CAPITOLO 8: PROVE PER DETERMINARE LA PERMEABILITÀ *k*

Per determinare il coefficiente di permeabilità k possono essere fatte sia prove in sito che in laboratorio. Entrambe queste metodologie presentano delle difficoltà che influiscono sul risultato che si ottiene.
Per le prove in laboratorio la difficoltà maggiore è quella di ottenere un provino il più possibile indisturbato, cioè che durante il trasporto non subisca delle variazioni che possono influenzare sensibilmente i risultati. Per quanto riguarda le prove in sito non risultano controllabili le condizioni al contorno e queste necessitano di un modello semplificativo che non sempre rispecchia la condizione reale.

Misura della permeabilità in laboratorio[6]

Le misure in laboratorio sono affidabili se il campione è poco disturbato (ad esempio un campione di argilla).
In laboratorio si eseguono prove:

A CARICO COSTANTE con campioni ad ALTA PERMEABILITÀ
A CARICO VARIABILE con campioni a BASSA PERMEABILITÀ

Per le sabbie e le ghiaie è molto difficile prelevare dei campioni indisturbati, si devono usare tecniche molto complesse per il campionamento: per mezzo di iniezioni di resine.

Prova a carico costante

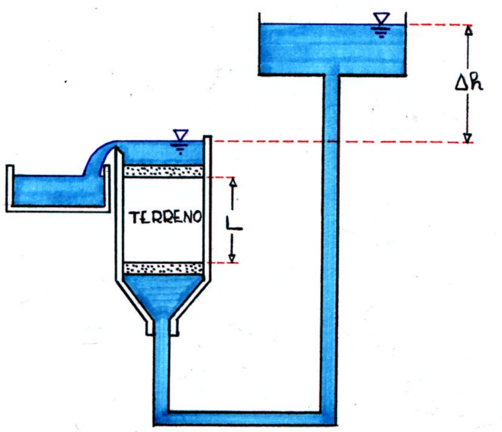


Figura 8.1

$$q = v \cdot A$$

$$q = k \frac{\Delta h}{L} \cdot A$$

Si misura la portata, mentre L, A, Δh sono noti. Troviamo così:

$$k = \frac{qL}{A \Delta h}$$

Per un'argilla, ad esempio

$$k = 10^{-9} \frac{m}{s} \qquad L = 0{,}2\,m \qquad \Delta h = 2\,m \qquad A = 10^{-2}\,m^2$$

$$q = 10^{-9} \frac{2}{0{,}2} 10^{-2} \quad = 10^{-10} \frac{m^3}{s}$$

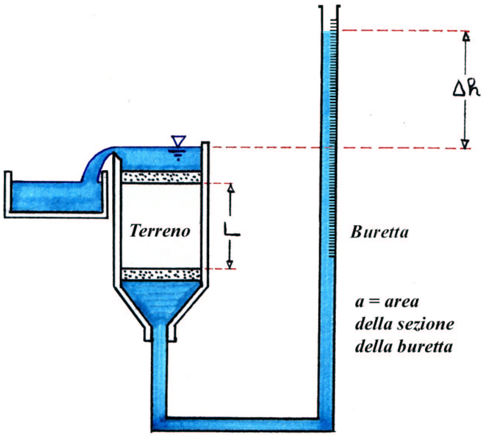
È più l'acqua che evapora che quella che filtra!
Allora concludiamo che questa prova va bene per permeabilità medio−alte.

Per i materiali che presentano una permeabilità bassa, come l'argilla, si fa una prova a carico variabile.

6 Atkinson p. 108

Prova a carico variabile

La prova a carico variabile si fa con una buretta graduata molto finemente. L'acqua, o meglio il suo livello, durante la prova scende e lo misuriamo.



$$dV = \frac{k \Delta h}{L} A\,dt \qquad = k \frac{\Delta h}{L} A\,dt$$

$$dV = -a \cdot d(\Delta h)$$

Il segno "−" è dovuto al fatto che Δh diminuisce quando l'acqua è in moto.

$$\frac{d(\Delta h)}{\Delta h} = -k \frac{A}{L} \frac{1}{a} dt$$

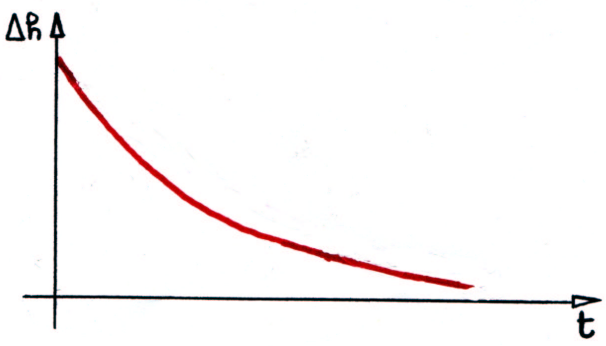
Integrando:

$$\ln \frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} = -\frac{k A}{L a}(t_2 - t_1)$$

$$k = \frac{L a}{A} \cdot \ln \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} \cdot \frac{1}{(t_2 - t_1)}$$

Il logaritmo presenta il rapporto invertito perché abbiamo tolto il segno "−".

L'andamento del dislivello nel tempo ha questo andamento:



Conviene quindi fare all'inizio delle letture ravvicinate e poi si possono diradare nel tempo.

OSSERVAZIONE:
Il carico è variabile quindi il moto non è permanente e quindi a rigore ci sarebbe un processo di consolidazione a causa della variazione delle tensioni efficaci, ma è trascurabile.

Prova di pompaggio da pozzi.

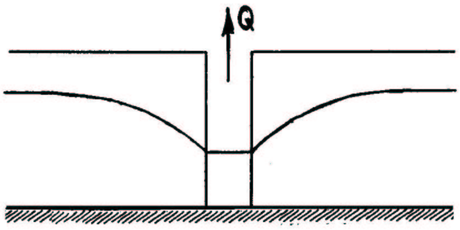
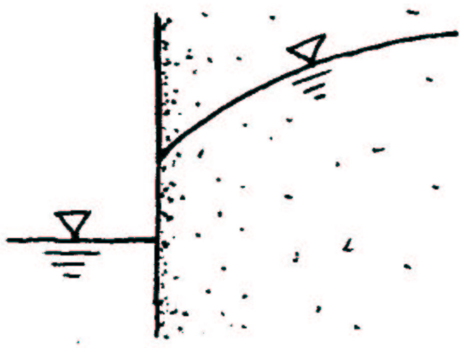


Fig. 71

Viene realizzato un pozzo dal quale viene emunta una portata Q.
Così si deforma il pelo libero della falda.
In questo modo si instaura un moto di filtrazione dall'esterno verso il centro del pozzo che in condizione a regime è caratterizzato da una portata Q.
Per poter risolvere il problema viene fatta l'ipotesi di Dupuit secondo la quale le linee equipotenziali sono rettilinee e verticali. Questo significa che la velocità del moto di filtrazione ha un'unica componente, quella orizzontale. Con questa ipotesi la soluzione del problema è facilmente determinabile.

Inoltre si trascura la differenza di quota fra i peli liberi in corrispondenza della parete del pozzo.



I calcoli vengono fatti osservando che il problema presenta una simmetria cilindrica; la portata che fluisce attraverso la superficie di un cilindro di raggio r è pari a:

$$Q = v\, 2\pi\, r\, h$$

ma $$v = k \frac{dh}{dr}$$

per cui $$Q = k \frac{dh}{dr} 2\pi\, r\, h$$

Quando si è instaurata la condizione di moto permanente allora possiamo integrare rispetto alla variabile r.

$$\frac{Q}{2\pi} \frac{dr}{r} = k\, h\, dh$$

per $$\begin{cases} r = r_1 & h = h_1 \\ r = r_2 & h = h_2 \end{cases}$$

quindi $$\int_{r_1}^{r_2} \frac{Q}{2\pi} \frac{dr}{r} = k \int_{h_1}^{h_2} h\, dh$$

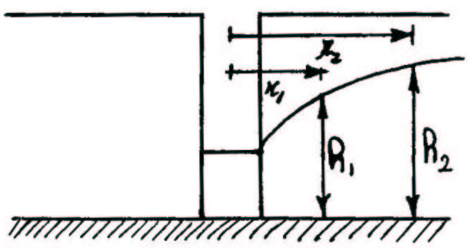


Fig. 72

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

Da questa equazione si può determinare il valore della permeabilità k.

$$k = \frac{Q}{\pi} \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{h_2^{\,2} - h_1^{\,2}}$$

Sperimentalmente per determinare il valore di k è necessario conoscere le quote piezometriche a diverse distanze dal centro del pozzo. La misura delle quote piezometriche può

essere fatta inserendo dei piezometri all'interno del terreno.
Questo calcolo è valido se è possibile introdurre l'ipotesi di citata precedentemente (di Dupuit). Se questa ipotesi non è applicabile allora è necessario analizzare il regime di filtrazione con uno dei metodi di analisi numerica.

Quello che abbiamo appena studiato è il problema di una falda limitata inferiormente da uno strato impermeabile (falda freatica); adesso invece vediamo il caso di una falda delimitata da 2 strati impermeabili.
Come nel caso precedente viene realizzato un pozzo dal quale viene emunto un valore di portata *Q*.

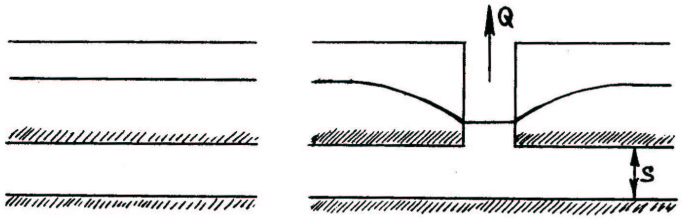


Fig 73

La risoluzione del problema in questo caso non necessita di particolari ipotesi:

$$Q = v\,2\pi\,r\,s = k\frac{dh}{dr}2\pi\,r\,s$$

$$\frac{Q}{2\pi\,s}\,\frac{dr}{r} = k\,dh$$

$$\frac{Q}{2\pi\,s}\ln\frac{r_2}{r_1} = k(h_2 - h_1)$$

$$k = \frac{Q}{2\pi\,s}\,\frac{\ln\frac{r_2}{r_1}}{h_2 - h_1}$$

Le prove che abbiamo visto finora sono onerose dal punto di vista economico: è necessario rilevare il livello della falda attorno al pozzo durante la fase di pompaggio, inoltre è necessario attendere fino al raggiungimento delle condizioni di moto permanente; in questi casi i tempi di esecuzione possono essere molto lunghi. Esistono delle prove più economiche che possono fornire degli utili risultati per quanto riguarda la permeabilità del terreno.
Queste prove sono dette:

Prove nei fori di sondaggio

Per effettuare questi fori si utilizzano dei tubi di acciaio che avanzano ruotando.
Dai fori di sondaggio vengono prelevati i campioni di terreno per l'indagine stratigrafica e conoscitiva del sito.
I campioni di terreno che vengono prelevati possono essere usati in laboratorio o per il posizionamento degli strumenti.
Il foro praticato è rivestito lungo tutta la profondità dal tubo di acciaio e sul fondo viene applicata una presa piezometrica.
Si suppone che questo tipo di prova non alteri il livello della falda ed inoltre le quantità di acqua che vengono emunte dal foro non sono rilevanti.
In altre parole si assume che:

1. Il livello della falda sia indisturbato.
2. Trascuriamo le perdite di carico all'interno del foro.
3. Il foro ha un rivestimento impermeabile.

Prove a carico costante

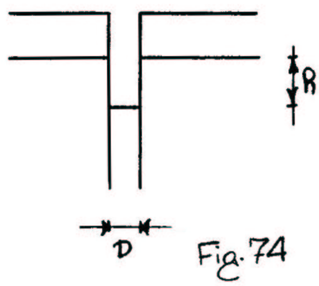


Fig. 74

Dal foro viene prelevata una portata *q* mantenendone il livello costante; si può scrivere che:

$$q=\psi\, k\, h$$

ψ è un coefficiente che dipende dalla geometria del problema (diametro del foro, forma della parte terminale...). Se il foro presenta un diametro *D* allora $\psi=2{,}75D$. Esistono delle tabelle che forniscono il valore di ψ in funzione delle caratteristiche della presa piezometrica.

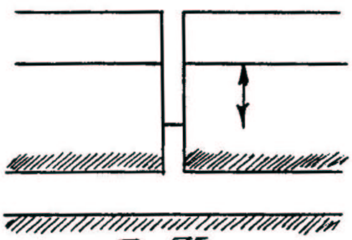


Fig. 75

Nel caso in cui la falda fosse confinata allora si procede in modo analogo, solo che in questo caso $\psi=2D$.
Questa tipologia di prove può essere applicata nel momento in cui la permeabilità del terreno è piuttosto elevata, vediamo infatti che per una argilla questo tipo di prova porta a delle difficoltà di carattere operativo (misurazione della portata).

Supponiamo di avere un foro di $D=0{,}1m$ e un dislivello di $h=10m$.
Se la permeabilità dell'argilla vale $k=10^{-9}$ m/s allora la portata che deve essere emunta (che in una prova normale dovrebbe essere anche misurata) è di $q=2{,}75\ 10^{-9}$ m^3/s; il valore che abbiamo ricavato spiega da solo le difficoltà e gli errori che possono essere commessi nella sua misurazione.

Nei casi i cui la permeabilità del terreno sia piuttosto bassa vengono fatte le:

Prove a carico variabile

Con queste prove si deprime il livello dell'acqua all'interno del foro (ma si può anche immettere dell'acqua) e in diversi istanti di tempo si misurano i vari livelli di acqua all'interno del foro.
L'analisi per la determinazione della permeabilità *k* può essere fatta mediante l'equazione di continuità.

$$q\,dt = -\pi \frac{D^2}{4} dh$$

rappresenta il volume che entra nell'intervallo di tempo *dt* il quale va ad incrementare il livello dell'acqua all'interno del foro e di conseguenza diminuisce il dislivello tra la falda esterna al foro e il livello interno.

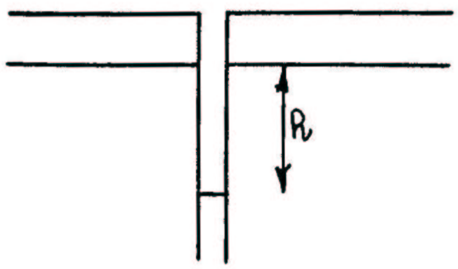


Fig. 76

Dalla discussione precedente si ha che: $q = \psi\, h\, k$

e sostituendo: $$\psi\, h\, k\, dt = -\pi \frac{D^2}{4} dh$$

da cui ricavo: $$k\, dt = -\frac{\pi D^2}{4\psi} \frac{dh}{h}$$

è possibile integrare tra due istanti di tempo t_1 e t_2 e due gradienti idraulici h_1 e h_2, si ottiene quindi che:

$$k(t_2 - t_1) = -\frac{\pi D^2}{4\psi} \ln\frac{h_2}{h_1} \qquad k = -\frac{\pi D^2}{4\psi} \frac{\ln\frac{h_2}{h_1}}{(t_2 - t_1)}$$

Misurando il dislivello tra due istanti t_1 e t_2 è possibile determinare la permeabilità *k*.

Il problema che si presenta in questa prova dal punto di vista operativo è la determinazione dei dislivelli *h* in quanto la quota della falda all'esterno è difficile da misurare.

Tramite una prova di questo tipo si può anche determinare la distanza *H* della falda rispetto al piano di campagna.

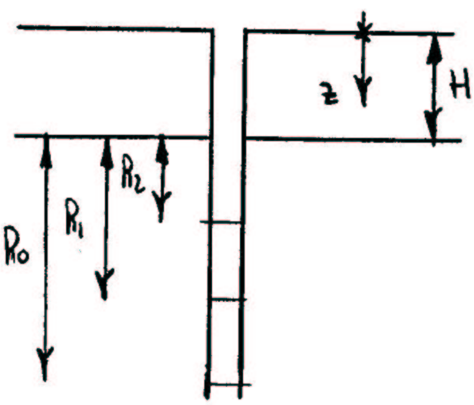


Fig. 77

Un metodo consiste nel fare più misure del pelo libero all'interno del foro ad INTERVALLI REGOLARI DI TEMPO.
Se gli intervalli di tempo sono regolari allora possiamo dire che:

$$\ln\frac{h_2}{h_1} = -\frac{4\psi}{\pi D^2} k(t_2 - t_1)$$

$$\ln\frac{h_2}{h_1} = cost. \qquad \Rightarrow \qquad \frac{h_2}{h_1} = cost.$$

La misura del dislivello *h* può essere legata alla profondità *z* (che è quella realmente misurata) nel modo seguente:

$$h_0 = z_0 - H$$
$$h_1 = z_1 - H$$
$$h_2 = z_2 - H$$

La costanza degli intervalli di tempo per le misure ci dicono che:

$$\frac{h_0}{h_1}=\frac{h_1}{h_2}$$

quindi:
$$\frac{z_0-H}{z_1-H}=\frac{z_1-H}{z_2-H}$$

in questo modo abbiamo determinato una equazione che ci permette di calcolare la posizione della falda attraverso l'incognita *H* senza una misura diretta.

Un metodo più generale consiste nell'eseguire più misure del pelo libero all'interno del foro ad INTERVALLI DI TEMPO VARIABILI.
Se gli intervalli di tempo sono variabili allora possiamo dire che:

$$\ln\frac{h_2}{h_1}=-\frac{\psi}{A}k(t_2-t_1)$$

Dove *A* indica l'area.

Passando all'esponenziale otteniamo che:

$$\frac{h_2}{h_1}=\mathrm{e}^{-\frac{\psi}{A}k(t_2-t_1)}$$

$$h_2=h_1\mathrm{e}^{-\frac{\psi}{A}k(t_2-t_1)}$$

La misura del dislivello *h* può essere legata alla profondità *z* (che è quella realmente misurata) nel modo seguente:

$$h_0=z_0-H$$
$$h_1=z_1-H$$
$$h_2=z_2-H$$

$$\begin{cases} z_1-H=(z_0-H)\mathrm{e}^{-\frac{\psi}{A}k(t_1-t_0)} \\ z_2-H=(z_1-H)\mathrm{e}^{-\frac{\psi}{A}k(t_2-t_1)} \end{cases}$$

(Questa pagina è intenzionalmente bianca.)