ASSOCIAZIONE ITALIANA DI GENIO RURALE

MATARRESE N.

L'INFLUENZA DEL GRADO DI RIEMPIMENTO DEL FORO SULLA DETERMINAZIONE DELLA CONDUCIBILITA' IDRICA CON IL METODO «DELLA TRIVELLA»

ESTRATTO DA ATTI DEL 3° CONVEGNO NAZIONALE A.I.C.R.
CATANIA, 16 - 19 MAGGIO 1979

Edizione digitale, Bari 2010

ASSOCIAZIONE ITALIANA DI GENIO RURALE

MATARRESE N.

L'INFLUENZA DEL GRADO DI RIEMPIMENTO DEL FORO SULLA DETERMINAZIONE DELLA CONDUCIBILITA' IDRICA CON IL METODO «DELLA TRIVELLA»

ESTRATTO DA ATTI DEL 3° CONVEGNO NAZIONALE A.I.C.R.
CATANIA, 16 - 19 MAGGIO 1979

Riservati tutti i diritti

Stab. Tip. « GALATEA » di G. Maugeri - Corso Italia, 15 - Acireale

L'INFLUENZA DEL GRADO DI RIEMPIMENTO DEL FORO SULLA DETERMINAZIONE DELLA CONDUCIBILITA' IDRICA CON IL METODO "DELLA TRIVELLA"

Nicola MATARRESE(*)

Sommario - I risultati di numerose prove "in situ" hanno permesso di isolare l'influenza esercitata dall'indice di riempimento I_R del foro, con h/r = = 2,667 e 5,206, sulla determinazione della conducibilità idrica dei terreni saturi del Campo "TARA", con strato impermeabile di circa 4 m dal piano campagna.

Sono stati trovati due serie di "fattori di riempimento":

$$f_{R1} = f\left(I_R, \frac{\Delta y_t}{t}\right) \quad e \quad f_{R2} = f\left(I_R, \frac{dy}{dt}\right)$$

Detti fattori moltiplicati con il fattore di forma parziale $\frac{A}{r}$ di Boast e Kirkham 1/ permettono di ottenere K costante, qualunque sia l'indice di riempimento del foro e cioè:

$$K = \frac{864\pi r}{(A/r\ f_{R_1})y_t} \quad \frac{\Delta y_t}{t}$$

oppure

$$K = \frac{864\pi\ r}{(A/r\ f_{R2})y_t} \quad \frac{dy}{dt}$$

(*)Docente di Idraulica agraria nella Facoltà di Agraria dell'Università di Bari. L'A. ringrazia il dr.ing. Cornelio BUDZUGAN ed il dr. agr. Christos KOSTILIDIS (all'epoca dei rilevamenti Assistenti presso l'Istituto di Bari del "Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes") per la collaborazione prestata nel rilevamento dei dati di base.

Risultati analoghi sembra si possono ottenere da:

$$K = \frac{864\pi r}{A/r} \quad \frac{\ln (y_1/y_2)}{t_2-t_1} \text{ , per } I_R \leq 70\%.$$

Abstract - The influence of the filling degree of the hole on the determination of the hydraulic conductivity with the "auger-hole" method.

The results of numerous tests "in situ" have allowed to isolate the influence of the filling index I_R of the hole, with h/r = 2,667 and 5,206, on the determination of the hydraulic conductivity in the saturated soils of the "Campo Tara", with impervious layer of about 4 m from the ground level.

2 series of "filling factors" have been found out:

$$f_{R1} = f(I_R, \frac{\Delta yt}{t}) \quad \text{and} \quad f_{R2} = f(I_R, \frac{dy}{dt})$$

By multiplying these factors by the partial shape factor $\frac{A}{r}$ of Boast and Kirkham, 1/ it is possible to obtain K constant, whatever the filling index may be, that is

$$K = \frac{864\pi r}{(A/r\ f_{R1})y_t} \quad \frac{\Delta y_t}{t} \qquad \text{or}$$

$$K = \frac{864\pi r}{(A/r\ f_{R2})y_t} \quad \frac{dy}{dt}$$

It seems that analogous results can be obtained by:

$$K = \frac{864\pi r}{A/r} \quad \frac{\ln (y_1/y_2)}{t_2-t_1} \quad \text{(when } I_R \leq 70\%).$$

1. INTRODUZIONE

La determinazione della conducibilità idrica K, nei terreni saturi, con il metodo "della trivella", si basa, com'è noto, sulla misura della velocità di risalita dell'acqua nel foro e sulla definizione quantitativa del "fattore di forma", legato, questo, soprattutto alla geometria del foro stesso.

Le numerose formule elaborate per il caso di fori praticati in acquiferi di grande spessore, (tra le quali quelle di Hooghoudt, 1936, Ernst, 1940, Boast e Kirkham, 1971, Bouwer e Rice, 1976, Dagan, 1978), offrono, con metodi empirici e matematici, delle relazioni tra i parametri geometrici, la velocità di risalita dell'acqua nel foro e la costante K.

La comparazione dei risultati, ottenuti dalla applicazione delle diverse formule, offre una visione di variabilità, talvolta anche grande, della conducibilità di uno stesso terreno.

Tale anomalia sembra che si possa attribuire al maggiore o minore grado di accuratezza con il quale ciascun Autore ha inteso determinare il detto fattore di forma.

Ma ciò che maggiormente può provocare disorientamento nei tecnici chiamati a stabilire la misura della conducibilità idrica, per scopi di drenaggio o di irrigazione, è la variabilità di K, ottenuta da una medesima formula, con il variare dell'altezza dell'acqua nel foro.

Appare evidente, quindi, che il fattore di forma, a parte il grado di accuratezza di cui sopra, non tiene in adeguato conto della influenza che la idrodinamica "svuotamento-riempimento" del foro esercita nei dintorni del foro stesso e quindi su tutte le condizioni che regolano la velocità di afflusso.

Allo scopo di dare un contributo alla conoscenza del problema, e nel tentativo di rendere più complete alcune metodologie finora seguite per cercare, quindi, di rendere costante il valore della conducibilità calcolato come innanzi accennato, sono state effettuate, in pieno campo, numerose misure di risalita ed

elaborati i relativi dati.

Tenuto conto, peraltro, delle limitazioni indicate dagli stessi AA. nell'uso delle rispettive formule e cioè:

a) per quella di Hooghoudt (4/): il riempimento del foro non dovrebbe superare 1/4 della sua altezza;

b) per quella di Ernst (7/): il diametro del foro dev'essere compreso tra i 3 ed i 7 cm.; l'altezza di risalita non dev'essere superiore ad 1/4 della parte vuota all'inizio della misura;

c) per quella di Bouwer e Rice (2/): il rapporto profondità/raggio del foro maggiore di 4;

d) per quella di Dagan (3/): rapporto profondità/raggio del foro, maggiore di 100,

il riferimento, agli effetti di una eventuale integrazione del fattore di forma, sarà fatto al lavoro di Boast e Kirkham (1/). Questi AA., infatti, non pongono particolari vincoli nell'uso delle loro formule.

Tuttavia, sembra doveroso riconoscere che i risultati della formula, peraltro di facile applicazione, di Ernst sono quelli che, nei casi applicati, hanno mostrato la minore variabilità (Matarrese 6/).

2. MATERIALI E METODI

Le misure sono state avviate all'inizio del mese di gennaio 1976 nel campo sperimentale "Tara", gestito dall'Ente Irrigazione di Puglia e Lucania. La superficie di falda si trovava a 89 cm dal p.c. e lo strato impermeabile, nell'area delle misure, a circa 4 m dallo stesso p.c. Il terreno interessato dalla falda è classificato sabbioso e può essere considerato omogeneo ed isotropo, pertanto la conducibilità, determinata con i metodi "della trivella", si intenderà quella totale.

Sono stati realizzati dei fori, fino ad una profondità costante di 32,8 cm sotto la superficie di falda, di diametro di

24,6, 12,6 e 5 cm (nella fig. 1 è riportato uno schema con i simboli che verranno adottati in questa nota).

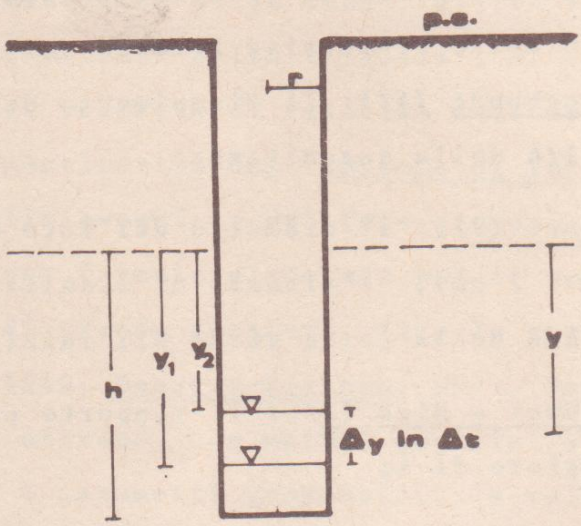

Fig. 1 - Geometria del foro

Per ciascun foro, con una semplice asta graduata, lunga 150 cm e con galleggiante scorrevole in un supporto fisso, è stata misurata l'altezza di risalita dell'acqua ad intervalli costanti di 60 e 120 s. Ciascuna misura è stata ripetuta per tre volte, avendo cura che, tra una serie di misure e l'altra, l'acque nel foro avesse raggiunto le normali condizioni di equilibrio statico.

I valori medi delle 3 misure del foro di r = 12,3 cm sono riportati nella tab. 1, mentre quelli del foro di r = 6,3 cm sono nella tab. 2. Il foro con r = 2,5 cm, per difficoltà di misure precise, è stato scartato da questa analisi, è stato solo utilizzato per misure di controllo con pompaggio.

3. ANALISI DEI RISULTATI

I dati misurati (colonne 1 e 2 delle tabelle 1 e 2) hanno permesso di verificare il limite della costanza del quoziente $\ln(y_o/y_t)/t$, come già rilevato da altri AA. (Childs, 1969, Bouwer e Rice, 1976).

Pertanto, risolvendo per y_t, è stato possibile ricavare i valori mancanti di quest'ultimo parametro, perchè di difficile apprezzamento con gli ordinari mezzi manuali.

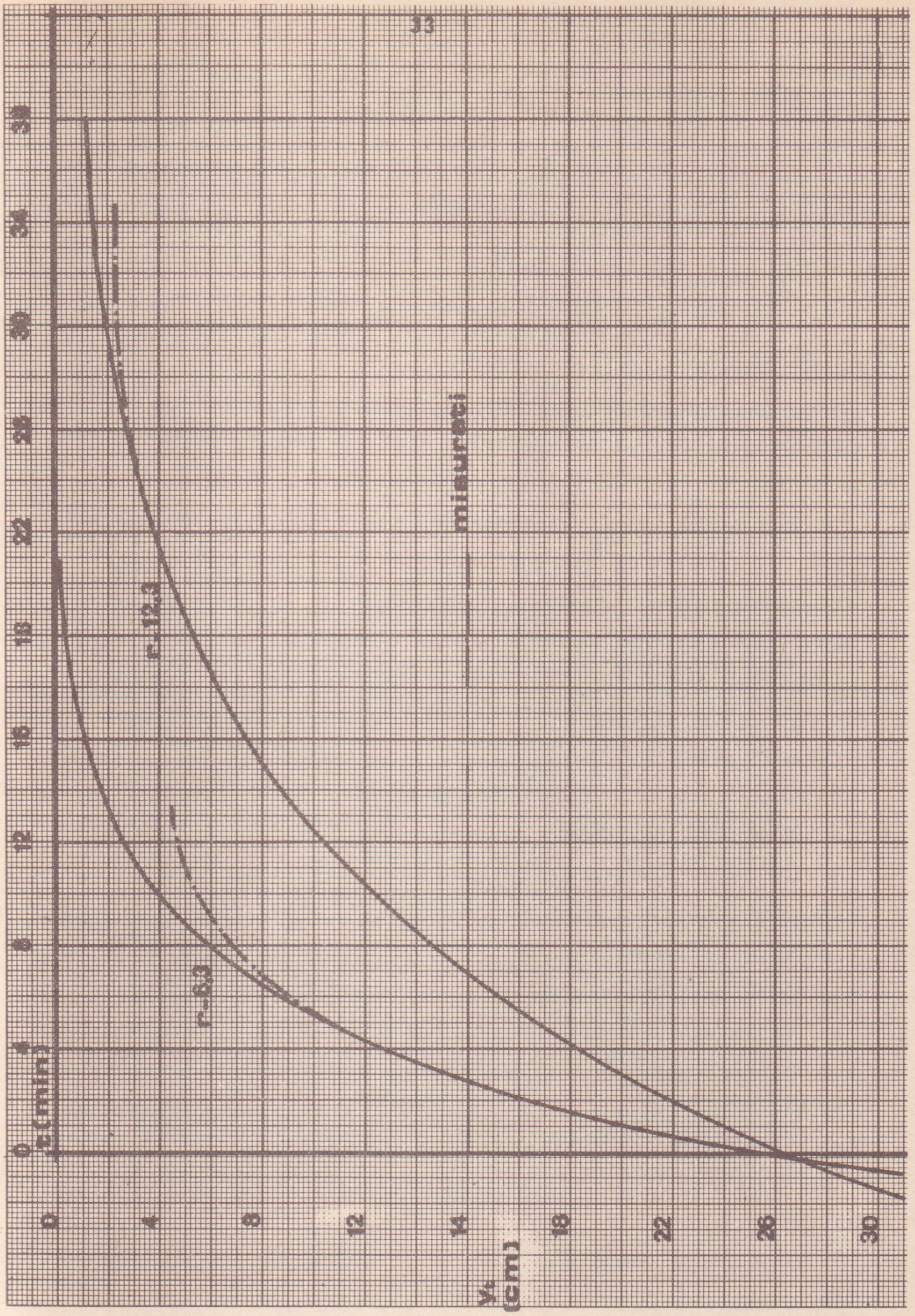

Fig. 2 - Curve di risalita. (Per r=12,3: $y_t = y_o\, e^{-0,0014t}$; per r=6,3: $y_t = y_o\, e^{-0,00327t}$.

Posto, infatti,

$$y_t = y_o \, e^{-\alpha t} \qquad (1)$$

in cui $$\alpha = \frac{\ln (y_1/y_2)}{t_2 - t_1} \qquad (2)$$

Ne consegue che:

$$t_2 - t_1 = t = \ln \left(\frac{y_2}{y_1} \right) / -\alpha \qquad (3)$$

(t in secondi, y in centimetri).

Applicando queste relazioni è stata completata la serie dei dati misurati, così come risulta nelle colonne 4 delle tabelle 1 e 2.

Con i dati così ottenuti sono state tracciate le curve di risalita dell'acqua nei fori con r = 12,3 e r = 6,3 (fig. 2). Sembra interessante rilevare, al riguardo, la coincidenza dei dati misurati con quelli calcolati fino a certi valori di y_t, poi, in prossimità della superficie di falda, i valori di y_t misurati sono più grandi di quelli calcolati. Probabilmente si tratta di isteresi dovuta alla frangia capillare (infatti, i valori misurati tendono a disporsi secondo una curva asintotica a ~ 2 cm dalla superficie di falda).

Dalle stesse due tabelle si possono rilevare anche i valori calcolati, della portata Q in funzione di $\frac{dy}{dt}$ (con dt = costante = 60 s) e Qt in funzione di t (= Σdt a partire, cioè, dall'inizio della misura e non per ciascun intervallo di tempo di 60 s).

Nelle tabelle n. 3 e 4, col. 2, (riferentesi, come già detto, rispettivamente, alle due serie r = 12,3 e r = 6,3) sono riportati i dati di risalita per valori di dy = costante = 1,64 cm (32,8/20) e di t variabili (come dalla (3), relativi cioè ad un indice di riempimento ($\frac{h-y_t}{h}$ 100) variabile ad altezza costante del 5% di h.

Anche per queste due serie sono riportati i valori di $\frac{dy}{dt}$ e $\frac{\Delta y_t}{t}$ e delle relative portate Q e Qt, col. n. 4, 5, 6 e 7.

Nella fig. 3 si possono rilevare (per il foro di r = 12,3 cm) gli andamenti della velocità di risalita $\frac{dy}{dt}$ e $\frac{\Delta y_t}{t}$ in funzione dell'indice di riempimento (per il foro di r = 6,3 cm gli andamenti sono simili per le due velocità, solo che ambedue le serie di valori sono 2,33 volte maggiori rispetto a r = 12,3 cm).

E' noto, peraltro, che la portata Q di cui sopra, è funzione, oltre che della conducibilità K, di y_t e del fattore di forma A (che ha dimensioni di lunghezza):

$$Q = \pi r^2 \frac{dy}{dt} = K A y_t \qquad (4)$$

Boast e Kirkham (1/) pongono $\frac{A}{r} = \frac{Q}{Kyr}$, ma dalla (4):

$$Q = \pi r^2 \frac{dy}{dt} = KA\, y_t$$

Per cui:

$$\frac{A}{r} = \frac{Q}{Kyr} = \frac{KA\, y_t}{Kyr} = \frac{\pi r^2}{Kyr} \frac{dy}{dt}$$

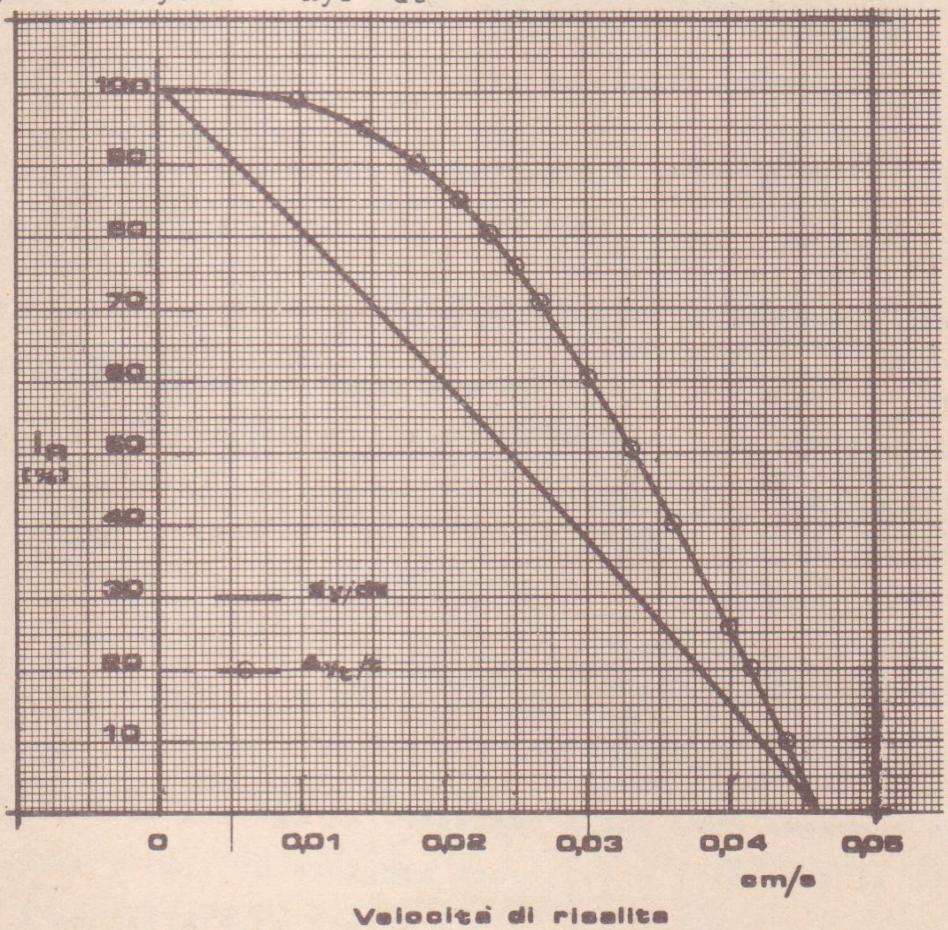

Fig. 3 - Andamento delle velocità di risalita $\frac{dy}{dt}$ e $\frac{\Delta yt}{t}$ in funzione di I_R (per r=12,3); in cm/s.

Ma, per ogni foro, $\ln \left(\frac{y_o}{y_t}\right) \pi r^2/t$ = costante = KA. Ne consegue che la misura di y_o e y_t ed il tempo t è idonea per conoscere, per quel foro di r noto, il valore di KA.

In effetti, è sufficiente misurare un qualsiasi intervallo $y_1 - y_2$ e $t_1 - t_2$ per conoscere y_t e t (1) e (3).

Infatti, $KA = \pi r^2 \frac{\ln(y_1/y_2)}{(t_2 - t_1)}$ (5)

Nelle prove in esame, è stato trovato:

per il foro di r = 12,3

$KA = 475,292 \cdot 0,0014 = 0,6654 \text{ cm}^2/\text{s}$,

e per quello di r = 6,3

$KA = 124,689 \cdot 0,00327 = 0,4073 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Le rispettive portate $Q = KA\ y_t$, per ciascun intervallo di y_t, sono riportate nelle tabelle 1 e 2 (col. 9).

Inoltre, dividendo il parametro KA per i rispettivi raggi si ha:

per il foro di

$$r = 12,3: \frac{KA}{r} = \frac{0,6654}{12,3} = 0,0541 \text{ cm/s}$$

e per il foro di

$$r = 6,3: \frac{KA}{r} = \frac{0,4073}{6,3} = 0,06465 \text{ cm/s}$$

Ossia, la conducibilità idrica, sarà rispettivamente (moltiplicando per 864 per l'unità di misura in m/g):

$$K = \frac{0,0541 \cdot 864}{\frac{A}{r}} = \frac{46,7424}{\frac{A}{r}},$$

e

$$K = \frac{0,06465 \cdot 864}{\frac{A}{r}} = \frac{55,9008}{\frac{A}{r}}$$

Ne consegue che, per K costante, il fattore di forma $\frac{A}{r}$, relativo al foro di r = 6,3, sarà maggiore di 1,1950 volte rispetto a quello del foro di r = 12,3 e questa maggiorazione è ovviamente costante, per ciascun foro, per qualunque valore di yt.

La velocità di risalita diminuisce con il crescere dell'indice di riempimento I_R.

Inoltre, a parità di I_R, la velocità di risalita $\frac{dy}{dt}$ è più bassa di quella $\frac{\Delta y_t}{t}$, riferita cioè ad intervalli molto più grandi.

Questo perchè, con l'aumentare di I_R diminuisce il potenziale di carico reale, in misura maggiore della diminuzione di y, quando questo è riferito ad una superficie di falda supposta inalterata nei dintorni del foro.

Infatti, si ha non solo che:

$$\frac{\Delta y_t}{\ln (y_o / y_t)\, y_t} > 1$$

ma, anche che:

$$\frac{dy}{\ln (y_1 / y_2)\, y_2} > 1$$

Dalla (5) si rileva che il fattore di forma parziale $\frac{A}{r}$ è legato alla risalita dell'acqua nel foro dalla relazione

$$\pi r \frac{\ln (y_1 / y_2)}{(t_2 - t_1)} = K \frac{A}{r} \qquad (6)$$

Inoltre: $Q_t = \pi r^2 \frac{\Delta y_t}{t}$ e $Q = \pi r^2 \frac{dy}{dt} = KAy_t$

Pertanto, il <u>fattore riempimento</u> f_R è dato, dopo alcune semplificazioni, da:

$$f_{R1} = \frac{Q_t}{Q} = \frac{Q_t}{KAy_t} = \frac{\Delta y_t}{\ln (y_o / y_t)\, y_t} \qquad (7)$$

se la misura di risalita si riferisce a $\frac{\Delta y_t}{t}$, oppure da:

$$f_{R2} = \frac{dy}{\ln (y_1 / y_2)\, y_2} \qquad (8)$$

se la misura, invece, è per $\frac{dy}{dt}$.

Detto fattore è risultato essere uguale per le due geometrie h/r.

I valori ottenuti dalla (7) e dalla (8) sono riportati, per indici di riempimento I_R variabili di 5 in 5%, di h, nelle tabelle 3e 4 per ciascuno dei due fori considerati.

In considerazione di quanto sopra, nella relazione di <u>Boast e Kirkham</u> (1/)

$$C = \frac{864}{A/r} \quad \frac{\pi r}{y_t} \,, \qquad (9)$$

che permette di ottenere $K = C \frac{dy}{dt}$, sono stati introdotti detti fattori f_{R1} e f_{R2}, ottenendosi:

$$C = \frac{864\ \pi r}{(A/r\ f_{R1})yt} \quad (10) \qquad \text{e quindi:} \quad K = C \frac{\Delta y_r}{t} \qquad (10a)$$

e

$$C = \frac{864\ \pi r}{(A/r\ f_{R2})yt} \quad (11) \qquad \text{e perciò:} \quad K = C \frac{dy}{dt} \qquad (11a)$$

I valori di $(A/r \cdot f_{R1})$, C e K, relativi alla (10) e alla (10a) e $(A/r \cdot f_{R2})$, C e K della (11) e (11a), sono riportati nelle tabb. 5 e 6, rispettivamente per il foro h/r = 32,8/12,3 e quello h/r = 32,8 / 6,3. L'andamento di f_{R1} e f_{R2} si può rilevare dal grafico log-normale riportato in fig. 4.

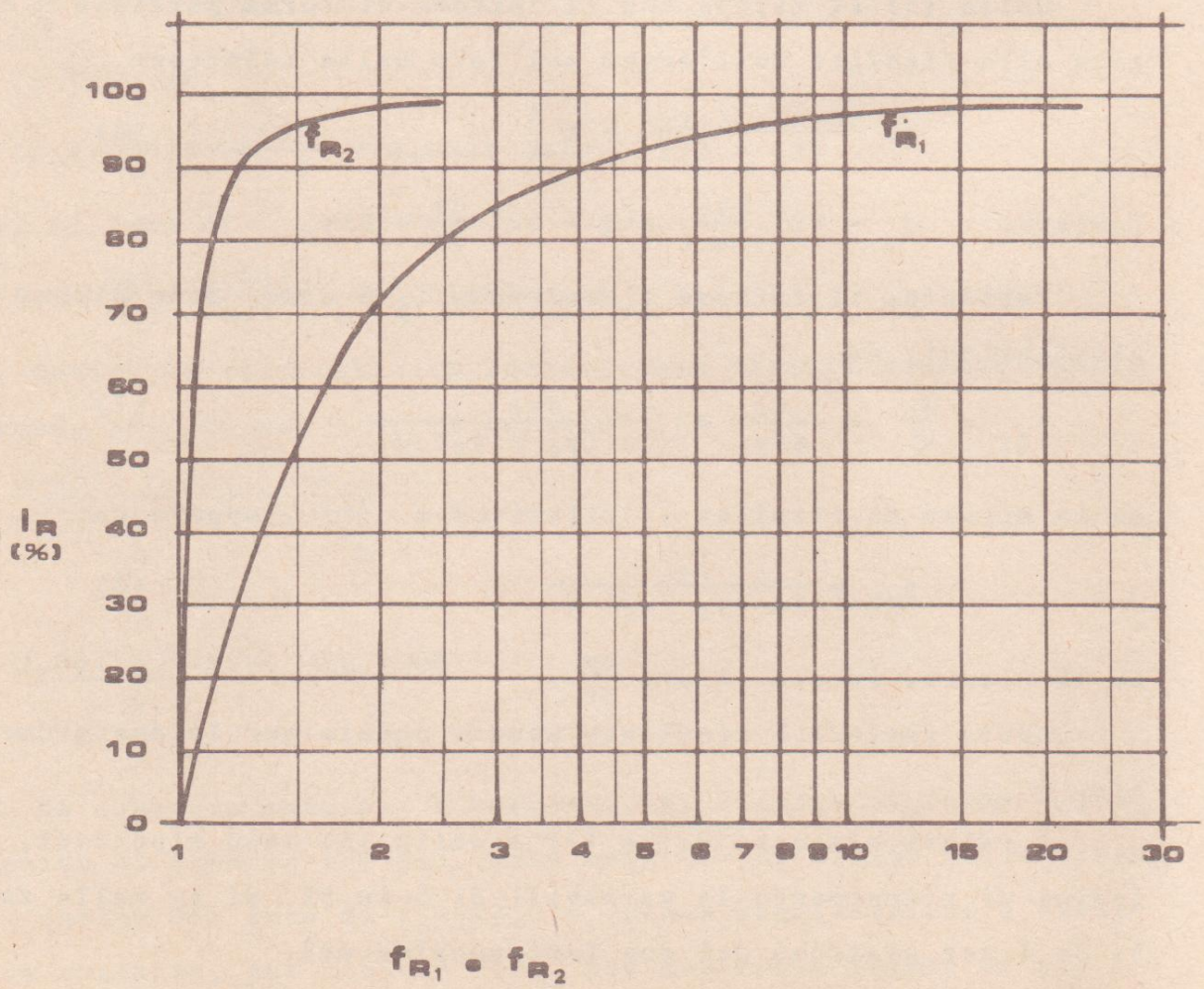

Fig. 4 - I fattori di riempimento f_{R1} e f_{R2} in funzione di I_R.

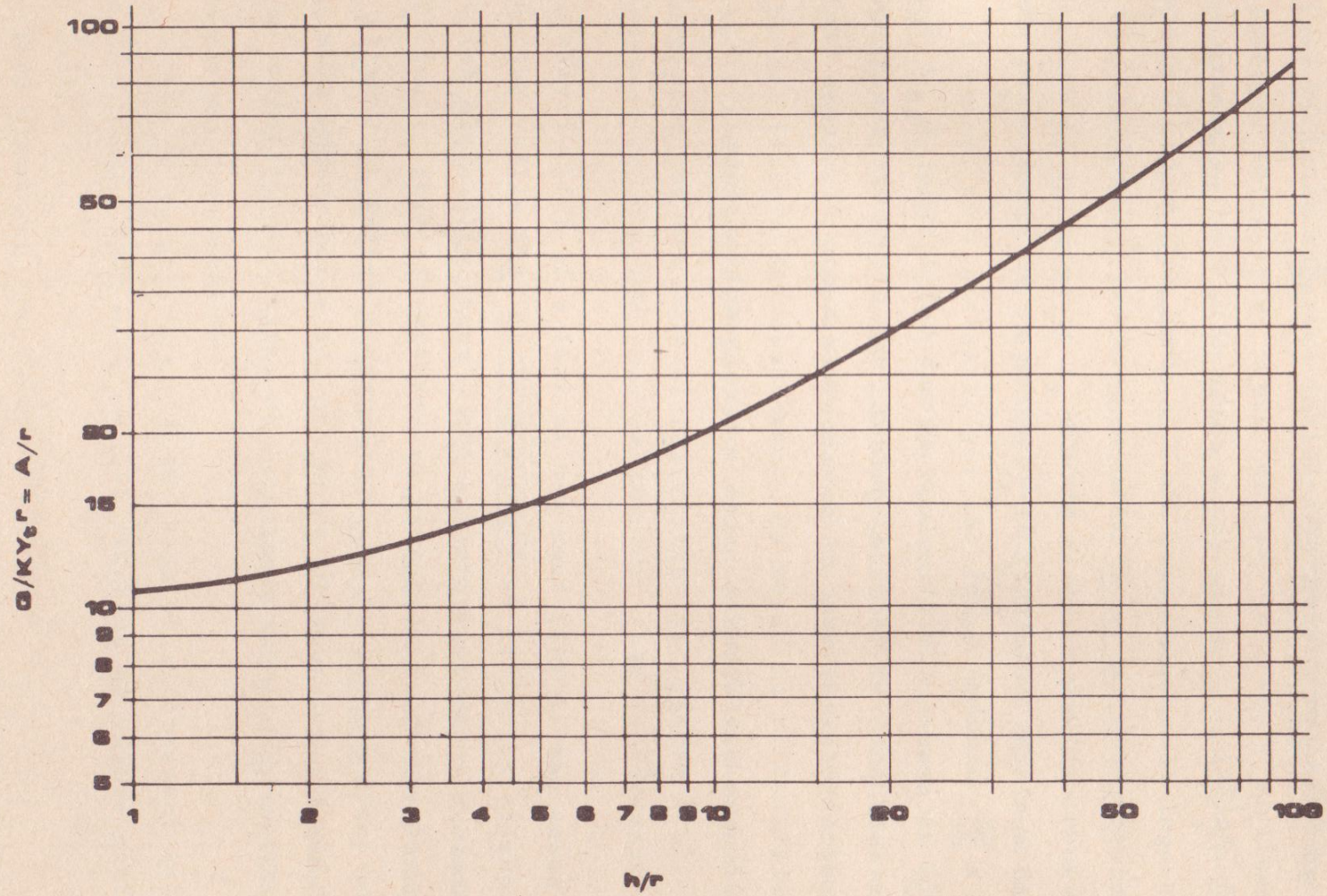

Fig. 5 - A/r in funzione di h/r, per foro vuoto all'inizio delle misure e per acquifero di grande spessore (da una interpolazione dei dati della tab. 1 di Boast e Kirkham 1/).

Sostituendo però a f_{R1} della (10) l'espressione data dalla (7), si ottiene:

$$K = \frac{864\ \pi r}{\frac{A}{r}\ yt\ \frac{\Delta y_t}{t}\ \frac{t}{\ln (y_o / y_t)\ yt}} \cdot \frac{\Delta yt}{t} = \frac{864\ \pi r}{\frac{A}{r}}\ \frac{\ln (y_o/y_t)}{t} \qquad (12)$$

Ma, $\frac{\ln (y_o/y_t)}{t} = \alpha$, della (2) e della (5), è un parametro costante per ogni foro, qualunque sia I_R, come, del resto, è costante il prodotto (864 πr) ed il fattore parziale $\frac{A}{r}$, riferito ad un foro vuoto all'inizio delle misure.

Ad analoghi risultati si perviene se il riferimento viene fatto a $\frac{dy}{dt}$ anzichè a $\frac{\Delta yt}{t}$.

In alternativa all'impiego di uno dei fattori f_{R1} o f_{R2}, sembrerebbe potersi dedurre, quindi, una ulteriore possibilità di integrazione del modo di determinare K con il metodo "della trivella".

Sarebbe sufficiente, cioè, porre semplicemente

$$K = \frac{864\ \pi r}{\frac{A}{r}}\ \frac{\ln (y_1/y_2)}{t_2 - t_1} \qquad (13)$$

Anche per la (13) come per la (10) e la (11), i valori di $\frac{A}{r}$ sono quelli calcolati da Boast e Kirkham (1/) validi per fori di geometrie h/r comprese tra 1 e 100 e vuoti all'inizio della misura. Detti valori, interpolati da una tabella (tab. 1 pag. 371) con la quale i predetti AA. forniscono l'entità di C della (9) per geometrie h/r = 1, 2, 5, 10, 20, 50 e 100 (vedasi anche tab. 4 pag. 130 di 5/), sono riportati, su carta bilogaritmica, nella fig. 5.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La elaborazione dei dati di risalita dell'acqua, misurati nei due fori avanti indicati, ha portato a valutare l'abbassa-

mento di velocità di risalita come conseguenza della riduzione di potenziale idraulico in prossimità di ciascun foro.

Le formule in atto considerano y sempre a partire dalla linea di falda supposta inalterata. Questa supposizione non è sembrata, nelle prove fatte, valida. Infatti, l'applicazione di dette formule con il citato assunto porta a valori di K variabili con il variare dell'indice di riempimento.

Introducendo nella formula di Boast e Kirkham 1/ (9) un fattore di riempimento f_R sia se si vuole moltiplicare C con $\frac{\Delta yt}{t}$ (f_{R1}) della (7), sia con $\frac{dy}{dt}$ (f_{R2}) della (8) sono stati ottenuti valori di K costanti, per uno stesso terreno.

La costanza non si riferisce solo al variare di I_R ma anche al variare di h/r, come può rilevarsi dalle tabelle 5 e 6.

Inoltre, la stessa elaborazione, oltre ai due diversi impieghi del fattore di riempimento, ha messo in evidenza, con la (13), che la conducibilità idrica K di un terreno saturo può essere determinata con una sola misura di risalita, senza limiti fino al grado di riempimento massimo del 70%, data la costanza del rapporto

$$\frac{\ln (y_1 / y_2)}{t_2 - t_1}$$

Infine, i risultati dell'applicazione delle formule integrate, come avanti detto, sono stati confrontati con quelli ottenuti dalla relazione originale di Boast e Kirkham (1/), avendo cura di limitare il confronto solo ai riferimenti certi dati dagli AA., ossia di foro vuoto, 1/4 pieno e 1/2 pieno, evitando interpolazioni logaritmiche.

Per il foro di h/r = 2,667 sono stati ottenuti valori di K:

- foro vuoto: 3,73 m/g, (+0,54% rispetto al valore costante di 3,71);
- foro pieno per 1/4:

  3,20 m/g, (-13,75% rispetto al valore costante di 3,71):
- foro pieno per 1/2:

  2,79 m/g, (-24,80% rispetto al valore costante di 3,71).

Per il foro di h/r = 5,206, dato che rientra nei limiti indicati da Ernst, (6/) la comparazione è stata fatta anche con la formula di questo A., tenendo conto delle indicazioni relative alla determinazione di y; i risultati sono stati i seguenti:

- foro vuoto:
  K = 3,25 m/g (-12,40%, rispetto al valore costante di 3,71);
- foro pieno per 1/4:
  K = 2,74 m/g (-26,15%, rispetto al valore costante di 3,71);
- foro pieno per 1/2:
  K = 2,37 m/g (-36,12%, rispetto al valore costante di 3,71).

Tabella 1

Valori di risalita misurati e calcolati per il foro di h/r = 2,667

t	Valori misurati (media 3 prove)		Valori calcolati						
	y_t	Δy_t	con la (1) y_t	Δy_t	$\frac{\Delta y_t}{t}$	$\frac{dy}{dt}$	$Q_t = \pi r^2 \frac{\Delta y_t}{t}$	$Q = \pi r^2 \frac{dy}{dt}$	$\frac{h-y_t}{h} 100 = I_R$
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm^3/s)	(cm^3/s)	(%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	28,5	-	28,47	-	-	-	-	-	13,20
60	26,1	2,4	26,18	2,29	0,038	0,038	18,170	18,170	20,18
120	24,0	4,5	24,07	4,40	0,037	0,035	17,438	16,714	26,65
180	21,9	6,6	22,13	6,34	0,035	0,032	16,746	15,368	32,53
240	20,1	8,4	20,35	8,12	0,034	0,030	16,090	14,100	37,96
300	18,5	10,0	18,71	9,76	0,033	0,027	15,469	12,981	42,96
360	--	--	17,20	11,27	0,031	0,025	14,881	11,962	47,56
420	15,5	13,0	15,81	12,66	0,030	0,023	14,323	11,011	51,80
480	--	--	14,57	13,93	0,029	0,021	13,794	10,060	55,58
540	13,0	15,5	13,37	15,10	0,028	0,020	13,292	9,268	59,24
600	--	--	12,29	16,18	0,027	0,018	12,816	8,555	62,53
660	10,9	17,6	11,30	17,17	0,026	0,017	12,364	7,842	65,55
720	--	--	10,39	18,08	0,025	0,015	11,935	7,209	68,32
780	9,2	19,3	9,55	18,92	0,024	0,014	11,527	6,654	70,88
840	--	--	8,78	19,69	0,023	0,013	11,139	6,100	73,23
900	7,7	20,8	8,08	20,39	0,023	0,012	10,770	5,545	75,37
960	--	--	7,42	21,05	0,022	0,011	10,419	5,228	77,38
1020	6,6	21,9	6,83	21,64	0,021	0,010	10,085	4,674	79,18
1080	--	--	6,28	22,19	0,021	0,009	9,767	4,357	80,85
1140	5,6	22,9	5,77	22,70	0,020	0,009	9,464	4,040	82,41
1200	--	--	5,31	23,16	0,019	0,008	9,175	3,644	83,81
1260	4,8	23,7	4,88	23,59	0,019	0,007	8,899	3,406	85,12
1320	--	--	4,49	23,98	0,018	0,007	8,636	3,089	86,31
1380	4,0	24,5	4,12	24,35	0,018	0,006	8,385	2,931	87,44
1440	--	--	3,79	24,68	0,017	0,006	8,145	2,693	88,45
1500	3,5	25,0	3,49	24,98	0,017	0,005	7,916	2,376	89,36
1560	--	--	3,21	25,26	0,016	0,005	7,697	2,218	90,21
1620	3,0	25,5	2,95	25,52	0,016	0,004	7,488	2,060	91,01
1740	2,8	25,7	2,49	25,98	0,015	0,004	7,096	1,822	92,41
1860	2,5	26,0	2,11	26,36	0,014	0,003	6,737	1,505	93,57
1980	2,4	26,1	1,78	26,69	0,013	0,003	6,407	1,307	94,57
2100	2,3	26,2	1,51	26,96	0,013	0,002	6,103	1,069	95,40

Tabella 2

Valori di risalita misurati e calcolati per il foro di h/r=5,206

t	Valori misurati (media 3 prove)		Valori calcolati						
	y_t	Δy_t	con la (1) y_t	Δy_t	$\frac{\Delta y_t}{t}$	$\frac{dy}{dt}$	$\frac{Q_t}{\pi r^2}\frac{\bar{\Delta} y_t}{t}$	$\frac{Q}{\pi r^2}\frac{dy}{dt}$	$\frac{h-y_t}{h}100 = I_R$
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm^3/s)	(cm^3/s)	(%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	28,3	-	28,30	-	-	-	-	-	13,72
60	23,6	4,7	23,26	5,04	0,084	0,084	10,478	10,478	29,09
120	19,4	8,9	19,12	9,19	0,077	0,069	9,544	8,624	41,71
180	15,9	12,4	15,71	12,59	0,070	0,057	8,722	7,066	52,10
240	12,8	15,5	12,91	15,39	0,064	0,047	7,995	5,819	60,64
300	10,7	17,6	10,61	17,69	0,059	0,038	7,352	4,780	67,65
360	--	--	8,72	19,58	0,054	0,032	6,782	3,928	73,42
420	7,9	20,4	7,17	21,13	0,050	0,026	6,274	3,221	78,14
480	--	--	5,89	22,41	0,047	0,021	5,821	2,660	82,04
540	6,2	22,1	4,84	23,46	0,043	0,018	5,417	2,182	85,24
600	--	--	3,98	24,32	0,041	0,014	5,054	1,787	87,87
660	5,1	23,2	3,27	25,03	0,038	0,012	4,729	1,475	90,03
720	--	--	2,69	25,61	0,036	0,010	4,436	1,205	91,80
780	4,5	23,8	2,21	26,09	0,033	0,008	4,171	0,998	93,26
840	--	--	1,82	26,49	0,032	0,007	3,931	0,831	94,45
900	--	--	1,49	26,81	0,030	0,005	3,714	0,665	95,46
960	--	--	1,23	27,07	0,028	0,004	3,517	0,540	96,25
1020	--	--	1,01	27,29	0,027	0,004	3,336	0,457	96,92
1080	--	--	0,83	27,47	0,025	0,003	3,172	0,374	97,47
1140	--	--	0,68	27,62	0,024	0,003	3,021	0,312	97,93

Tabella 3

Fattori di riempimento f_{R1} e f_{R2} per il foro di h/r=2,667

I_R	y_t 5% di h = 1,64	t	$\frac{\Delta y_t}{t}$	$\frac{dy}{dt}$	$Q_t = \pi r^2 \frac{\Delta y_t}{t}$	$Q = \pi r^2 \frac{dy}{dt}$	f_{R_1}	f_{R_2}
(%)	(cm)	(s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm^3/s)	(cm^3/s)	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	32,8	0	--	--	--	--	1,0000	1,0000
(1)	(32,472)	(7,18)	(0,0457)	(0,0457)	(21,713)	(21,713)	1,0050	1,0050
5	31,16	36,64	0,0448	0,0448	21,274	21,274	1,0261	1,0261
10	29,52	75,26	0,0436	0,0425	20,714	20,183	1,0546	1,0275
15	27,88	116,09	0,0424	0,0402	20,143	19,091	1,0858	1,0291
20	26,24	159,39	0,0412	0,0379	19,562	18,002	1,1204	1,0309
25	24,60	205,49	0,0399	0,0356	18,966	16,908	1,1587	1,0330
30	22,96	254,79	0,0386	0,0333	18,356	15,811	1,2016	1,0353
35	21,32	307,70	0,0373	0,0310	17,733	14,732	1,2500	1,0380
40	19,68	364,88	0,0360	0,0287	17,090	13,632	1,3051	1,0411
45	18,04	427,03	0,0346	0,0264	16,428	12,542	1,3686	1,0448
50	16,40	495,11	0,0331	0,0241	15,744	11,449	1,4427	1,0492
55	14,76	570,36	0,0316	0,0218	15,033	10,359	1,5306	1,0546
60	13,12	654,49	0,0301	0,0195	14,292	9,265	1,6370	1,0613
65	11,48	749,87	0,0284	0,0172	13,513	8,172	1,7690	1,0698
70	9,84	859,98	0,0267	0,0149	12,690	7,079	1,9380	1,0812
75	8,20	990,21	0,0248	0,0126	11,808	5,985	2,1640	1,0970
80	6,56	1149,60	0,0228	0,0103	10,849	4,890	2,4853	1,1204
85	4,92	1355,09	0,0206	0,0080	9,779	3,793	2,9870	1,1587
90	3,28	1644,70	0,0179	0,0057	8,531	2,692	3,9087	1,2332
95	1,64	2139,81	0,0146	0,0033	6,921	1,574	6,3424	1,4427
(99)	(0,328)	(3289,41)	(0,0099)	(0,0011)	(4,692)	(0,542)	21,4976	2,4853

Tabella 6

Valori di K ottenuti con le formule (10) e (11) per foro di h/r = 5,206

I_R	con la (10)			con la (11)		
	$\frac{A}{r} f_{R1}$	C	K	$\frac{A}{r} f_{R2}$	C	K
(%)	-	-	(m/g)	-	-	(m/g)
1	2	3	4	5	6	7
0	15,06	34,62	-	15,06	34,62	-
(1)	15,13	34,81	3,71	15,13	34,81	3,71
5	15,45	35,51	3,71	15,45	35,51	3,71
10	15,88	36,47	3,71	15,47	37,44	3,71
15	16,35	37,51	3,71	15,50	39,58	3,71
20	16,87	38,62	3,71	15,53	41,98	3,71
25	17,45	39,84	3,71	15,56	44,68	3,71
30	18,10	41,16	3,71	15,59	47,77	3,71
35	18,83	42,61	3,71	15,63	51,31	3,71
40	19,65	44,21	3,71	15,68	55,42	3,71
45	20,61	45,99	3,71	15,73	60,24	3,71
50	21,73	47,99	3,71	15,80	65,90	3,71
55	23,05	50,26	3,71	15,88	72,95	3,71
60	24,65	52,87	3,71	15,98	81,55	3,71
65	26,64	55,91	3,71	16,11	92,46	3,71
70	29,19	59,52	3,71	16,28	106,73	3,71
75	32,59	63,99	3,71	16,52	126,23	3,71
80	37,43	69,65	3,71	16,87	154,49	3,71
85	44,98	77,26	3,71	17,45	199,18	3,71
90	58,87	88,57	3,71	18,57	280,72	3,71
95	95,52	109,16	3,71	21,73	479,91	3,71
(99)	323,75	161,03	3,71	37,43	1392,92	3,71

B I B L I O G R A F I A

1/ BOAST C.W. e KIRKHAM D., 1971 - Auger Hole Seepage Theory, Soil Sci. Amer. Proc. 35 (3), 365-374.

2/ BOWER H. e RICE R.C., 1976 - A Slug Test for determining Hydraulic conductivity of Unconfined Aquifers With Completely or Partially Penetrating Wells, Water Resour. Res. 12 (3), 423-428.

3/ DAGAN G., 1978 - A note on Packer, Slug, and Recovery Tests in Unconfined Aquifers, Water Resour. Res. 14 (5), 929-934.

4/ LUTHIN J.N., 1957 - Measurement of Hydraulic conductivity in situ. General description of Method and Theory, Da Luthin J.N., ed. Drainage of Agricultural Lands, 420-439, Am.Soc.of Agr., Madison, Wisc.

5/ MATARRESE N., 1978 - Idraulica agraria, p. 338, Laterza, Bari.

6/ MATARRESE N., 1978 - Sulla determinazione della conducibilità idrica nei terreni saturi, Annali Facoltà di Agraria - Università di Bari, Vol. XXX, 309-332.

7/ VAN BEERS W.F., 1970 - The Auger Hole Method, 32 p. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Bull. n. 1, Rev., offprint, Wageningen, the Netherlands.