

Il degrado qualitativo delle acque sotterranee pugliesi

Maurizio Polemio¹, Pier Paolo Limoni², Donatella Mitolo³, Raffaella Virga⁴

¹CNR-IRPI, Bari, Via Amendola 122/i, 70126 Bari; tel:080/5929584 fax:080/5929610; m.polemio@ba.irpi.cnr.it

²CNR-IRPI, Bari, p.limoni@ba.irpi.cnr.it

³CNR-IRPI, Bari, d.mitolo@ba.irpi.cnr.it

⁴Università di Palermo, Dip. CFTA, Palermo, ravirga@libero.it

Quality degradation of Apulian groundwater

ABSTRACT: The Apulian region is characterized by very low availability of surface water resources due to its karstic nature. Considerable groundwater resources are located in large and deep carbonate coastal aquifers. Groundwater is affected by two types of degradation risks: quality and quantity degradation. The withdrawn of groundwater resources produce a massive degradation, along the coastal aquifers, for increasing salt contamination due to sea water intrusion. At the same time, various anthropogenic polluting sources have contributed to the qualitative degradation of the resource, also in the inner areas. To the aim to evidence the evolution in action of the groundwater resources quality degradation risks, are discussed data that it have been collected from numerous surveys that have interested coastal spring and wells in the entire region. In particular, the cognitive state is reported to the systematic surveying carried out from 1995 to 2003. In such survey the piezometric levels, the specific electrical conductivity, the pH, the Eh and the concentrations of main ions together with nitrogenous species have been determined for more than 100 wells. In adding, has been analyzed the waters of some coastal spring, selected between the more important of region, because the quality of coastal spring assumes great importance for the remarkable effects hydrological and ecological equilibriums of coastal and lakes environments. The enforced Italian law (D.L. 152/1999 e D.L. 258/2000) has been used as a comparative reference, defining a synthetic picture of the qualitative state of groundwater of the Apulia Region. It is found that the pollution of groundwater is absent in narrow inner areas, placed in the recharge areas of the aquifers. From such areas the groundwater flows towards the sea, along the way acquiring a polluting load coming from ground surface. Such pollutants are discharged into the sea or into lagoons, creating ecological risks also for coastal areas of particular interest.

Key terms: groundwater, quality degradation, classification, springs

Termini chiave: degrado qualitativo, classificazione, sorgenti, aree umide

Riassunto

La Puglia è caratterizzata, per la natura prevalentemente carsica del suo territorio, da notevoli risorse idriche sotterranee, localizzate in acquiferi costieri. Tali risorse sono soggette ad un diffuso degrado qualitativo, lungo la costa per l'incremento del contenuto salino dovuto all'intrusione marina, e ad un inquinamento antropico puntuale, da mettere in relazione allo smaltimento di rifiuti ed alle acque reflue, dovuto a specifiche attività produttive, che hanno deteriorato la qualità delle acque sotterranee anche nelle aree interne.

Al fine di caratterizzare lo stato e l'evoluzione della qualità delle acque sotterranee, sono discussi i dati rivenienti da numerose campagne d'indagine che hanno interessato sorgenti costiere e pozzi posti nell'intero territorio regionale, negli anni 1995 e 2003.

La vigente normativa (D.L. 152/1999 e D.L. 258/2000) è stata utilizzata quale riferimento metodologico, definendo un quadro sintetico dello stato qualitativo. Si rileva che l'inquinamento delle acque sotterranee è assente solo in

ristrette aree interne, parte delle aree di alimentazione degli acquiferi. Da tali aree le acque sotterranee fluiscono verso il mare e, mentre entrano progressivamente in contatto con acque saline, lungo il percorso acquisiscono carichi inquinanti provenienti dalle aree antropizzate e agricole. Le acque così degradate si versano a mare e in lagune, creando rischi ecologici anche per aree umide costiere di particolare pregio.

1. Introduzione

La regione Puglia è caratterizzata da una modesta disponibilità di risorse idriche superficiali per la natura prevalentemente carsica del suo territorio. Notevoli risorse idriche sotterranee sono invece localizzate negli acquiferi costieri carbonatici. L'acqua sotterranea, per utilizzi domestici, irrigui ed industriali, è stata emunta in notevole e crescente quantità nel corso degli anni, permettendo la crescita civile ed economica della popolazione locale.

L'entità del flusso di acque sotterranee e la qualità di

queste può avere effetti così riassumibili:

- in termini quantitativi, condiziona l'intrusione marina, che arretra al crescere della portata di acque sotterranee fluenti a mare;
- il precedente punto condiziona la salinità delle acque sorgive effluenti lungo costa e, quindi, quella dei corpi idrici costieri;
- il variare della portata e del residuo fisso si associa a modificazioni della facies chimica delle acque, con effetti geochemici ed ecologici complessi;
- le acque sotterranee possono idroveicolare inquinanti dall'interno del territorio, in particolare sostanze nutrienti, modificando il bilancio del carbonio, azoto e fosforo, con macroscopici effetti di eutrofizzazione di lagune e canali o con effetti sugli equilibri delle specie bentoniche.

Tra i territori esposti a tali rischi, sia per la notevole incidenza degli efflussi sorgivi costieri sui deflussi fluviali

sia per la presenza di aree umide dal pregevole valore ecologico, vi è di certo il caso, alquanto didascalico, del territorio pugliese.

In tale contesto il rapporto si inverte, essendo stato stimato che la portata delle acque sotterranee è pari o maggiore di due volte quella fluente nel reticolo idrografico (De Girolamo, Limoni, Portoghese, Vurro, 2001; De Girolamo, Limoni, Portoghese, Vurro, 2002), stime in cui si è tenuto conto del notevole effetto del prelievo da pozzi.

2. Inquadramento idrogeologico

Nel territorio regionale, eccetto il Tavoliere, le restanti strutture idrogeologiche, il Gargano, la Murgia, e il Salento, hanno in comune alcuni aspetti. Sono caratterizzate da ampi e potenti acquiferi con sede nelle rocce calcaree e/o calcareo-dolomitiche del Mesozoico (Fig.1).

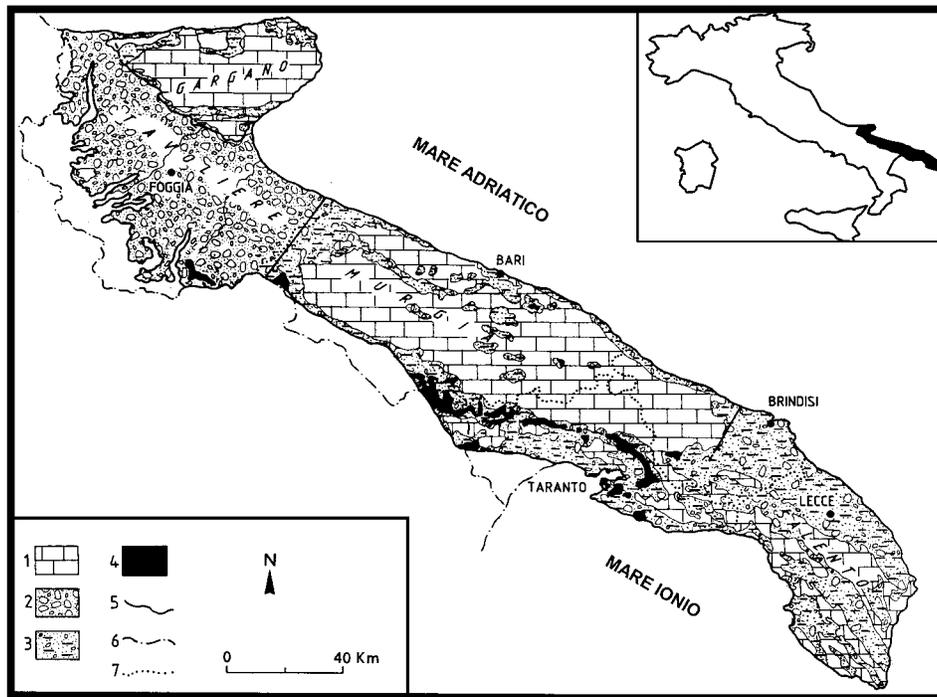


Fig.1 Unità e strutture idrogeologiche della Puglia (da Cotecchia & Polemio, 1999). 1) Rocce carbonatiche, 2) conglomerati e sabbie, 3) acquiferi superficiali e litotipi permeabili, calcareniti, sabbie argillose, sabbie, ghiaie o conglomerati, 4) litotipi poco permeabili, argille e argille marmose, 5) limite idrogeologico, incerto dove tratteggiato, 6) confine regionale, 7) confine provinciale. *Apulian hydrogeological units and structures*

1) Carbonate rock Gargano, Murgia and Salento; 2) Tavoliere unit, mainly conglomerate and sands; 3) shallow aquifers and permeable lithotypes, calcarenites, clayey sands, sands, gravel, or conglomerates; 4) low permeable lithotypes, blue marly clays; 5) hydrogeological boundary, dashed where uncertain; 6) regional boundary; 7) provincial boundary

Gli acquiferi, interessati da fenomeni carsici, hanno un grado di fratturazione variabile nelle tre dimensioni, e mostrano, a luoghi, un'elevata permeabilità. Nella Murgia e nel Gargano la circolazione idrica sotterranea è in pressione, eccetto lungo una ristretta fascia costiera. Le quote piezometriche massime, rispetto al livello del mare, si elevano in entrambi i casi per diverse decine di metri.

Nel Salento la circolazione idrica sotterranea è più diffusamente freatica. L'estesa falda idrica sotterranea è 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 superficiale, in cui la 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. Tutte le unità idrogeologiche, con effetti molto diversi, sono interessate dal fenomeno dell'intrusione marina. Una più dettagliata caratterizzazione delle unità idrogeologiche, che esula dalle finalità di questa nota, è descritta in: Cotecchia, Grassi, Polemio, (2004), Maggiore e Pagliarulo (2004), e dalla relativa bibliografia.

3. Qualità delle acque sotterranee pugliesi

Le acque sotterranee nell'area di studio sono attualmente soggette a due principali fonti d'inquinamento, riconducibili alle attività antropiche: il progressivo inquinamento salino delle acque sotterranee e l'inquinamento chimico-fisico che riducono la disponibilità di acqua di buona qualità (Cotecchia, 1981; Fidelibus, Tulipano, 1996; Cotecchia, Polemio, 1997).

Diverse campagne d'indagine hanno caratterizzato la qualità delle acque sotterranee in esame.

Tra le altre, si citano quelle inerenti le principali sorgenti costiere (Cotecchia, Tulipano, 1993) e quelle relative alla gran parte dei pozzi costituenti l'attuale rete di monitoraggio della Regione Puglia (Cotecchia, Polemio, 1998, 1999), gestita fino a pochi anni or sono, dall'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione. Operando su molti dei pozzi e delle sorgenti utilizzati in questi studi, il CNR-IRPI ha proseguito i propri studi, effettuando determinazioni fino al 2003.

Le ricerche svolte hanno avuto il fine di caratterizzare le modificazioni qualitative delle acque sotterranee lungo percorsi che portano dalle zone di alimentazione alle zone di efflusso, siano esse piccole lagune, il reticolo idrografico in prossimità della costa o il mare, zone ubicate comunque lungo la costa ionica ed adriatica.

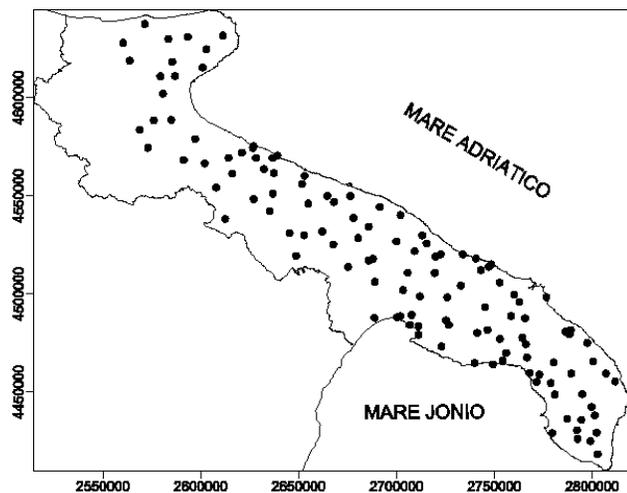


Fig.2 Ubicazione dei punti di campionamento, pozzi e sorgenti
Sampling location map, wells and springs

In Fig.2 si riportano le ubicazioni delle sorgenti e dei pozzi campionati in quanto, il degrado qualitativo se non il vero e proprio inquinamento emerso è rappresentativo dell'area in cui il pozzo stesso è posto.

Sono state determinate la conducibilità elettrica specifica, le concentrazioni delle specie azotate (ammoniaca, nitriti e nitrati), dei cloruri, del ferro, dei fluoruri, di alcuni metalli pesanti (As, Cd, Hg, Pb, Zn).

Con riferimento al D.L. 152/1999 e al D.Lgs. 258/2000, ispirati e coerenti con precedenti direttive europee, è possibile individuare lo stato qualitativo delle acque sotterranee e classificarle, utilizzando dei parametri di base ed altri addizionali. Si può così percepire, in modo sinottico e semplice, la variazione della qualità delle acque sotterranee, nel loro percorso sotterraneo dalle zone di alimentazione al mare.

Le cosiddette classi chimiche (1-4) dei corpi idrici sotterranei sono definite secondo il seguente schema:

- classe 1, impatto antropico nullo o trascurabile, con pregiate caratteristiche idrochimiche;
- classe 2, impatto antropico ridotto, sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche;
- classe 3, impatto antropico significativo e con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di degrado;
- classe 4, impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti.

Ai fini della classificazione chimica di ciascun pozzo o punto di misura si è utilizzato il valore medio, rilevato per ogni parametro di base o addizionale nel periodo di riferimento, inteso in genere come anno. Le diverse classi qualitative vengono attribuite secondo gli intervalli di Tab.1, tenendo anche conto dei parametri e dei valori riportati nella Tab.2. La classificazione complessiva del campione idrico è determinata dalla classe peggiore (più alta) riscontrata per ognuno dei diversi parametri di base o addizionali.

Tab.1 Parametri di base per la classificazione secondo la normativa
Basic parameters for the classification according to the law

Parametro	Unità di Misura	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe e 4
Cond. Elett. sp.	$\mu\text{S}/\text{cm}$ (20°C)	≤ 400		≤ 2500	> 2500
Cl	mg/l	≤ 25		≤ 250	> 250
Fe	$\mu\text{g}/\text{l}$	≤ 50		≤ 200	> 200
NO ₃	mg/l	≤ 5	≤ 25	≤ 50	> 50
SO ₄	mg/l	≤ 25		≤ 250	> 250
NH ₄	mg/l	$\leq 0,05$		$\leq 0,5$	$> 0,5$

Se la presenza di alcuni parametri di base e di tutti quelli addizionali in concentrazioni superiori a quelle di Tab.2 è di origine naturale è attribuita la classe 0, per la quale, di norma, non sono previsti interventi di risanamento.

La presenza di inquinanti con concentrazione maggiore di quella di cui alla Tab.2 determina la classificazione in classe 4. Se gli inquinanti di Tab.2 non sono presenti, sono al di sotto della soglia di rilevanza o riportata nella tabella medesima, il corpo idrico è classificato secondo i risultati

relativi ai parametri di Tab.1.

Tranne il caso della presenza naturale, il ritrovamento degli inquinanti di Tab.2 in concentrazioni significative, vicine alla soglia indicata, è comunque un segnale molto negativo per le qualità delle acque sotterranee. In tal caso, dovrebbero essere adottate misure atte a prevenire un ulteriore peggioramento e a rimuovere le cause del degrado. Si dovrebbero altresì considerare gli effetti dell'eventuale interconnessione delle acque sotterranee con corpi idrici superficiali di particolare pregio, per cui giustamente la normativa prevede obiettivi ambientali, a causa della persistenza e dei processi di bioaccumulo di alcuni inquinanti, più cautelativi.

Tab.2 Parametri addizionali selezionati tra quelli prescritti dalla normativa

Selected additional parameters on the basis of the law

Parametro	µg/l
Fluoruri	≤1500
Arsenico	≤10
Cadmio	≤5
Nitriti	≤500
Mercurio	≤1
Piombo	≤10
Zinco	≤3000

Nelle elaborazioni descritte nel seguito sono state considerate un complesso di 279 determinazioni della qualità in punti di campionamento costituiti da pozzi e sorgenti, considerando dati relativi al 1995 e al 2003. Con determinazioni si intende una stringa di valori, uno per ciascun parametro considerato ed effettivamente determinato, relativo al singolo periodo annuo. Nel caso di più misure in ciascun punto e/o periodo, si è assunto il valore medio nella relativa determinazione.

In Tab.3 è riportato un quadro riassuntivo della qualità delle acque sotterranee pugliesi classificate secondo la normativa. Non essendo disponibili tutti i parametri per ciascuna determinazione, si riportano le percentuali delle classi (da 1% a 4%) riferite al numero effettivo di determinazioni disponibili per ciascun parametro (Tab.3).

Riferendoci ai parametri di base, il maggior numero di determinazioni ricade nelle classi peggiori, la 3 e la 4 per i parametri la cui concentrazione è fortemente influenzata dal fenomeno dell'intrusione marina (conducibilità elettrica, cloruri e solfati). Il criterio normativo di classificazione in classe è alquanto severo nelle condizioni idrogeologiche in esame, anche considerando la sola conducibilità elettrica specifica. Solo un 5% di campioni, per gli elementi legati al ciclo dell'azoto, presenta qualità delle acque scadenti (classe 4); tale fenomenologia è imputabile ad attività antropiche poste in corrispondenza delle aree antropizzate e alle attività agricole.

Per quanto attiene i parametri addizionali selezionati, il

3% dei casi, riferito al 93% delle determinazioni totali, finisce nella classe peggiore per il parametro nitrati. Da rilevare come per il Pb il 50% di determinazioni (sul 70% del data set totale) ricade in classe 4; per i fluoruri (3% su 21% del totale) ed il mercurio (1% su 66% del totale) il numero e l'ubicazione delle determinazioni che ricadono nella classe peggiore è basso ed è tale che si possa mettere in relazione ad episodi d'inquinamento locali, in aree ristrette in cui ulteriori approfondimenti richiedono rilievi a scala di dettaglio.

Tab.3 Sintesi dei risultati della classificazione. PD = rapporto percentuale tra numero di specifiche determinazioni di ciascun parametro e numero totale delle determinazioni disponibili per pozzi e sorgenti (279). Da 1 a 4 (%) = rapporto percentuale tra determinazioni rispettivamente in classe da 1 a 4 e numero totale delle determinazioni disponibili per ciascun parametro

Statistics of classification results. PD = percentage ratio of record number for each parameter and total number of record for wells and springs. From 1 to 4 (%) = percentage ratio of record number respectively of class from 1 to 4 (%) and total number of record for each parameter

PARAMETRO DI BASE	C.E.	Cl	Fe	NO ₃	SO ₄	NH ₄	
PD (%)	100	92	66	93	92	93	
1 (%)	4	10	99	45	35	80	
2 (%)	0	0	0	40	0	0	
3 (%)	64	47	1	13	50	18	
4 (%)	32	44	0	3	16	2	
PARAMETRO ADDIZIONALE	F	NO ₂	Pb	As	Cd	Zn	Hg
PD (%)	21	93	70	4	4	4	66
4 (%)	3	3	50	0	0	0	1

In Fig.3 si riporta la distribuzione territoriale della qualità delle acque sotterranee pugliesi, ottenuta considerando tutti i parametri selezionati e considerati, determinati nel corso del 1995. Le acque sotterranee di maggior pregio sono rinvenibili in aree interne, porzioni sempre più ristrette delle aree di alimentazione; queste ultime ricadono generalmente nella classe 2 e più raramente nella classe 3. Ampiamente diffusa, lungo l'intero sviluppo costiero e per diversi chilometri allontanandosi dalla costa, è la classe 3, che in aree localizzate, quali per esempio Taranto, passa anche a 4.

Per caratterizzare le tendenze in atto degli attributi qualitativi delle acque sotterranee, sono stati determinati per ciascun parametro i cambiamenti di classe, in termini di variazione del 2003 rispetto al 1995, come riportato dagli esempi delle Figure 4-6.

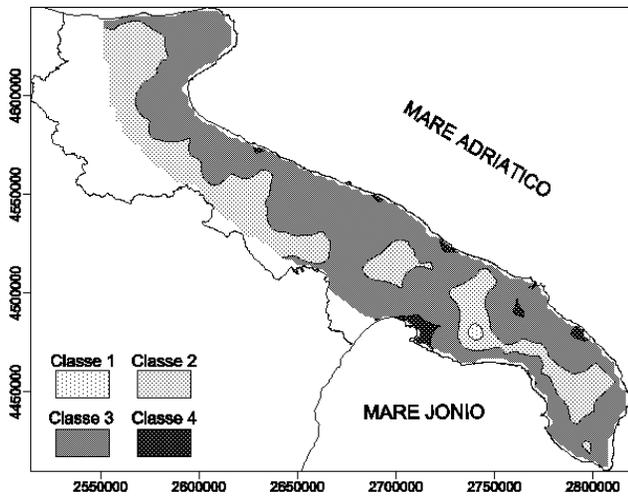


Fig.3 Carta delle classi di qualità nel 1995
Quality classification map of 1995

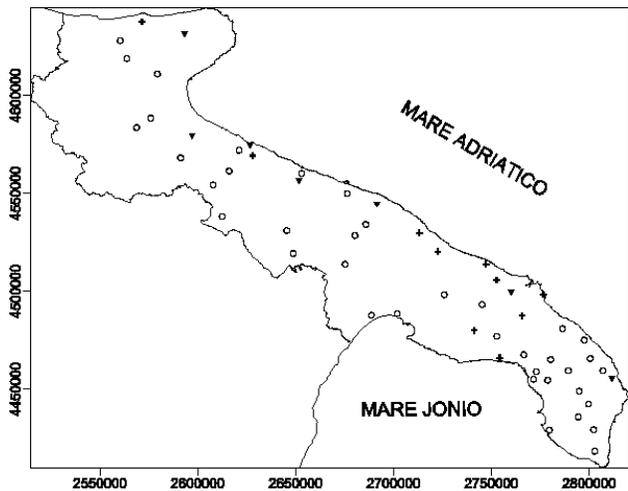


Fig.4 Carta della variazione della classe di qualità del 2003 rispetto al 1995 per la conducibilità elettrica specifica. Classe: +) incrementata, O) invariata, ▼) diminuita
Map of quality class variation of the 2003 referred to of the 1995 for the specific electrical conductivity. +) class increase, O) class unchanged, ▼) class decrease

La classe qualitativa inerente la conducibilità elettrica specifica (Fig.4) è invariata in una vasta porzione del territorio regionale, fatta eccezione per alcune aree localizzate lungo la fascia costiera. Evidente è il peggioramento nell'area costiera compresa fra Bari e Brindisi.

La classe dei solfati (Fig.5) invece, mostra una maggiore variabilità spaziale. Si osserva un diffuso miglioramento (diminuzione di classe) nelle aree interne murgiane e garganiche; un sempre più evidente peggioramento nel Tavoliere e nelle aree interne del Salento, quest'ultime in passato di buona qualità.

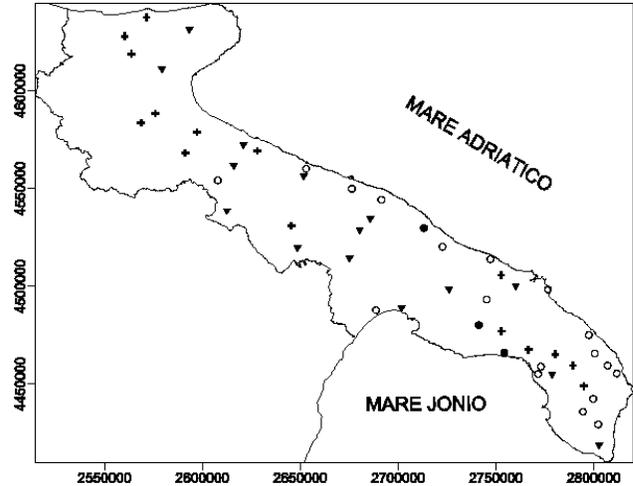


Fig.5 Carta della variazione della classe di qualità del 2003 rispetto al 1995 per i solfati. Classe: +) incrementata, O) invariata, ▼) diminuita
Map of quality class variation of the 2003 referred to of the 1995 for the sulphate. +) class increase, O) class unchanged, ▼) class decrease

La classe relativa ai nitrati (Fig.6) è costante o diminuisce nella Murgia mentre nel Salento e nel Tavoliere si osserva una maggiore variabilità spaziale, con il prevalere dell'incremento di classe nelle aree il cui territorio è destinato principalmente a pratiche agricole.

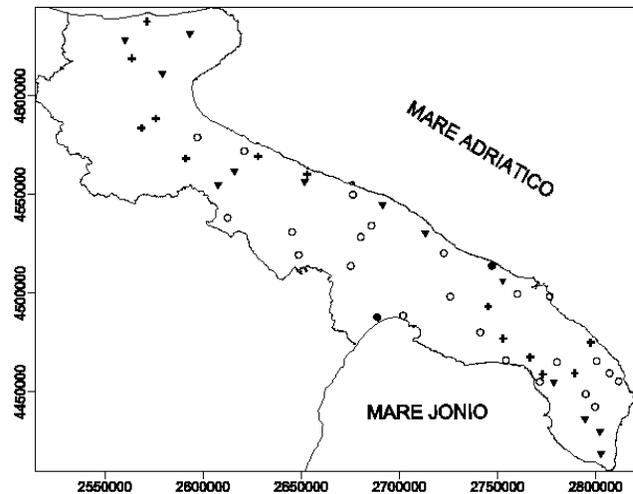


Fig.6 Carta della variazione della classe di qualità del 2003 rispetto al 1995 per i nitrati. Classe: +) incrementata, O) invariata, ▼) diminuita
Map of quality class variation of the 2003 referred to of the 1995 for the nitrate. +) class increase, O) class unchanged, ▼) class decrease

In generale, lungo i percorsi che portano dalle zone di alimentazione alle zone di efflusso nei corpi idrici superficiali, siano essi piccole lagune, il reticolo idrografico in prossimità della costa o il mare, zone ubicate comunque

lungo la costa, la qualità delle acque peggiora. Tale andamento non è sempre continuo ed omogeneo, in quanto appare "disturbato" da diversi fattori idrogeologici e, principalmente, antropici, correlabili all'ubicazione dei principali centri urbani.

La situazione a maggiore variabilità è quella che si osserva nel Salento. Tale circostanza è dovuta, per la notevole vulnerabilità dell'acquifero salentino, sia all'inquinamento salino per intrusione marina sia all'inquinamento antropico vero e proprio, proveniente dai numerosi centri urbani diffusi sul territorio nonché dalle attività agricole.

Particolarmente grave è il degrado che si osserva nel Tavoliere, che mostra un peggioramento, nel periodo considerato, di tutti i parametri rilevati.

Una conferma della rilevanza del degrado che le acque sotterranee accumulano a partire dalle zone di alimentazione, si nota osservando la qualità delle acque sorgive costiere. Di fatto le acque sorgive devono oggi considerarsi un non trascurabile vettore di carichi inquinanti prodotti nell'entroterra, immessi nel sottosuolo, raccolti e trasportati lungo le principali linee di flusso idrico sotterraneo. Si consideri che le acque analizzate alle scaturigini ricadono nella quasi totalità dei casi, per ciascun parametro, nella classe peggiore segnalata dalle determinazioni, relative al medesimo parametro. In altre parole, le acque sorgive sono generalmente più scadenti di quelle campionabili dai pozzi posti idrogeologicamente a monte.

L'esame dei dati raccolti nel tempo sembra peraltro mostrare che il degrado qualitativo delle risorse idriche sotterranee, pur non considerando i gravi effetti dell'intrusione marina, interessa con progressione nel tempo tutta l'area salentina, il Tavoliere e, in parte, quella murgiana. Da ciò consegue il rischio concreto che anche laddove il degrado appaia oggi non particolarmente marcato, la situazione sia destinata a deteriorarsi nel tempo, con conseguenze gravi ai fini degli usi cui la falda acquifera è destinata e degli ambienti costieri, in cui queste acque si sversano in assenza di utilizzo.

Bibliografia

Cotecchia V., 1981. Methodologies adopted and results achieved in the investigations of seawater intrusion into the aquifer of Apulia (Southern Italy). Salt Water Intrusion Meeting, Hannover 15-18 October 1981, 1-68.

Cotecchia V., Polemio M., 1997. L'inquinamento e il sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee pugliesi. VI Workshop del Progetto Strategico «Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno», Dicembre 1995, Taormina, I, 447-484.

Cotecchia V., Polemio M., 1998. The hydrogeological survey of Apulian groundwater (Southern Italy): salinization, pollution and over-abstraction. Proc. Int. Conf. on «Hydrology in a changing environment», British Hydrological Society, Exeter, 6-10 July, 1998 United Kingdom, John Wiley & Sons, II, 129-136.

Cotecchia V., Polemio M., 1999. Apulian groundwater (Southern Italy) salt pollution monitoring network. 15th Salt Water Intrusion Meeting, Ghent, Belgium, 1998, Flemish Journal of Natural Science, Ghent, Belgium, 197-204.

Cotecchia V., Grassi D., Polemio M., 2004. Carbonate aquifers in Apulia and seawater intrusion. 32nd IGC, "Some Engineering Geology case histories in Italy", 1-16.

Cotecchia V., Tulipano L., 1993. Le emergenze a mare, individuate anche con tecniche di telerilevamento, come vettori di carichi inquinanti dagli acquiferi carbonatici e carsici pugliesi all'ambiente costiero. I Workshop Progetto Strategico CNR "Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno".

De Girolamo A.M., Limoni P.P., Portoghese I.,

Lo stato qualitativo delle acque di falda della Murgia e del Salento, già afflitte da una progressiva contaminazione salina (Polemio, Limoni, 2001), destano particolare preoccupazione per l'inquinamento riconducibile ai rilasci sul suolo e nel sottosuolo di acque reflue urbane, non o insufficientemente depurate, e di rifiuti di varia natura, spesso malamente smaltiti sulle superfici agrarie.

La presenza diffusa di parametri indicatori di inquinamento antropico, quali l'ammoniaca, i nitrati, e i nitriti nelle acque sotterranee campionate dai pozzi e dalle sorgenti, delinea un quadro conoscitivo a luoghi allarmante.

4. Conclusioni

L'appartenenza alla classe qualitativa peggiore per le acque sotterranee pugliesi è determinata in genere dalla conducibilità elettrica specifica e dai cloruri, vista la natura costiera degli acquiferi considerati e i forti emungimenti in atto, che favoriscono l'inquinamento per intrusione marina, nonché, secondariamente, dalle specie dell'azoto e dal piombo.

Le acque di maggiore qualità, tanto da risultare potabili, sono oramai rinvenibili solo in porzioni interne di territorio, poste nella Murgia e nel Gargano e in piccole estensioni del Tavoliere e del Salento. Da tali aree, idrogeologicamente di alimentazione, le acque sotterranee si muovono verso il livello base della circolazione idrica, costituito dal mare, entrando in contatto con acque di intrusione marina e subendo il deterioramento legato alle attività antropiche.

Si caricano così di inquinanti che trovano il loro recapito finale, a seguito dell'efflusso sorgivo, in mare e/o in prossimità della costa.

La gravità degli effetti dei fenomeni, sia naturali che artificiali, rilevanti per la tutela delle risorse idriche sotterranee degli acquiferi carbonatici pugliesi, si coglie in tutto il territorio, pur se con maggior preoccupazione per il Salento e la Murgia. La situazione del Tavoliere non appare essere migliore pur se ogni valutazione appare condizionata dal basso numero di punti di osservazione.

Vurro M., 2001. Impiego di tecniche GIS per la valutazione e rappresentazione del bilancio idrogeologico a scala regionale. Applicazione della metodologia alla Penisola Salentina. L'Acqua, 2, 57-70.

De Girolamo A.M., Limoni P.P., Portoghese I., Vurro M., 2002. Il bilancio idrogeologico delle idrostrutture pugliesi. Sovrasfruttamento e criteri di gestione. L'Acqua, 3, 33-45.

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. Gazzetta Ufficiale n.124, suppl. del 29 maggio 1999, Roma.

D.L. del 18 agosto 2000 n.258. Disposizioni correttive del decreto legge 11 maggio 1999, n.152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n.128. Gazzetta Ufficiale n.218, suppl. del 18 settembre 2000, Roma.

Fidelibus M.D., Tulipano L., 1996. Regional flow of intruding sea water in the carbonate aquifers of Apulia (Southern Italy). 14th Salt Water Intrusion Meeting, Malmo, Sweden.

Maggiore M., Pagliarulo P., 2004. Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia. *Geologi e Territorio*, Suppl. al n.

1/2004, 13-35.

Polemio M., Limoni P.P., 2001. L'evoluzione dell'inquinamento salino delle acque sotterranee della Murgia e del Salento. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 56, 327-331.