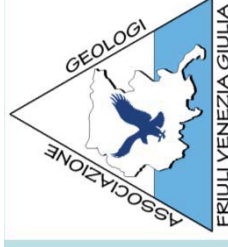




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



PROVE DI «FALDA»

DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE

Prof. Paolo Fabbri

24/05/2019

Un pò di chiarezza:

POMPAGGIO

FALDA

SLUG TESTS

PORTATA

POZZO



PROVE DI POMPAGGIO

SLUG TESTS

PROVE DI FALDA

PROVE DI POZZO

*Parametri
Acquifero*

*Parametri
Acquifero*

*Caratteristiche
Pozzo*

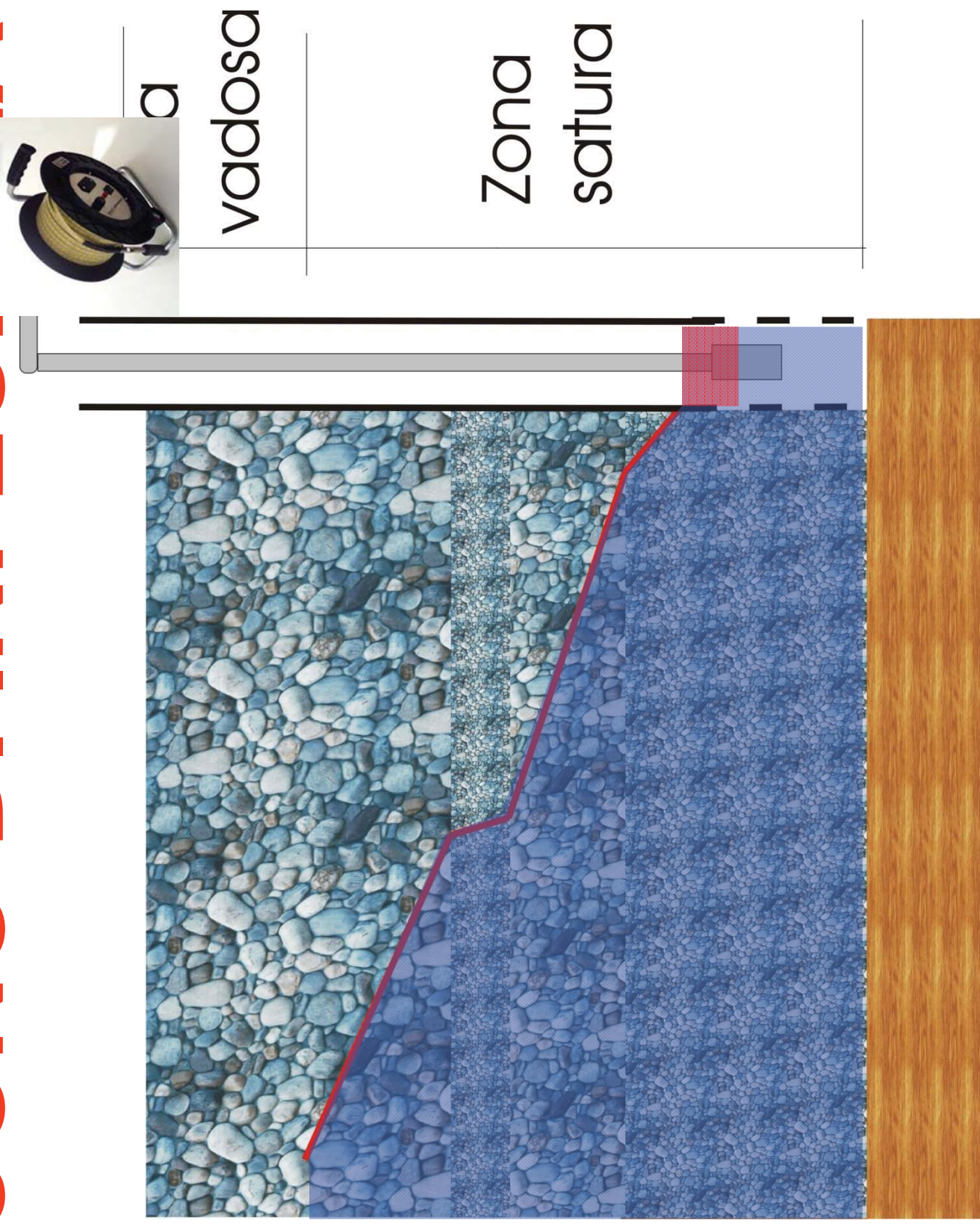
*Parametri
Acquifero*



PROVA DI FALDA

- Calcolo di T ed S
- Misurare l'abbassamento del carico idraulico (livello di falda) in un **pozzo di osservazione (output)** vicino al pozzo di pompaggio da cui viene estratta acqua (input)

CONO DI INFLUENZA



REGIME DI FLUSSO

REGIME STAZIONARIO

Pozzo in produzione crea un cono di depressione stabilizzato (manca il parametro *tempo*)

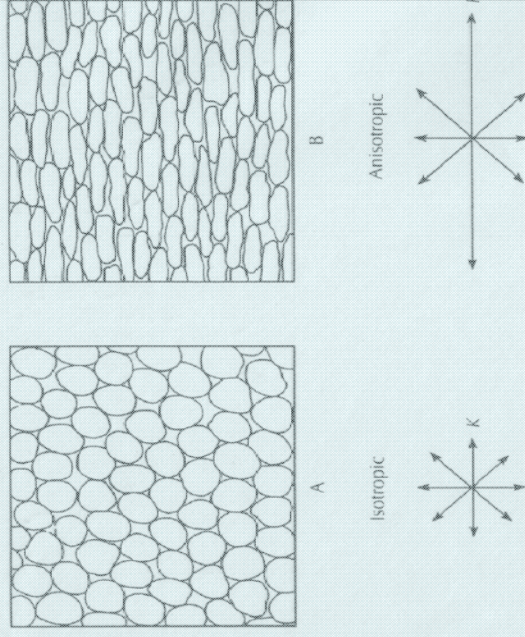
REGIME NON STAZIONARIO

Pozzo in produzione crea un cono di depressione che varia nel **tempo** fino ad una sua stabilizzazione

ASSUNZIONI

Assunzioni sull'acquifero

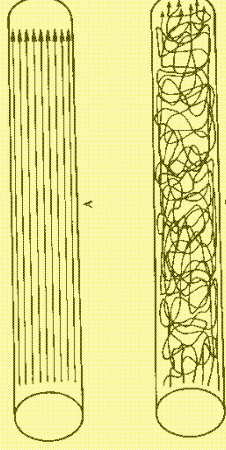
- Omogeneità ed isotropia



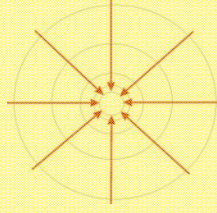
- Estensione infinita
- Spessore uniforme e acquifero orizzontale
 - Superficie potenziometrica orizzontale

Assunzioni sul flusso

- Stazionario o Transitorio
- Flusso laminare



- Flusso radiale
- Portata costante



Assunzioni sul pozzo

- Pozzo completo
- Assenza di immagazzinamento in pozzo

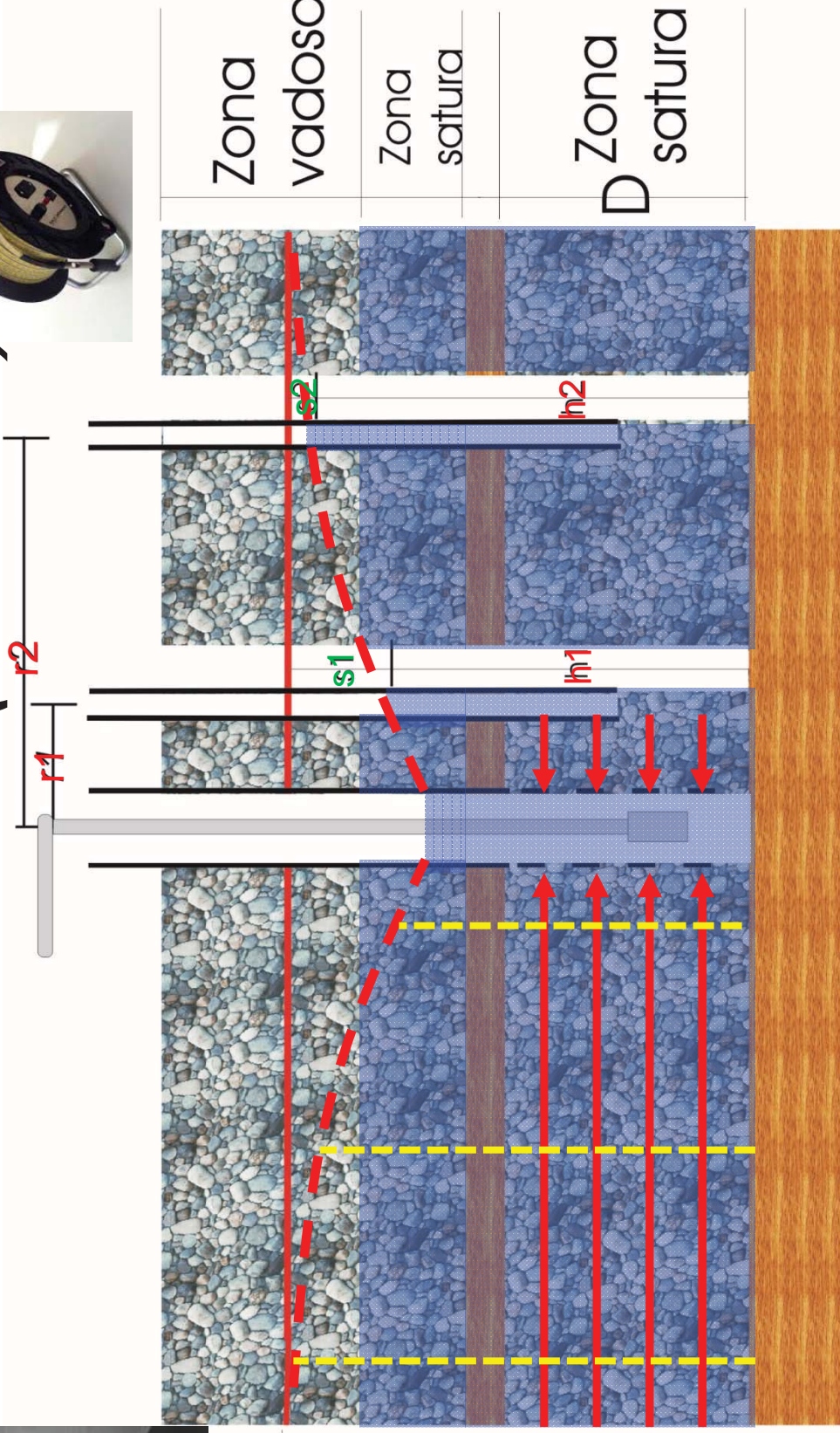


PROVE DI FALDA (stazionario)

DUPUIT – THIEM (confinato)



Jules Dupuit
1804-1866



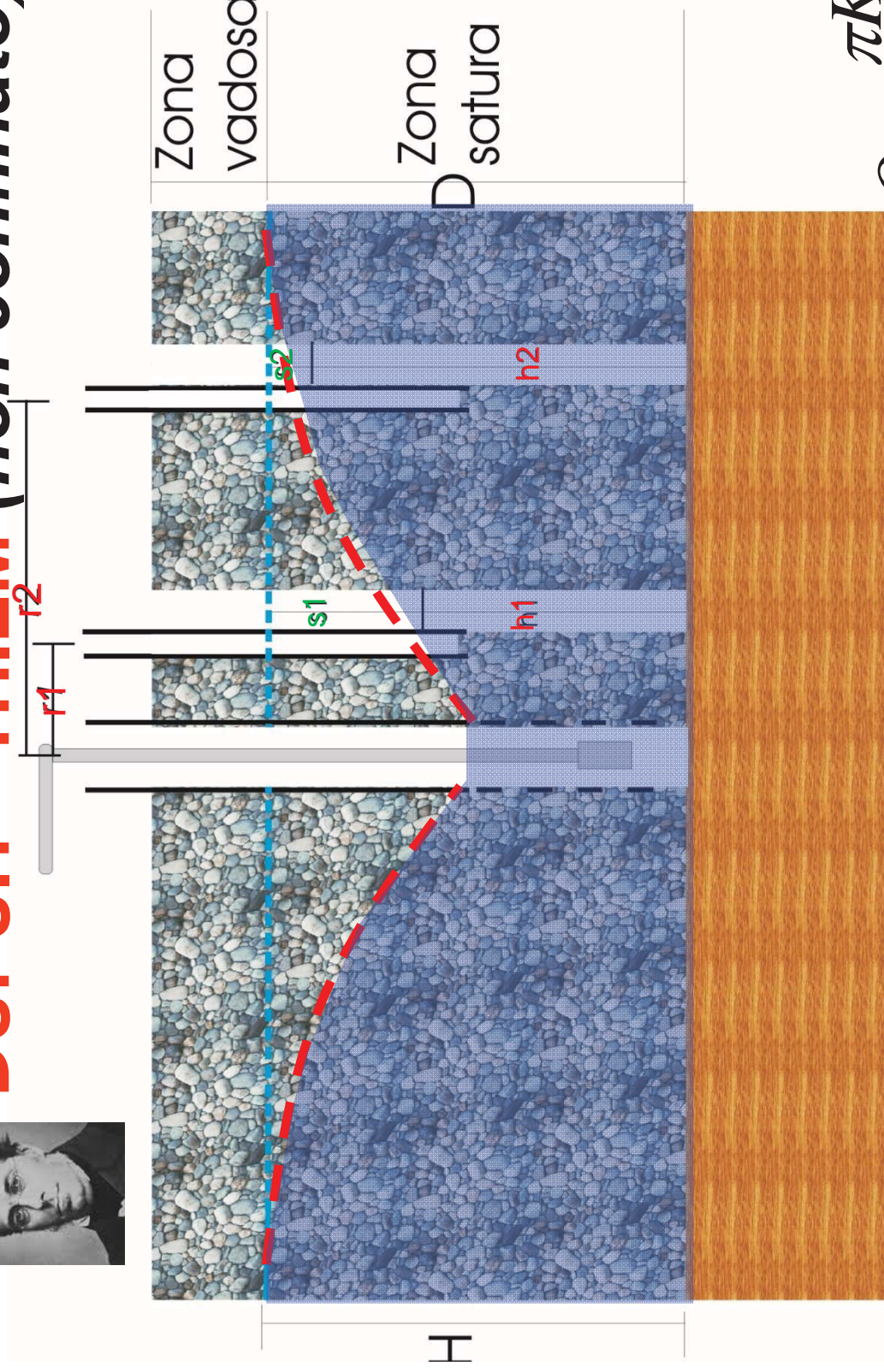
H

Thiem G.
(1906)
Hydrologische
Methoden,
Gebhardt:
Leipzig, p. 56.

$$Q = \frac{2\pi KD (s_1 - s_2)}{\ln r_2 / r_1} \Rightarrow KD = T$$

PROVE DI FALDA (stazionario)

DUPUIT - THIEHM (non confinato)



$$Q = \frac{\pi K (h_2^2 - h_1^2)}{\ln r_2 / r_1}$$

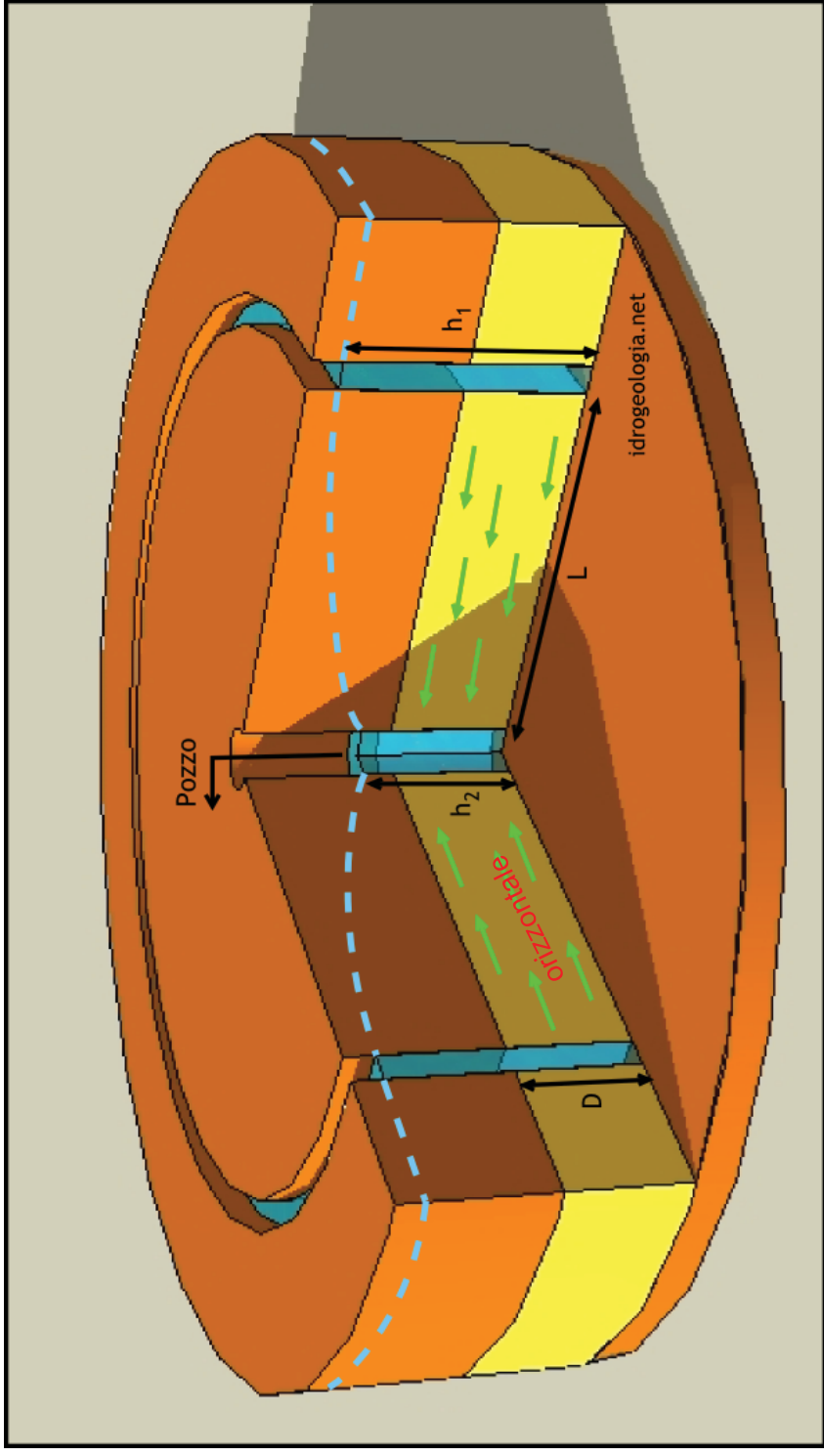
TRANSITORIO

CONSIDERIAMO UN POZZO COMPLETO CHE
ESTRAGGA ACQUA ATTRAVERSO IL SUO FILTRO
DA UN ACQUIFERO, IL NOSTRO SCOPO E'
DEFINIRE I **PARAMETRI** DELL'ACQUIFERO



VEDIAMO IL CASO DI UN POZZO COMPLETO
IN UN **ACQUIFERO CONFINATO**

Acqua estratta uniformemente dal **filtro** di un pozzo **completo** perforato in un acquifero **confinato** di estensione **infinita**, serbatoio **omogeneo** e di spessore **uniforme** **D**. Quindi il flusso è **orizzontale** e non ci sono variazioni di **carico h** in direzione **z**



FLUSSO RADIALE (orizzontale attorno al filtro)

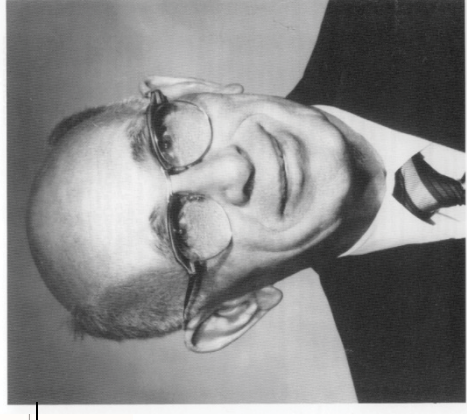
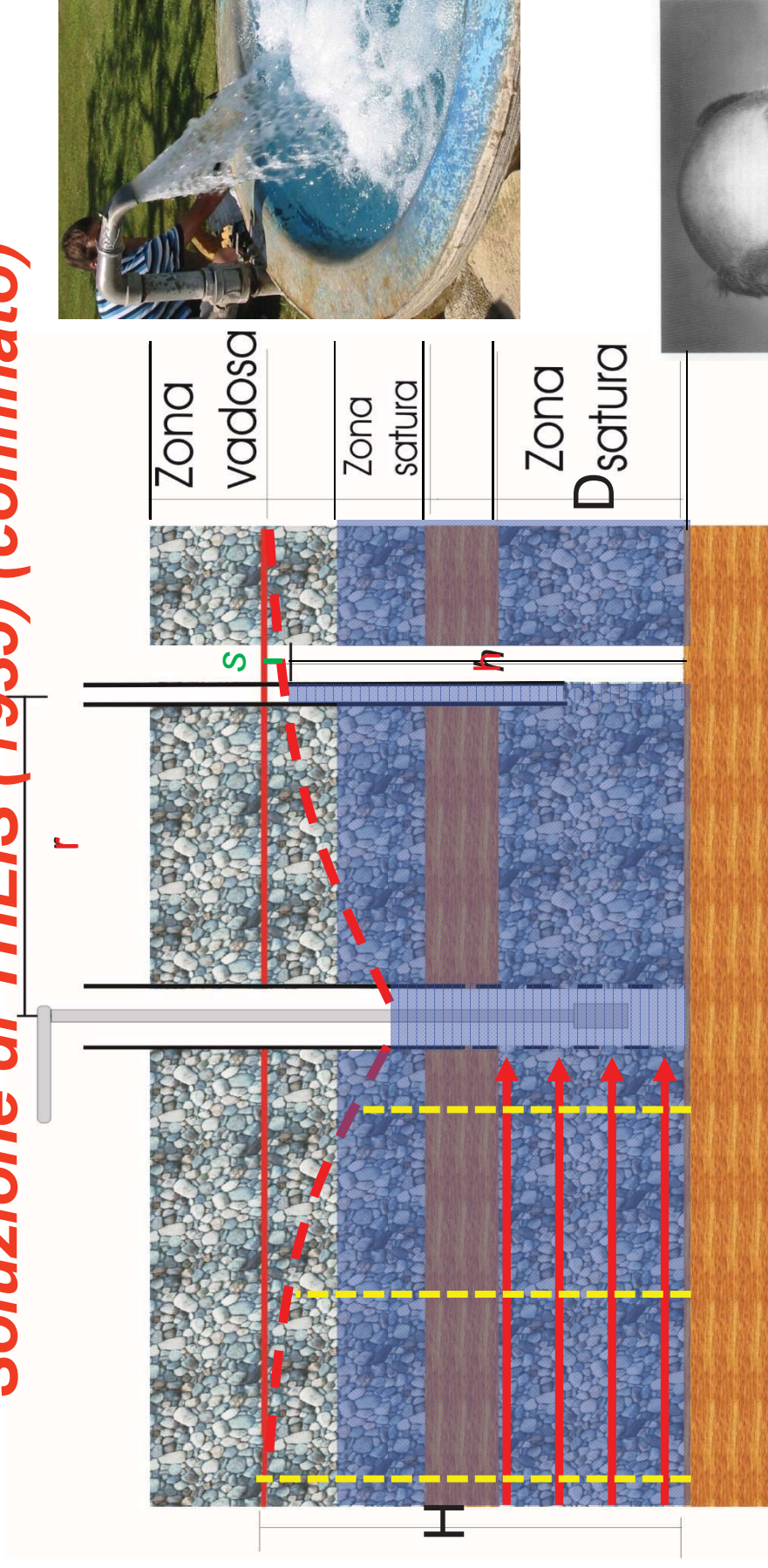
(no variazioni di **h** rispetto a **z**) flusso diventa **2D**

Per $s=H-h$ e sostituendo $h=H-s$ \longleftrightarrow

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S_s D}{KD} \frac{\partial s}{\partial t}$$

PROVE DI FALDA (non stazionario)

Soluzione di **THEIS (1935) (confinato)**

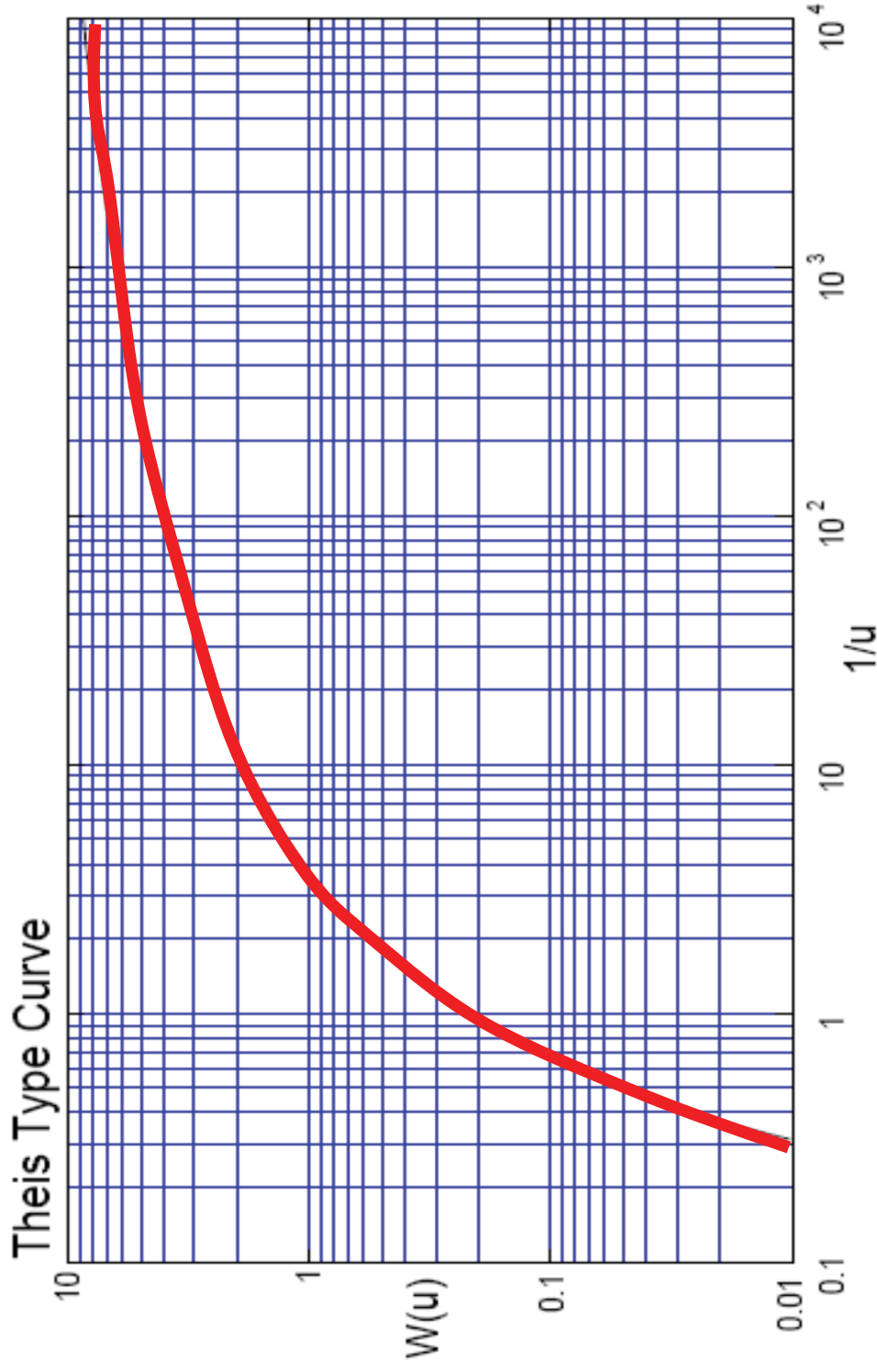


$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \Rightarrow u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

$W(u)$ = funzione del pozzo

PROVE DI FALDA (non stazionario)

$W(u)$ = funzione del pozzo









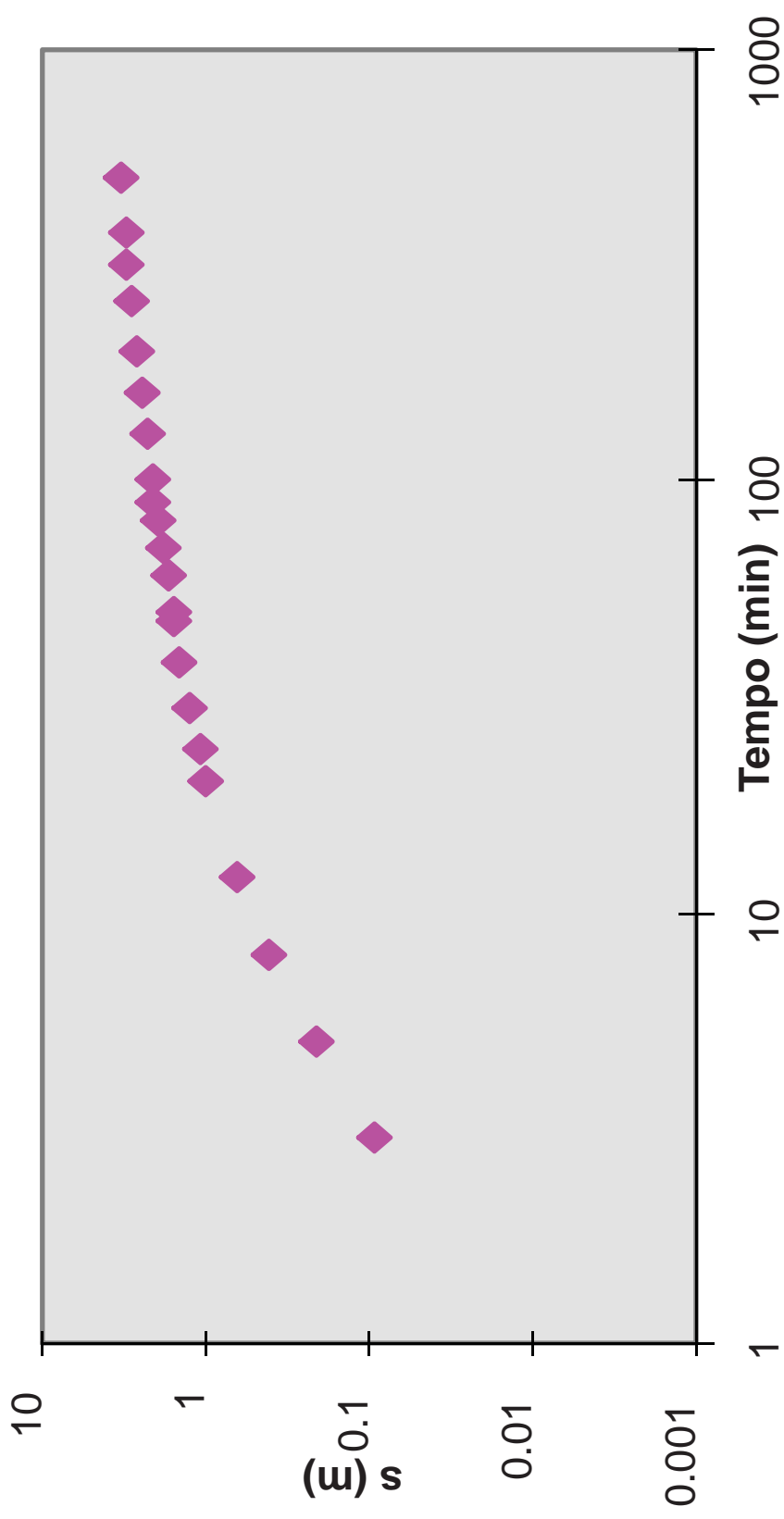




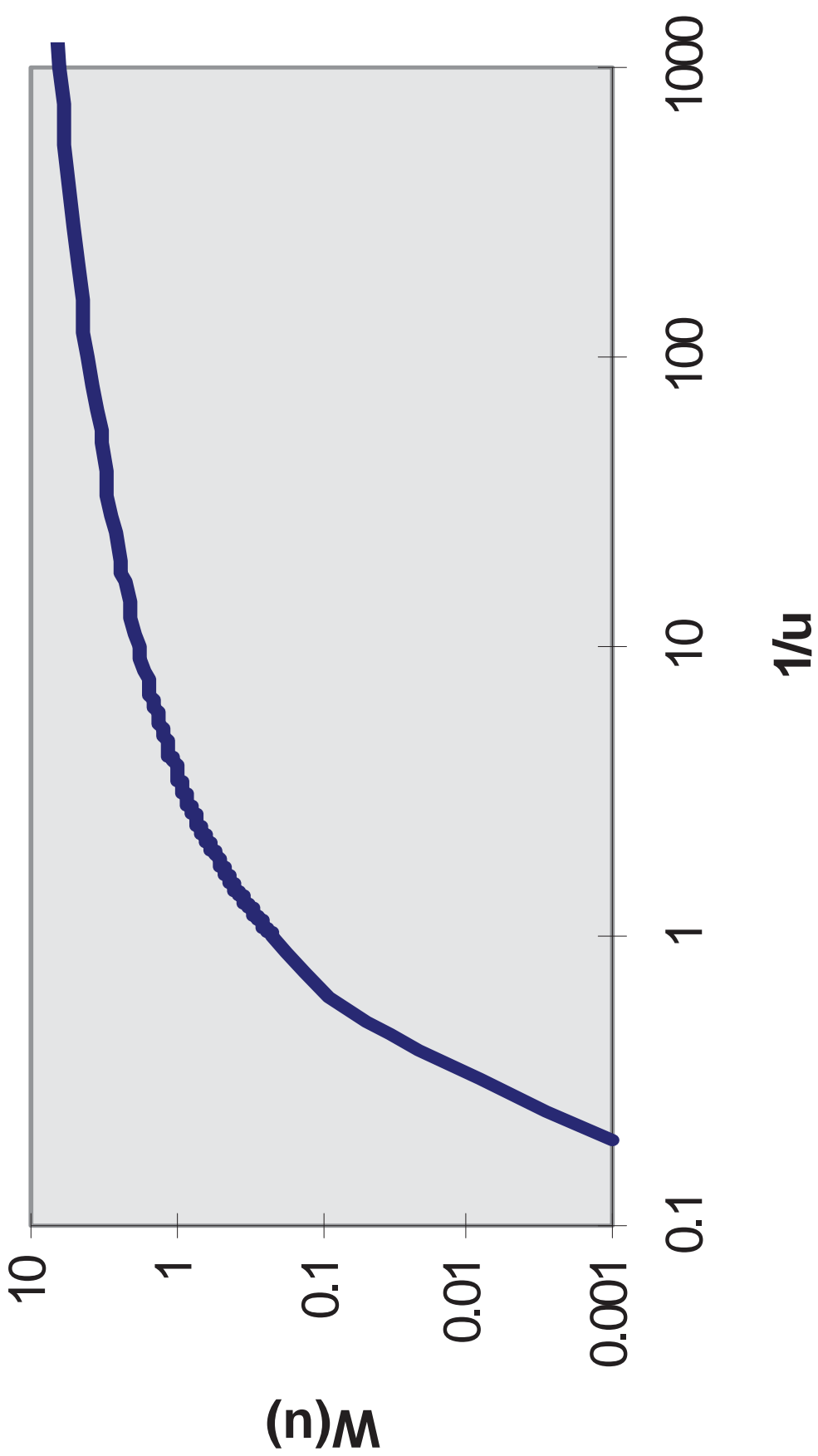




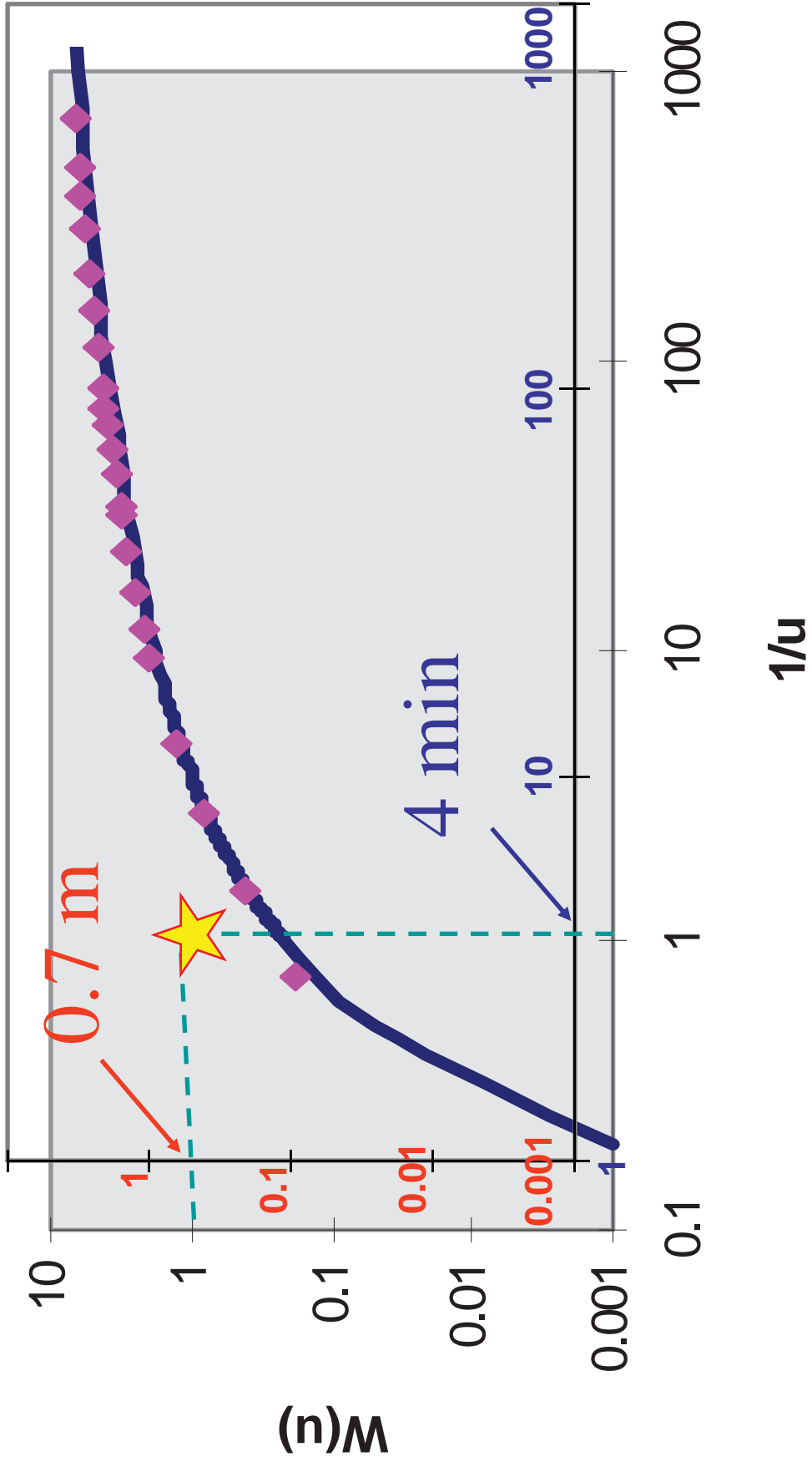
Abbassamento in un pozzo di osservazione a 250 m dal pozzo di pompaggio



Theis Type Curve



Theis Type Curve



Calcolo

- $Q = 1000$ litri/min; $r = 250$ m
- Match points sono:
- $W(u) = 1$; $1/u = 1$; $s = 0.7$ m; $t = 4$ min

MEMENTO

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Valori di **T**, **K**, e **S** sono:

- $T = 1,83 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- $K = T/D = 1,2 * 10^{-4} \text{ m/s}$
- $S = 2,8 * 10^{-5}$
- $V = 5,6 * 10^4 \text{ m}^3$

PROVE DI FALDA (non stazionario)

$$W(u) = \int_{y_0=u}^{y=\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy = \frac{r^2 S}{4Tt} \left[-0.577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \dots \right]$$

COOPER - JACOB (1946) (confinato) ($u < 0,01$)

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad \longrightarrow \quad s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln \frac{4Tt}{r^2 S} - 0,5772 \right] = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln \frac{4Tt}{r^2 S} + \ln 0,5615 \right]$$

$$s(r, t) = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Retta del tipo

→ **s** vs **log t**

$$m = \frac{2,3Q}{4\pi T}$$

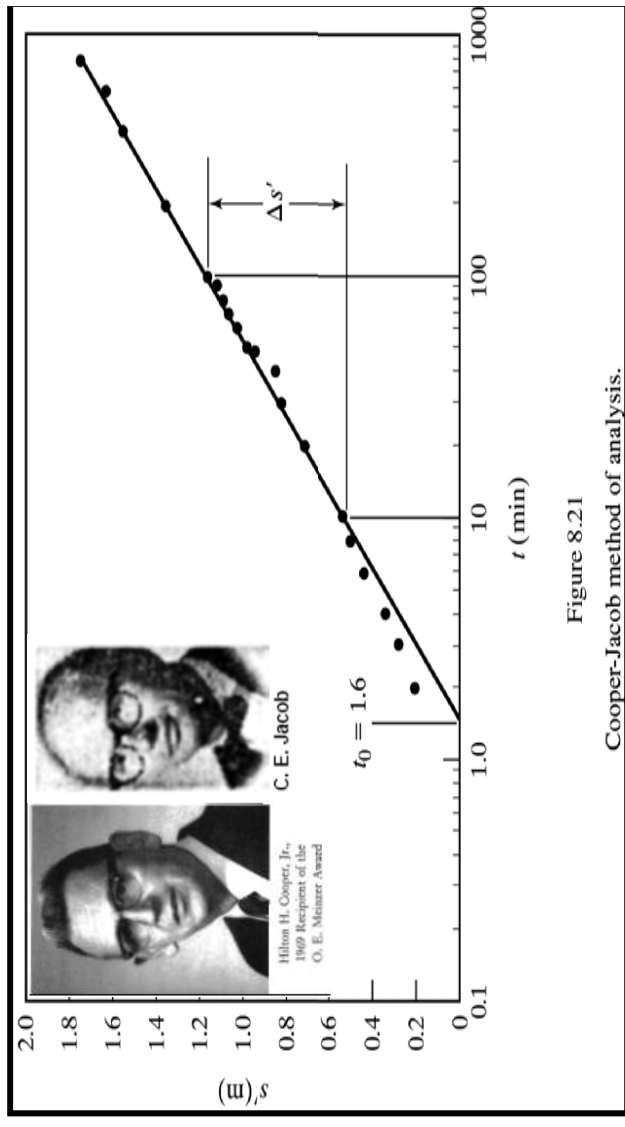


Figure 8.21
Cooper-Jacob method of analysis.

$$m = \frac{2,3Q}{4\pi T} \Rightarrow \frac{\Delta s}{\log t' - \log t} = \frac{2,3Q}{4\pi T} \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta s}{\log 100/10} = \frac{2,3Q}{4\pi T} \Rightarrow \frac{\Delta s}{1} = \frac{2,3Q}{4\pi T} \Rightarrow$$

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi \Delta s}$$

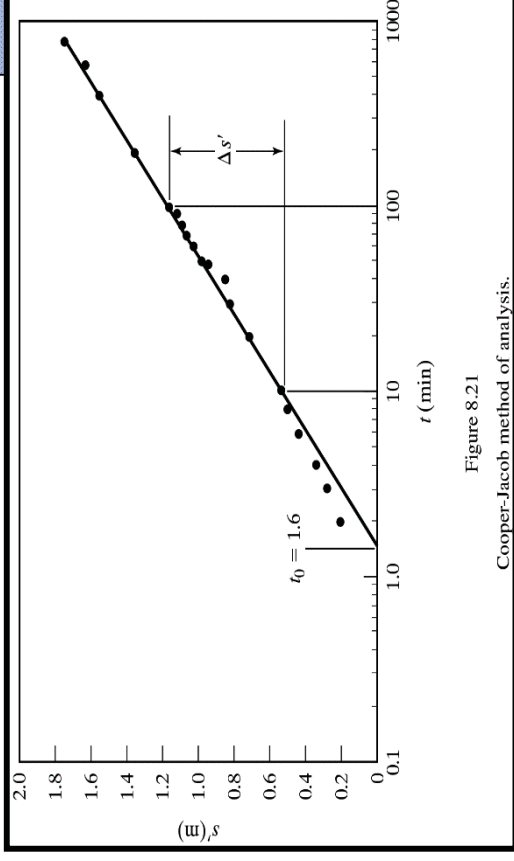
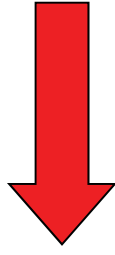
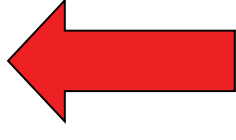


Figure 8.21
Cooper-Jacob method of analysis.

$$0 = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

$$s = 0 \text{ ma } \frac{2,3Q}{4\pi T} \neq 0 \Rightarrow \log \frac{2,25Tt_0}{r^2 S} = 0 \Rightarrow \frac{2,25Tt_0}{r^2 S} = 1$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$$



ESERCIZIO

- Un pozzo di iniezione di sostanze inquinanti viene perforato in un acquifero confinato che possiede le seguenti caratteristiche:

- Spessore $D = 9 \text{ m}$
- Porosità efficace $n_e = 0,1$
- Permeabilità $K = 81 \text{ m/giorno}$
- Immagazzinamento specifico $S_s = 3,3 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$
- Portata di iniezione $Q = 5660 \text{ m}^3/\text{giorno}$
- Raggio del pozzo $r_w = 0,3 \text{ m}$

- A) **Quale sarà il fronte del cono dopo 10 giorni di iniezione ?**
(il fronte è definito a $s = 0,03 \text{ m}$ di abbassamento)
- B) **Quale la posizione raggiunta dall'inquinante dopo 10 giorni di iniezione ?** (si assume inquinante si muova solo per advezione che il gradiente sia istantaneo e lineare)

A Quale sarà il fronte del cono dopo 10 giorni di iniezione ?

(il fronte è definito a $s = 0,03$ di abbassamento)

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Table 6.1 Values of $W(u)$ for Values of u

u	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
$\times 1$	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.0011	0.00036	0.00012	0.000038	0.000012
$\times 10^{-1}$	1.82	1.22	0.91	0.70	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
$\times 10^{-2}$	4.04	3.35	2.96	2.68	2.47	2.30	2.15	2.03	1.92
$\times 10^{-3}$	6.33	5.64	5.23	4.95	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
$\times 10^{-4}$	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
$\times 10^{-5}$	10.94	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
$\times 10^{-6}$	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
$\times 10^{-7}$	15.54	14.85	14.44	14.15	13.93	13.75	13.60	13.46	13.34
$\times 10^{-8}$	17.84	17.15	16.74	16.46	16.23	16.05	15.90	15.76	15.65
$\times 10^{-9}$	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.20	18.07	17.95
$\times 10^{-10}$	22.45	21.76	21.35	21.06	20.84	20.66	20.50	20.37	20.25
$\times 10^{-11}$	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
$\times 10^{-12}$	27.05	26.36	25.96	25.67	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
$\times 10^{-13}$	29.36	28.66	28.26	27.97	27.75	27.56	27.41	27.28	27.16
$\times 10^{-14}$	31.66	30.97	30.56	30.27	30.05	29.87	29.71	29.58	29.46
$\times 10^{-15}$	33.96	33.27	32.86	32.58	32.35	32.17	32.02	31.88	31.76

From Wenzel (1942).

$$W(u) = \frac{s4\pi KD}{Q} = \frac{0,03m \times 4 \times \pi \times 81m / \text{giorno} \times 9m}{5660m^3 / \text{giorno}} = 0,0485$$

$$u \cong 2$$

$$r = \sqrt{\frac{u \times 4 \times T \times t}{S}} = \sqrt{\frac{2 \times 4 \times 81m / \text{giorno} \times 9m \times 10 \text{giorni}}{3,3 \cdot 10^{-6} m^{-1} \times 9m}} = 44313m$$

B Quale la posizione raggiunta dall'inquinante dopo 10 giorni di iniezione ?
(si assume inquinante si muova solo per *advazione* che il gradiente sia istantaneo e lineare)

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Table 6.1 Values of $W(u)$ for Values of u

u	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
$\times 1$	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.0011	0.00036	0.00012	0.000038	0.000012
$\times 10^{-1}$	1.82	1.22	0.91	0.70	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
$\times 10^{-2}$	4.04	3.35	2.96	2.68	2.47	2.30	2.15	2.03	1.92
$\times 10^{-3}$	6.33	5.64	5.23	4.95	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
$\times 10^{-4}$	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
$\times 10^{-5}$	10.94	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
$\times 10^{-6}$	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
$\times 10^{-7}$	15.54	14.85	14.44	14.15	13.93	13.75	13.60	13.46	13.34
$\times 10^{-8}$	17.84	17.15	16.74	16.46	16.23	16.05	15.90	15.76	15.65
$\times 10^{-9}$	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.20	18.07	17.95
$\times 10^{-10}$	22.45	21.76	21.35	21.06	20.84	20.66	20.50	20.37	20.25
$\times 10^{-11}$	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
$\times 10^{-12}$	27.05	26.36	25.96	25.67	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
$\times 10^{-13}$	29.36	28.66	28.26	27.97	27.75	27.56	27.41	27.28	27.16
$\times 10^{-14}$	31.66	30.97	30.56	30.27	30.05	29.87	29.71	29.58	29.46
$\times 10^{-15}$	33.96	33.27	32.86	32.58	32.35	32.17	32.02	31.88	31.76

From Wenzel (1942).

$$u = \frac{r_w^2 S}{4Tt} = \frac{0,3^2 m^2 \times 3,3 \cdot 10^{-6} m^{-1} \times 9m}{4 \times 81m / \text{giorno} \times 9m \times 10 \text{giorni}} = 9,2 \cdot 10^{-11}$$

$$W(u) \cong 22,55$$

$$S_w = \frac{Q}{4\pi KD} W(u) = \frac{5660m^3 / \text{giorno}}{4 \times \pi \times 81m / \text{giorno} \times 9m} \times 22,55 = 14m$$

Distanza percorsa

$$v_{Darcy} = Ki \Rightarrow v_{reale} = \frac{Ki}{n_e}$$

$$\text{distanza percorsa} = v_{reale} \times t = \frac{Ki}{n_e} \times t$$

$$= \frac{81m / \text{giorno}}{0,1} \times \frac{14m}{44313m} \times 10 \text{ giorni} = 2,55m$$

Theis solution Assumptions

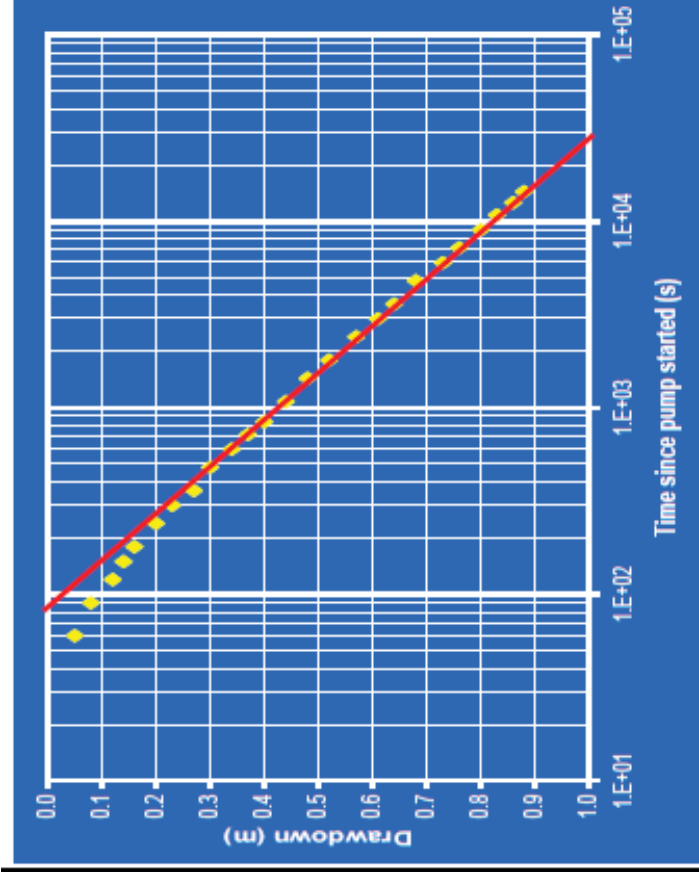
Real aquifers to conform the assumptions made for Theis and Cooper-Jacob non-equilibrium analysis must to be:

- *Isotropic, homogeneous, uniform thickness*
- *Fully penetrating well*
- *Laminar flow*
- *Flat potentiometric surface*
- **Infinite areal extent (A) → barrier effect**
- **No recharge (B)**

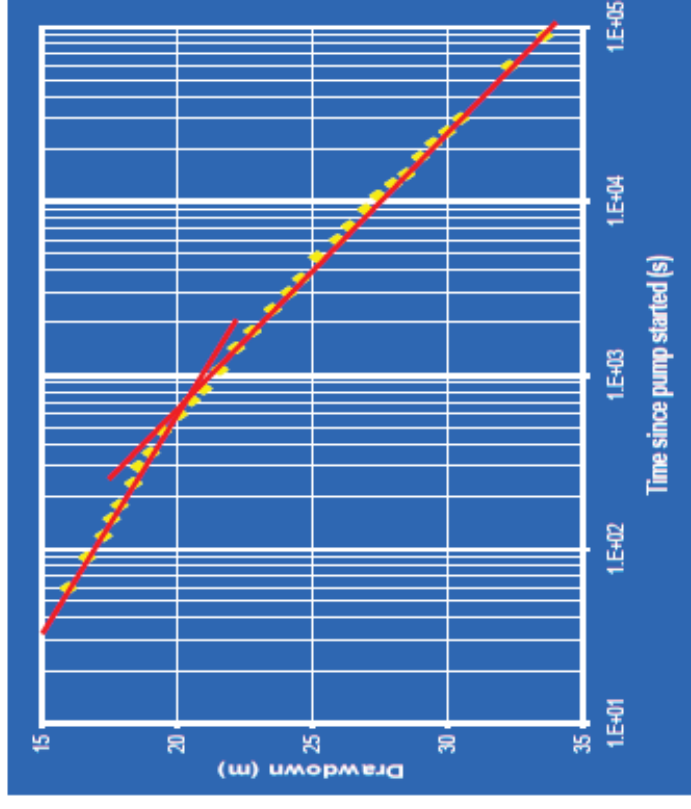
The failure of some or all of these assumptions leads to “non-ideal” behavior and ***deviations from the Theis and Cooper-Jacob analytical solutions*** for

radial unsteady flow

(A) Barrier Effect : No Flow Boundary



Infinite extent



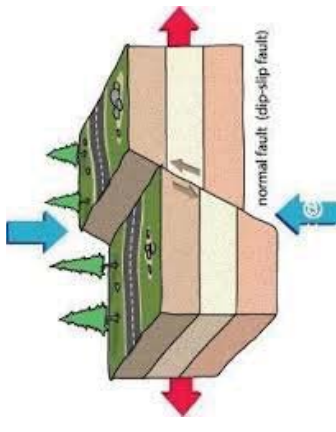
Barrier

Steepening of the log(**time**) vs. **drawdown** curve indicates an aquifer limited by a barrier boundary of some kind. Aquifer characteristics (T, S) can be estimated from the first leg.

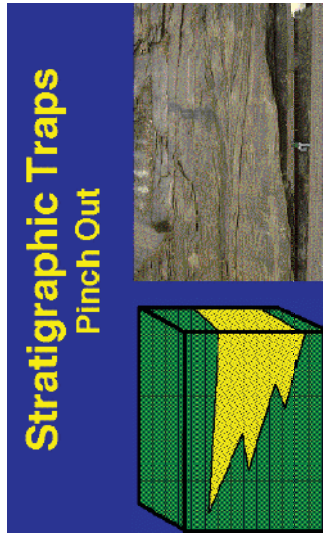
Potential Flow Barriers

Various *flow barriers* may cause deviation from the ideal Theis behaviour

Fault truncations against low permeability aquitards

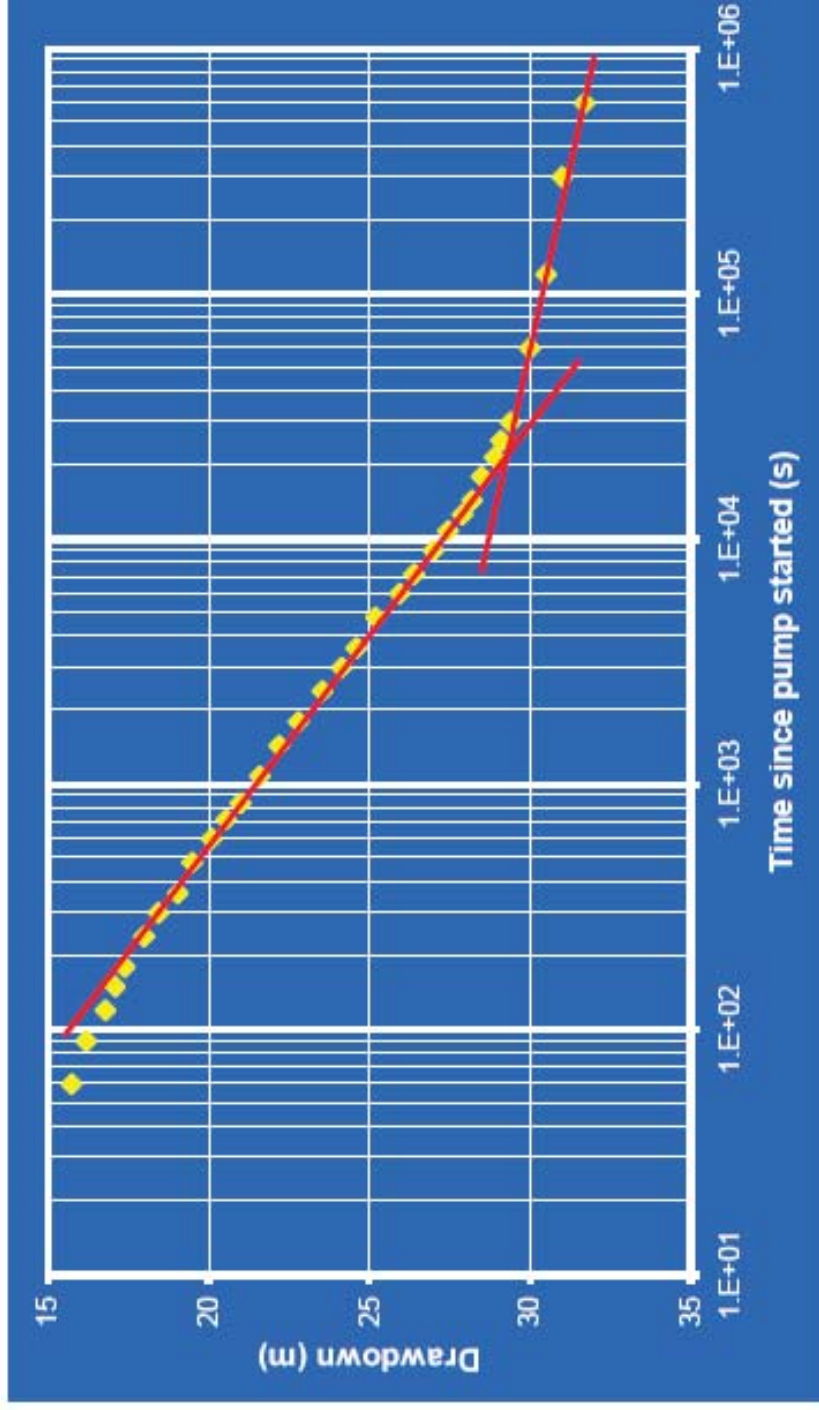


Lenticular pinchouts and lateral facies changes associated with reduced permeability



Artificial barriers such as grout curtains and slurry walls.

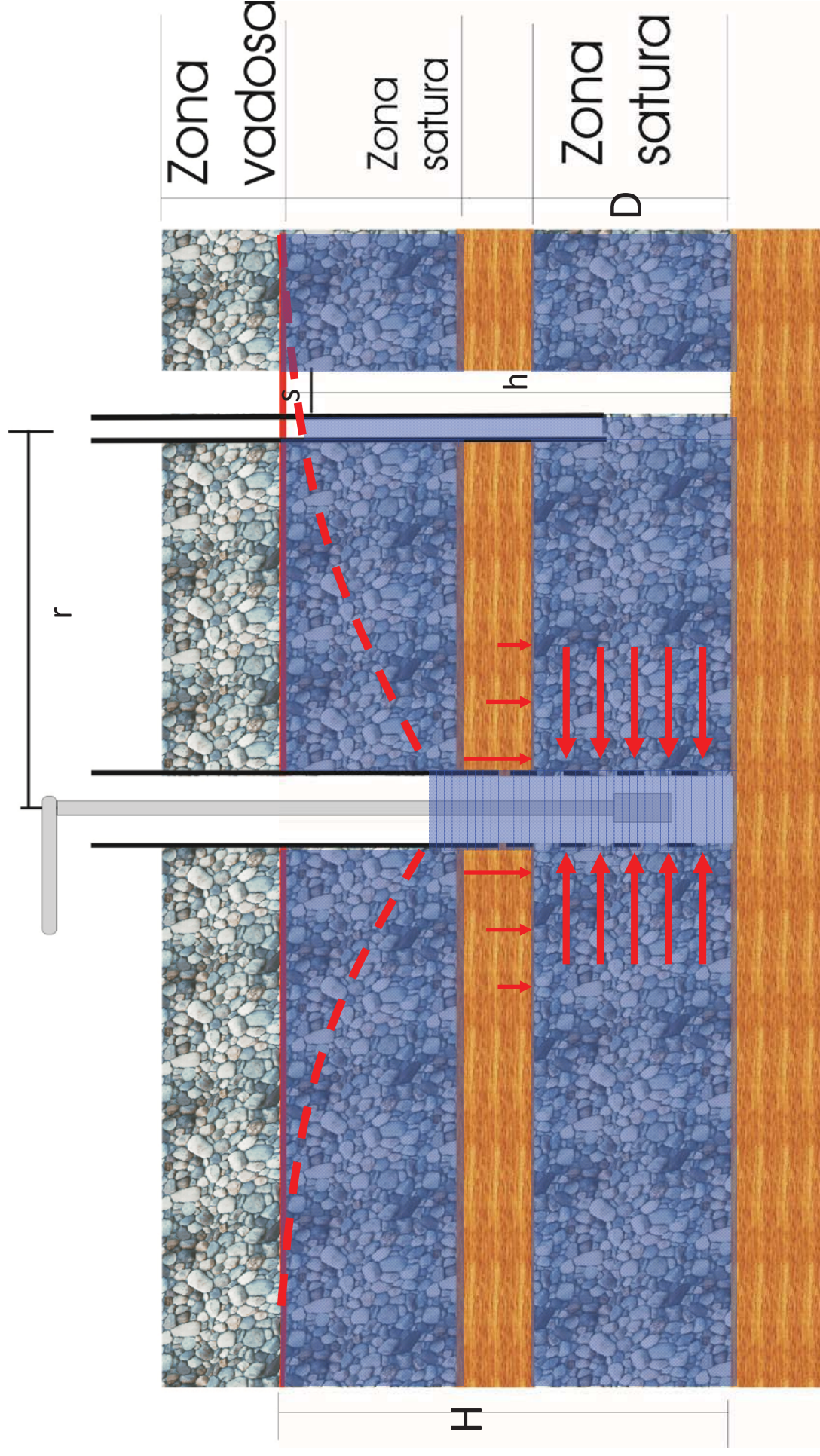
(B) Recharge Effect



If the **recharge is insufficient** to match the discharge, the **log(time) vs drawdown** curve flattens but does not become horizontal and drawdown continues to increase at a reduced rate. **T** and **S** can be estimated from the first leg of the curve.

ACQUIFERO SEMICONFINATO

(incompressibile $\rightarrow S' = 0$)



ACQUIFERO SEMICONFINATO

- A) Nella prima parte (*tempi brevi*) → Theis, dato che acqua proviene solo da **S**
- B) Soluzione **Hantush–Jacob (1955)**
 - Presenza di un *semipermeabile*
 - Presenza *falda freatica superiore con livello orizzontale*
 - *Livello freatico non risente del pompaggio*
 - Flusso *verticale* in acquitardo
 - *Acquifero compressibile* ed acqua drenata istantaneamente
 - Acquitardo *incompressibile* (**assenza di S'**)

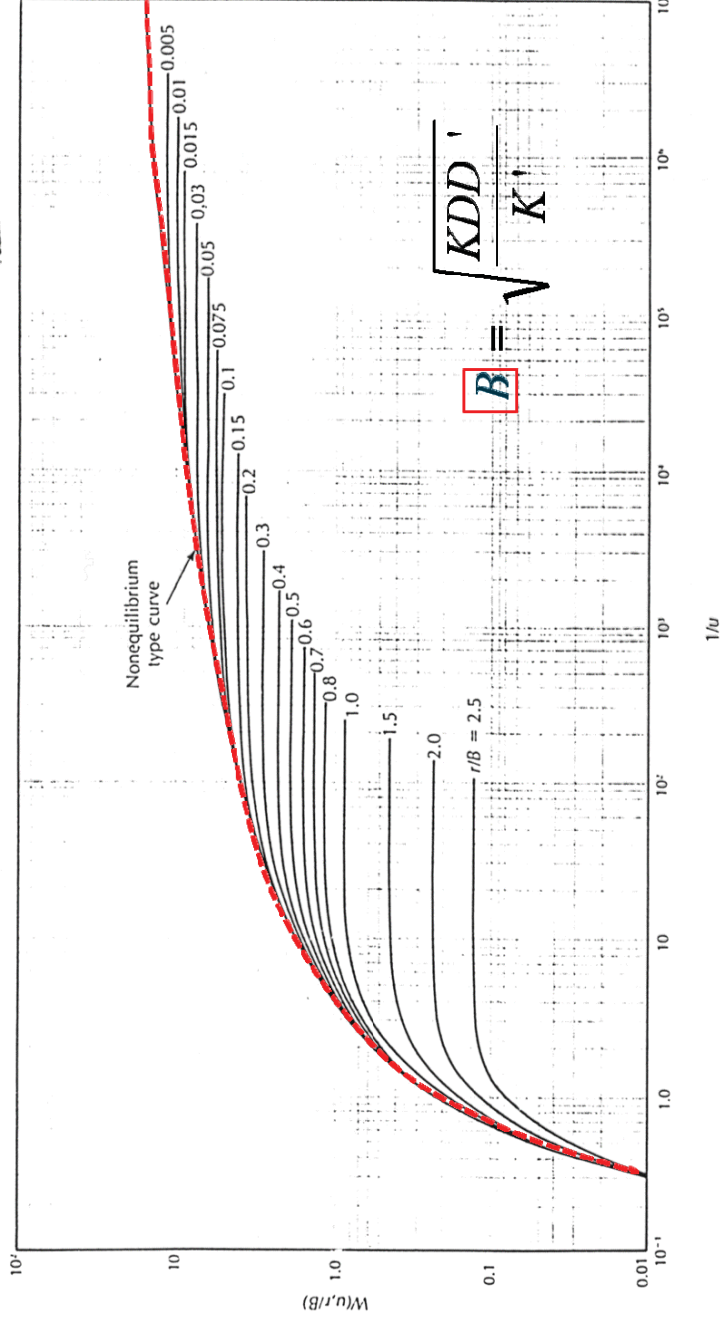
PROVE DI FALDA

Soluzione di HANTUSH - JACOB (1955)

(semiconfinato - incompressibilità)

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi KD} W(u, r/B) \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Hantush-Jacob \dashrightarrow Theis



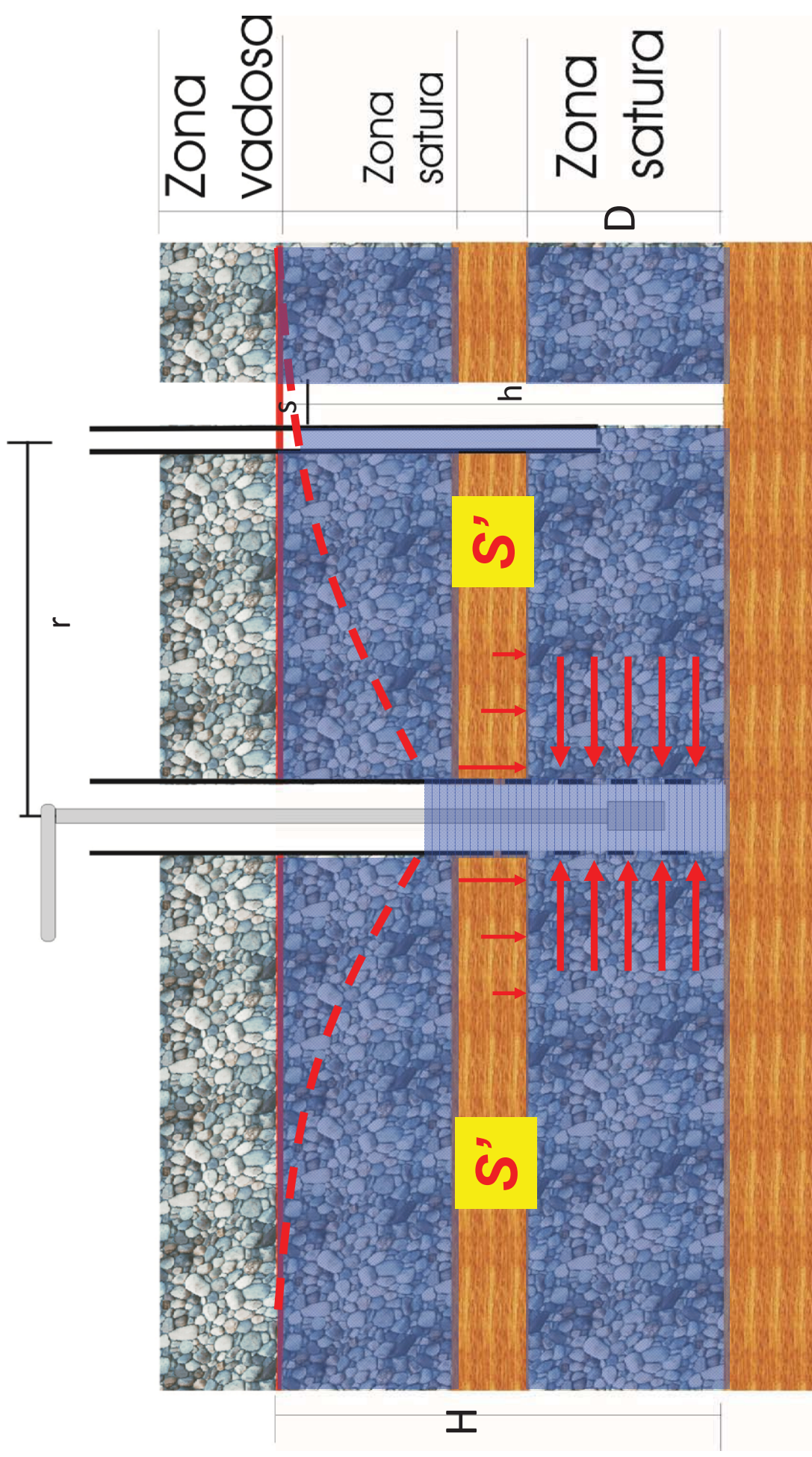
Mahdi Hantush



C. E. Jacob

ACQUIFERO SEMICONFINATO

(compressibile $\rightarrow \underline{S'}$)



ACQUITARDO COMPRESSIBILE

Qualora l'acquitrardo sia **compressibile** comparirà anche **S'**

Soluzione di **HANTUSH** (1960)

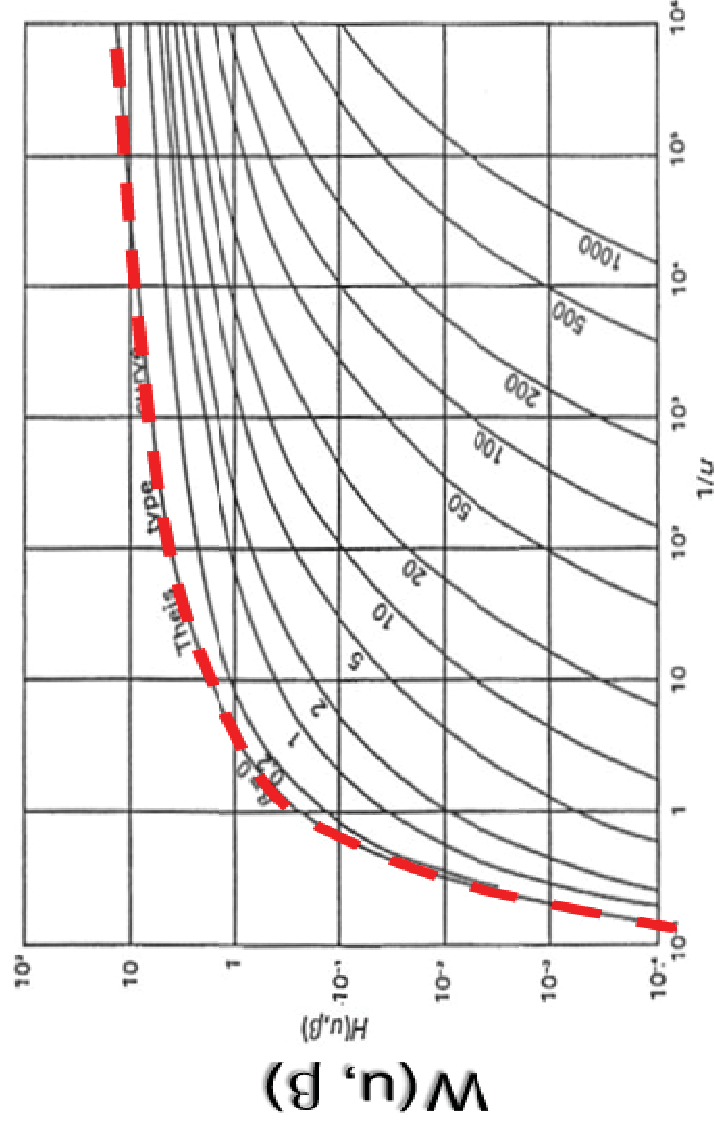
(semiconfinato - compressibilità)

$$\beta = \frac{r}{4B} \sqrt{\frac{S'}{S}} \quad B = \sqrt{\frac{KDD'}{K'}}$$



Mahdi Hantush

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u, \beta)$$



CONFINATO

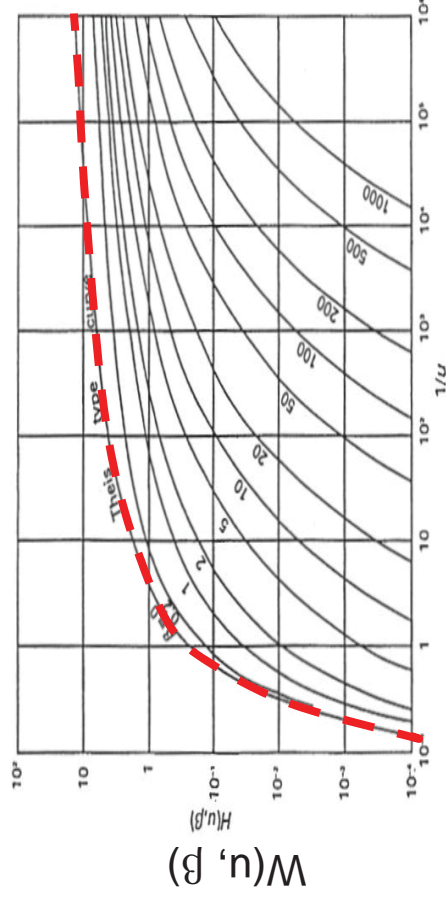
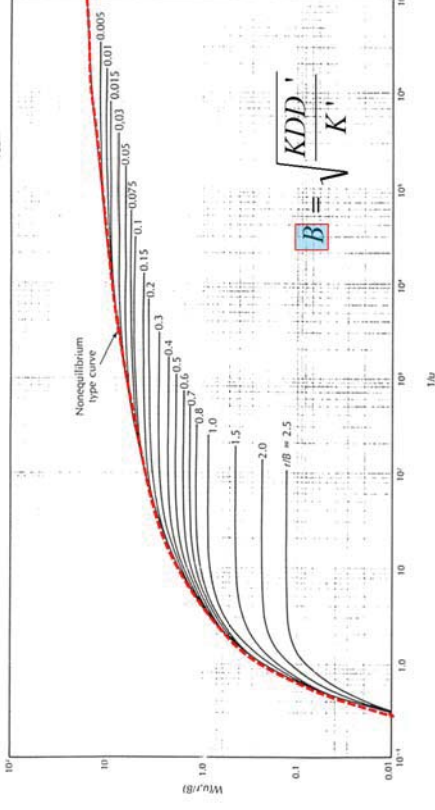
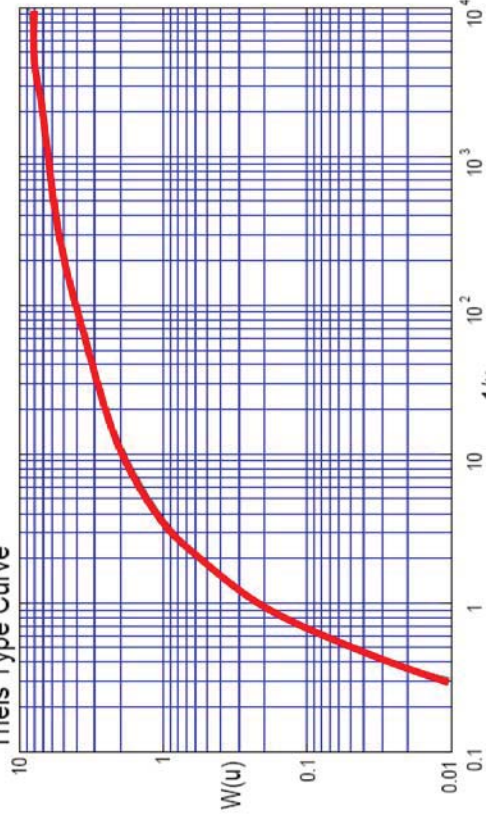
$$\boxed{} = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

SEMICONFINATO

$$\boxed{B} = \sqrt{\frac{KDD'}{K'}} = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

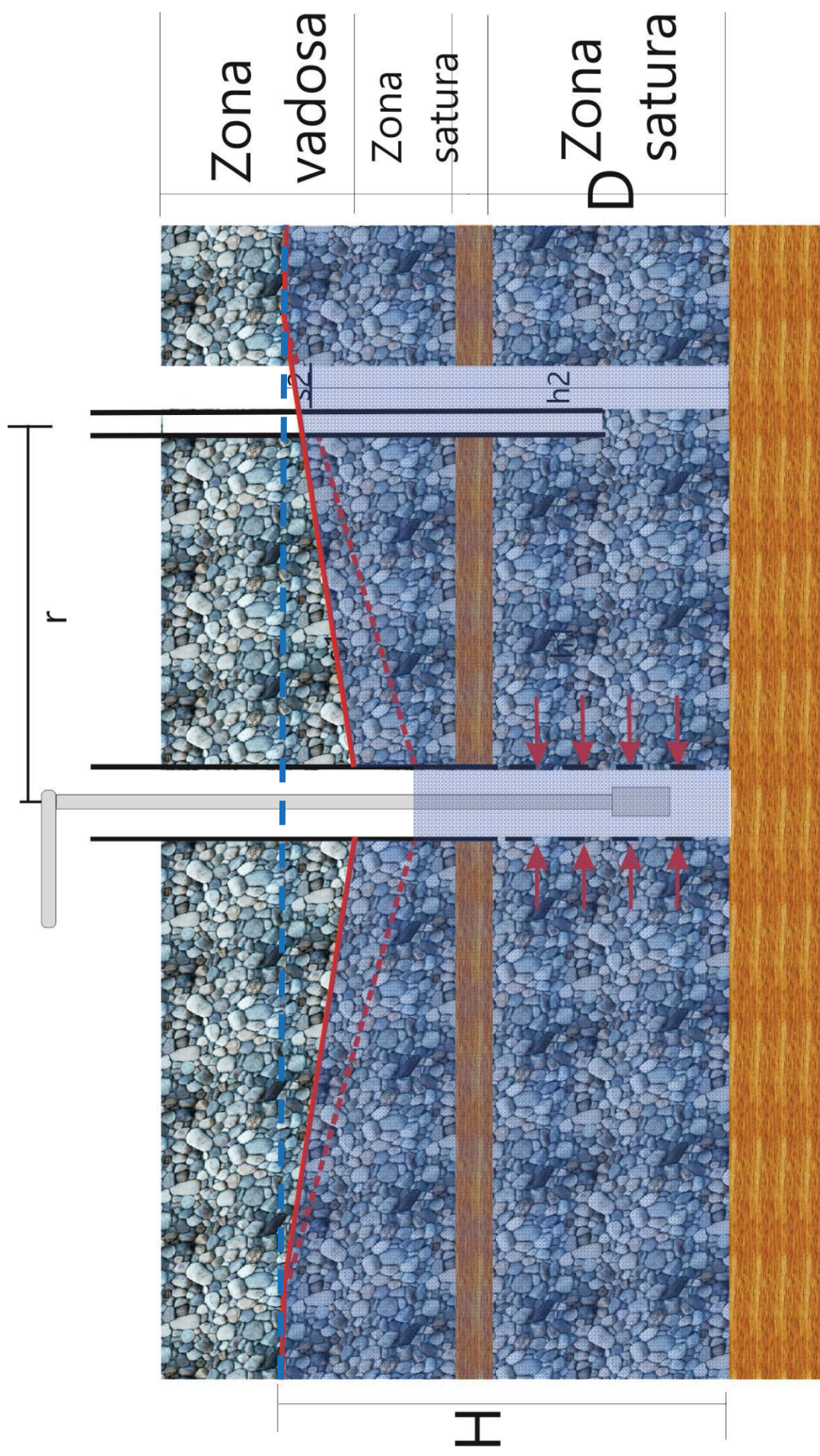
$$\boxed{} = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad \boxed{\beta} = \frac{r}{4B} \sqrt{\frac{S'}{S}}$$

Theis Type Curve



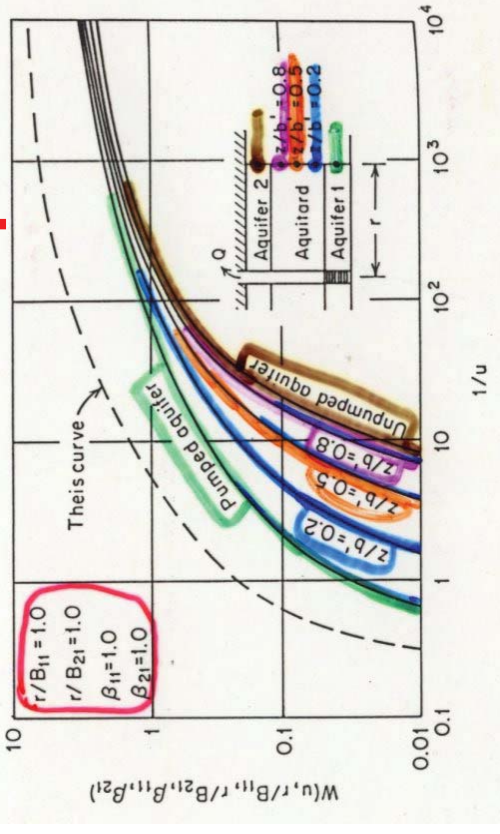
ACQUIFERO SEMICONFINATO

(compressibile \rightarrow S' + acquifero freatico)



NEUMAN - WITHERSPOON (1969)

(considera sia S' che acquifero sovrastante)



$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W\left(u; \frac{r}{B}; \frac{r}{B''}; \beta; \beta''\right)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

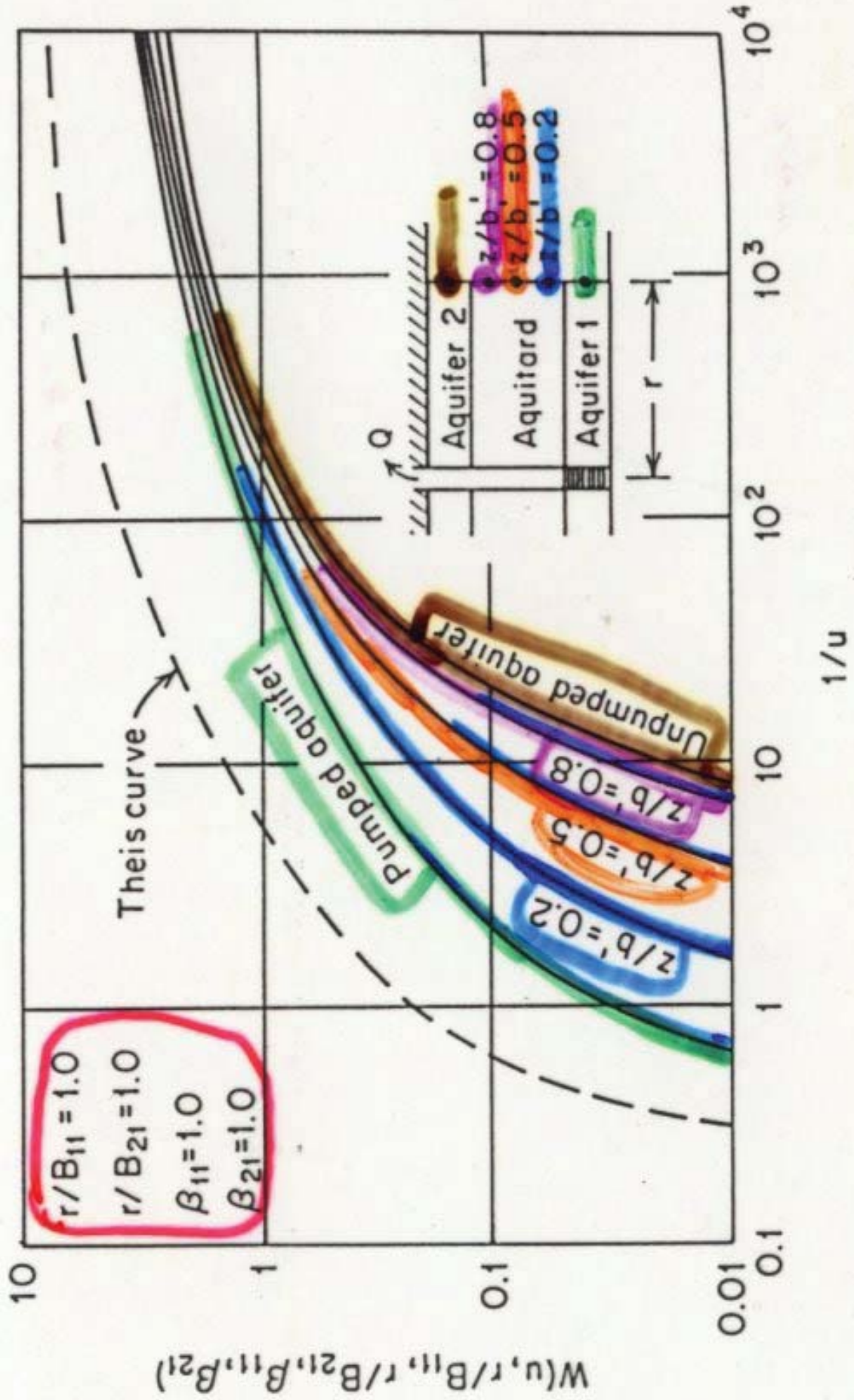
$$\frac{r}{B} = r \sqrt{\frac{K'}{KDD}}$$

$$\frac{r}{B''} = r \sqrt{\frac{K'}{K''D''D'}}$$

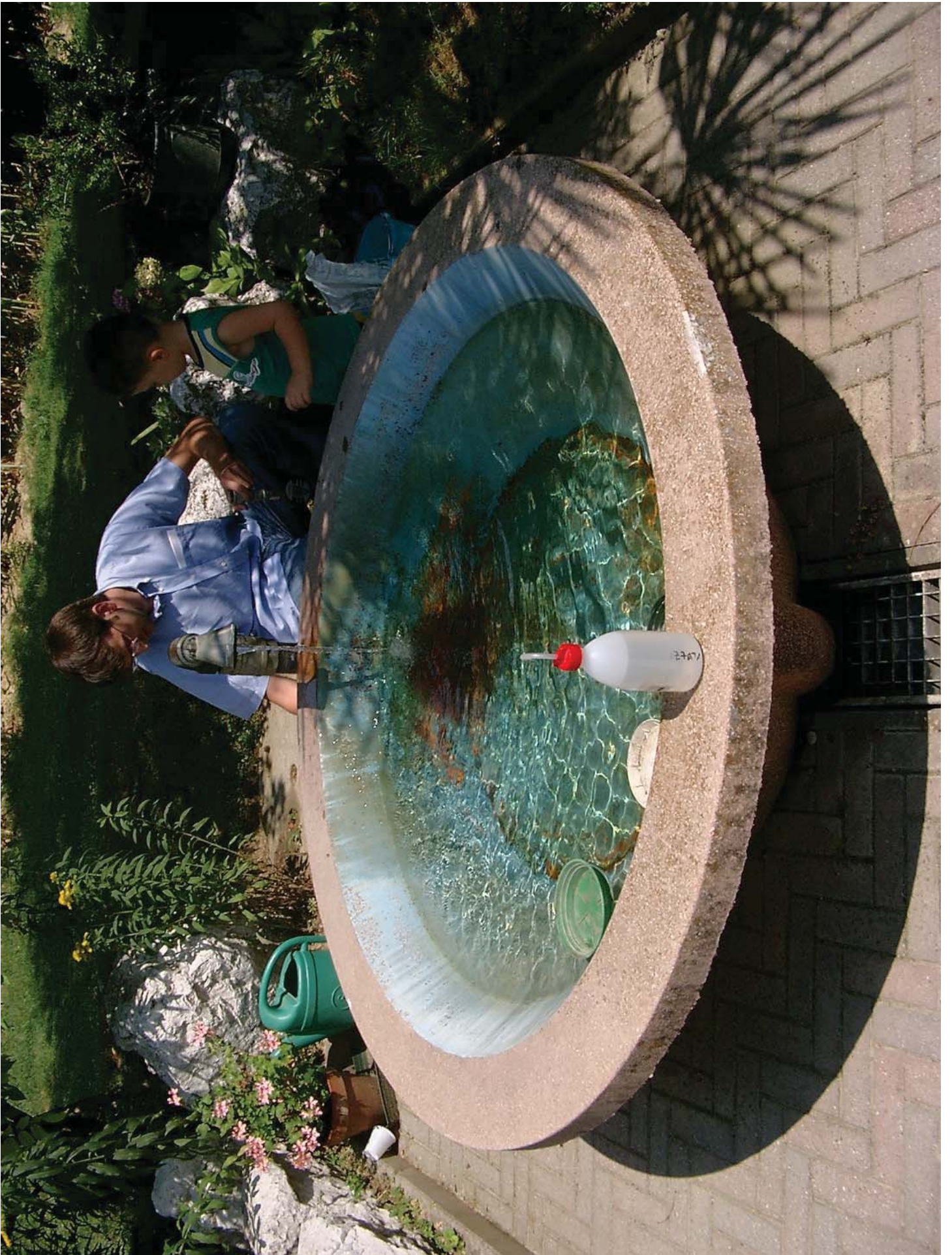
$$\beta = \frac{r}{4B} \sqrt{\frac{S'}{S}}$$

$$\frac{r}{4B} \sqrt{\frac{S'}{S}} = \frac{r}{4} \sqrt{\frac{K' S'}{KDD' S}}$$

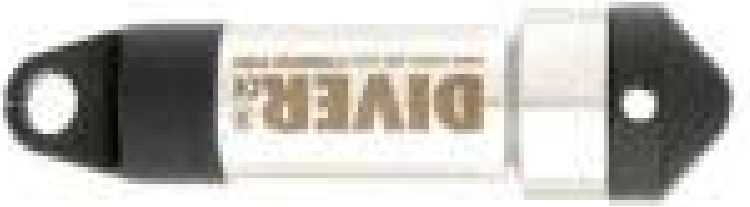
$$\beta'' = \frac{r}{4D''} \sqrt{\frac{K' S'}{K'' S''}}$$



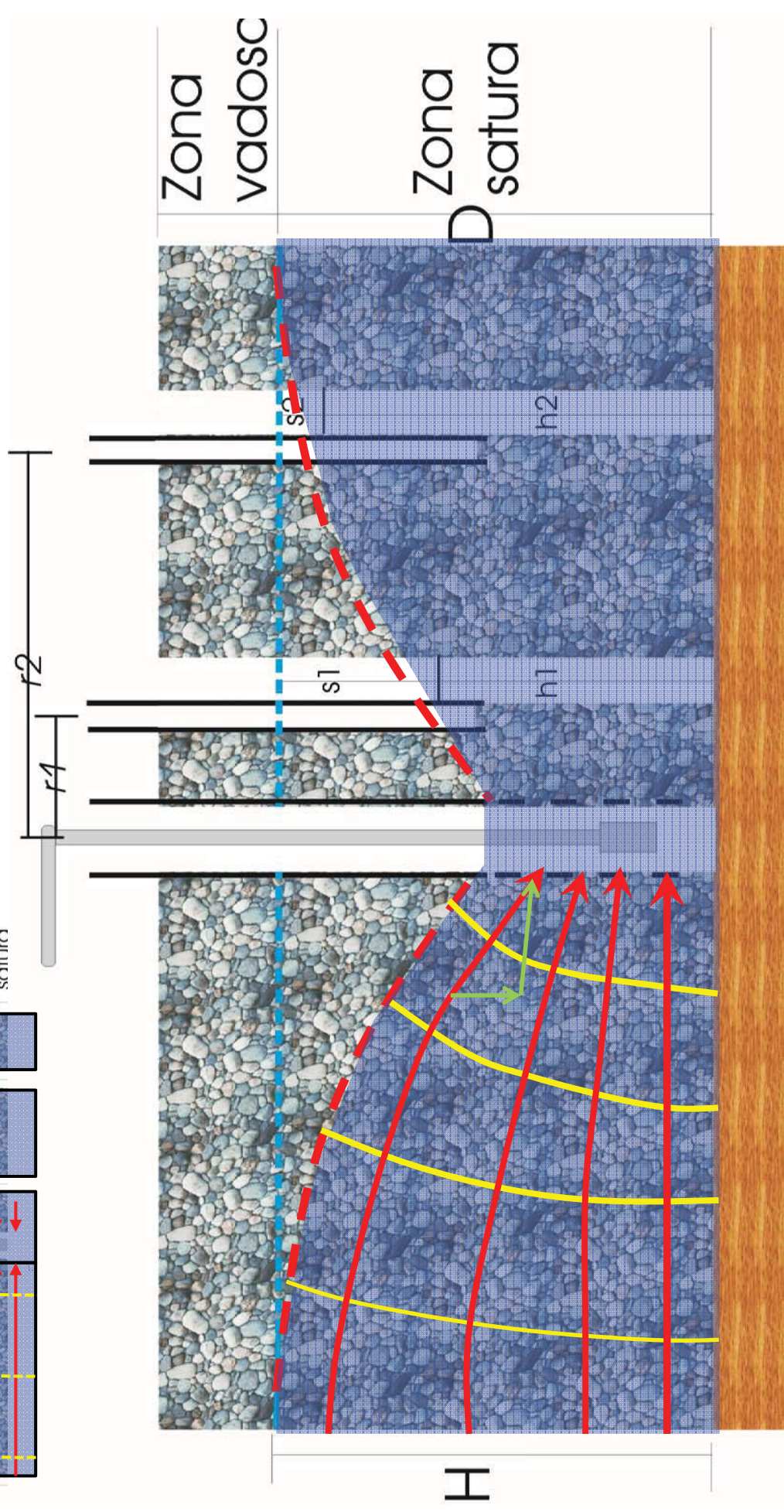
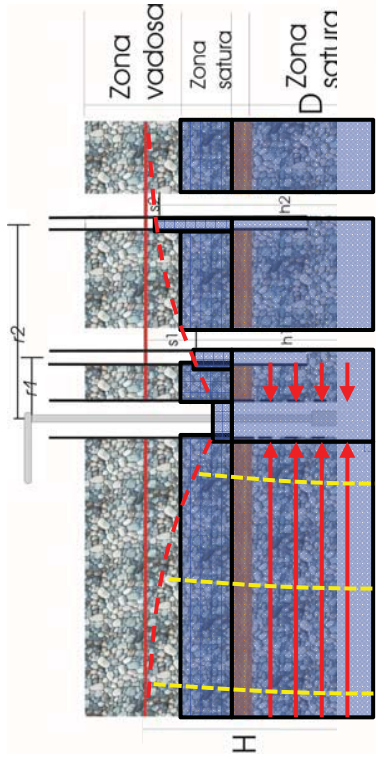








ACQUIFERO LIBERO



Acquifero Libero

- In molti casi si considerano acquiferi confinati quando gli abbassamenti sono molto piccolo rispetto allo spessore del saturo
- Ci sono 3 fasi distinte nella risposta di un acquifero libero
 - **Stadio iniziale** risposta segue Theis con acqua proveniente solo da immagazzinamento S
 - **Stadio intermedio** cosiddetto “*drenaggio ritardato*” con flusso verticale K_r/K_z
 - **Stadio terminale** risposta segue Theis con immagazzinamento (S_y)

PROVE DI FALDA (non stazionario)

Soluzione di NEUMAN (1972)

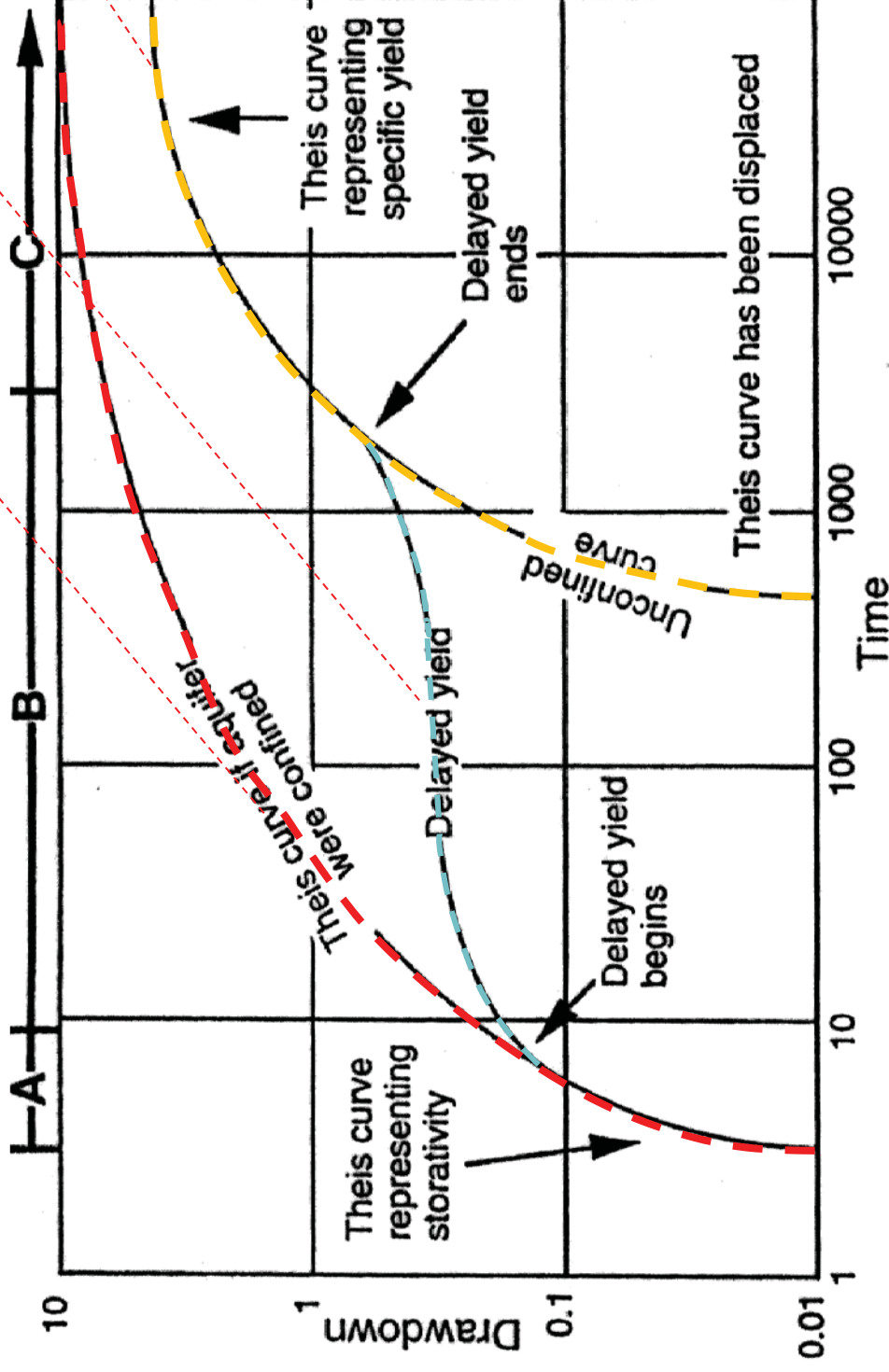
$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u_a, u_b, \eta)$$

$$\frac{r^2 S}{4Tt} \Rightarrow \frac{r^2 S}{4Tt}$$

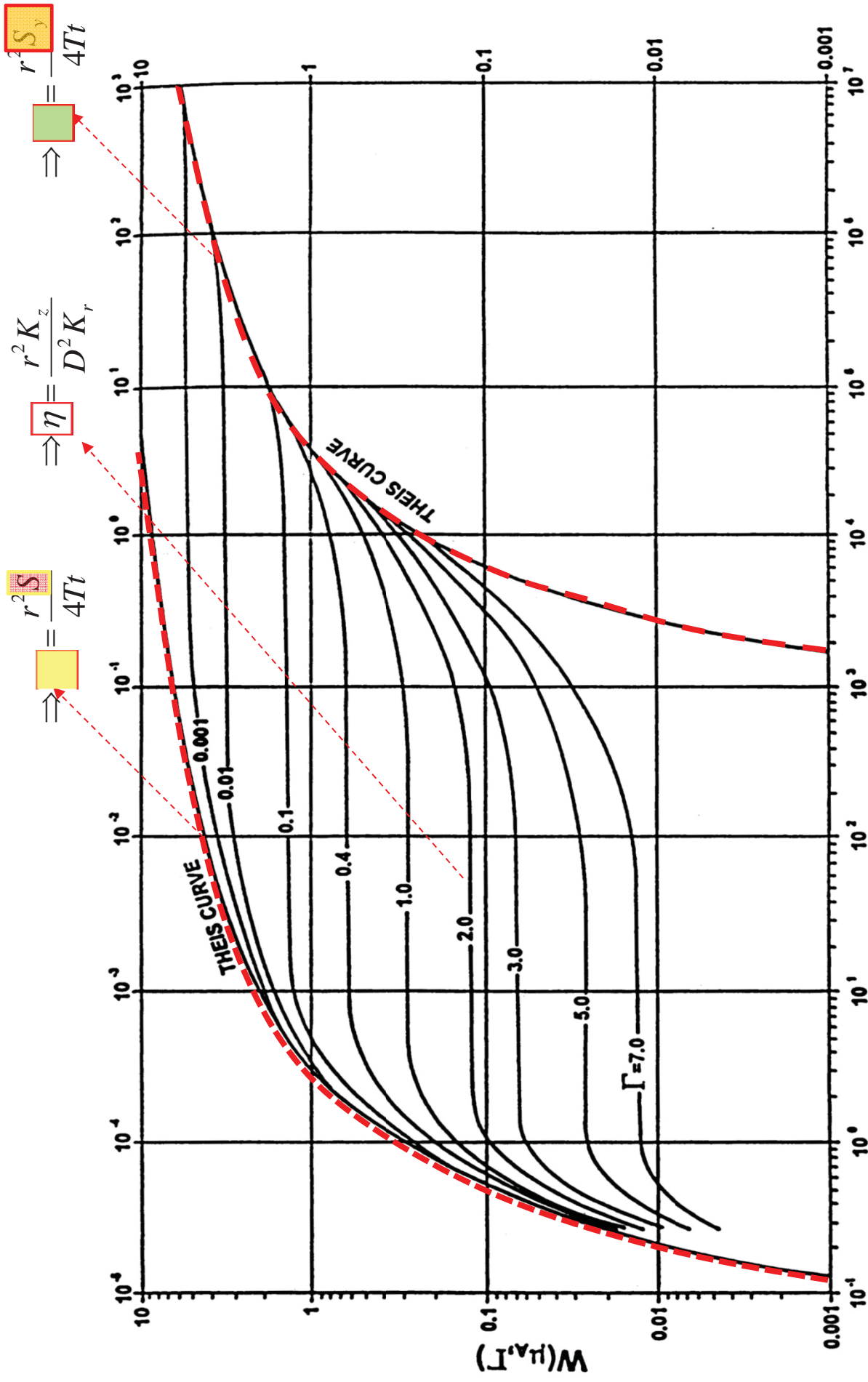
$$\eta = \frac{r^2 K_z}{D^2 K_r}$$

$$\frac{r^2 S}{4Tt} = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

(non confinato)



$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi I} W(u_a, u_b, \eta)$$



$1/\mu_A$ (EARLY-TIME DATA)

Higher values of η indicate **more rapid** gravity drainage

CONFINATO

Soluzione di Theis (1935) $s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$

SEMICONFINATO

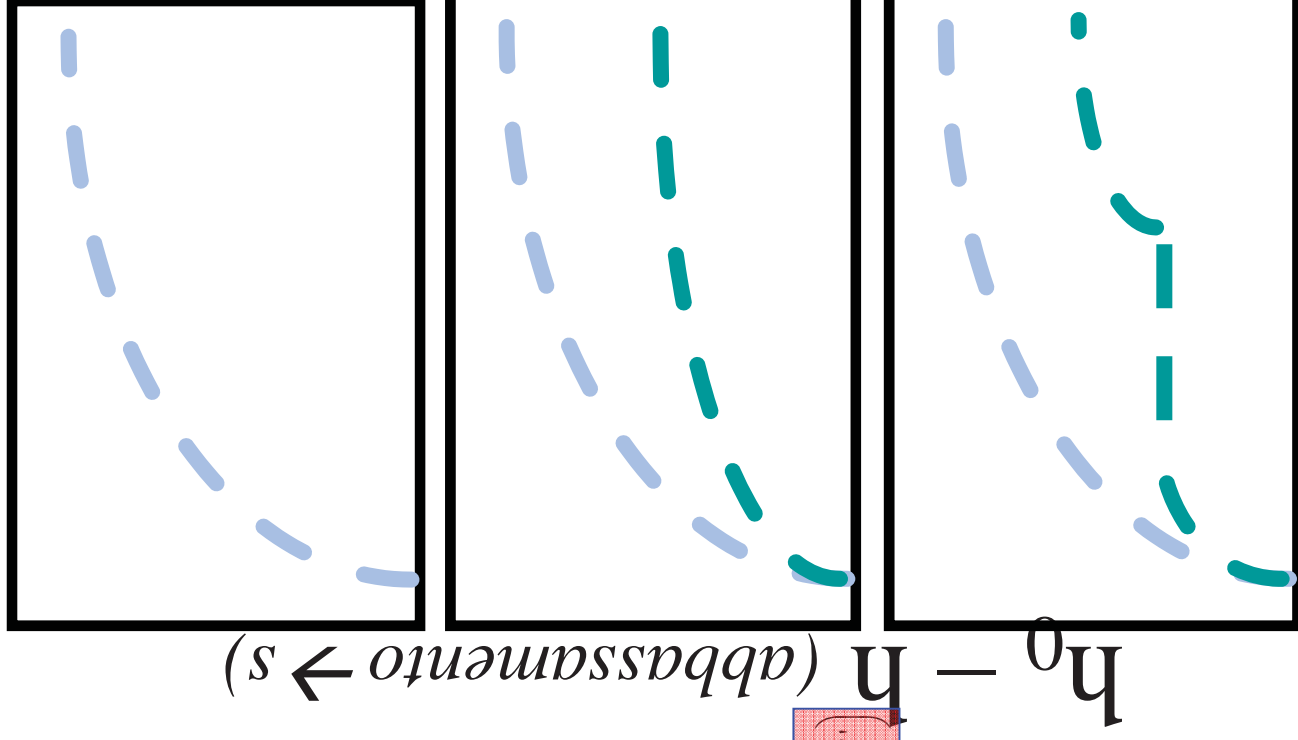
Soluzione di Jacob - Hantush $s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B)$

Soluzione di Hantush $s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} H(u, \beta)$

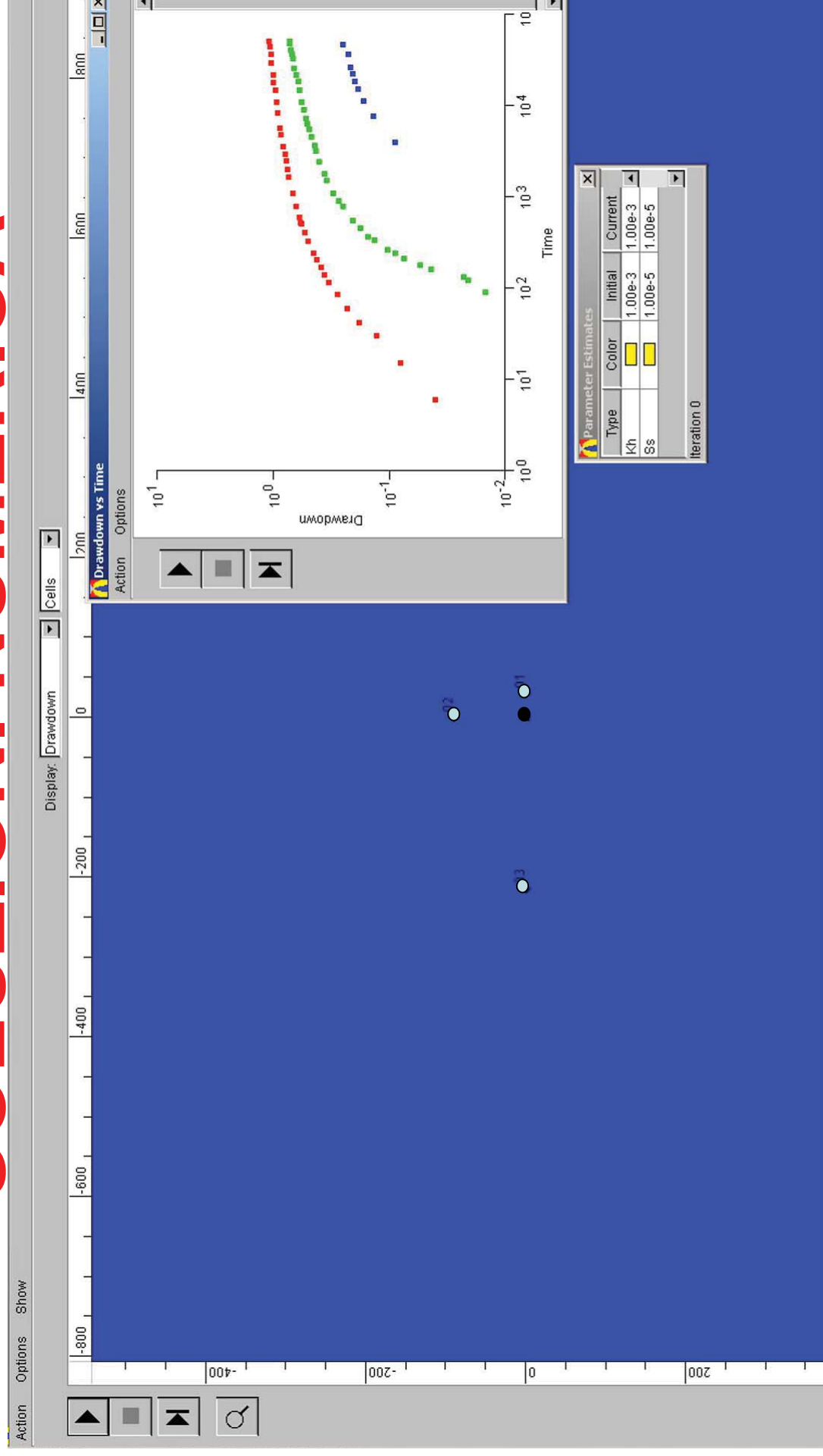
Soluzione Neuman - Witherspoon $s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B, \beta, \beta')$

NONCONFINATO

Soluzione di Neuman $s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u_a, u_b, \eta)$

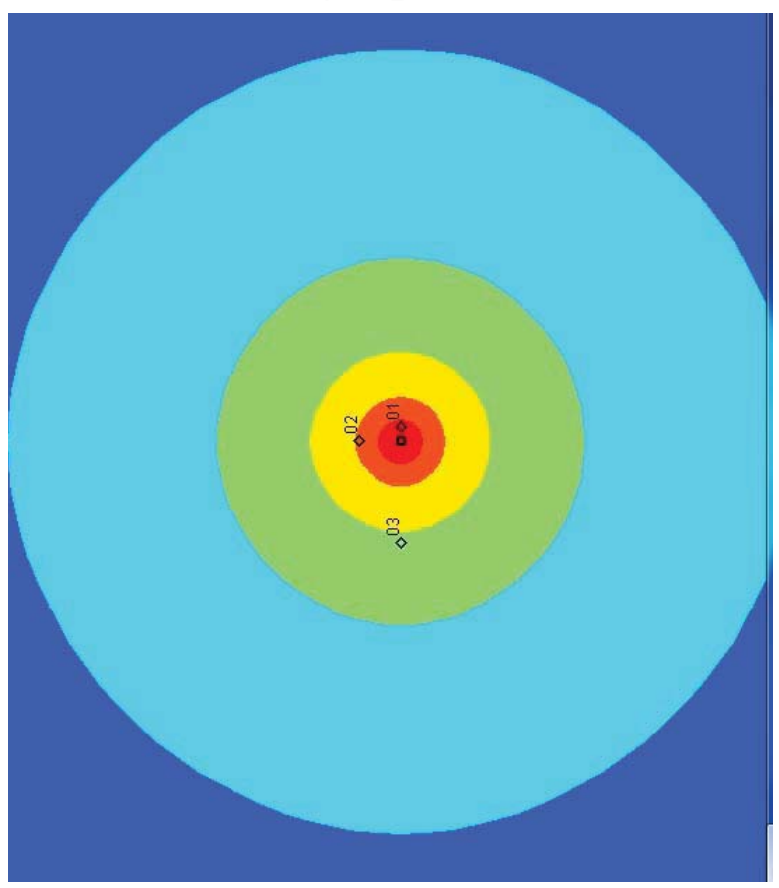
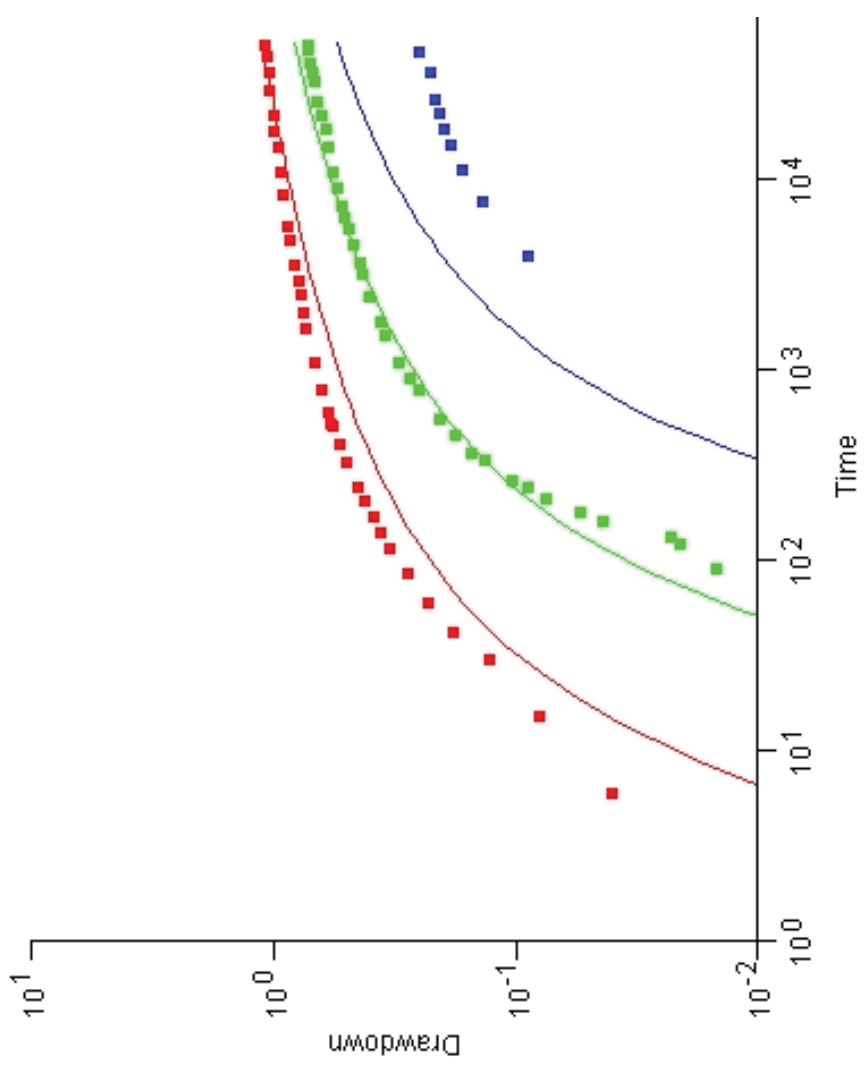


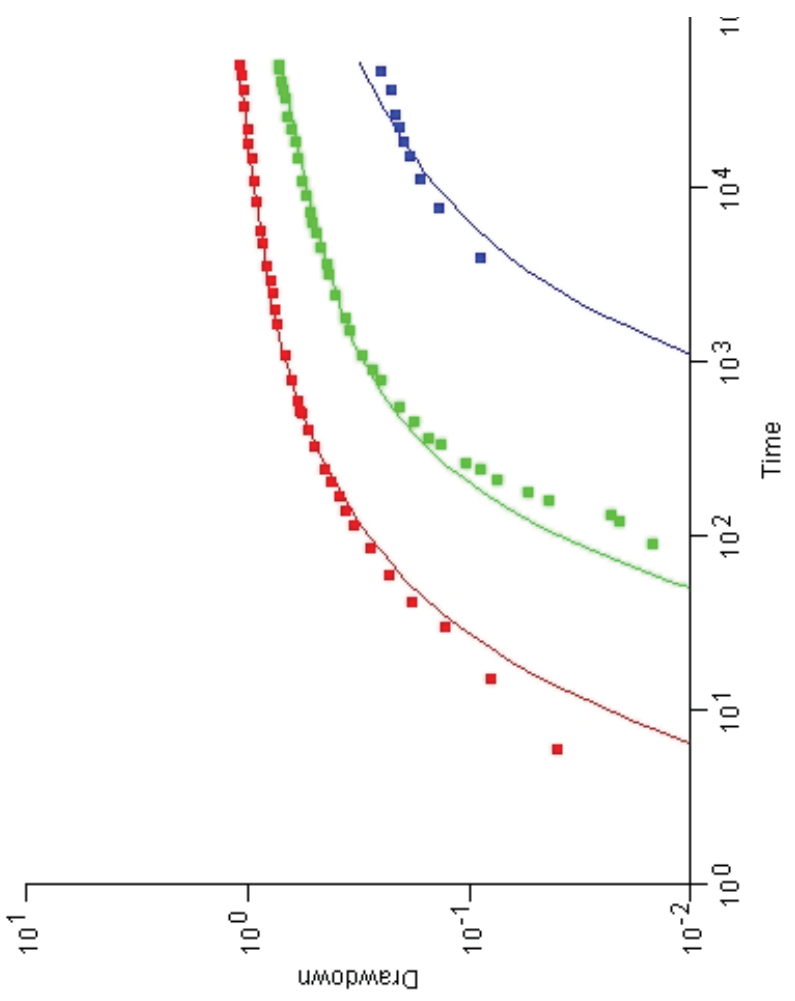
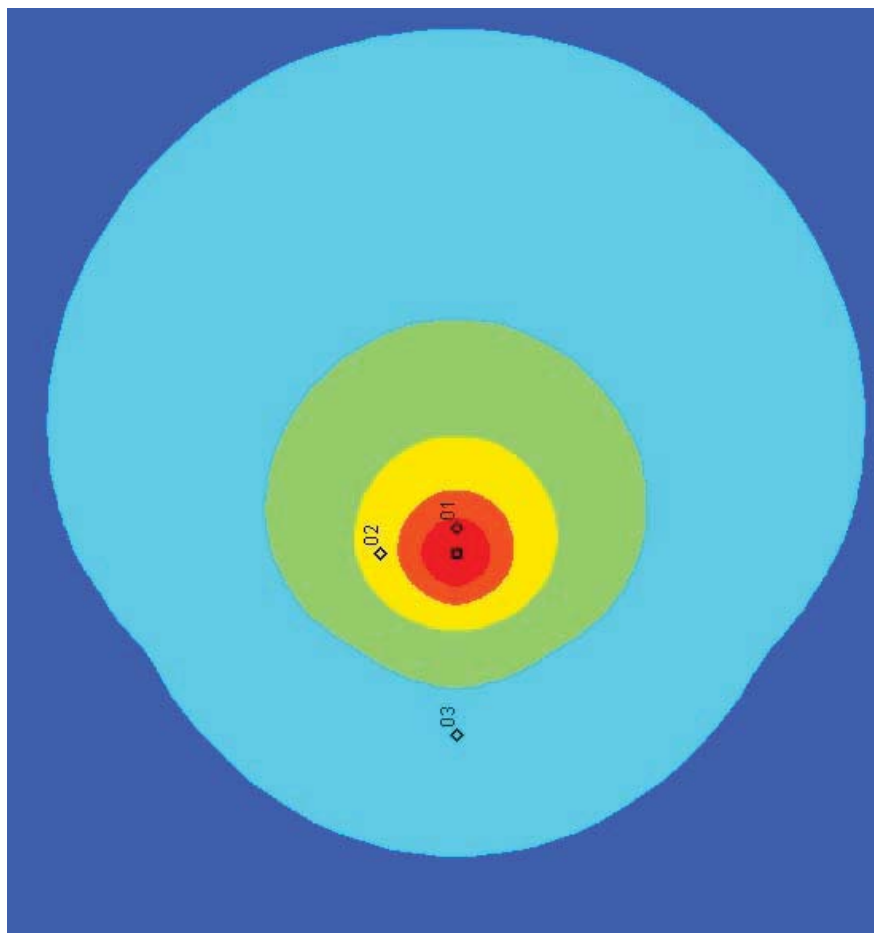
SOLUZIONI NUMERICA



Necessità di **modello idrogeologico corretto**

Trial and error → Se risultato teorico non riproduce quello sperimentale → **modello idrogeologico non corretto!**

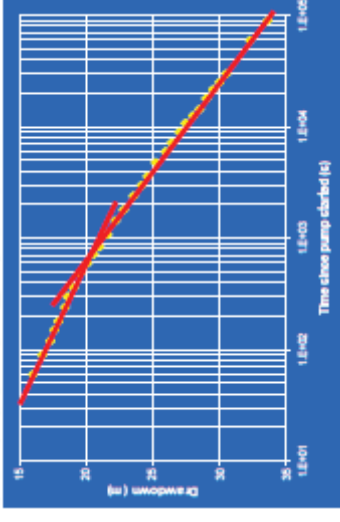




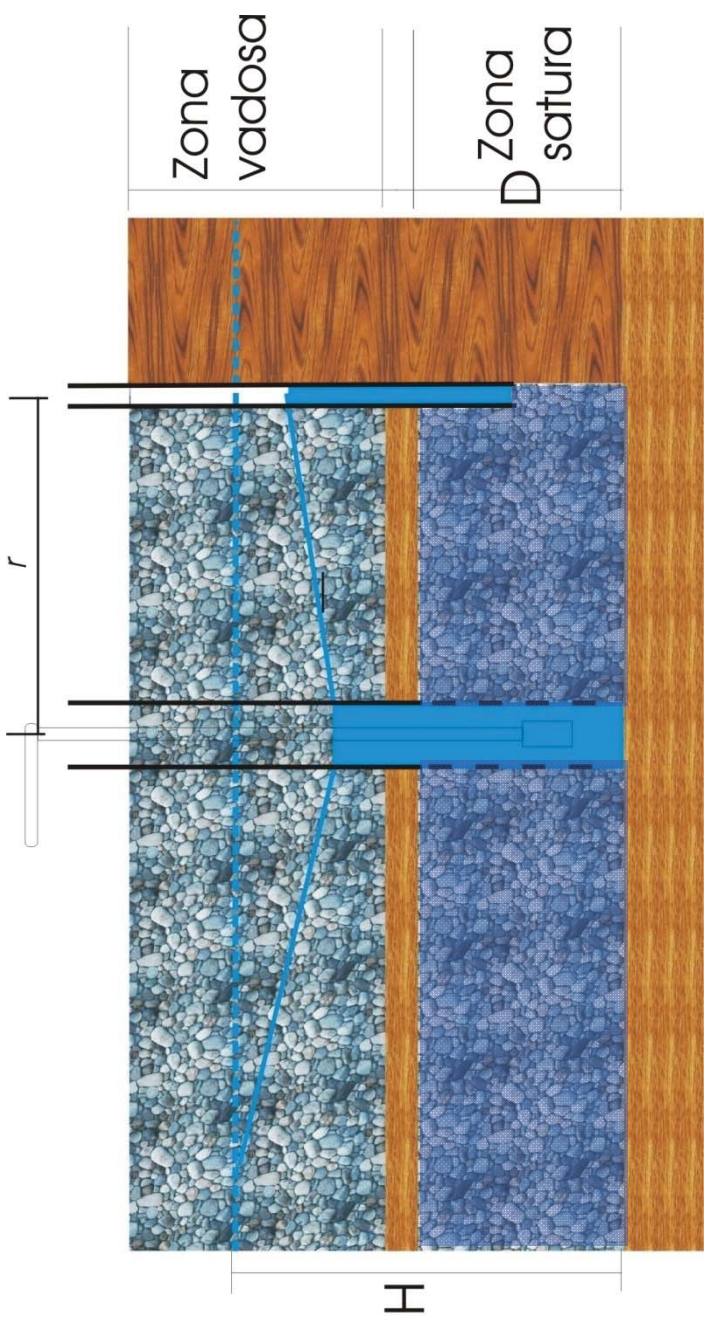
TEORIA POZZO IMMAGINE

Assunzioni di acquifero INFINITO

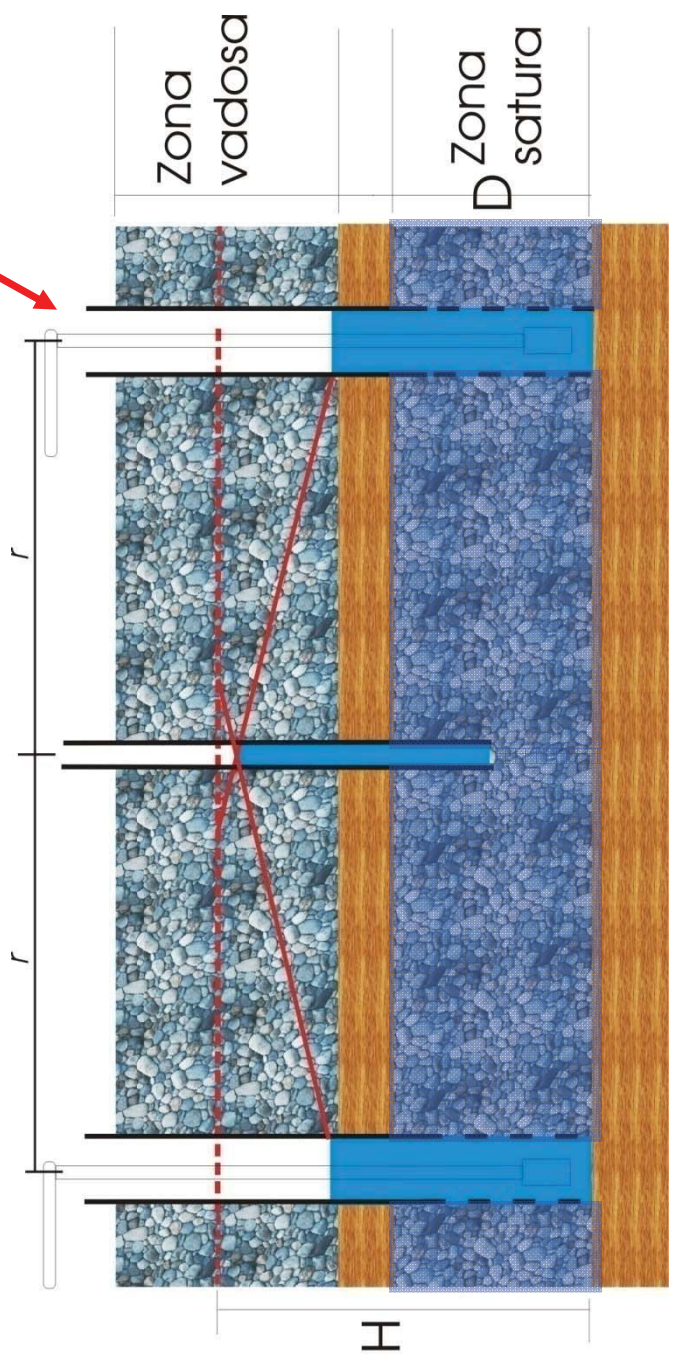
Realtà possono esserci → **LIMITI**



- 1) **Barriera di permeabilità**: non c'è flusso attraverso la barriera
- Ipotesi di acquifero infinito dove esiste sia il mio pozzo **P** che un **POZZO IMMAGINE "I"** in pompaggio posto ad uguale distanza dalla barriera ma dalla parte opposta. "I" estrae con Q nello stesso istante di P.
- **PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE**: sul limite abbassamento **DOPPIO**



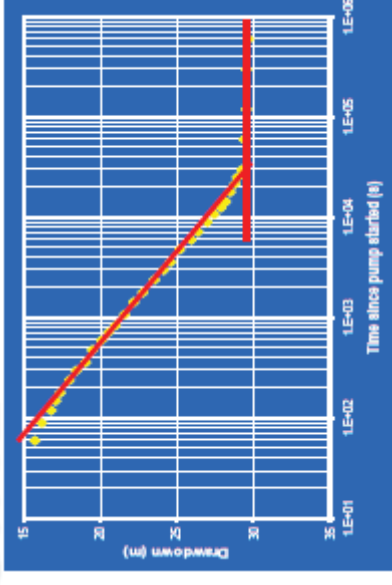
**POZZO
IMMAGINE**



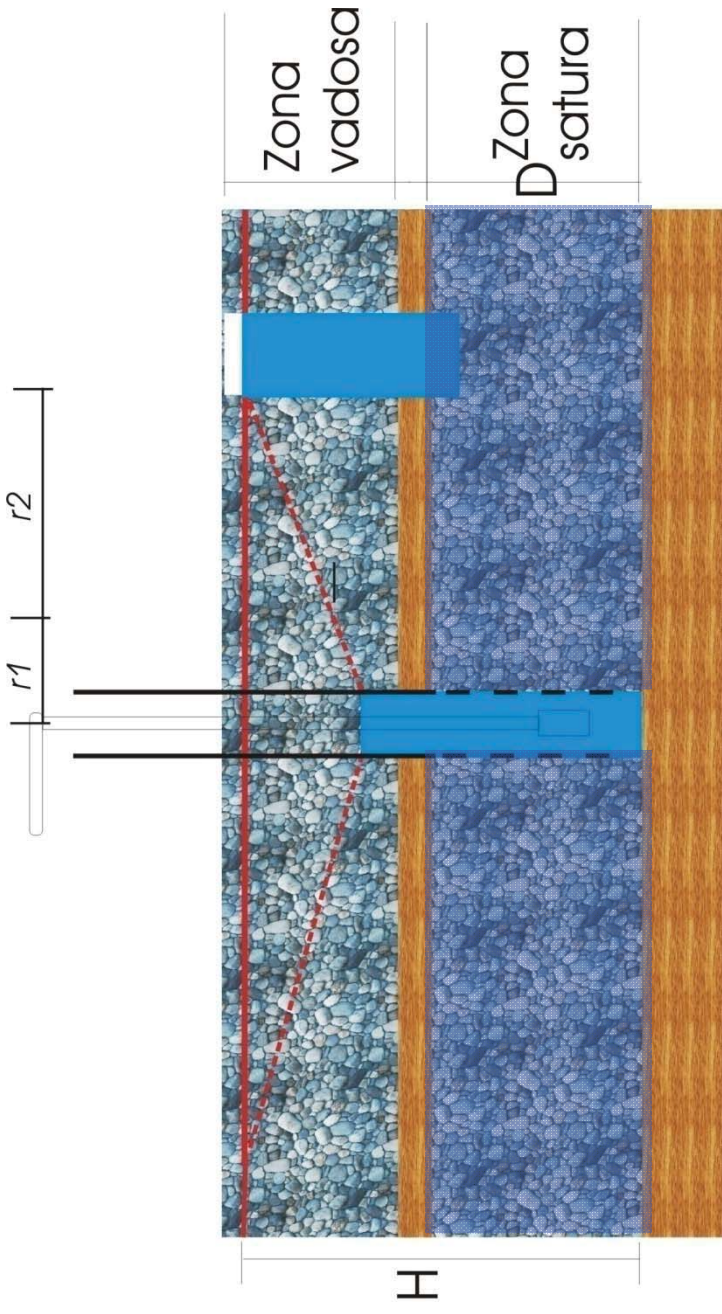
POZZO IMMAGINE

Assunzioni di acquifero INFINITO

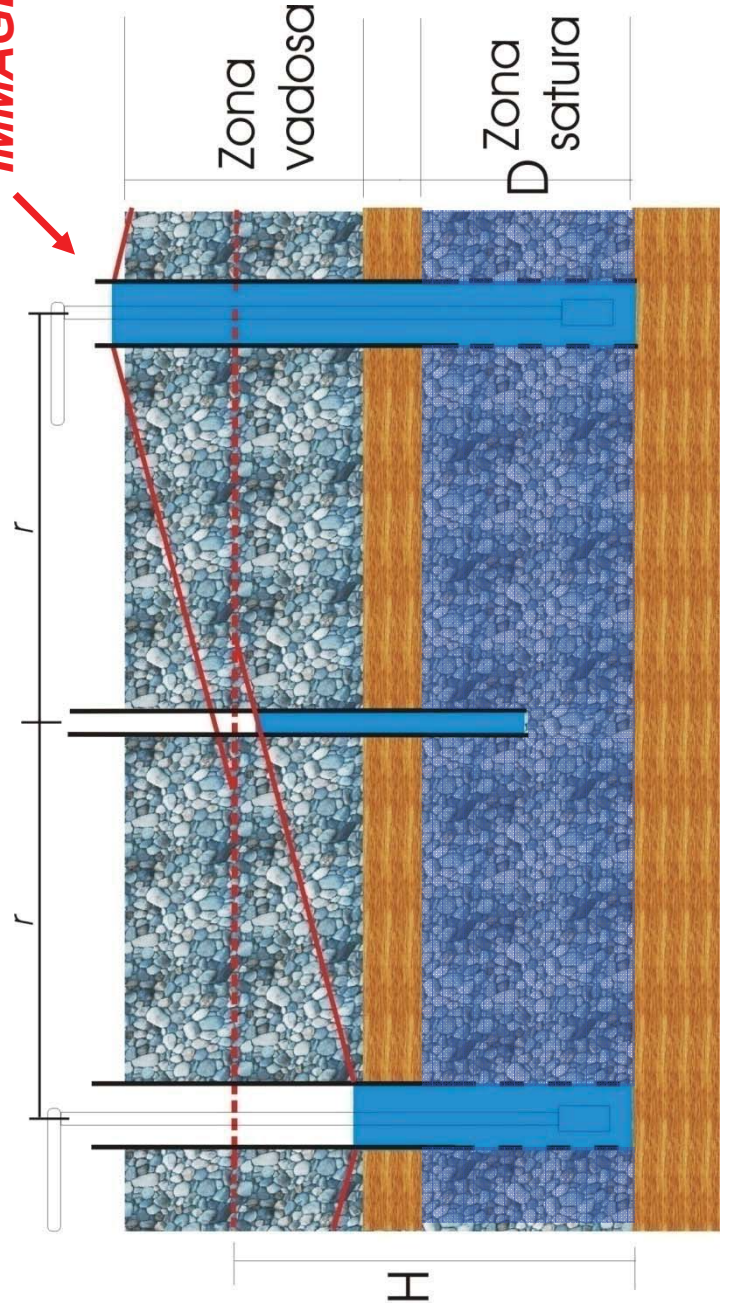
Nella realtà → LIMITI



- 2) **Fiume**: il livello rimane costante
- Ipotesi di acquifero infinito dove esiste sia il mio pozzo **P** che un **POZZO IMMAGINE "I"** in ricarica posto ad uguale distanza dalla barriera ma dalla parte opposta. "I" immette una Q nello stesso istante di P.
- **PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE**: sul limite abbassamento **NULLO**



**POZZO
IMMAGINE**



SOLUZIONE THEIS

- Nel limite abbassamento **sommato**, nell'alimentazione abbassamento **sottratto**

$$s = s_p \pm s_i = \frac{Q}{4\pi KD} [W(u_p) \pm W(u_i)]$$

$$u_p = \frac{r_p^2 S}{4Tt}; u_i = \frac{r_i^2 S}{4Tt}$$

RISALITA

- **IOTESI**: risalita del livello a causa di un **pozzo immaginario** che inizia la sua azione allo stop del pompaggio con una Q di ricarica = alla Q di emungimento
- In base a principio di sovrapposizione:

$$s'(r, t) = \frac{Q}{4\pi KD} [W(u) - W(u')]$$

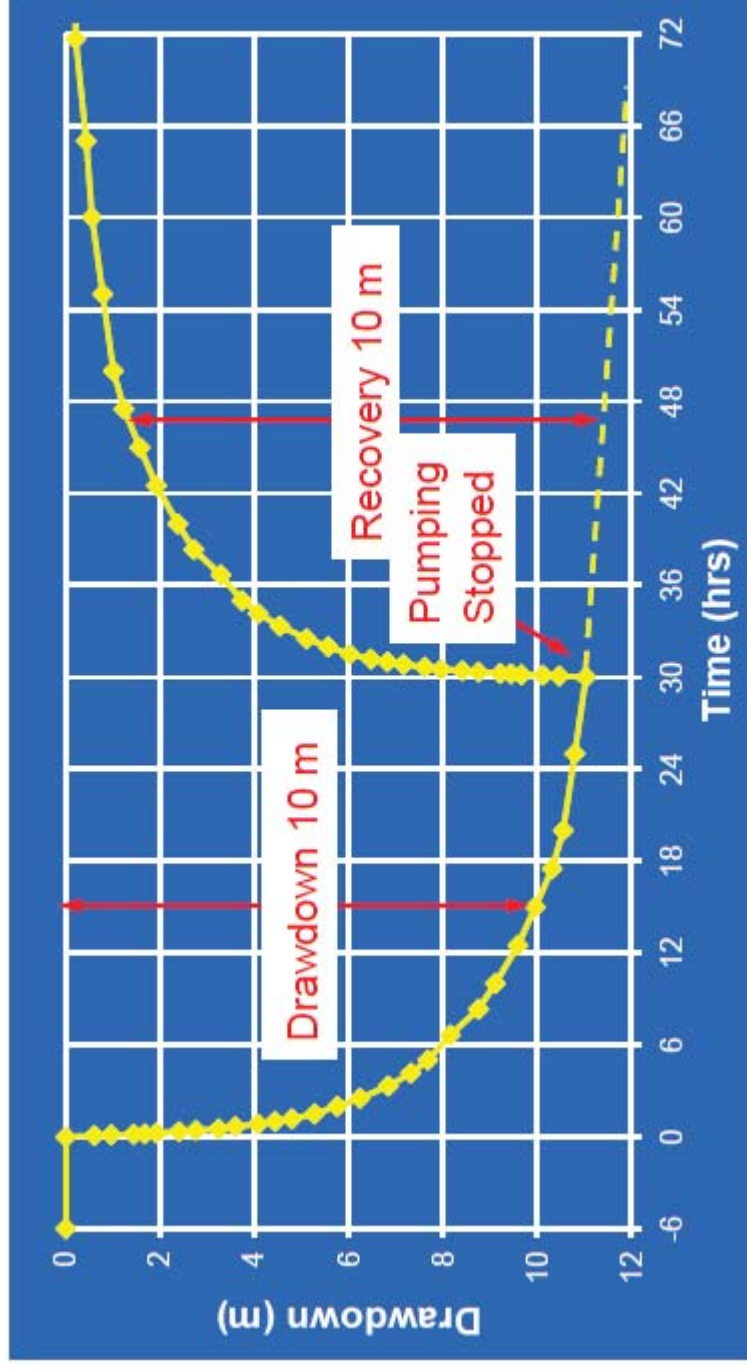
$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}; u' = \frac{r^2 S'}{4Tt'} \Rightarrow u; u' < 0.01$$



$$\Rightarrow s'(r, t) = \frac{Q}{4\pi KD} \left(\ln \frac{4KDt}{r^2 S} - \ln \frac{4KDt'}{r^2 S'} \right)$$

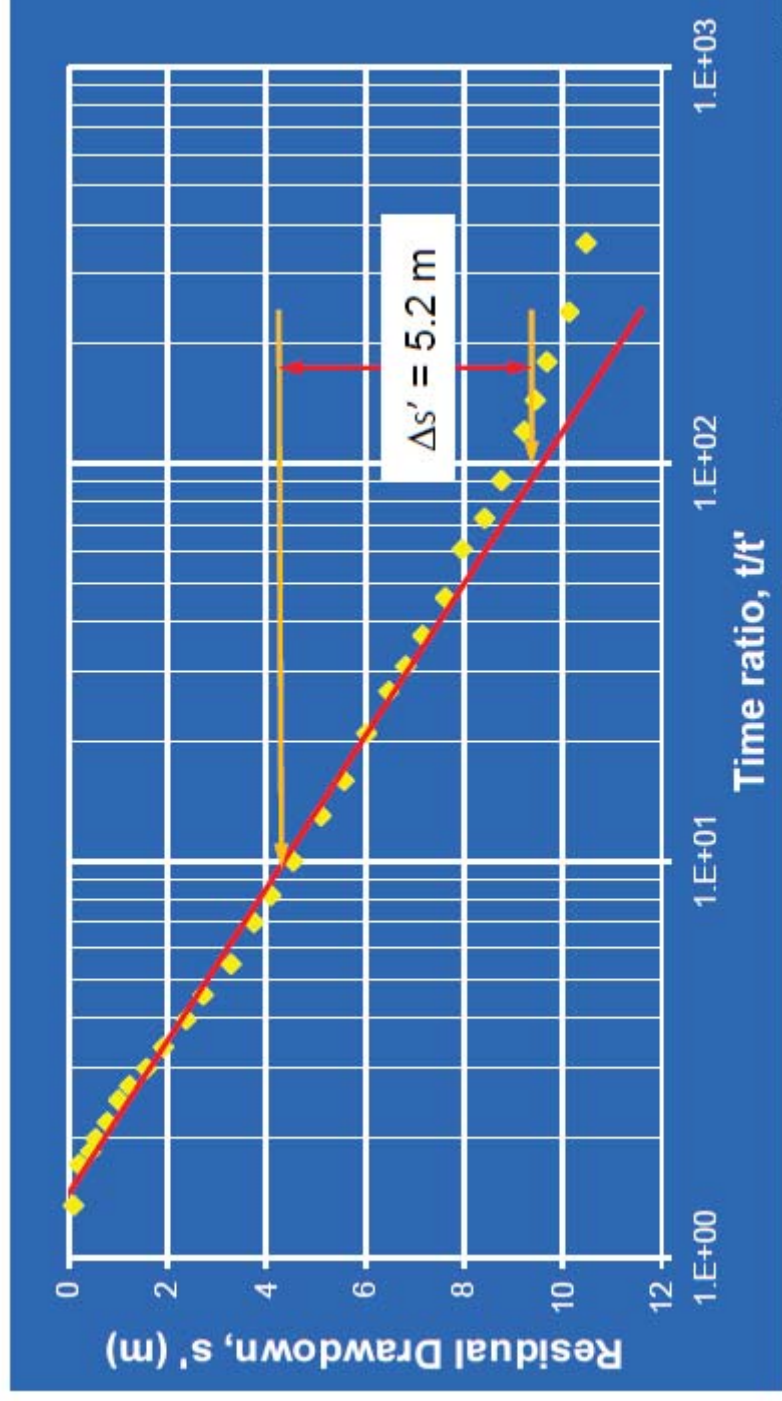
Dove **t** = tempo dall'inizio del pompaggio e **t'** = tempo dalla fine del pompaggio

Recovery Curve



The recovery curve on a linear scale appears as an **inverted image** of the drawdown curve. The **dotted line** represent the continuation of the drawdown curve.

Risalita



Trasmissività può essere calcolata dall'abbassamento residuo (s') rispetto al $\log(t/t')$

RISALITA

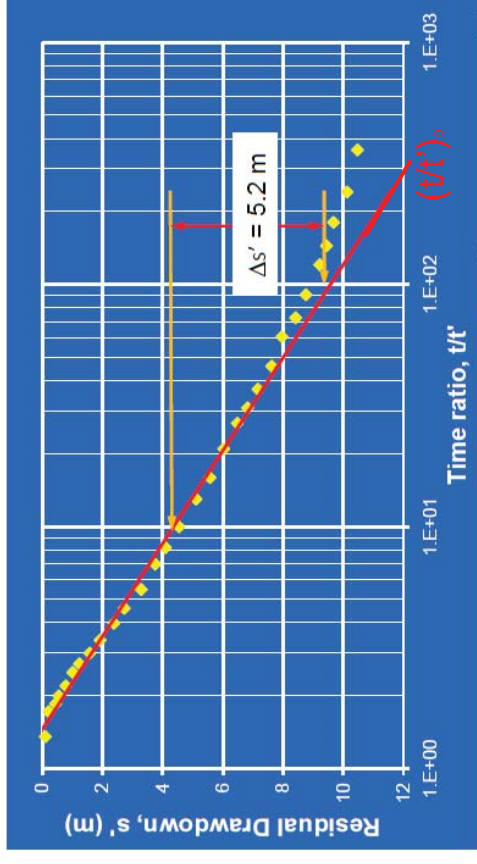
$$S = S' = \text{cost.}; \quad KD = \text{cost}$$

$$s'(r, t) = \frac{2,3Q}{4\pi KD} \log \frac{t}{t'} \Rightarrow s' \text{ vs } \log t / t' \Rightarrow m = \frac{2,3Q}{4\pi KD}$$

Se S ed S' costanti ma diversi la retta intercetta al punto $\log(t/t')_0$

$$0 = \frac{2,3Q}{4\pi KD} \left[\log \left(\frac{t}{t'} \right)_0 - \log \frac{S}{S'} \right]$$

$$\frac{2,3Q}{4\pi KD} \neq 0 \Rightarrow \log \left(\frac{t}{t'} \right)_0 - \log \frac{S}{S'} = 0 \Rightarrow \frac{S}{S'} = \left(\frac{t}{t'} \right)_0$$



PROVE DI FALDA



Misura dei parametri *in situ*



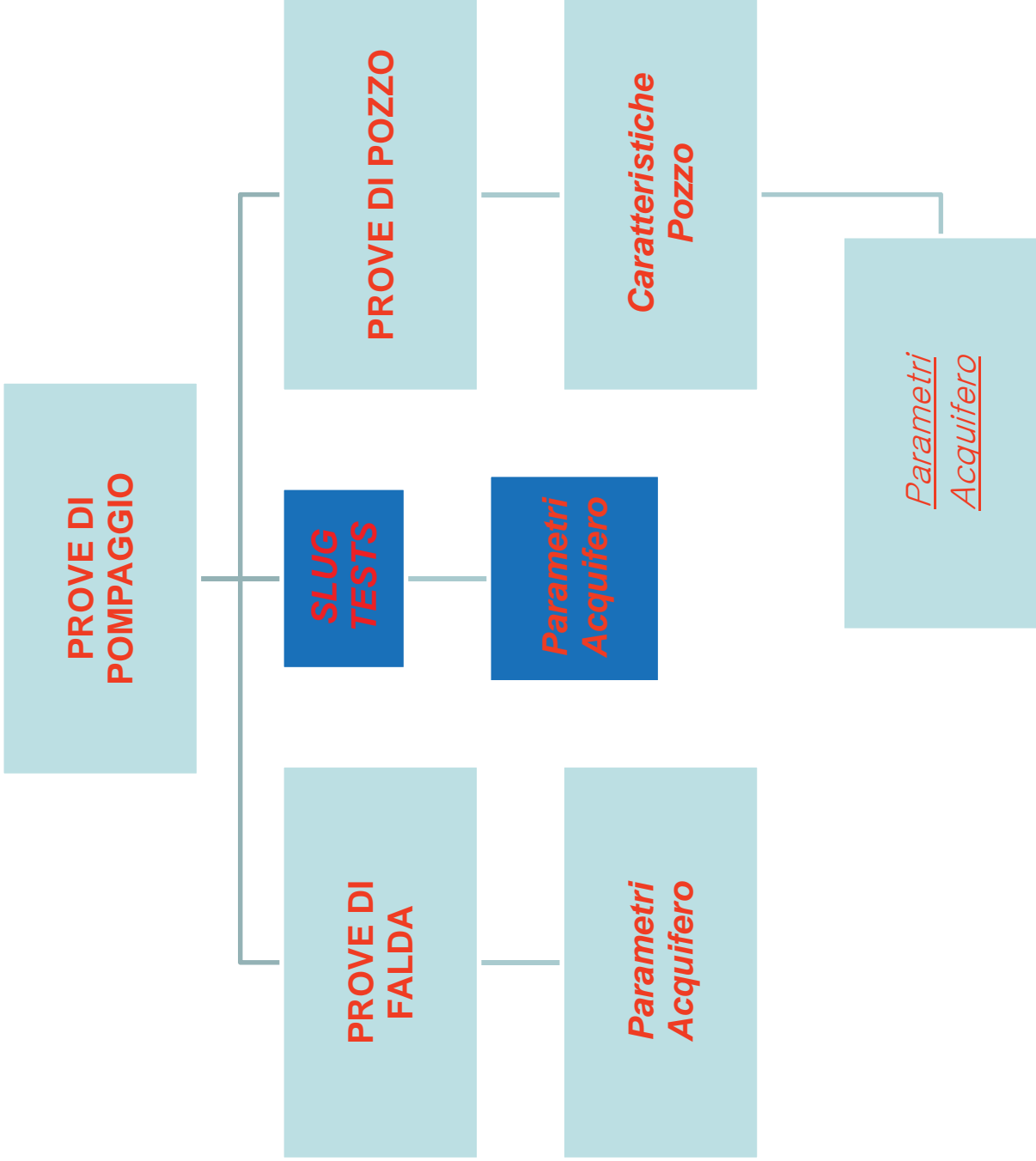
Media dei parametri su
un grande volume



Misura di T ed S simultaneamente

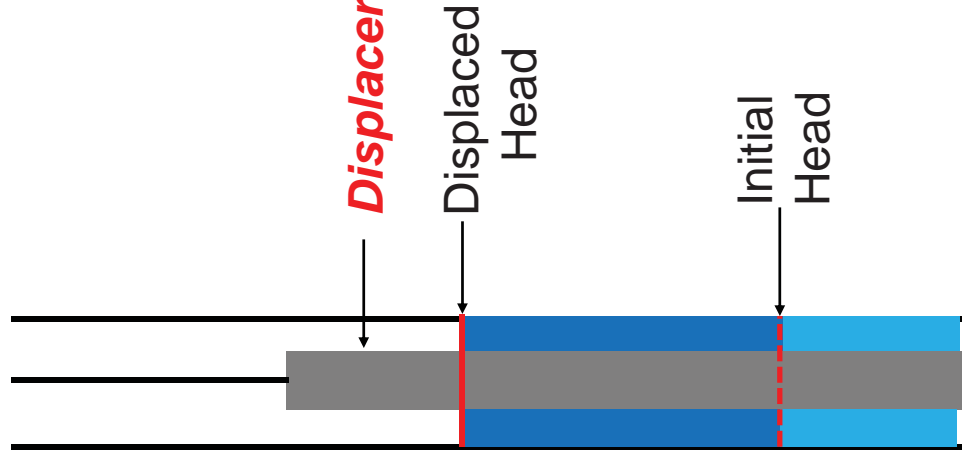
Possibili **costi** non trascurabili





Slug Test

- Pumping tests can be very expensive
- There are some problems of polluted fluids discharge



- The recovery test in a borehole after withdrawal or injection (or displacement) of a known volume of water is called a **SLUG TEST**
- The slug test is a **rapid field method** for estimation of **moderate to low K-values** in a **single well**.
 - The procedure is:
 - *initial head is noted*
 - *the slug is removed, added or displaced instantaneously (displacement is best in this respect)*
 - *head recovery is monitored (usually with a submerged pressure logging device)*
 - *typical head changes are 2-3 m in 25-50 mm diameter piezometers so the volume of the slug is typically only 1-10 liters*

HVORSLEV (1951)



M. Juul Hvorslev

• Pozzi non completi,
fori liberi, acquiferi
anche liberi

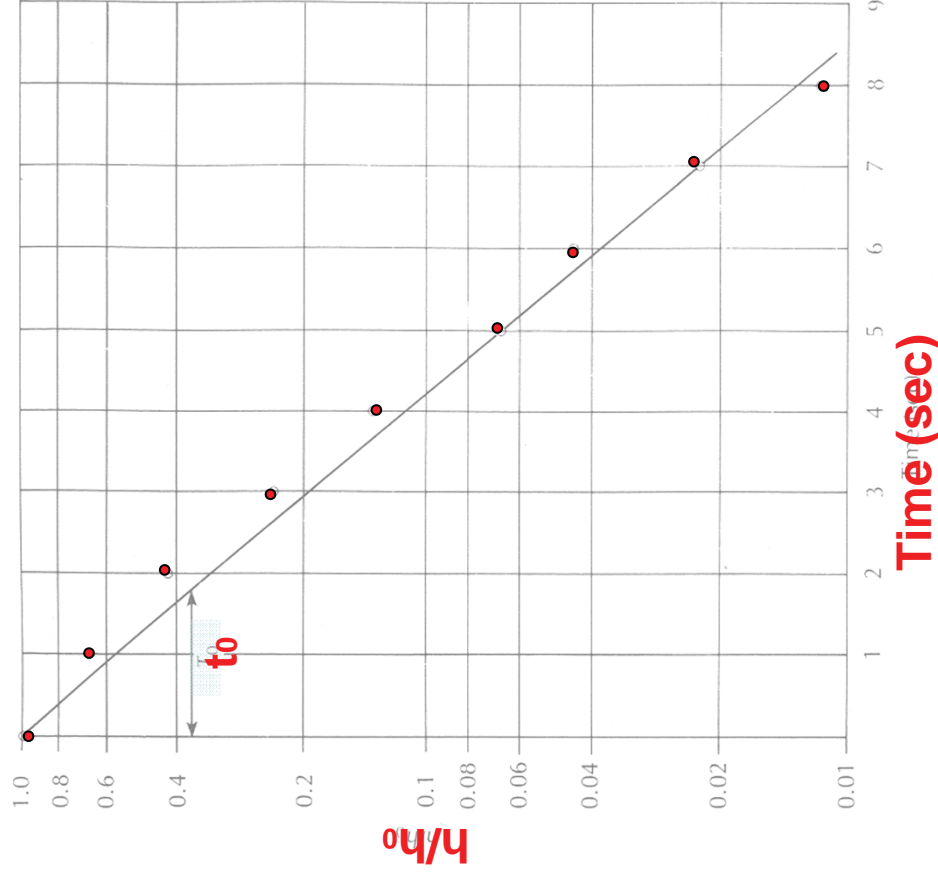


• Entro il saturo
imm. acqua/corpo →
livello si innalza di h_0

Log h/h_0 vs t (dati sperimentali)

t_0 = il tempo perché il livello $h(t)$ discenda al 37% dell'innalzamento h_0

Se L_e (lunghezza filtro) > 8 r_{screen}



$$K = \frac{r_w^2 \ln(L_e / r_{dreno})}{2L_e} \frac{1}{t_0}$$



ESERCIZIO (HVORSLEV)

- $r_w = 0,025$ m
- $r_{dreno} = 0,025$ m
- $L_e = 3$ m
- $H_s = 2,525$

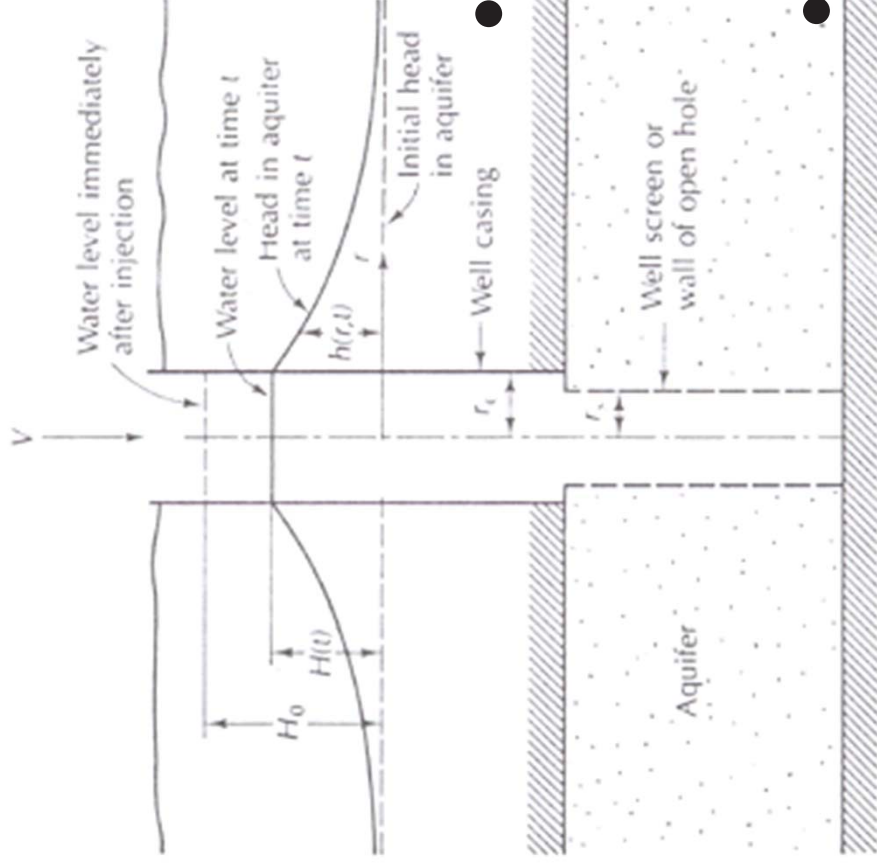
tempo (s)	Livello (m)
0	2.96
10	2.82
20	2.69
30	2.62
40	2.58
50	2.56
60	2.54
70	2.53
80	2.525

$$K = \frac{r_w^2 \ln(L_e / r_{dreno})}{2L_e t_0}$$

$$K = \frac{(0,025m)^2 \times \ln(3m/0,025m)}{2 \times 3m \times 19s}$$

$$K = 2,6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

COOPER - PAPADOPOULOS (1973)



- **Acquifero confinato, pozzo completo**
- Immissione di un volume d'acqua in foro o corpo rigido
- Livello passa da H ad H_0

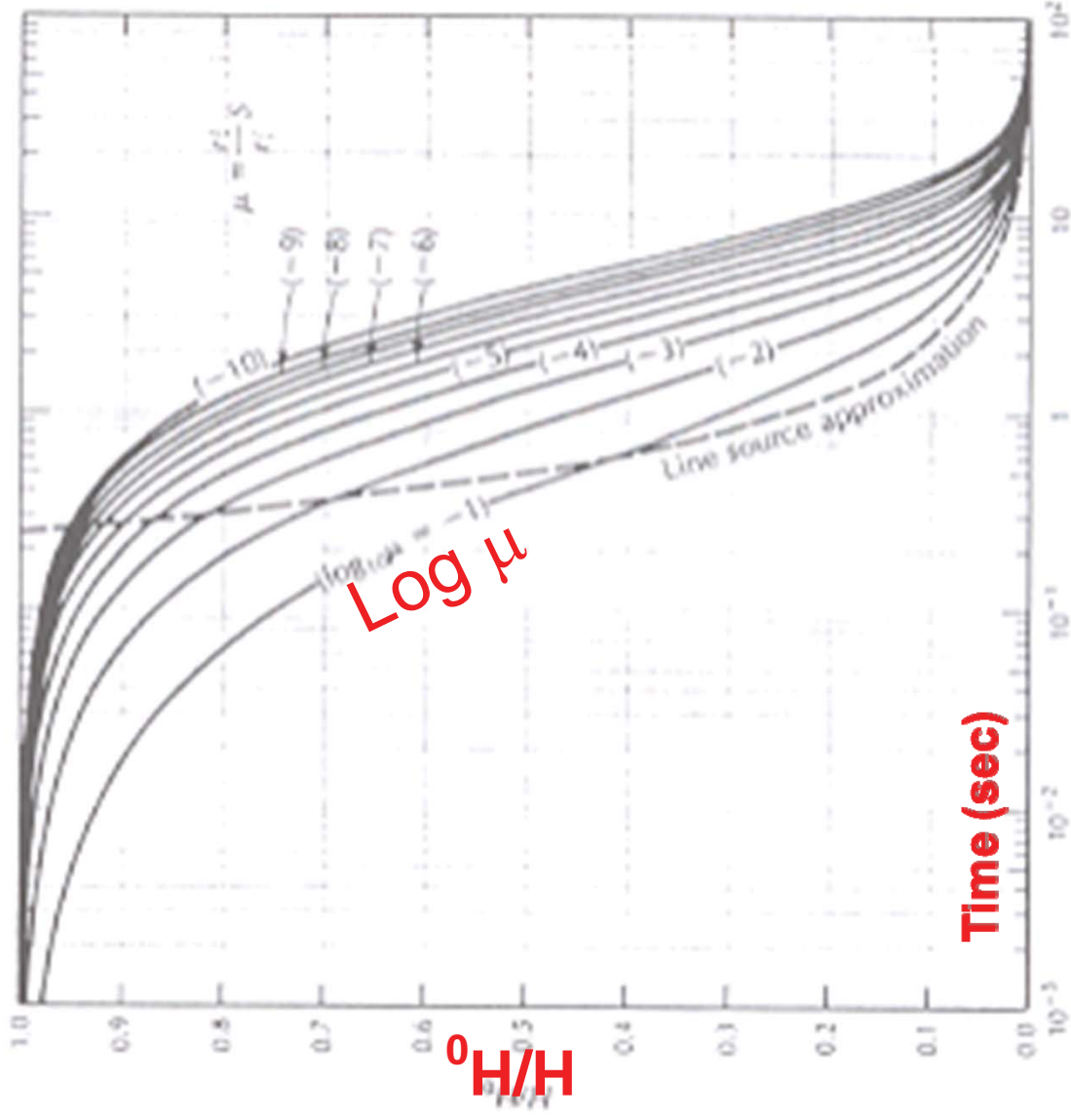


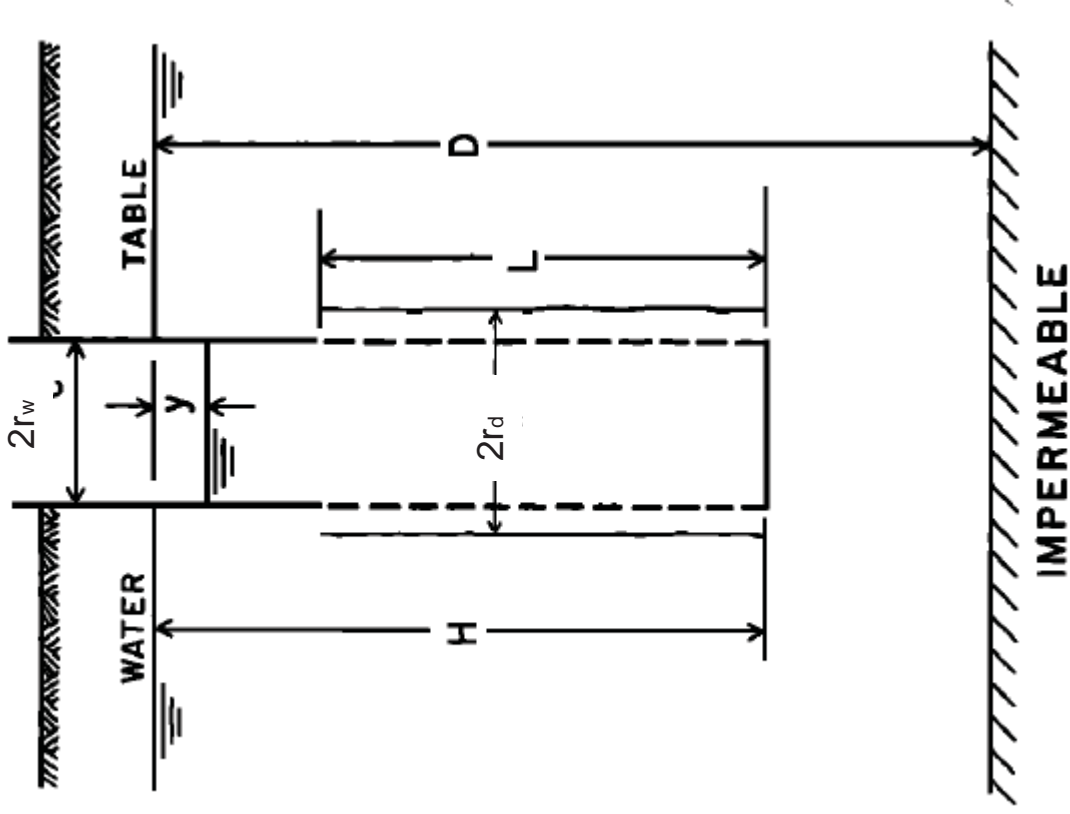
Diagramma H/H_0 vs $\log t$
(*dati sperimentali*)

- $H/H_0 = F(\eta; \mu)$
- $T = \eta r^2_{\text{casing}} / t_0$
- $S = r^2_{\text{casing}} \mu / r^2_{\text{screen}}$

η

BOUWER & RICE (1976-1989)

- Pozzi completi ed incompleti, fori liberi
- Acquiferi *liberi* e *confinati*



Dupuit-Thiem in flusso stazionario quando il livello è al di sotto del

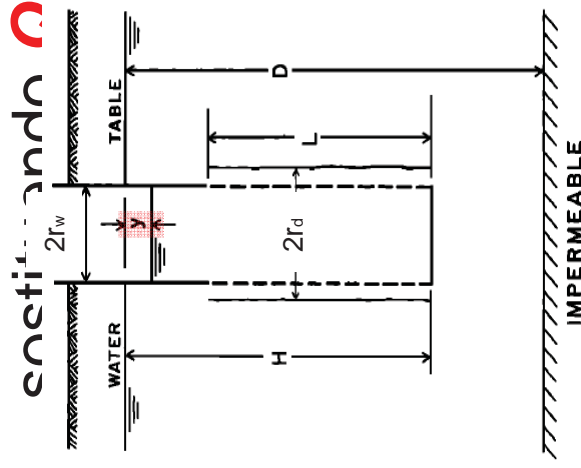
$$Q = \frac{2\pi KD(s_1 - s_2)}{\ln r_2 / r_1} \Rightarrow Q = \frac{2\pi KDy}{\ln R_e / r_d}$$

Sotto condizioni: abbassamenti attorno al pozzo trascurabili; no flusso nella frangia capillare; assenza perdite di carico al pozzo; omogeneità isotropia.

Velocità di risalita **dy/dt** è proporzionale alla portata in entrata per unità sezione del pozzo \rightarrow **equazione di continuità** in pozzo

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{Q}{\pi r_w^2} \Rightarrow y = \text{abbassamento residuo}; r_w = \text{raggio interno}$$

Segno meno perchè y decresce al passare di t \rightarrow quindi



$$\int_{y_0}^{y_t} \frac{1}{y} dy = -\frac{2KL}{r_w^2 \ln(R_e / r_d)} \int_{t=0}^t dt \Rightarrow \ln \frac{y_t}{y_0} = -\frac{2KL}{r_w^2 \ln(R_e / r_d)} t$$

$$K = \frac{r_w^2 \ln(R_e / r_d)}{2L} \frac{1}{t} \ln \frac{y_0}{y_t}$$

R_e = “raggio di influenza”

$$K = \frac{r_w^2 \ln\left(\frac{R_e}{r_d}\right) \frac{1}{t} \ln\left(\frac{y_0}{y_t}\right)}{2L} \quad \text{per } H < D$$

$$\ln\left(\frac{R_e}{r_d}\right) = \left[\frac{1.1}{\ln\left(\frac{H}{r_d}\right)} + \frac{A + B \ln\left[\frac{(D-H)}{r_d}\right]}{L/r_d} \right]^{-1} \quad \text{per } H < D$$

$$\ln\left(\frac{R_e}{r_d}\right) = \left[\frac{1.1}{\ln\left(\frac{H}{r_d}\right)} + \frac{C}{L/r_d} \right]^{-1} \quad \text{per } H = D \quad (\text{completo})$$

R_e = raggio d'influenza

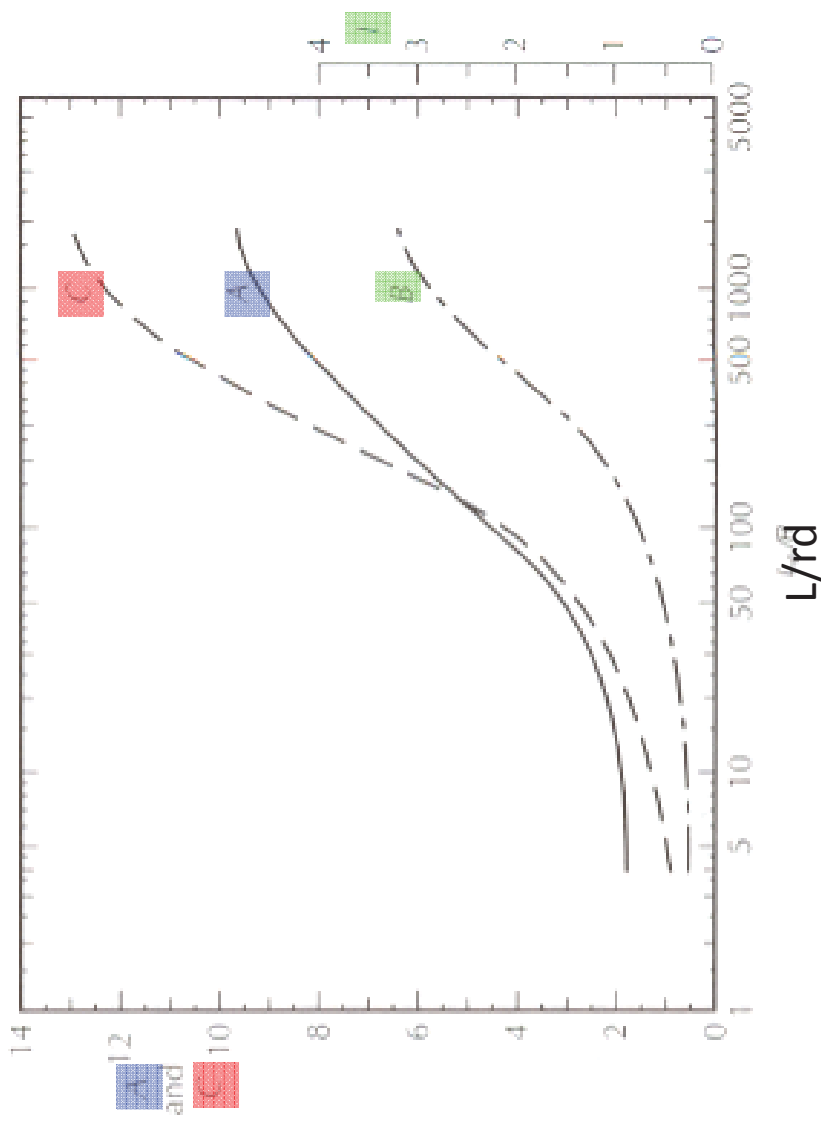
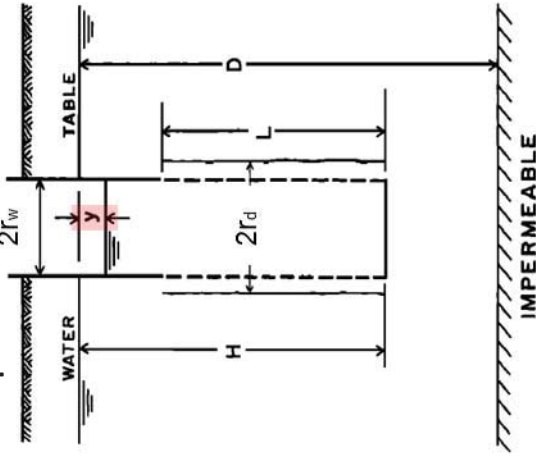
r_d = raggio del dreno

r_w = raggio del casing

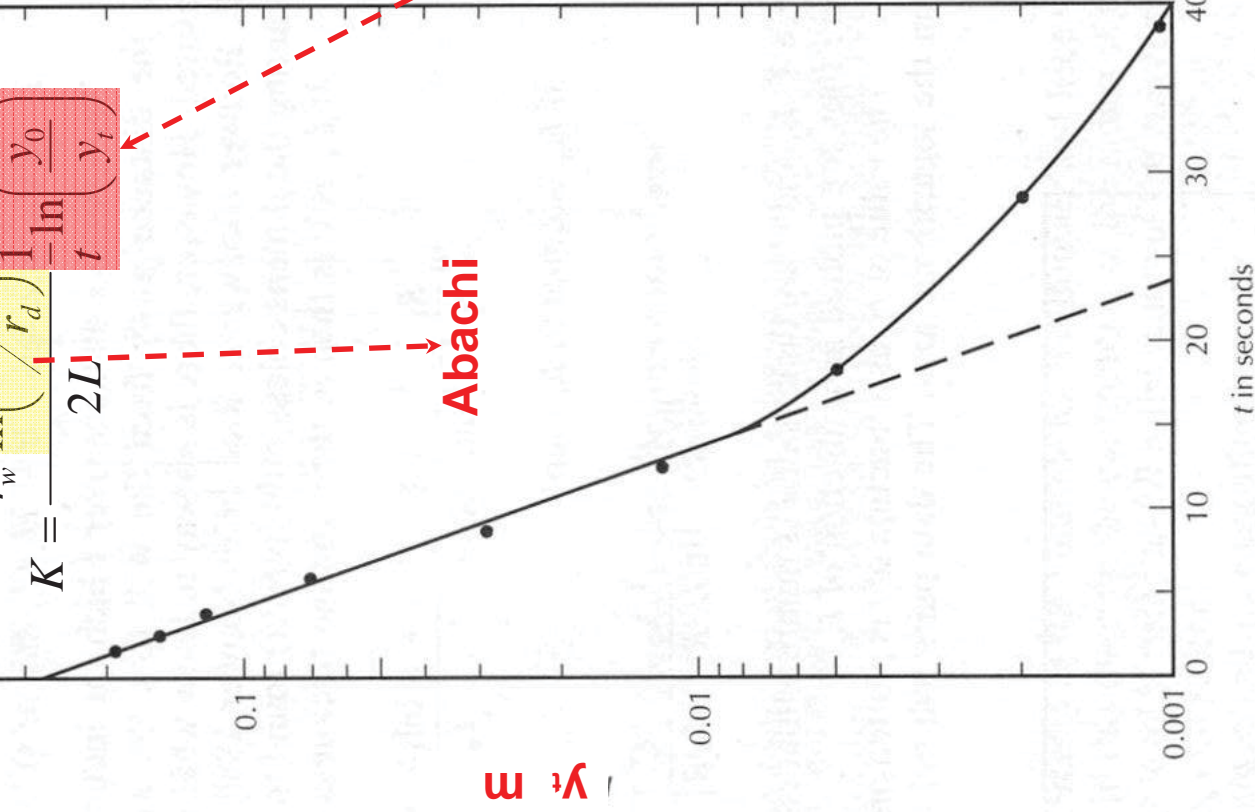
L = lunghezza filtro

H = altezza livello rispetto fondo foro

D = spessore del saturo



- Log y_t vs t (**dati sperimentali**)



- Il valore di $\frac{1}{t} \ln \left(\frac{y_0}{y_t} \right)$ si ricava dalla retta del grafico

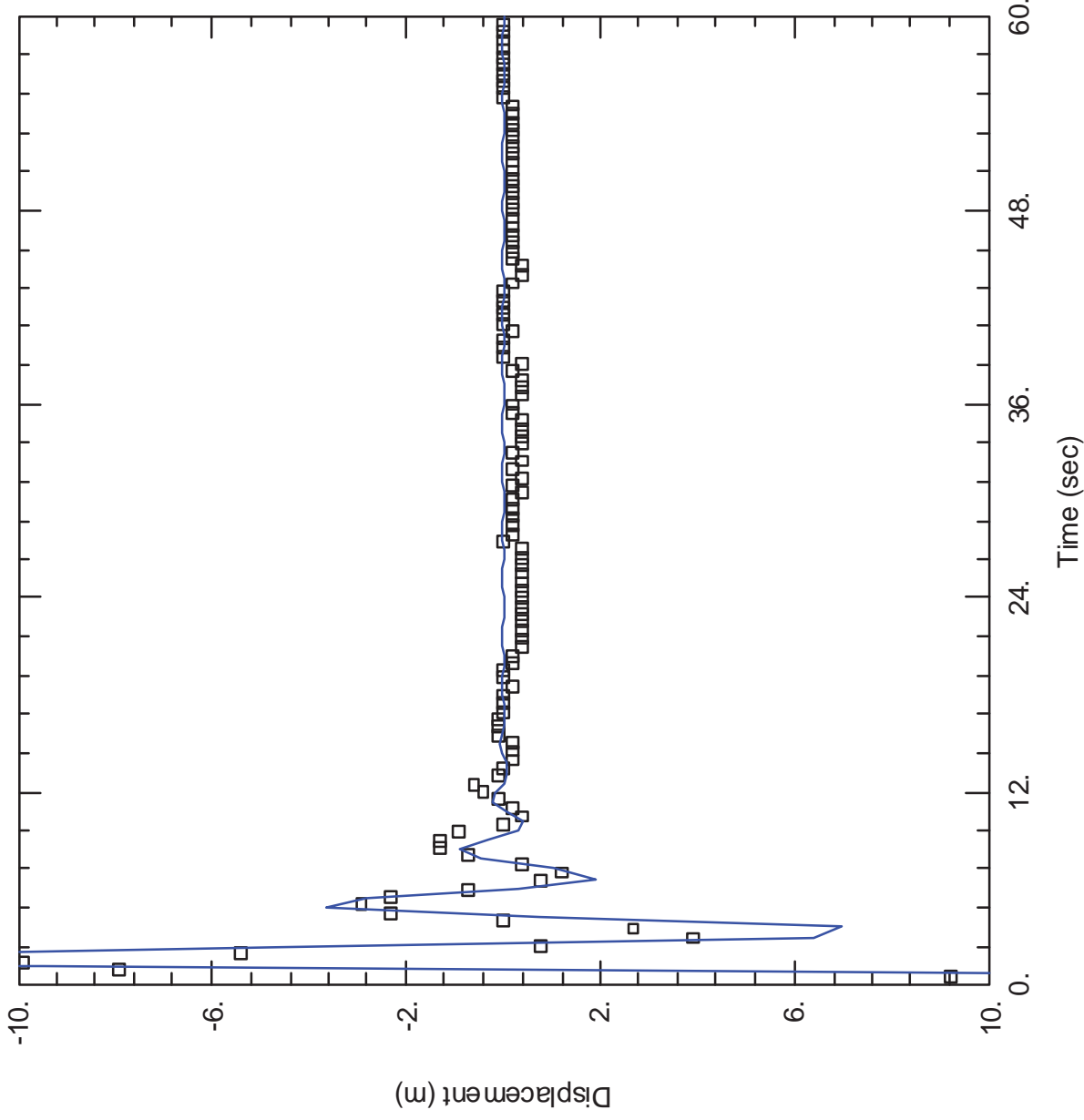
$$\frac{1}{t} \ln \left(\frac{y_0}{y_t} \right)$$

$$= \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{y_1}{y_2} \right)$$

- Utilizzando 2 punti ($y_1; t_1$) e ($y_2; t_2$) della retta

R_e = raggio d'influenza
 r_d = **raggio del dreno**
 r_w = raggio del casing
 L = **lunghezza filtro**

Springer – Gelhar



Obs. Wells

□ Est

Aquifer Model

Unconfined

Solution

Springer-Gelhar

Critically damped when $C(D)=1$

Parameters

$K = 0.09414$ m/sec

$L_e = 2.602$ m

$C(D) = 0.2236$

$L = 963.5$ m

Prove di falda

Tempo vs
Abbassamenti

Prove di Pompaggio

Prove di pozzo

Abbassamenti vs portate

Acquifero confinato

Acquifero semiconfinato

Acquifero nonconfinato

Slug Tests

Funzione di pozzo WE%
Indice Produttività

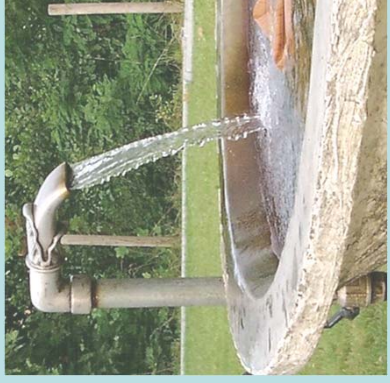
T
S

T
S, S'
B

T, S, n_e , K_r , K_z

T, K (S)

Limiti acquifero



Trasmittività

K



*Grazie per la
Vostria attenzione*