

Regime di equilibrio e regime di non-equilibrio

Il *deflusso in regime di equilibrio o permanente*, detto così poiché si suppone che le variazioni di regime si verifichino esclusivamente nello spazio e non nel tempo, si ottiene quando in un'opera di captazione a portata costante, l'alimentazione compensa esattamente l'emungimento, la curva di depressione tende ad un profilo di equilibrio e la superficie piezometrica non si deprime ad una certa distanza R (*raggio d'azione* del pozzo). Quindi è basato su una teoria (Dupuit, 1863) costruita su delle ipotesi che tendono a semplificare la fenomenologia.

Questa teoria dimostra che, in un *acquifero libero* (figura 1), la *portata* (Q) di un pozzo, di raggio r, è data da:

$$Q = \pi K \frac{(H_1^2 - H_2^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

da cui è possibile ricavare la formula per il calcolo del *coefficiente di permeabilità* (K):

$$K = \frac{Q}{\pi} \frac{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{(H_1^2 - H_2^2)} \text{ (m/s)}$$

dove:

H_1 (m) = altezza della piezometrica indisturbata (*livello statico*) riferita al substrato impermeabile;

H_2 (m) = altezza del *livello dinamico* dell'acqua nel pozzo in emungimento, riferita al substrato impermeabile.

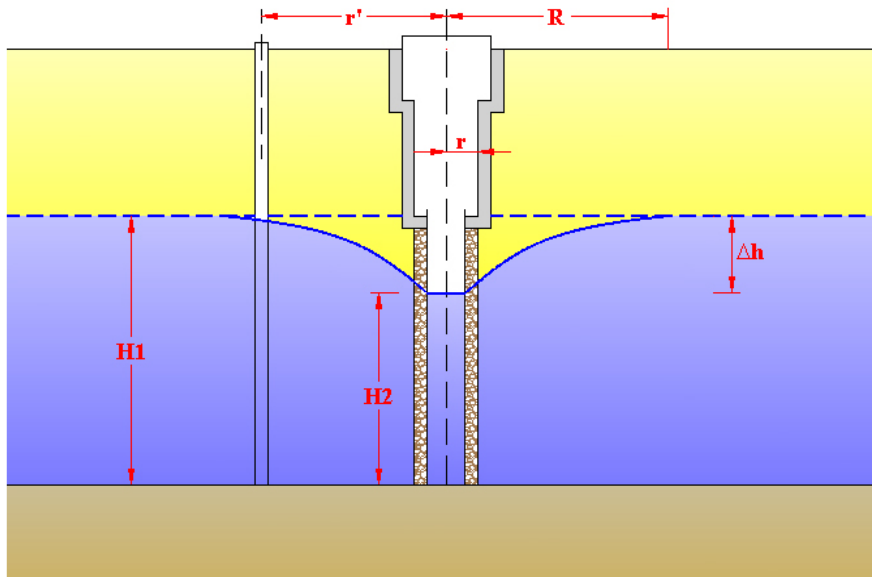


Figura 1

Negli *acquiferi confinati* (figura 2), invece, si ha che la portata è data da:

$$Q = 2\pi K b \frac{(H_1 - H_2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove b (m) = spessore della falda confinata, nell'ipotesi di pozzo completo.

Dalla precedente formula è possibile ricavare il valore della **trasmissività** (T):

$$K = \frac{Q}{2\pi b} \frac{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{(H_1 - H_2)} \quad (\text{m/s})$$

$$T = K b = \frac{Q}{2\pi} \frac{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{(H_1 - H_2)} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

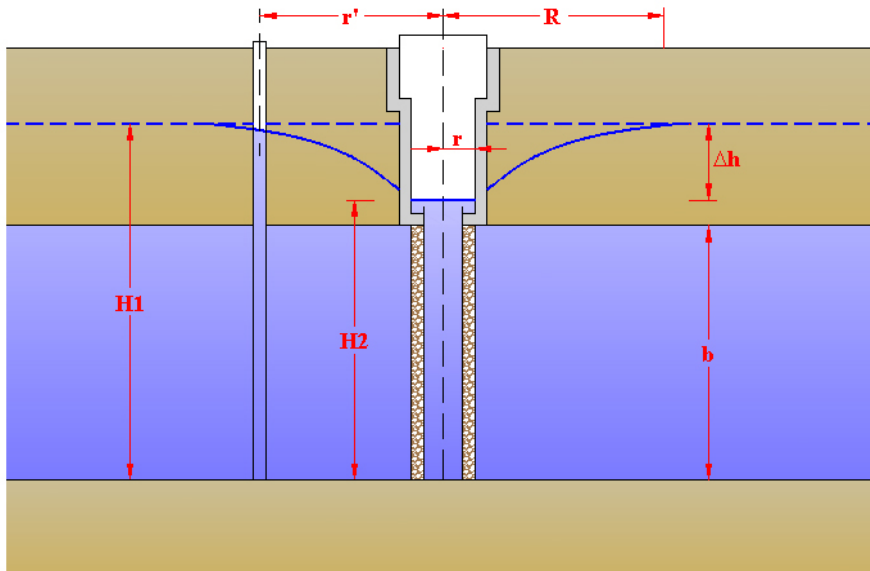


Figura 2

Il **deflusso in regime di non-equilibrio o in regime transitorio**, così chiamato poiché ammette che le variazioni di regime avvengono sia nello spazio che nel tempo, è una teoria proposta da Theiss nel 1935. Con questa teoria Theiss ha voluto dimostrare che intorno ad un pozzo a portata costante, la superficie di depressione piezometrica non tende ad una forma stabile e che la zona di influenza del pozzo si propaga indefinitamente, con velocità decrescente. Ciò vuol dire che l'alimentazione non compensa l'emungimento, supponendo che l'acquifero non abbia ricariche laterali e che, per tutto il periodo dell'emungimento, si liberi solo acqua immagazzinata.

La teoria del deflusso in regime transitorio è valida nelle **falde artesiane**, dove il cono di depressione è fittizio e il **raggio d'azione** è la distanza (figura 2), dall'asse del pozzo, dove la piezometrica si annulla dopo un certo tempo (t) dall'inizio dell'emungimento.

Con la teoria di Theis è possibile calcolare la **trasmissività** (T) mediante la **formula del regime di non-equilibrio**:

$$T = \frac{Q}{4\pi \Delta h_p} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi \Delta h_p} W(u) \text{ (m}^2/\text{s)}$$

dove Δh_p è l'abbassamento piezometrico (m) misurato nel piezometro, posto alla distanza r' (m) dal pozzo, durante l'emungimento e $W(u)$ rappresenta la **funzione caratteristica del pozzo**.

Risolvendo l'integrale esponenziale, con una serie di passaggi, si arriva alla seguente **formula di approssimazione logaritmica** (Jacob, 1950):

$$\Delta h_p = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{r'^2 S} \text{ (m)}$$

dove S è il **coefficiente di immagazzinamento** dell'acquifero e t (sec) il **tempo di pompaggio** dall'inizio della prova.

Questa formula è valida solo se:

$$u = \frac{r'^2 S}{4T t} \leq 0,01$$

quindi soltanto se:

$$t = T_v = \frac{r'^2 S}{4T \times 0,01}$$

dove:

T_v (s) = tempo necessario per la validità della prova.

Dalla formula di Jacob, sostituendo r' con R , quando Δh_p è uguale a 0, è possibile ottenere:

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}} \text{ (m)}$$

La teoria del regime di non-equilibrio è rigorosamente valida per pozzi completi impostati in falde artesiane, ma può essere applicata anche alle **falde semiartesiane** introducendo un **fattore di drenanza** (B) espresso in m^2 :

$$T = \frac{Q}{4\pi \Delta h_p} W\left(u, \frac{r'}{B}\right) \text{ (m}^2/\text{s)}$$

Prova di pozzo con gradini di portata di breve durata

Queste prove di pozzo vengono eseguite in regime di equilibrio a **gradini di portata crescenti** ed hanno una durata variabile da 48 a 72 ore (durata ottimale).

Si fissano più valori (**gradini**) di portata crescenti durante le operazioni di spurgo del pozzo o durante una prova preliminare di breve durata, dove si misurano le corrispondenti depressioni piezometriche. I gradini hanno durate uguali, da una a tre ore.

Con questi dati è possibile costruire un diagramma, con in ascissa le portate emunte (Q_1, Q_2, \dots) e in ordinata le depressioni piezometriche ($\Delta h_1, \Delta h_2, \dots$), che dà un primo andamento della **curva caratteristica** del pozzo (figura 3a, b, c).

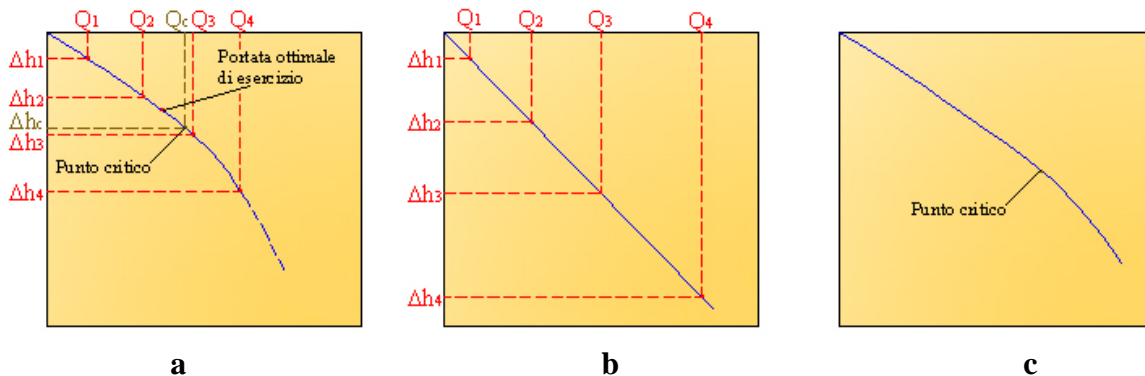


Figura 3

Nelle falde libere, questa curva, è rappresentata da una parabola di secondo grado (figura 3a) mentre nelle falde confinate, se non caratterizzate da moto turbolento, è formata da una retta (figura 3b), inversamente da una parabola come nelle falde libere (figura 3c).

Questa prova preliminare consente di fissare i gradini di portata, in genere da un minimo di tre ad un massimo di sei, per la prova definitiva che inizia con l'emungimento della portata più bassa (Q_1), che spesso coincide con quella della potenza minima della pompa e prosegue con portate crescenti pari a $2Q_1, 3Q_1, \dots, nQ_1$. Ogni gradino di portata (figura 4) viene mantenuto fisso fino a quando il **livello dinamico** (Δh) nel pozzo diventa costante per alcune ore, fino a quando cioè raggiunge una condizione di equilibrio.

Con le coppie di valori $Q_n - \Delta h_n$, per ogni gradino di portata, si ottiene:

$$Q_{sn} = \frac{Q_n}{\Delta h_n} \left(\frac{m^3}{h \cdot m} \right)$$

dove Q_{sn} è la **portata specifica**, cioè la portata emunta riferita all'abbassamento misurato nel pozzo per il gradino $n = 1, 2, \dots$; il suo inverso è l'**abbassamento specifico**.

Nel caso delle curve di fig. 3a e 3c si osserva un primo tratto più rettilineo, cioè caratterizzato da una certa proporzionalità tra portate e depressioni piezometriche, ma, dopo quello che viene detto **punto critico**, la curva presenta una maggiore convessità che sta a significare che a piccole variazioni di portata corrispondono notevoli aumenti della depressione piezometrica.

Individuato graficamente il **punto critico** si ottengono automaticamente la **portata critica** (Q_c), la **depressione critica** (Δh_c) e la **portata ottimale di esercizio** (Q_e). Essendo la **portata critica** legata alla **velocità critica** della falda, non deve essere superata se non si vuole entrare in regime turbolento. La **portata ottimale di esercizio** è sempre inferiore a quella critica ed è pari a circa:

$$Q_e = 0,9 Q_c$$

Definiti i valori di Q_c e Δh_c , mediante la curva caratteristica, si calcola il valore della **portata specifica** del pozzo tramite la formula seguente:

$$Q_s = \frac{Q_c}{\Delta h_c}$$

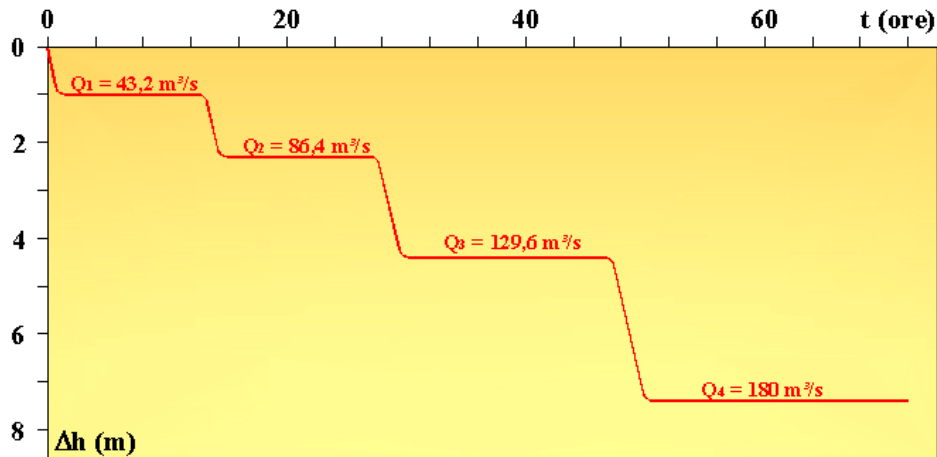


Figura 4

L'abbassamento misurato nell'opera di captazione può essere anche espresso mediante l'equazione di Dupuit per le falde artesiane, che può essere scritta anche nel modo seguente (Jacob, 1947) :

$$H_1 - H_2 = \frac{Q}{2\pi T} \ln\left(\frac{R}{r}\right) + CQ^2 \text{ (m)}$$

dove $(H_1 - H_2)$ è la depressione piezometrica (Δh) e poiché, per le ipotesi di Dupuit, è:

$$\frac{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{2\pi T} = B$$

la precedente formula si può scrivere (Jacob, 1947; Rorabangh, 1953):

$$\Delta h = BQ + CQ^2 \text{ (m)}$$

Da questa espressione si evince che l'abbassamento misurato nell'opera di captazione è la somma di due componenti chiamate *perdite di carico* (figura 5):

- Una *perdita di carico lineare* provocata nell'acquifero dal deflusso laminare nei pressi del pozzo, che viene indicata con BQ;
- Una *perdita di carico quadratico*, funzione del condizionamento del pozzo, provocata dal deflusso turbolento nell'opera di captazione, definita CQ^2 .

La formula di Jacob è la più conosciuta e, anche se è stata ricavata per le falde artesiane, può essere estesa anche agli acquiferi a falda libera quando la depressione piezometrica (Δh) riferita alla portata (Q) è:

$$\Delta h \leq 0,1 H_1$$

dove H_1 è lo spessore della falda (figura 1).

L'espressione di Jacob può anche essere scritta nella forma seguente:

$$\frac{\Delta h}{Q} = B + CQ \text{ (m/m}^3\text{/h)}$$

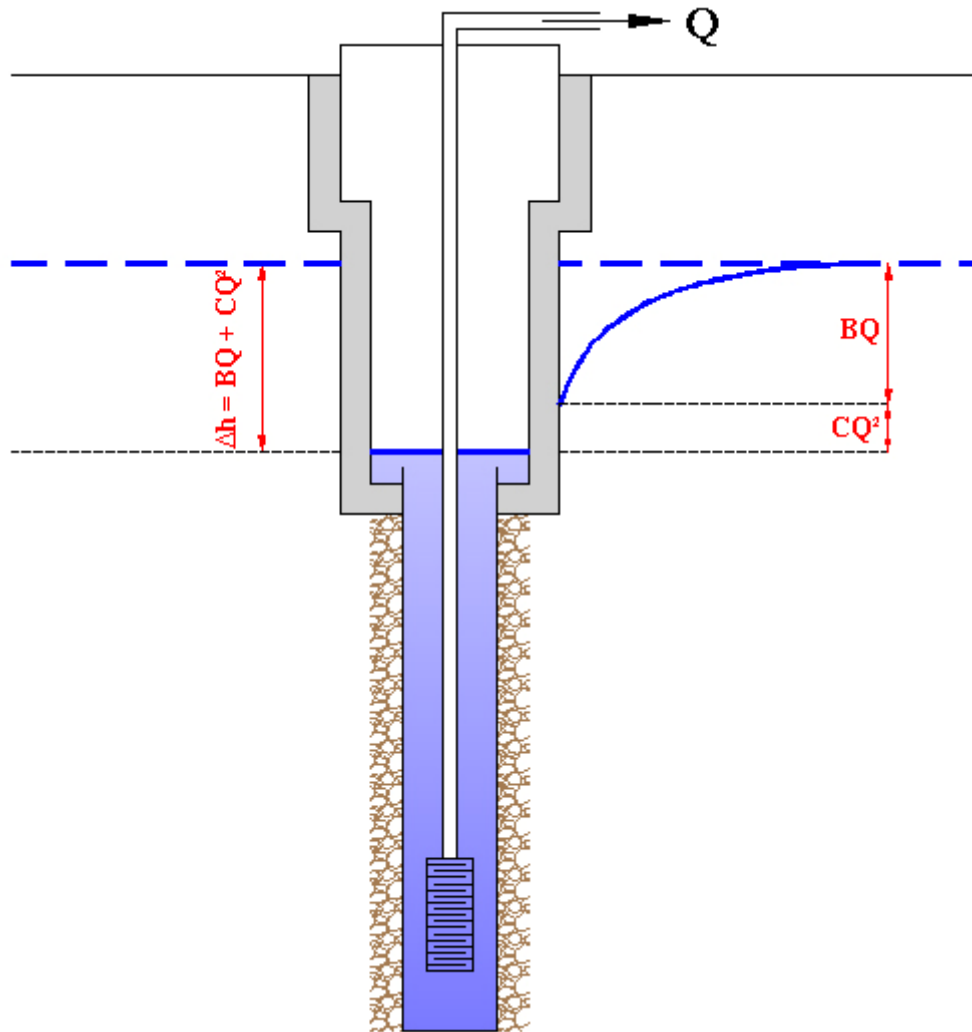


Figura 5

dove $\Delta h/Q$ rappresenta la depressione piezometrica per unità di portata, cioè la **depressione piezometrica specifica** (Δh_s). Questa espressione rappresenta una retta di forma generale:

$$y = b + ax$$

di cui un esempio è riportato nella figura 6.

Il coefficiente B può essere letto nel punto di intersezione con l'asse delle ordinate, mentre C è dato dal coefficiente angolare della retta:

$$C = \tan \beta$$

L'esempio di figura 6 riporta uno dei casi che si possono presentare. Più in generale è possibile avere i tipi di curve riportate nella figura 7:

- La retta 1 rispecchia il caso riportato in figura 6 e dimostra che è valida l'espressione di Jacob;
- La retta 2, parallela all'asse delle portate, sta ad indicare un deflusso laminare con perdite di carico quadratiche nulle ($CQ^2 = 0$): $\Delta h = BQ$ (m) ;
- La retta 3 passa per l'origine degli assi e dimostra che le perdite di carico lineare ($BQ = 0$) sono trascurabili: $\Delta h = CQ^2$ (m) ;

– La curva 4, invece, indica che è valida l'espressione:

$$\Delta h = BQ + CQ^n \quad \text{con } n > 2$$

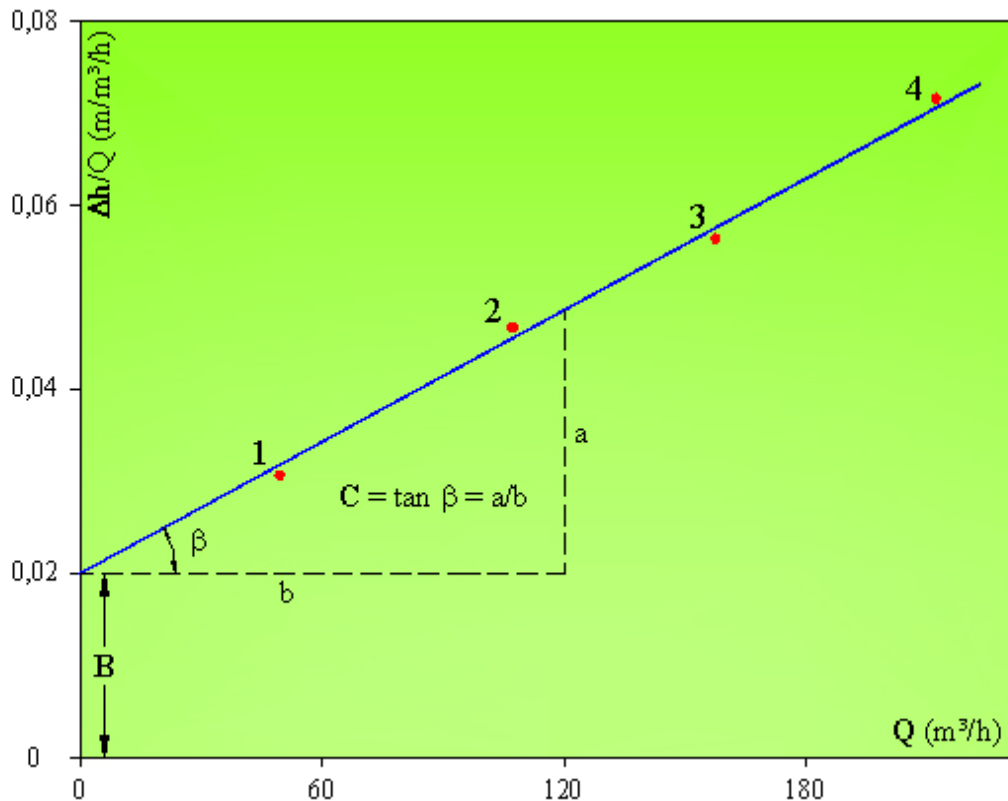


Figura 6 – I punti rappresentano i gradini di portata.

Si può evincere che le misure sono state prese male, oppure che nel corso del pompaggio si è verificata una messa in regime al di fuori della norma e perciò la prova non è da ritenersi valida e va rifatta.

Curve ad andamento diverso indicano che l'acquifero è eterogeneo e anisotropo o che le prove sono state eseguite in modo errato.

Calcolati i valori di B e C, è possibile ricostruire analiticamente la *curva caratteristica*, calcolare l'efficienza del pozzo e le condizioni del pozzo (Tabella 1):

$$\text{Efficienza del pozzo (\%)} = \frac{BQ}{BQ + CQ^2} \times 100$$

Tabella 1 – Relazione fra coefficiente di perdita del pozzo C e condizioni del pozzo (Walton, 1962)

Coefficiente di perdita del pozzo C (min ² /m ⁵)	Condizioni del pozzo
< 0,5	Correttamente progettato e sviluppato
0,5 – 1,0	Deterioramento moderato dovuto a intasamento
1,0 – 4,0	Deterioramento grave o intasamento
> 4,0	Difficoltà a riportare il pozzo nelle condizioni originali

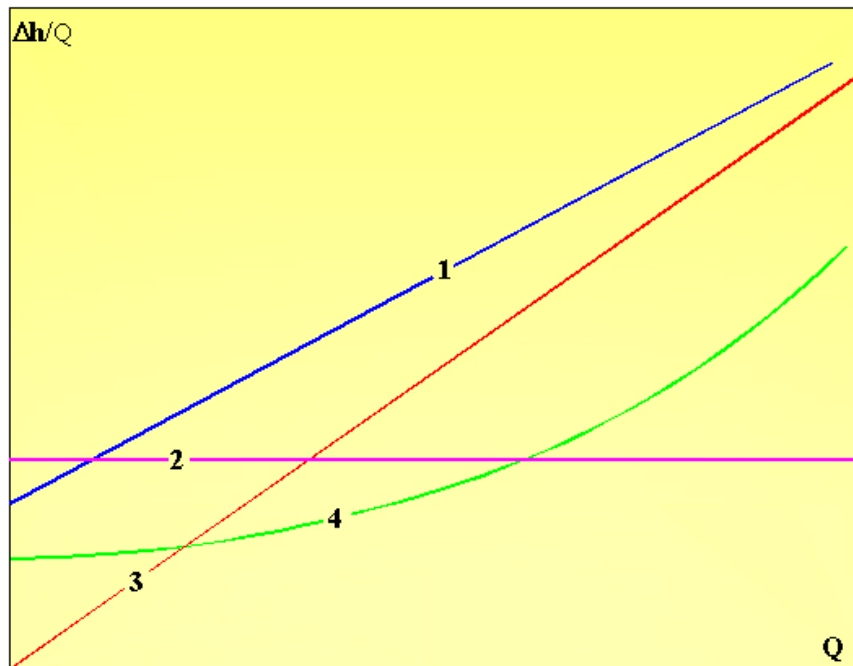


Figura 7 – Rette portate/abbassamenti specifici

La prova di pozzo a gradini di portata crescente, oltre che consentire di valutare la *portata critica*, la *portata ottimale di esercizio* e la *portata specifica*, permette di calcolare il **raggio d'azione** (R) del pozzo, il **coefficiente di permeabilità** (K) e la **trasmittività** (T). Però, per ottenere questi valori, la prova va eseguita su *stazioni di prova*.

Il **coefficiente di permeabilità** si può calcolare mediante la teoria di Dupuit riscrivendo la formula nel modo seguente:

$$K = 0,73 \frac{Q}{\Delta h} \log\left(\frac{R}{r'}\right) = 0,73 \frac{Q}{\Delta h} (\log R - \log r')$$

dove r' rappresenta la distanza che intercorre tra il centro del pozzo e il piezometro (figure 1 e 2). Se in un diagramma (figura 8) si riportano le depressioni piezometriche misurate nel pozzo e nei piezometri e sulle ascisse il logaritmo delle distanze tra pozzo e piezometri si ottiene una retta di forma:

$$y = C (\log a - \log x)$$

$y = \Delta h$ e $\log x = \log r'$ sono le variabili della retta, mentre C è il suo coefficiente angolare, pari a:

$$C = 0,73 \frac{Q}{K} = \tan \beta$$

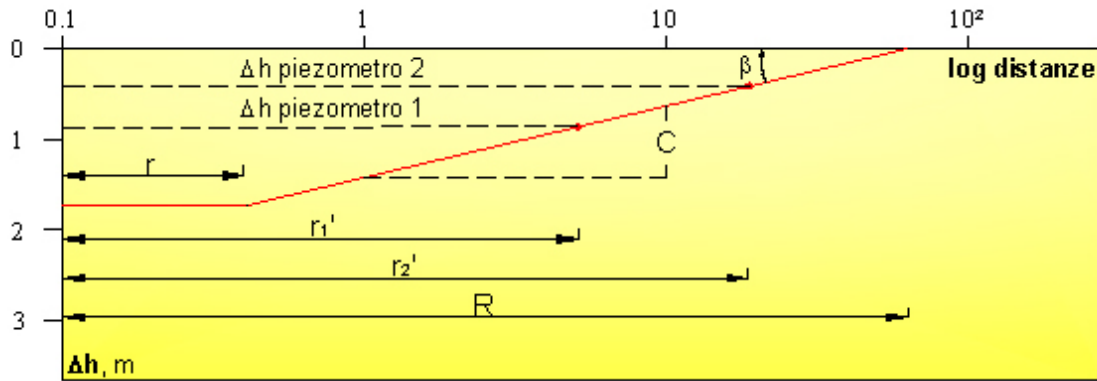


Figura 8 – Diagramma $\Delta h/\log$ distanze

Dalla espressione precedente è possibile derivare il valore del coefficiente di permeabilità per le falde libere:

$$K = 0,73 \frac{Q}{C} \text{ (m/s)}$$

Analogamente è possibile ricavare la trasmissività per le falde artesiane:

$$T = 0,366 \frac{Q}{C} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Invece il *raggio d'azione* del pozzo può essere misurato direttamente sul grafico oppure può essere calcolato nel modo seguente:

$$\log R = \frac{\Delta h}{C} + \log r'$$

dalla quale si ottiene:

$$R = 10^{\frac{\Delta h}{C} + \log r'} \text{ (m)}$$

Quando si opera su pozzi singoli completi, dopo aver ricavato i valori della *portata critica* (Q_c) e dell'*abbassamento critico* (Δh_c) corrispondente dal grafico portate/depressioni piezometriche, si calcolano i valori del *coefficiente di permeabilità* (K) e della *trasmissività* (T) utilizzando le formule di Dupuit derivate dalla teoria del regime di equilibrio.

Quando invece si opera su pozzi singoli incompleti, bisogna distinguere tra pozzi in falde libere e pozzi in falde artesiane.

In falda libera il *coefficiente di permeabilità* (K) si può calcolare mediante l'equazione:

$$K = \frac{Q_c \ln\left(\frac{R}{r}\right)}{\pi \left[(H_1 - a)^2 - (H_2 - a)^2 \right] \left[1 + \left(0,30 + 10 \frac{r}{H_1} \right) \operatorname{sen}\left(1,8 \frac{a}{H_1} \right) \right]} \text{ (m/s)}$$

dove a rappresenta la distanza tra tubo-filtro e substrato impermeabile (figura 9).

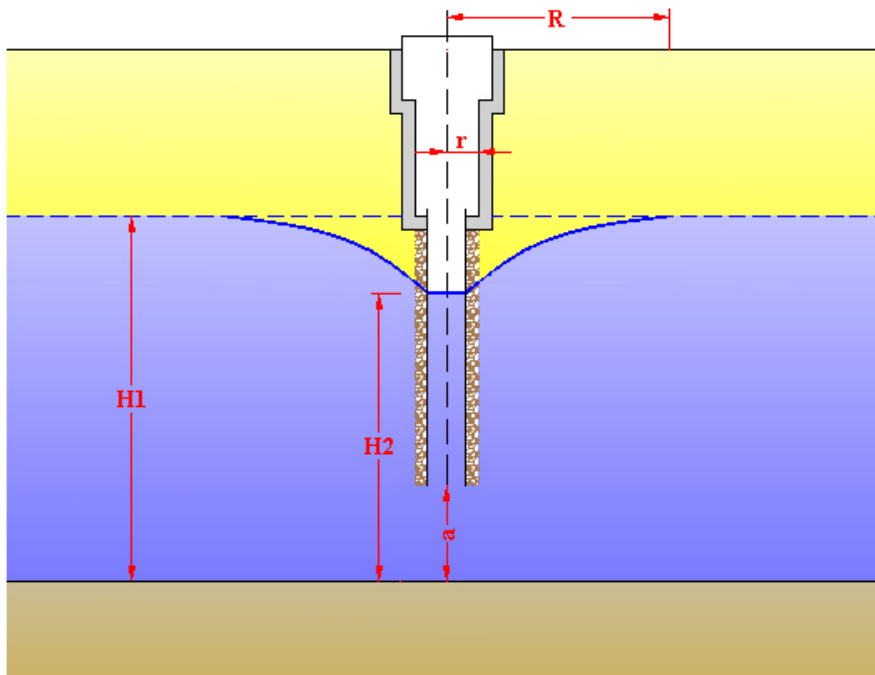


Figura 9

Quando si opera in falde artesiane, bisogna distinguere i diversi tipi di pozzi (figura 10) dato che non tutte le equazioni possono essere utilizzate per il calcolo della *trasmissività* (T) e del *coefficiente di permeabilità* (K):

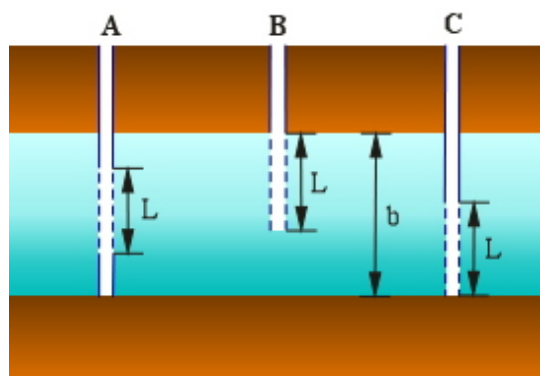


Figura 10

per pozzo tipo A:

$$T = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c} \left(\ln \frac{R}{2b} + \frac{b}{L} \ln \frac{2L}{r} \right) (\text{m}^2/\text{s})$$

$$K = \frac{T}{b} (\text{m/s})$$

per pozzo tipo B:

$$K = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c L} \ln \frac{2L}{r} \text{ (m/s)} \quad \text{valida per } b \rightarrow \infty$$

$$K = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c L} \left[\ln \frac{\frac{4L}{r}}{\frac{L}{R} + \sqrt{1 + \frac{L^2}{R^2}}} + 1 - \frac{R}{L} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{L^2}{R^2}} \right) \right] \text{ (m/s)} \quad \text{valida per } b \rightarrow \infty \text{ (Halek)}$$

$$K = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c L} \ln \left(1,6 \frac{2L}{r} \right) \text{ (m/s)} \quad \text{valida per } L/r < 5 \text{ (Giriski)}$$

$$T = K b \text{ (m}^2\text{/s)}$$

per pozzo tipo B o C:

$$T = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c} \left[\ln \frac{R}{r} + \frac{\xi}{2} \right] \text{ (m}^2\text{/s)}$$

dove ξ dipende dal rapporto L/r e dal rapporto b/r

$$K = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c L} \ln \frac{L}{r} \text{ (m/s)} \quad \text{valida per } L/r \leq 0,2 \text{ (Zangar)}$$

$$T = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c} \left[\frac{2}{L} \ln \frac{L}{2r} + \frac{0,2}{b} \right] \text{ (m}^2\text{/s)} \quad \text{valida per } L/b \leq 0,3 \text{ e } L/2r \geq 5 \text{ (de Glee)}$$

per pozzo tipo A, B, C

$$T = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c} \left[\frac{b}{2L} \left(2 \ln \frac{4b}{r} - \ln \Gamma \right) \right] - \ln \frac{4b}{R} \text{ (m}^2\text{/s)} \quad \text{valida per } 0,005 < r/b < 0,01 \text{ (Muskat)}$$

dove $\ln \Gamma$ è funzione del rapporto L/b

$$K = \frac{Q_c}{2\pi \Delta h_c L} \frac{\ln \frac{R}{r}}{1 + 7 \sqrt{\frac{r}{2L}} \cos \left(\frac{\pi \frac{L}{b}}{2} \right)} \text{ (m/s)} \quad \text{valida per grandi valori di } R \text{ (Kozeny)}$$

Se le prove di emungimento vengono eseguite su stazioni di prova, la loro interpretazione può essere basata sulle ipotesi del deflusso in regime di equilibrio con la **formula di Dupuit-Thiem**, proposta nel 1906 da Thiem.

Se si hanno un pozzo di emungimento e due piezometri, posti alla distanza r'_1 e r'_2 (figura 11), per una *falda libera* è possibile scrivere:

$$K = \frac{Q_c}{\pi} \frac{\ln r'_2 - \ln r'_1}{(h_1 + h_2)(\Delta h_{p1} - \Delta h_{p2})} \text{ (m/s)}$$

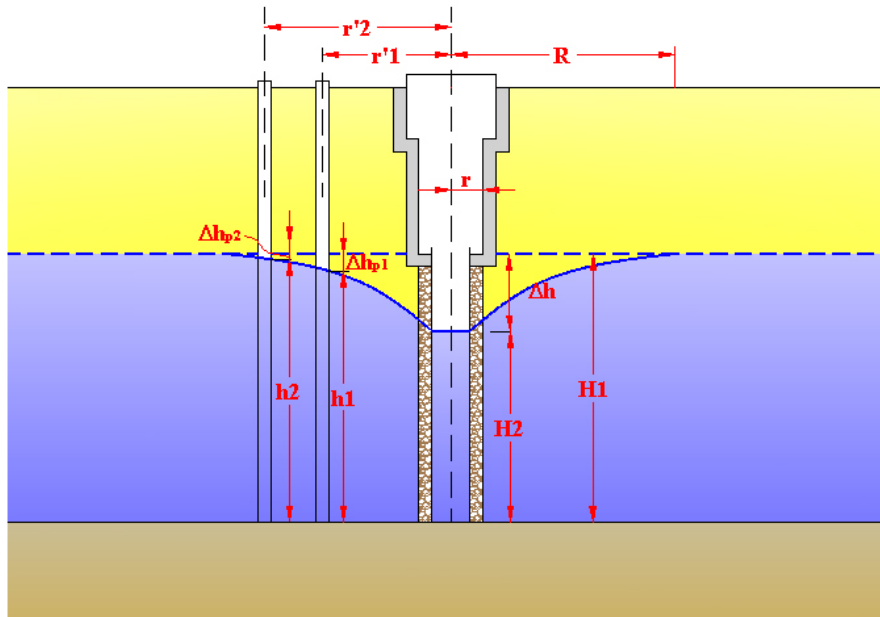


Figura 11 – Schema per Dupuit-Thiem

In modo analogo, per una *falda artesia*, di spessore b , si ha:

$$T = \frac{Q_c}{2\pi} \frac{\ln r'_2 - \ln r'_1}{(\Delta h_{p1} - \Delta h_{p2})} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

In caso si possiedono un pozzo di emungimento e un solo piezometro è ancora possibile calcolare i valori di K e T , utilizzando le seguenti formule:

$$K = \frac{Q_c}{\pi} \frac{\ln r'_1 - \ln r}{(H_2 + h_1)(\Delta h - \Delta h_{p1})} \text{ (m/s)}$$

$$T = \frac{Q_c}{2\pi} \frac{\ln r'_1 - \ln r}{(\Delta h - \Delta h_{p1})} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Quando necessario, in alcune situazioni, è possibile interpretare la prova a gradini crescenti con la teoria del non-equilibrio utilizzando la *formula di approssimazione logaritmica*. La prova dà risultati attendibili se però, prima di superare la portata critica, è stata prolungata per un tempo sufficientemente lungo. Si costruisce un diagramma depressioni specifiche/logaritmo dei tempi da cui si ottengono il valore dell'accrescimento della depressione specifica (C) che si verifica in un ciclo logaritmico e il tempo t_0 (figura 12).

Ottenuti i due valori è possibile calcolare la trasmissività (T) e il coefficiente di immagazzinamento (S):

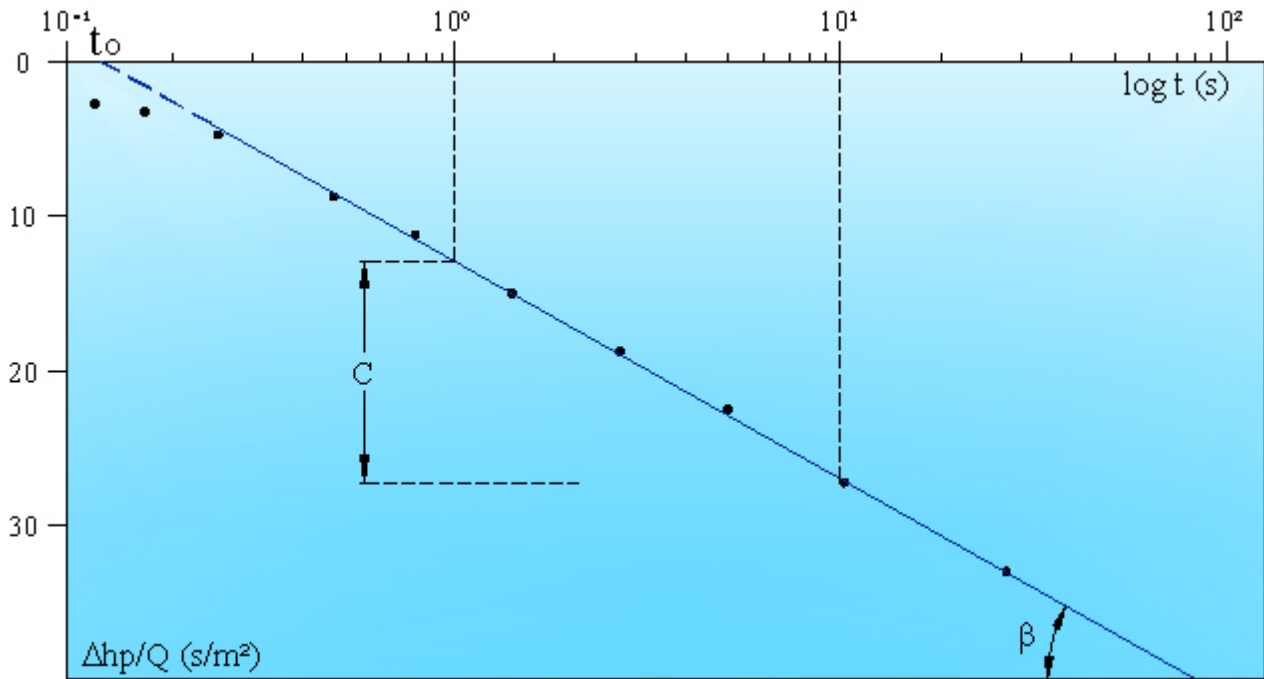


Figura 12 – Diagramma depressioni specifiche/log tempi

C, coefficiente angolare della retta, viene dato da:

$$C = \tan \beta = \frac{0,183}{T}$$

dalla quale si ottiene il valore della trasmissività e di conseguenza il valore del coefficiente di immagazzinamento:

$$T = \frac{0,183}{C}$$

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

Prova di pozzo di lunga durata

Le prove di pozzo di lunga durata vengono eseguite a portata costante, con un solo gradino di portata e hanno una durata che varia tra le 48 e le 72 ore.

Durante la prova si misura l'abbassamento dei livelli, ma anche la risalita che deve essere osservata per una uguale durata (figura 13).

Il calcolo del coefficiente di permeabilità (K) e della trasmissività (T) può essere effettuato in regime di equilibrio, sia su falda libera che su falda artesianica, con la *formula di Dupuit-Thiem* di cui già si è discusso per le prove di pozzo di breve durata, con la differenza che la formula viene applicata ad un solo gradino di portata, a portata costante (Q_{cost}), quando il cono di depressione diventa stazionario. Perciò si avrà:

$$K = \frac{Q_{\text{cost}}}{\pi} \frac{\ln r_2' - \ln r_1'}{(h_1 + h_2)(\Delta h_{p1} - \Delta h_{p2})} \text{ (m/s)}$$

$$T = \frac{Q_{\text{cost}}}{2\pi} \frac{\ln r_2' - \ln r_1'}{(\Delta h_{p1} - \Delta h_{p2})} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

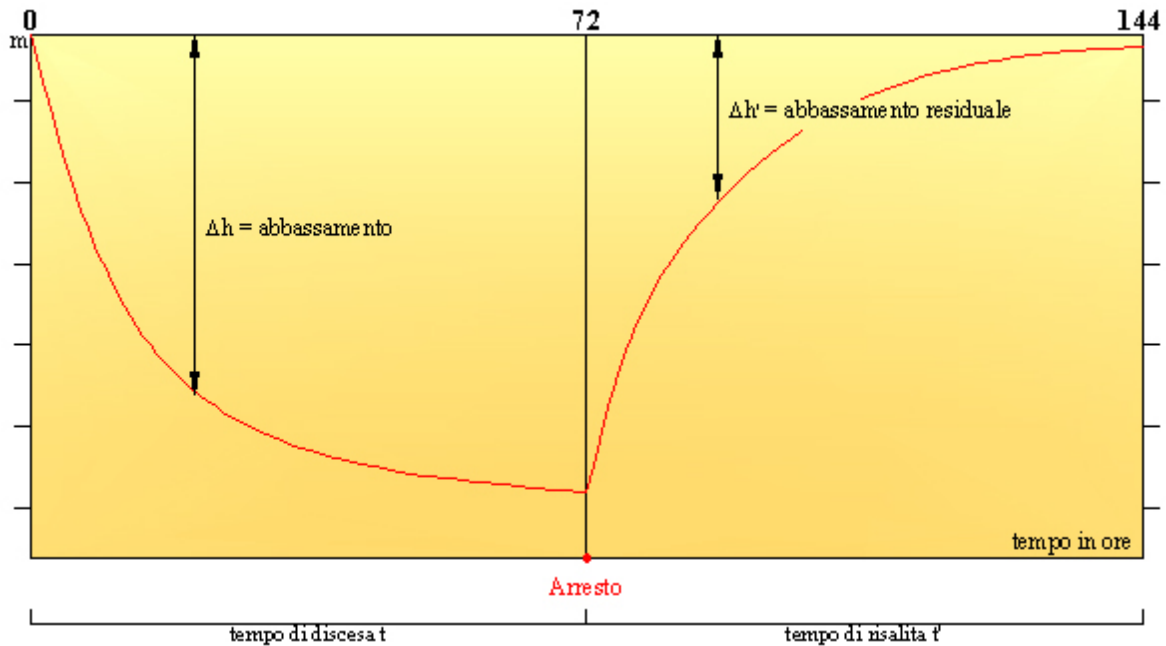


Figura 13

Quando si opera in un acquifero con falda artesianica, illimitato, con substrato e tetto impermeabile, in regime di non-equilibrio, per il calcolo della trasmissività T è possibile utilizzare la *formula di approssimazione logaritmica* di Jacob.

Inizialmente si riportano i dati in un diagramma semilogaritmico (figura 14), dove sull'asse delle ordinate vengono posti gli abbassamenti del livello dell'acqua (Δh_p), in metri, misurate in un piezometro della stazione di prova e sull'asse delle ascisse il logaritmo dei tempi ($\log t$). Dopo un intervallo di tempo sufficientemente lungo i punti si allineano su di una retta di cui è possibile calcolare il coefficiente angolare C che può essere misurato direttamente sul grafico essendo uguale all'accrescimento di depressione piezometrica Δh_p che si verifica in un ciclo logaritmico:

$$C = \tan \beta = \frac{0,183 Q}{T}$$

Calcolato C è possibile ottenere il valore della trasmissività (T) e del coefficiente di immagazzinamento (S):

$$T = \frac{0,183 Q}{C}$$

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

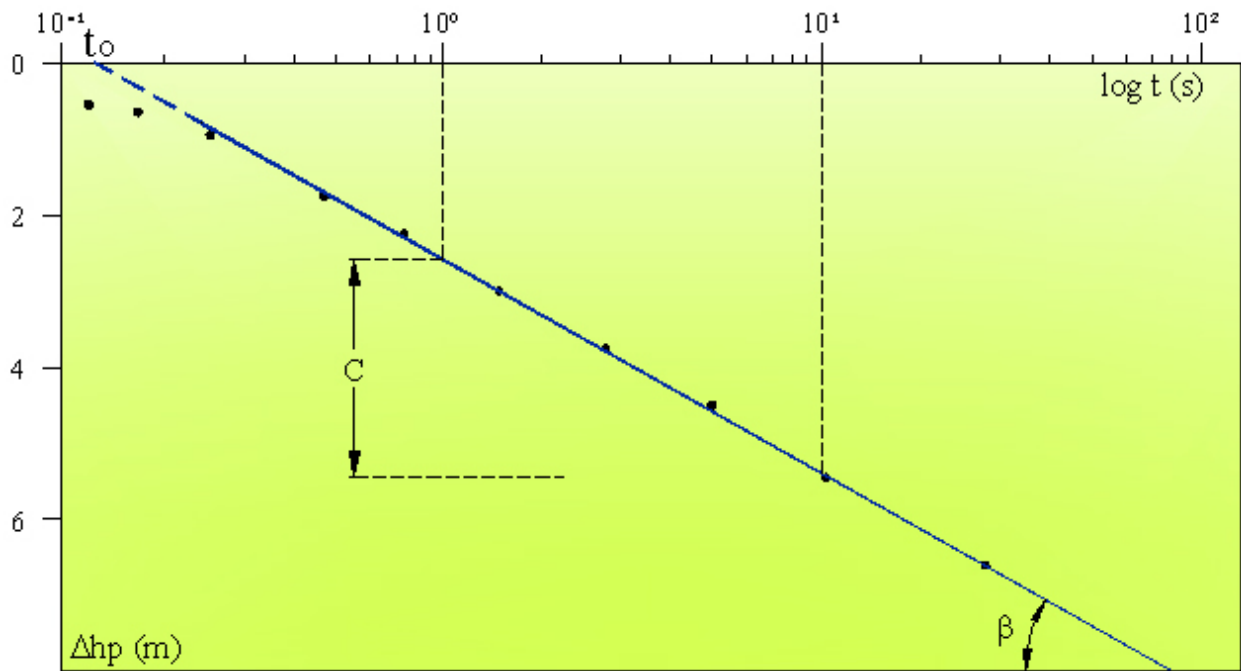


Figura 14 – Diagramma depressioni (Δh_p)/log tempi (t)

Il metodo di approssimazione di Jacob può essere utilizzato per interpretare la *curva di risalita* mediante la *formula di approssimazione logaritmica*:

$$\Delta h'_p = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{t+t'}{t'} \text{ (m)}$$

Si pongono i dati in un diagramma semilogaritmico (figura 15), dove sull'asse delle ordinate vengono riportate le depressioni residue ($\Delta h'_p$) e in quello delle ascisse il logaritmo di $(t+t')/t'$.

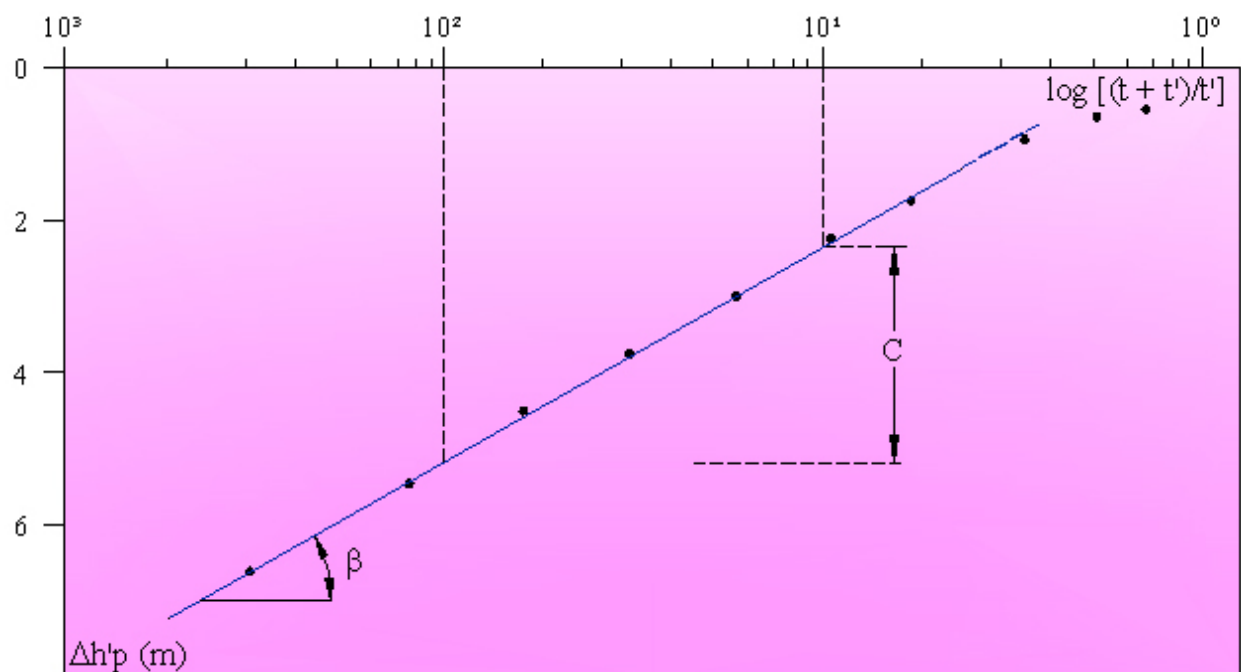


Figura 15 – Retta rappresentativa di una curva di risalita

Escludendo il tratto iniziale di risalita rapida e quello finale di risalita lenta, i punti si allineano su di una retta rappresentativa della curva il cui coefficiente angolare C si ottiene come nel caso della curva di abbassamento. Calcolato il valore di C è possibile ottenere la trasmissività (T), che se le prove sono state eseguite correttamente, risulta dello stesso ordine di grandezza di quella calcolata con la curva di abbassamento.

Quando però è $u = \frac{r^2 S}{4 T t} > 0,01$ la formula di approssimazione logaritmica di Jacob non è più applicabile, per cui è necessario calcolare la trasmissività mediante la formula del regime di non-equilibrio di Theis.

L'analisi mediante Theis si esegue graficamente utilizzando la **curva standard** di Theis (figura 16), alla quale bisogna sovrapporre i valori ottenuti con la prova di emungimento.

La **curva standard** viene costruita su di un grafico logaritmico riportando sull'asse delle ascisse i valori della variabile u e sull'asse delle ordinate $W(u)$.

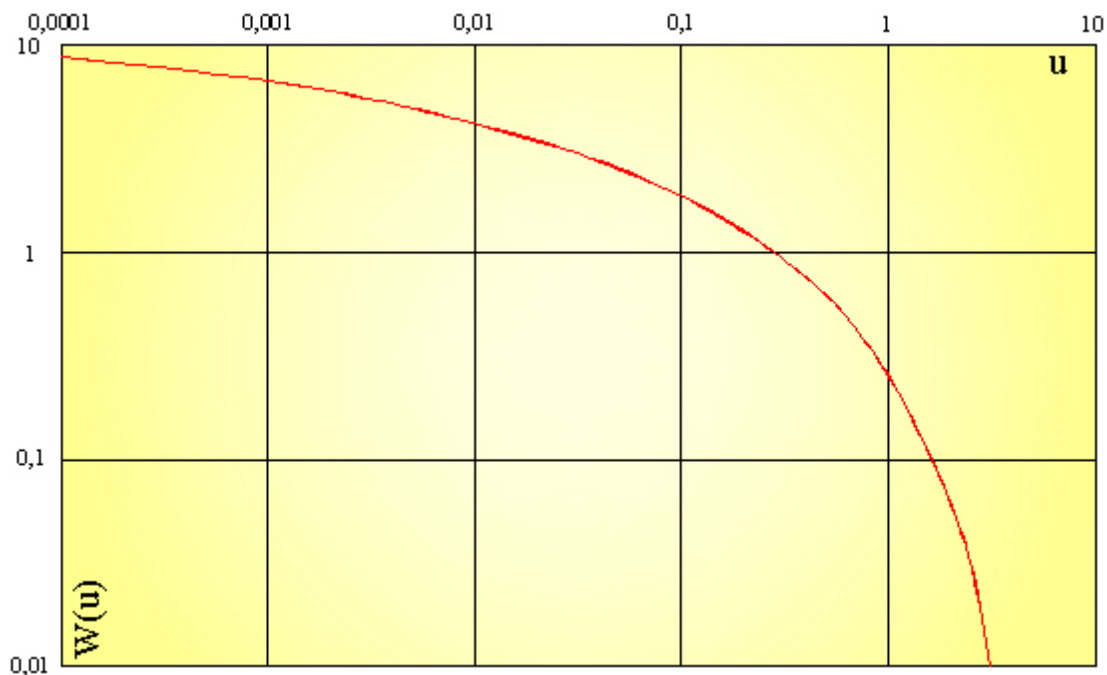


Figura 16 – Curva standard di Theis

Su un altro grafico logaritmico, con coordinate alla stessa scala della curva standard, si riportano sull'asse delle ascisse i valori di r^2/t e sull'asse delle ordinate le depressioni Δh_p corrispondenti, ricavati dalla prova di emungimento. Così facendo si ottiene una curva sperimentale che rappresenta un tratto di quella standard, alla quale può essere sovrapposta.

Dalla sovrapposizione dei due diagrammi, scegliendo un punto sul tratto di curva sovrapponibile e tracciandone le coordinate, si ricavano due coppie di valori: $W(u)-\Delta h_p$ e $u-r^2/t$ (figura 17).

I valori così ricavati andranno inseriti nelle formule per il calcolo della trasmissività (T) e del coefficiente di immagazzinamento (S):

$$T = \frac{Q}{4\pi \Delta h_p} W(u) \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$$S = \frac{4 T u}{r^2/t}$$

Queste formule sono valide quando si opera in acquiferi illimitati, confinati.

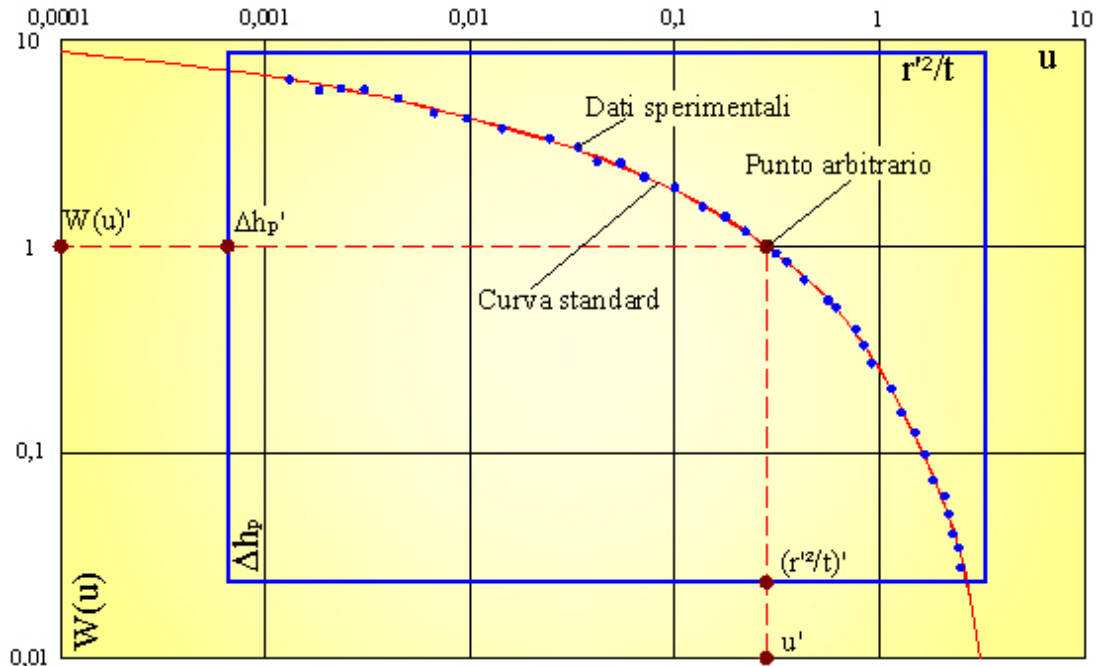


Figura 17 – Sovrapposizione di dati sperimentali sulla curva standard di Theis.

In falde *semiartesiane* si utilizza un metodo di sovrapposizione grafica simile al precedente, proposto da Hantush nel 1956.

In un diagramma logaritmico (figura 18) si rappresenta il $\log W(u, r'/B)$ in funzione del $\log 1/u$ si ottengono diverse curve per differenti valori del rapporto r'/B (quando $r'/B = 0$ si ottiene la curva standard degli acquiferi confinati).

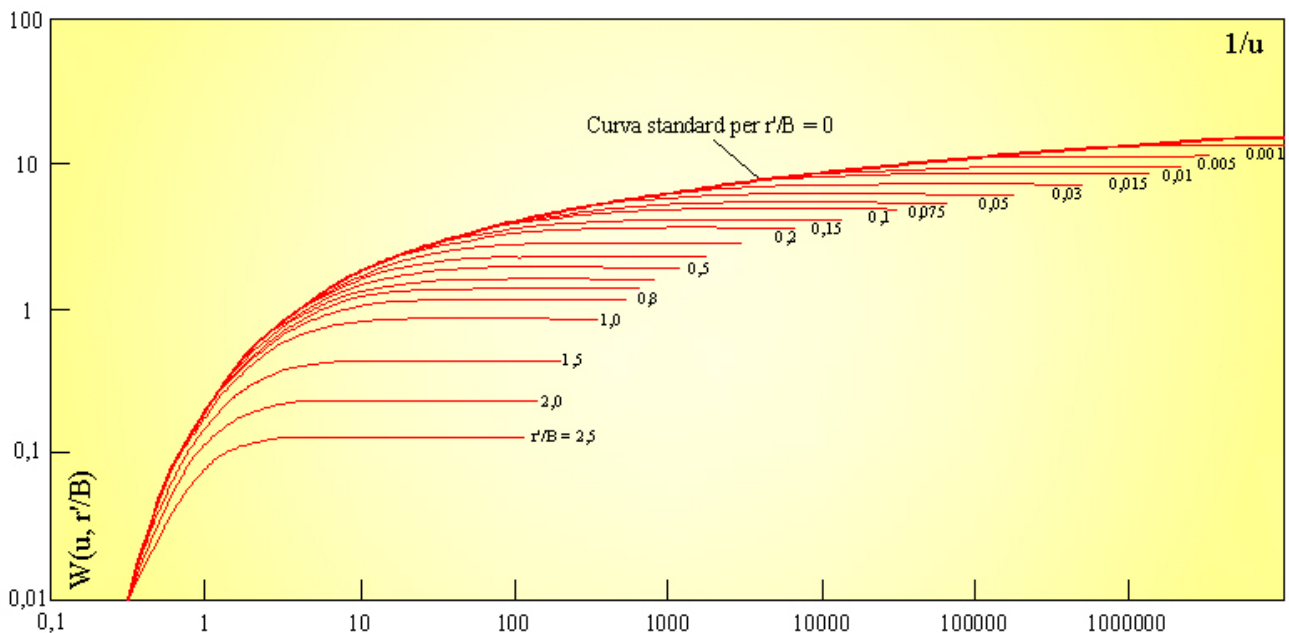


Figura 18 – Curve standard per acquiferi semiartesiani

Come per il caso degli acquiferi artesiani, si costruisce un altro grafico logaritmico su cui vengono riportati, rispettivamente sull'asse delle ordinate e sull'asse delle ascisse, i dati sperimentali di Δh_p e t , che poi vengono sovrapposti.

Così facendo, riferendosi ad un punto arbitrario posto sulla curva sovrapposta, si ottengono le coppie di valori $W(u, r'/B) \cdot \Delta h_p$ e $1/u \cdot t$, da inserire nelle formule per il calcolo della trasmissività (T) e del coefficiente di immagazzinamento (S):

$$T = \frac{Q}{4\pi \Delta h_p} W(u, r'/B) \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$$S = \frac{4 T t}{(1/u)r'^2}$$