

# Mappatura speditiva della qualità delle acque sotterranee pugliesi<sup>(\*)</sup>

M. Polemio<sup>(1)</sup>, P.P. Limoni<sup>(2)</sup>

**Riassunto.** È stata applicata una metodologia che, attraverso l'utilizzazione di un determinato numero di parametri analitici (chimico-fisici e sostanze indesiderabili), permette la classificazione e la mappatura speditiva della qualità delle acque sotterranee. Nel caso dei vasti acquiferi pugliesi ci si basa su precedenti esperienze scientifiche, sperimentandole e modificandole in funzione delle specificità idrogeologiche.

[Parole chiave: *acque sotterranee, classificazione della qualità, risorse idriche*]

**Abstract.** A methodology is proposed for groundwater quality classification, using a restricted number of analytical parameters (chemical-physical and not desirable substances). For Apulian aquifers, the authors experiment and modify previous scientific experiences in relation to the hydrogeological specific setting.

[Key words: *groundwater, quality classification, water resources*]

## 1. PREMESSA

È di rilevante interesse, soprattutto da parte delle Autorità preposte alla pianificazione territoriale, avere a disposizione quadri sinottici conoscitivi che caratterizzino le risorse idriche sotterranee, non solo in termini di quantità disponibili, ma anche sotto il profilo della qualità delle risorse stesse. Questo

secondo aspetto è fondamentale per l'individuazione delle condizioni vocazionali d'uso delle risorse. Pertanto, le metodologie che permettono la valutazione della qualità delle acque sotterranee sono uno strumento di fondamentale importanza per definire le più opportune strategie di utilizzo e di salvaguardia delle risorse idriche sotterranee, non solo, come spesso accade, in aree in cui le acque sotterranee sono già in forte degrado, ma soprattutto in relazione a quelle risorse poco utilizzate, di buona qualità, da ritenersi fonti di approvvigionamento integrative o di emergenza.

Gli studi di valutazione specifica della qualità delle acque sotterranee risultano poco numerosi e si limitano a ricerche effettuate su aree ove è già in atto l'inquinamento delle risorse idriche sotterranee. Metodologie e procedure per la definizione del profilo idrogeochimico delle acque sotterranee sono note nella letteratura tecnico-scientifica e nella pratica applicativa (diagrammi di Schoeller-Berkaloff, Piper, Ludwig-Langelier, ecc.), come pure i riferimenti normativi per giudicare l'idoneità dell'acqua per differenti usi, o le raccomandazioni tecniche. Queste ultime metodologie richiedono in genere numerose determinazioni da effettuarsi con procedure standard, con ricerche finalizzate e con costi elevati.

Tali approcci non soddisfano la domanda di caratterizzazione speditiva e sintetica della qualità delle acque sotterranee su ampie aree, basata magari sulla valorizzazione dei dati già disponibili, come contributo sia ad una corretta valutazione delle risorse idriche potenzialmente disponibili per i differenti usi sia alla salvaguardia delle stesse. CIVITA et al. (1993a e 1993b) hanno definito una metodologia di classificazione e mappatura della qualità di base delle acque sotterranee attraverso l'utilizzazione di

<sup>(\*)</sup> Pubblicazione n. 2010 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche. U.O.4.14 (CNR - CERIST, BARI), Responsabile Prof. VINCENZO COTECCHIA.

<sup>(1)</sup> CNR-CERIST, Via Orabona 4, 70100, Bari, Email: polemio@area.ba.cnr.it.

<sup>(2)</sup> Geologo, collaboratore esterno CNR CERIST.

un determinato numero di parametri, che risponde a tale domanda.

Nel caso in esame, si riprende la stessa metodologia, apportando alcune modifiche, per delineare in modo rapido e sintetico lo stato delle acque sotterranee pugliesi, stato che si pone in relazione ai vari utilizzi per i quali le acque sono idonee. La metodologia, per i suoi specifici presupposti, prevede l'utilizzazione di un determinato numero di parametri chimico-fisici (durezza totale, salinità, solfati e cloruri) e di sostanze indesiderabili (nitrati, ammoniaca, ferro e coliformi fecali) presenti nelle acque sotterranee, che svolgono un ruolo rilevante nella caratterizzazione delle condizioni generali di qualità delle risorse sotterranee. I parametri sono stati selezionati in funzione della loro frequente disponibilità nelle banche dati idrogeologiche pugliesi, della relativa semplicità di determinazione in laboratorio e della loro significatività in relazione alle differenti caratteristiche idrogeologiche e delle fonti di inquinamento per le acque sotterranee pugliesi.

amento per le acque sotterranee pugliesi.

Il criterio di classificazione non tiene conto di stati d'inquinamento generati da particolari sostanze di origine esclusivamente antropica (quali ad esempio solventi, pesticidi ecc.). La metodologia integra aspetti a contenuto normativo con altri di carattere tecnico-industriale per il miglioramento qualitativo dell'acqua prima dell'uso, facendo riferimento soprattutto al comparto idropotabile.

## 2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Le unità idrogeologiche della regione Puglia sono quattro: Gargano, Tavoliere, Murgia e Salento (fig. 1). Per una più dettagliata caratterizzazione delle quattro unità idrogeologiche, qui brevemente delineata, si rimanda, per un approfondimento, alle note di COTECCHIA & MAGRI (1966), COTECCHIA & POLEMIO (1999), GRASSI (1983), IPPOLITO et al. (1958); SPIZZICO & TADOLINI (1997), TULIPANO & FIDELIBUS

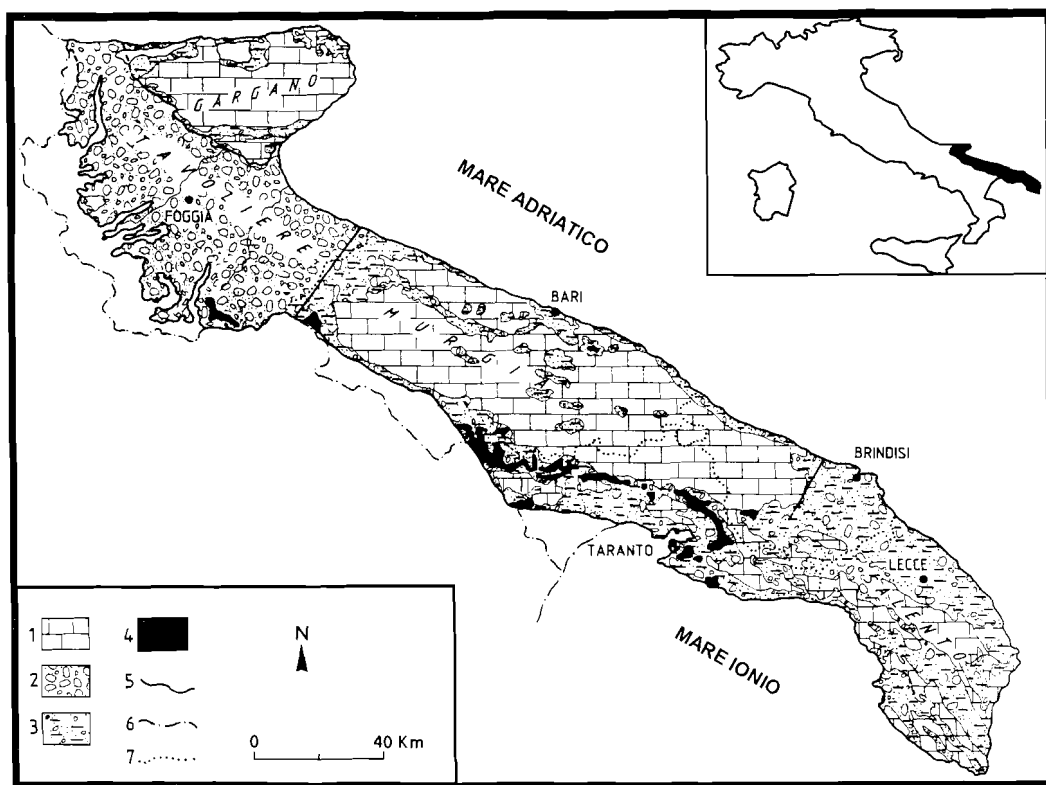


Figura 1. Unità idrogeologiche della Puglia (da COTECCHIA & POLEMIO, 1998). 1) Rocce carbonatiche affioranti nel Gargano, della Murgia e nel Salento, 2) unità idrogeologica del Tavoliere, principalmente costituita da conglomerati e sabbie, 3) acquiferi superficiali e litotipi permeabili, calcareniti, sabbie argillose, sabbie, ghiaie o conglomerati, 4) litotipi poco permeabili, argille e argille marnose, 5) limite delle unità idrogeologiche, incerto dove tratteggiato, 6) confine regionale, 7) confine provinciale.

(1993), ZEZZA (1975) e alle relative bibliografie.

Eccetto il Tavoliere, le restanti unità idrogeologiche hanno in comune alcuni aspetti. Sono caratterizzate da ampi e potenti acquiferi con sede nelle rocce calcaree e/o calcareo-dolomitiche del Mesozoico. Gli acquiferi, interessati da fenomeni carsici, hanno un grado di fratturazione variabile nelle tre dimensioni, e mostrano, a luoghi, un'elevata permeabilità.

Sia nel Gargano che nella Murgia, la circolazione idrica sotterranea è in pressione, eccetto lungo una ristretta fascia costiera. Le quote piezometriche massime sono elevate, pari a circa 50 m s.l.m. nel caso del Gargano e 200 m s.l.m. nel caso della Murgia.

Nel Salento la circolazione idrica sotterranea è prevalentemente freatica. L'unità idrogeologica del Salento è caratterizzata quindi da un'estesa falda idrica sotterranea, denominata «profonda» per distinguerla da altre numerose falde idriche rinvenibili in acquiferi poco potenti ed estesi, generalmente affioranti. La falda idrica profonda del Salento raggiunge quote piezometriche di pochi metri al di sopra del livello del mare (al massimo 4÷5 m s.l.m.).

L'unità idrogeologica del Tavoliere è caratterizzata da un acquifero poroso la cui circolazione idrica sotterranea, a letto limitata da una formazione argillosa potente alcune centinaia di metri, avviene in condizioni freatiche nella parte più interna del territorio e in pressione più a valle, fino alla costa. La superficie piezometrica della falda idrica superficiale si rinviene ad una quota massima di circa 300 m s.l.m., nelle zone più interne. Solo nei pressi della costa l'acquifero è abbastanza profondo da permettere l'intrusione marina.

### 3. METODOLOGIA APPLICATA

La classificazione e la mappatura speditiva costituiscono un semplice metodo di lavoro che consente

di caratterizzare, preliminarmente e a scala utile sia alla pianificazione territoriale sia alla gestione delle risorse idriche sotterranee di vasti acquiferi, la qualità delle acque sotterranee. Il metodo risulta particolarmente versatile e di pratico utilizzo in quanto l'analisi cartografica può essere aggiornata nel tempo, tramite l'ausilio di semplici software cartografici oggi ampiamente disponibili anche per piattaforme hardware di costo non elevato. È evidente che tali metodologie non sono alternative alla valutazione completa della qualità delle acque sotterranee, che potrà essere definita solo attraverso dettagliate determinazioni analitiche, ad ampio spettro, in relazione all'uso ipotizzato e per le aree di effettivo utilizzo.

Alla base della classificazione vi è l'allegato I del DPR 236/88, relativo alla qualità delle acque destinate al consumo umano; i parametri prescelti, selezionati fra quelli chimico-fisici e le sostanze indesiderabili, sono riportati in tab. I. La loro selezione è stata guidata da alcune considerazioni sullo specifico ruolo e significato degli stessi nel profilo idrochimico delle acque sotterranee, con particolare attenzione al caso pugliese.

L'attualità del tipo di metodologia proposta è enfatizzata dall'emanazione del D.L. 152/1999, che tra numerosi interventi significativi per la salvaguardia delle risorse idriche, ribadisce l'importanza del monitoraggio dello stato delle risorse idriche in genere e prevede, in particolare, anche la classificazione della qualità di tutte le risorse idriche sotterranee. Al momento della pubblicazione del D.L. 152/1999 questa nota era già sostanzialmente in uno stato di avanzata elaborazione, la cui ultimazione non è quindi stata influenzata dalla normativa stessa. Si ritiene così opportuno segnalare che la normativa prevede espressamente, fra le attività da svolgere per un corretto monitoraggio delle acque, la determinazione delle caratteristiche idrochimiche delle acque sotterranee. In tale contesto, sono espressamente

**Tabella 1. Parametri considerati nella classificazione con relativi Valori Guida (VG) e Concentrazioni Massime Ammissibili (CMA), se riportate dal DPR 236/88.**

<i>Parametri chimico-fisici</i>	<i>VG</i>	<i>CMA</i>	<i>Sostanze indesiderabili</i>	<i>VG</i>	<i>CMA</i>
Durezza totale (°F)	–	–	nitrati (mg/l)	5	50
Salinità (mg/l)	–	1500	ammoniaca (mg/l)	0.05	0.5
Cloruri (mg/l)	25	–	ferro (mg/l)	50	200
Solfati (mg/l)	25	250	coliformi fecali (per 100 ml)	–	assenti

citati dei parametri di base da utilizzare per la classificazione; tali parametri coincidono con quelli riportati in tab. 1, fatta eccezione del manganese, sostituito dagli scriventi con i coliformi fecali, e della durezza totale, non prevista nel nuovo D.L. Lo stesso decreto indica dei parametri addizionali da poter utilizzare, ciò a conferma che per una preliminare ma significativa caratterizzazione qualitativa delle acque sotterranee sono sufficienti pochi ma mirati parametri. Per la classificazione la normativa delinea cinque classi; sostanzialmente coincidenti con i campi di valori proposti e nel seguito descritti.

I parametri chimico-fisici (durezza totale, salinità, solfati e cloruri), detti del gruppo 1, indicano generalmente una condizione naturale delle acque, essendo correlabili a determinate situazioni idrogeochimiche, e solo occasionalmente, a scadimento qualitativo indotto antropicamente. Le sostanze indesiderabili (nitrati, ammoniaca, ferro e coliformi fecali), detti parametri del gruppo 2, indicano invece la presenza di attività antropiche sul territorio che influenzano in modo sostanziale la qualità delle acque sotterranee. In particolare, i nitrati sono un parametro guida di una contaminazione dovuta ai suoli coltivati, ma mostrano, in generale, anche una sofferenza dell'acquifero per un eccesso di carico antropico, diffuso in aree vulnerabili (TULIPANO & FIDELIBUS, 1993). In tal senso, la regione pugliese, per le sue particolari caratteristiche geologiche ed idrogeologiche, è quanto mai soggetta a fenomeni d'inquinamento delle acque sotterranee, essendo dotata di un grado di vulnerabilità medio-alto. L'ammoniaca ed il ferro (congiuntamente a valori molto bassi o negativi del potenziale di ossido-riduzione) sono spesso associati ad acquiferi confinati, con acque soggette a fenomeni modificatori dovuti ad un ambiente riducente; solo in condizioni idrogeologiche opposte la loro presenza, in concentrazione sensibili, è riferibile a fenomeni di degrado antropico. Infine, le elevate concentrazioni di coliformi fecali, parametro che sostituisce il manganese dell'originaria classificazione proposta da CIVITA et al. (1993a e 1993b) sia per la maggiore significatività in Puglia, soggetta a periodiche crisi sanitarie, fortemente correlate alla cattiva gestione del ciclo dell'acqua in relazione alla notevole vulnerabilità idrogeologica del territorio, sia per la limitata disponibilità del secondo parametro nelle banche dati, sono un preciso indicatore di cattiva protezione delle acque e d'inquinamento antropico (CAPUTO et al., 1995). Infatti, il ritrovamento di coliformi fecali nelle acque sotterranee pugliesi si associa ad un ridotto effetto di attenuazione del carico inquinante dovuto alla so-

stanziale assenza dell'effetto del suolo, all'elevata presenza di insediamenti civili sparsi sul territorio agricolo ed a centri abitati che, spesso sprovvisti di sistemi di depurazione e/o di collettamento delle acque reflue, scaricano direttamente nel sottosuolo.

La classificazione proposta valuta ciascun parametro in tre classi, distinguendo in due gruppi di parametri (tab. 2). Le classi sono: ottimale (classe A), media (classe B) e scadente (classe C). Per la definizione degli intervalli di valori delle varie classi sono stati considerati, ove presenti, il Valore Guida (VG) e la Concentrazione Massima Ammissibile (CMA) previsti nel DPR 236/88.

Le possibili combinazioni statistiche delle classi della qualità delle acque sotterranee sono 9. Operativamente, con l'uso della tab. 2, si associano i valori di ciascun parametro, rinvenienti dalle analisi disponibili, alle rispettive classi. Per convenzione, nella definizione della qualità delle acque si indica prima la classe dei parametri del gruppo 1, poi quelli del gruppo 2; per esempio, qualora tutti i valori dei gruppi 1 e 2 rientrino nella classe A si avrà un'acqua di tipo A1A2, se solo un parametro del gruppo 1 rientra nell'intervallo di classe B si avrà un'acqua di tipo B1A2 e così via.

A questi criteri di scelta dei parametri si è sovrapposto quello di potenziale utilizzo della risorsa idrica sotterranea a vari fini. In questo ambito, si considerano i possibili trattamenti generalmente utilizzati per migliorare le caratteristiche qualitative delle acque. I parametri sono riuniti in due gruppi (1 e 2) per differenziare le acque da sottoporre a trattamenti specifici per i singoli parametri (gruppo 1), dalle acque per le quali è normalmente previsto un trattamento ossidativo semplice o spinto (gruppo 2). Il giudizio d'uso connesso alle diverse classi è riportato in tab. 3.

#### 4. CASO DI STUDIO

Per effettuare la mappatura e la conseguente classificazione delle acque pugliesi, sono stati utilizzati più di 500 campioni d'acqua, prelevati in 110 pozzi (fig. 2). I campioni sono stati prelevati, generalmente in condizioni statiche, con bottiglia di campionamento, talvolta a diverse profondità (non più di tre per ciascun pozzo) e ripetendo nell'anno le misure, fino ad un massimo di cinque volte. Ad ogni pozzo è stato associato il valore ottenuto, per ciascun parametro, dalla media aritmetica dei risultati analitici.

Dalla combinazione dei parametri considerati, si ottiene per il gruppo 1 che il 16,5% dei campioni

**Tabella 2. Schema di classificazione della qualità delle acque sotterranee.**

<i>Gruppo 1 – Parametri Chimico-Fisici</i>					
<i>Giudizio</i>	<i>Classe</i>	<i>Durezza Totale</i>	<i>Salinità</i>	<i>Cloruri</i>	<i>Solfati</i>
Ottimale	A1	15-35	< 500	< 50	< 50**
Media	B1	35-55	500-1500	50-200	50**-250
Scadente	C1	> 55	> 1500	> 200	> 250
<i>Gruppo 2 – Sostanze indesiderabili</i>					
<i>Giudizio</i>	<i>Classe</i>	<i>Nitrati</i>	<i>Ammoniaca</i>	<i>Ferro</i>	<i>Coliformi Fecali</i>
Ottimale	A2	< 10*	< 0,05	0,05	Assenti
Media	B2	10*-50	0,05-0,5	0,05-0,2	0-20
Scadente	C2	> 50	> 0,5	> 0,2	> 20
(*) Valore intermedio tra concentrazione massima ammissibile e valore guida, (**) Valore doppio rispetto al valore guida.					

**Tabella 3. Giudizio d'uso delle acque sotterranee.**

<i>Classe</i>	<i>Giudizio d'uso</i>
A	Acqua potabile senza alcun trattamento; idonea a quasi tutti gli usi industriali ed irrigui
B	Acqua potabile a seguito di trattamento; alcune limitazioni per usi industriali ed irrigui
C	Acqua non idonea ad essere utilizzata tal quale per usi potabili e con limitazioni per altri usi C1: da sottoporre a trattamenti specifici C2: da sottoporre a trattamento di ossidazione semplice o spinta

analizzati ricade nella classe A1, il 38% nella B1 ed il 45,5% nella C1; per il gruppo 2 abbiamo che il 10% ricade nella classe A2 e C2 ed il restante 90% nella classe B2.

Ne consegue che, per il gruppo 1, le acque presentano una qualità medio-scadente; dato peraltro, confermato dai parametri del gruppo 2 che indicano una qualità media delle acque. Va comunque evidenziato che per il gruppo 1 i parametri che maggiormente influiscono sulla qualità delle acque sono la durezza totale, per la particolare composizione chimica delle rocce costituenti gli acquiferi pugliesi, essenzialmente calcari e dolomie, e la salinità, per l'ingressione delle acque di mare lungo la costa. Nel gruppo 2, il parametro che influisce in modo determinante è lo ione nitrato, la cui presenza è legata alla intensa attività agricola praticata diffusamente nel territorio pugliese. Sono pochi i campioni d'acqua che presentano inquinamento di natura organica, legato essenzialmente a situazioni specifiche presenti sul territorio.

Dalla combinazione delle classi emerge che solo

un esiguo 1% delle acque analizzate risulta AA, e non deve subire trattamenti ai fini potabili; il 56% (AB, BA e BB) deve invece, subire dei trattamenti specifici e, aspetto alquanto preoccupante, il restante 43% (CB e CC) non è idoneo all'utilizzo idropotabile.

In fig. 2 è riportata la rappresentazione cartografica delle classi individuate, che sul territorio pugliese sono sei.

Si rileva che le acque qualitativamente migliori sono quelle presenti nelle zone di alimentazione (Murgia interna, ed una piccola porzione nel Salento). Lungo i percorsi che portano dalle zone di ricarica alle zone di venuta a giorno delle acque sotterranee, ubicate lungo la costa, la qualità delle acque peggiora. Tale andamento non è sempre «regolare», in quanto disturbato da diversi fattori antropici, correlabili, in particolare per la Murgia, all'ubicazione dei principali centri urbani. La situazione a maggiore variabilità è quella che si osserva nel Salento. Tale circostanza è dovuta alla notevole vulnerabilità dell'acquifero salentino sia all'inquinamento salino per intrusione marina, favorito da un uso dissennato

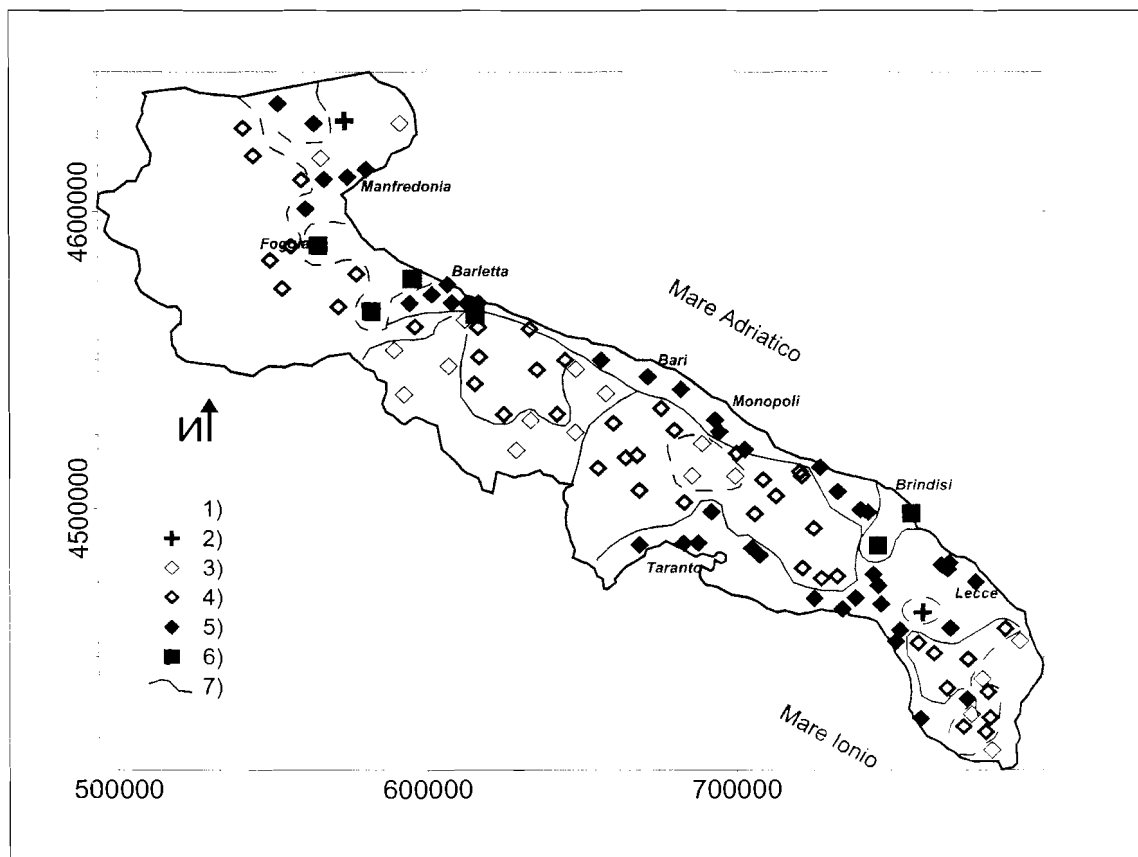


Figura 2. Qualità delle acque sotterranee pugliesi. Classe 1) AA, 2) BA, 3) AB, 4) BB, 5) CB, 6) CC, 7) limite tra zone le cui acque risultano di diversa classe.

della risorsa, sia all'inquinamento antropico vero e proprio, proveniente dai numerosi centri urbani diffusi sul territorio nonché dalle attività agricole.

È evidente come lungo l'intero sviluppo costiero, ed in modo generalizzato nel Salento, siano presenti delle acque con caratteristiche scadenti, per la maggior concentrazione di attività antropiche e, soprattutto, per il fenomeno dell'inquinamento salino per intrusione marina, che non permette il loro utilizzo, in talune aree, neanche a fini irrigui.

Si individuano, infine, delle zone che, per la loro particolare posizione, per le attività antropiche che ivi insistono, presentano un elevato stato di degrado delle acque sotterranee, rilevabile sia per i parametri del gruppo 1 che per quelli del gruppo 2 (area brindisina e area a cavallo del Tavoliere e della Murgia, lungo il percorso del fiume Ofanto e in prossimità di Barletta). Va precisato che, per il Tavoliere e soprattutto per il Gargano, i dati a disposizione, per quanto non numerosi, segnalano una situazione di degrado preoccupante.

## 5. CONCLUSIONI

La metodologia applicata ben si presta, tramite l'utilizzo di pochi ma significativi parametri analitici, a fornire una classificazione, sintetica, speditiva ed attendibile della qualità delle acque circolanti nel sottosuolo. La metodologia descritta, la cui validità è confermata dalle più recenti disposizioni normative, costituisce uno strumento di facile applicabilità, per una preliminare distinzione e connotazione delle acque sotterranee, soprattutto in termini di pianificazione territoriale e di gestione delle risorse idriche. Trattasi, altresì, di uno strumento dinamico, in quanto, con l'ausilio di software di facile utilizzo, è possibile, arricchendo nel tempo la banca dati, generare quadri che descrivano i caratteri evolutivi delle modificazioni qualitative delle risorse idriche sotterranee. Tale approccio si mostra valido per gli acquiferi pugliesi, anche in relazione al fenomeno dell'inquinamento salino per intrusione marina, in virtù dei parametri chimico-fisici selezionati.

**BIBLIOGRAFIA**

- CAPUTO M.C., G. GIULIANO, TADOLINI T., VURRO M. (1995) - *Classificazione e mappatura speditiva della qualità delle acque sotterranee a fini potabili: sperimentazione nell'acquifero costiero carbonatico del Salento (Puglia)*. Quaderni di Geologia Applicata, 1996, Pitagora Editrice, Bologna.
- CIVITA M., DAL PRÀ A., FRANCANI V., GIULIANO G., OLIVERO G., PELLEGRINI M., ZAVATTI A. (1993a) - *Proposta di classificazione e mappatura della qualità delle acque sotterranee*. Inquinamento n.12.
- CIVITA M., DAL PRÀ A., FRANCANI V., GIULIANO G., OLIVERO G., PELLEGRINI M., ZAVATTI A. (1993b) - *Proposta di classificazione e mappatura della qualità di base delle acque sotterranee*. Atti del 2° Conv. Internazionale di Geoidrologia, Firenze.
- COTECCHIA V. & POLEMIO M. (1999) - *Apulian groundwater (Southern Italy) salt pollution monitoring network*. 15<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting, Ghent, Belgium, 1998. Flemish Journal of Natural Science, Ghent; Belgium, 197-204.
- COTECCHIA V., MAGRI G. (1966) - *Idrogeologia del Gargano*. Geol. Appl. e Idrog., I, 1-86.
- D.L. DEL 11 MAGGIO 1999 N.152 - *Disposizioni sulla protezione delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*. G.U. n.124 suppl. del 29 maggio 1999, Roma.
- D.P.R. DEL 24 MAGGIO 1988 N.236 - *Attuazione della Direttiva CEE n.80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'art.15 della legge 16 aprile 1987, n.183*. G.U. n.183 suppl. del 30 giugno 1988, Roma.
- GRASSI D. (1983) - *Diffomità di ambiente idrogeologico promossa in seno alla piattaforma carbonatica appula da una evoluzione tettonico-carsica differenziata*. Geol. Appl. e Idrogeol., XVIII, parte I, 209-239.
- IPPOLITO F., COTECCHIA V., DE MARCHI G., DENTICE R. (1958) - *Indagine sulle acque sotterranee del Tavoliere - Puglia*. Cassa per il Mezzogiorno, Roma.
- SPIZZICO M., TADOLINI T. (1997) - *Correct management of groundwater resources as related to the hydrogeological environment: the case of the Apulian carbonatic aquifer*. Proc. Int. Conf. on «Water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region».
- TULIPANO L. & FIDELIBUS M.D. (1993) - *Metodologie per la valutazione degli effetti del rilascio dei reflui urbani sulla distribuzione dei nitrati nelle acque sotterranee delle unità idrogeologiche della Murgia e del Salento (Italia Meridionale)*. II Conv. Intern. Geoidrog., Firenze 1993.
- ZIZZA F. (1975) - *Le facies carbonatiche della Puglia e il fenomeno carsico ipogeo*. Geol. Appl. e Idrogeol., X, parte I, 1-54.