

Sulla determinazione della permeabilità in terreni alluvionali eterogenei

R. OLIVOTTI*

SOMMARIO: Dalla misura delle velocità ascensionali dell'acqua in pozzi attraversanti falde acquifere artesiane sovrapposte si deducono, mediante alcune elementari relazioni, i valori dei rispettivi coefficienti di permeabilità e dei livelli piezometrici a riposo.

Si forniscono quindi alcune indicazioni per l'estensione del metodo allo studio di falde acquifere in regime non permanente. Viene infine affacciata, in via preliminare, la possibilità di far uso di un misuratore di velocità elettromagnetico.

1. Introduzione.

Si espongono brevemente i termini della questione, per quanto risulta strettamente necessario a comprendere il contenuto, del resto molto semplice, di questa nota. Per più estese informazioni in merito all'argomento rimanderei all'esame della vasta letteratura esistente [HEATH, TRAINER, 1968], nonché all'interessante nota della Rodio [Ing. G. RODIO e C., 1967], che ha fornito lo spunto alle seguenti considerazioni.

Si immagini dunque di dover valutare gli spessori « E_i », i coefficienti di permeabilità « K_i » e i livelli « h_i » della piezometrica indisturbata di n falde acquifere artesiane sovrapposte (v. fig. 1), ($i = 1, \dots, n$).

In genere, il livello « h_i » della piezometrica indisturbata che compete ad una certa falda i -esima sarà diverso da quello delle altre; nel caso della fig. 1, ($i = 1, 2$), ad es.,

$$h_1 > h_2$$

Si ammetta poi che, in prima approssimazione, la relazione tra le portate « Q_i » attinte (o immesse) alla falda i -esima e la corrispondente depressione a regime « Δh_i », sia la seguente

$$Q_i = K_i \Delta h_i E_i \quad [1]$$

Se si assegna a Δh_i l'espressione

$$\Delta h_i = h_i - h,$$

ove « h » è il livello del pelo libero nel pozzo in un certo regime, alle portate « emunte » dalla falda i -esima, spetterà, per convenzione, segno positivo: a quelle immesse, segno negativo.

Per procedere alla valutazione dei coefficienti « K_i » e delle quote « h_i », si possono studiare le falde ad una ad una, dopo aver scavato pozzi di prova separati (che attingano cioè ad una sola falda, come avviene per i pozzi che appaiono nella fig. 1), e disponendo, eventualmente, anche tubi piezometrici circostanti, che interessino le singole falde. Un altro metodo, che presenta certi vantaggi rispetto agli altri, è stato esposto nella menzionata nota della Rodio.

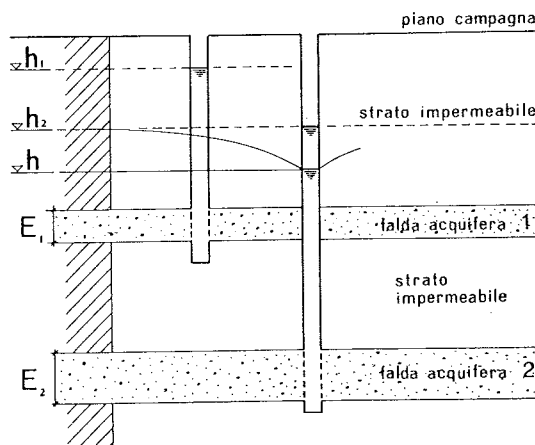


Fig. 1. - Un esempio di falde acquifere artesiane sovrapposte.

2. Misura delle velocità ascensionali dell'acqua nei pozzi.

In questo caso il pozzo di prova è unico (v. fig. 2), ed è costituito da un tubo che attraversa tutti gli strati; le pareti di tale tubo sono forate e prov-

* Dr. ing. Raffaello OLIVOTTI, assistente ordinario presso l'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche dell'Università di Trieste.

viste di filtro per tutta la sua lunghezza, in modo che il pozzo attinga a tutte le falde interessate.

Se si estrae dal pozzo (o vi si immette, secondo quel che è più agevole) una portata Q costante nel tempo, il livello dell'acqua si stabilirà, a regime, a una certa quota h . Naturalmente, tale portata Q sarà la somma dei contributi Q_i (positivi o negativi) dei singoli strati.

I contributi Q_i possono essere conosciuti calando nel pozzo un micro-mulinello ad asse verticale e rilevando la velocità dell'acqua — e quindi la portata — alle diverse quote z . Si può costruire in tal modo un diagramma $Q(z)$; da tale diagramma sono deducibili anche, immediatamente, gli spessori E_i .

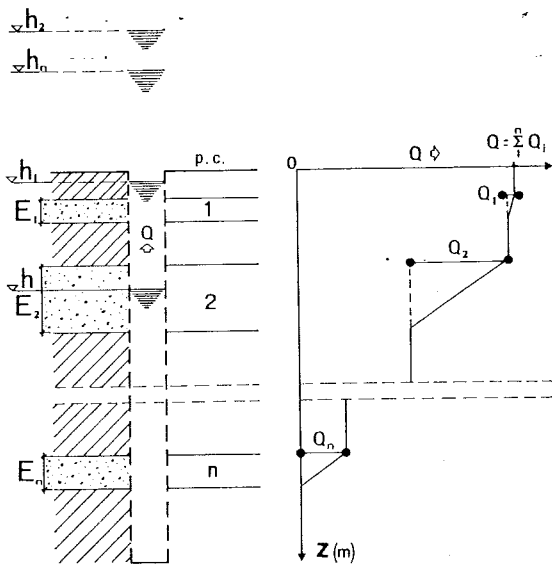


Fig. 2. - Disegno schematico di un pozzo unico di prova attraversante n strati permeabili.

Nella fig. 2 si mostra come la portata, nulla al fondo del pozzo, si arricchisca, attraversando lo strato « i-esimo », del contributo Q_i , e rimanga costante lungo i tratti impermeabili. Da siffatte misurazioni è possibile dedurre i coefficienti di permeabilità delle varie falde.

3. Deduzioni dei coefficienti K_i e delle quote h_i .

Volendo esprimere in termini essenziali il problema della determinazione dei coefficienti K_i e delle quote h_i ($i = 1, \dots, n$) si potrà dire di essere in presenza di $2n$ incognite:

$$\begin{matrix} K_1, \dots, K_i, \dots, K_n \\ h_1, \dots, h_i, \dots, h_n \end{matrix} \quad [2]$$

Gli spessori E_1, \dots, E_n sono infatti determinabili a parte ed immediatamente, dall'andamento di un qualsiasi diagramma $Q(z)$.

Ogni rilevazione di portata $Q(z)$, fornisce d'altra parte n equazioni lineari nelle incognite h_i e K_i :

$$Q_i = K_i E_i (h_i - h) \quad (i = 1, \dots, n)$$

Sono quindi sufficienti due rilevazioni, eseguite in condizioni di regime qualsiasi purchè diverse, (cui competeranno quindi livelli diversi, h e h'), per ottenere un sistema di $2n$ equazioni lineari in $2n$ incognite.

$$\begin{matrix} Q'_i = K_i E_i (h_i - h') & (i = 1, \dots, n) \\ Q_i = K_i E_i (h_i - h) & (i = 1, \dots, n) \end{matrix}$$

e, da questo, il sistema di n equazioni, in n incognite, risolvibili ad una ad una

$$\Delta Q_i = Q'_i - Q_i = K_i E_i (h - h') \quad [3] \quad (i = 1, \dots, n)$$

Per quanto riguarda la determinazione delle quote h_i , stante la linearità della [1], si possono scrivere le^aproporzioni

$$\frac{Q_i}{\Delta Q_i} = \frac{K_i E_i (h_i - h)}{K_i E_i (h - h')} = \frac{(h_i - h)}{(h' - h)} \quad (i = 1, \dots, n)$$

$$\text{e quindi } h_i = h - \frac{Q_i}{\Delta Q_i} (h' - h) \quad [4]$$

Altrettanto immediata è la determinazione della quota h^* cui si dispone il livello dell'acqua nel pozzo in regime « naturale »; quando, cioè, le varie falde siano libere di comunicare tra di loro, e non venga estratta o immessa nel pozzo alcuna portata.

Se si concentrano alle varie quote h_i i pesi ideali $K_i E_i$, la quota ricercata h^* deve corrispondere al centro dei momenti statici di quei pesi rispetto ad una orizzontale qualsiasi, ovverossia al loro baricentro.

In assenza di attingimento, deve essere infatti

$$Q = \sum Q_i = 0$$

e quindi

$$\sum (h_i - h^*) K_i E_i = 0$$

da cui

$$h^* = \frac{\sum K_i E_i h_i}{\sum E_i K_i} \quad [5]$$

La situazione $\sum Q_i = 0$ può naturalmente essere presa come una delle due situazioni di regime considerate in precedenza; è possibile sapere in tal caso, senza necessità di attingere o immettere acqua nel pozzo, se si è o no in presenza di falde caratterizzate da livelli piezometrici diversi.

Si vuol dare a quanto esposto una spiegazione, se possibile, più intuitiva.

Si immagini dunque di aver rilevato, colla tecnica illustrata, e in certe condizioni di regime, cui corrispondano un livello generico h e una portata Q costante nel tempo, le portate Q_i emunte (come nel caso della fig. 3a, ove $i = 1, 2, 3$) o immesse nelle rispettive falde i -esime; sia dunque tracciato il diagramma $Q(z)$ e siano noti gli spessori E_1, E_2, E_3 .

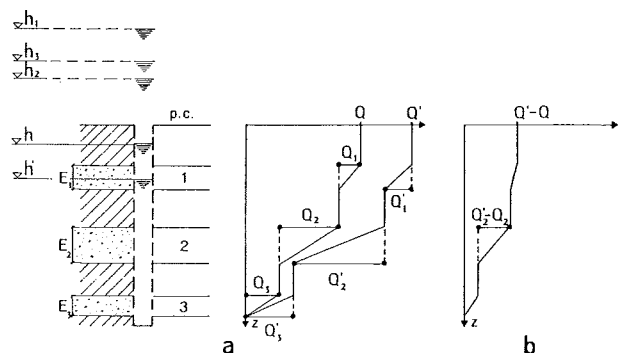


Fig. 3. - Deduzione dei coefficienti di permeabilità e degli spessori ($n = 3$).

Non è però ancora possibile dedurre i coefficienti K_1, K_2, K_3 , in quanto, essendo incognite le quote h_1, h_2, h_3 , sono anche sconosciute le depressioni $(h_1 - h)$ che entrano nelle relazioni

$$Q_1 = K_1 E_1 (h_1 - h)$$

$$Q_2 = K_2 E_2 (h_2 - h)$$

$$Q_3 = K_3 E_3 (h_3 - h)$$

Il problema della determinazione dei coefficienti K_i sarebbe invece risolto se si potessero mettere a confronto portate Q_i note con depressioni $(h_i - h)$ altrettanto note.

Ciò può essere fatto (v. fig. 3b) ponendo il pozzo a regime diverso dal precedente, in cui sia ad es. Q' il nuovo valore della portata costantemente emunta e h' il nuovo livello della superficie libera.

Costruito allora un nuovo diagramma, $Q'(z)$, è possibile conoscere le nuove portate parziali Q'_i che competono ai vari strati.

Sono quindi noti gli incrementi di portata rispetto la situazione precedente:

$$\Delta Q_1 = Q'_1 - Q_1$$

$$\Delta Q_2 = Q'_2 - Q_2$$

$$\Delta Q_3 = Q'_3 - Q_3$$

Questi incrementi conseguono al fatto che, per ogni strato, la depressione è aumentata della quantità

$$\Delta h = h - h'$$

rispetto la situazione precedente.

Mettendo allora a confronto gli incrementi $(Q'_1 - Q_1)$ etc. con la depressione $(h - h')$ che li ha provocati, si possono determinare i coefficienti di permeabilità ricercati:

$$Q'_1 - Q_1 = K_1 E_1 (h - h'), \text{ etc.}$$

Il fatto che la variazione di carico considerata $(h - h')$, sia la medesima per ogni falda, fa sì che l'inclinazione sulla verticale del diagramma differenza $Q'_1(z) - Q(z)$, in corrispondenza alle varie falde attraversate, sia proporzionale alla loro permeabilità, e costituisca così un criterio di immediato confronto.

Infatti:

$$\frac{Q'_1 - Q_1}{E_1} = K_1 \text{ cost, ... etc.}$$

$$\frac{Q'_2 - Q_2}{E_2} = K_2 \text{ cost, ... etc.}$$

4. Impiego di un misuratore di portata elettromagnetico.

Chi scrive ha avuto occasione di esaminare il micromulinello adoperato dalla Ditta Rodio per eseguire le misure di portata di cui si parla; lo strumento (1) è parso ben costruito ed adatto allo scopo.

Vale forse la pena di esaminare, comunque, la possibilità di usare, in alternativa a quello, un misuratore di portata elettromagnetico.

Si lascia giudicare agli esperti in tal genere di prospezioni, se questa idea meriti un approfondimento; si accenna per ora alle modalità di una possibile applicazione e a quelli che sembrano, a

(1) Che è stato illustrato allo scrivente con molta competenza dagli Ingg. MASCARDI e CHIAVERINO della Ditta RODIO.

un primo esame, gli aspetti più vantaggiosi.

Si ricorda che il misuratore di portata elettromagnetico funziona in modo analogo alla dinamo, in quanto sfrutta il liquido come un conduttore mobile che genera, se immerso in un campo magnetico, una differenza di potenziale; questa differenza può essere rilevata mediante due elettrodi e « letta » con un galvanometro, la cui indicazione corrisponde, quindi, alla misura istantanea della portata. Il campo magnetico, indotto da due opposti avvolgimenti, (v. fig. 4), deve essere uniforme: in tal caso la relazione tra la differenza di potenziale agli elettrodi e la portata è lineare.

Per l'impiego che qui viene prospettato, il misuratore andrebbe alloggiato in una capsula ermetica, opportunamente raccordata alle pareti del

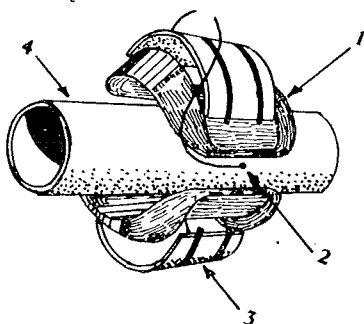


Fig. 4. - Disegno schematico di un misuratore elettromagnetico di portata. 1) Avvolgimenti; 2) elettrodo di misura; 3) anello di ferro; 4) tubo di materiale non magnetico.

pozzo in modo da ridurre le perdite di carico (v. la fig. 5 che forse non abbisogna di ulteriore commento); tale capsula dovrà essere simmetrica, in quanto il flusso nel pozzo può essere discendente o ascendente.

Quanto alle perdite di carico menzionate, esse sono state calcolate dallo scrivente in diverse ipotesi, assimilando la capsula a un venturimetro, e facendo così uso di coefficienti sperimentali già noti; si è concluso che l'errore indotto da tali perdite è irrilevante nell'ordine di approssimazione implicito nel metodo. Sono stati presi in considerazione rapporti di contrazione tra la sezione S del pozzo e quella ristretta S' compresi tra

$$\frac{S}{S'} = 4, \text{ e } \frac{S}{S'} = 10$$

L'impiego di tale apparecchio potrebbe presentare i seguenti vantaggi:

- Assenza di parti mobili e quindi grande robustezza (qualità che verrà apprezzata particolarmente nelle prove in situ).
- Lettura diretta e istantanea della velocità; faci-

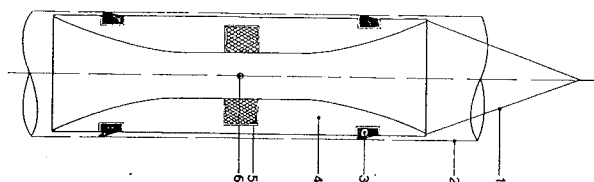


Fig. 5. - Adattamento proposto del misuratore elettromagnetico di portata al rilievo nei pozzi di prova. 1) Filo di supporto e conduttori elettrici; 2) Pareti del pozzo; 3) guarnizione di gomma; 4) capsula in perspex; 5) avvolgimenti elettrici; 6) elettrodo di misura.

lità di una registrazione automatica e continua del segnale.

- Lo strumento non è sensibile alla torbidità dell'acqua, nè ad irregolarità del flusso.
- Le costanti di taratura rimangono inalterate per lungo tempo (con l'avvertenza di ripulire ogni tanto gli elettrodi).
- Elevata precisione (dell'ordine dell'1% per $V \approx 1 \text{ cm/s}$) che non solo è prerogativa di questo tipo di strumento, ma dipende anche dal fatto che, essendo ristretta la sezione di flusso, la velocità viene amplificata.
- Quanto al costo di una eventuale realizzazione esso non pare, a prima vista, molto elevato, in quanto la capsula è di costruzione abbastanza semplice, e il misuratore vero e proprio si trova a prezzi di commercio; l'incognita maggiore, risiede probabilmente negli adattamenti necessari a far sì che l'insieme possa essere introdotto in un pozzo di prova (il cui diametro è di mm 53) ⁽²⁾.

Quanto appena esposto trova riscontro nella letteratura tecnica pertinente [CHAPPINS, CHAVAN, 1969].

5. Estensione del metodo allo studio del regime non permanente: la deduzione delle « costanti di formazione » dei pozzi che interessano più falde.

La possibilità di conoscere immediatamente i valori della portata Q (h), di registrarli automaticamente e con continuità, e di asservire al segnale del misuratore di portata il motore della pompa, fanno apparire particolarmente agevole una estensione della tecnica di prospezione descritta in precedenza allo studio di falde acquifere in regime non permanente.

⁽²⁾ Il più piccolo dei misuratori elettromagnetici prodotti dalla Kent (Kent instr. strand etc., Bath Road, Stroud Gloucestershire) ha il lume di 1/8 di pollice - circa 3 mm; tuttavia, poichè questi strumenti sono costruiti, in genere, per misurare la portata di tubazioni scoperte, il loro ingombro esterno non è ridotto al minimo e possono rendersi necessari, per l'uso che qui viene prospettato, alcuni ritocchi.

Questo tipo di indagine presenta qualche difficoltà concettuale rispetto al semplice studio delle condizioni a regime, ma consente un risparmio di tempo notevole, e la deduzione, oltre che dei coefficienti K_1 e delle quote h_1 , dei coefficienti di ritenzione S_1 (storage coefficients).

Il risparmio di tempo deriva dal fatto che non occorre attendere, più volte, che il pozzo si metta a regime, il che, soprattutto quando le falde interessate siano molto estese, può richiedere lungo tempo. D'altra parte, una falda sufficientemente estesa è un presupposto alla applicazione di tali metodi di indagine: altro requisito è che le falde siano piuttosto omogenee e che siano attraversate completamente dal pozzo.

Per quanto riguarda il coefficiente di ritenzione S_1 , si ricorda che esso rappresenta il volume di acqua rilasciato dalla capacità propria di una porzione (o « colonna ») di falda artesianiana, che ne interessa tutto lo spessore ed abbia sezione orizzontale unitaria, per effetto della decompressione conseguente ad un abbassamento unitario della piezometrica [WALTON, 1962].

Lo studio in moto vario di falde acquifere artesiane sovrapposte potrebbe essere condotto mantenendo nel pozzo, (del tipo di quello disegnato in fig. 2), un livello h , costante nel tempo, e misurando in tempi successivi t i contributi $Q_1(t)$ delle singole falde, nonché i livelli $h_{1,x}$ segnalati da piezometri disposti alla distanza x dal pozzo in esame.

Naturalmente la portata Q attinta dal pozzo (o immessavi) in queste ipotesi di moto vario, deve essere regolata nel tempo in modo da mantenere il livello h costante; il motore della pompa potrebbe anzi essere asservito, eventualmente mediante idrometro a resistenza, al livello del pozzo.

La misura dei contributi $Q_1(t)$ verrà fatta con la medesima tecnica già descritta per le rilevazioni di portata in regime permanente; in definitiva, il problema si ridurrà così alla determinazione, in condizioni di regime non permanente, delle costanti di formazione di una falda artesianiana isolata nell'ipotesi $h = \text{cost.}$, $Q_1 = Q_1(t)$.

Come è noto, lo studio in regime non-permanente delle falde acquifere viene svolto, di preferenza, mantenendo costante la portata attinta dalla falda, e rilevando in tempi successivi le quote raggiunte

dalla superficie liquida negli appositi tubi piezometrici circostanti.

Pare che, con qualche accorgimento, l'impiego di un misuratore elettromagnetico possa render qualche servizio anche in queste situazioni (e cioè nella condizione $Q = \text{cost.}$, $h = \text{var.}$, a differenza del caso appena esaminato al paragrafo 5,2, in cui $h = \text{cost.}$, $Q = \text{var.}$).

Si prenda per es. in considerazione il caso, particolarmente semplice a questi effetti, in cui il numero delle falde distinte da studiare sia uguale a due (e cioè il caso della fig. 2, con $n = 2$).

Si ponga allo scopo il misuratore di portata tra l'una e l'altra falda, e si attinga dal pozzo una portata Q , ($Q = Q_1 + Q_2$), regolabile.

La regolazione di tale portata avvenga in modo che il segnale trasmesso dal misuratore resti costante; in tal modo anche la portata attinta (o immessa) alla falda inferiore resta costante nel tempo:

$$Q_2 = Q_2(t_0) = \bar{Q}_2 = \text{cost}$$

questa operazione potrebbe essere resa automatica asservendo opportunamente il motore della pompa al segnale della portata; il sistema di tale asservimento dovrebbe essere tale che, non appena si produca un eccesso (o un difetto...) nel valore $Q_2(t)$ della portata attinta rispetto quello, \bar{Q}_2 , che si vuol mantenere costante, la portata della pompa diminuisca (o aumenti) in modo da ridurre lo scarto rilevato (3).

Nel mentre viene emunta dalla falda inferiore la portata costante Q_2 , si rilevino le depressioni P_{2xt} che si producono nella piezometrica di tale falda alle distanze « x » e in tempi successivi « t »; ciò potrà essere fatto tenendo in osservazione un certo insieme di tubi piezometrici, posti a varie distanze x ($x = x_1, x_2, \dots$) dal luogo ove si effettua l'attinimento, e facendo riferimento, per il calcolo della rispettiva depressione all'istante t , alla quota riscontrata all'attimo in cui si è iniziato l'attinimento (istante $t = t_0$).

Dall'insieme dei dati P_{2xt} ($x = x_1, x_2, \dots$; $t = t_0, t_1, t_2, \dots$), così raccolti, e dalla conoscenza della portata \bar{Q}_2 , si possono dedurre i valori ricercati dei coefficienti K_2 ed S_2 ; ricorrendo, allo scopo, alla nota equazione di Theis, essa si scriverà, con i simboli adoperati in questo esempio, nel modo seguente:

$$P_{2xt} = \frac{\bar{Q}_2}{4\pi K_2 E_2} \int_{\frac{x^2 S_2}{4\pi K_2 E_2 t}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} \frac{x^2 S_2}{4\pi K_2 E_2 t} d\left(\frac{x^2 S_2}{4\pi K_2 E_2 t}\right)$$

(3) Qualora, invece, si volesse mantenere costante la portata emunta dalla falda superiore, si richiederà la costanza della differenza tra la portata totale Q e la portata Q_2 . In tal caso, essendo $Q_1 = Q - Q_2 = \text{cost.}$, si potranno applicare allo studio della falda « 1 » i ragionamenti che verranno ora svolti a proposito della falda sottostante.

La funzione integrale appena scritta può essere sviluppata in serie convergente:

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 S_2}{4 K_2 E_2 t} \frac{e^{-x^2 S_2 / (4 K_2 E_2 t)}}{x^2 S_2} dx = -0.1759 - \ln \left(\frac{x^2 S_2}{4 K_2 E_2 t} \right) + \frac{x^2 S_2}{4 K_2 E_2 t} - \frac{1}{2 \cdot 2!} \left(\frac{x^2 S_2}{4 K_2 E_2 t} \right)^2 + \frac{1}{3 \cdot 3!} \left(\frac{x^2 S_2}{4 K_2 E_2 t} \right)^3 - \dots \quad [6]$$

Se si può condurre la prova per un tempo sufficientemente lungo affinché l'entità del termine

$$\frac{x^2 S_2}{4 K_2 E_2 t}$$

e degli altri termini successivi diventi trascurabile rispetto il valore della costante e del termine logaritmico, la funzione integrale (6) di cui sopra può essere approssimata, appunto, dal suo asintoto logaritmico

$$P_{2xt} = \frac{\bar{Q}_2}{4\pi E_2 K_2} \left[-0.1759 - \ln \left(\frac{x^2 S_2}{4 K_2 E_2 t} \right) \right] = \frac{2.30 \bar{Q}_2}{4\pi E_2 K_2} \log \frac{2.08 E_2 K_2 t}{x^2 S_2}$$

(sistema di misura adoperato: Kg peso, m, s)

Il valore del coefficiente di permeabilità K_2 può essere ora ricavato costruendo la curva che mette in relazione le depressioni misurate nei vari pozzi in un certo istante \bar{t} con i logaritmi dei valori delle distanze cui quelle depressioni sono state riscontrate; la pendenza del diagramma semi-logaritmico (all'incirca rettilineo) così costruito, assume quindi la seguente espressione

$$\frac{\partial P_{2xt}}{\partial (\log r)} = - \frac{2.3 \bar{Q}_2}{2\pi K_2 E_2}$$

Infatti

$$\begin{aligned} P_{2x\bar{t}} &= - \frac{2.3 \bar{Q}_2}{4\pi E_2 K_2} \log \left(r^{-2} \frac{2.08 E_2 K_2 \bar{t}}{S_2} \right) = \\ &= - \frac{2.3 \bar{Q}_2}{4\pi E_2 K_2} \left(-2 \log r - 2 \log \frac{2.08 E_2 K_2 \bar{t}}{S_2} \right) = \\ &= - \frac{2.3 \bar{Q}_2}{4\pi E_2 K_2} \cdot 2 \cdot \log r + \text{cost} \end{aligned}$$

Conosciuto il valore del coefficiente di permeabilità, si deduce subito quello del coefficiente S_2 .

Qualora la durata della prova sia troppo breve affinché la funzione integrale (6) possa essere rappresentata dal suo asintoto logaritmico, si potrà ricorrere al metodo grafico di THEIS, che viene descritto assai chiaramente in più luoghi [JACOB, 1949] ai quali si rimanda, per brevità, anche a questo proposito.

SIMBOLOGIA

h, h'	Livello dell'acqua nel pozzo a regime in certe condizioni di attingimento.
h_i	Quota piezometrica a riposo competente alla i -esima falda artesianica.
h^*	Livello dell'acqua nel pozzo a regime, nel caso di attingimento nullo.
h_{ixt}	Quota piezometrica della falda i -esima, alla distanza « x » dal luogo di attingimento, e all'istante « t ».
E_i	Spessore della falda i -esima.
k_i	Coefficiente di permeabilità della falda i -esima.
n	Numero delle falde artesiane considerate.
P_{ixt}	Depressione rispetto al livello statico nella falda i -esima, alla distanza « x » dal luogo di attingimento e al tempo « t ».
Q, Q'	Portata emunta (o immessa) nel pozzo di prova, in diverse condizioni di regime.
Q_i, Q'_i	Contributi di portata della falda i -esima, rispettivamente alle portate Q, Q' .
S_i	Coefficiente di ritenzione competente alla falda i -esima.
t	Tempo.
x	Distanza tra pozzo e piezometro circostante.
z	Quota geometrica.

BIBLIOGRAFIA

- CHAPPINS J., CHAVAN J. C. (1969) - *Laboratory test of a magnetic flowmeter*. Water Power, Febbraio, pagg. 60-64.
- HEATH R. C., TRAINER F. W. (1968) - *Introduction to ground water hydrology*. J. Wiley and Sons, N. Y.
- JACOB C. E., (1949) *Flow of ground water. Engineering hydraulics*, J. Wiley and Sons, N. Y.
- RODIO G., (1967) - *Un metodo razionale per lo studio della circolazione idrica nei terreni alluvionali eterogenei*. Rivista Italiana di Geotecnica, n. 4, pag. 290-292.
- WALTON W. C., (1962) - *Selected analytical methods for well and aquifer evaluation*. Illinois State Water Survey Bulletin, n. 49, 81 pagg.

SUMMARY

Flow of ground water in confined superposed aquifers.

The case is considered of «n» confined aquifers, (fig. 2), whose static levels (h_1, \dots, h_n), thicknesses (E_1, \dots, E_n) permeability coefficients (k_1, \dots, k_n), and storage coefficients (S_1, \dots, S_n) are to be known.

If a single well, (fig. 2), is pumped for a definite period of time at a constant rate «Q», and then measurements of discharge along the axis are made, the thicknesses (E_1, \dots, E_n) of the aquifers and the partial discharges (Q_1, \dots, Q_n) can be found out.

By changing the rate of pumping, «Q'», new quantities (E. g. fig. 3) Q'_1, Q'_2, Q'_3 , and the drawdown $\Delta h = h' - h$

can be measured.

Permeability coefficients k_1, \dots, k_n (eq. 3), static levels h_1, \dots, h_n (eq. 4) and level « h^* », (no pumping), (eq. 5), are so derived, both by a system of linear equations (eq. 2), and by physical reasoning par. 3. 4).

Author's so find formulas are rather different from the results of former reports [RODIO, 1967].

The hypothesis is then considered of non-steady flow; by means of the well known THEIS equation, storage coefficients ($S_1 \dots S_n$) as well as other constants are derived, in the different cases of constant level - or constant rate pumping.

The advantages in the use, for such measurements of discharge, of a magnetic flow meter over already tested micro-propellers are at the end put forward.