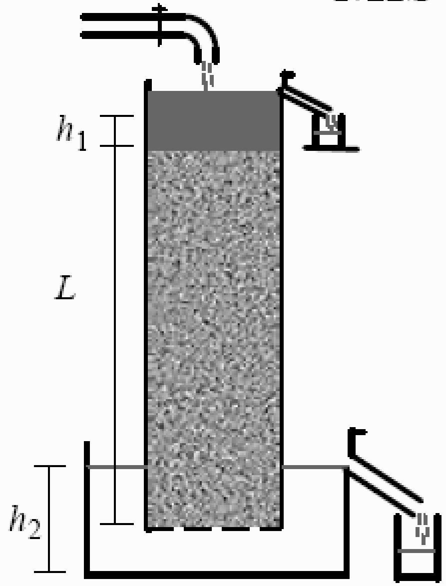
Idraulica

Prove di emungimento

armando carravetta

Il problema della caratterizzazione idraulica

MISURE DI CONDUTTIVITÁ IDRAULICA



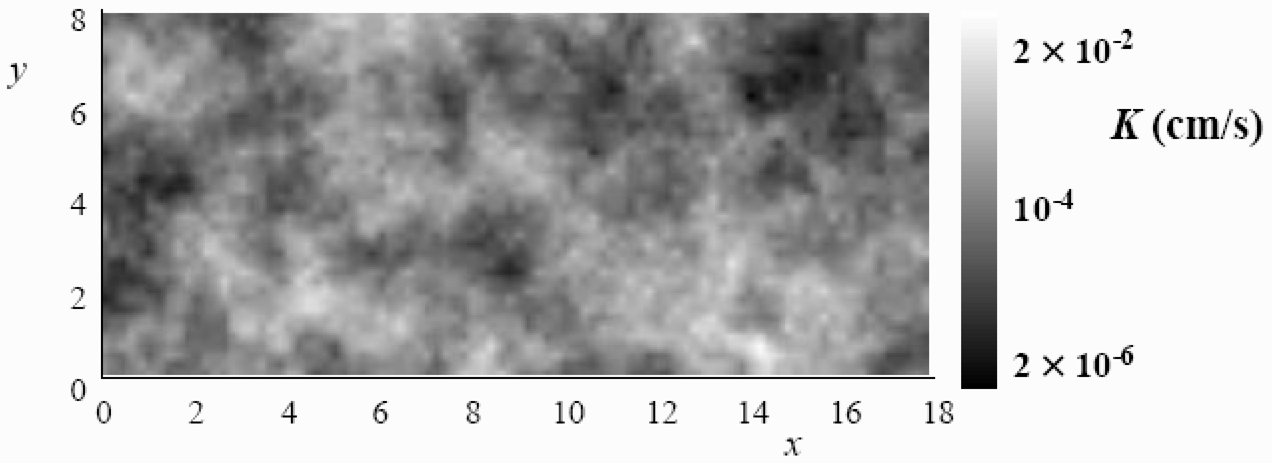
***Laboratorio*: *Permeametro*.** Colonna di materiale poroso *indisturbato* agli estremi della quale viene applicato un gradiente idraulico (campo di filtrazione monodimensionale). Si distinguono il **a**) permeametro a carico costante e **b**) a carico variabile (adatto per basse permeabilità.

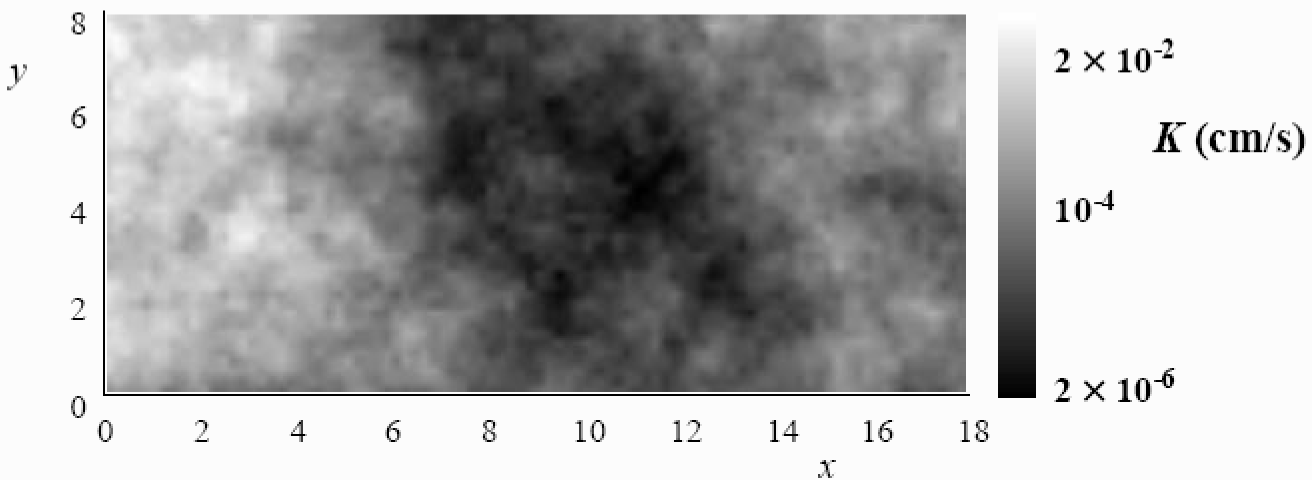
Applicando la legge di Darcy: $K = (Q\ \mathrm{L}) / [(h_1+L-h_2)\ \Omega]$

(scala di laboratorio)

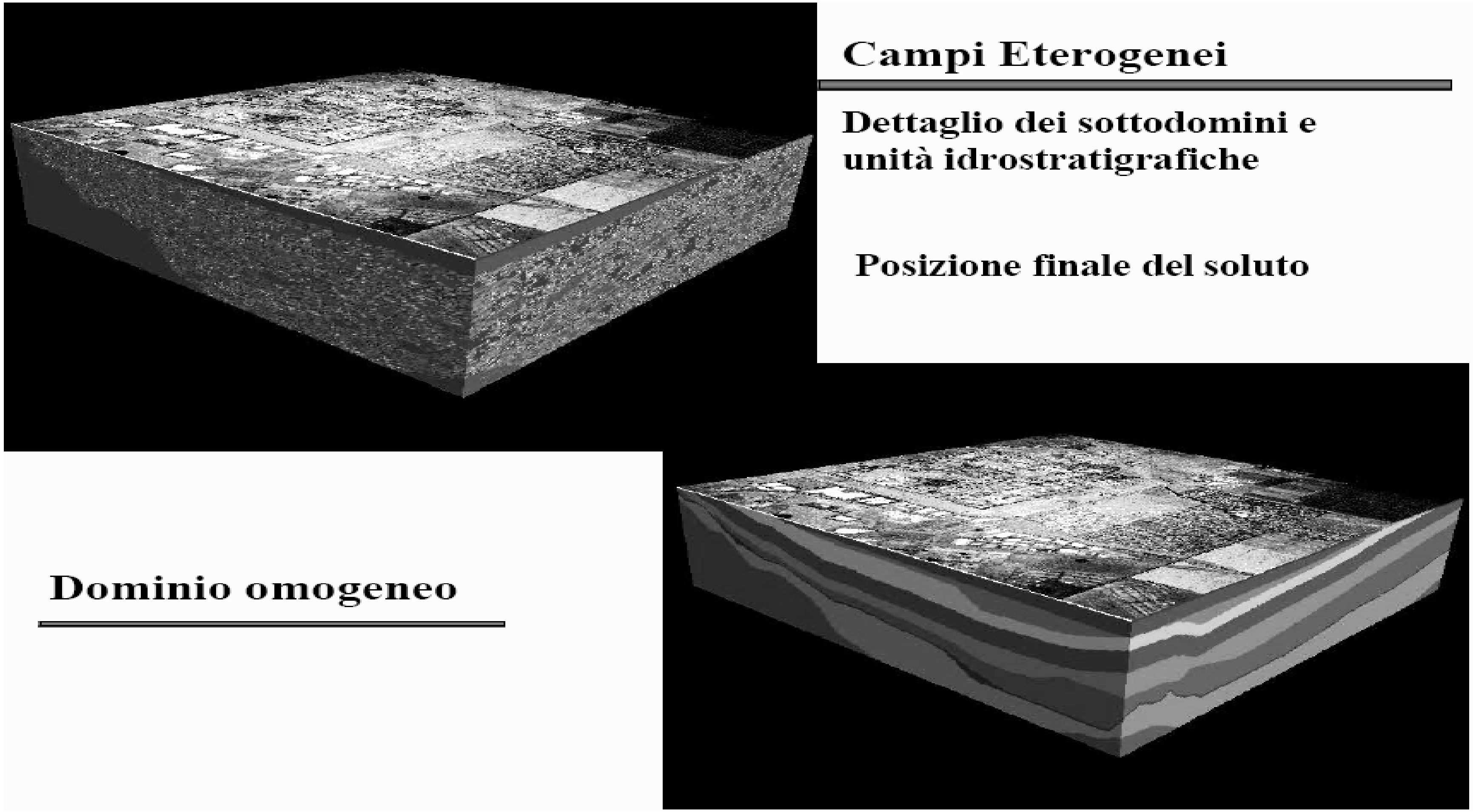
in cui Ω è l'area della sezione trasversale della colonna di materiale poroso di sviluppo L e Q è la portata volumetrica misurata all'uscita sotto l'azione della differenza di carico (h_1+L-h_2)

FORMAZIONI OMOGENEE / ETEROGENEE



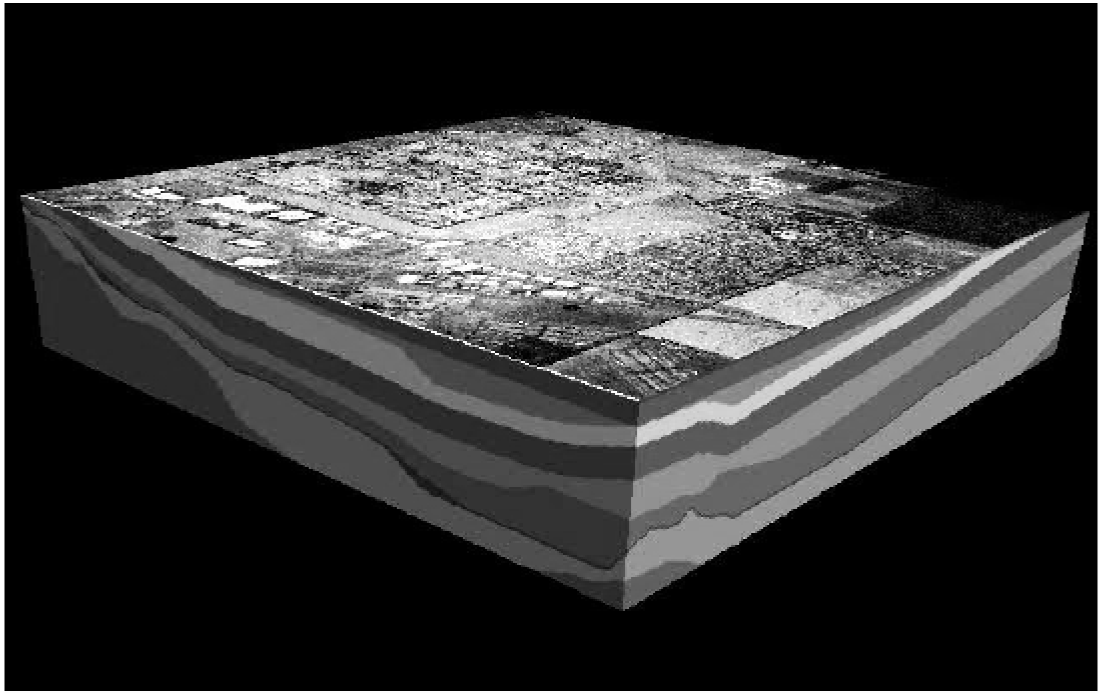


Mezzi eterogenei



Schematizzazione concettuale

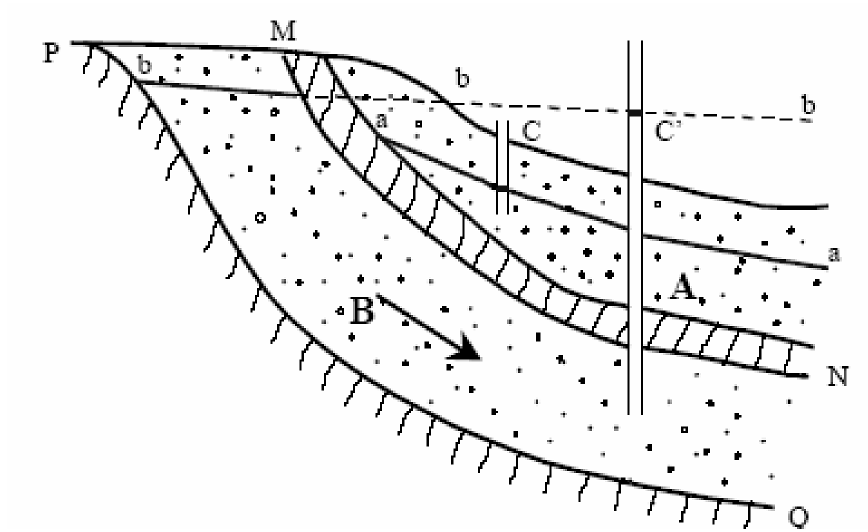
- E’ possibile identificare classi di orizzonti sufficientemente differenziate dal punto di vista dei valori assunti dalle proprietà idrauliche



Prove di emungimento da falde acquifere

- Una volta identificato un acquifero di interesse è necessario caratterizzarlo

- Vogliamo studiare alcuni metodi per la determinazione delle proprietà delle falde acquifere al fine di una loro caratterizzazione idraulica



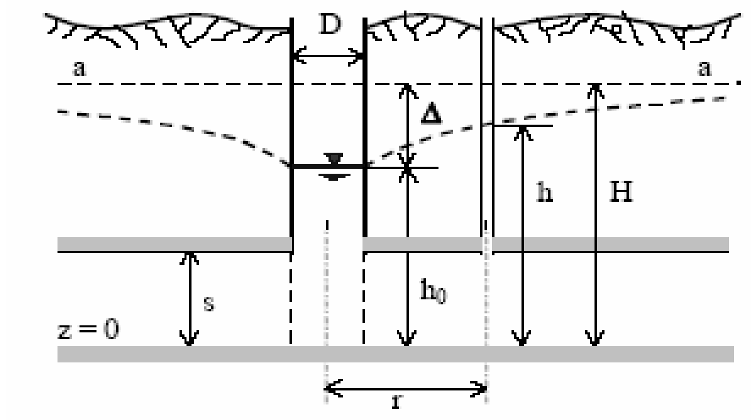
- Esamineremo due casi relativi alle falde artesiane confinate
  - Prove di emungimento in moto permanente
  - Prove di emungimento in moto vario

Prove di emungimento in moto permanente

- Abbiamo già studiato l'emungimento da una falda artesiana confinata suborizzontale

- Le ipotesi richiamate erano di mezzo omogeneo ed isotropo e di spessore costante della falda

- Abbiamo verificato l'importanza della trasmissività della falda T prodotto dello spessore della falda s e del coefficiente di filtrazione f

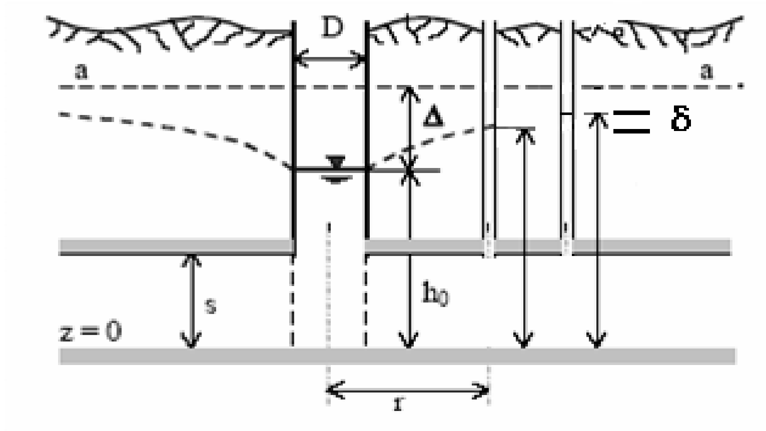


$$h = H + \frac{Q}{2\pi s f} \ln \frac{r}{R}$$

Metodo di Thiem

- Al fine di determinare un valore di trasmissività della falda può essere utile effettuare prove a regime nel corso delle quali svolgere le seguenti misure

- Portata emunta Q
- Dislivello piezometrico tra una coppia di piezometri alle distanze r1 ed r2

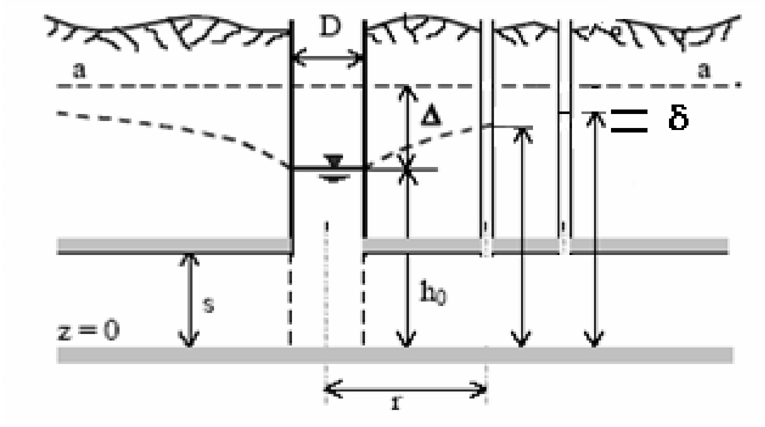


Metodo di Thiem

- Gli abbassamenti dei livelli piezometrici nei singoli piezometri rispetto alla falda indisturbata sono dati da:

$$-\delta h_1 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_1}$$

$$-\delta h_2 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_2}$$



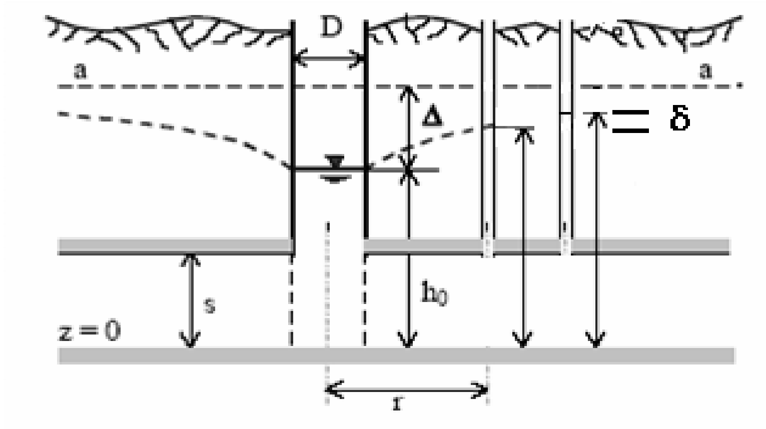
- Sottraendo la prima relazione dalla seconda si ottiene l’espressione del dislivello δ tra le letture dei due piezometri

$$\delta = \delta h_2 - \delta h_1 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Metodo di Thiem

- Dalla lettura di δ e dalla misura della portata emunta si ricava il valore della trasmissività T:

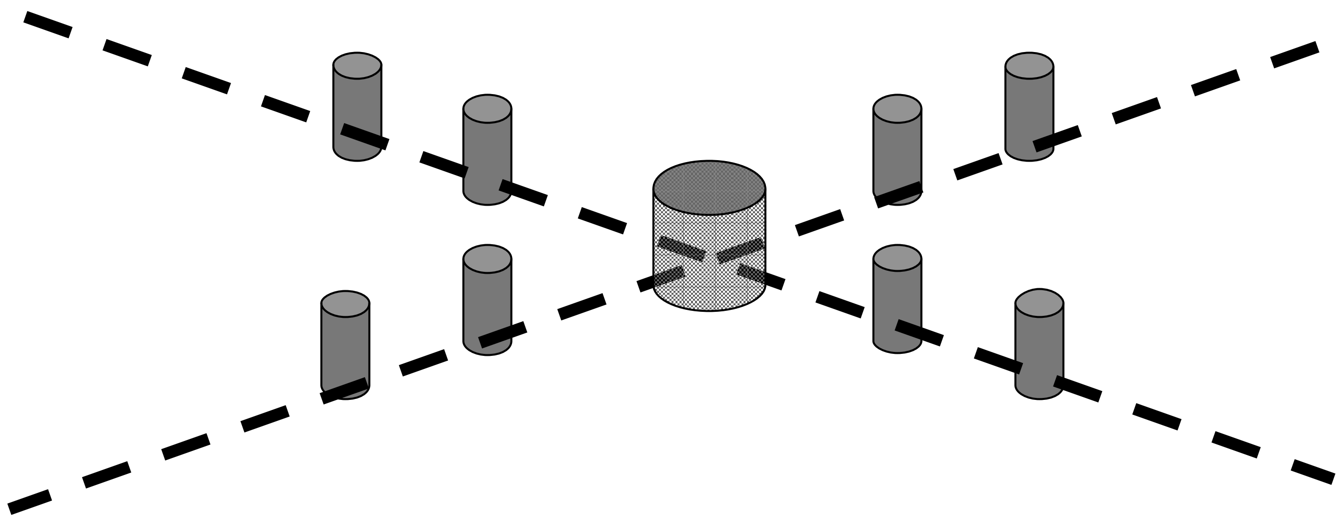
$$T = \frac{Q}{2\pi\,\delta} \ln \frac{r_2}{r_1}$$



- Il difetto di questo metodo consiste nella necessità di prolungare l'emungimento fino al raggiungimento delle condizioni di regime

Metodo di Thiem

- Al fine di ridurre l'effetto di anisotropie locali conviene effettuare la misura su più coppie di piezometri.
- Una tipica disposizione prevede la perforazione di quattro coppie di piezometri disposti in pianta secondo due direzioni ortogonali



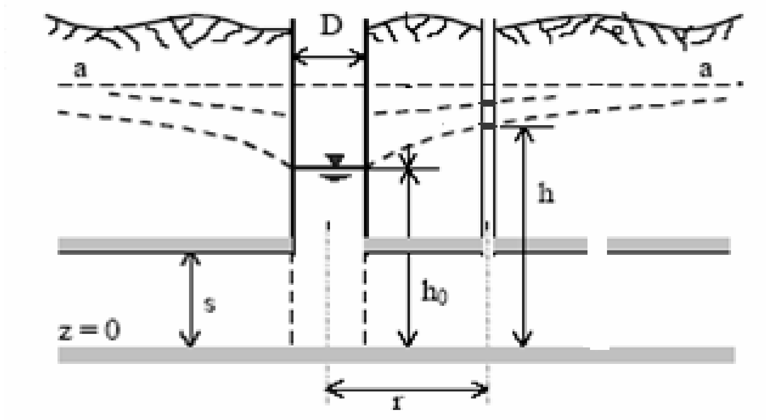
Metodo di Theis

- La determinazione della trasmissività della falda può essere effettuata anche nel corso di prove in moto vario

- Nel corso di tali prove occorre misurare

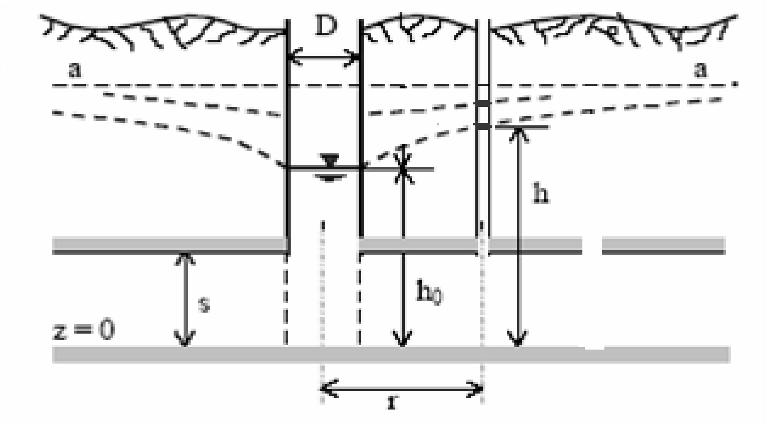
  - La portata emunta Q

  - L'andamento nel tempo dei livelli piezometrici in più piezometri nel corso del transitorio

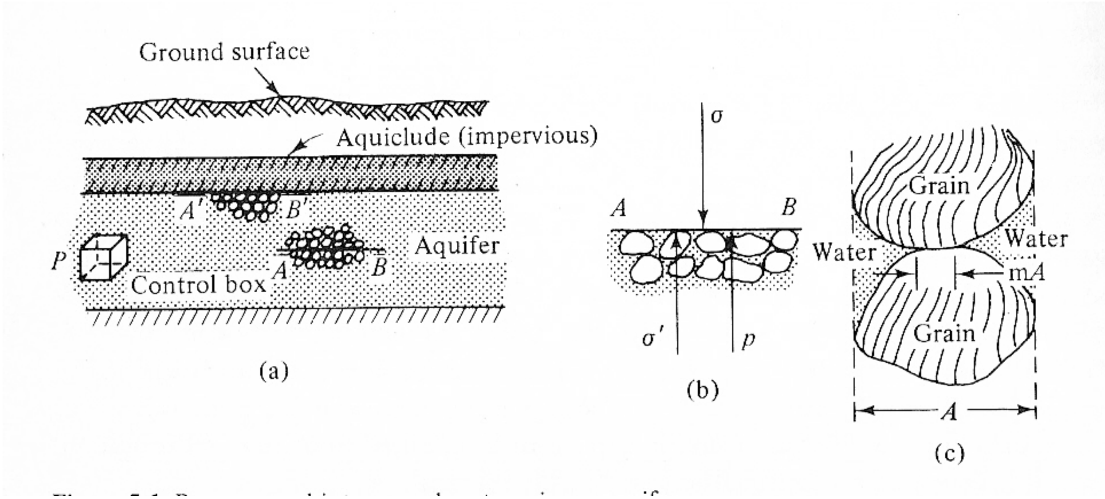


Metodo di Theis

- La difficoltà della interpetazione delle misure consiste nella necessità di tenere conto delle variazioni che il transitorio induce sulle caratteristiche morfologiche del mezzo poroso
- Infatti ad ogni variazione di quota piezometrica corrisponde in un certo punto della falda un aumento o una riduzione di pressione.
- La variazione di pressione ha effetti sulla densità del fluido e sulla porosità dell’ammasso



Effetti sulla falda
delle variazioni di pressione

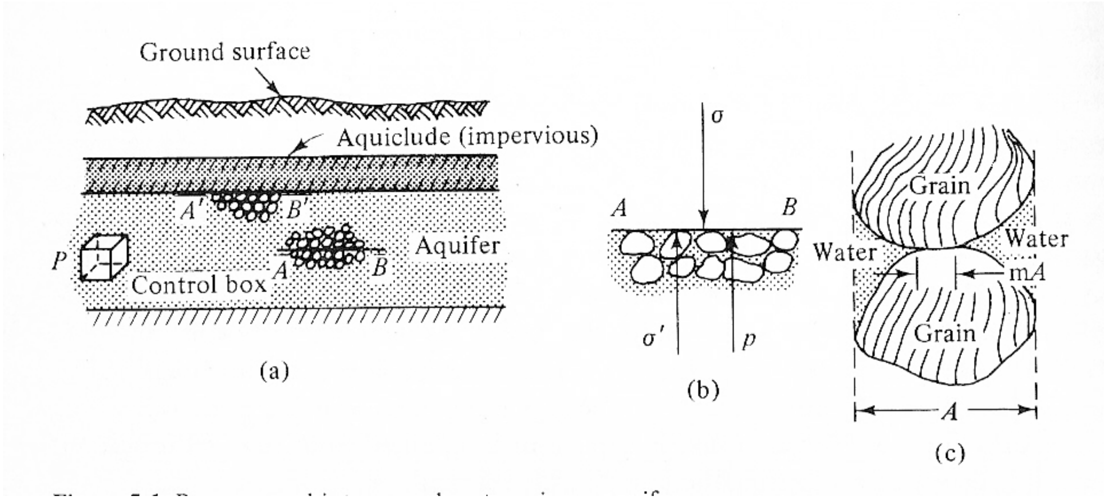


- Occorre ricordare il concetto di tensioni effettive introdotto da Terzaghi

- Il carico complessivo agente al disopra di una superficie AB nella falda è bilanciato dalla somma delle tensioni intergranulari e della pressione:

$$\sigma = \sigma' + p$$

Effetti sulla falda delle variazioni di pressione



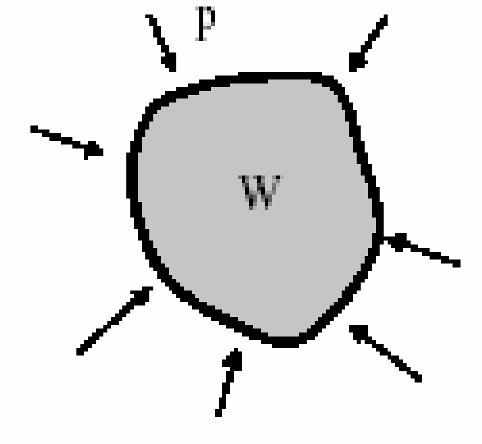
- Una variazione del carico dσ determina una variazione dei due termini dσ' e p.

$$d\sigma = d\sigma' + dp$$

- Se manteniamo costante il carico, ma induciamo una riduzione di pressione -ad esempio tramite un pompaggio- determiniamo un incremento degli sforzi intergranulari di eguale intensità.

$$d\sigma = 0 = d\sigma' + dp \qquad d\sigma' = -dp$$

Effetti sull'acqua delle variazioni di pressione



- Una varizione di pressione induce una variazione della densità dell'acqua legata al coefficiente di compressibilità dell'acqua:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dp}{\varepsilon}$$

- In particolare se ρ_o rappresenta la densità iniziale dell'acqua, una variazione di pressione dal valore p_o al valore p determina una densità dell'acqua pari a:

$$\rho = \rho_o e^{\beta(p - p_o)}$$

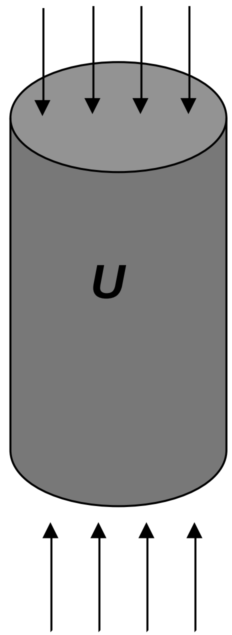
- Il segno meno indica che la densità diminuisce al ridursi della pressione

  e il volume occupato dall'acqua aumenta $$U_w = U_{wo} e^{-\beta(p - p_o)}$$

Effetti sullo scheletro solido delle variazioni di pressione

σ’

- La matrice solida è elastica, mentre possiamo considerare indeformabili i singoli granelli.
- Una variazione di pressione e quindi degli sforzi intergranulari determina un riassestamento dello scheletro solido e una variazione di porosità.
- Le proprietà elastiche del materiale, considerando solo deformazioni verticali, sono espresse dal coefficiente di comprimibilità:



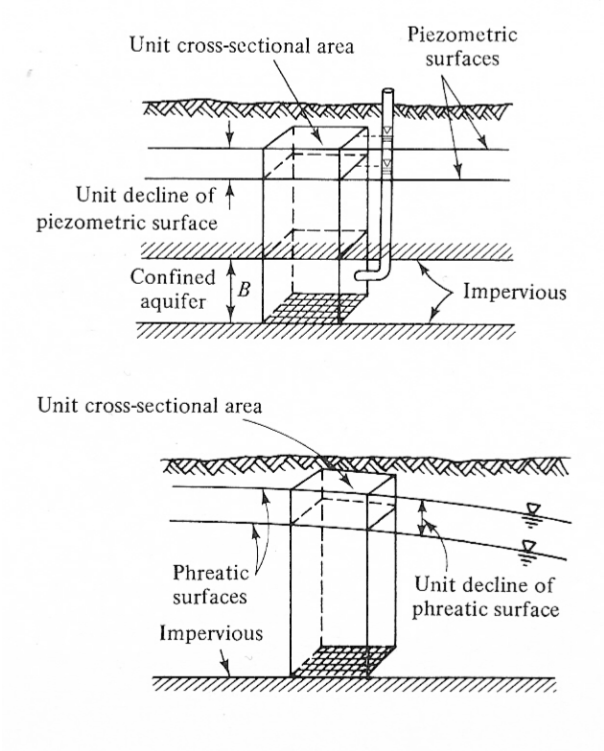
$$\frac{dU}{U} = \frac{d\sigma'}{\alpha}$$

Effetti indotti da un emungimento

- Un emungimento in falda freatica o artesiana determina una riduzione di pressione.
- Le espressioni dei due coefficienti di comprimiblità dell’acqua e di comprimibilità della matrice solida:

$$\varepsilon = \rho \frac{dp}{d\rho} \qquad \alpha = \frac{1}{(1-n)} \frac{dp}{dn}$$

evidenziano gli effetti legati alla riduzione di pressione:



1. **Riduzione di densità e conseguente dilatazione dell’acqua**

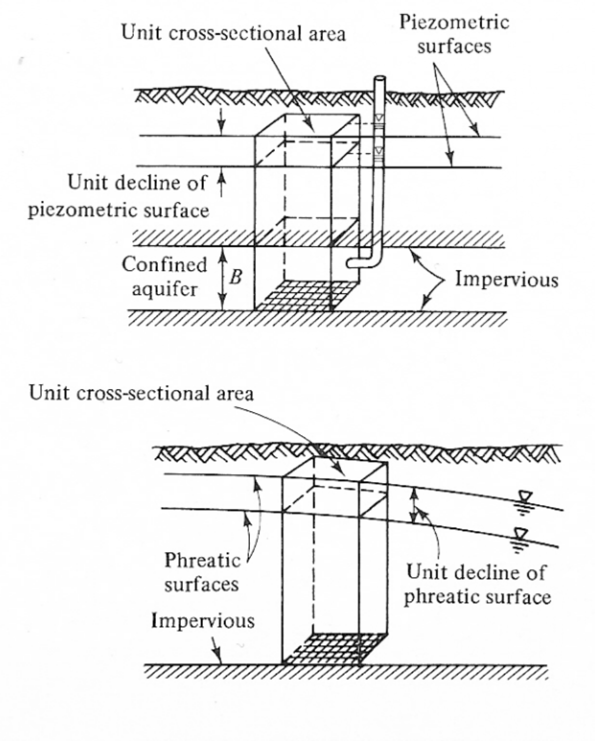
2. **Riduzione della porosità**

Effetti indotti da un emungimento

- Ne consegue che durante il transitorio che si determina all'inizio dell'emungimento una quota parte dell'acqua emunta è acqua immagazzinata nella falda e rilasciata per effetto della riduzione di pressione.

- Allo stesso modo, durante il transitorio che si determina all'inizio di un ripompaggio una quota parte dell'acqua immessa nel pozzo è immagazzinata nella falda per effetto dell'incremento di pressione.

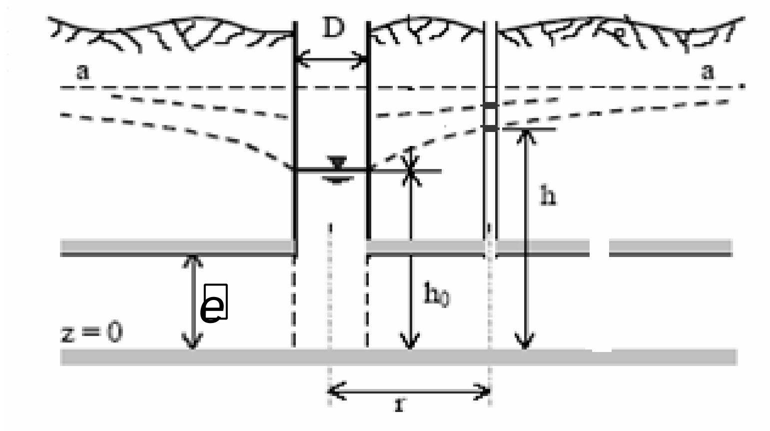
- Va osservato, peraltro, che gli effetti indotti sono in gran parte irreversibili in quanto le deformazioni dello scheletro solido determinate da assestamenti dei granelli.



Coefficiente di immagazzinamento

- Per un prisma di falda di base unitaria si definisce coefficiente di immagazzinamento S la variazione del volume di acqua immagazzianto per effetto di una variazione di quota piezometrica espresso dalla quantità:

$$S = \frac{\mathrm{d}en}{\mathrm{d}\,h} = e\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}\,h}$$



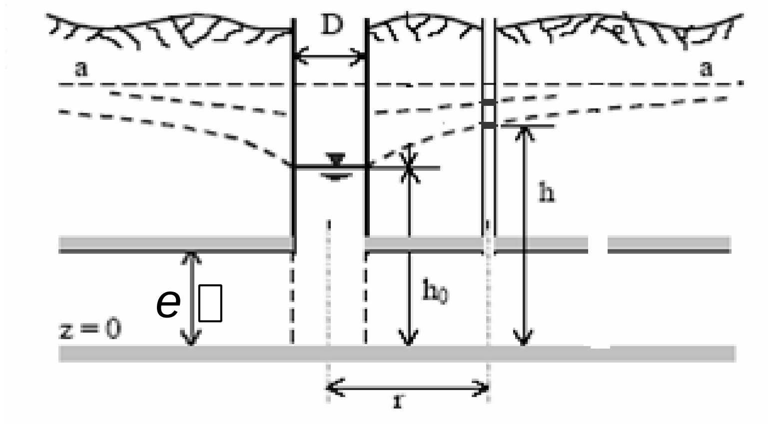
essendo n·e il volume dei vuoti

S è una grandezza adimensionale

Occorrerà a questo punto scrivere l'equazione di continuità rimuovendo l'ipotesi di scheletro solido indeformabile e fluido incomprimibile

Equazione del moto vario

- Scriviamo l'equazione di continuità per una anello di falda coassiale al pozzo di spessore dr e raggio r:



$$\left(Q + \frac{\partial Q}{\partial r} dr\right) dt - Q dt = \frac{\partial Q}{\partial r} dr dt = \frac{\partial (W_v)}{\partial t} dt$$

Vediamo il primo membro, ricordando che:

$$Q = 2\pi rT \frac{\partial h}{\partial r}$$

risulta

$$\frac{\partial Q}{\partial r} dt = 2\pi T \left(r \frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{\partial h}{\partial r} \right) dt$$

Equazione del moto vario

$$\left(Q+\frac{\partial Q}{\partial r}dr\right)dt - Qdt = \frac{\partial Q}{\partial r}drdt = \frac{\partial (W_v)}{\partial r}dt$$

Vediamo il secondo membro:

$$\frac{\partial (W_v)}{\partial t}dt = 2\pi redr\frac{\partial n}{\partial t}dt = 2\pi re\frac{\partial n}{\partial h}\frac{\partial h}{\partial t}dr\,dt = 2\pi rdrS\frac{\partial h}{\partial t}dt$$

in quanto il volume dei pori per un anello di falda di spessore dr è espresso da $W_v = 2\pi\, ren\, dr$

- L'equazione fondamentale del moto vario in una falda artesiana si scrive pertanto:

$$\frac{\partial Q}{\partial r}dr = 2\pi\, T\left(r\frac{\partial^2 h}{\partial r^2}+\frac{\partial h}{\partial r}\right)dr = 2\pi rdrS\frac{\partial h}{\partial t} \Longrightarrow \left(\frac{\partial^2 h}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r}\right) = \frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t}$$

Soluzione dell'equazione del moto vario

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r}\right) = \frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t}$$

Tale equazione differenziale ha per soluzione:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{C}{t}\exp\left(- \frac{S}{T}\frac{r^2}{4t}\right)$$

- Tale equazione esprime la variazione nel tempo della quota piezometrica a distanza r dal pozzo per effetto di una variazione della portata emunta, ma il suo impiego è subordinato alla valutazione della costante C

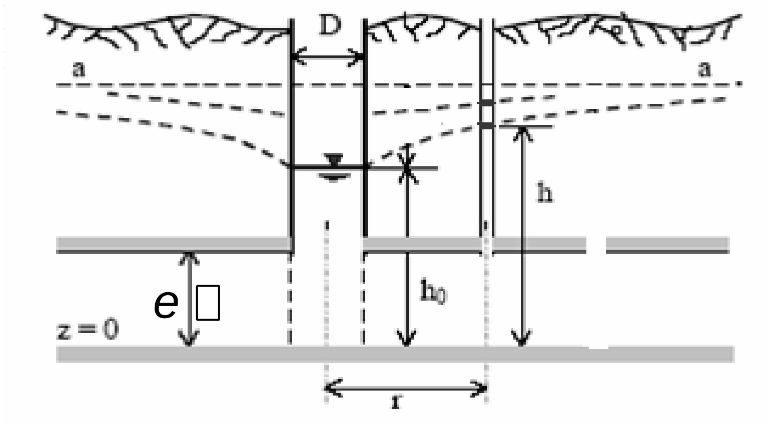
Metodo di Theis

- Immaginiamo di aumentare istantaneamente la portata emunta della quantità ΔQ:

$$\Delta Q = -\int_0^\infty 2\pi\, r\, S \frac{dh}{dt}\, dr = -\int_0^\infty 2\pi\, S \frac{C}{t} \exp\left(-\frac{S}{T}\frac{r^2}{4t} \right) r\, dr$$

- Tale portata è l'integrale su r della variazione del volume d'acqua immagazzinato

$$u = \frac{S}{T}\frac{r^2}{4t} \quad \rightarrow \quad \Delta Q = -2\pi \frac{C}{t} S \int_0^\infty e^{-u} r dr$$



$$rdr = \frac{dr^2}{2} \quad \rightarrow \quad \Delta Q = -\pi S \frac{C}{t} \int_0^\infty e^{-u} dr^2$$

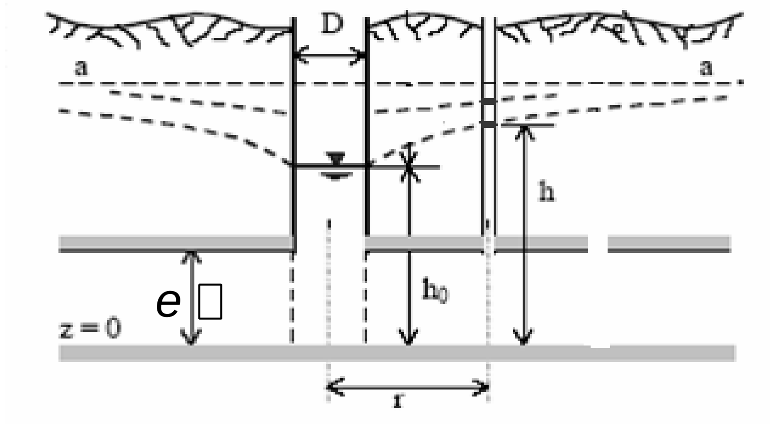
$$du = \frac{S}{4T}\frac{dr^2}{t} \quad \rightarrow \quad \Delta Q = -\pi S \frac{C}{t} \int_0^\infty e^{-u} \frac{T}{S} 4t du = -4\pi CT \int_0^\infty e^{-u} du = -4\pi CT$$

Metodo di Theis

- Abbiamo ricavato la costante C

$$C = -\frac{\Delta Q}{T 4\pi}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\Delta Q}{T4\pi} e^{-\frac{S}{T}\frac{r^2}{4t}} = -\frac{\Delta Q}{T4\pi} e^{-u}$$



- Possiamo determinare l'abbassamento che corrisponde alla variazione di portata

$$\Delta h = -\int_0^t \frac{\partial h}{\partial t} dt = -\frac{\Delta Q}{T4\pi} \int_0^t e^{-u} dt$$

$$u = \frac{S}{4T}\frac{r^2}{t} \quad \rightarrow \quad \frac{dt}{t} = -\frac{du}{u} \quad \rightarrow \quad \Delta h = -\frac{\Delta Q}{T4\pi} \int_0^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = -\frac{\Delta Q}{T4\pi} W(u)$$

- L'integrale W(u) può essere risolto mediante sviluppo in serie

$$W(u) = -\left[-0.5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \ldots\right]$$

Metodo di Theis

- Per la determinazione dei due parametri S e T della falda è possibile utilizzare un metodo di risoluzione grafico basato sulla registrazione dei valori di depressione misurati nel tempo ad una distanza r, per assegnato incremento di portata DQ

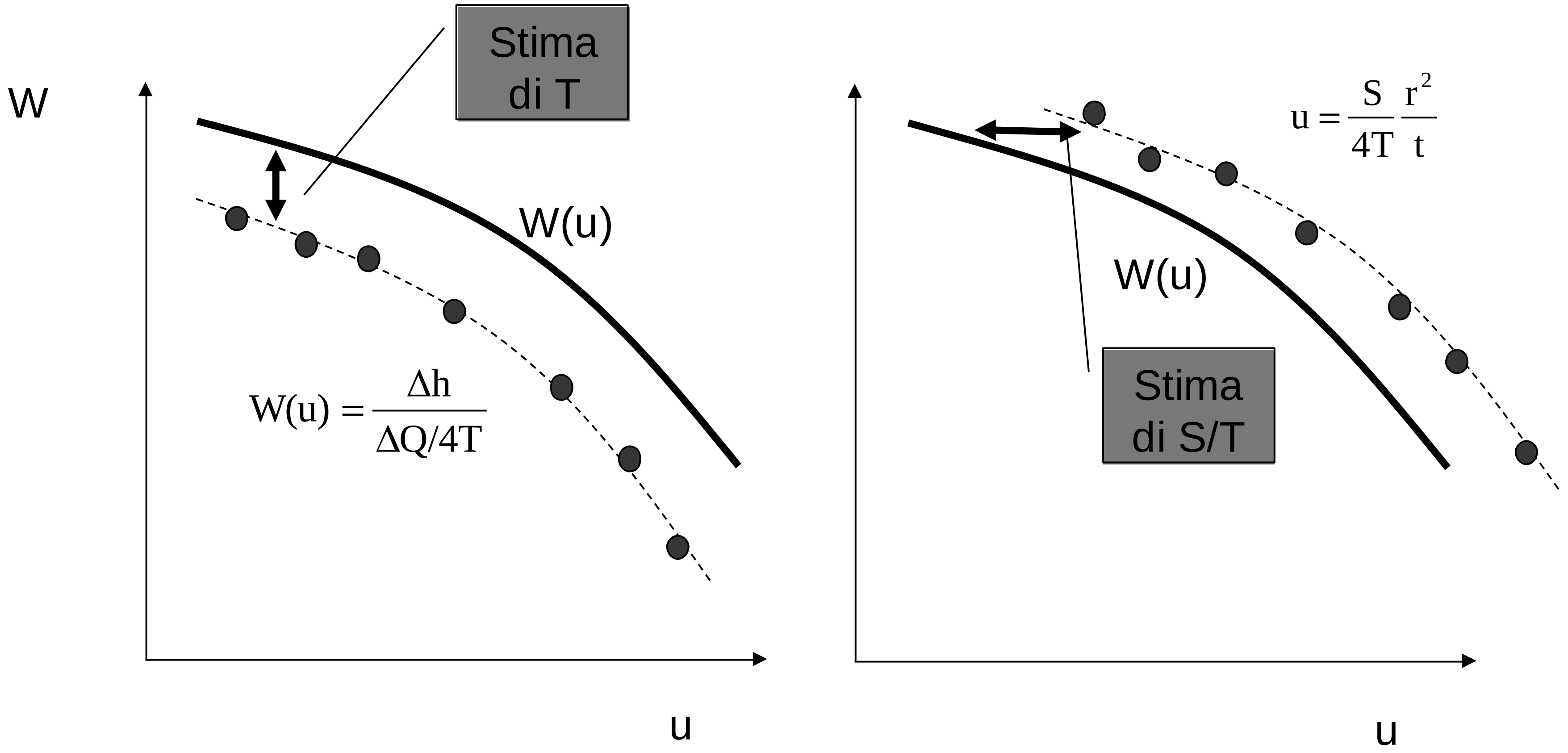
$$\Delta h = -\frac{\Delta Q}{T 4\pi} W(u) \quad \Longrightarrow \quad \frac{\Delta h}{\frac{\Delta Q}{T 4\pi}} = W(u) = W\left(\frac{S}{T}\frac{r^2}{4t}\right)$$

- Si disegnerà in un diagramma log-log la curva espressione della funzione W(u). Se nello stesso diagramma si riportano i punti misurati con i corretti valori di S e T, i punti misurati dovranno ricadere lungo la curva.

- Se i punti non si sovrappongono, è possibile determinare i valori di S e T che consento la sovrapposizione.

Metodo di Theis

- La trasmissività T può essere determinata osservando di quanto i punti discostano lungo l'ordinata
- Il rapporto S/T osservando di quanto i punti discostano lungo l'ascissa



Misure di livello

- La misura all’interno dei piezometri può essere effettuata o mediante un elettrodo o tramite una cella di pressione

- Nel primo caso viene calata nel foro una rollina metrica munita all’estremo di una coppia di elettrodi i quali quando vengono a contatto con l’acqua chiudono un circuito munito di cicalino

- Nel secondo caso viene immersa in profondità nel piezometro una sonda munita di cella di pressione.