

L'IMPIEGO DEL KI COME TRACCIANTE NELLE MISURE DI VELOCITÀ DI FILTRAZIONE

THE USE OF KI AS TRACER IN GROUNDWATER FLOW MEASUREMENTS

NICOLA LOPEZ^(*), DONATO SCIANNAMBLO^(**), MICHELE SPIZZICO^(**) & ROCCALDO TINELLI^(**)

^(*) Università degli Studi di Bari - Dipartimento di Geologia e Geofisica - Via Orabona 4 - 70125 Bari, Italy. E-mail: nicola.lopez@faswebnet.it

^(**) Politecnico di Bari - Dip. di Ingegneria Ambientale e Civile - Via Orabona 4 - 70125 Bari, Italy. E-mail: d.sciannamblo@poliba.it; m.spizzico@poliba.it; r.tinelli@poliba.it

RIASSUNTO

Il borgo di Casalabate (LE) sito sulle sponde del Mar Adriatico, è stato interessato da notevoli fenomeni di dissesto con crollo di alcune abitazioni ed inagibilità di varie altre. Per indagarne le cause è stato condotto un dettagliato piano di indagini multidisciplinari, costituito da un rilievo geologico integrato dalla trivellazione di 23 sondaggi e da una indagine georadar nonché da analisi chimico-fisiche, carotaggi termosalinometrici e misure di velocità di filtrazione sulle acque di falda. La falda ha un deflusso a mare esclusivamente orizzontale, che interessa principalmente solo alcuni livelli calcarenitici di duna fossile, con velocità di filtrazione (V_f) pari a circa 250 cm/g. Le indagini relative alle misure di filtrazione sono state effettuate col metodo della diluizione puntiforme in pozzo singolo, adottando e confrontando tre diversi sistemi di rilevazione: 1) asta salinometrica; 2) sonda conduttimetrica; 3) sonda multiparametrica fornita di sensore specifico per lo ione Iodio. Le tre diverse serie di misure, effettuate in un pozzo di prova con caratteri idrodinamici e idrochimici sufficientemente costanti almeno per la durata del test, hanno fornito risultati abbastanza simili; in particolare, i rapporti tra i valori di V_f ottenuti dalle variazioni di concentrazione del tracciante KI e quelli ottenuti con gli altri due metodi di rilevazione, risultano variabili, in generale, tra l'1% ed il 3%. Una densa campagna di misure, effettuata su 11 pozzi della stessa area utilizzando la sonda multiparametrica ed il KI come tracciante, ha confermato i risultati ottenuti nel pozzo di prova. Le differenze più marcate nei risultati sono state riscontrate tutte nella zona di interfaccia con salinità >4 g/l, probabilmente imputabili alle variazioni della concentrazione salina di base indotta dalle oscillazioni tidali. La doppia rilevazione (sensore allo iodio e sensore conduttimetrico) ha permesso un'analisi più accurata dei risultati, consentendo di distinguere gli effetti della diluizione del tracciante da quelli delle variazioni indotte dalla marea; pertanto lo studio evidenzia che il sistema basato sul sensore allo ione Iodio fornisce risultati affidabili e confrontabili, risultando valido in acquiferi costieri.

TERMINI CHIAVE: idrogeologia, traccianti, velocità di flusso, acquiferi costieri

ABSTRACT

The district of Casalabate (Apulia, Southern Italy) is located on the banks of the Adriatic Sea and has been affected by significant land erosion with some houses collapsing and many others becoming unusable. In order to investigate the causes, a detailed campaign of multidisciplinary investigations was performed. It consisted of an integrated geological survey by drilling 23 boreholes and georadar prospecting as well as chemical-physical analysis, thermo salinometric logs and groundwater flow measurements. The groundwater discharge to the sea, exclusively horizontal, mainly affects only some calcarenitic levels of fossil dune with a velocity of approximately 250 cm/day. The investigations regarding the measurement of groundwater flow were performed with the method of point dilution in a single well, by adopting and comparing three different surveying systems: 1) salinometric pole; 2) conductometric probe; 3) multiparameter probe with a specific sensor for the Iodine ion. The three different measurement systems has been carried out on a well with constant hydrodynamic and hydrochemical features at least for the time strictly necessary for the tests and have produced very similar results. The differences between the measurements made with different methods are very small: the percentage ratios of groundwater flow estimated with concentration changes of KI tracer and that with other two methods vary from 1% to 3%. The results of test well have been confirmed from a survey of 556 measurements, performed in 11 well of the same area by multiparametric probe and KI tracer. All the greater differences ($>10\%$) have been recorded in the fresh-saline groundwater with salinity exceeding 4g/l, presumably due to the variations of basic salinity induced by tidal oscillations. Therefore, elaboration of the measurements performed in interface zone calls for the distinction of the effects of tracer dilution from those of the variations caused by the tide. By the double determination (with the iodine sensor and with the conducting one), a better analysis of data has been performed. Finally, the study highlights that the system based on the Iodine sensor is reliable and can be compared, showing itself to be valid in coastal aquifers.

KEY WORDS: hydrogeology, tracers, groundwater flow, coastal aquifer

PREMESSA

Il metodo più indicato per la determinazione della velocità di filtrazione V_f delle acque sotterranee è quello della “diluizione puntiforme” in pozzo singolo (DROST *et alii*, 1968; HAVELY *et alii*, 1967). Tale metodica, ampiamente sperimentata, persegue la determinazione della V_f attraverso la marcatura di un determinato volume di acqua del foro di sondaggio con un tracciante ed il successivo controllo della sua diluizione nel tempo. Dalla velocità di diluizione del tracciante è possibile risalire, poi, alla velocità di filtrazione della falda.

La tecnica più indicata per tale metodica è quella che prevede, per il marcamento, l'impiego di traccianti radioattivi artificiali, quali lo ^{131}I , la cui diluizione nel tempo può essere seguita ricorrendo a normali gamma-log mediante sonde a scintillazione (TAZIOLI, 1973; COTECCHIA *et alii*, 1989; SPIZZICO & TINELLI, 1991). Considerati, comunque, i gravosi oneri burocratici ed economici che comporta l'impiego dei radioisotopi, si è preferito applicare tale metodica ricorrendo all'impiego di sali stabili, quali ad esempio NaCl o KI, ed utilizzando una sonda salinometrica o un sensore allo iodio per rilevare la diluizione del tracciante nel tempo.

Ovviamente l'uso di sali allo Iodio garantisce, grazie alla specificità dell'elemento, un grado di rintracciabilità elevato, pari a quello ottenibile con un tracciante radioattivo, e di gran lunga maggiore di quello offerto dal NaCl; ne consegue, per quest'ultimo, la necessità di un impiego notevole di sale per una buona marcatura. Di contro, però, l'uso dei sali allo Iodio richiede l'impiego di un sensore specifico.

Con questo lavoro si è voluto, pertanto, verificare se e quanto l'impiego di traccianti stabili allo Iodio sia affidabile con l'uso di tali sonde nonché i limiti e le potenzialità dell'uso della sola sonda conduttimetrica.

L'area di studio prescelta ricade nel borgo di Casalabate (LE), dove un'approfondita campagna di rilevamento geologico ed una serie di sondaggi stratigrafici hanno consentito di definire che i litotipi presenti nella maggior parte del territorio sono ascrivibili a depositi di Duna fossile, rappresentati da calcareniti irregolarmente cementate, privi di cavità di origine paracarsica, ma di qualità fisico-meccanica variabile da luogo a luogo.

CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE ADOPERATA E MODALITÀ OPERATIVE

Per ovvi motivi di omogeneità delle misurazioni, le stesse sono state condotte su di un pozzo che potesse garantire caratteri idrodinamici e idrochimici sufficientemente costanti almeno per il tempo strettamente necessario per i test. Tale scelta è ricaduta su di un pozzo trivellato per 10 m nelle calcareniti della Duna fossile del borgo marino di Casalabate (Lecce), ma caratterizzato da una stratigrafia salina costante e da un flusso pressoché orizzontale (Fig. 1); inoltre, per evitare le interferenze degli emungimenti, le misure sono state condotte a fine ottobre quando l'idrologia della falda si era completamente ristabilizzata dopo lo stress dei prelievi del periodo estivo. Tutti i cicli di misure sono stati preceduti da un carotaggio multiparametrico della colonna idrica per analizzare i parametri chimico-fisici e l'analisi chimica delle acque di falda (Fig. 3).

FOREWORD

The best method for determining the flow velocities (V_f) of the groundwater is the single well “point dilution” (DROST *et alii*, 1968; HAVELY *et alii* 1967). This widely experimented method determines the V_f by marking a particular volume of water of the prospecting hole with a tracer and subsequently controlling its dilution in time. Then, it is possible to determine the groundwater flow speed from the dilution speed of the tracer.

The best technique for this method is the one which envisages the use of artificial radioactive tracers like ^{131}I for marking. Its dilution in time can be followed by means normal gamma-logs with RAP probes (TAZIOLI, 1973; COTECCHIA *et alii*, 1989; SPIZZICO & TINELLI, 1991). In any case considering the serious bureaucratic and economic difficulties concerning the use of radio isotopes, it was been preferred to apply this method by using stable salts, like NaCl or KI for instance and by using a salinometric probe and an iodine sensor to determine the dilution of the tracer in time.

Obviously, the use of Iodine salts guarantees a high degree of traceability thanks to the specificity of the element, which is equal to that obtained with a radioactive tracer and a great deal more than that offered by the NaCl. For the latter a great deal of salt is required for good marking. However, on the contrary, the use of Iodine salts requires the use of a specific sensor.

This work thus aims to control whether and how much the use of stable Iodine tracers is reliable with the use of these probes as well as the limits and the potential of using the conductometric probe alone.

The chosen studied area is represented by village of Casalabate, near Lecce (Apulia, Southern Italy), where a detailed geological survey, integrated by drilling 23 boreholes was performed. It was thus possible to define that the lithotypes present in most of the territory can be put down to deposits of fossil dune, represented by irregularly cemented calcarenites, without cavities of parakarst origin but of varying physical-mechanical quality from place to place.

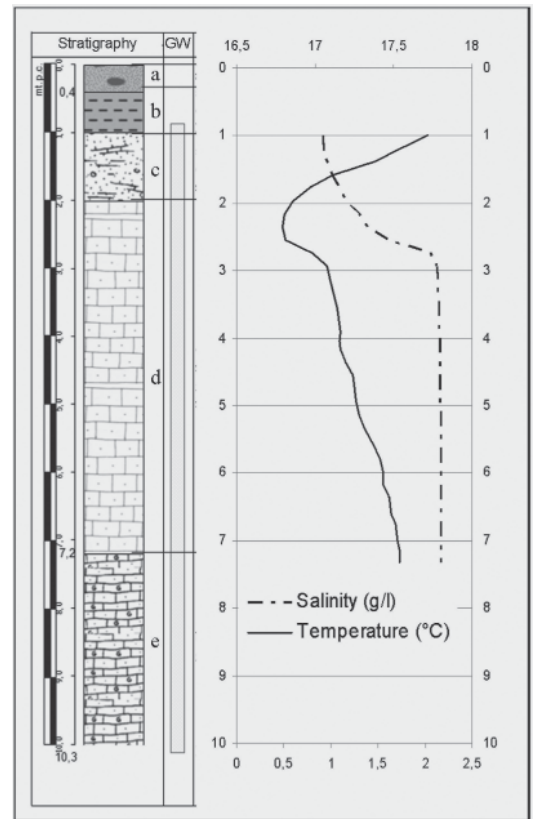
CHARACTERISTICS OF THE INSTRUMENTS USED AND OPERATING METHOD

For obvious reasons of even measurements, they have been carried out on a well that could guarantee sufficiently constant hydrodynamic and hydrochemical features at least for the time strictly necessary for the tests. The well chosen was of ten meters deep in the calcarenite rock of the fossil dune in the marine district of Casalabate (Lecce), characterised by a constant saline stratigraphy and an almost horizontal flow (Fig. 1); moreover, to avoid interference of the withdrawals, the measurements were performed at the end of October when the hydrology of the water sheet was completely re-stabilised after the stress of the summer period withdrawals. All the measurement cycles were preceded by a multiparameter coring of the water column to analyse the chemical-physical parameters and chemical analysis of the groundwater (Fig. 3).

Fig. 1 - Ubicazione dei sondaggi ed esempio di stratigrafia litologica e termo-salina. Descrizione stratigrafica: a) materiale di riporto; b) sabbie limose di colore grigio-nerastro contenenti sostanza organica (depositi palustri); c) sabbie calcaree localmente concrezionate e debolmente cementate di colore giallo-marroncino (duna fossile); d) calcareniti di colore giallo-marroncino irregolarmente cementate, a grana medio-grossolana, con cenni di laminazione incrociata (duna fossile); e) biocalcareniti di colore biancastro, a grana grossolana, riccamente fossilifere

- Location of logs and examples of thermic, salinometric and lithological stratigraphy. Stratigraphic description: a) filling materials; b) grey-blackish silty sands containing organic matter (marsh deposits); c) yellow-brown locally concrete and calcareous sands scarcely cemented (fossil dune); d) yellow-brown calcarenites irregularly cemented, with medium-coarse grain size and signs of crossed lamination (fossil dune); e) whitish biocalcarenites with very coarse grain size and rich in fossils

Depth from pithead	Conductivity Cb	Conductivity Co	Conductivity C	Vf (cm/g)
-1,00				
-1,20	1,582	2,174	1,88	68,21
-1,40	1,57	2,155	1,884	61,83
-1,60	1,563	2,152	1,91	52,58
-1,80	1,567	2,167	1,955	43,32
-2,00	1,578	2,231	2,004	42,45
-2,20	1,612	2,31	2,053	45,63
-2,40	1,608	2,393	2,114	43,64
-2,60	1,642	2,555	2,284	34,99
-2,80	1,684	2,706	2,404	34,81
-3,00	1,778	2,903	2,503	43,66
-3,20	1,831	3,05	2,748	28,29
-3,40	1,868	3,224	3,008	17,24
-3,60	2,423	3,416	3,058	44,43
-3,80	2,401	3,699	3,227	44,92
-4,00	3,031	3,933	3,412	85,64
-4,20	3,227	4,1	3,646	72,95
-4,40	3,707	4,307	3,896	114,80
-4,60	3,941	4,5	4,009	209,35
-4,80	3,964	4,625	4,22	94,27
-5,00	3,975	4,893	4,413	73,54
-5,20	3,983	5,112	4,67	49,37
-5,40	3,99	5,282	4,828	43,02
-5,60	3,986	5,331	4,98	30,05
-5,80	3,99	5,335	5,029	25,65
-6,00	3,99	5,357	5,059	24,44
-6,20	3,99	5,35	5,07	22,91
-6,40	4,001	5,346	5,097	20,34
-6,60	4,009	5,323	5,097	18,76
-6,80	4,005	5,308	5,089	18,29
-7,00	4,005	5,285	5,097	15,79
-7,20	4,009	5,278	5,093	15,66
-7,40	4,009	5,251	5,078	14,91
-7,60	4,013	5,251	5,085	14,31



Tab.1 - Valori della conducibilità alla base del calcolo della velocità di filtrazione (Vf)
 - Conductivity values used for calculating the velocity of groundwater flow (Vf)

Per evitare l'insorgere di correnti di densità il tracciante, KI, è stato diluito con acqua di falda prelevata dallo stesso pozzo e, quindi, immesso nella colonna idrica mediante apposita bottiglia; la bottiglia, immessa chiusa, una volta in prossimità del fondo pozzo è stata aperta e fatta risalire lentamente per favorire una distribuzione uniforme del tracciante. Per evitare l'influenza della manipolazione meccanica le misure sono state eseguite dopo 30 minuti dalla marcatura e si sono protratte per 3 ore; quindi, la velocità di diluizione nel tempo del tracciante, V_g , è stata seguita attraverso i valori della conducibilità. I valori così riscontrati (Tab. 1), al netto di quelli base naturali C_b , ed ipotizzando nulle o trascurabili le varie componenti della velocità di diluizione rispetto a V_f , sono stati utilizzati quindi per i successivi calcoli delle V_f utilizzando (DROST *et alii*, 1968; HAVELY *et alii*, 1967) la nota formula:

To avoid the onset of density currents, the tracer KI was diluted with groundwater taken from the same well and thus put into the water column using a special bottle. The bottle was put in closed and on reaching the bottom of the well, it was opened and brought up slowly to favour the even distribution of the tracer. To prevent the influence of mechanical manipulation, the measurements were performed after 30 minutes from marking and continued for 3 hours. Then the dilution speed in time of the tracer, V_g , was followed by means of the values of the conductivity. The values thus found (Tab. 1), net of the natural base ones C_b , and considering the various components of the dilution speed compared to V_f null or negligible, were thus used for the subsequent calculations of the V_f by using the formula (DROST *et alii*, 1968; HAVELY *et alii*, 1967):

$$Vf = \frac{Vg}{\alpha} = -\frac{V}{\alpha * A * t} \ln \frac{C}{Co} \quad \text{con/with [1]}$$

Vf = velocità di filtrazione;
 Vg = velocità di diluizione del tracciante;
 α = fattore di correzione della distorsione idrodinamica dei filetti liquidi;
 V = volume marcato;
 A = area della sezione trasversale;
 C e Co = concentrazione al tempo t e al tempo zero.

Le misure eseguite non hanno evidenziato presenza di correnti verticali.

Preventivamente, al fine di avere un riferimento scevro da qualsiasi interferenza, sono state calcolate le Vf del tratto centrale della colonna idrica utilizzando un'asta salinometrica. In pratica, eseguita la marcatura, si è controllata la diluizione del sale utilizzando sonde salinometriche, opportunamente tarate e sistemate con un passo di 20 cm su di un'asta di supporto lunga 3 metri. Le misure alle varie sonde, eseguite ogni 15 minuti, sono state raccolte da un registratore multicanale e successivamente utilizzate per tracciare i diagrammi concentrazione/tempo; le osservazioni sono state condotte regolarmente per 3 ore consecutive a cavallo del picco di alta marea, in modo da ridurre a pochi cm le variazioni di carico indotte dalle maree, di ampiezza mai superiore peraltro ai 10-12 cm. Ottenuti così dati scevri anche dal disturbo del movimento della sonda, si sono calcolate le Vf con la relativa stratigrafia (Fig. 2). Questo sistema di rilevazione se per un verso offre il grande vantaggio di non disturbare il flusso naturale dell'acqua di contro risulta alquanto impegnativo per la sua messa in opera, soprattutto con le maggiori profondità, essendo l'asta di supporto poco maneggevole per rigidità e lunghezza.

Successivamente le misure sono state ripetute ricorrendo alla tecnica del carotaggio delle concentrazioni saline mediante una sonda multiparametrica Ocean Seven 301 (Fig. 3) equipaggiata con sei sensori, di cui uno specifico per lo ione iodio ed uno per la conducibilità,

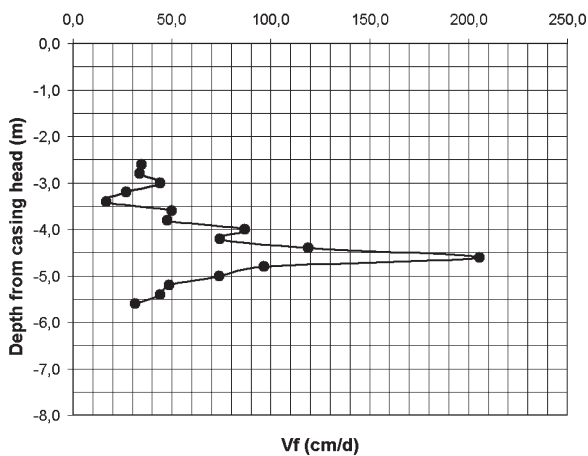


Fig. 2 - Grafico delle velocità di filtrazione calcolate con l'asta salinometrica
 - Velocities of groundwater flow calculated with the salinometric pole

Vf = groundwater flow velocity;
 Vg = dilution velocity of tracer;
 α = corrective factor of hydrodynamic deviation of fluid pathlines;
 V = marked volume;
 A = area of transversal section;
 C and Co = concentration at final time and at start time.

The measurements did not indicate the presence of vertical flow components.

Beforehand and in order to have a reference devoid of any interference, the Vf of the central section of the water column were calculated by using a salinometric pole. Basically, after performing the marking, the dilution of the salt was controlled by using salinometric probes, suitably calibrated and arranged at 20 cm intervals on a supporting pole 3 metres long. The measurements at the probe, performed every 15 minutes, were collected by a multichannel recorder and subsequently used to trace the concentration/time diagrams. The observations were conducted regularly for 3 consecutive hours either side of the high tide so as to reduce the variation of hydraulic head induced by the tides to a few cm, moreover never exceeding 10-12 cm. Having thus obtained data devoid of the disturbance of the probe movement, using the known formulae the Vf were calculated with the relevant stratigraphy (Fig. 2). While this monitoring system on the one hand offers the great advantage of not disturbing the natural flow of the water, on the other it is rather difficult to implement, above all with the greater depths, because the supporting pole is difficult to handle because of its rigidity and length.

Subsequently the measurements were repeated by using the log technique of the saline solutions using a multiparameter Ocean Seven 301 probe (Fig. 3) equipped with six sensors of which one specific for the Iodine ion and one for the conductivity and interfaced with a

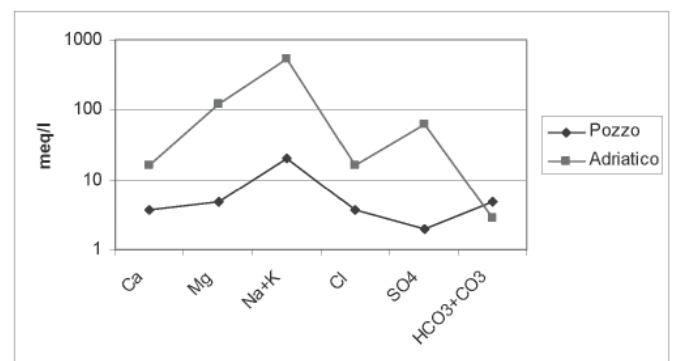


Fig. 3 - Diagramma di Schoeller relativo all'analisi chimica dell'acqua di falda e del Mare Adriatico
 - Schoeller's diagram of the groundwater and Adriatic Sea

**Conductimetric probe calibration
(operating range 0-62000 microS/cm)**

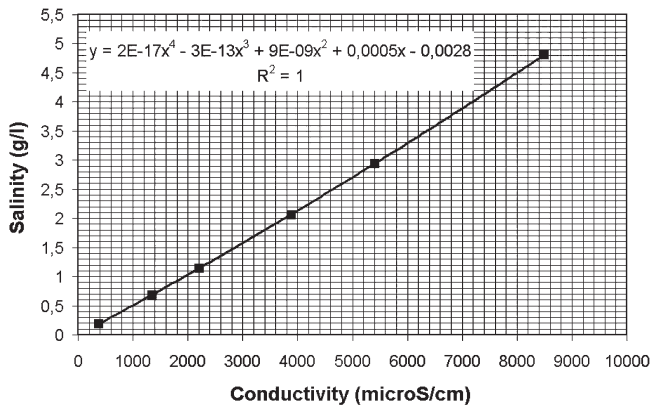


Fig. 4 - Retta di taratura della sonda conduttimetrica
- *Calibrating line of the conductometric probe*

ed interfacciata con un computer portatile ed una stampante.

Ovviamente le misure sono state precedute da una attenta taratura sia della sonda conduttimetrica (Fig. 4) che di quella alla iodio; per quest'ultima, inoltre, la taratura è stata ripetuta su differenti temperature in modo da rilevarne l'effettiva incidenza. In particolare si è coperto il range tipico delle temperature delle acque di falda, utilizzando cinque livelli compresi fra 13.7°C e 22.3°C; dalla Figura 5, in cui sono riportate le curve di taratura per i due estremi di temperatura, si vede come gli scarti divergano apprezzabili solo con concentrazioni molto basse del tracciante. Inoltre, dalle curve di taratura si rileva chiaramente come la risposta del sensore si mantenga lineare fino a valori di circa 13.000 mg/l.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

La Tabella 2 riporta i valori delle velocità di filtrazione calcolati con i tre diversi sistemi di rilevazione: Vf1 con l'asta salinometrica, Vf2 con il sensore allo Iodio e Vf3 con il sensore conduttimetrico. Come si può rilevare dai rapporti percentuali riportati nella stessa tabella, gli scarti fra le misure rilevate con l'asta e quelle con il sensore allo iodio sono molto modesti, dell'ordine del 2-3%, tranne che per due casi che denotano scarti del 5% e del 10% circa.

L'analogo confronto, poi, fra i valori rilevati con il sensore allo iodio e quelli con il sensore conduttimetrico denotano una coincidenza ancora più stretta, dell'ordine del 1-2% con due soli casi in cui si tocca il 5% circa, come la rappresentazione grafica dei dati (Figg. 6 e 7) evidenzia ancor più.

Sulla scorta di questi riscontri, si è poi proceduto ad una campagna di misurazioni molto fitta per verificare se tali risultati trovassero conferma anche su un numero più significativo di rilievi. Per questo, su 11 pozzi della stessa zona si sono condotte complessivamente

**Calibration of Iodine sensor probe
on average temperature of 13.7 °C
(continuous line) and of 22.3 °C (dashed line)**

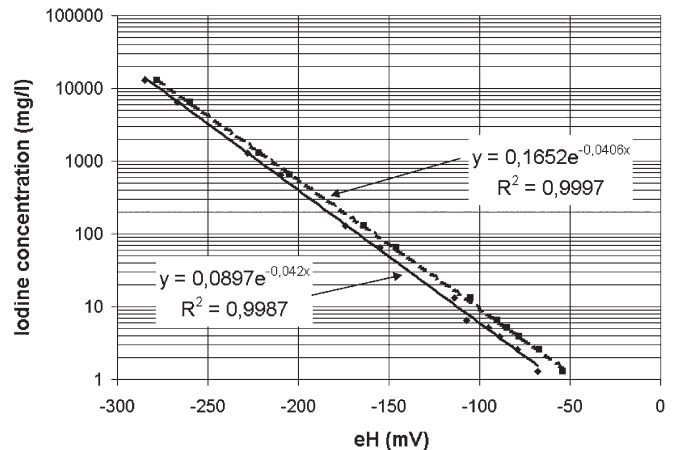


Fig. 5 - Retta di taratura della sonda allo Iodio
- *Calibrating line of the Iodine probe*

laptop computer and a printer.

Obviously the measurements were preceded by a careful calibration of both the conducting probe (Fig. 4) and that of the iodine; for the latter, moreover, the calibration was repeated on different temperatures so as to determine the effective incidence. The typical range of temperatures of the groundwater was covered using five levels between 13.7°C and 22.3°C. From Figure 5, which reports the calibration curves for the two extremes of temperature, it can be seen how the differences become significant only with very low concentrations of the tracer. Moreover, from the calibration curves it can be clearly seen how the response of the sensor remains linear up to values of approximately 13,000 mg/l.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Table 2 shows the values of the filtration speeds calculated with the three different detection systems: Vf1 with the salinometric pole, Vf2 with the iodine sensor and Vf3 with the conductometric sensor. As can be seen from the percentage ratios reported in the same table, the differences between the measurements made with the salinometric pole and those with the iodine sensor are extremely small, in the range of 2-3%, except for two cases which denote differences of approximately 5% and 10%.

Then, the same comparison between the values determined with the iodine sensor and those with the conductometric sensor denote an even closer coincidence, in the range of 1-2% with only two cases in which it reaches about 5%, as the graphical representation of the data (Figs. 6 and 7) shows even clearer.

On the basis of these findings, a much more consistent measuring campaign was performed to check whether these results were also confirmed on a more significant number of surveys. For this, out of 11

Depth from pithead (m)	Vf1	Vf2	Vf3	Vf1/Vf2	Vf2/Vf3
-1,00					
-1,20		68,00	68,21		0,9969
-1,40		61,56	61,83		0,9956
-1,60		51,90	52,58		0,9871
-1,80		43,07	43,32		0,9942
-2,00		42,55	42,45		1,0024
-2,20		45,58	45,63		0,9989
-2,40		43,70	43,64		1,0014
-2,60	34,60	35,13	34,99	0,9849	1,0039
-2,80	33,70	34,20	34,81	0,9854	0,9825
-3,00	44,12	44,00	43,66	1,0027	1,0077
-3,20	26,90	28,70	28,29	0,9373	1,0145
-3,40	16,70	16,90	17,24	0,9882	0,9801
-3,60	49,85	45,05	44,43	1,1065	1,0139
-3,80	47,60	44,68	44,92	1,0654	0,9947
-4,00	86,80	87,00	85,64	0,9977	1,0158
-4,20	74,37	72,30	72,95	1,0286	0,9911
-4,40	118,96	115,60	114,80	1,0291	1,0070
-4,60	205,60	205,30	209,35	1,0015	0,9807
-4,80	96,58	93,78	94,27	1,0299	0,9948
-5,00	74,03	73,26	73,54	1,0105	0,9962
-5,20	48,65	49,79	49,37	0,9771	1,0086
-5,40	44,00	44,06	43,02	0,9986	1,0241
-5,60	31,30	30,55	30,05	1,0245	1,0166
-5,80		25,69	25,65		1,0015
-6,00		25,00	24,44		1,0231
-6,20		23,56	22,91		1,0284
-6,40		19,45	20,34		0,9560
-6,60		19,00	18,76		1,0130
-6,80		18,76	18,29		1,0259
-7,00		15,10	15,79		0,9566
-7,20		16,00	15,66		1,0218
-7,40		15,14	14,91		1,0157
-7,60		14,56	14,31		1,0177

Tab 2 - Valori delle velocità di filtrazione (cm/g) con i relativi rapporti percentuali. Vf1, asta salinometrica; Vf2, sensore allo Iodio; Vf3, sensore conduttimetrico
- Values of groundwater flow velocity (cm/g) and respective rates: Vf1, salinometric pole; Vf2, Iodine ion sensor; Vf3, conductometric sensor

Class (%)	Number of measurements	Weight (%)
> 15	2/556	0,36
15 - 10	16/556	2,88
10 - 5	41/556	7,37
< 5	497/556	89,38

Tab. 3 - Classi dei rapporti percentuali delle Vf calcolate con i due sensori della sonda Ocean Seven 301

- Classes of rates for velocities of groundwater flow calculated by measurements carried out with two sensors of the Ocean Seven 301 probe

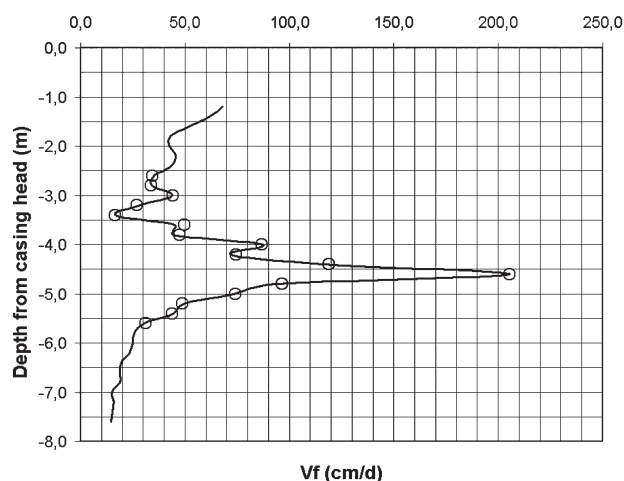


Fig. 6 - Confronto tra le velocità di filtrazione Vf1 (asta salinometrica, simbolo del cerchio) e Vf2 (sonda allo Iodio, linea continua)
- Comparison between the filtering velocities Vf1 (salinometric pole, circle symbol) and Vf2 (Iodine probe, continual line)

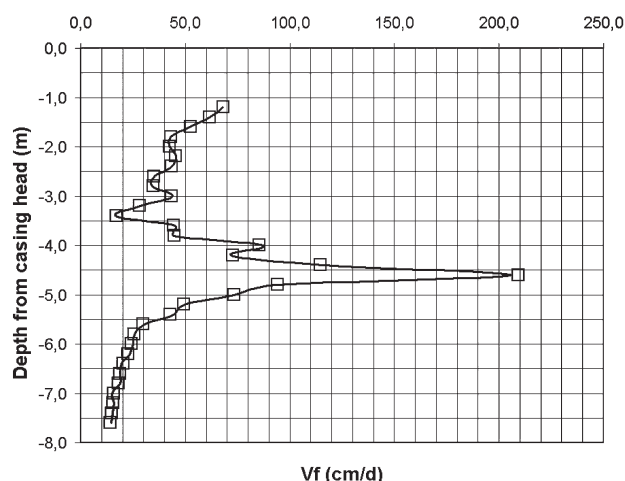


Fig. 7 - Confronto tra le velocità di filtrazione Vf2 (sonda allo Iodio, linea continua) e Vf3 (sonda conduttimetrica, simbolo del quadrato)
- Comparison between the filtering velocities Vf2 (Iodine probe, continual line) and Vf3 (conductometric probe, square symbol)

556 misure di Vf utilizzando sempre la sonda Ocean Seven 301 ed lo ioduro di potassio come tracciante. I dati di tale campagna hanno confermato in pieno quanto presunto (Tab. 3).

Va rilevato, a tal proposito, che le misure con scarti superiori al 10 % si sono riscontrate tutte in corrispondenza della zona di interfaccia con valori superiori a 4 g/l; presumibilmente i maggiori scarti in questa zona sono da imputare alle variazioni di salinità indotte dalle oscillazioni di marea che alterano i valori della concentrazione di base Cb. Ne consegue che le misure di Vf in zona di transizione

wells of the same area, 556 measurements of Vf were performed overall always using the Ocean Seven 301 probe and potassium Iodide as tracer. The data of this campaign fully confirmed the theories (Tab. 3).

Regarding this, it should be pointed out that the measurements with differences exceeding 10 % were all found in the fresh saline groundwater interface with values exceeding 4 g/l; presumably the greater differences in this area are due to the variations of salinity induced by the tide fluctuations which change the basic concentration Cb. It follows that the Vf measurements in transition zones are

sono da elaborare con estrema attenzione dovendosi discernere attentamente gli effetti della diluizione del tracciante da quelli delle variazioni indotte dalla marea. Analisi che proprio la disponibilità delle doppie rilevazioni consente di effettuare più concretamente.

In definitiva, quindi, le misure rilevate con i sensori della sonda Ocean Seven 301 sono risultate ampiamente affidabili e riproducibili, evidenziando la stessa versatilità del sistema con sonde a scintillazione, rispetto al quale denotano solo una minore rapidità di risposta nelle letture dovuta ai necessari tempi di stabilizzazione dei sensori. Inoltre, la possibilità di eseguire di fatto contemporaneamente due rilevazioni (con il sensore allo iodio e con quello conduttimetrico) offre una possibilità di confronto e verifica reciproca dei dati.

Infine, essendo il sistema basato specificamente sulla concentrazione dello ione Iodio, risulta efficace anche in ambito di acquiferi costieri, laddove le oscillazioni di marea possono indurre, nella zona di interfaccia, delle variazioni nella concentrazione di base dei sali.

to be processed extremely carefully because the effects of the tracer dilution must be accurately discerned from those of the variations induced by the tide. This analysis can be performed more concretely because of the availability of the double determination.

Basically, therefore, the measurements determined with the sensors of the Ocean Seven 301 probe were found to be extremely reliable and reproducible, showing the same versatility as the system with RAP probes. Compared to the latter they denote only a slightly less rapid response in the readings due to the time necessary for the sensors to settle. Furthermore, the possibility of performing two detections at the same time (with the iodine sensor and with the conducting one) offers the possibility of comparison and reciprocal verification of the data.

Finally, since the system is specifically based on the concentration of the Iodine ion, it is also effective in coastal aquifer environments where the tidal fluctuations may induce variations in the basic concentration of the salts in the interface area.

OPERE CITATE/REFERENCES

- COTECCHIA V., SPIZZICO M., TADOLINI T. & TINELLI R. (1989) - *Variazioni nel tempo della concentrazione del radon presente nelle acque di falda circolanti nell'acquifero costiero salentino*. Geol. Appl. e Idrogeol., **24**: 211-225.
- DROST W., KLOTZ D., KOCH A., MOSER H., NEUMAIER F. & RAUERT W. (1968) - *Point dilution methods of investigating ground water flow by means of radioisotopes*. Water Resources Research, **4** (1): 125-146.
- HAVELY E., MOSER H., ZELHOFER O. & ZUBER A. (1967) - *Borehole dilution techniques: a critical review*. Isotopes in Hydrology. IAEA Proceeding Series, IAEA, Vienna.
- SPIZZICO M. & TINELLI R. (1991) - *Alcune esperienze sulle tecniche di tracciamento nell'impiego del metodo di diluizione puntiforme*. In: Atti 1° Congr. Naz. Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Gargnano (BS). Ricerca Scientifica ed educazione permanente, Suppl. **93**: 437-445, Milano.
- TAZIOLI G.C. (1973) - *Metodologie e tecniche radioisotopiche in idrogeologia*. Geol. Appl. e Idrogeol., **8** (2): 209-230.

Received May 2009- Accepted October 2009