

4° Workshop
PROGETTO STRATEGICO
Clima Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno
Lecce, 11-14 Novembre 1991

ATTI

II Tomo

a cura di

V. Piccione e C. Antonelli

Editor **A. GUERRINI**

COLLANA DEL PROGETTO STRATEGICO
"CLIMA AMBIENTE E TERRITORIO NEL MEZZOGIORNO"
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Perturbazioni antropiche irreversibili delle caratteristiche chimico fisiche dell'acquifero sottostante la città di Bari

V. COTECCHIA, G. FERRARI*, C. FIDELIBUS**, V. LENTI, M. POLEMIO**, T. TADOLINI

Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica - Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Bari.

* GEO s.r.l. Bari

** Centro di Studio sulle Applicazioni di Tecnologie Avanzate nel Campo dell'Idrogeologia-CNR-Bari.

*4° Workshop
Progetto Strategico
Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno
Lecce, 11 - 14 Novembre 1991*

Riassunto

Nel corso degli ultimi decenni la nascita di nuove tecnologie e di nuovi bisogni ha accresciuto l'interesse per le acque sotterranee rinvenibili nel sottosuolo di aree intensamente urbanizzate, anche laddove tali acque non fossero idonee per gli usi civili ordinari. Da tale presupposto si è condotto uno studio finalizzato ad accertare l'entità del degrado delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee fluenti nel sottosuolo della città di Bari.

I rilievi effettuati hanno evidenziato fenomeni di alterazione rilevanti dovuti a prelievi e a rilasci in falda diffusi e molto intensi. In particolare, un ruolo rilevante si è dimostrato essere connesso agli impianti di climatizzazione, che si avvalgono spesso delle acque sotterranee per lo scambio di calore. Nel contesto dalle attività di ricerca, si è fatto anche ricorso a simulazioni numeriche per accertare l'entità e le modalità di tali scambi termici, generalmente realizzati abusivamente.

Parole chiave: Acquifero costiero, Inquinamento.

Abstract

Irreversible anthropic disturbance of chemical-physical characteristics of the aquifer underlying the town of Bari

In the run of the last decades the coming up of new technologies as well as new needs has increased the interest in ground-water likely to be found in aquifers below massively urbanized areas, even where said water could not be proper for ordinary urban preposes. Such an assumption has led to a study

aiming at ascertaining the extent of the chemical-physical characteristics degradation of ground-water flowing in the aquifer underlying Bari town.

Surveys proved that significant ground-water alterations are mostly due to massive widespread water takings and sewage releasing in the subsoil.

Air-conditioning systems which often use groundwater for heat exchange play an important role.

In order to ascertain the extent and how such heat exchanges, mostly unauthorized take place numerical simulations were resorted to during investigations.

Key words: Coastal aquifer, Pollution.

Premessa

Il notevole e rapido sviluppo socio-economico verificatosi in questi ultimi decenni ha vieppiù marcato la precarietà del sistema idrogeologico pugliese, originando diverse situazioni a rischio per la qualità delle risorse idriche sotterranee.

Si fa sempre più massicciamente ricorso ai prelievi dalla falda idrica sotterranea per gli usi potabili, irrigui e industriali; allo stesso tempo l'acquifero diventa sempre più il ricettacolo di acque reflue civili ed industriali.

In tutta la nostra regione si è in presenza di una duplice tipologia di inquinamento, attribuibili entrambe alle attività antropiche:

- quella salina, progressiva, che coinvolge porzioni sempre più estese di territorio con una riduzione delle disponibilità idriche sotterranee di idonea qualità;

- quella chimico-batteriologica, anch'essa sempre più significativa, localizzata intorno alle aree urbanizzate e in funzione dei punti di recapito degli scarichi di acque reflue nel sottosuolo.

In particolare l'elevata concentrazione di popolazione nelle aree urbane comporta un aggravamento delle problematiche che incidono sulla qualità della risorsa sino a provocare gravi feno-

meni di inquinamento, in alcuni casi solo transitori, ma generalmente irreversibili.

Il contributo che si porta in questa sede vuole evidenziare come le attività antropiche non solo provochino un inquinamento chimico e batteriologico ma anche come incidano sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee presenti nelle porzioni di acquifero sottostanti le aree urbanizzate.

In particolare si fa riferimento al caso emblematico della città di Bari, ivi l'acquifero è di tipo costiero, caratterizzato dalla presenza della "falda profonda" sostenuta alla base da acqua di mare di invasione continentale.

La qualità delle acque sotterranee rinvenibili nel sottosuolo di Bari e del suo immediato hinterland è da tempo condizionata e limitata dall'eccessivo prelievo dalla falda, per gli usi agricoli ed industriali, e dal disordinato smaltimento delle acque reflue sul suolo e nel sottosuolo. Si consideri, a tal proposito, che già nel 1967 (RICCIARDI *et al.*) era nota la presenza di detergenti anionici nelle acque di falda, in prossimità dei punti di recapito degli impianti di fogna.

Oggi giorno, in prossimità delle aree densamente urbanizzate, la falda non solo è sede del recapito di acque tossiche e nocive provenienti da scarichi abusivi civili ed industriali, ma è oggetto anche di forti e localizzati prelievi destinati agli impianti di climatizzazione o di raffreddamento, con o senza remissione nell'acquifero.

Tale uso della falda è generalmente privo di qualsiasi progettazione ed autorizzazione, nonostante la vigente normativa regionale, ed i prelievi sono talora talmente intensi da poter potenzialmente interessare anche la stabilità degli edifici di non recente edificazione, laddove poggiati sulle acquifere coltri detriche superficiali che, come nel caso del territorio urbano di Bari, coprono estesamente l'acquifero carbonatico con una continuità idraulica fra le acque in essi circolanti.

Le prove di portata condotte interessando porzioni di acquifero via via crescenti e le prove di assorbimento eseguite con tasche di limitata altezza hanno evidenziato come marcata sia l'influenza nella circolazione idrica sotterranea degli orizzonti

intensamente fratturati e/o carsificati. I risultati conseguiti con tali prove sono risultati coerenti con gli elementi noti riguardanti la natura geologica del sottosuolo: non è raro rinvenire anche nel territorio urbano, vere e proprie cavità carsiche, che costituiscono o hanno costituito una comoda via per la circolazione idrica sotterranea.

Le prove idrauliche hanno evidenziato la progressiva diminuzione di permeabilità dell'acquifero con la profondità, in modo tale che le vie più favorevoli alla circolazione idrica sotterranea si fanno via via meno frequenti e più chiuse.

La natura dell'ambiente idrogeologico ha spinto così l'uomo a utilizzare la porzione più superficiale dell'acquifero. A basso costo e con perforazioni profonde non più di una cinquantina di metri, è infatti raggiungibile la porzione più permeabile dell'acquifero.

In tale livello, anzi nei primi 10 - 30 m di profondità dal piano campagna, circolano le acque sotterranee dolci provenienti dall'interno del territorio murgiano. Al di sotto, oltre ad essere caratterizzata da un decrescente grado di mobilità, la falda è interessata dall'intrusione salina.

Per tale ambiente idrogeologico si è cercato di definire un primo quadro conoscitivo preliminare, considerando n. 12 aree di indagine distribuite nel territorio urbano di Bari (Fig. 1); in tali aree sono stati raccolti i dati relativi alle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero e chimico-fisiche delle acque sotterranee. L'attenzione della ricerca è stata essenzialmente rivolta ai parametri salinità e temperatura idrica, in quanto significativi sia in relazione al sovrasfruttamento della falda che per la pratica della reimmersione dell'acquifero di acque interessate da scambi di calore (POLEMIO, 1994).

Caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee

Il quadro complessivo che si è tratto dai rilievi condotti ha evidenziato per i parametri esaminati un ampio campo di variabilità.

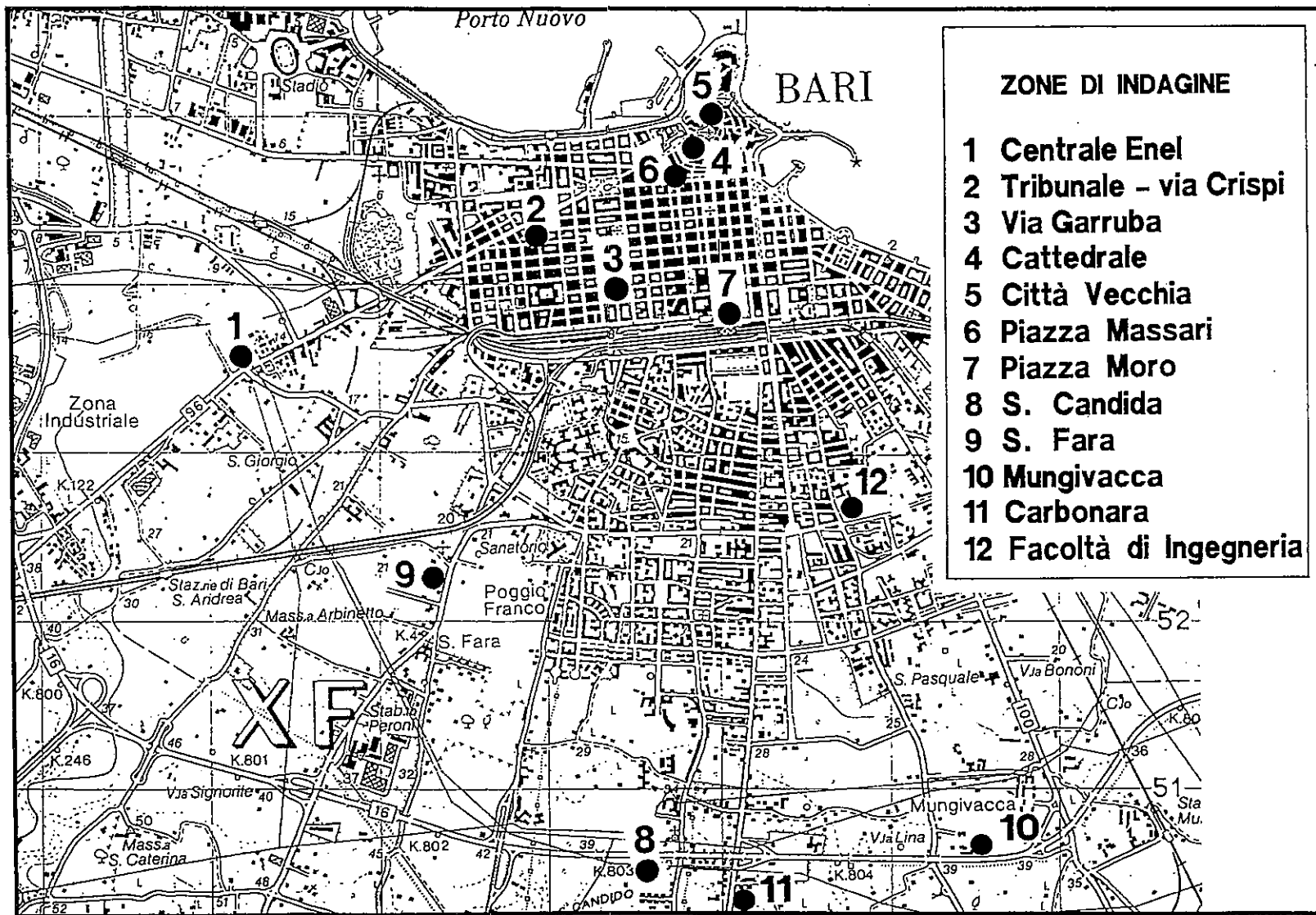


Fig. 1 - Zone di indagine.

Il campo della salinità è esteso tra i valori di 0.1 g/l, riscontrati nelle porzioni più dolci della falda, laddove sono da supporre ricariche improprie dovute alle perdite di acquedotto, e di 38.5 g/l, valore tipico delle acque sotterranee soggette all'intrusione salina.

Il campo delle temperature rilevate è risultato molto ampio: la temperatura è compresa tra 15.5 e 34.8 °C; entrambi i valori estremi si sono dimostrati correlabili a flussi idrici e a scambi di calore connessi alle attività antropiche.

Tale accentuata variabilità della temperatura e della salinità idrica non è solo connessa con la diversa posizione, profondità e tempo di misura ma è, soprattutto, connessa all'azione umana.

Il quadro che ne deriva è risultato privo di qualsiasi possibile interpretazione unitaria, essendo legato alla eterogenea pressione spaziale e temporale dei "carichi" esterni.

I carotaggi della salinità eseguiti nelle zone 4 (Cattedrale), 6 (Piazza Massari) e 7 (Piazza Moro) mostrano la presenza di acque affatto salmastre a profondità non superiore a 20 m, che poggiano su livelli idrici a salinità rapidamente crescente (Fig. 2). Tale situazione è stata sostanzialmente riconosciuta anche nei vicini piezometri della zona 5 (città Vecchia) (Fig. 4) ove peraltro i carotaggi termici ivi eseguiti hanno evidenziato valori di poco superiori ai 15 °C.

I rilievi rappresentati dalle Figg. 2,3,4 e 5 hanno evidenziato una stratificazione termica e salina abbastanza prossima a quella tipica delle condizioni non transitorie. Tale situazione, definibile quale "quasi naturale" risulta comunque molto disturbata in altri punti di osservazione, posti non lontano.

La salinità delle acque rinvenute nelle sopra citate zone 4, 6 e 7 è risultata sorprendentemente bassa; tale circostanza è correlabile a una vera e propria ricarica artificiale involontaria, dovuta alle perdite dalle reti di acquedotto, fogna e, secondariamente, all'infiltrazione di acqua piovana. Il fenomeno è di entità tale che nell'ambito della zona 4 è stato accertato l'inquinamento da liquami sia delle acque di falda che delle coltri detritiche limoso-argillose superficiali ivi maleolenti.

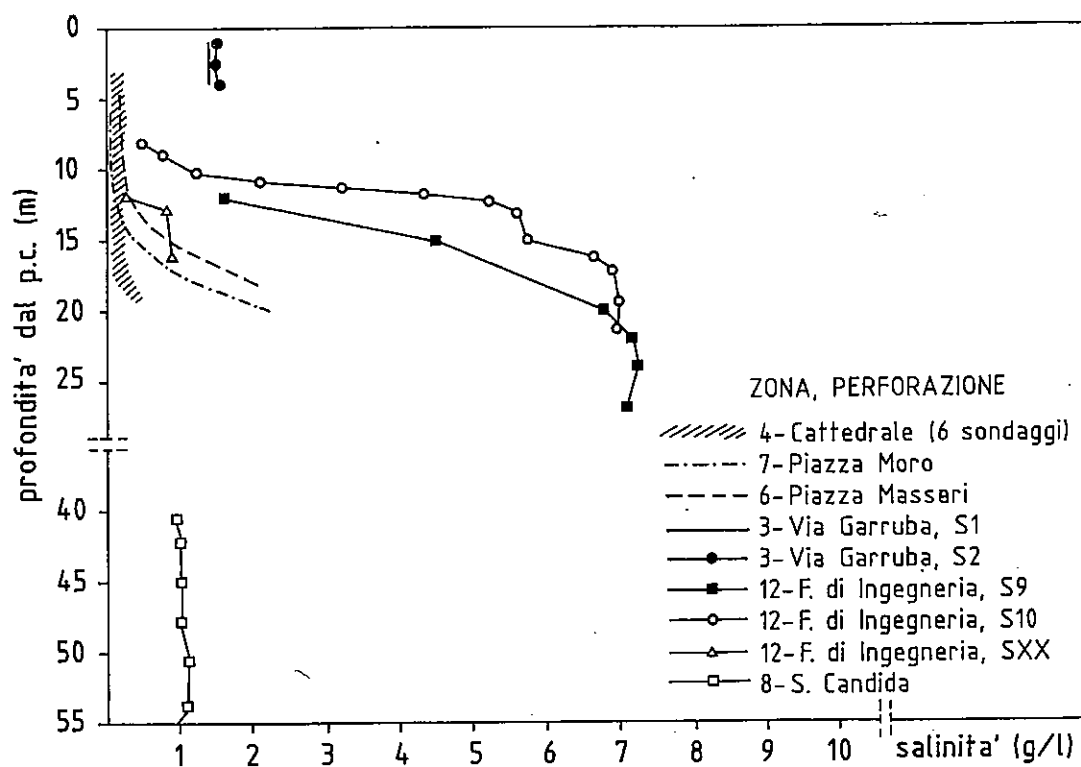


Fig. 2 - Carotaggi della salinità (g/l).

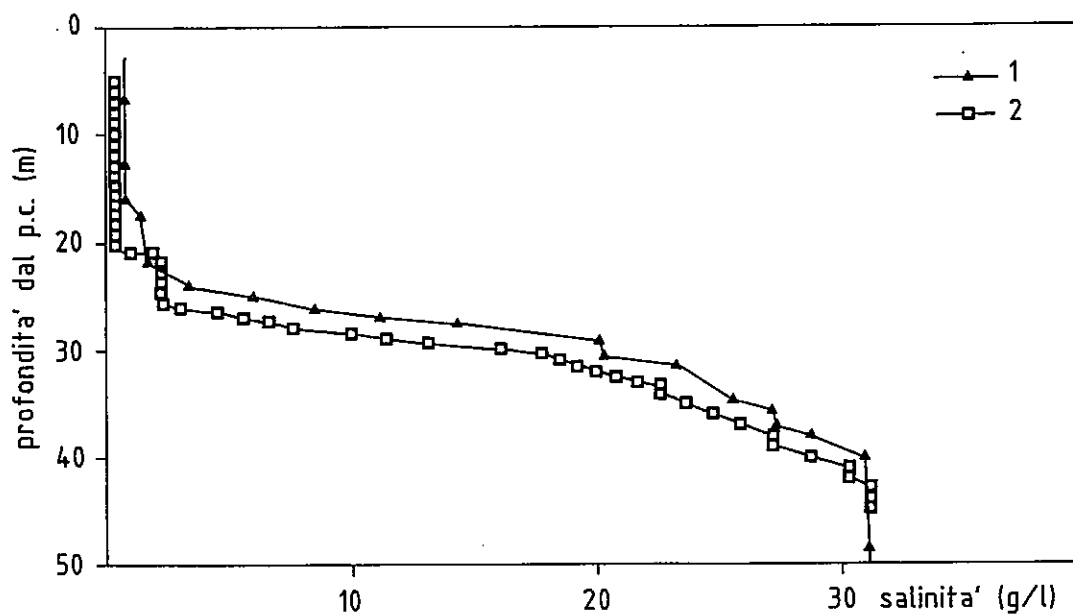


Fig. 3 - Carotaggi della salinità (g/l) nella Città Vecchia (zona 5). 1) Pozzo 35; 2) pozzo 47.

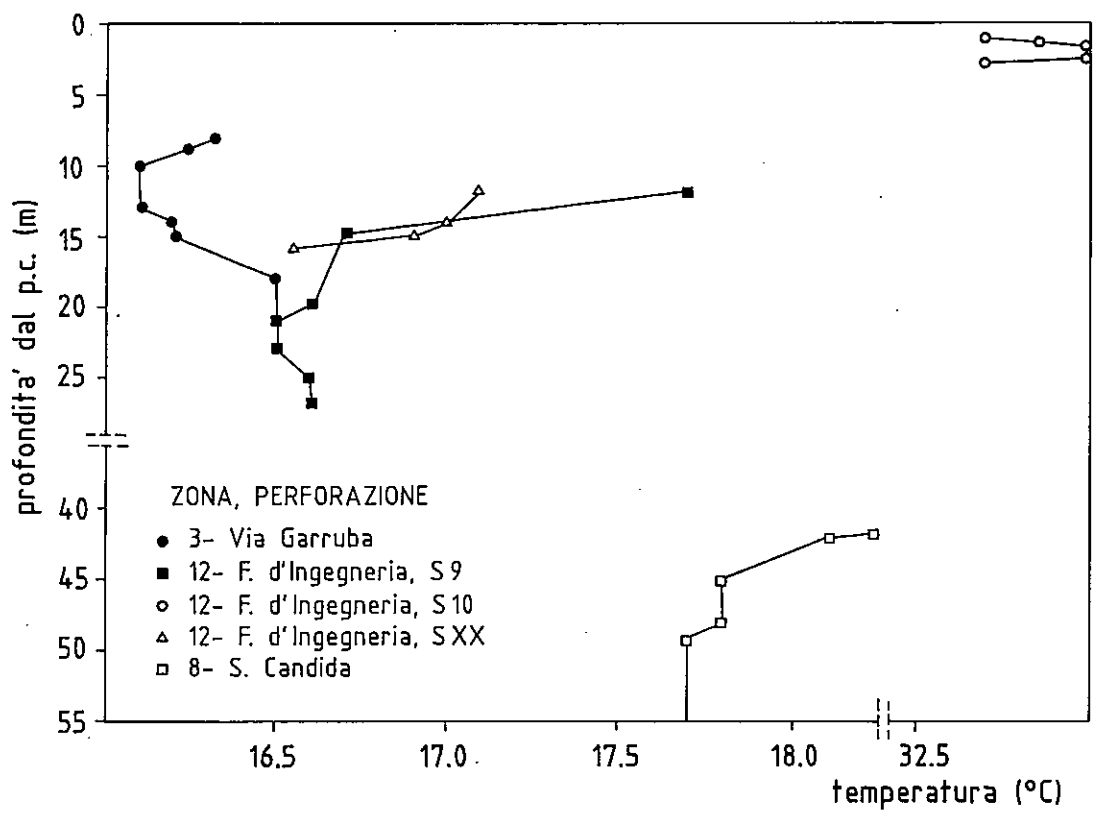


Fig. 4 - Carotaggi della temperatura (°C).

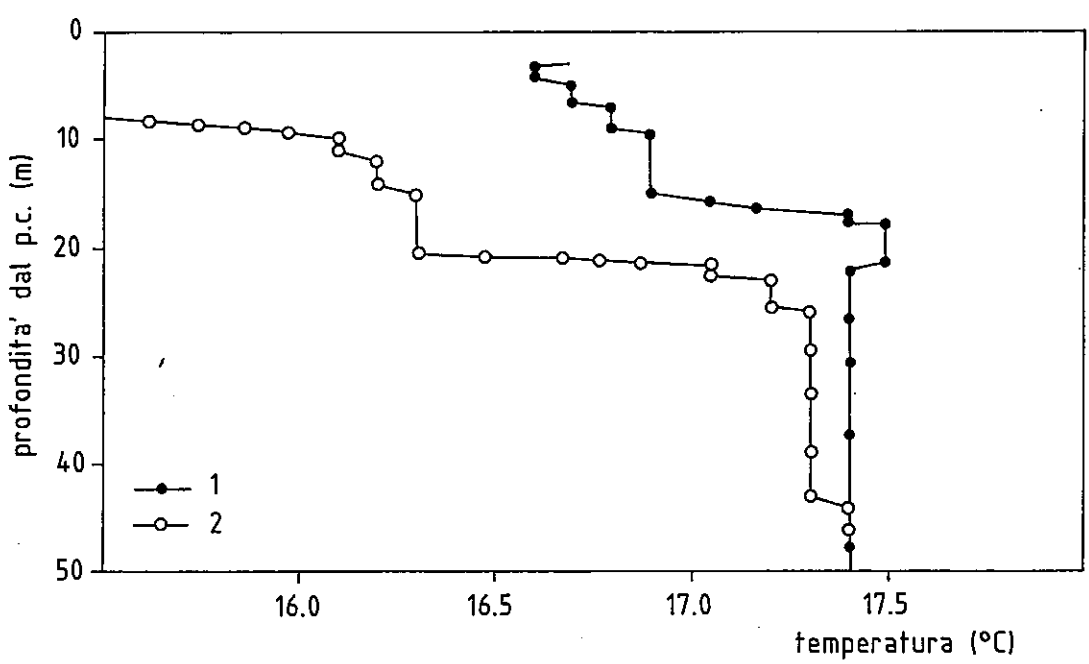


Fig. 5 - Carotaggi della temperatura (°C) nella Città Vecchia (zona 5). 1) Pozzo 35; 2) Pozzo 47.

Nella cintura urbana esistono numerosi pozzi utilizzati per approvvigionare utenti agricoli, industriali e per consentire lo sviluppo di attività terziarie che la rete di acquedotto potabile non può servire. In zona 8 (S. Candida) la contaminazione salina, favorita dai forti prelievi, è già evidente dal tetto della falda, ove la salinità è di 1 g/l (Fig. 2), come medesima situazione è risultata anche con i campionamenti di acqua effettuati nelle zone 9 e 10; la temperatura elevata delle acque sotterranee più superficiali è invece dovuta alla vicinanza di tale area a complessi industriali che usano la falda per scambiare calore (Fig. 4). Tale situazione si registra anche nell'adiacente zona 11 (Carbonara) (Tab. 1).

Il disturbo antropico al naturale equilibrio della stratificazione termica e salina è particolarmente evidente laddove si considerino i tre carotaggi termici e salini effettuati allo stesso orizzonte temporale in tre pozzi posti a breve distanza reciproca, nell'area della Facoltà di Ingegneria: l'accentuata salinità e la presenza di inversioni del gradiente termico ne sono la prova più evidente.

Tab. 1

ZONA N.	ZONA DENOMINAZIONE	SALINITA' g/l	TEMPERATURA C°	pH
9	S. FARA	2,3	18,7	6,90
10	CARBONARA	2,7	19,1	6,88
11	MUNGIVACCA	1,9	19,8	7,11

Negli stessi sondaggi i valori del pH sono sostanzialmente crescenti con la profondità da un minimo di 6.6 a un massimo di 7.5 (Fig. 6), mentre l'ossigeno disciolto presenta valori minimi in prossimità del livello statico e valori massimi sul fondo delle perforazioni; la variabilità di questi due parametri risulta abbastanza legata ai livelli di preferenziale deflusso.

I rilievi effettuati nella zona 3 (Via Garruba) (Fig. 4), in pieno centro commerciale, hanno segnalato, già all'inizio della stagione estiva, un clamoroso inquinamento termico nei primissimi metri al di sotto del tetto della falda; l'immissione di acque pro-

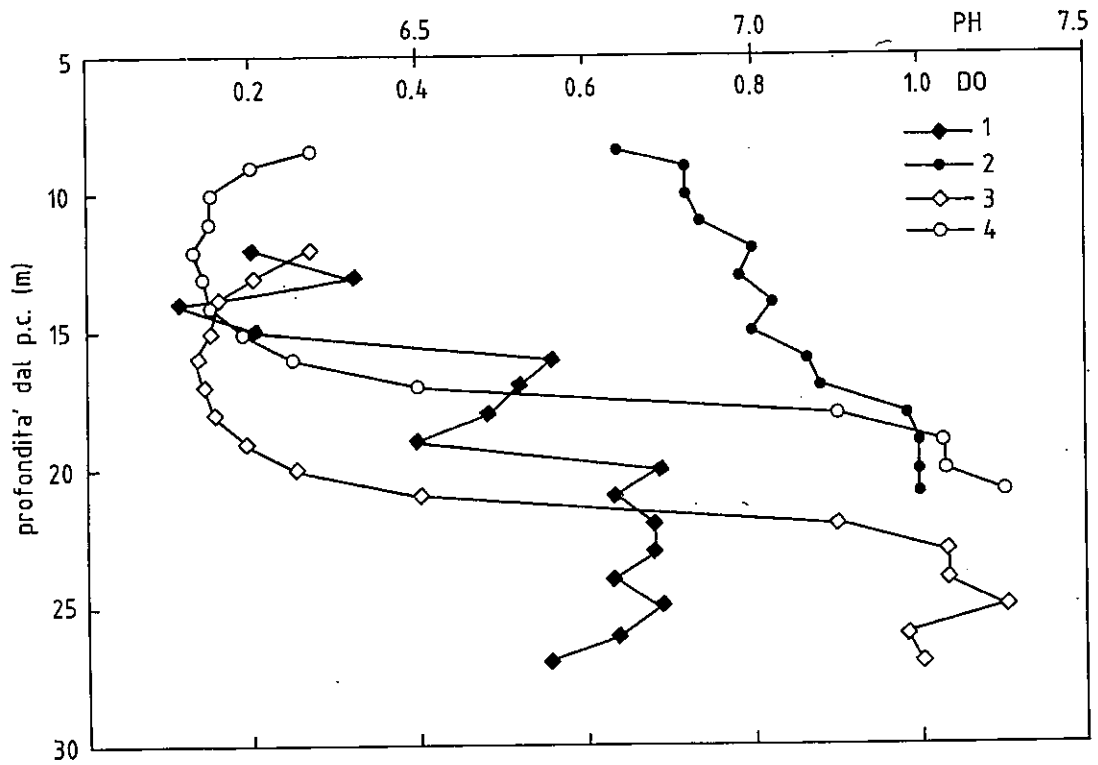


Fig. 6 - Carotaggi del pH e dell'ossigeno disciolto (DO) presso la Facoltà di Ingegneria (zona 12). Carotaggi del pH: 1) sondaggio S9; 2) sondaggio S10. Carotaggio del DO: 3) sondaggio S9; 4) sondaggio S10.

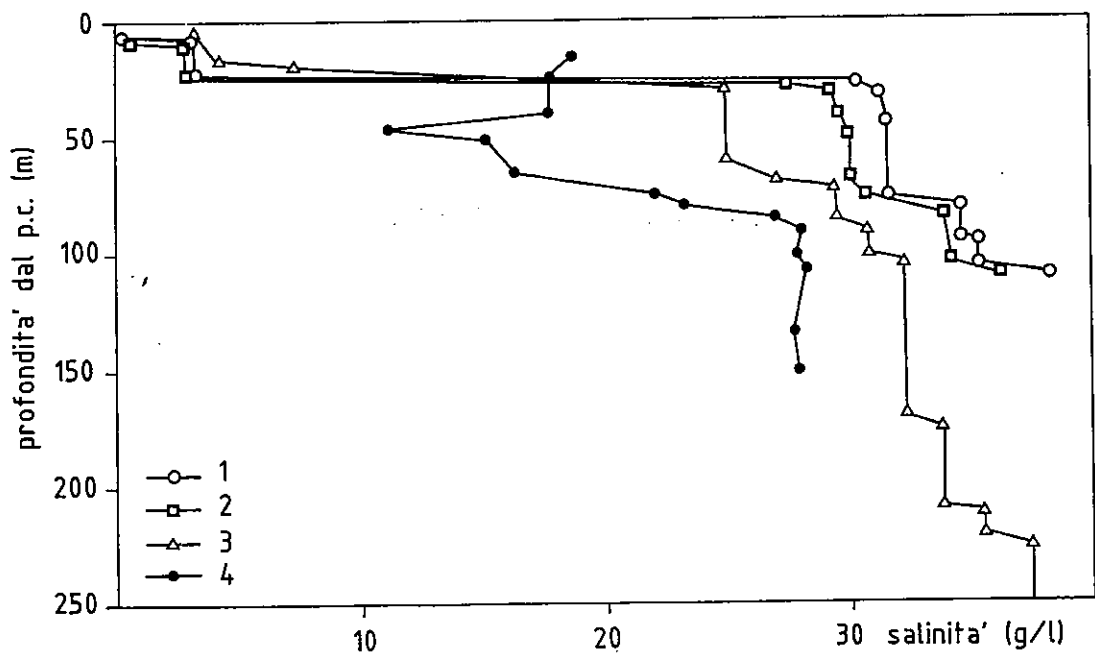


Fig. 7 - Carotaggi della salinità (g/l).

venienti dagli impianti di climatizzazione posti in vicini edifici commerciali, porta la temperatura ai valori massimi riscontrati, pari a 34.8 °C: le acque di falda contaminate dalle acque di mare presentano normalmente valori di temperatura pari a 17-20 °C.

Nelle zone 1 (Centrale ENEL) e 2 (Tribunale) è stato possibile effettuare carotaggi termici e salini profondi fino a 250 m (Figg. 7 e 8).

La zona 1 riguarda l'area ove è collocata la centrale termoelettrica di Bari: le acque presentano una forte contaminazione salina sin dalla superficie freatica; inoltre, nella porzione sommitale della falda, ove più attiva risulta la circolazione idrica, esse presentano temperature superiori a 27 °C. Tutto ciò non deve meravigliare: il ciclo tecnologico della centrale prevede la captazione di cospicui volumi d'acqua per il loro impiego in torri di raffreddamento, successivamente reimmessi in falda.

I carotaggi salini effettuati in zona 2 hanno assunto una forma abbastanza naturale, caratterizzata però dalla presenza di una zona di transizione particolarmente ampia; nonostante una profondità di circa 250 m, il carotaggio ha raggiunto al più una salinità di 38.5 g/l. I carotaggi termici hanno evidenziato come l'inizio della stagione estiva si traduce in un significativo incremento della temperatura delle acque, che non interessa solo la porzione più superficiale della falda.

Riconosciuto il ruolo importante che svolgono sulla falda gli impianti che utilizzano acque sotterranee per scambiare calore, si sono voluti esaminare gli effetti indotti in lunghi periodi da tali impianti, attraverso l'impiego di modelli numerici di simulazione della circolazione idrica e del trasporto.

Le simulazioni effettuate hanno evidenziato sia qualitativamente che quantitativamente il disturbo che si verifica lentamente e progressivamente nel tempo, in una porzione di acquifero via via più estesa. Il disturbo arrecato al campo delle temperature è risultato propagarsi lentamente, interessando aree non particolarmente estese nel caso in cui il bilancio termico annuale relativo al funzionamento dei pozzi a servizio dell'impianto per lo scarico di calore, preveda (Fig. 9) solo un modesto eccesso del

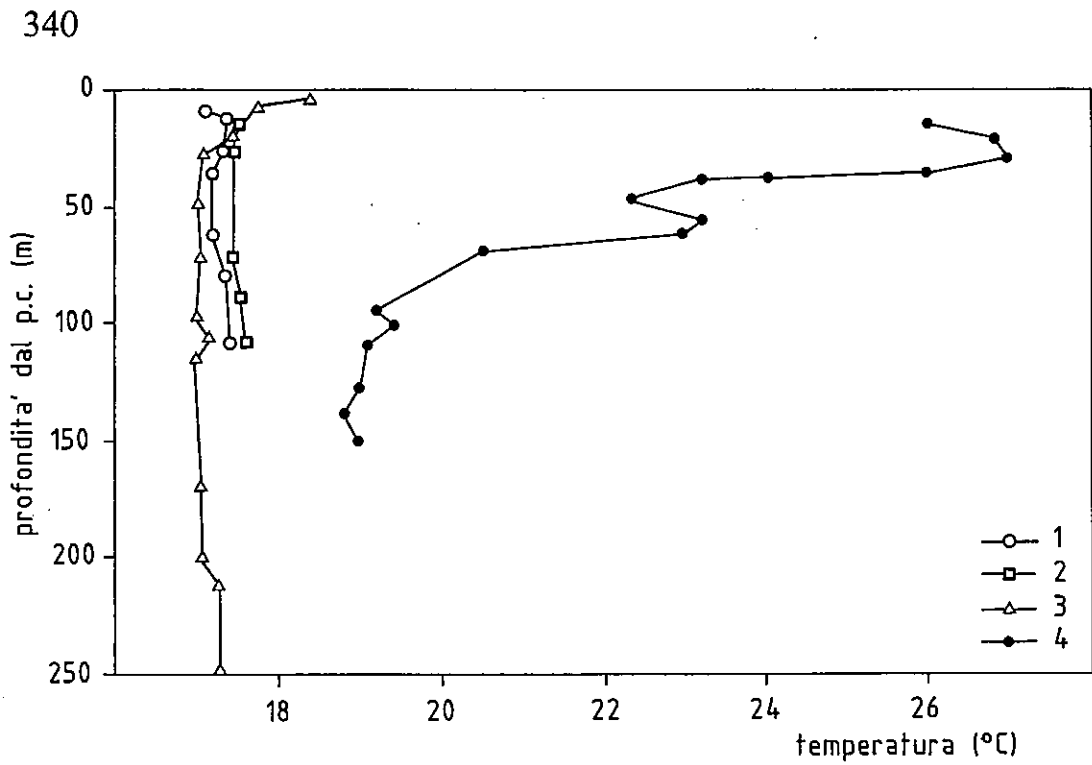


Fig. 8 - Carotaggi della temperatura (°C).

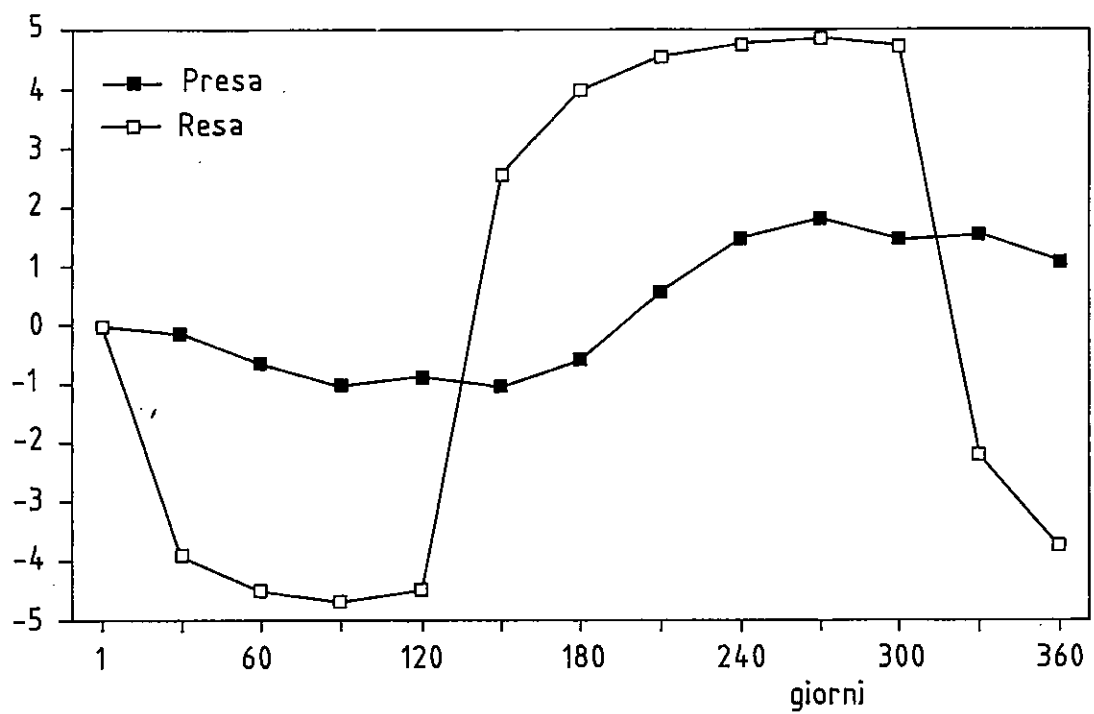


Fig. 9 - Variazione della temperatura della falda nel primo anno: da gennaio, è relativa a nodi prossimi (1) alla presa e (2) alla resa.

calore ceduto, in estate, in virtù del calore prelevato nella stagione invernale (Fig. 10).

Tale effetto risulta decisamente marcato quando la falda viene usata esclusivamente negli impianti di condizionamento estivo o in impianti industriali di raffreddamento.

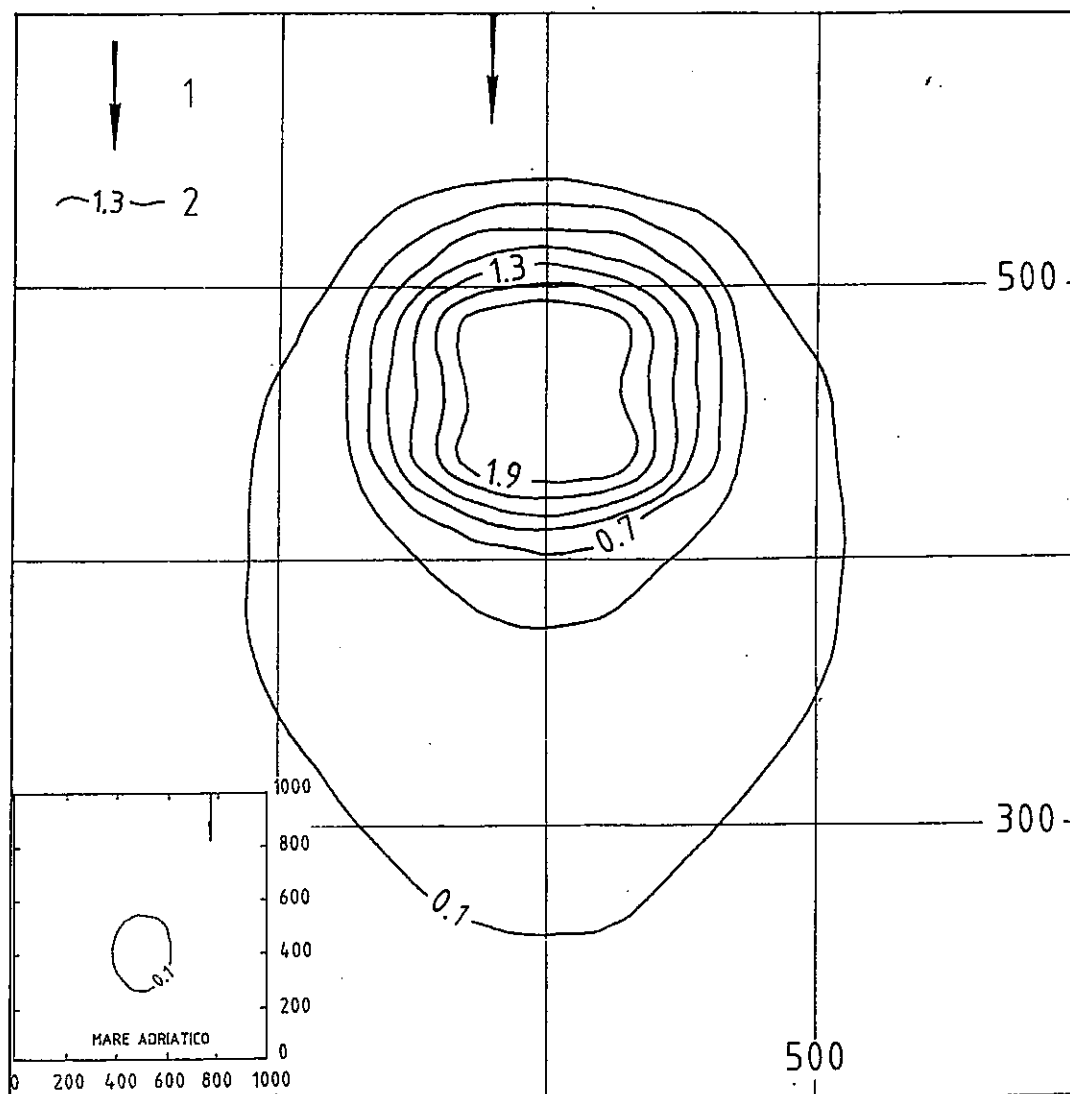


Fig. 10 - Variazione della temperatura dopo 1880 gg: (1) direzione del flusso naturale, (2) isoterma (C°).

Conclusioni

L'indagine condotta su alcuni dei punti d'acqua presenti in Bari e nell'immediato hinterland ha permesso di riconoscere l'esistenza di una situazione idrogeologica particolarmente interessata dal disturbo provocato dalle attività antropiche.

L'inquinamento salino è risultato particolarmente spinto, interessando il sistema idrico sotterraneo in maniera molto disomogenea, sia arealmente che lungo la verticale di uno stesso punto acqua, frequentemente interessando la falda sin dalla superficie freatica, nonostante i ravvenamenti e la maggiore mobilità che essa ivi presenta, modalità accertata con svariate prove idrauliche, negli strati acquiferi più superficiali.

Per quanto attiene la temperatura delle acque di falda sono state individuate situazioni di particolare gravità derivanti da valori termici molto elevati, riscontrati in aree ancora abbastanza delimitate ma che nel futuro sicuramente interesseranno porzioni di acquifero sempre più estese.

Inoltre sovente si osservano inversioni dei gradienti sia termici che salini, legate oltre che alla differente mobilità della falda anche alla immissione nel sottosuolo in forma generalmente concentrata, di reflui vari. Talora si assiste anche a ricariche improprie dovute a perdite dalle reti acquedottistiche e fognarie.

Dalla disamina sin qui svolta appare chiaro come le caratteristiche chimico-fisiche delle acque presenti nell'acquifero sottostante la città di Bari siano quanto mai varie ed alterate, ben discoste da quelle che si riscontrano nelle aree non antropizzate.

La falda viene non solo sfruttata, ma utilizzata sia come recapito accidentale che come polmone fisico, soprattutto in questi ultimi anni, per una sempre più ampia diffusione degli impianti di climatizzazione (riscaldamento invernale, condizionamento estivo).

Tale esperienza ha mostrato anche come il ricorso alle tecniche numeriche fornisca risultati utili per prevedere gli effetti degli interventi antropici e favorire il corretto utilizzo delle risorse idriche sotterranee.

Da quanto sin qui esposto emerge come il sistema idrogeologico sia fortemente vulnerabile e come l'intensa urbanizzazione e l'uso indiscriminato che si fa delle acque sotterranee sottostanti produce degli effetti che oggi non sono più accettabili, anche perchè praticamente irreversibili. E' quindi necessario che qualsiasi intervento che interessi le acque sotterranee debba essere valutato con particolare attenzione, in proiezione temporale, alle conseguenze sui caratteri chimico- fisici che le falde presentano, ricorrendo al valido ausilio dei modelli numerici.

In un siffatto contesto è altresì fondamentale poter più dettagliatamente definire le situazioni riconosciute attraverso un più approfondito esame dei caratteri salini e termici delle acque di falda, oltre che dello stato di inquinamento, e quindi controllare l'evoluzione nel tempo dei fenomeni riscontrati, con la predisposizione di una rete per il monitoraggio chimico-fisico delle acque peraltro di difficile realizzazione nella scelta delle ottimali ubicazioni, data la riconosciuta accentuata variabilità spaziale e temporale dei parametri esaminati.

Bibliografia

- COTECCHIA V., 1977 - *Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina)*. Ist. Ric. sulle Acque del CNR, Quaderni della ric. Scient., n. 20, Roma.
- C.N.R., 1990 - *Stazione per lo studio sperimentale di fenomeni idrodispersivi in acquiferi fessurati*. Quaderni I.R.S.A.
- FIDELIBUS C., LENTI V., POLEMIO M., 1991 - *Applicazioni numeriche ai problemi di trasporto di energia e di soluto in un acquifero carbonatico*. I Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Gargnano (BS).
- GRASSI D., MICHELETTI A., 1972 - *Sul progressivo abbassamento della superficie della falda e sulle interferenze idrologiche tra pozzi osservati nell'hinterland di Bari*. Bari.
- GRASSI D., TADOLINI T., 1974 - *L'acquifero carsico della Murgia nord-occidentale (Puglia)*. Geol. Appl. e Idrogeol., vol. IX.
- 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, 41: 47-58, Milano.
- RICCIARDI G., M. TRIDENTE, 1968 - *L'inquinamento delle acque telluriche in Puglia - Ricerche dei detergenti anionici nelle acque di alcuni pozzi situati nel Comune di Bari*.
- TADOLINI T., TULIPANO L., 1977 - *The conditions of the dynamic equilibrium of groundwaters as related to encroaching sea water*. Symposium on "Hydrodynamic diffusion and dispersion in porous media", Pavia.