



IV 2002

**Seminario Internazionale
LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE
ACQUE
INTERNE E MARINE IN ALBANIA**

**Seminar Ndërkombëtar
ADMINISTRIMI I QËNDRUESHËM I
UJËRAVE
TË BRENDEM DHE DETARE NË
SHQIPËRI**

PROCEEDINGS

*Coordinamento Prof. Adriano Ciani
Addetto per la Cooperazione Universitaria, Scientifica e Tecnologica
Ambasciata d'Italia a Tirana
e con il supporto del Comitato Organizzatore e di Redazione*

7. Zona G me modul $q < 10 \text{ l/s.km}^2$, shtrihet në perëndim të zonës E dhe zë pjesën perëndimore të Ultesirës Perëndimore.

8. Zona DE me modul $q = 25 - 35 \text{ l/s.km}^2$ është një zonë e veçantë me vlera të modulit mbi 25 e nën 35 l/s.km^2 , prandaj është emërtuar edhe DE. Ndarja e saj në mes të zonës D me modul $30-40 \text{ l/s.km}^2$ dhe zonës E me modul $20-30 \text{ l/s.km}^2$ do të sillte coptimin në disa nënzona të veçuara e jo plotësisht të justifikuar.

5. PËRFUNDIME

Shqipëria zotëron pasuri të mëdha ujore dhe krahasuar me vendet e tjera ajo zë një nga vendet e para në Evropë. Moduli i rrjedhjes ujore vjetore arrin vlera deri $90-100 \text{ l/s.km}^2$.

Regjimi ujqor është tipik mesdhetar, pra me një shpërndarje brendavjetore mjaft të pabarabartë. Gjatë periudhës ujëshumtë të vitit (tetor-maj) rrjedh $75-89\%$ të rrjedhjes ujore vjetore, ndërsa gjatë periudhës ujëpakët (qershor-shtator) vetëm $11-20\%$ të saj. Po ashtu rrjedhja ujore vjetore karakterizohet prej lëkundjesh të mëdha nga një vit në tjetrin, gjë që e bën të domosdoshme nevojën e ndërtimit të strukturave për regullimin e rrjedhjes ujore.

Ujëshmëria karakterizohet prej një shpërndarje të çrregullt në hapësirë. Rajonet më të pasura me ujëra janë Alpet e Shqipërisë dhe zona e Mbi - Shkodrës, Krahu Malore Qendrore dhe Krahu Jugore Malore. Zonat me ujëshmëri të vogël janë kryesisht Ultësira Perëndimore dhe pjesa juglindore e vendit. Kjo shpërndarje mjaft e pabarabartë e ujëshmërisë në territor kërkon hartimin e skenareve për kalimin e ujrave nga zonat e pasura me ujë në ato më të varfra.

TECNOLOGIE AVANZATE PER IL MONITORAGGIO E LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE: IL CASO PUGLIA

Polemio M., Dragone V., Limoni P.P.
CNR-IRPI, Bari

Summary

ADVANCED MONITORING AND SUSTAINABLE MANAGEMENT TECHNOLOGIES OF UNDERGROUND WATER RESOURCES: THE PUGLIA CASE

The scientific activity carried out in recent years by CNR IRPI (Department of Bari) aims at developing methodologies and knowledge for the management and safeguard of Puglia groundwater resources. In Puglia there are four hydrogeological units (Gargano, Tavoliere, Murgia and Salento) three of which - Gargano, Murgia and Salento - share common features, being coastal aquifers, mainly constituted by carbonate rocks of Mesozoic age, while the Tavoliere hydrogeological unit consists of a large porous aquifer where groundwater flows in phreatic conditions in the innermost and upstream portion, whereas it flows under pressure in the remaining part of the unit. The fast socio-economic growth, which has occurred in the past decades, has deeply affected the Puglia hydrogeological system, thereby leading to different risky conditions. Groundwater for domestic, irrigation and industrial use has been withdrawn in large quantities over the years. The aquifers are increasingly becoming the ultimate "receptacle" for wastewater. Puglia is affected by two types of human-related pollution: salt contamination which is spreading over large portions of land, thus reducing the availability of good quality water and chemo-physical and biological pollution which is mainly to be found in urban areas.

The approach and methodologies described in this presentation are: automatized monitoring network, numerical modelling, quick mapping of groundwater quality with commonly available data, multi-parameter well logging for quick groundwater quality classification, groundwater vulnerability assessment, salinity trend analysis to evaluate the variation of seawater intrusion and the analysis of long time series aimed to quantify the modification of groundwater availability.

Even though the quality and quantity of ground water is endangered by complex phenomena, as shown by the case studies presented, the multi-methodological approach to the problems offers high potentiality for the safeguard, management and correct exploitation of these natural resources.

1. INTRODUZIONE

La Sezione IRPI di Bari ha maturato negli anni numerose esperienze nella gestione e nella salvaguardia delle risorse idriche sotterranee. L'oggetto delle proprie sperimentazioni sono i principali acquiferi dell'Italia meridionale in generale e della Puglia in particolare. A partire dalla caratterizzazione delle unità idrogeologiche pugliesi

e con riferimento alle relative problematiche, si descrivono le principali iniziative e metodologie ad oggi più idonee per la gestione sostenibile delle risorse idriche sotterranee.

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 brevità, alla nota di Cotecchia & Polemio (1999) e alla relativa bibliografia.

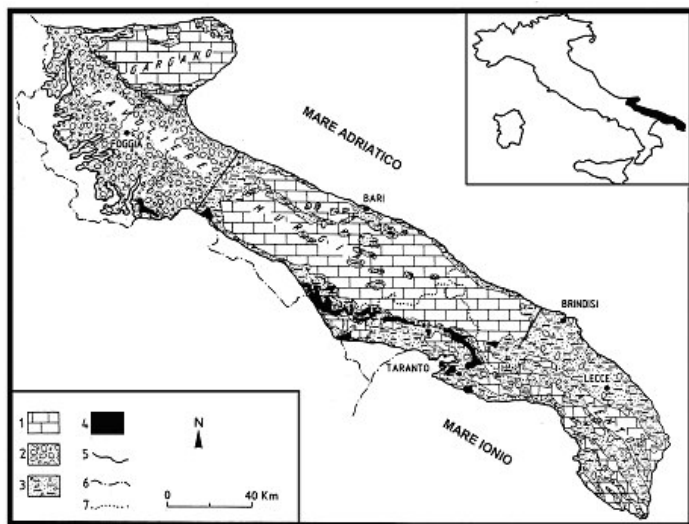


Fig. 1 - Unità idrogeologiche della Puglia (da Cotecchia e Polemio, 1999). 1) Rocce carbonatiche affioranti nel Gargano, della Murgia e nel Salento, 2) unità idrogeologica del Tavoliere, principalmente costituita da conglomerati e sabbie, 3) acquiferi superficiali e litotipi permeabili, calcareniti, sabbie argillose, sabbie, ghiaie o conglomerati, 4) litotipi poco permeabili, argille e argille marnose, 5) limite delle unità idrogeologiche, incertodove tratteggiato, 6) confine regionale, 7) confine provinciale.

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.

Lungo il limite orientale della Murgia, la piana che si estende in Puglia da Palagiano a Taranto si raccorda alla Piana di Metaponto (Regione Basilicata), il cui acquifero superficiale, di tipo costiero, si estende per circa 40 km fino al confine regionale con la Calabria. La Piana di Metaponto è costituita da depositi marini terrazzati, depositi alluvionali e da dune costiere. La falda idrica sotterranea circola generalmente in pressione nella piana costiera ed è condizionata, nel suo flusso, dalle incisioni fluviali, dal mare e, tra i fattori antropici, prevalentemente dall'agricoltura. L'acquifero costiero è generalmente multistrato e, il più superficiale strato acquifero, l'unico diffusamente sfruttato e caratterizzato, è costituito prevalentemente da sabbie.

Nell'unità idrogeologica del 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 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. RETE REGIONALE DI MONITORAGGIO AUTOMATIZZATO

A scala regionale è stata sperimentata la realizzazione di una rete di monitoraggio automatizzata, avente quale principale funzione quella di registrare in continuo i parametri indicatori dello stato qualitativo e quantitativo delle falde idriche. Un Sistema Informativo Territoriale (SIT-Puglia) gestisce ed elabora i dati provenienti dalla rete stessa. La rete di monitoraggio risulta attualmente costituita da 110 stazioni (pozzi), attrezzate con piezometri elettrici; 30 di esse sono inoltre dotate di sonde multiparametriche per il monitoraggio della qualità delle acque di falda e 19 di sonde termoconduttimetriche (3 per ogni stazione) per seguire l'evoluzione del fenomeno dell'intrusione marina (Colucci et al., 1998; Cotecchia & Polemio, 1999; Polemio, 2000) (Fig.2).

Il sistema di monitoraggio è pertanto articolato su tre livelli di controllo: un primo livello, relativo al solo controllo delle variazioni dei carichi piezometrici, interessa tutte le stazioni; un secondo livello, relativo al controllo dei principali parametri chimico-fisici delle acque di falda, interessa alcuni pozzi ubicati in aree particolarmente significative (zone di ricarica, di spartiacque, a valle di centri di abitati o di aree a rischio per le particolari attività insite sul territorio, ecc.); un terzo livello, relativo al

controllo dell'evoluzione del fenomeno dell'intrusione marina, interessa i pozzi ricadenti essenzialmente lungo la fascia costiera adriatica e ionica.

Le stazioni attrezzate per il controllo qualitativo sono realizzate mediante sonde multiparametriche che permettono di monitorare la temperatura, la conducibilità elettrica, il pH, l'ossigeno disciolto e il potenziale di ossido-riduzione delle acque sotterranee. Tali sonde forniscono in automatico, alla profondità di installazione, delle preliminari ma fondamentali informazioni sulla qualità delle acque sotterranee. La sonda multiparametrica è generalmente posizionata in corrispondenza all'interno del pozzo al livello di circolazione idrica più attivo.

Le stazioni per il controllo dell'evoluzione dell'intrusione marina sono attrezzate con sonde termoconduttimetriche, poste su tre livelli lungo la colonna idrica del pozzo. Per la stessa stazione sono altresì misurate, oltre ovviamente al livello piezometrico, anche l'andamento della pressione barometrica e della temperatura atmosferica. Le quote d'installazione delle tre sonde sono definite in modo tale da rilevare le modificazioni nel tempo dell'ampiezza della zona di transizione.

Le centraline di controllo delle stazioni di monitoraggio sono programmabili con diverse frequenze di acquisizione e memorizzazione a seguito di elaborazioni statistiche preliminari (valore istantaneo, media scalare, minimo, media e massimo in intervalli di tempo assegnati). La programmazione permette di considerare le locali realtà idrogeologiche.

La grande quantità di dati acquisiti confluisce, unitamente ad altri di diversa natura, in un SIT (Sistema Informativo Territoriale, GIS per gli anglosassoni). Sono previste due modalità di trasferimento dei dati al SIT: registrazione e trasmissione in automatico, tramite ponte radio e scarico manuale dei dati registrati presso i pozzi più isolati, mediante supporti elettronici, e successivo inserimento nella banca dati del sistema.

Il sistema informatico ospita un software in grado di assicurare tutte le funzionalità di acquisizione, memorizzazione, trattamento, restituzione e rappresentazione grafica dell'informazione. In sintesi, le varie componenti possono essere raggruppate in un sistema di gestione dei dati immagazzinati e in un altro di elaborazione degli stessi. Entrambi sono stati realizzati con la tecnica dei dati gerarchici, che consente un'interazione semplice ed efficace dell'utente con il sistema. Tutta la procedura è coordinata da un modulo principale che gestisce i collegamenti con i moduli gerarchicamente inferiori.

E' inoltre possibile trasferire informazioni ad altri sistemi informativi o ad utenti afferenti al SIT-Puglia per elaborazioni in locale e per produrre automaticamente dei rapporti di sintesi sui dati qualitativi e quantitativi provenienti dalla rete di monitoraggio.

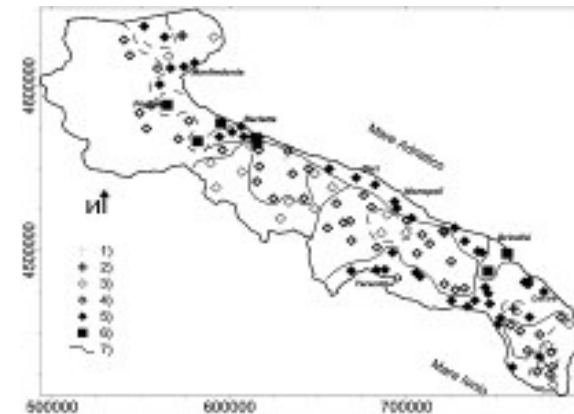


Fig.2 - Qualità delle acque sotterranee pugliesi ai fini potabili. Classe 1) AA, 2) BA, 3) AB, 4) BB, 5) CB, 6) CC, 7) limite tra zone le cui acque risultano di diversa classe.

4. APPLICAZIONI DI MODELLI NUMERICI ALLE OPERE DI INGEGNERIA AD ALTO IMPATTO SULLE ACQUE SOTTERRANEE

Se si opera su acquiferi molto vasti, soggetti ad un uso intenso, non regolamentato e quindi non noto, la gestione delle risorse idriche sotterranee può essere attuata prevalentemente con reti di monitoraggio e non con modelli numerici. La difficoltà di riprodurre realtà complesse con processi numerici cresce se gli acquiferi sono fessurati e carsificati, come nel caso dei principali acquiferi pugliesi, in quanto non si può trascurare né facilmente caratterizzare la natura disomogenea e anisotropa del mezzo. In tali casi la modellazione numerica è di grande ausilio fondamentale per lo studio degli effetti derivanti dalla realizzazione di opere di ingegneria ad alto impatto sulle acque sotterranee o all'ottimizzazione della relativa progettazione.

Un'esperienza importante è stata realizzata relativamente all'acquifero carsico della Murgia, nel territorio urbano di Bari, dove le acque sotterranee sono spesso utilizzate per scambiare calore, a vantaggio di impianti industriali o di climatizzazione degli edifici (Polemio, 1994). Nell'area urbana di Bari è forte il rischio di intrusione marina, vista la vicinanza del mare. Gli effetti indotti in lunghi periodi da tali impianti sono stati esaminati attraverso l'impiego di modelli numerici di simulazione della circolazione idrica e del trasporto. E' stato adottato un modello di flusso dell'acqua sotterranea a densità variabile, con trasporto di soluto. Ad esempio, nel caso dell'impianto di climatizzazione a servizio del Tribunale di Bari si è ipotizzata la realizzazione di due batterie di 4 pozzi ciascuna, una di presa e una di resa, disposte a 50 m l'una dall'altra, lungo la direzione normale al flusso della falda, poste a circa 500 m dalla costa adriatica. Il problema considerato riguarda un impianto di condizionamento che preleva dalla batteria di monte una portata variabile al variare della stagione e la immette, nelle medesime condizioni di salinità ma con un'assegnata

variazione termica, a valle. La Fig.3, sintesi estrema delle simulazioni numeriche effettuate, permette di osservare che la soluzione ottimale, sia per contenere l'impatto dell'impianto in termini di variazioni di salinità sia in termini di profondità e quindi di costo dell'impianto stesso, è quella che prevede una profondità dei pozzi di circa 100 m.

I modelli numerici sono stati utilizzati anche nello studio degli interventi di disinquinamento di aree industriali e per realizzare barriere fisiche o trincee drenanti a salvaguardia delle risorse idriche sotterranee in prossimità di siti inquinati o discariche di rifiuti industriali o comunque pericolosi (Polemio & Romanazzi, 1999).

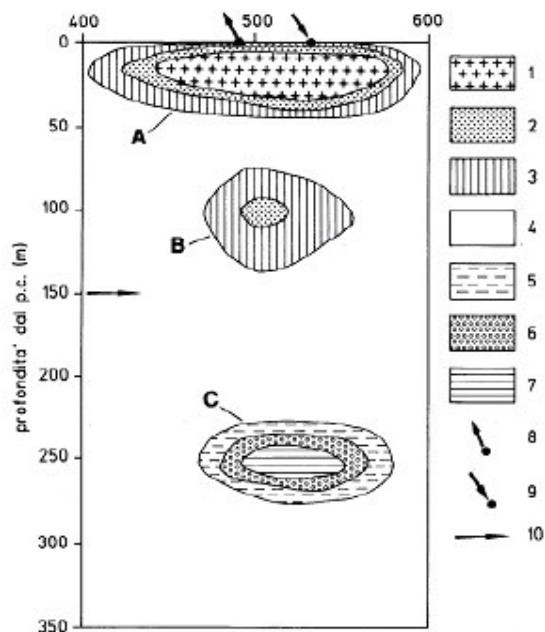


Fig.3 - Sezione verticale dell'acquifero, confronto delle variazioni della salinità (g/l) dopo 4 anni di esercizio nelle ipotesi di presa-resa a (A) 25, (B) 100 e (C) 250 m di profondità: 1) > 3; 2) da 2 a 3; 3) da 1 a 2; 4) da -1 a 1; 5) da -2 a -1; 6) da -3 a -2; 7) < -3; 8) pozzi di presa; 9) pozzi di resa; 10) direzione

5. MAPPATURA SPEDITIVA DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE PUGLIESI

E' 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.

A tal fine è stata sperimentata una metodologia di classificazione e mappatura speditiva della qualità di base delle acque sotterranee che riprende quella proposta

da Civita et al. (1993). Il metodo risulta particolarmente versatile e di pratico utilizzo in quanto si possono utilizzare dati spesso già disponibili negli archivi mentre 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. La metodologia, per i suoi specifici presupposti, prevede l'utilizzazione di un limitato 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. I parametri sono stati selezionati in funzione della loro frequente disponibilità nelle banche dati idrogeologiche, 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, in particolare pugliesi.

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.

La classificazione proposta valuta ciascun parametro in tre classi, distinguendo in due gruppi di parametri. Le classi sono: A o ottimale, per concentrazioni minori del valore guida; B o media, per concentrazioni comprese tra valore guida e concentrazione massima ammissibile nonché C o scadente, per concentrazioni maggiori di quella massima ammissibile. Per la definizione dei valori guida e delle concentrazioni massime ammissibili sono stati considerati i valori dettati dalle normative vigenti italiana e comunitaria, in relazione alle acque potabili. Le possibili combinazioni delle classi della qualità delle acque sotterranee sono 9 (AA, AB, etc...). In sostanza, per ciascun campione analizzato si associa il valore di ciascun parametro alla più opportuna delle tre 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 (più brevemente AA), se solo un parametro del gruppo 1 rientra nell'intervallo di classe B si avrà un'acqua di tipo B1A2 e così via.

Il raggruppamento in due gruppi di parametri è tale che siano immediatamente individuabili i possibili trattamenti necessari per migliorare le caratteristiche qualitative delle acque. In sostanza, qualora si voglia migliorare, cioè ridurre, la concentrazione di un parametro del gruppo 1 si dovrà ricorrere ad un trattamento specifico e tipico per il parametro stesso; per i parametri del gruppo 2 potrebbe bastare un trattamento ossidativo semplice o spinto e comunque comune per tutti i parametri.

Per effettuare la mappatura e la conseguente classificazione delle acque pugliesi, sono stati utilizzati più di 500 campioni d'acqua, prelevati nei 110 pozzi

della rete di monitoraggio (Fig.2). Dalla combinazione dei parametri considerati, si ottiene 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. Dalla combinazione delle classi emerge che solo un esiguo 1% delle acque analizzate non deve subire trattamenti ai fini potabili; il 56 % deve invece subire dei trattamenti specifici e, aspetto alquanto preoccupante, il restante 43% non è idoneo all'utilizzo idropotabile.

6. L'UTILIZZO DEI CAROTAGGI MULTIPARAMETRICI IN POZZO

Numerosi sistemi idrogeologici, tra cui anche quelli pugliesi, sono attualmente soggetti a due principali fonti d'inquinamento, riconducibili alle attività antropiche: il progressivo inquinamento salino delle acque sotterranee (lungo ampie porzioni della fascia costiera) e l'inquinamento chimico-fisico e batteriologico (concentrato essenzialmente nelle aree antropizzate) che riducono la disponibilità di acqua di buona qualità (Cotecchia, 1981; Fidelibus & Tulipano, 1996; Cotecchia & Polemio, 1995). La severità della situazione richiede un rigoroso approccio basato sulla conoscenza scientifica, integrato da rilievi periodici in sito.

Di valido supporto a questo fine si sono dimostrati i carotaggi multiparametrici effettuati lungo l'intera colonna idrica dei pozzi. In particolare, si è sperimentato l'utilizzo sistematico di sonde dotate di sensori di temperatura, conducibilità elettrica, pH, ossigeno disciolto e potenziale di ossido riduzione, che permettono di ottenere dei risultati speditivi in merito alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque nonché sullo stato di inquinamento. La metodologia è stata sperimentata su numerosi pozzi della regione (Fig.4), per un periodo di un anno, con rilievi a cadenza trimestrale. Sono state così individuate delle tipologie di andamento dei parametri rilevati che sono risultate correlabili con le condizioni idrogeologiche vigenti nel territorio studiato.

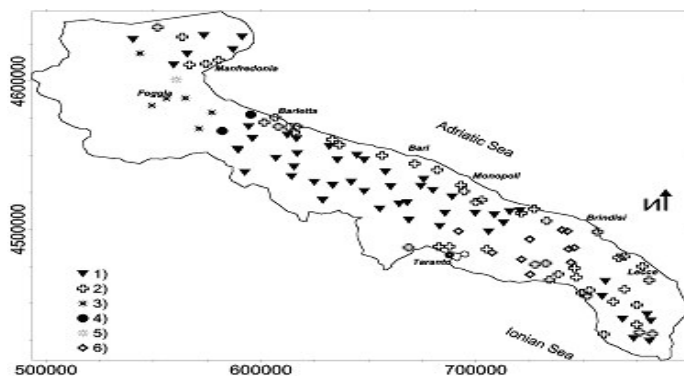


Fig.4 - Pozzi di monitoraggio e tipologie. Legenda: 1) area interna o di alimentazione (tipologia A), 2) fascia costiera (tipologia B), 3) acquifero superficiale del Tavoliere (tipologia C), 4) zona di transizione Murgia-Tavoliere (tipologia D), 5) zona di transizione Tavoliere-Gargano (tipologia E), 6) zona di transizione Murgia-Salento (tipologia F)

Tali tipologie, ricorrenti nello spazio e nel tempo, e delle quali si riportano dei significativi esempi (Fig.5), consentono l'utilizzo estensivo della metodologia, che può essere speditamente impiegata, preliminarmente a qualsiasi altra, in opere già esistenti, per individuare le condizioni idrogeologiche che determinano la natura chimico-fisica delle acque sotterranee e l'eventuale presenza di inquinamento antropico o salino per intrusione marina.

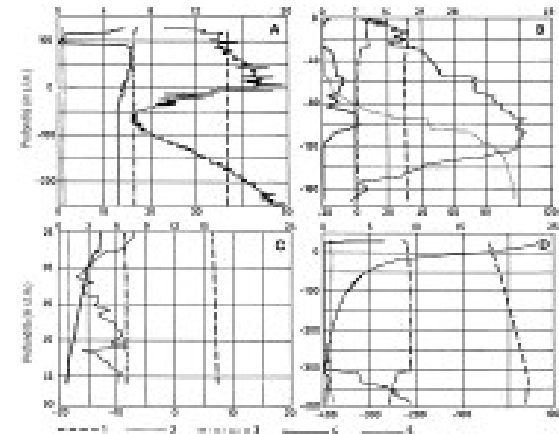


Fig.5 - Tipologie multiparametriche (A, B, C, D). Legenda: 1) Temperatura, 2) Salinità, 3) pH, 4) Ossigeno Disciolto, 5) Redox. Nel singolo diagramma, sull'asse delle ascisse, la scala in basso si riferisce al Redox, quella in alto alle altre grandezze.

Sono stati così individuati sei andamenti-tipo di logs multiparametrici. I caratteri chimico-fisici delle acque sotterranee, emersi dai carotaggi multiparametrici, sono risultati correlabili con particolari condizioni idrogeologiche, vigenti in parte delle unità idrogeologiche: area interna o di alimentazione (tipologia A), fascia costiera (tipologia B), acquifero superficiale del Tavoliere (tipologia C), zona di transizione Murgia-Tavoliere (tipologia D), zona di transizione Tavoliere-Gargano (tipologia E), zona di transizione Murgia-Salento (tipologia F) (Fig.4 e 5).

Si è documentato che i carotaggi multiparametrici evidenziano le situazioni in cui l'attività antropica ha causato un degrado o semplicemente una modificazione qualitativa delle acque sotterranee. La metodologia ha fornito preziose informazioni sull'evoluzione dell'intrusione marina nell'entroterra, con progressivo aumento della salinità delle acque sotterranee, indotta soprattutto dall'attività antropica.

L'individuazione di tipologie di andamenti dei logs multiparametrici, correlabili con le particolari condizioni idrogeologiche, è particolarmente utile in una fase esplorativa, ad esempio quando si debbano caratterizzare vasti territori con poco tempo e modeste risorse economiche disponibili, poiché l'esecuzione di tali rilievi si effettua con estrema rapidità ed economicità.

7. LA VULNERABILITÀ INTRINSECA DEGLI ACQUIFERI

La pianificazione territoriale dovrebbe essere basata su approfondite analisi delle caratteristiche e delle problematiche del territorio, considerando gli aspetti geologici ed idrogeologici nonché lo stato qualitativo e quantitativo delle risorse naturali, in particolare idriche. Un'attenta valutazione di questi aspetti e quindi della vulnerabilità di ciascuna risorsa naturale permetterebbe di attenuare gli effetti negativi derivanti dallo sviluppo delle attività antropiche, ottimizzando la gestione del territorio.

Un importante strumento informativo, utile per tali scopi, è rappresentato dalla carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero. Tali cartografie sono generalmente una vera e propria sintesi, espressa in termini quantitativi, di una serie di carte tematiche che illustrano i fondamentali caratteri idrogeologici del territorio. La carta di vulnerabilità offre uno scenario statico che territorializza la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi a recepire e diffondere un inquinante trasportato dall'acqua, tale da produrre impatto sulla qualità delle acque sotterranee, nello spazio e nel tempo (Civita, 1994).

La redazione delle carte della vulnerabilità intrinseca si opera spesso a scala media, spesso 1:25.000; spesso si ricorre al metodo SINTACS (Civita & De Maio, 1997), che ha già trovato un estensivo impiego nella valutazione della vulnerabilità dei principali acquiferi presenti in Italia. Il metodo SINTACS si basa sulla selezione di parametri cui è attribuito un punteggio tipico della cella in cui si suddivide il territorio, e un peso crescente in funzione del contributo che esso offre alla vulnerabilità. I parametri considerati sono la soggiacenza, l'infiltrazione efficace, l'effetto di autodepurazione del non saturo, la tipologia della copertura, le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero, la conducibilità idraulica dell'acquifero, l'acclività della superficie topografica. Per ciascuna cella si procede moltiplicando il punteggio per il peso previsto per il singolo parametro e, quindi, sommando il risultato del prodotto relativo a ciascun parametro. Le stringhe di pesi variano in funzione dei caratteri idrogeologici prevalenti in ciascuna cella.

Il metodo SINTACS è stato utilizzato per redigere una carta della vulnerabilità intrinseca di un'area campione della Murgia (Fig.6) (Cotecchia et al., 1999, Polemio & Ricchetti, 2001), caratterizzata da un acquifero permeabile per fratturazione e carsismo, dall'elevata concentrazione di attività antropiche, nonché dalla presenza di numerosi pozzi adibiti ad uso potabile. Tale area ben esprime i caratteri e le problematiche presenti nell'intero territorio della Murgia ed in generale in quello pugliese. Per questa sperimentazione sono state utilizzate e correlate informazioni di carattere stratigrafico ed idrogeologico, desunte dalle schede tecniche a corredo dei pozzi esistenti, e di monitoraggio, derivanti da indagini specifiche effettuate su numerosi pozzi dell'area in esame. In particolare, sono stati condotti rilievi piezometrici, articolati in più cicli, carotaggi multiparametrici, determinazioni delle velocità di filtrazione e delle correnti verticali, determinazioni analitiche complete su campioni d'acqua prelevati in condizioni dinamiche da pozzi verticali. Sono stati utilizzati dati relativi a circa 200 perforazioni (Fig.7).

Si è operato mediante celle quadrate di 10 m di lato. La redazione della mappa di vulnerabilità intrinseca (Fig.8) è stata ottenuta mediante tecniche GIS di sovrapposizione delle differenti mappe dei parametri SINTACS e dei pesi. Nella mappa della vulnerabilità intrinseca così ottenuta si individuano 5 classi di vulnerabilità, che corrispondono a valori dell'indice di vulnerabilità espressi in percentuale. In particolare, la vulnerabilità molto alta corrisponde a un indice nell'intervallo 70-80%, quella alta a 50-70%, media a 35-50%, bassa a 25%-35% e molto bassa a <25% (Polemio & Ricchetti, 2001). Dalla lettura della carta, si evince che il grado di vulnerabilità intrinseca dell'acquifero, pur rimanendo alto in gran parte dell'area studiata, tende ad aumentare nel settore centro-settentrionale. La buona relazione esistente tra vulnerabilità intrinseca dell'acquifero, valutata a prescindere da considerazioni sull'effettivo inquinamento, e il degrado qualitativo delle risorse idriche sotterranee, incoraggia nell'applicazione della metodologia.

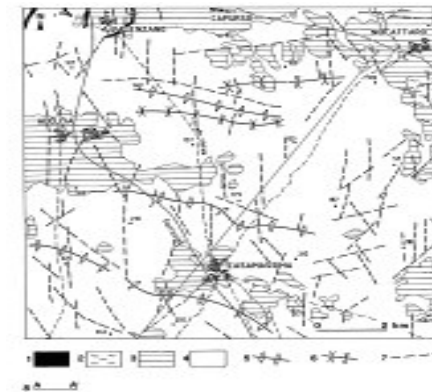


Fig.6 - Carta geologica (Cotecchia et al., 1999). 1) Depositi alluvionali; 2) Argille di Rutigliano; 3) Calcareniti di Gravina; 4) Calcarea di Bari; 5) Asse di anticlinale; 6) Asse di sinclinale; 7) Faglia presunta; 8) Traccia di sezione

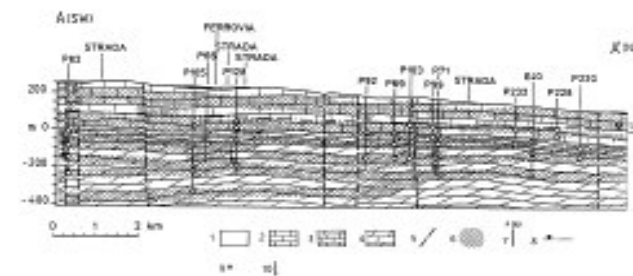


Fig.7 - Sezioni Idrogeologiche (Cotecchia et al., 1999). 1) Calcareniti di Gravina; 2) Calcarea; 3) Alternanza calcari-dolomie; 4) Dolomie; 5) Faglia presunta; 6) Fratturazione e/o carsismo; 7) Pozzo; 8) Livello statico; 9) Rinvenimento idrico; 10) Velocità verticale.

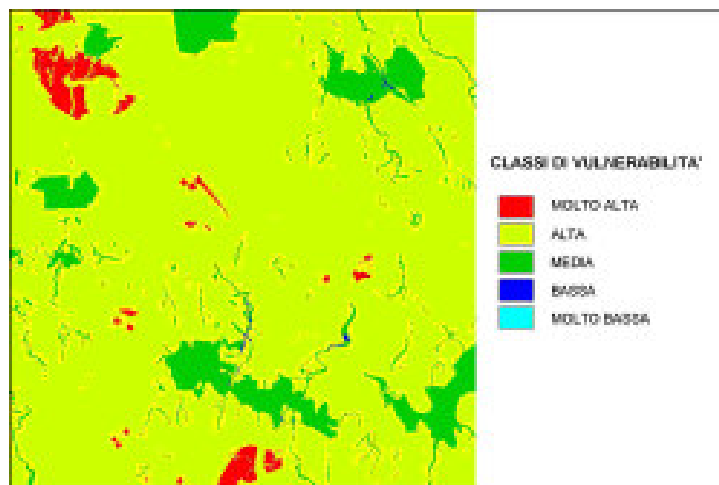


Fig.8 - Mappa delle classi di vulnerabilità.

8. L'USO DI IMMAGINI TELERILEVATE

Il contributo dei dati telerilevati agli studi idrogeologici è oramai ampiamente dimostrato dai risultati di numerose ricerche, particolarmente in aree molto estese in cui i dati diretti di campagna sono scarsi. I dati telerilevati da satellite hanno il vantaggio di coprire aree molto vaste in un'unica scena, consentendo una visione sinottica, e di avere una ciclicità di acquisizione che permette un periodico monitoraggio nel tempo. I dati acquisiti da aerei, elicotteri o da postazioni fisse a terra hanno il vantaggio di offrire maggiore dettaglio, e talvolta di permettere rilevamenti ciclici a basso costo.

Un'esperienza è stata svolta per l'acquifero superficiale di Brindisi, che copre quasi tutta l'omonima provincia, posta tra Murgia e Salento, e si estende per circa 700 km² (Polemio & Ricchetti, 1996). La piana di Brindisi coincide con una vasta depressione strutturale aperta verso la costa adriatica, che interessa le rocce carbonatiche che costituiscono la Murgia e il Salento, al di sopra delle quali si sono depositi sedimenti argillosi prima e sabbiosi e/o calcarentici poi, questi ultimi costituenti l'acquifero superficiale.

L'analisi delle immagini radar telerilevate da satellite, acquisite in tre stagioni differenti, ha permesso di riconoscere aree caratterizzate da diverso regime idrogeologico ed alcuni lineamenti strutturali lungo i quali si verificano verosimilmente perdite d'acqua a favore della falda profonda. Tale circostanza ha dimostrato la vulnerabilità degli acquiferi carbonatici pugliesi anche dove siano coperti da potenti coltri terrigene, anche argillose (Fig.9). La validità dell'applicazione di dati telerilevati nello studio idrogeologico dell'acquifero superficiale di Brindisi è stata inoltre avvalorata dall'analisi, in un'area campione, di immagini riprese con telecamera all'infrarosso termico.

L'uso della telecamera o di scanner multispettrali, operanti nel campo dell'infrarosso termico, è stata peraltro diffusamente applicata per censire e studiare le sorgenti sottomarine poste lungo la costa adriatica e ionica (Cotecchia et al., 1993).

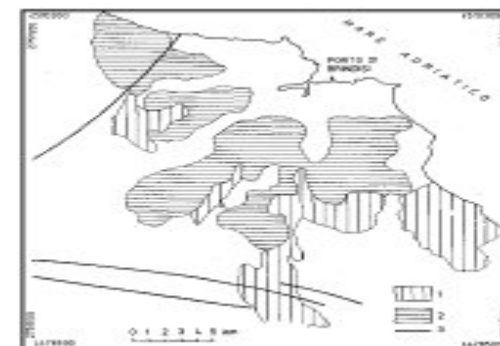


Fig.9 - Interpretazione immagine radar multitemporale: 1) aree caratterizzate da elevata escursione del contenuto d'acqua nel periodo maggio+ottobre con massimo durante l'autunno; 2) aree caratterizzate da contenuto d'acqua nei terreni superficiali alto durante la stagione estiva; 3) linee di concentrazione delle perdite idriche dalla falda idrica superficiale a quella profonda

9. L'EVOLUZIONE DELL'INQUINAMENTO SALINO

Nel territorio pugliese sono di attualità i problemi relativi alla degradazione delle acque sotterranee a causa della contaminazione salina. Due metodologie sono state definite in modo da utilizzare dati spesso già disponibili presso istituzioni pubbliche o gestori di servizi idrici.

Allo scopo di valutare l'evoluzione del fenomeno dell'intrusione marina, si è considerato come valore limite una salinità pari a 0,5 g/l. Tale valore è sostanzialmente un limite superiore per le acque sotterranee di migliore qualità e, in genere, in prima approssimazione, non è superato nei casi in cui sia assente la contaminazione salina per intrusione marina, con riferimento all'area in studio. La valutazione dell'evoluzione planimetrica degli effetti dell'intrusione marina è stata effettuata confrontando gli andamenti dell'isoalina 0,5 g/l in tre orizzonti temporali, 1981, 1989 e 1997 (Polemio & Limoni, 1998) (Fig.10). È interessante notare che in ampie porzioni di territorio, lungo la fascia costiera adriatica e ionica, la contaminazione da parte del mare delle acque di falda, che si estrinseca, in questo caso, in valori della salinità sempre maggiori a quello di riferimento, è un processo per certi versi irreversibile. Solo le aree più interne della Murgia ed una ristretta fascia nella porzione centrale del Salento, non risentono, almeno per ora, di tale fenomenologia.

L'aggravarsi del fenomeno è funzione di due diverse cause, che spesso si sovrappongono. Ad una situazione geologico-strutturale, stazionaria, che permette l'ingressione marina, si sommano sia il prelievo di acque sotterranee, sempre crescente negli ultimi venti anni (Cotecchia & Polemio, 1995) sia gli effetti di duraturi periodi

siccitosi (Polemio, 1998), causa diretta dell'abbassamento dei livelli piezometrici per deficit di ricarica, ma anche indiretta dell'ulteriore aumento degli emungimenti. Il sovrapporsi delle cause sopra descritte crea un notevole richiamo dall'alto, dove circola l'acqua dolce e dove si concentrano le porzioni filtranti dei pozzi, di acqua salata proveniente dal basso, con conseguente inquinamento.

Assumendo come ipotesi che la concentrazione dello ione cloro è strettamente correlata alla salinità, come accade generalmente per gli acquiferi soggetti al fenomeno dell'intrusione salina, sono stati raccolti i dati relativi alla concentrazione dello ione cloro, per circa un trentennio, in alcuni pozzi in esercizio della Murgia e del Salento. Non esistendo dati acquisiti con regolarità nel periodo considerato, che va dal 1970 al 1998, si è considerato per ciascun anno il valore generalmente più significativo per caratterizzare il rischio di degrado della risorsa per inquinamento salino. Sono stati utilizzati, infine, da 21 a 27 dati annuali per ciascun pozzo.

Per ciascun pozzo è stata definita la retta di regressione che, attraverso il coefficiente angolare, esprime quantitativamente la tendenza di quanto in atto. Tale parametro assume ovunque valori positivi, in altre parole ovunque la salinità delle acque sta crescendo.

La notevole variabilità del contenuto salino nel tempo e nello spazio, nonché il generale incremento della salinità nel corso dell'ultimo ventennio mostrano che il rischio di degrado qualitativo per contaminazione salina delle risorse idriche sotterranee della Murgia e del Salento non debba essere assolutamente sottovalutato.

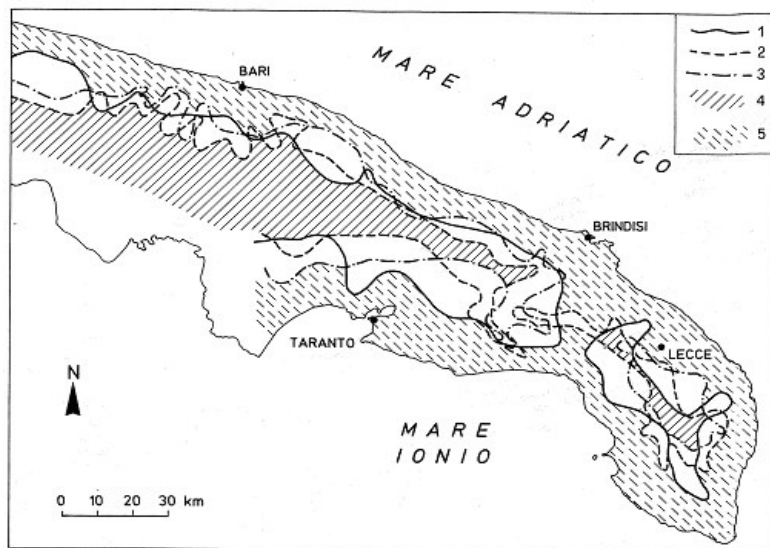


Fig.10 - Evoluzione temporale della isosalina 0,5 g/l. Isoalina del 1) 1997, 2) 1989, 3) 1981, 4) salinità sempre 0,5 g/l, 5) salinità sempre 0,5 g/l.

10. IL DEGRADO QUANTITATIVO E LO STUDIO DELLE SERIE STORICHE IDROLOGICHE

La valutazione del degrado quantitativo delle risorse idriche sotterranee per cause naturali o antropiche è effettuata mediante metodologie statistiche. Gli studi condotti a tal fine, hanno riguardato un'area dell'Italia Meridionale. In particolare, sono state selezionate quattro aree campione poste nel Tavoliere (Polemio et al., 1999), Murgia, Salento (Polemio & Dragone, 1999) e nella Piana di Metaponto (Polemio & Dragone, in corso di stampa). Sono state utilizzate serie storiche piezometriche relative a 116 pozzi (Tab. 1). Le serie relative alla Murgia e al Salento sono successive al 1964 e sono costituite da minimo 7 anni solari completi; le misure

Unità idrogeologica	N. pozzi	Dati Disponibili		Minimo trend osservato	Tendenza probabile 2002
		Da	a		
Tavoliere	9	1929	1994	-0,034	calo
Murgia	30	1965	1997	-0,020	forte calo
Salento	17	1965	1997	-0,005	calo moderato
Metapontino	60	1927	1984	-0,236	calo

Tab. 1 - Pozzi rilevati distinti per unità idrogeologica di appartenenza e disponibilità temporale. Tendenza osservata e previsione al 2002.

sono disponibili regolarmente per tutti i pozzi per il periodo 1973-1978; alcune serie si spingono fino al 1991. Le serie relative ai pozzi del Tavoliere sono disponibili da un minimo di 17 ad un massimo di 55 anni, per un periodo compreso tra il 1929 e il 1994. Infine, le serie della Piana di Metaponto sono comprese tra il 1927 e 1985.

Per caratterizzare il comportamento delle altre variabili significative per il ciclo idrologico, per caratterizzare il trend climatico e valutare la dipendenza delle disponibilità di acque sotterranee da quanto accade all'esterno dell'acquifero, sono state considerate serie storiche di piovosità, temperatura atmosferica e deflusso fluviale nonché, in modo qualitativo per l'assenza di dati, il consumo idrico mediante acque sotterranee o in virtù di risorse esterne addotte dagli acquedotti.

Il regime pluviometrico, in ogni area campione, è risultato simile, con un unico minimo in luglio o agosto e un unico massimo tra novembre o febbraio. Lo stesso può dirsi per la temperatura, che descrive ovunque un regime con massimi in luglio o agosto e minimi tra novembre e febbraio (Fig. 11).

Il regime delle falde è risultato differenziabile per ciascuna unità idrogeologica, come appare ad esempio in figura 11, in cui per ciascun pozzo la quota piezometrica mensile è stata riferita alla quota media, in modo da rimuovere l'effetto della differente quota media. Per quanto riguarda la Piana di Metaponto, si è dovuto rinunciare a

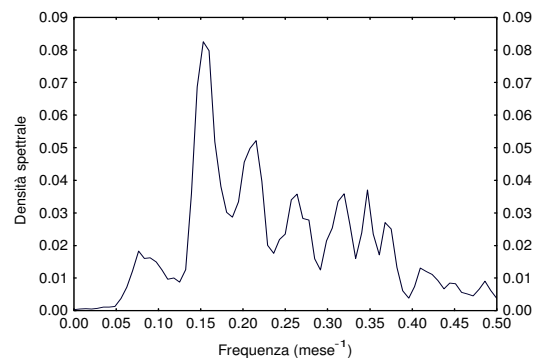


Fig. 11 - Regime termopluviometrico, di deflusso fluviale e piezometrico. Diagramma A: da C1, P a C4, P stazioni pluviometriche, da C1, T a C3, T termometriche e da D1 a D3 di deflusso fluviale. Diagramma B: fuso definito dai regimi piezometrici dei pozzi in falda confinata (CO) e libera (LI).

determinare un'unica curva media, rappresentativa del regime di tutta la falda, in quanto è risultato che le curve relative a ciascuna stazione descrivono regimi sostanzialmente di due tipi: il primo è relativo al gruppo di pozzi la cui falda risulta confinata, il secondo raccoglie invece i pozzi freatici. Come già osservato da Polemio & Ricchetti (1991), il regime piezometrico per i pozzi in pressione è caratterizzato da maggiori escursioni e da andamenti dello stesso costituito da spezzate, bruscamente raccordate in prossimità dei valori estremi. I tempi di risposta del regime piezometrico alle variazioni registrate dal regime termopluviometrico sono risultati molto rapidi per il Salento, un mese o due al massimo per le altre zone.

Il carattere tendenziale delle serie storiche piezometriche è stato individuato, mediante il coefficiente angolare CA della retta di regressione (Tab.1). I risultati hanno evidenziato, per la maggior parte dei pozzi, un valore negativo, identificando una tendenza diffusa, sia pure lentissima in alcuni casi, al calo piezometrico. I pochi valori positivi di CA sono ubicati tra Murgia e Salento, sono generalmente bassi e relativi a pozzi molto vicini alla costa. I minori decrementi piezometrici tendenziali si osservano in Salento, a cui si associa generalmente un coefficiente angolare CA maggiore di -0,001 m/mese. I valori minimi si osservano nell'interno della Murgia, con valori di CA minori di -0,02 m/mese. Si noti, a questo proposito, che CA pari a -0,02 m/mese equivale a un calo piezometrico di 12 m in 50 anni. Nella Murgia, come anche per le altre unità idrogeologiche, il CA si approssima a zero, come naturale, procedendo dall'interno verso la costa. Lo stesso comportamento hanno mostrato i trend piezometrici relativi alle aree agricole del Tavoliere i cui coefficienti di regressione hanno assunto valori compresi tra -0,001 e -0,034, evidenziando un decremento non trascurabile (Polemio et al., 1999).

Sulla base delle conoscenze in tema di trend piezometrico, termopluviometrico e di deflusso fluviale, di crosscorrelazione, di cui si dirà nel seguito, ed effettuate alcune misure dirette, la tendenza piezometrica più probabile durante l'attuale siccità è risultata ovunque grave (Tab. 1).

In campo idrologico e idrogeologico la manifestazione quantitativa di un dato fenomeno o variabile, quale la quota piezometrica, non dipende solo dal tempo (trend), ma anche da valori che la variabile stessa ed altre, a questa evidentemente correlabili, hanno assunto in precedenza. Nel primo caso si può rilevare un carattere della variabile prescelta che è chiamato persistenza, che consiste nella capacità della variabile di assumere valori nel tempo poco diversi dai precedenti. La persistenza può essere quantificata mediante un indicatore statistico quale il coefficiente di autocorrelazione (Maione & Moisello, 1993). Nel secondo caso, la manifestazione quantitative del fenomeno è influenzata da variabili ad essa correlate, le quali possono produrre effetti con diversi intervalli di tempo (lag). L'indicatore statistico utilizzato in questo caso è chiamato coefficiente di cross-correlazione.

Per le serie pluviometriche si osserva la totale assenza di autocorrelazione, coerentemente con la natura casuale delle piogge. La temperatura invece, per tutte le stazioni considerate, mostra una forte autocorrelazione che decresce con il ritardo, si annulla in genere per un ritardo di 3 mesi (Fig. 12).

Per quanto riguarda le serie piezometriche, i coefficienti di autocorrelazione mostrano un andamento progressivamente decrescente, a partire da valori prossimi all'unità. Ciò dimostra che tutte le falde idriche studiate possiedono un rilevante effetto memoria, che si avverte fino a 3-4 mesi. In altre parole, la piezometria di un dato mese dipende fortemente da quella dei mesi precedenti, in modo significativo e decrescente all'aumentare del ritardo, fino a 3-4 mesi. L'autocorrelazione piezometrica ha dato risultati molto simili per tutti i pozzi del Salento e della Murgia, quest'ultimo ben rappresentato dalla figura 12. Per il Salento l'effetto memoria è più rilevante: anche per ritardi di 4 mesi si hanno coefficienti di autocorrelazione maggiori di 0,5. Ciò conferma le migliori caratteristiche idrogeologiche del Salento. Considerando i pozzi del Tavoliere in area agricola, l'effetto memoria varia anche in relazione alle variazioni granulometriche dei terreni costituenti l'acquifero superficiale e al carattere multistrato dell'acquifero. Nella Piana di Metaponto la falda idrica mostra un rilevante effetto memoria, che si avverte fino ad un massimo da 2 a 6 mesi, quest'ultimo valore si associa a pozzi in pressione.

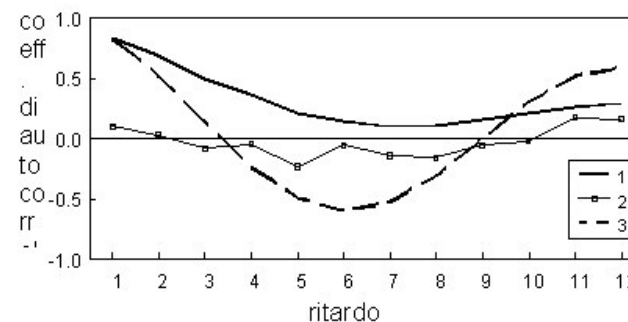


Figura. 12 - Autocorrelazione (1) della quota piezometrica, (2) della pioggia e (3) della temperatura atmosferica, località Castel del Monte, Murgia.

Il calcolo degli indici di cross-correlazione, ossia della possibile correlazione esistente tra due variabili l'una ritardata rispetto all'altra, permette di valutare l'influenza di ogni singola variabile sul livello piezometrico e di quantificare il tempo di risposta di quest'ultimo. I valori di cross-correlazione per il pozzo di Castel del Monte della Murgia evidenziano una correlazione massima tra quota piezometrica e pioggia per un ritardo di 2 mesi; tra la quota piezometrica e la temperatura la migliore correlazione è minore e si registra con un ritardo di 4 mesi. Nel Tavoliere l'effetto delle precipitazioni si risente fino a un massimo di 2-3 mesi e comunque è meno rilevante della temperatura per giustificare le variazioni piezometriche (Fig. 13). Questo risultato si giustifica per quanto segue. Durante la stagione umida, da ottobre a marzo circa, il fattore idrologico prevalente nel Tavoliere è la piovosità, che generalmente eccede l'evapotraspirazione reale. In tale periodo, grossomodo, la piovosità cresce al decrescere della temperatura. Durante la stagione arida il fattore che condiziona principalmente il bilancio idrologico è la temperatura. Gli incrementi di temperatura atmosferica provocano, infatti, un crescente deficit idrico, rendendo necessari maggiori quantitativi di acqua, soprattutto per la tutela delle coltivazioni. In sostanza, la temperatura diviene un elemento per stimare in modo indiretto l'effetto dei prelievi stagionali, legati appunto, principalmente, all'aumento estivo della temperatura. Quindi il parametro temperatura meglio descrive la porzione di ciclo idrologico di maggiore rilievo per le acque sotterranee del Tavoliere (Polemio et al., 1999). Ad esempio, nel caso della stazione F3 (Fig. 13), la variabile temperatura è in correlazione negativa con la piezometria, così come accade nelle altre stazioni, ma con uno sfasamento temporale di un solo mese. La falda idrica risente dell'effetto delle precipitazioni con un ritardo da 2 a 4 mesi. Infine, l'impulso determinato dal deflusso superficiale provoca una risposta rapida della falda, ritardata soltanto di uno o due mesi, e rapidamente "dimenticata" dal sistema acquifero nei mesi successivi.

La serie storica piezometrica del pozzo F3 è stata soggetta ad un'analisi spettrale. La serie è stata scomposta, secondo un modello additivo, seguendo la tradizionale impostazione dell'analisi delle serie temporali, utilizzando il metodo X-11. Sono state individuate tre componenti per ciascuna misura: la componente ciclo-trend, quella stagionale e quella accidentale o irregolare. Dalla serie accidentale è stata ricavata, attraverso l'analisi spettrale, la densità spettrale (Polemio & Dragone, 1999). E' così emerso il persistere di una non trascurabile componente ciclica nel comportamento della falda idrica presso il pozzo F3. Inoltre, l'andamento della densità spettrale della componente accidentale (Fig.14) mostra l'influenza fondamentale che la frequenza semestrale, fondamentalmente da legarsi all'alternarsi della stagione piovosa a quella arida, ha nella componente accidentale. Le maggiori influenze sono state comunque registrate nei campi delle basse frequenze, ad evidenziare la grande capacità di modulazione, ossia la buona capacità d'invaso dell'acquifero del Tavoliere (Polemio et al., 1999).

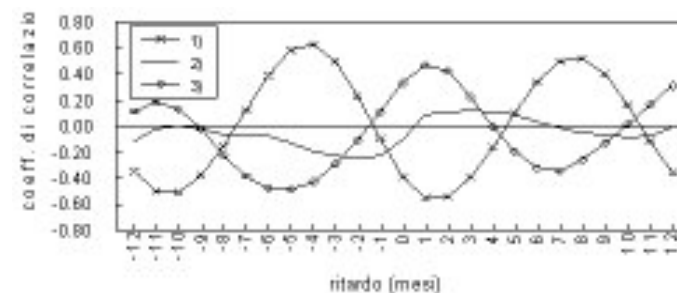


Figura 13. Cross-correlazione della quota piezometrica del pozzo F3 del Tavoliere (Polemio et al., 1999). Con 1) la temperatura, 2) la piovosità, 3) il deflusso fluviale.

11. CONCLUSIONI

I casi di studio brevemente descritti mostrano la complessità dei fenomeni che minacciano la qualità e la disponibilità di acque sotterranee pregiate. Trattasi di rischi concreti e gravi, purtroppo frequentemente e diffusamente già tramutatisi in realtà.

Allo stesso tempo, emergono le potenzialità derivanti da un approccio multimetodologico allo studio dei fenomeni di degrado delle risorse idriche sotterranee. Gli stessi strumenti si prestano alla definizione di strumenti di tutela e gestione di queste risorse naturali, in modo da perseguire uno sfruttamento sostenibile delle stesse.

BIBLIOGRAFIA

- Civita M. & De Maio M. (1997) - *S.I.N.T.A.C.S. un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento* - Pitagora Ed., Bologna.
- Civita M. (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento* Pitagora Ed., Bologna.
- Civita M., Dal Prà A., Francani V., Giuliano G., Olivero G., Pellegrini M., Zavatti A. (1993) - *Proposta di classificazione e mappatura della qualità delle acque sotterranee*. Inquinamento n.12.
- Colucci V, Limoni P.P., Serravezza C. (1998) - *La rete di controllo idrometrografico e qualitativo delle falde idriche pugliesi*. Acque Sotterranee, Anno XV, 59, 55-61.
- Cotecchia V. & Polemio M. (1995) - *L'inquinamento e il sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee pugliesi*. VI Workshop del Progetto Strategico «Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno», Dicembre 1995, Taormina, in corso di stampa.
- Cotecchia V. & Polemio M. (1998a) - *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., D'Ecclesiis G., Fiorillo F., Polemio M., Tulipano L. (1993) *Applicazioni di tecniche di telerilevamento con sistema termovisivo all'infrarosso per l'individuazione di efflussi costieri e di aree di drenaggio di corpi franosi*. 5° Workshop Progetto Strategico "Clima-Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno", 1, (529-545), 28/30 aprile, Amalfi.
- Cotecchia V., Daurù M., Limoni P.P., Mitolo D., Polemio M. (1999) - *Carta della Vulnerabilità dell'acquifero murciano; Area campione a Sud-Est di Bari*. - Pubbl. GNDCI n.1964, Atti del 3° Conv. Naz. sulla Protez. e Gest. delle Acque Sotterranee per il III Millennio, Parma.
- 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. (1999) - *Apulian groundwater (Southern Italy) salt pollution monitoring network*. Flemish Journal of Natural Science, Ghent; Belgium, 197-204.
- 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.
- Grassi D. (1973) - *Fondamentali aspetti dell'idrogeologia carsica della Murgia (Puglia), con particolare riferimento al versante adriatico*. Geol. Appl. e Idrogeol., VIII, parte II, 285-313.
- Grassi D., Tadolini T. & Tulipano L. (1975) - *Influenza delle caratteristiche morfologico-strutturali e paleogeografiche sull'idrologia della zona situata a nord di Otranto (Penisola Salentina)*. Atti III Conv. Int. sulle Acque Sotterranee, Palermo 1-5 novembre 1975.
- Maione U. & Moisello U. (1993) - *Statistica per l'Idrologia*, La Goliardica Pavese.
- Polemio M. & Dragone V. (1999) - *Serie storiche piezometriche delle unità idrogeologiche Pugliesi: regime piezometrico, effetti climatici e antropici*. Atti del 3° Conv. Naz. sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio, Parma.
- Polemio M. & Limoni, P.P. (1998) - *L'evoluzione dell'inquinamento salino delle acque sotterranee della Murgia e del Salento*. VI Con. Giovani Ricercatori di Geologia Applicata, Chieti, 15-16 ottobre 1998, in the press.
- Polemio M. & Ricchetti E. (1996) - *L'acquifero del territorio di Brindisi: dati geoidrologici diretti e immagini radar da satellite*. Memorie della Società Geologica Italiana, Roma, vol. 51, 1059-1074.
- Polemio M. & Ricchetti E. (2001) - *Vulnerability Mapping of an Apulian Deep Carbonate Aquifer Using GIS*. II Simposio "Protezione delle acque sotterranee dall'intrusione marina e dall'inquinamento", Istituto Italo-Russo di formazione e ricerche ecologiche", 291-302.

- Polemio M. (1994) - *I modelli numerici per la previsione degli effetti dell'utilizzo delle acque sotterranee nelle aree urbane soggette all'intrusione marina, il caso di Bari*. Acque Sotterranee, GEO-GRAPH, 41, 47-58, Segrate (MI).
- Polemio M. (1998) - *Le calamità idrogeologiche dell'inverno 1995-96 nel territorio tarantino*. Conv. Int. «La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica», CNR IRPI, Alba, Novembre 1996, 2, 63-74.
- Polemio M., Di Cagno M. & Dragone V. (1999) - *Effetti antropici e naturali sul degrado quantitativo delle acque sotterranee del Tavoliere*. Pubbl. GNDCI n. 2011, Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Editrice, Bologna, 1999, 4, 143-152.
- Polemio M. & Dragone V. (1999) - *Serie storiche piezometriche delle unità idrogeologiche pugliesi: regime piezometrico, effetti climatici ed antropici*. Pubbl. GNDCI n. 2015, Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Editrice, Bologna, 1999, 4, 153-162.
- Polemio M. & Dragone V. (in corso di stampa) - *Gli effetti antropici e climatici sulla disponibilità delle acque sotterranee della piana ionico-lucana*. Atti del I Convegno dell'Associazione Italiana di Geologia Applicata, Chieti, 2003.
- Polemio M., Romanazzi L. (1999) - *Numerical simulation of groundwater protection works against industrial waste dump*. Bull. of Eng. Geol. and the Env., IAEG, Springer Ed., Berlin, 57, 3, 253-261.