

P. BARAZZUOLI (*), S. IZZO (*), A. MELONE (*), P. MENICORI (*),
M. SALLEOLINI (*)

L'ACQUIFERO SUBORDINATO AL F. OMBRONE PRESENTE
NEL SETTORE ORIENTALE DEL COMUNE DI GROSSETO
(TOSCANA MERIDIONALE): PRIME CONOSCENZE
IDRODINAMICHE ED IDROCHIMICHE (**)

Riassunto — Il presente studio ha affrontato la ricostruzione del quadro idrodinamico ed idrochimico dell'importante acquifero subordinato⁽¹⁾ al F. Ombrone, presente nel settore orientale del Comune di Grosseto (Toscana Meridionale), al fine di conseguire un'adeguata base conoscitiva per la sua corretta modellizzazione.

Sulla base di dati lito- ed elettro-stratigrafici sono state definite le caratteristiche geometrico-strutturali delle ghiaie sabbiose acquifere, evidenziate con sezioni idrogeologiche e carte delle isopache e della resistenza trasversale: da queste deriva che il volume complessivo del serbatoio è di 340 milioni di m³ e che le zone favorevoli per lo sfruttamento idrico si trovano lungo un asse longitudinale (NE-SW) parallelo allo sbocco dell'Ombrone nella pianura.

Mediante misure di livello nei pozzi sono state ricostruite le superfici piezometriche relative ai livelli massimi e minimi del periodo Novembre 1988-Settembre 1989, dalle quali risulta evidente la stretta connessione idraulica con il F. Ombrone e la presenza di vaste aree a piezometria negativa, indicative del notevole sfruttamento cui è soggetta la falda; inoltre, i risultati delle prove di pompaggio eseguite, che forniscono un valore medio della trasmissività pari a $2.7 \cdot 10^{-2}$ m²/s, sottolineano la notevole potenzialità idrica complessiva dell'acquifero.

Infine, rilievi fisico-chimici effettuati nei pozzi e nell'Ombrone mostrano che l'acquifero contiene acque sostanzialmente identiche a quelle fluviali, anche se il suo settore centro-settentrionale appare probabilmente interessato da una contaminazione con l'acqua termominerale presente nell'area limitrofa di Roselle.

Summary — *The water-course aquifer of the eastern Grosseto Municipality (Southern Tuscany, Italy): first hydrodynamic and hydrochemical survey.* The present work deals with the definition of the hydrodynamic and hydrochemical features of the important aquifer dependent on the Ombrone River (according to the terminology proposed

(*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena - Via delle Cerchia, 3 - 53100 Siena.

(**) Lavoro eseguito e pubblicato con i fondi 60% M.U.R.S.T. (Prof. M. Micheluccini).

(¹) Termine proposto da BONNET e MARGAT (1976).

by BONNET & MARGAT, 1976), located in the eastern Grosseto Municipality (Southern Tuscany), in order to obtain an adequate knowledge for its correct mathematical modelling.

On the basis of litho- and electro-stratigraphic data the location and geometry of water-bearing sandy gravels has been defined, and the hydrogeological cross sections, isopach and transverse resistance maps have been drawn. From all these data it results that the gross volume of the reservoir is 340 millions of m³ (of which 51 millions of m³ is estimated as the effective pore space) and that the profitable area for water exploitation is placed along a NE-SW belt parallel to the Ombrone mouth into the plain.

The measurements of the water level in wells allowed the reconstruction of piezometric surfaces, pertinent to maximum and minimum levels of the observation period (November 1988-September 1989). Such a reconstruction shows the close hydraulic connection of the aquifer with the Ombrone River and the presence of wide areas characterized by a negative piezometric surface resulting from a significant exploitation. Furthermore, the results of the pumping tests, which give an average transmissivity of $2.7 \cdot 10^{-2}$ m²/s and an hydraulic conductivity of $1.3 \cdot 10^{-3}$ m/s, offer a first indication of the remarkable comprehensive water yield of the aquifer, due, among other things, to the noteworthy reservoir thickness (24 m on the average, with a maximum of 40-50 m in the areas submitted to a constant withdrawal).

Finally, measurements of the electrical conductivity and major ions in well and in Ombrone waters show that they are substantially identical, with a chemical composition characterized by the prevalence of (Ca+Mg) and by the balancing between HCO₃ and (SO₄+Cl). However, in the central-northern sector the aquifer chemistry appears to be affected by the mixing of its waters with thermomineral waters from the Roselle adjoining area.

Key words — Hydrogeology, water-course aquifer, sandy gravels, River Ombrone, Grosseto, Southern Tuscany.

1 - PREMessa

Nella corretta pianificazione dello sfruttamento delle acque sotterranee risulta di crescente interesse l'impiego di modelli matematici di simulazione idrodinamica «che consentano non solo di conoscere il comportamento dell'acquifero nello spazio (modelli in regime permanente), ma di prevedere l'evoluzione quantitativa e qualitativa delle risorse e delle riserve anche nel tempo (modelli in regime transitorio), verificando gli effetti di varie strategie di gestione» (CELICO, 1988).

In questa tematica una particolare attenzione dev'essere riservata alla ricostruzione della configurazione geologica degli acquiferi, della loro struttura e del loro comportamento idrodinamico ed idrochimico, in quanto queste rappresentano conoscenze essenziali

per garantire l'idoneità di un modello a simulare con sufficiente approssimazione il loro comportamento reale. Da qui l'importanza di un accurato studio idrogeologico preliminare: in questa nota viene presentato quello effettuato sul principale acquifero presente nei dintorni di Grosseto (Toscana Meridionale), caratterizzato da uno stretto legame idraulico con il F. Ombrone.

Questo lavoro è stato svolto nell'ambito di una linea di ricerca, condotta dal Gruppo di Geologia Applicata del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena, tendente alla definizione dei migliori criteri di sfruttamento delle acque di falda, con un sistema di pozzi, per mezzo di programmi di modellizzazione matematica.

2 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, MORFOLOGICO E GEOLOGICO

La zona oggetto di studio è ubicata nel settore nord-orientale della pianura di Grosseto, nei pressi della città omonima, ed ha una superficie di circa 34 km² (Fig. 1).

Essa è caratterizzata dalla presenza di una vasta area alluvionale solcata, da NE a SW, dai meandri del F. Ombrone; sul suo lato SE mostra un insieme di rilievi collinari, interrotti da brevi tratti pianeggianti. La maggior parte degli affluenti dell'Ombrone è qui rappresentata da numerosi torrenti a regime discontinuo, mentre a SE il Fosso del Grillese e a NE il Canale Salica scorrono perennemente.

Dal punto di vista geologico la zona esaminata fa parte dell'ampia pianura grossetana, la cui origine è chiaramente legata alla deposizione dei sedimenti trasportati dai fiumi Ombrone e Bruna: in particolare, si ricorda che detta pianura viene indicata come area di incerta interpretazione paleogeografica, a causa della totale copertura alluvionale (BURGASSI *et alii*, 1983; MAZZANTI, 1983).

Un recente contributo alla risoluzione del problema proviene da uno studio stratigrafico effettuato su campioni prelevati in otto pozzi di questa pianura (BRAVETTI & PRANZINI, 1987): gli Autori indicano, sulla base delle litologie e delle faune presenti, un'alternanza di depositi di palude o stagno costiero con sedimenti fluviali. Essi suggeriscono anche un'evoluzione paleogeografica del golfo di Grosseto nel Quaternario recente, ad iniziare dall'abbassamento del livello marino verificatosi nell'ultimo periodo glaciale con conseguente erosione dei sedimenti pleistocenici: i fiumi Ombrone e Bruna scavarono nelle alluvioni due valli che la successiva trasgressione versiliana

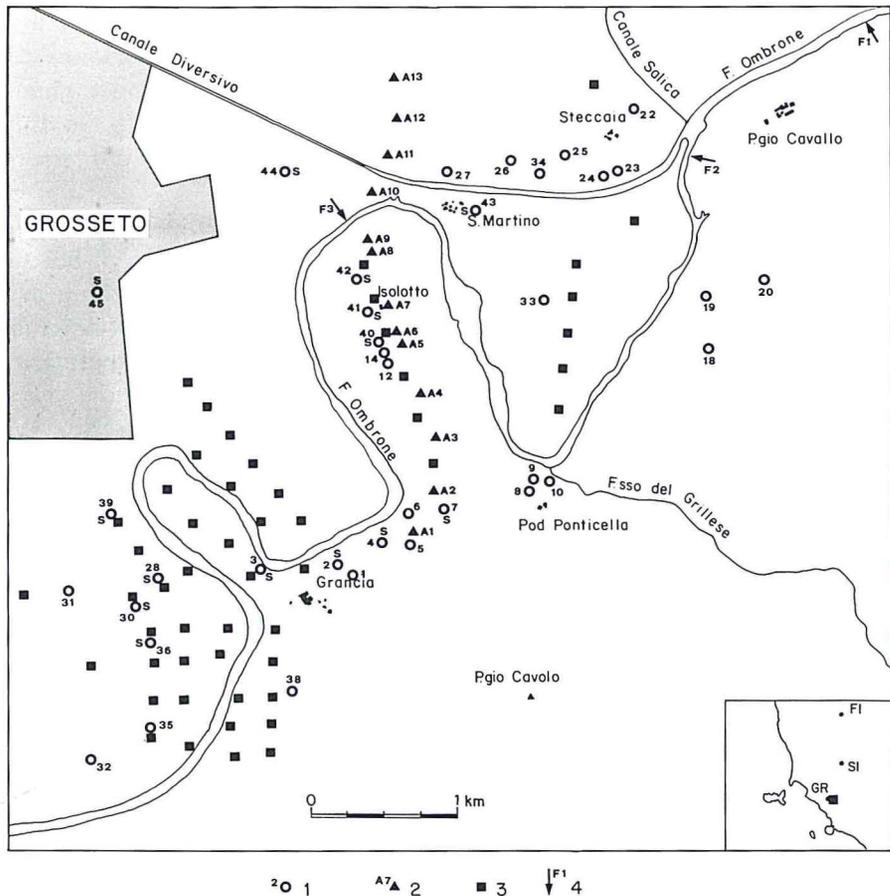


Fig. 1 - Ubicazione dell'area in esame e dei punti di misura utilizzati: 1) pozzi (quelli dotati di stratigrafia sono contrassegnati con la lettera S); 2) sondaggi geognostici; 3) SEV (GE.T.A.S., 1984); 4) punti di rilevamento fisico-chimico nel F. Ombrone.

trasformò in insenature marine, colmate poi dai materiali trasportati dai due fiumi.

Va comunque sottolineato che le conoscenze geologiche relative alla zona studiata, derivanti da materiale bibliografico, sono assai scarse e spesso non sufficientemente documentate, in quanto non sono in grado di fornire, a scopo idrogeologico, una visione adeguata dei litotipi affioranti. Si è quindi reso necessario un rilevamento geologico di dettaglio, che ha condotto alla stesura di una carta contenente anche indicazioni sulla permeabilità relativa dei terreni affioranti (Fig. 2).

Le unità litostratigrafiche che affiorano in quest'area sono, se-

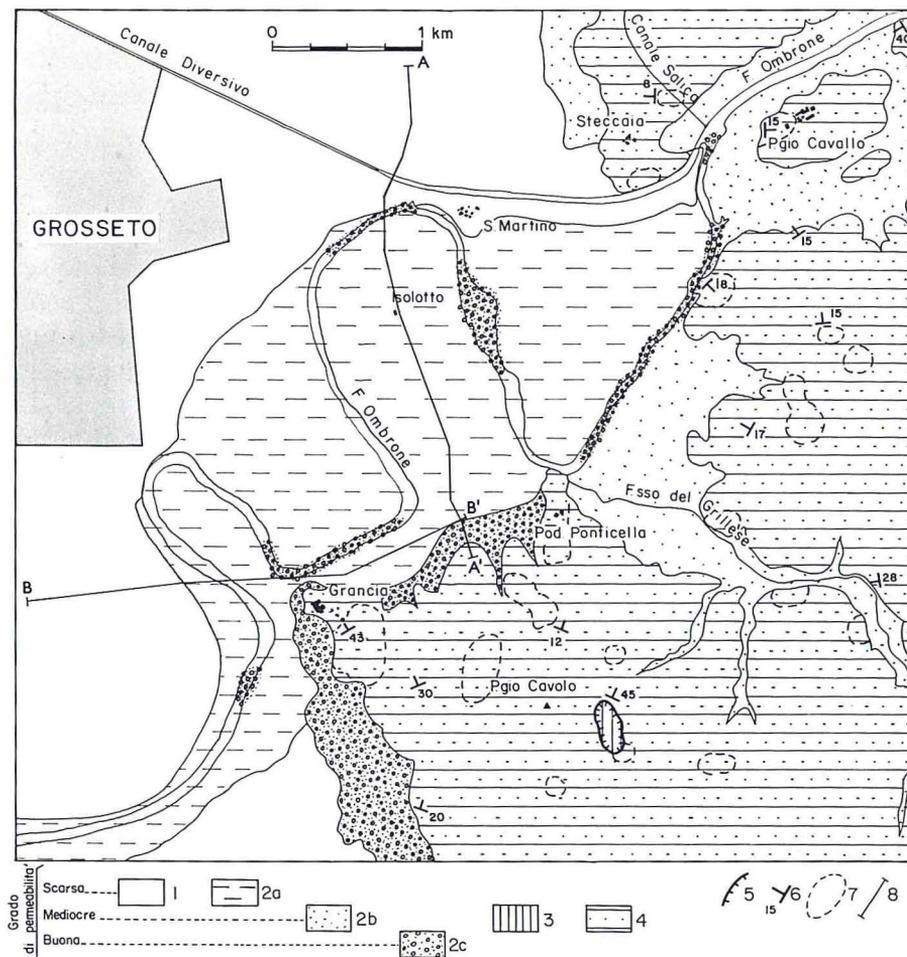


Fig. 2 - Schema geologico dell'area studiata con indicazioni sul grado di permeabilità dei terreni affioranti: 1) terreni di bonifica; 2) depositi continentali quaternari: a - argille limoso-sabbiose; b - sabbie limoso-argillose; c - ghiaie sabbiose; 3) Formazione delle Argille e Calcari (Paleocene-Eocene medio-sup.); 4) Formazione del Macigno (Oligocene medio-sup.); 5) sovrascorrimenti; 6) direzione, immersione ed inclinazione degli strati; 7) aree ad intensa fratturazione; 8) tracce delle sezioni.

condo un ordine di sovrapposizione dall'alto al basso:

- Formazione delle Argille e Calcari (Paleocene-Eocene medio-sup.);
- Formazione del Macigno (Oligocene medio-sup.).

Su di esse giacciono, in discordanza, i depositi continentali quaternari.

Nell'ambito di quest'ultimi particolare attenzione è stata presta-

ta all'individuazione ed alla delimitazione delle varie litologie presenti, nonché alla definizione del loro grado di permeabilità.

Tali depositi sono stati così suddivisi:

- argille limoso-sabbiose;
- sabbie limoso-argillose;
- ghiaie sabbiose.

Le argille limoso-sabbiose sono presenti nell'area occupata dai meandri del F. Ombrone e sono composte da argille sabbiose e, subordinatamente, da limi argillosi; in tutta questa categoria di sedimenti si rinvencono anche sporadici ciottoli calcarei o arenacei.

Le sabbie limoso-argillose affiorano nel settore NE, che è quello morfologicamente più alto della pianura di Grosseto, e sono costituite da sabbie quarzoso-feldspatico-micacee medio-fini; vi si ritrovano ciottoli arenacei (provenienti dalla formazione del Macigno), che raggiungono al massimo dimensioni di 15 cm.

Le ghiaie sabbiose sono presenti, con limitati affioramenti, soprattutto nella parte centro-meridionale della zona esaminata (dintorni di Grancia), dove localmente è possibile riconoscere due ordini di terrazzi (quest'ultimi non sono stati distinti in Fig. 2, perché di difficile individuazione in gran parte dell'area studiata); inoltre, esse costituiscono, per lunghi tratti, il letto fluviale dell'Ombrone. Dette ghiaie sono, per lo più, accompagnate da una matrice sabbiosa (talora limosa) e mostrano talvolta un debole grado di cementazione: gli elementi della ghiaia sono costituiti, in affioramento, prevalentemente da ciottoli dell'arenaria Macigno (nel sottosuolo aumenta, localmente, la percentuale degli elementi calcarei rispetto a quelli arenacei) ed hanno dimensioni che vanno da pochi millimetri al decimetro.

Inoltre, è da rilevare che il settore nord-occidentale è occupato da sedimenti recenti, riferibili alle opere di bonifica eseguite a partire dal secolo XVIII (TADDEI, 1957): si tratta di depositi costituiti da limi, argille e sabbie argillose, cui si intercalano, talvolta, livelli ciottolosi.

Per meglio valutare i problemi connessi alla presenza ed al movimento dell'acqua nel sottosuolo in questo studio è stata effettuata una classificazione dei litotipi affioranti in base al loro grado di permeabilità (vedi Fig. 2): ciò è stato fatto, oltre che attraverso il rilevamento geologico, anche grazie ad osservazioni dirette di altro genere (assorbimento superficiale d'acqua nei periodi di pioggia, prove di permeabilità — tipo Lefranc — durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici).

Sono state inoltre evidenziate, all'interno della formazione are-

nacea, quelle aree nelle quali è presente un alto grado di fratturazione: queste possono essere considerate zone a permeabilità maggiore, rispetto a quella media del complesso cui appartengono.

3 - GEOMETRIA E STRUTTURA DELL'ACQUIFERO

Al fine di definire le caratteristiche geometrico-strutturali dei livelli acquiferi si è resa necessaria l'esecuzione di un accurato censimento dei pozzi presenti nella zona studiata. Tra questi pozzi (le cui profondità massime raggiungono i 70-80 m), alcuni hanno fornito informazioni sulla distribuzione spaziale delle alluvioni; altri sono stati utilizzati per la campagna di rilevamento dei dati piezometrici e di quelli fisico-chimici; altri ancora, grazie al loro idoneo equipaggiamento, sono stati utilizzati per l'esecuzione di prove di emungimento.

È poi da tener presente che, durante l'esecuzione di questo studio, sono state rilevate direttamente «in situ» le litostratigrafie di vari sondaggi geognostici (con profondità dell'ordine di 30-40 m) e di alcuni nuovi pozzi (profondi sui 60 m).

Infine, nelle aree per le quali c'è particolare carenza di informazioni, la definizione della geologia del sottosuolo si è basata soprattutto sull'interpretazione di vari sondaggi elettrici (G.E.T.A.S., 1984) ed anche sull'osservazione diretta di alcuni scavi realizzati per la costruzione della nuova S.S. Aurelia.

Con l'ausilio di tutti i dati disponibili (l'ubicazione dei punti di raccolta di tale dati è mostrata in Fig. 1) è stato possibile ricostruire l'assetto geometrico dei depositi alluvionali in modo da evidenziarne gli aspetti di maggior interesse idrogeologico (Fig. 3).

Le sezioni indicano che la zona studiata è caratterizzata dalla presenza di un unico complesso acquifero costituito da ghiaie sabbiose, talvolta suddiviso in due orizzonti principali da livelli argillosi: questi ultimi, insieme alle sabbie limoso-argillose, costituiscono anche la copertura dell'acquifero. Il corpo ghiaioso superiore risulta di spessore assai uniforme nel settore centrale, mentre aumenta notevolmente presso il Canale Diversivo: esso costituisce, in più tratti, l'alveo dell'Ombrone (con il quale è quindi idraulicamente collegato) e viene incontrato dai pozzi e dai sondaggi geognostici a profondità pressoché costanti (5-6 m). Il corpo inferiore segue lo stesso andamento geometrico del precedente, presentandosi però con spessori più elevati (fino ad oltre 50 m); esso tende ad approfondirsi progres-

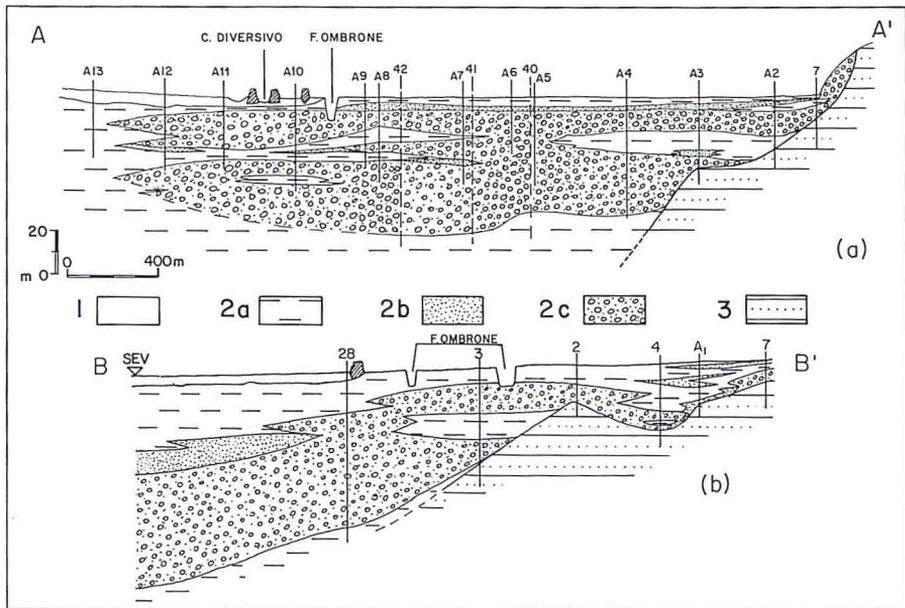


Fig. 3 - Sezioni idrogeologiche: 1) terreni di bonifica; 2) depositi continentali quaternari: a - argille limoso-sabbiose; b - sabbie limoso-argillose; c - ghiaie sabbiose; 3) Formazione del Macigno.

sivamente verso W (vedi Fig. 3b) e si chiude invece a lente, come il superiore, verso N.

L'acquifero sopra descritto poggia in parte su di un substrato impermeabile costituito dalle argille limoso-sabbiose, mentre il resto giace direttamente sulla Formazione del Macigno (anch'essa caratterizzata da una bassa permeabilità).

L'elaborazione dei dati fin qui acquisiti (lito- ed elettrostratigrafie) ha anche reso possibile la stesura di elaborati cartografici di particolare interesse idrogeologico: la carta delle isopache e quella della resistenza trasversale.

La carta delle isopache dell'acquifero permette di valutarne il volume attraverso la rappresentazione dello spessore totale dei corpi ghiaiosi (Fig. 4): essa evidenzia una distribuzione del materiale permeabile con valori massimi su di un asse longitudinale (NE-SW) allo sbocco dell'Ombrone nella pianura e con aumenti repentini di spessore nell'area ad W di Grancia ed in quella centrale. È da sottolineare che i valori osservati a N di Grancia e nel settore Steccaia-Pod. Ponticella sono probabilmente di minore attendibilità in quanto valutati solo in base a dati geoelettrici.

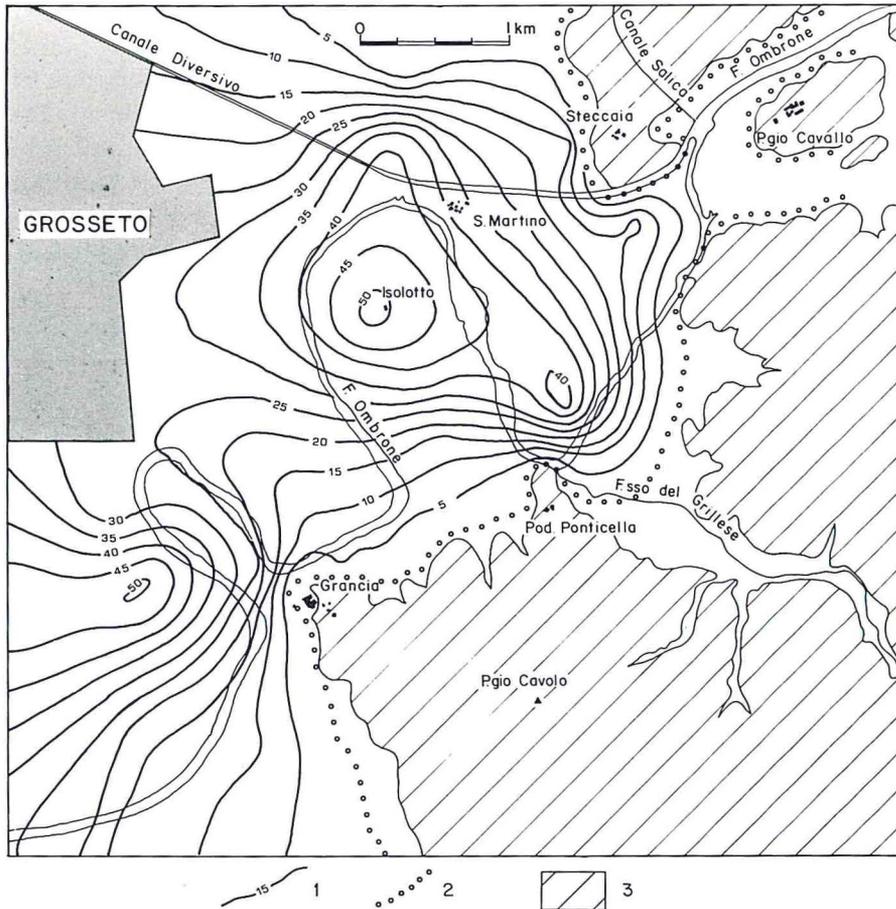


Fig. 4 - Carta delle isopache dell'acquifero: 1) curve di ugual spessore (valori in m); 2) limite dell'acquifero; 3) formazione arenacea in affioramento.

La stima del massimo quantitativo idrico immagazzinabile viene comunemente effettuata, negli acquiferi a falda libera (come sostanzialmente si presenta quello in esame), tramite il prodotto tra il volume complessivo del serbatoio considerato (in questo caso pari a 340 milioni di m^3 , con uno spessore medio di circa 24 m) e la relativa porosità efficace. Riguardo quest'ultima, la mancanza di dati diretti (ottenuti da misure in situ o da prove di laboratorio su campioni di acquifero sufficientemente rappresentativi) ed indiretti (relativi al coefficiente di immagazzinamento - per le falde libere le due grandezze risultano praticamente uguali) ha comportato l'adozione di un valore pari al 15% (CASTANY, 1982; CELICO, 1988): si otte-

ne pertanto un volume totale di acqua immagazzinabile pari a 51 milioni di m^3 .

La carta della resistenza trasversale dell'acquifero permette di individuarne le aree più convenienti per lo sfruttamento idrico (ERDELYI & GALFI, 1988): essa viene costruita, com'è noto, attraverso la rappresentazione dei singoli valori di questa grandezza, ottenuti dal prodotto tra le resistività degli orizzonti acquiferi e i relativi spessori (Fig. 5). La stesura di questa carta si è basata sulla normalizzazio-

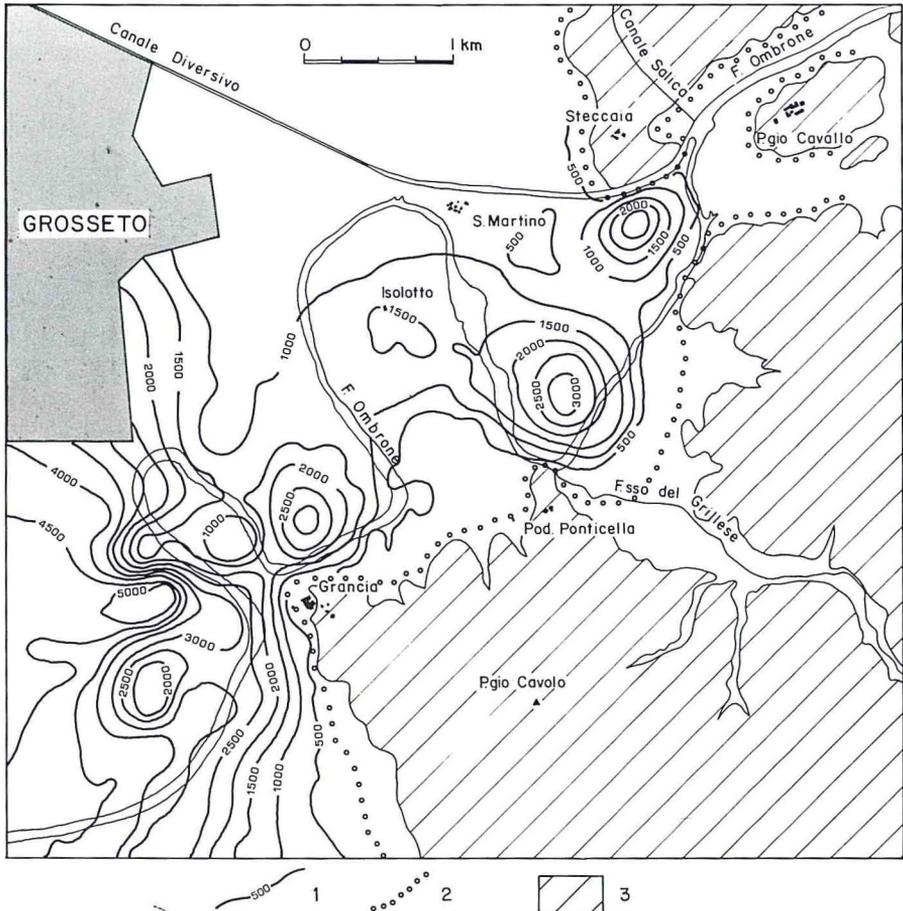


Fig. 5 - Carta della resistenza trasversale dell'acquifero: 1) curve di ugual resistenza trasversale (valori in $ohm \cdot m^2$); 2) limite dell'acquifero; 3) formazione arenacea in affioramento.

ne della conducibilità dell'acqua di falda e su valori della resistività in un campo compreso tra i 70 ed i 300 $ohm \cdot m$, che corrispondono

a quelli dell'acquifero saturo in esame; per motivi di congruenza, gli spessori considerati sono quelli ricavati dai sondaggi elettrici.

L'esame della Fig. 5 indica che le zone favorevoli per lo sfruttamento idrico, con valori della resistenza trasversale sui 3000-5000 ohm·m², si trovano nel settore, orientato NE-SW, occupato dai meandri del F. Ombrone: in questo settore le variazioni rilevate di questa grandezza, in presenza di spessori pressoché costanti dell'acquifero, sono prevalentemente da imputarsi a quelle della permeabilità, derivate dalla variabilità granulometrica in senso verticale ed orizzontale.

4 - CARATTERIZZAZIONE IDRODINAMICA DELL'ACQUIFERO

Allo scopo di delineare i principali aspetti idrodinamici dell'acquifero in argomento è stata effettuata una campagna di rilevamento piezometrico, a cadenza quindicinale e per un periodo di undici mesi (Novembre 1988-Settembre 1989), nei pozzi pescanti nella relativa falda (ed anche in altri al di fuori di essa).

Una parte dei pozzi (n. 4, 6, 30, 34, 36) è di proprietà del Comune di Grosseto, il quale se ne serve per l'approvvigionamento idrico (attualmente con una portata totale pari a circa 150 l/s): in alcuni di essi è stato impossibile effettuare un controllo costante del livello piezometrico. È da aggiungere che il continuo emungimento, cui è sottoposta la falda, comporta la possibilità di misurarne solo il livello dinamico: la piezometria risulta quindi fortemente alterata rispetto alle condizioni naturali.

I dati così raccolti hanno permesso la costruzione di carte delle isopiezometriche (Figg. 6 e 7, relative rispettivamente ai livelli massimi e minimi del periodo considerato), dalle quali risulta evidente che il tratto fluviale compreso tra Steccaia e Pod. Ponticella, impostato sulle stesse ghiaie costituenti l'acquifero (vedi Fig. 2), è quello maggiormente interessato da perdite d'acqua dal fiume verso la falda. È poi da rilevare la presenza di varie zone (soprattutto ad Ovest di Grancia) nelle quali il movimento dell'acqua sotterranea è notevolmente condizionato dai pompaggi ivi effettuati, che inducono anche un aumento della filtrazione naturale dal reticolo fluviale: «l'effetto di questa azione a beneficio della falda (rialimentazione indotta) è la somma algebrica di una diminuzione del flusso che inizialmente defluiva dalla falda al fiume e/o di un aumento del flusso passante (inizialmente o no) dal fiume alla falda» (BONNET & MARGAT, 1976).

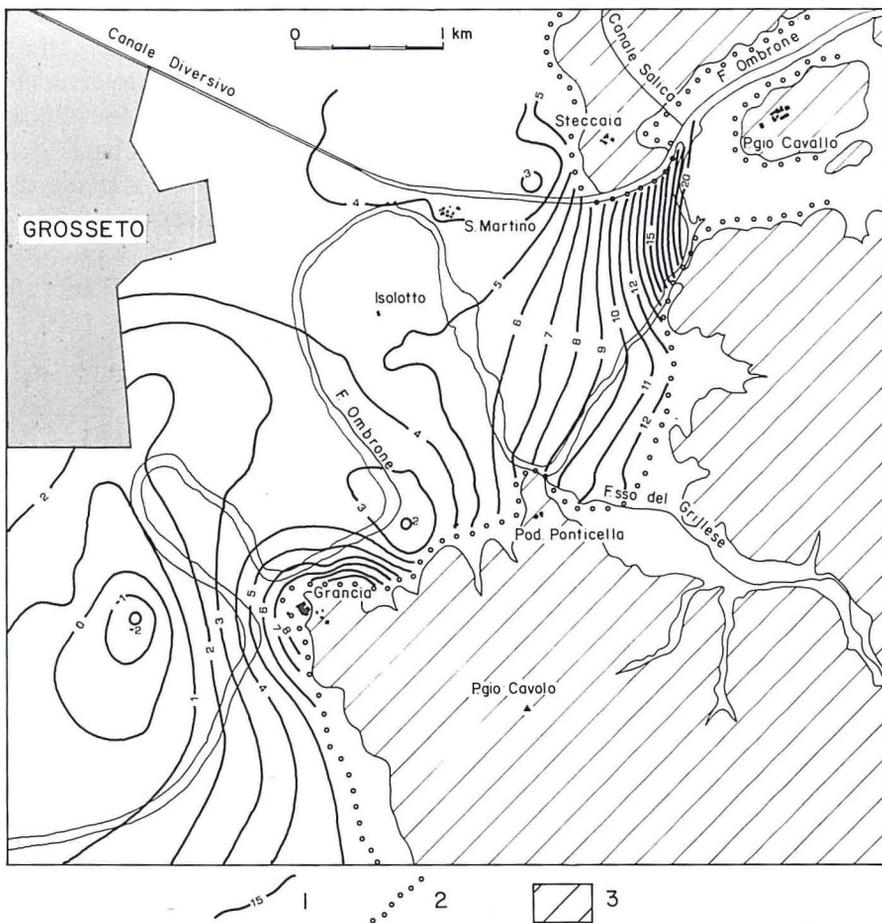


Fig. 6 - Carta delle isopiezometriche di falda (misure del 27/04/1989): 1) curve di ugual livello piezometrico (valori in m s.l.m.); 2) limite dell'acquifero; 3) formazione arenacea in affioramento.

Il notevole sfruttamento cui è soggetta la falda è testimoniato dalla presenza di vaste aree a piezometria negativa, che tendono ad ampliarsi nel periodo estivo quando la richiesta d'acqua è maggiore. Inoltre è da osservare che, nel settore centrale della zona esaminata, le isopiezometriche risultano fra loro assai distanziate: questo fatto, che è legato ad un aumento repentino dello spessore dei livelli ghiaiosi (vedi Fig. 4), conferma tale settore come quello più trasmissivo.

Si è pure potuto constatare la presenza di infiltrazioni d'acqua di origine meteorica che determinano una circolazione idrica, nella formazione arenacea e nei depositi ghiaioso-sabbiosi affioranti, dal-

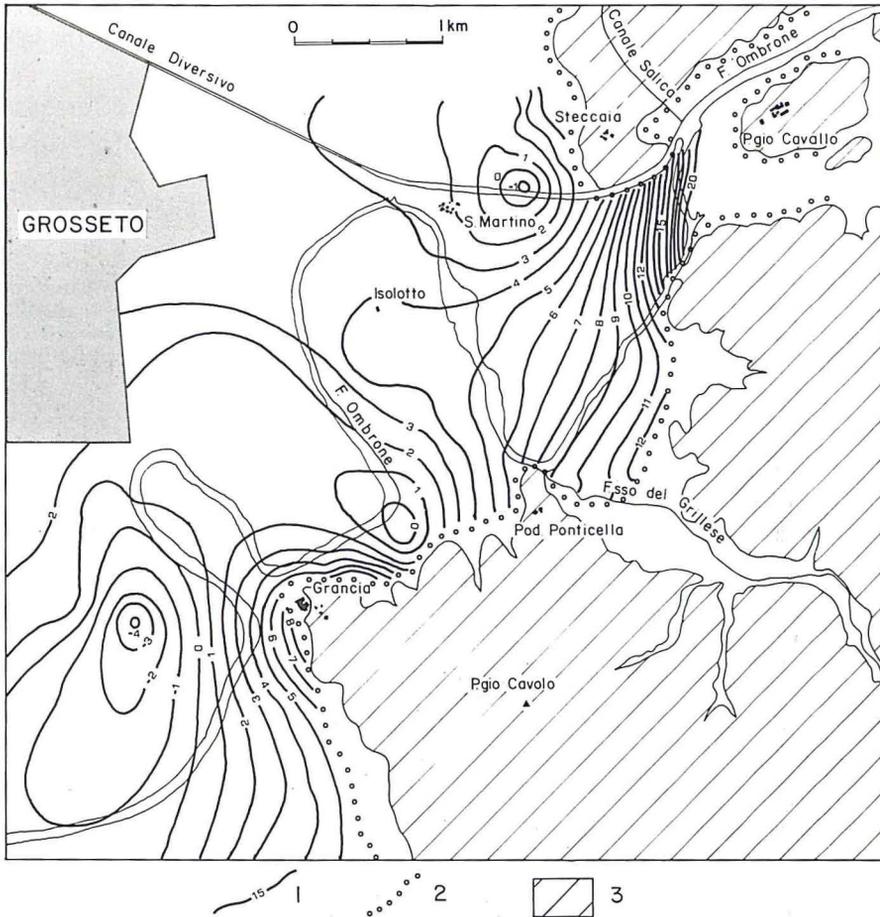


Fig. 7 - Carta delle isopiezometriche di falda (misure del 27/08/1989): 1) curve di ugual livello piezometrico (valori in m s.l.m.); 2) limite dell'acquifero; 3) formazione arenacea in affioramento.

la superficie verso la falda (in diversi pozzi a SW di Poggio Cavallo e a S di Grancia sono state registrate sensibili variazioni del livello piezometrico a seguito di eventi piovosi; gli stessi pozzi sono risultati poi completamente asciutti nel periodo estivo); non è da escludere che questo fenomeno di ricarica locale (anche se quantitativamente di scarso significato) si ripeta nelle altre aree dove l'acquifero si trova in contatto con queste formazioni.

Al fine di valutare i parametri idrodinamici dell'acquifero sono state eseguite delle prove di emungimento in alcuni pozzi pescanti nella relativa falda (durante periodi di assenza di sfruttamento nelle immediate vicinanze); purtroppo, la sistematica mancanza di pozzi

da adibirsi a piezometro non ha permesso il calcolo del coefficiente di immagazzinamento, che avrebbe consentito il controllo della stima della porosità efficace.

In Tab. 1 sono elencati i risultati delle elaborazioni effettuate sui dati così raccolti, basate sulla formula di non equilibrio propo-

Tab. 1 - Risultati ottenuti nella valutazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero tramite prove di pompaggio (i valori riportati sono relativi alla fase di risalita del livello piezometrico): Q = portata di emungimento; T = trasmissività; H = spessore dell'acquifero saturo; K = coefficiente di permeabilità, valutato come T/H.

Pozzo n.	Q (l/s)	T (m ² /s)	H (m)	K (m/s)
40	100	2,3·10 ⁻²	40	0,57·10 ⁻³
41	104	3,1·10 ⁻²	48	0,64·10 ⁻³
42	114	4,1·10 ⁻²	41	1,00·10 ⁻³
2	16	2,3·10 ⁻²	6	3,90·10 ⁻³
30	21	1,9·10 ⁻²	50	0,38·10 ⁻³

sta da Jacob (CASTANY, 1982; CELICO, 1988): questi valori puntuali, sintetizzabili in media con una trasmissività pari a 2,7·10⁻² m²/s e con un coefficiente di permeabilità pari a 1,3·10⁻³ m/s, forniscono una prima indicazione sulla notevole potenzialità idrica complessiva dell'acquifero, dovuta anche ad un discreto spessore del serbatoio (24 m in media, con massimi di 40-50 m nelle zone sottoposte a sfruttamento costante).

La prova di pompaggio eseguita nel pozzo n. 2 (Fig. 8) sottolinea il rapido raggiungimento della situazione di equilibrio tra la portata emunta e l'alimentazione della falda: calcoli effettuati con le equazioni proposte da Jenkins (CHIESA, 1986; WALTON, 1987) mostrano che, al termine della prova (circa 8 ore), la parte di acqua proveniente dal F. Ombrone è pari all'8% e che essa raggiunge il 100% dopo quasi 6 giorni.

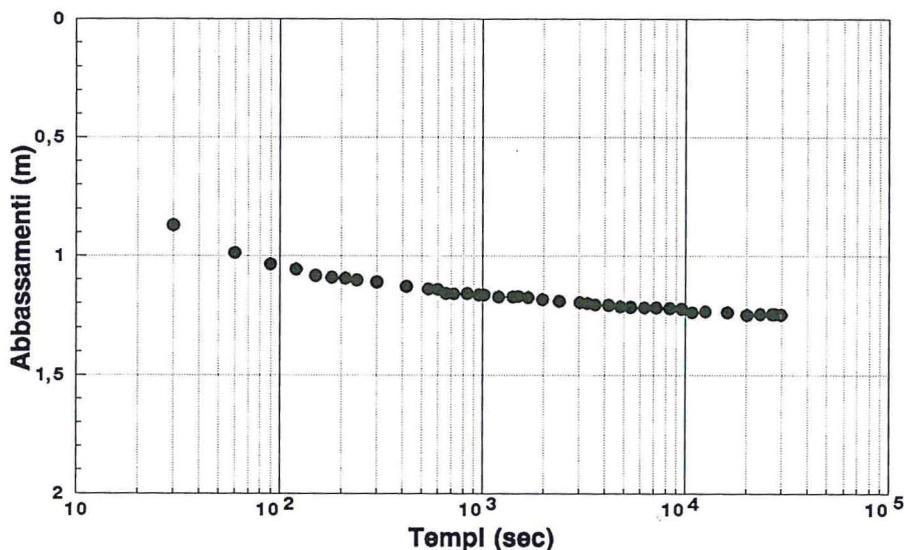


Fig. 8 - Grafico abbassamenti-tempi relativo alla prova di pompaggio eseguita nel pozzo n. 2.

5 - CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA DELL'ACQUA DI FALDA

Al fine di valutare le principali caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua della falda in studio sono state eseguite, contemporaneamente alle misure piezometriche, delle rilevazioni sulla sua conducibilità elettrica e alcune determinazioni chimiche; tutto ciò è stato effettuato anche sulle acque del F. Ombrone.

I dati conducimetrici rilevati in due particolari giorni (rappresentativi di un periodo umido e di uno secco) hanno consentito la stesura di carte delle isoconduttive con le quali è possibile evidenziare il quadro distributivo della salinità della zona esaminata.

L'andamento delle isolinee relative al periodo invernale (Fig. 9) mostra che le minime si distribuiscono generalmente lungo il limite dell'acquifero (con valori compresi tra 800 e 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), confermando quindi l'esistenza di infiltrazioni di acqua meteorica dalla formazione arenacea e dai depositi ghiaioso-sabbiosi affioranti verso la falda; nel periodo estivo (Fig. 10), invece, i valori più bassi risultano probabilmente legati ad una maggiore diluizione dell'acqua di falda conseguente all'aumentato richiamo idrico dall'alveo del F. Ombrone (area ad W di Grancia).

Le massime conducibilità si riscontrano sempre nel settore centro-settentrionale della zona studiata, dove si passa da oltre 1300

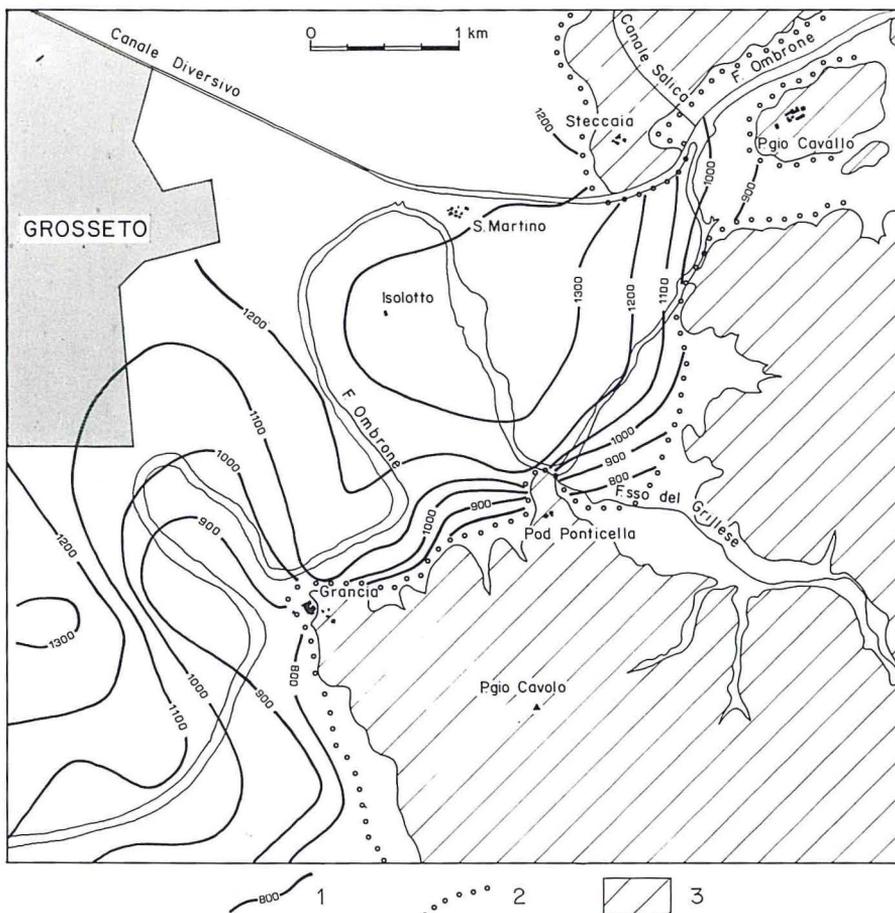


Fig. 9 - Carta delle isoconduttive dell'acqua di falda (misure del 27/12/1988): 1) curve di ugual conducibilità elettrica (valori in $\mu\text{S}/\text{cm}$); 2) limite dell'acquifero; 3) formazione arenacea in affioramento.

$\mu\text{S}/\text{cm}$ del periodo invernale a punte di quasi 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del periodo estivo. Ciò è spiegabile ammettendo un miscelamento (le cui modalità sono tuttora allo studio) tra le acque dolci della falda e quelle termominerali presenti nell'area limitrofa di Roselle (situata poco a N): in quest'ultima zona le acque sotterranee sembrano infatti caratterizzate da un flusso idrico verso WSW (G.E.T.A.S., 1982).

È infine da sottolineare che i valori di conducibilità relativi alle acque dell'Ombrone sono risultati sostanzialmente concordanti con quelli rilevati nei pozzi (soprattutto nella parte centro-meridionale dell'area in esame), apportando un'ulteriore conferma circa l'anzidetto legame idraulico falda-fiume: ciò è ancora più evidente dall'e-

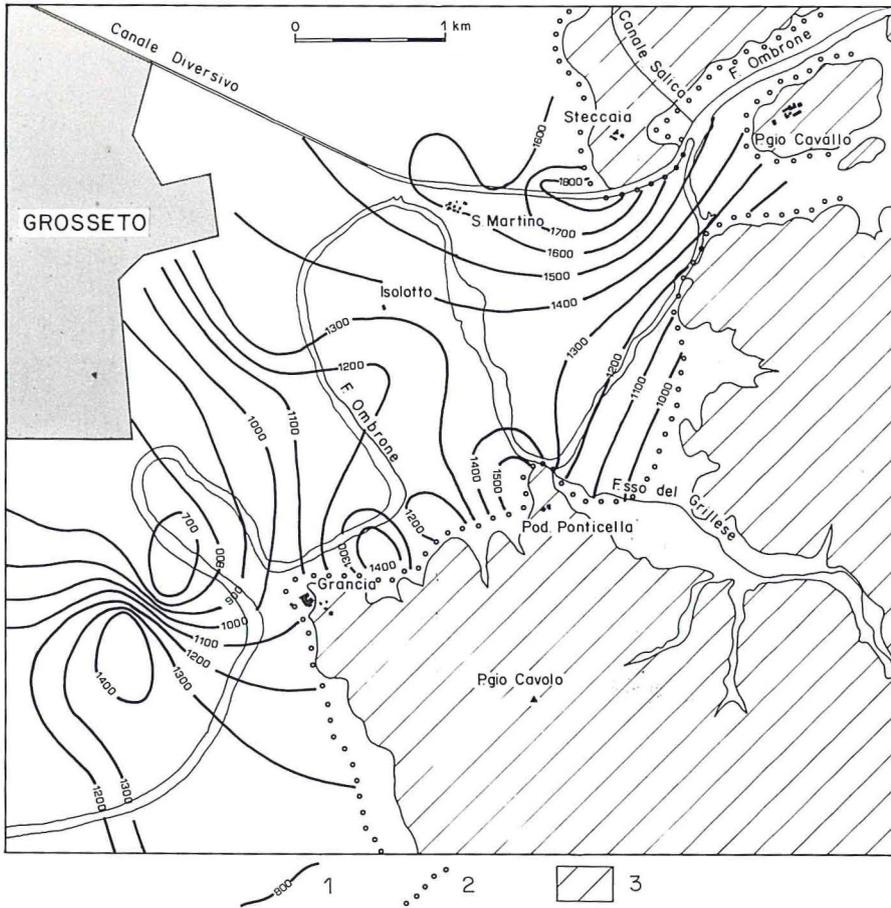


Fig. 10 - Carta delle isoconduttive dell'acqua di falda (misure del 12/07/1989): 1) curve di ugual conducibilità elettrica (valori in $\mu\text{S}/\text{cm}$); 2) limite dell'acquifero; 3) formazione arenacea in affioramento.

same del diagramma di Fig. 11, nel quale i dati relativi al chimismo della falda ed a quello del F. Ombrone risultano, praticamente identici e riflettono una composizione chimica il cui aspetto saliente è costituito dalla prevalenza della coppia (Ca+Mg), con un bilanciamento tra l' HCO_3 e la coppia (SO_4+Cl).

6 - CONCLUSIONI

L'insieme dei dati raccolti consente di affermare che la zona in esame è caratterizzata dalla presenza di un acquifero principale,

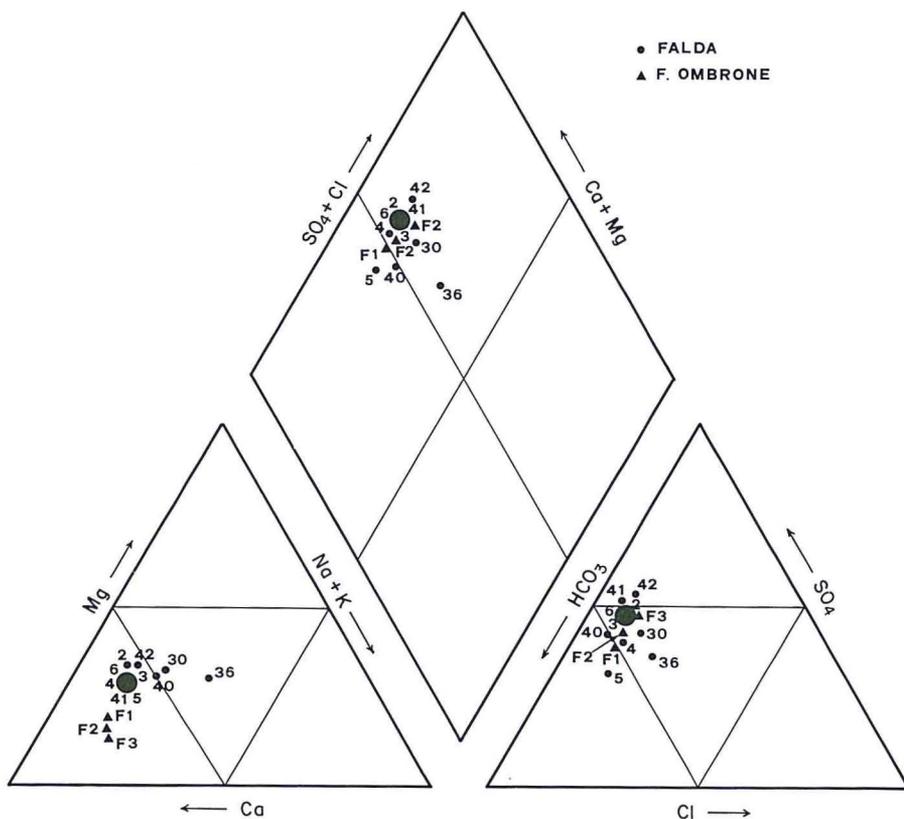


Fig. 11 - Diagramma di Piper relativo alle acque di falda ed a quelle del F. Ombrone.

costituito da ghiaie sabbiose, in condizioni di parziale compartimentazione ed in stretta connessione idraulica con il F. Ombrone (sistema globale acquifero/corso d'acqua); inoltre, la funzione conduttrice molto più utilizzabile della funzione capacitiva e le risorse rinnovabili ben superiori alle risorse naturali (alimentazione in regime non perturbato) fanno sì che l'acquifero possa definirsi subordinato ad un corso d'acqua secondo la terminologia proposta da BONNET & MARGAT (1976).

Lo studio della geometria dell'acquifero ha permesso di evidenziarne lo sviluppo a partire dai fianchi marginali dell'ambiente collinare ed i notevoli spessori (con massimi sui 50 m), dai quali consegue un elevato grado di immagazzinamento idrico (stimato in circa 51 milioni di m^3).

Tutto ciò consente di sottolineare come l'acquifero ben si presti ad essere sfruttato tramite un sistema di pozzi: tale sfruttamento,

che è già in atto con valori complessivi di portata pari a circa 250 l/s, è reso possibile dalla continua (anche se ovviamente non costante) alimentazione idrica da parte del F. Ombrone, che compensa adeguatamente le sottrazioni dovute agli emungimenti (fenomeno della rialimentazione indotta).

È ovvio però che la gestione futura, nella quale è previsto un prelievo idrico anche dai pozzi n. 40, 41 e 42 per un totale di 500 l/s, dovrà essere condotta in modo tale da evitare fenomeni di inquinamento (soprattutto nelle acque del fiume alimentatore, aspetto di maggior pericolosità per la falda in esame), da mantenere determinate portate in alveo (per uso igienico e/o ecologico), anche nei periodi più siccitosi, e da evitare abbassamenti piezometrici tali da innescare fenomeni di subsidenza (BONNET & MARGAT, 1976; CASTANY, 1982; CELICO, 1988): da qui l'importanza di una corretta modellizzazione idrodinamica dell'acquifero, le cui conoscenze di base sono contenute in questa nota.

Infine, è possibile affermare che l'acquifero contiene acque i cui caratteri fisico-chimici risultano sostanzialmente concordanti con quelli rilevati nel F. Ombrone, anche se il suo settore centro-settentrionale appare probabilmente interessato da un miscelamento tra l'acqua dolce in esso circolante e l'acqua termominerale proveniente dall'area limitrofa di Roselle.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Prof. Sandrelli per la cortese collaborazione fornita nell'interpretazione dei dati stratigrafici e l'Amministrazione Comunale di Grosseto per aver gentilmente collaborato nella raccolta delle informazioni relative ai pozzi.

BIBLIOGRAFIA

- BONNET M., MARGAT J. (1976) - Aide-mémoire sur l'évaluation des ressources en eau des aquifères subordonnés aux cours d'eau. Bull. B.R.G.M. (deuxième série), section III, 3-4, 115-124.
- BRAVETTI L., PRANZINI G. (1987) - L'evoluzione quaternaria della pianura di Grosseto (Toscana): prima interpretazione dei dati del sottosuolo. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **10** (1), 85-92.
- BURGASSI P.D., DECANDIA F.A., LAZZAROTTO A. (1983) - Elementi di stratigrafia e paleogeografia nelle Colline Metallifere (Toscana) dal Trias al Quaternario. *Mem. Soc. Geol. It.*, **25**, 25-70.
- CASTANY G. (1982) - Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris.
- CELICO P. (1988) - Prospezioni idrogeologiche. Voll. I e II, Liguori Editore, Napoli.
- CHIESA G. (1986) - Geoidrologia applicata. Milano.

- ERDELYI M., GALFI J. (1988) - Surface and subsurface mapping in hydrogeology. Wiley-Akadémiai Kiadó, Budapest.
- GE.T.AS. (1982) - Indagine idrogeologica sulle sorgenti di Roselle. Amministrazione Comunale di Grosseto. Relazione inedita.
- GE.T.AS. (1984) - Studio di fattibilità di un impianto di itticoltura a Padule Diaccia. Valutazione idrogeologica della pianura grossetana per l'approvvigionamento dell'impianto. Amministrazione Comunale di Grosseto. Relazione inedita.
- MAZZANTI R. (1983) - Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago di Toscana. *Boll. Soc. Geol. It.*, **102**, 419-556.
- TADDEI E. (1957) - Le bonifiche toscane. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze.
- WALTON W.C. (1987) - Groundwater pumping tests: design and analysis. Lewis Publishers, Chelsea.

(ms. presentato il 16 settembre 1991; ult. bozze il 30 dicembre 1991)