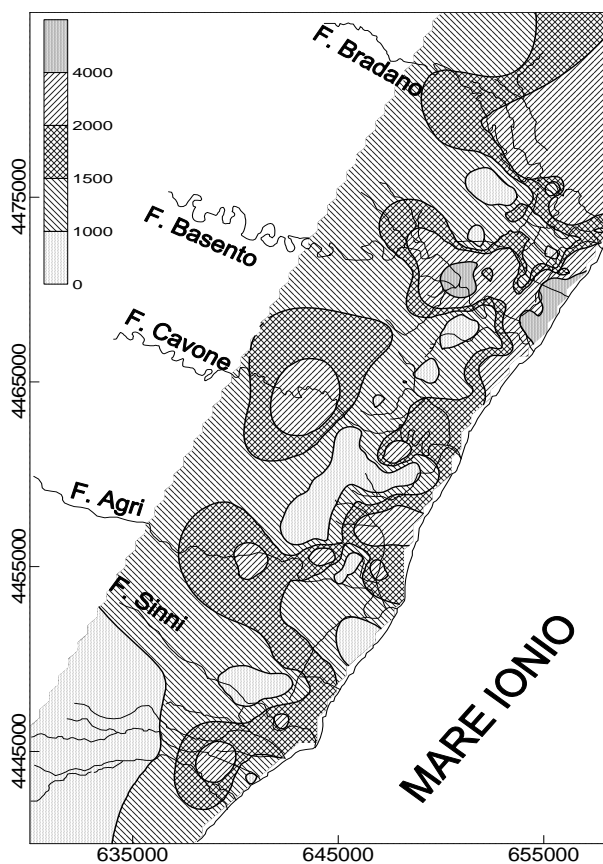


Figura 8: Carta della conducibilità elettrica delle acque sotterranee ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C).

L'analisi combinata dei parametri sopra menzionati evidenzia quanto gli effetti dell'intrusione marina si risentano in una porzione del litorale ionico in esame, ampia fino a 2,5 km, con una larghezza media pari a 1-1,5 km. Le zone costiere maggiormente soggette a tale fenomeno sono localizzate fra il Basento e l'Agri.

Il ruolo giocato dall'intrusione dell'acqua di mare e dagli scambi ionici che intercorrono tra le acque fluviali e l'acquifero sotterraneo è stato confermato dai valori calcolati per i rapporti

caratteristici più significativi: $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, Na^+/Cl^- , $(\text{Na}^++\text{K}^++\text{Cl}^-+\text{SO}_4^{2-})/(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}+\text{HCO}_3^-)$. In particolare, l'ultimo rapporto caratteristico enunciato, quando eccede l'unità, segnala l'eventualità di contaminazione per intrusione di acqua marina (Cotecchia & Magri, 1966). Tale effetto si osserva lungo una striscia di acquifero, che dalla costa si estende fino ad un massimo di circa 3 km verso l'interno.

Alla luce dei risultati ottenuti dalle elaborazioni eseguite, è possibile confermare che gli effetti dell'intrusione dell'acqua marina siano presenti in prossimità della linea di costa, come già evidenziato da precedenti studi (Radina, 1956; Polemio & Mitolo, 1999). Inoltre, questo fenomeno è risultato essere maggiormente evidente per una porzione dell'acquifero costiero, la cui larghezza tende ad aumentare dal fiume Sinni verso il fiume Bradano. Infatti, la larghezza è pari a circa 1÷1,5 km nella zona costiera fra il Sinni e la sponda destra del fiume Cavone, mentre giunge fino a circa 5 km intorno al fiume Basento e fino alla sponda destra del fiume Bradano.

Una valutazione cartografica quantitativa dell'area a rischio di intrusione marina è stata effettuata con un metodo originale e semplice, basato sulla relazione di Gyben-Herzberg (Davis e De Wiest, 1991). In particolare, applicando metodologie GIS, è stato determinato l'andamento planimetrico della quota dell'interfaccia netta, sulla base del fattore di densità pari a 37 e considerando l'andamento della superficie piezometrica (Figura 9). Tale determinazione è stata effettuata per tutto il territorio, discretizzato con una griglia quadrata larga 400 metri. La quota dell'interfaccia netta è stata confrontata con quella del letto dell'acquifero. Laddove il letto dell'acquifero soggiace all'interfaccia netta, l'area risulta a rischio di intrusione marina e individua l'Area a Rischio di Intrusione marina Attuale (ARIA) riportata in Figura 9. L'ARIA si estende lungo costa con un'ampiezza variabile e coerente con quanto emerso dalla caratterizzazione chimico-fisica delle acque (Figura 9).

Il rischio di inquinamento salino per intrusione marina non è solo potenziale, come mostrato in più modi, ma anche concreto, come confermato per via chimico-fisica.

I danni arrecati alla qualità delle acque sono accentuati dalla consuetudine di realizzare i pozzi fino a raggiungere il letto dell'acquifero, anche al di sotto del livello del mare, senza considerare neanche la posizione teorica dell'interfaccia acque di falda-acque di intrusione.

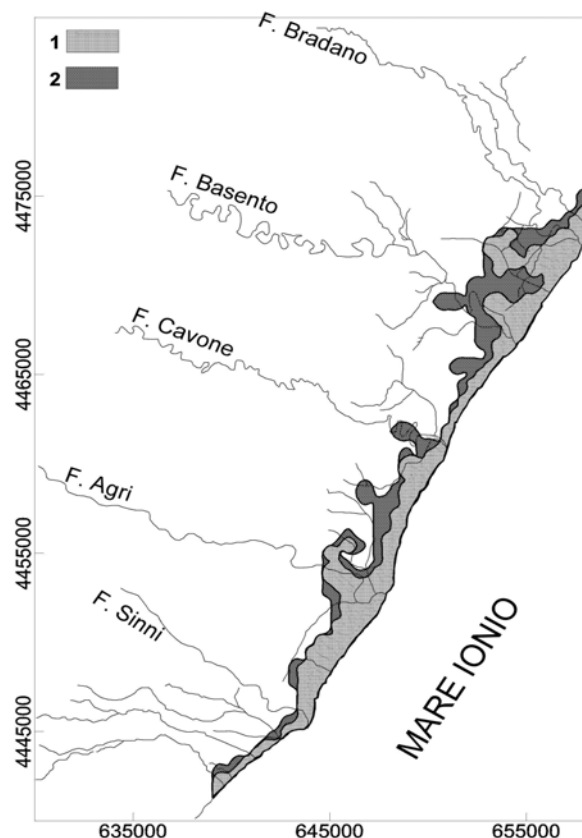


Figura 9: Carta di valutazione del rischio di intrusione marina: 1) Area a Rischio di Intrusione marina Attuale (ARIA), 2) Area a Rischio di Intrusione marina in Estensione (ARIE).

Il rischio aumenta se la differenza fra le quote dell'interfaccia netta e quella del letto dell'acquifero aumenta. Qualora, come nel caso in esame, si temano gli effetti del sovrasfruttamento delle acque sotterranee, la metodologia si presta ad una valutazione preliminare dell'estendersi delle aree a rischio di intrusione marina. Per semplicità, in questo caso è stato ipotizzato un abbassamento omogeneo della superficie piezometrica uguale a 1 m. Si determina così una seconda zona, che si potrebbe definire l'Area a Rischio Intrusione marina per Sovrasfruttamento (ARIS). Sottraendo all'ARIS l'ARIA si ottiene l'Area a Rischio Intrusione marina in Estensione (ARIE), rappresentata in Figura 9. Si noti che per quanto trattasi di una preliminare valutazione del rischio, effettuata con un approccio semplice, la cui originalità non permette confronti critici con altri casi di studio, i risultati, determinati considerando la superficie piezometrica e la superficie del letto dell'acquifero, sembrano essere estremamente coerenti con gli andamenti planimetrici dei parametri fisico-chimici considerati significativi per l'intrusione marina.

Ogni parametro analizzato conferma la natura degli effetti ed il ruolo dell'intrusione marina sulla

degradazione della qualità dell'acqua sotterranea del litorale della piana costiera in esame.

INQUINAMENTO E QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE

L'impatto sull'ambiente delle attività agricole è diventato un problema serio nei paesi industrializzati. L'eutrofizzazione causata da un eccesso di sostanze nutritive nelle acque rappresenta uno dei possibili impatti ambientali dell'agricoltura e della zootecnia. In particolare, l'eccesso di nitrati rappresenta uno delle più importanti cause di degradazione della qualità delle acque e il rilascio degli stessi nelle aree agricole è generalmente maggiore del consumo dell'ecosistema naturale.

Nell'area oggetto di studio, il diretto contributo antropico alla degradazione della qualità delle acque sotterranee è rilevante in termini di concentrazione di nitrati, con valori che talvolta superano i 100 mg/l, ma non solo. Va ricordato che i nitrati, presenti in modo rilevante negli acquiferi dell'area, sono uno dei più mobili e persistenti contaminanti agricoli (Böhkle, 2002).

Dal punto di vista qualitativo, come peraltro ben evidenziato dalla carta dei nitrati (Figura 10) si rileva una diffusa presenza degli stessi sul territorio, fortemente quest'ultimo a vocazione agricola; tale presenza e diffusione è quindi imputabile ad un uso intensivo di sostanze fertilizzanti. Una stretta relazione è stata evidenziata tra le proprietà dei suoli e la distribuzione dei nitrati così come tra la concentrazione dei nitrati e la permeabilità del suolo e del non saturo. Infatti, le aree soggette a una maggiore contaminazione di nitrati (Figura 10) sono caratterizzate dalla presenza di suoli, da sabbioso a sabbioso-limoso, con elevati valori di permeabilità. Inoltre, le concentrazioni dei nitrati sembrano essere relazionate all'uso intenso di fertilizzanti nelle pratiche agricole mentre, solo in aree ridotte, alle attività urbane.

Lo scarso contenuto naturale di azoto presente nel suolo non giustifica l'arricchimento di composti azotati misurati nelle acque sotterranee.

Le maggiori concentrazioni di ammoniaca, superiori a 0,5 mg/l, sono state misurate in due distinte aree.

La prima, caratterizzata anche da elevate concentrazioni di nitrati, ricade fra i fiumi Agri e Sinni, dove sono presenti due importanti centri abitati (Scanzano Jonico e Policoro) mentre la seconda è ubicata vicino Metaponto. Presumibilmente, le elevate concentrazioni di ammoniaca sono ascrivibili alle perdite delle reti di

fognatura e comunque all'inquinamento indotto dalle aree urbane ivi presenti.

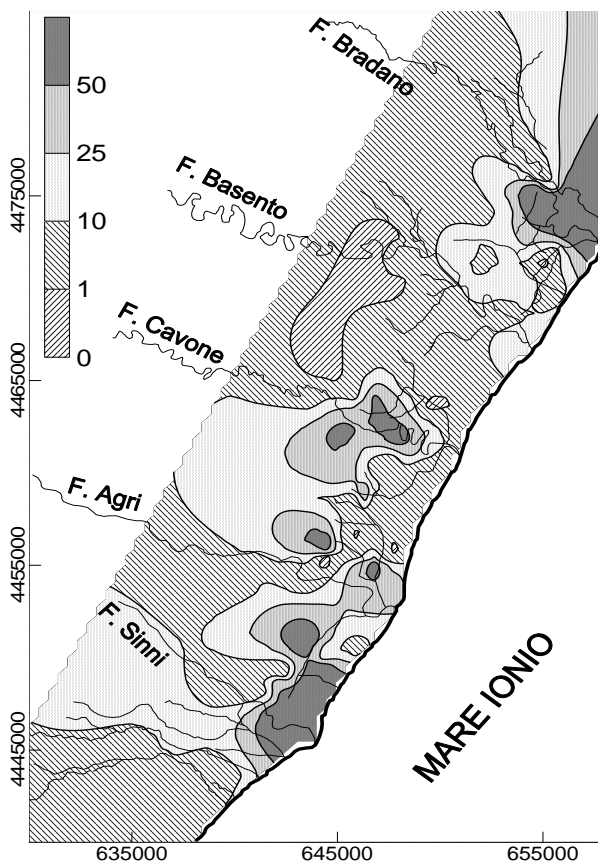


Figura 10: Carta dei nitrati (mg/l).

Lo stesso inquinamento batteriologico e la presenza di alcuni metalli (ad es. Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , As^{3+} , Zn^{2+}) osservati per alcuni campioni di acqua analizzati sono da relazionare essenzialmente a fattori antropici (scarichi urbani, attività zootecniche, inquinanti rilasciati nelle acque dei fiumi ecc.) e solo secondariamente a fattori naturali.

Infine, l'area compresa fra i fiumi Bradano e Basento mostra una situazione alquanto diversificata con una concentrazione di sostanze inquinanti di varia estrazione. Si rileva la presenza di coliformi totali e fecali, in concentrazioni elevate (talvolta superiori ai 15 MPN/100ml), associati ad altri parametri quali gli elementi costituenti il ciclo dell'azoto. Significativa è anche la presenza di elementi cancerogeni quali l'arsenico, lo zinco e il rame. Tale aspetto è sintomo di un malessere generale delle acque circolanti nel sottosuolo dovuto alle attività antropiche ivi presenti. Per quanto tale area sia stata meglio caratterizzata nel tempo, non sorprende che tali risultati si associno ad un fiume a cui si affida il maggiore carico inquinante e che, data la sua configurazione idrogeologica, al tempo

stesso è in grado di cedere acque al sottostante acquifero costiero.

CONCLUSIONI

Le caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi sono state analizzate per una vasta zona costiera dell'Italia meridionale, soggetta ad un clima semiarido ed afflitta da sempre più frequenti siccità.

Le serie storiche piezometriche considerate hanno mostrato caratteri tendenziali variabili in funzione dei principali interventi antropici capaci di modificare il ciclo idrologico. La piovosità annua in calo significativo, la temperatura annua appena crescente e il deflusso fluviale annuo in forte calo, non forniscono ragioni di ottimismo in relazione alla disponibilità di risorse idriche sotterranee nella Piana di Metaponto. In particolare preoccupa il crescente emungimento in atto in virtù della siccità e la crescente derivazione di acque fluviali altrimenti destinata alla ricarica degli acquiferi.

L'inquadramento geologico e idrogeologico indica che la qualità delle risorse idriche sotterranee dell'area costiera in esame è soggetta ad una progressiva degradazione, connessa essenzialmente a due fenomeni: la contaminazione salina e l'inquinamento chimico-fisico e biologico.

Il fenomeno dell'intrusione marina sta riducendo la disponibilità delle acque sotterranee di buona qualità nelle aree prossime al litorale. Infatti, alla luce dell'analisi dei dati fisico-chimici raccolti, la larghezza della fascia litoranea, sottoposta al maggiore effetto di intrusione dell'acqua di mare, sembra aumentare spostandosi nella direzione NE, per circa 1÷1,5 chilometri, fra il fiume di Sinni e la riva destra del fiume Cavone, fino a circa 5 km, nel settore litoraneo intorno al fiume Basento e in destra del fiume Bradano.

E' stata altresì redatta una preliminare carta dell'andamento delle aree a rischio di intrusione marina, sia in condizioni normali che per sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee.

Il contributo antropico alla degradazione della qualità delle acque sotterranee è presente specialmente in due aree. La prima è localizzata tra i fiumi Agri e Cavone, la seconda tra i fiumi Basento e Bradano. In entrambe queste aree il suolo nonché il non saturo sono caratterizzati da una maggiore permeabilità, favorendo in tal modo l'infiltrazione degli inquinanti nell'acquifero costiero.

Sono state inoltre rilevate aree contraddistinte da inquinamento batteriologico nonché dalla presenza di metalli, sostanze tossiche e nocive, anche cancerogene.

I risultati, sinora conseguiti, evidenziano la necessità di continuare ed intensificare l'attività di ricerca su questi acquiferi e l'utilità di stabilire criteri per la gestione sostenibile delle risorse idriche sotterranee e generalmente del ciclo dell'acqua.

BIBLIOGRAFIA

ANAS (1998) - *Prove in sito e in laboratorio finalizzate alla progettazione esecutiva dell'adeguamento a 4 corsie dal km 19+100 al km 39+132 della S.S. 106 Jonica*

Böhlke J. K. (2002) - Groundwater recharge and agricultural contamination. *Hydrogeology Journal*, 10, 1, 153-179.

Bozzano F., Sgarascia Mugnozza G. (1994) - *I fenomeni di erosione nell'area dei terrazzi marini dell'arco ionico-lucano*. *Geologica Romana*, 30, 769-778.

Bozzano F., Guadagno F. M., Sgarascia Mugnozza G. & Valentini G. (1991) - *Nuovi dati sull'erosione nelle valli lucane nord-orientali lucane*. Atti I Convegno Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Gargnano (Bs), 22-23 ottobre 1991, 517-526.

Brückner H. (1980) - *Marine Terrassen in Südtalien, Eine quartärmorphologische Studie über das Küstentiefland von Metapont*. *Düsseldorfer Geographische Schriften*, 14, 1-235.

Capaldi C., Civetta L., Lirer L., Munno R. (1979) - *Caratteri petrografici ed età K/Ar delle cineriti intercalate nelle formazioni pleistoceniche della Fossa Bradanica*. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 24, 493-501.

Ciaranfi N., Ghisetti F., Guida M., Iaccarino G., Lambiase S., Pieri P., Rapisardi L., Ricchetti G., Torre M., Tortorici L., Vezzani L. (1983) - *Carta Neotettonica dell'Italia meridionale*. Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR, (515).

Ciaranfi N., Marino M., Sabato L., D'Alessandro A., De Rosa R. (1996) - *Studio stratigrafico di una successione infra e mediopleistocenica nella parte sudoccidentale della Fossa bradanica (Montalbano Ionico, Basilicata)*. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 115, 379-391.

Ciaranfi N., Pieri P., Ricchetti G. (1988) - *Note illustrative alla carta geologica delle Murge e del*

- Salento (Puglia centro-meridionale). Mem. Soc. Geol. It., 41, 449-460.
- Cocco E., Cravero E., Di Geronimo S., Mezzadri G., Parea G. C., Pescatore T., Valloni R., Vinci A. (1975) - *Lineamenti geomorfologici e sedimentologici del litorale alto ionico (Golfo di Taranto)*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 993-1051.
- Cotecchia V., Magri G. (1966) - *Idrogeologia del Gargano*. Geol. Appl. e Idrog., 1, 1-86.
- Cotecchia V., Magri G. (1967) - *Gli spostamenti delle linee di costa quaternarie del Mar Ionio fra Capo Spulico e Taranto*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 2, 3-28.
- Cotecchia V., Dai Pra G., Magri G. (1971) - *Morfogenesi litorale olocenica tra Capo Spulico e Taranto nella prospettiva della protezione costiera*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 6, 65-78.
- Cotecchia V., Polemio M., Ricchetti E. (1991) - *Studio delle caratteristiche morfoevolutive del fondovalle del F. Basento fra Pisticci e la foce, finalizzato all'ottimizzazione dell'intervento antropico*. Mem. della Soc. Geol. It., 47, 587-608, Roma.
- Davis S. N., De Wiest R. J. (1991) - *Hydrogeology*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- Doglioni C., Tropeano M., Mongelli F., Pieri P. (1996) - *Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: an "anomaly" in the Apenninic foreland*. Mem. Soc. Geol. It., (52), 457-468.
- Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania (1952÷1956) - *Stratigrafie dei pozzi*.
- Guerricchio A., Melidoro G. (1986) - *Problematiche di geologia applicata lungo la fascia costiera ionica del golfo di Taranto*. ENEA, Convegno "Ricerche Energia della Trisaia", Evoluzione dei Litorali, Problematiche relative al golfo di Taranto, Rotondella, 16-17 ottobre, 3-29.
- Lopez G., Ascione S., Marrone G. (1986) - *Caratteri fisico - chimici dei suoli e delle acque di falda di un ambiente del litorale ionico lucano*. Annali Istituto Sperimentale Agronomico, 17, 49-65.
- Milnes E., Renard P. (2002) - *Assessment of seawater intrusion vs. mass return flow from irrigation in the Kiti coastal aquifer system (Southern Cyprus) based on filed investigations and three-dimensional finite element simulations*. Proceeding 17th SWIM, Delfth, May 2002.
- Ministero dell'Ambiente (1990) - *Area d'indagine diretta - 3, Costiera ionica metapontina*.
- Ministero dell'Ambiente (1999) - *Progetto PRISMAS "Sorveglianza e monitoraggio qualitativo acque sotterranee"*.
- Ministero LL.PP. (1937) - *Le sorgenti italiane. Elenco e descrizione: Lucania (Bacini con foce al litorale Ionico)*. Pubblicazione n.14 del Servizio Idrografico, Sezione di Catanzaro, Vol. V.
- Pieri P., Sabato L., Tropeano M. 1996. *Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa Bradanica nel Pleistocene*. Memorie Società Geologica Italiana, 51, 501-515.
- Polemio M., Ricchetti E. (1991) - *Caratteri idrogeologici dell'acquifero della piana costiera di Metaponto (Basilicata)*. Ricerca Scientifica e Istruzione Permanente, 93, 417-426.
- Polemio M., Mitolo D. (1999) - *La vulnerabilità dell'acquifero della piana costiera di Metaponto*. In: Proc. "Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo", Accademia Nazionale dei Lincei, 423-428.
- Polemio M., Dragone V., Limoni P.P., Mitolo D., Santaloia F. (2002) - *Extended report of CNR-CERIST unit on deliverables: first year of activity. European research project "CRYSTECHSALIN"*.
- Polemio M., Dragone V. - *Gli effetti antropici e climatici sulla disponibilità delle acque sotterranee della piana ionico lucana*. Atti del Convegno AIGA, 2003 (in corso di stampa).
- Polemio M., Limoni P.P. (2001) - *L'evoluzione dell'inquinamento salino delle acque sotterranee della Murgia e del Salento*. Mem. Soc. Geol. It, 56, 327-331.
- Polemio M., Limoni P.P., Mitolo D., Santaloia F. (2002a) - *Characterisation of ionian-lucanian coastal plain aquifer*. XXXII IAH & ALHSUD Congress, Mar della Plata, Argentina, 21-25 October 2002, in corso di stampa.

Polemio M., Limoni P.P., Mitolo D., Santaloia F. (2002b) - *Characterisation of ionian-lucanian coastal aquifer and seawater intrusion hazard*. 17th Salt Water Intrusion Meeting, , 6 to 10 May 2002b, Delft, Netherlands in corso di stampa.

Polemio M., Limoni P.P., Mitolo D., Santaloia F. (2002c) - *Nitrate content characterisation of ionian coastal groundwater*. Proc. of IAH Eurometing, Nitrate in Groundwaters in Europe, Wisła, 4-7 of June 2002.

Provincia di Matera (1990) - *Catasto degli scarichi della provincia di Matera*. IEM EDITRICE MATERA.

Radina B. (1956) - *Alcune considerazioni geoidrologiche sulla fascia costiera jonica compresa fra i fiumi Bradano e Sinni*. Geotecnica, 1, 3-11.

Regione Basilicata (1989) - *Piano di risanamento delle acque della Regione Basilicata*. IEM EDITRICE MATERA.

Regione Basilicata (1990) - *Indagine Idrogeologica per l'individuazione di falde acquifere sotterranee lungo l'arco ionico Metapontino*

SIMN (1927-2000) - *Annali Idrologici*. Parte I e II, Sezione Idrografica di Catanzaro, Roma.

SIMN (1937) - *Le sorgenti italiane. Elenco e descrizione: Lucania*. Pubblicazione n. 14 del SIMN, Sezione di Catanzaro, Vol. V, Roma.

Spilotro G., Di Bratto M., Cecilia G., Leandro G. (1998) - *Evoluzione recente del litorale alto ionico compreso tra la foce Sinni e Foce Bradano*. Atti del Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia Applicata, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Potenza, 1.98, 3-46.

Tropeano M., Sabato L., Pieri P. (2001) - *The Quaternary "Post-turbidite" sedimentation in the South-Apennines Foredeep (Bradanic Trough-Southern Italy)*. Bollettino Società Geologica Italiana, in press.

Tropeano M., Sabato L., Pieri P. (2002) - *Filling and cannibalization of a foredeep: the Bradanic Trough, southern Italy*. In: Jones S.J. & Frostick L.E. (eds) *Sediment Flux to Basins: Causes, Controls and Consequences*, Vol. 191, Geological Society of London, Special Publications, 55-79., London.