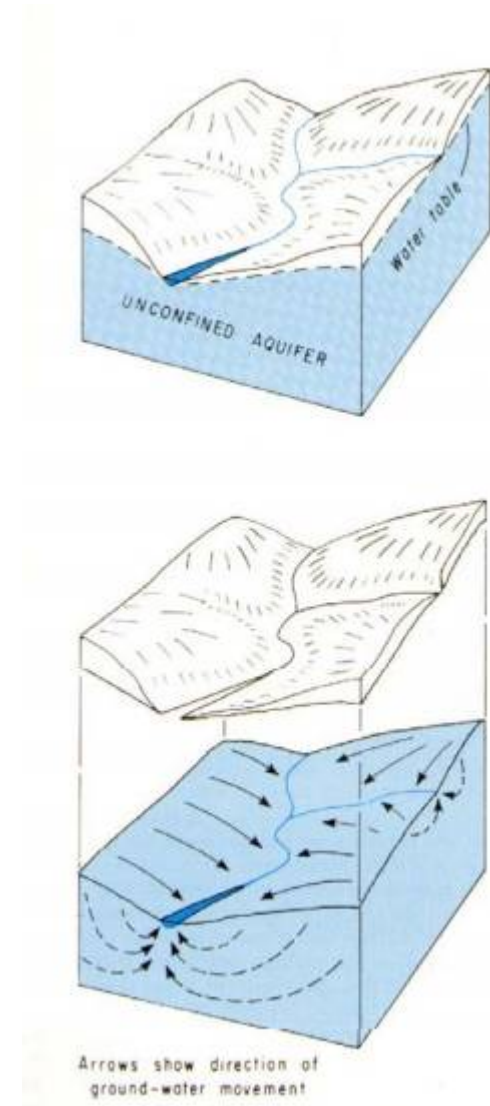


Il movimento delle acque sotterranee e la topografia

Avviene solitamente dalle zone di "ricarica " (recharge areas) verso le zone di drenaggio (discharge areas).

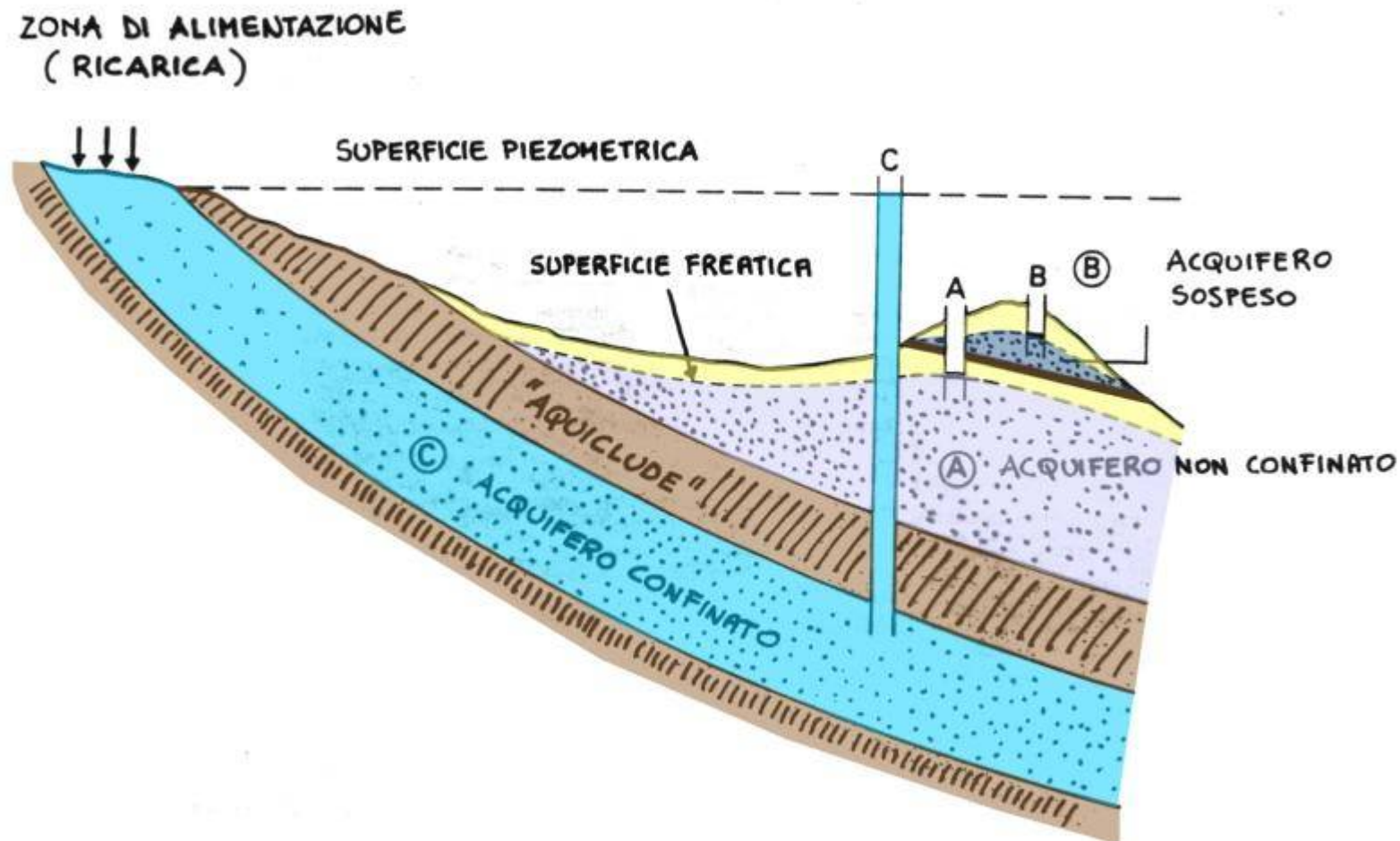
La determinazione di tali aree, così come la costruzione di mappe delle linee equipotenziali (linee dei punti che hanno lo stesso carico idraulico) avviene solitamente con l'ausilio dei dati acquisiti dai pozzi.

Dove non è possibile, si possono però trarre utili indicazioni di carattere generale sulla direzione del flusso dall'osservazione della TOPOGRAFIA



Piezometria e flusso

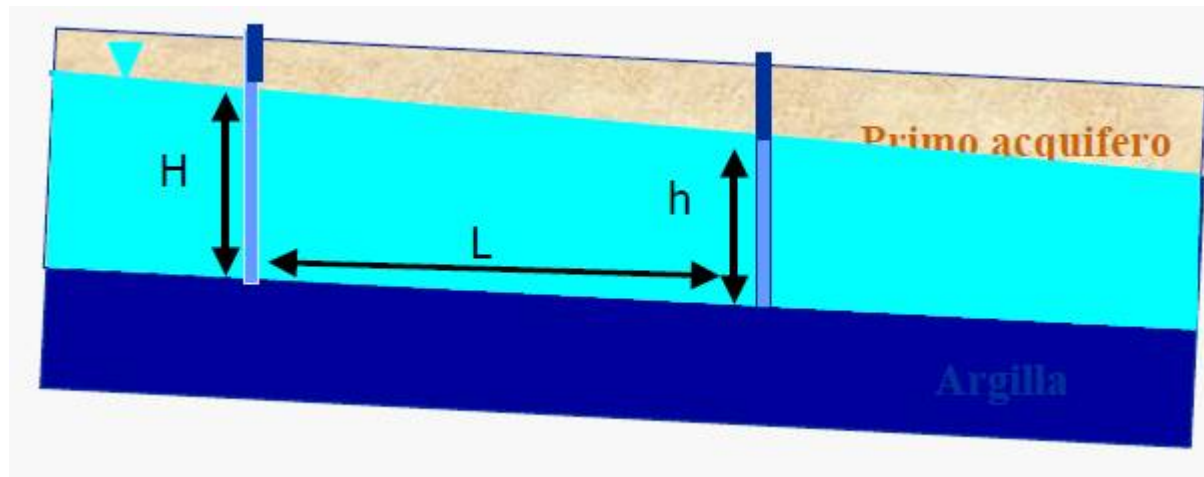
Poichè l'acqua si muove da zone a carico idraulico più alto a zone a carico più basso, è necessario conoscere il campo di h



PARAMETRI IDROGEOLOGICI

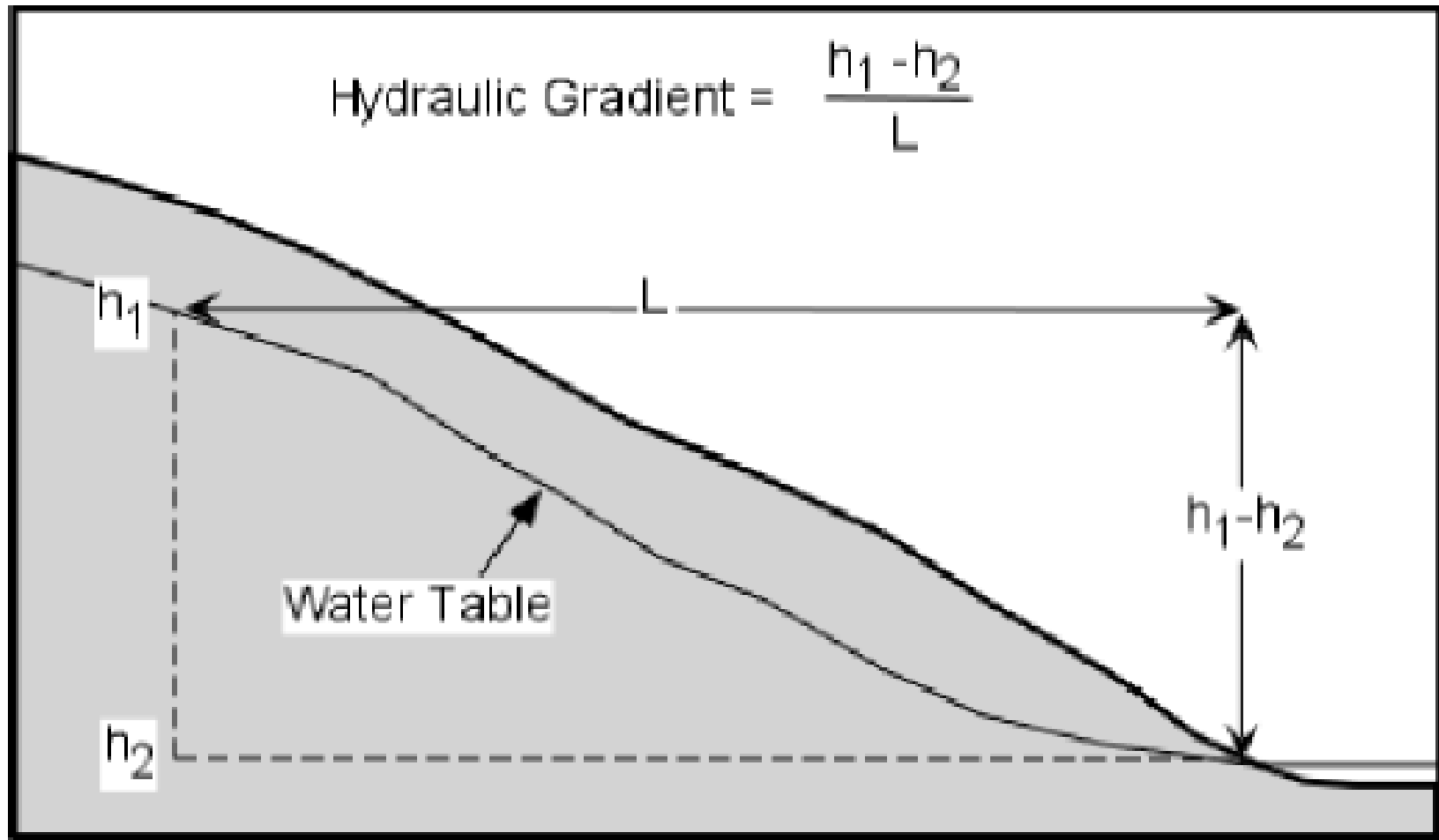
- Livello piezometrico (h): il carico idraulico in un punto P dell'acquifero è definito come il livello a cui si porta l'acqua in un piezometro, rispetto ad un livello di riferimento posto uguale a zero [m]
- Gradiente idraulico: è la caduta di pressione (perdita di carico idraulico) per unità di lunghezza. "Pendenza" della falda

$$i = (H - h) / L \quad [\%]$$



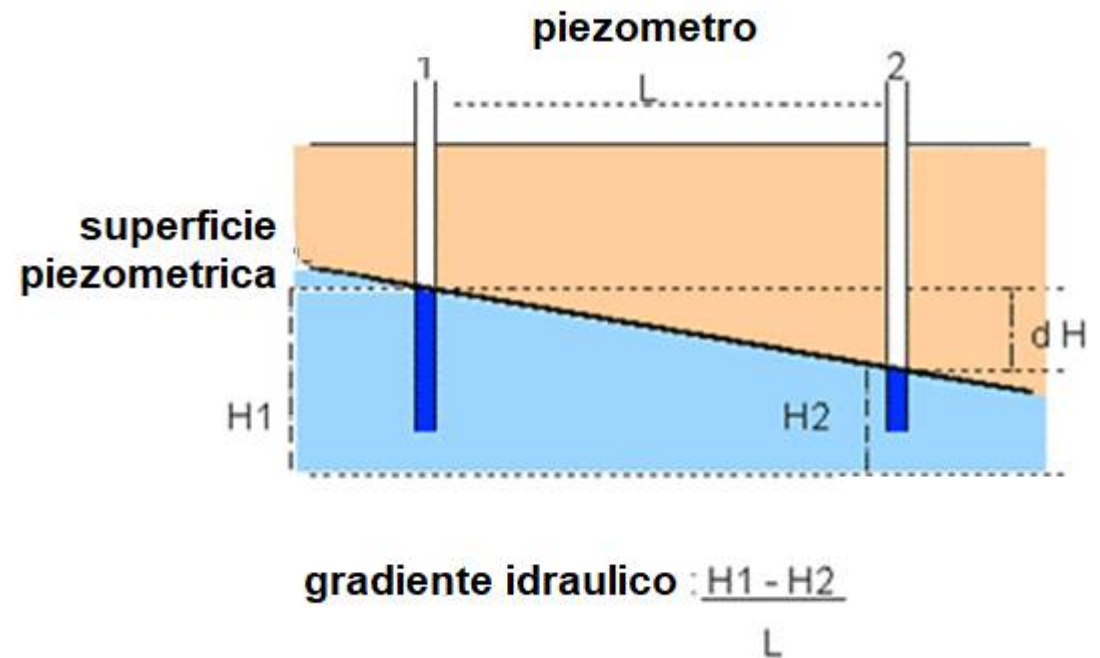
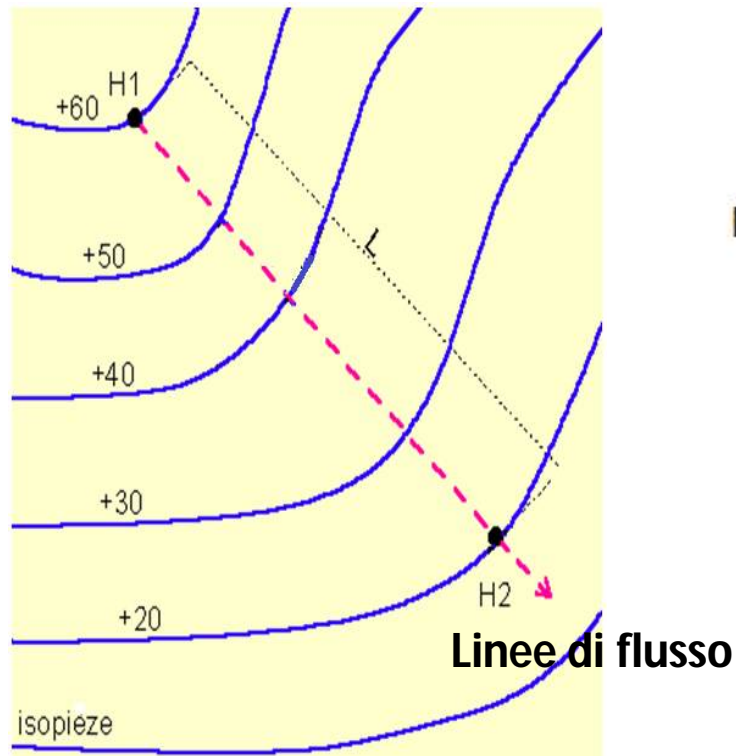
Il gradiente idraulico

Il gradiente idraulico è il rapporto fra la perdita di carico fra due punti e la distanza che li separa



Il gradiente idraulico

Il gradiente idraulico indica la direzione e l'intensità del flusso (dai punti a carico idraulico più elevato a quelli a carico idraulico più basso)

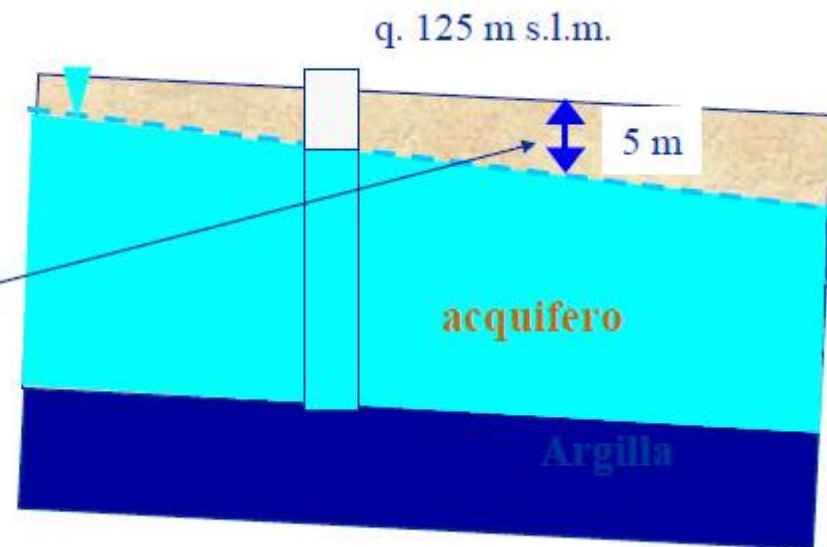


LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

La superficie piezometrica rappresenta la distribuzione dei carichi idraulici di una falda in una determinata regione

Il livello piezometrico (H) viene misurato tramite tubi immessi in perforazioni del terreno (pozzi o piezometri) che raggiungono la zona satura

Tramite strumentazione (es. freatimetro) viene misurata la distanza tra la superficie topografica e la superficie piezometrica (**SOGGIACENZA**)



QUOTA PIEZOMETRICA

$125 \text{ m (quota topografica m s.l.m.)} - 5$
 $(\text{soggiacenza}) \text{ m} = 120 \text{ m s.l.m.}$

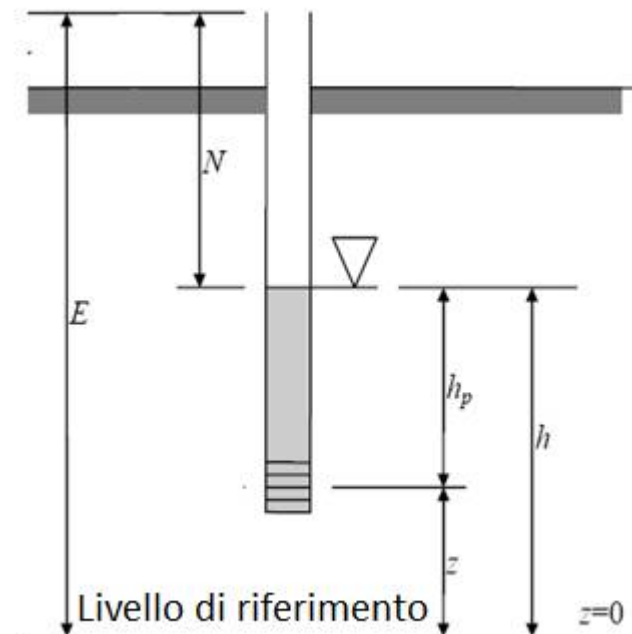
➤ N is the measure of the depth of groundwater

➤ E is the height of the highest point of the casing



To obtain the hydraulic head (also called piezometric level)

$$H = E - N$$



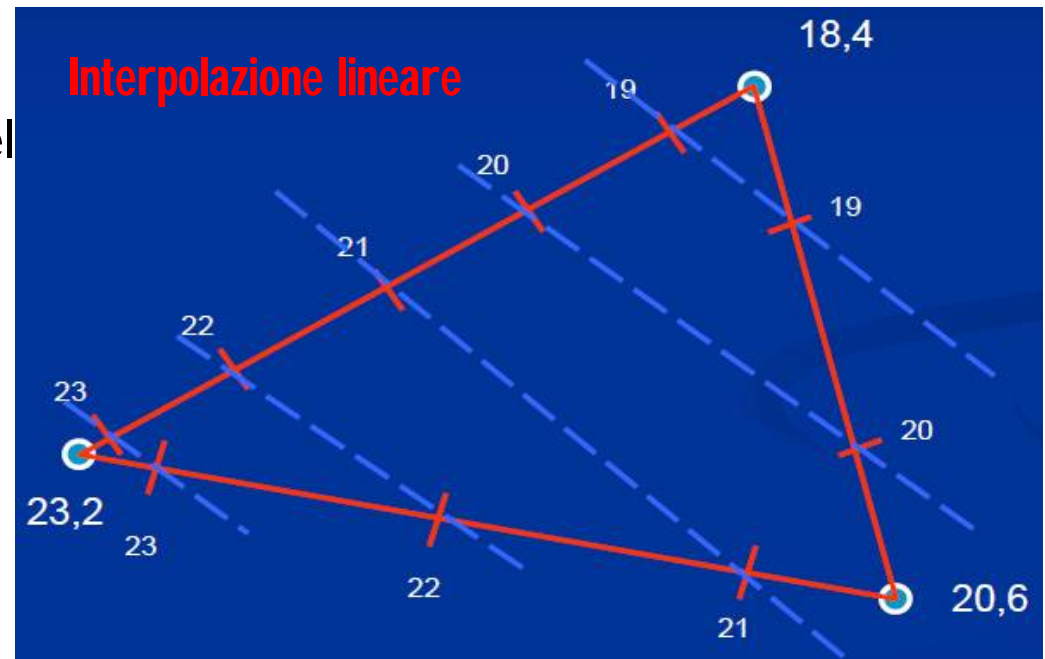
Equazione della superficie isopiezometrica

La superficie piezometrica, cioè la distribuzione del carico idraulico in un'area, è una superficie matematica per la quale: $P_{\text{acqua dei pori}} = P_{\text{atmosferica}}$

$$h = f(x,y) = \text{cost.}$$

Le carte isopiezometriche si costruiscono mediante:

- misure manuali o automatiche del livello statico in campagna
- utilizzo di un software d'interpolazione dei dati di campagna (SURFER)
- utilizzo di un modello numerico (MODFLOW) o analitico

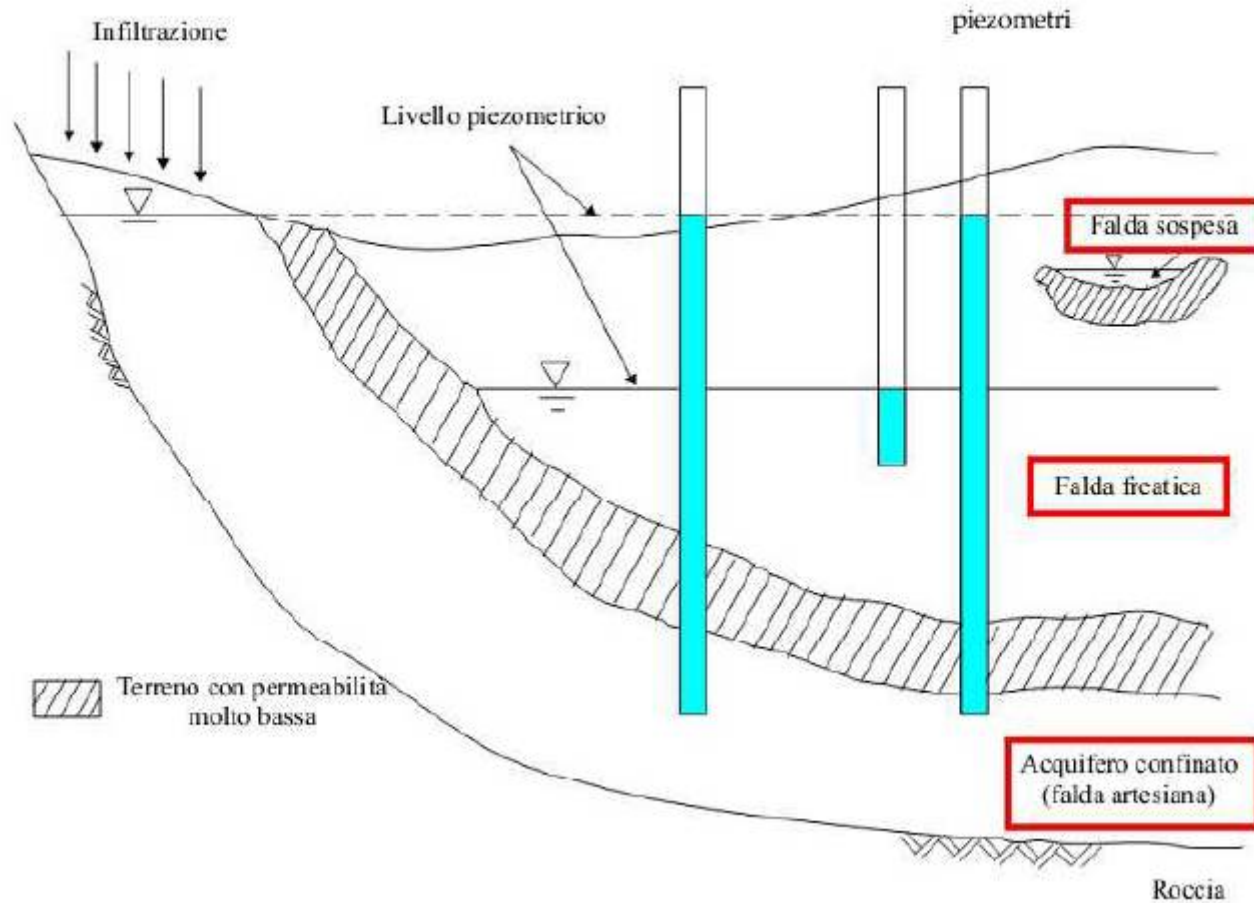


Le carte isopiezometriche consentono di ottenere una serie di informazioni sull'acquifero e sulla circolazione idrica che in esso ha luogo.

Le isopiezometriche (o equipotenziali) e le linee di flusso

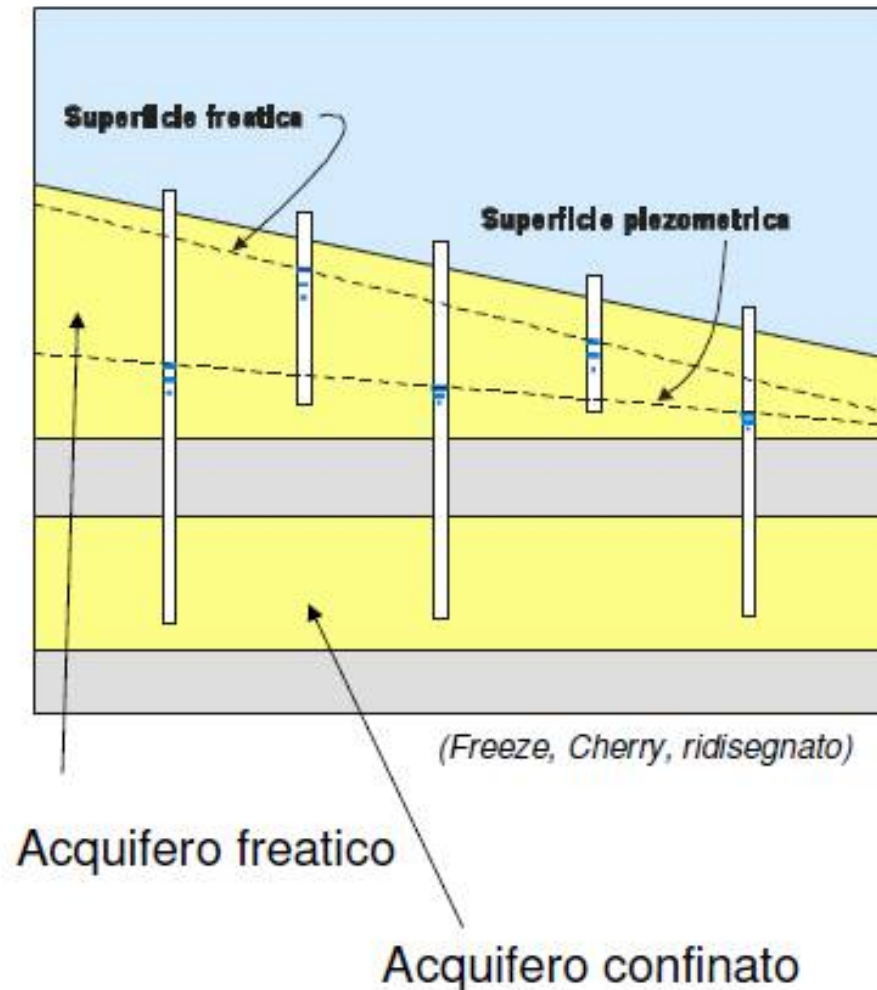
- Per ricostruire l'andamento delle linee piezometriche di una falda occorre un numero critico di misure di h , omogeneamente distribuite
- Le misure devono essere riferite ad **un solo acquifero** di cui sono note le condizioni al contorno
- L'andamento della superficie piezometrica (tavola d'acqua) segue, addolcendole, le variazioni di pendenza della superficie topografica.
- Falda freatica: la superficie piezometrica coincide con la superficie dell'acqua nella zona satura (superficie freatica).
- Falda confinata: la superficie piezometrica fornisce una immagine virtuale della quota alla quale, punto per punto, si livellerebbe la falda per eguagliare la pressione atmosferica
- Per delineare il verso delle linee di flusso (o streamlines) si segue la direzione di massima diminuzione dei carichi idraulici nelle 3 dimensioni.
- Occorre un minimo di tre misure di carico idraulico per determinare la direzione del deflusso sotterraneo

Immaginando di inserire un piezometro all'interno di una falda freatica, si osserva che il livello raggiunto dall'acqua nel tubo (ossia il livello piezometrico) è uguale a quello della superficie freatica. In una falda artesianiana invece il livello piezometrico risulterà maggiore di quello della superficie che delimita superiormente la falda

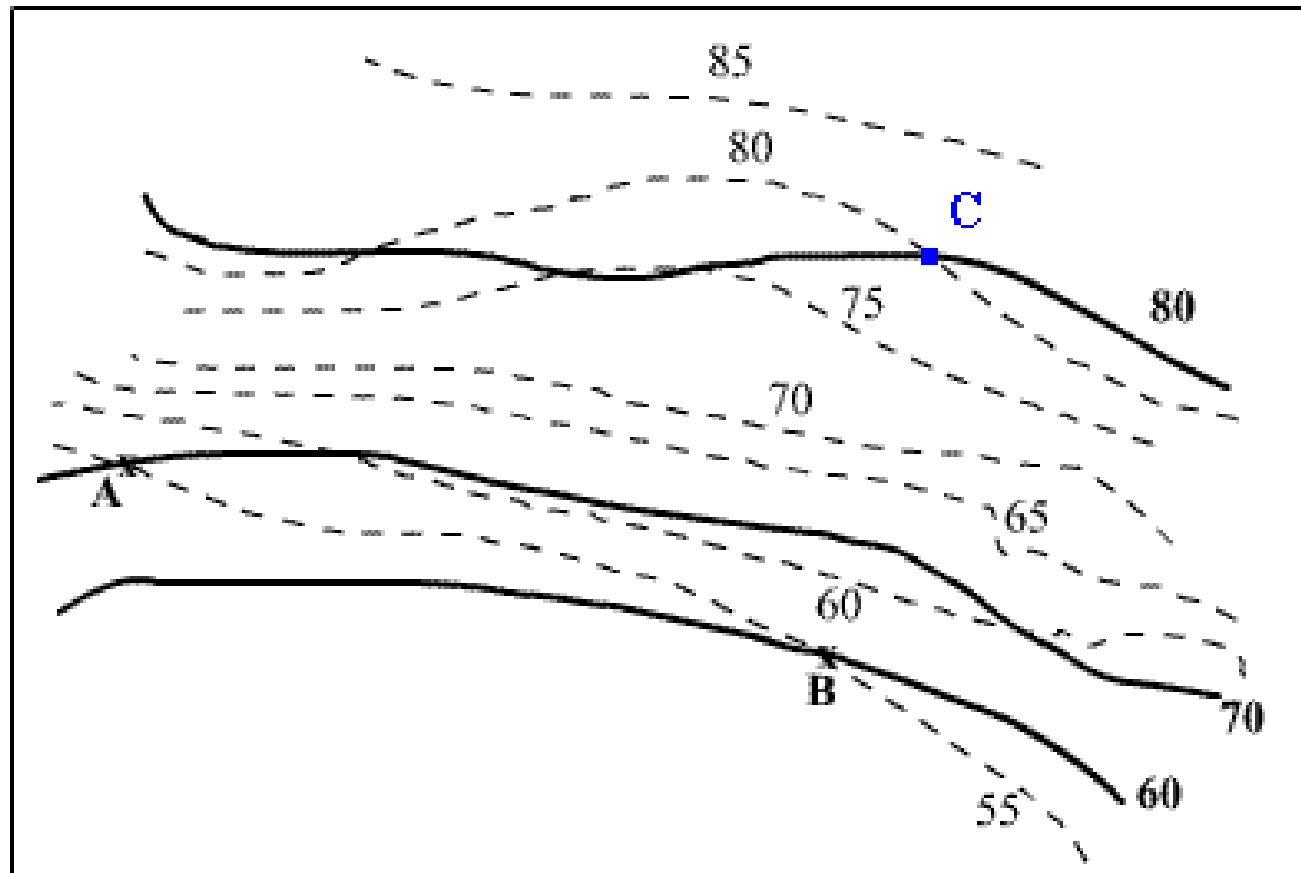


Superficie piezometrica (o potenziometrica)

Una definizione generale è che la superficie piezometrica è quella immaginaria coincidente con il livello di pressione idrostatica dell'acquifero confinato: Il livello a cui risale l'acqua in un pozzo è quello della superficie piezometrica.



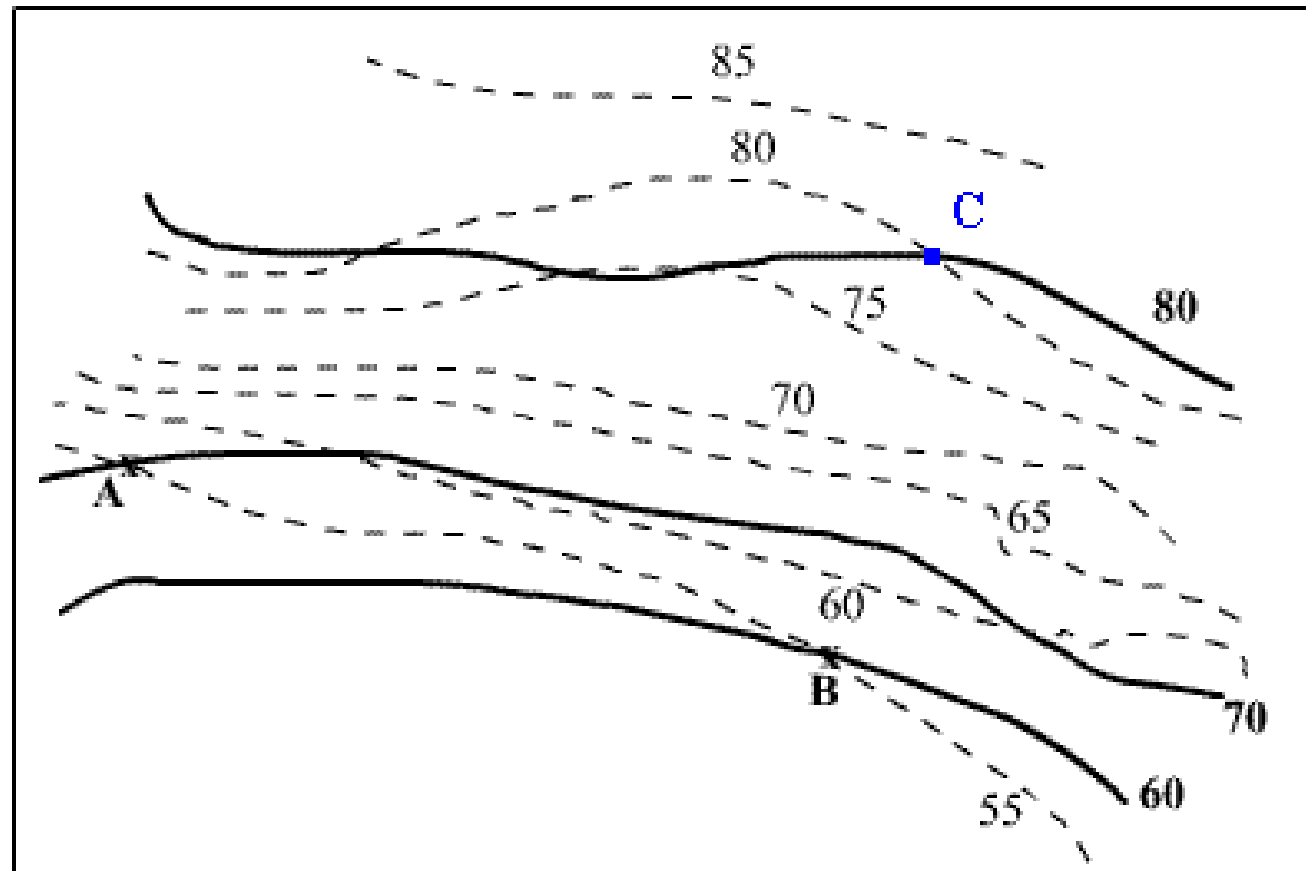
ISOPIEZE E CURVE DI LIVELLO



Determinare la profondità della falda in A, B e C

Dove avremo una sorgente?

ISOPIEZE E CURVE DI LIVELLO



La profondità della falda è determinata dalla differenza tra la curva di livello e l'altezza piezometrica.

Esempio : La profondità della falda nel punto A = $70\text{m} - 55\text{m} = 15\text{m}$.

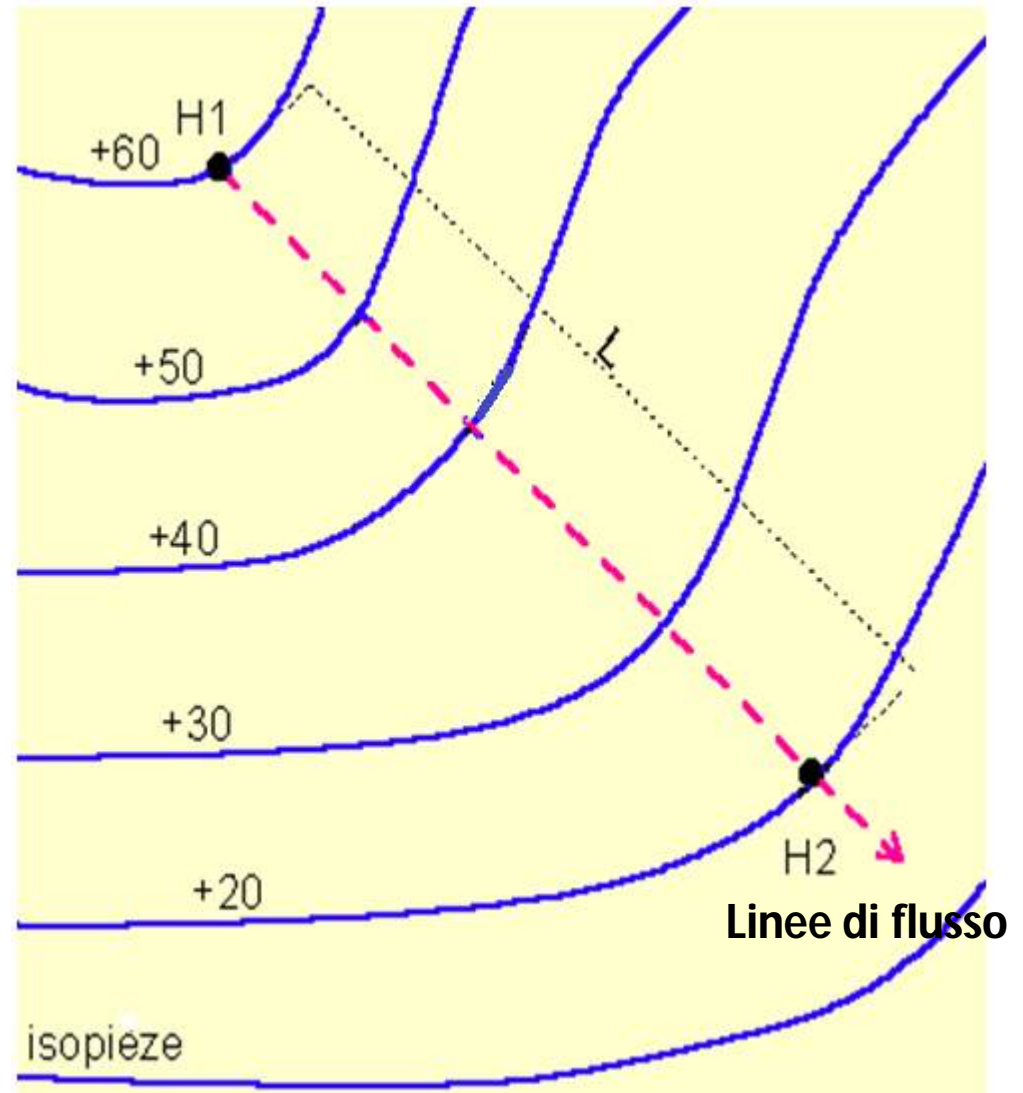
L'intersezione tra una curva isopiezia e una curva di livello, poste alla stessa altezza, dà una sorgente (la falda affiora in superficie).

Esempio: nel punto C è localizzata una sorgente ($80\text{m} - 80\text{m} = 0$)

Gradiente idraulico

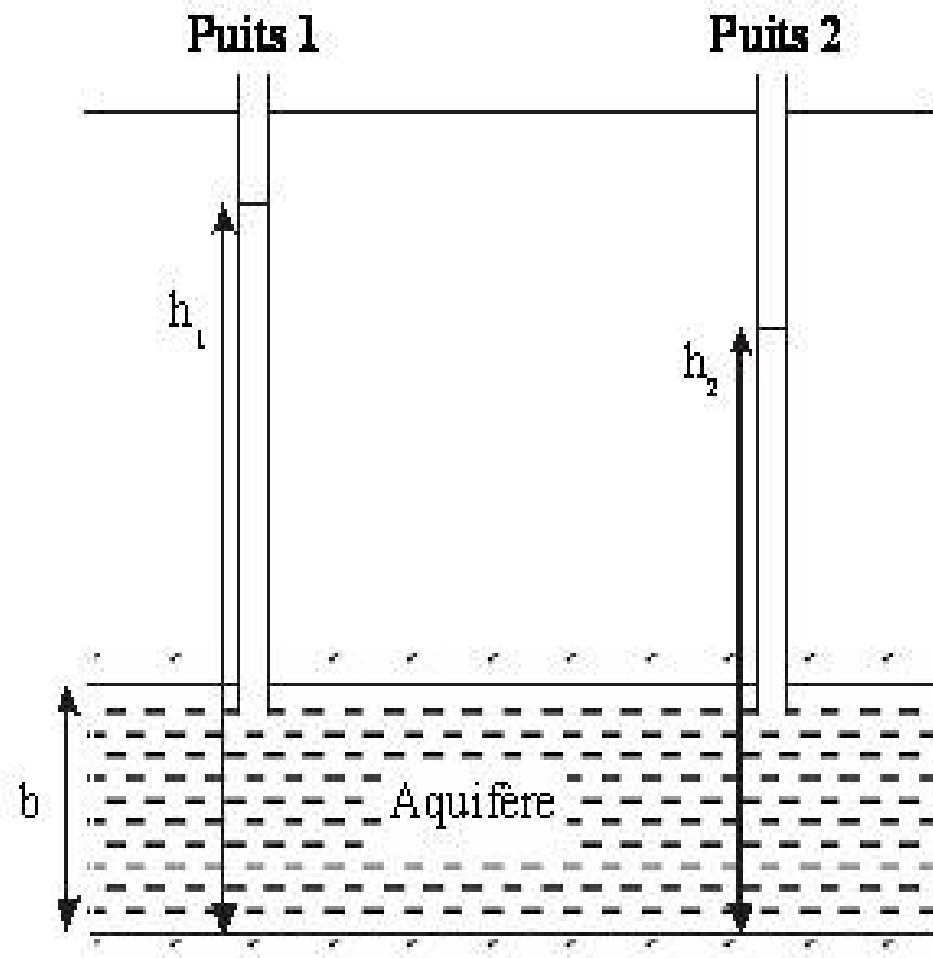
Su una carta

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

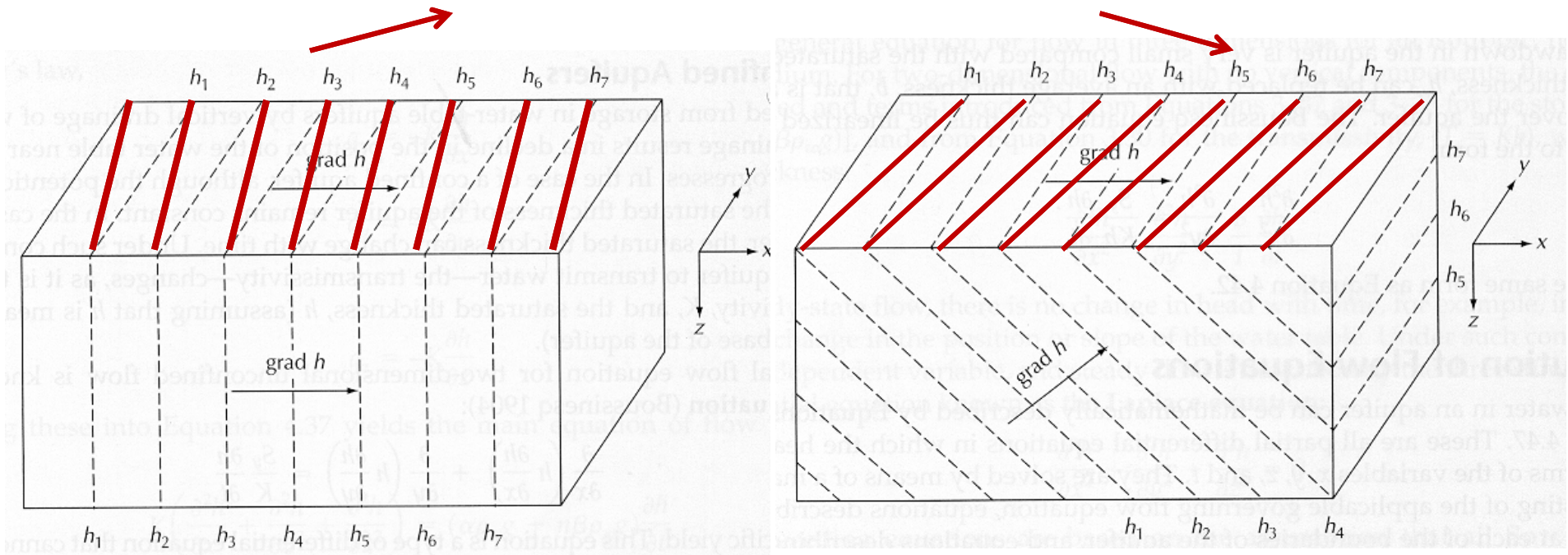


Su una sezione

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$$



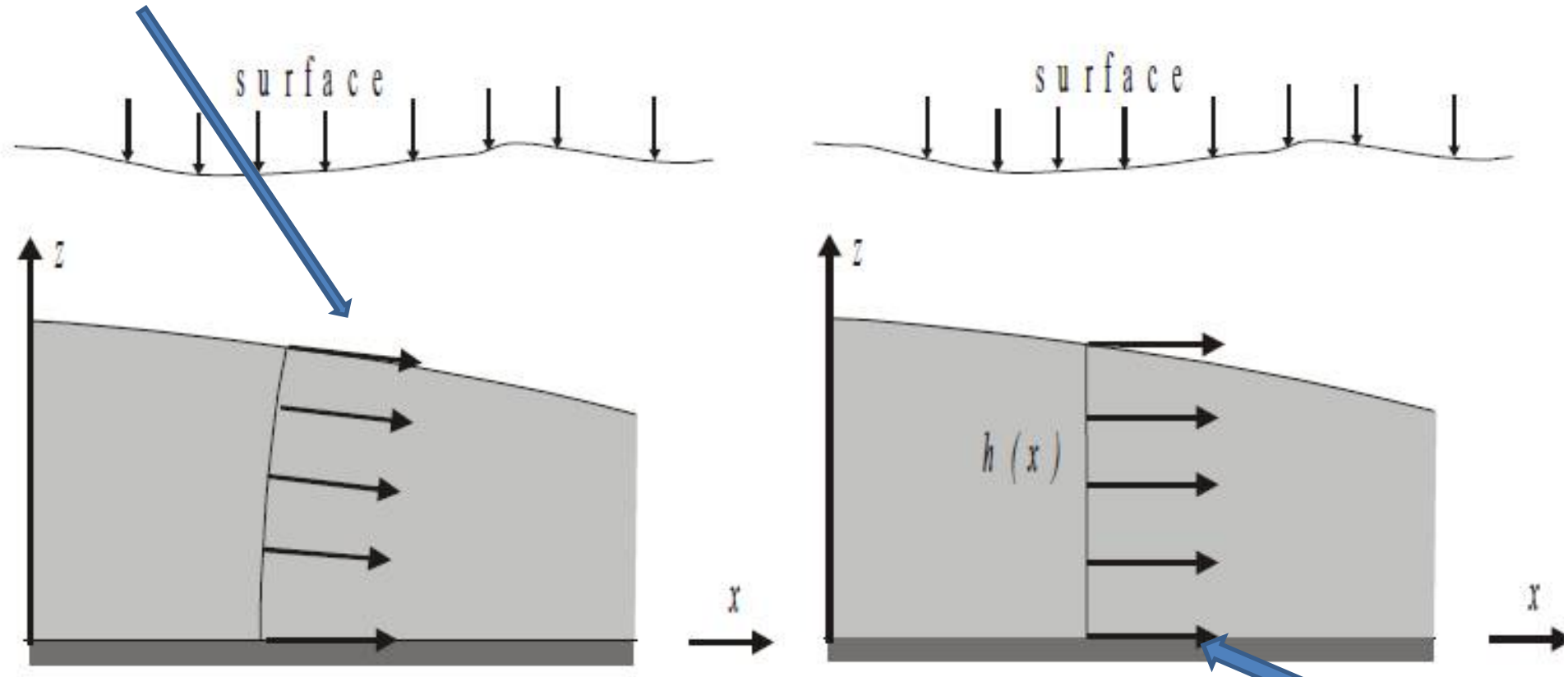
Il gradiente in 3D



- Il carico idraulico è uniforme (equipotenziali egualmente spaziate).
- Se il flusso è orizzontale, le equipotenziali sono verticali.
- Se il flusso ha una componente verticale le linee equipotenziali sono oblique
- Il gradiente di h ($\text{grad } h$) = dh/ds è rappresentato da vettori.
- $\text{Grad } h$ (\mathbf{i}) ha quindi una grandezza ed un verso ed è sempre perpendicolare alle superfici equipotenziali

Flusso in falda freatica: approssimazione di Dupuit

Nel caso di un acquifero libero, l'altezza d'acqua dipende dalla posizione lungo le linee di flusso .

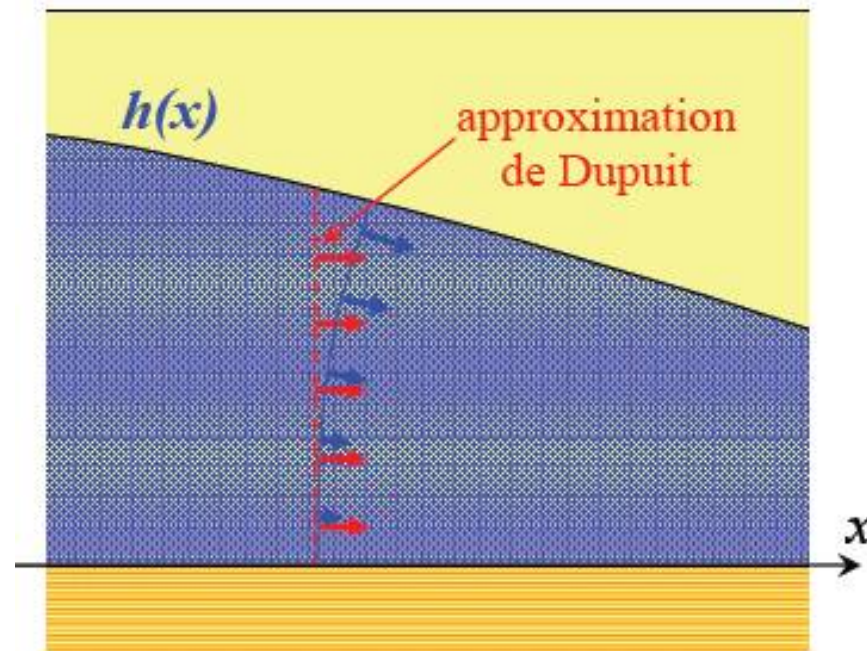


E' estremamente difficile calcolare la distribuzione delle velocità di Darcy in funzione della posizione. Si utilizza pertanto l'approssimazione di Dupuit .

Flusso in falda freatica: approssimazione di Dupuit

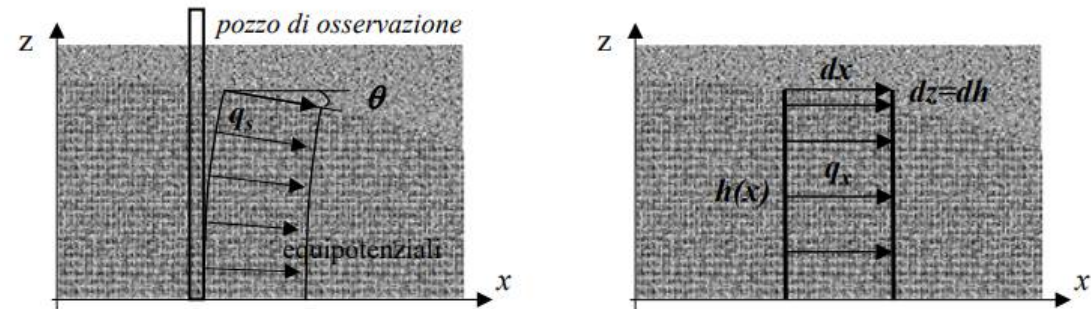
Normalmente nelle falde freatiche, la pendenza della superficie piezometrica è molto bassa ($1/100$ - $1/1000$)

Con questa approssimazione, si fa l'ipotesi che le velocità siano orizzontali (si trascura la curvatura delle linee di flusso) e che la velocità sia costante lungo una linea verticale e data dal gradiente idraulico corrispondente all'altezza reale della falda: la velocità di Darcy, uniforme lungo tutto il profilo verticale è allora:



Approssimazione di Dupuit

Nella maggior parte delle falde acquifere naturali, la pendenza della superficie freatica è molto piccola (1/100 – 1/1000).



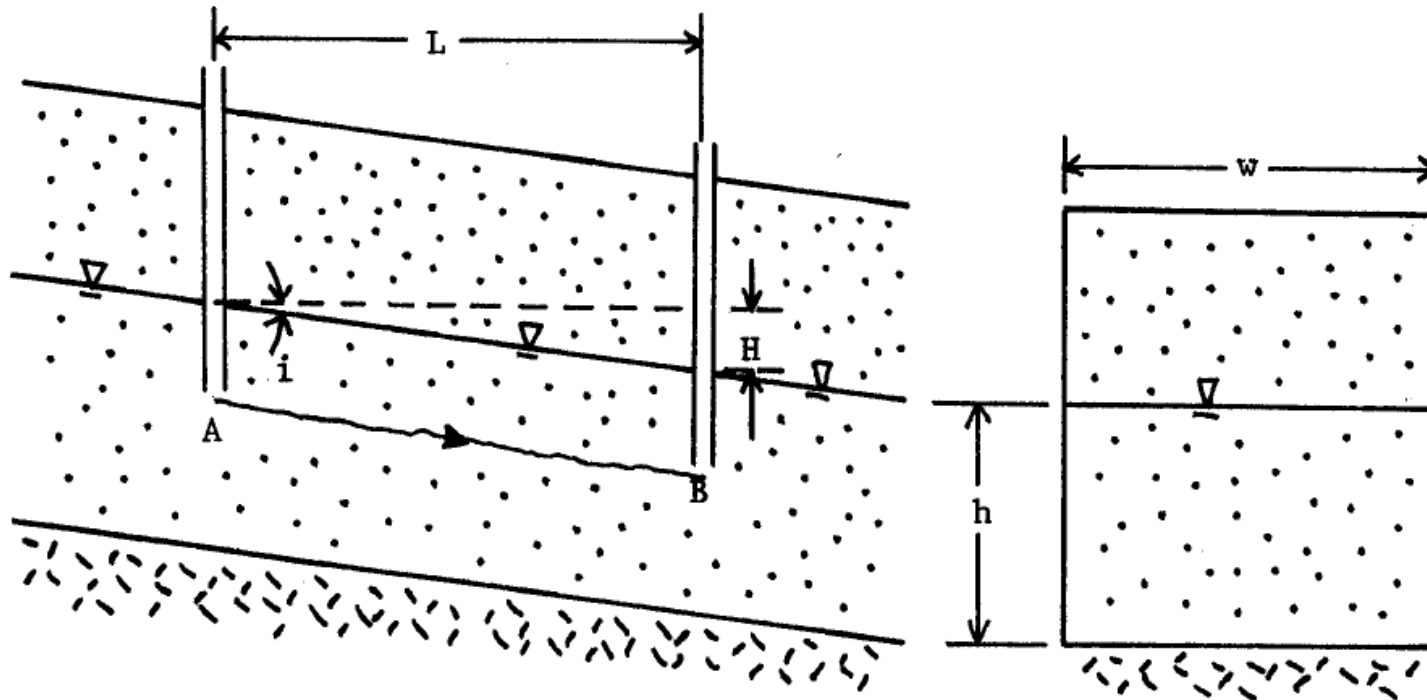
In ogni punto della superficie freatica, che rappresenta una linea di corrente, la portata specifica ha direzione tangente alla linea di corrente e modulo (poiché $p = 0$ ed $h = z$):

$$q_s = -K \frac{dh}{ds} = -K \frac{d}{ds} \left(\frac{p}{\gamma} + z \right) = -K \frac{d}{ds} (0 + z) = -K \frac{dz}{ds}$$

$$q_s = -K \sin \theta$$

Dupuit suggerisce se θ è piccolo, di sostituire $\sin \theta$ con $\tan \theta = dh/dx$ (il che equivale ad assumere che le superfici equipotenziali siano verticali, cioè h è funzione della sola x , ovvero che la distribuzione della pressione sia idrostatica con $dp/dz = -\rho g$). Pertanto:

$$q_x \approx -K \tan \theta = -K \frac{dh}{dx} \quad \text{for } h = h(x)$$



Il tempo che mette l'acqua a fluire da A a B è

$$t = \frac{AB}{v}$$

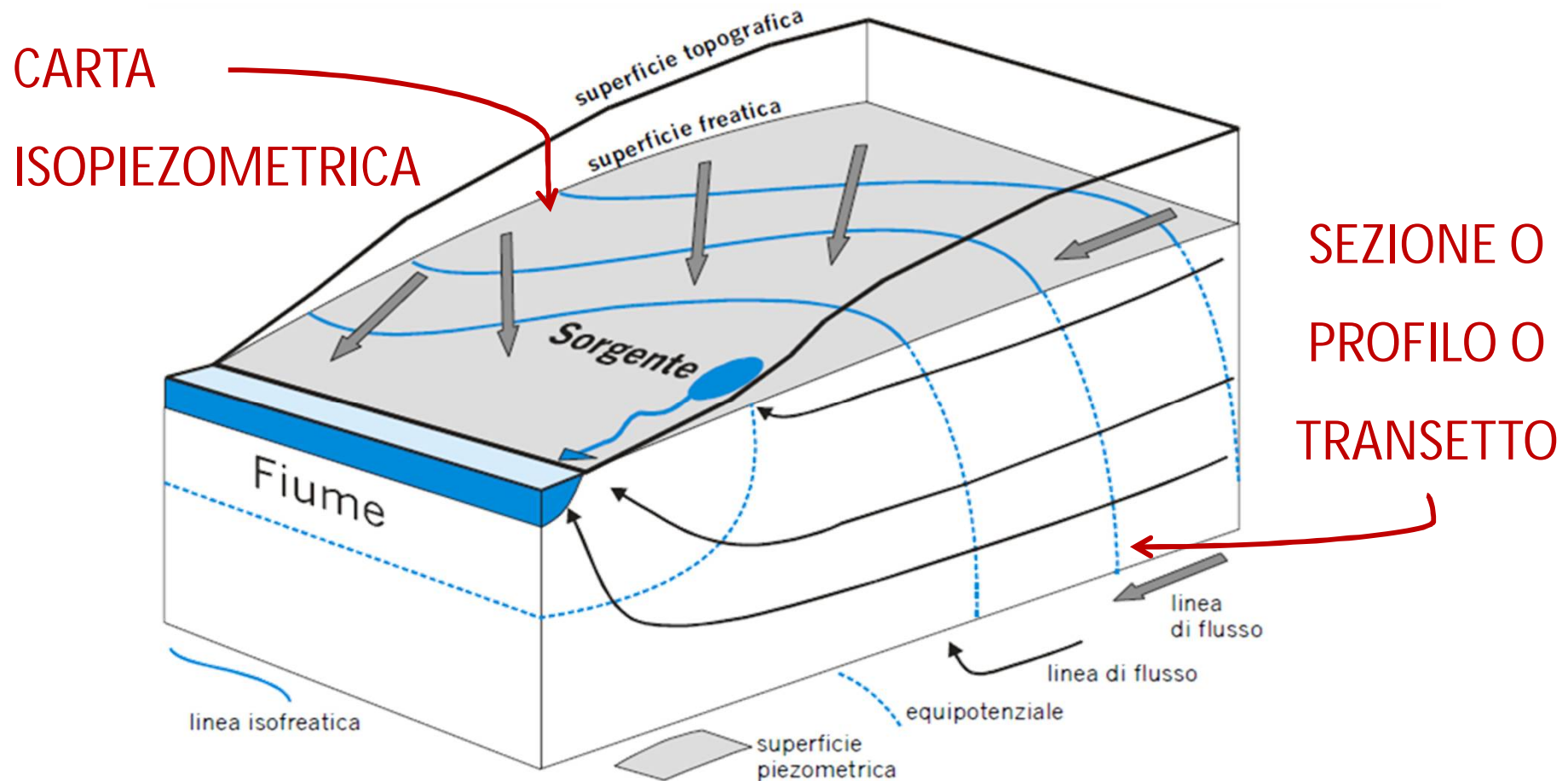
$$AB = \sqrt{L^2 + H^2}$$

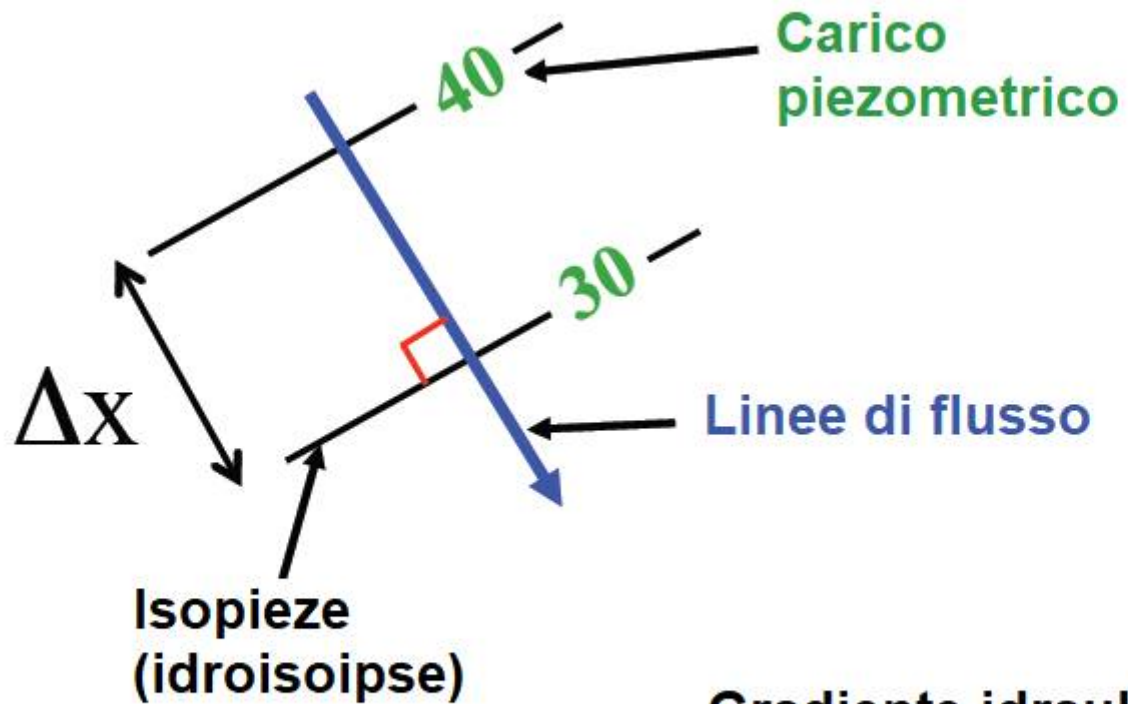
Essendo il gradiente i piccolo, $H^2 \ll L^2$ dunque $AB \approx L$

Per esempio, per un gradiente piezometrico di 1 % (tipico di un bacino sedimentario) e una conducibilità idraulica di 10^{-5} m/s, la velocità di Darcy è $10^{-5} \times 10^{-2} = 10^{-7}$ m/s, ossia, per una porosità efficace di 10 %, una velocità reale dell'acqua di $10^{-7} / 0.1 = 10^{-6}$ m/s. L'acqua percorre una distanza di 10 km in $10^4 / 10^{-6} = 10^{10}$ s = 300 anni

Deflusso della falda

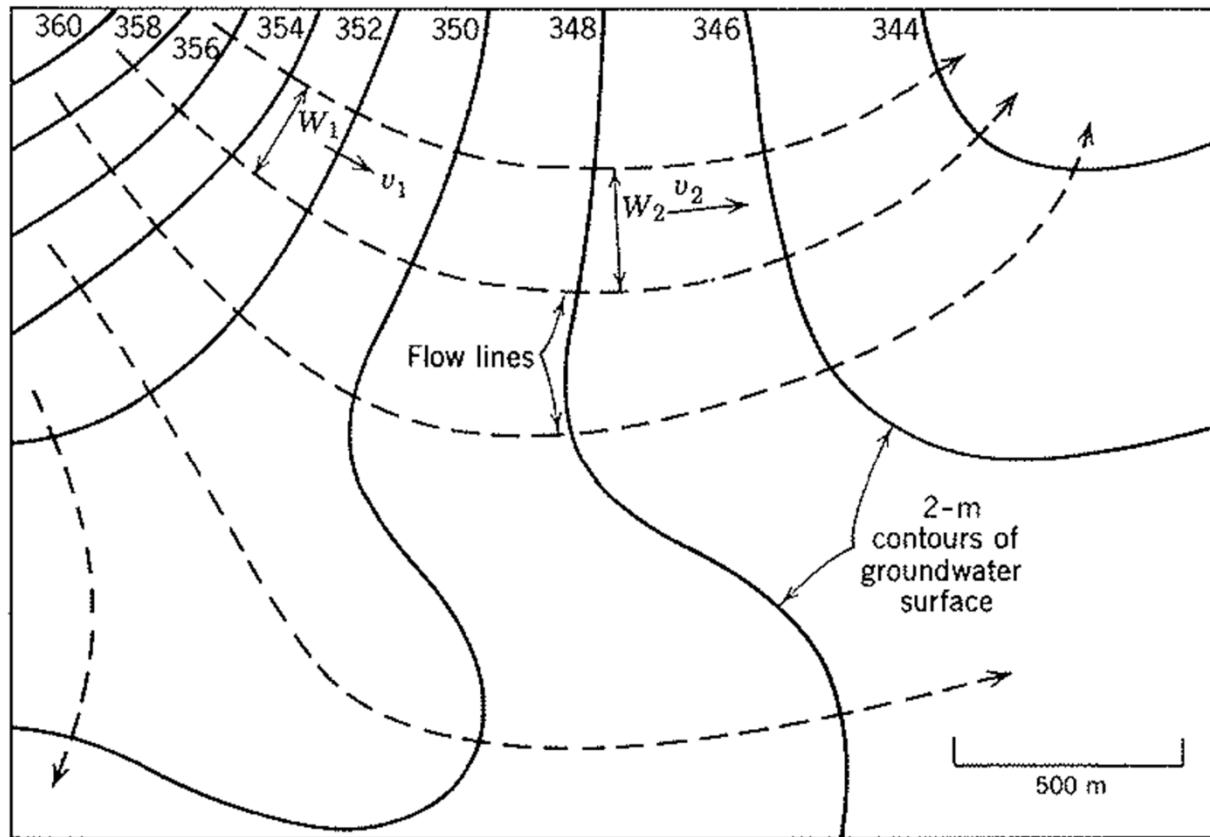
- L'acqua si muove dalle zone di alimentazione a quelle di recapito, secondo le linee di flusso (*streamlines*) che sono tagliate ortogonalmente da linee equipotenziali o linee di ugual carico piezometrico.
- L'insieme delle linee equipotenziali e delle linee di flusso costituisce il RETICOLO DI FLUSSO (Hubbert, 1940).





Gradiente idraulico
 $i = \Delta H / \Delta X$

Linee di flusso ed equipotenziale



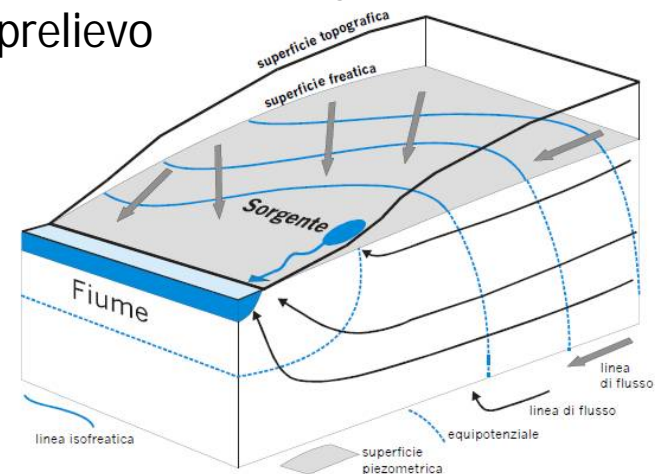
Equipotenziale (m)

(Todd, 1980)

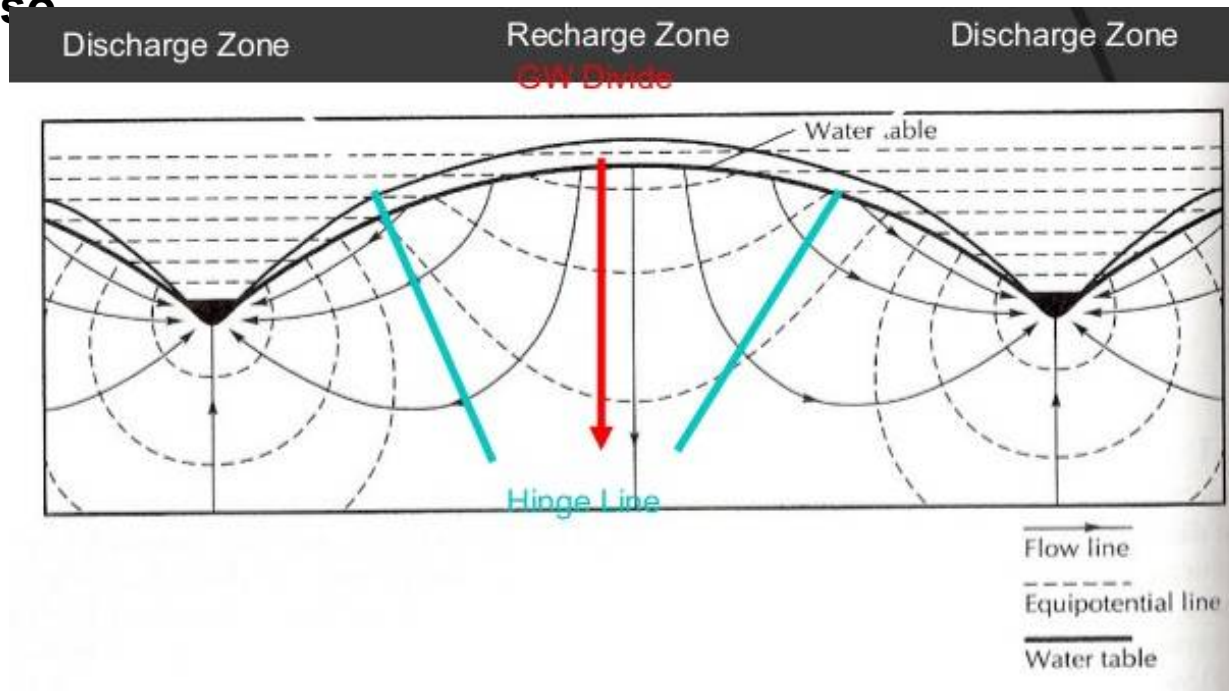
Fig. 3.14 Contour map of a groundwater surface showing flow lines.

Il reticolo di flusso

- Una carta della superficie piezometrica, è una visione **2D** dell'acquifero, sul piano orizzontale, dove le superfici equipotenziali sono rappresentate da linee equipotenziali. Il flusso idrico è sempre perpendicolare alle superfici equipotenziali, e questo percorso costituisce la linea di flusso.
- Il **vettore velocità** è tangente alla linea di flusso (o filetto di corrente); non c'è flusso attraverso una linea di corrente (è un limite impermeabile), esso è perpendicolare ad una linea equipotenziale ed è diretto verso i carichi idraulici più bassi
- L'acquifero è una struttura **3D** ed una visione completa deve considerare le variazioni nel carico idraulico nello spazio. Punti di uguale carico idraulico sono evidenziati attraverso superfici equipotenziali. In generale le superfici equipotenziali sono verticali, ossia il potenziale idraulico è costante con la profondità. Il potenziale idraulico varia in vicinanza delle aree di ricarica o di deflusso degli acquiferi, in acquiferi molto pendenti ed in vicinanza delle zone di prelievo



Reticoli di flusso



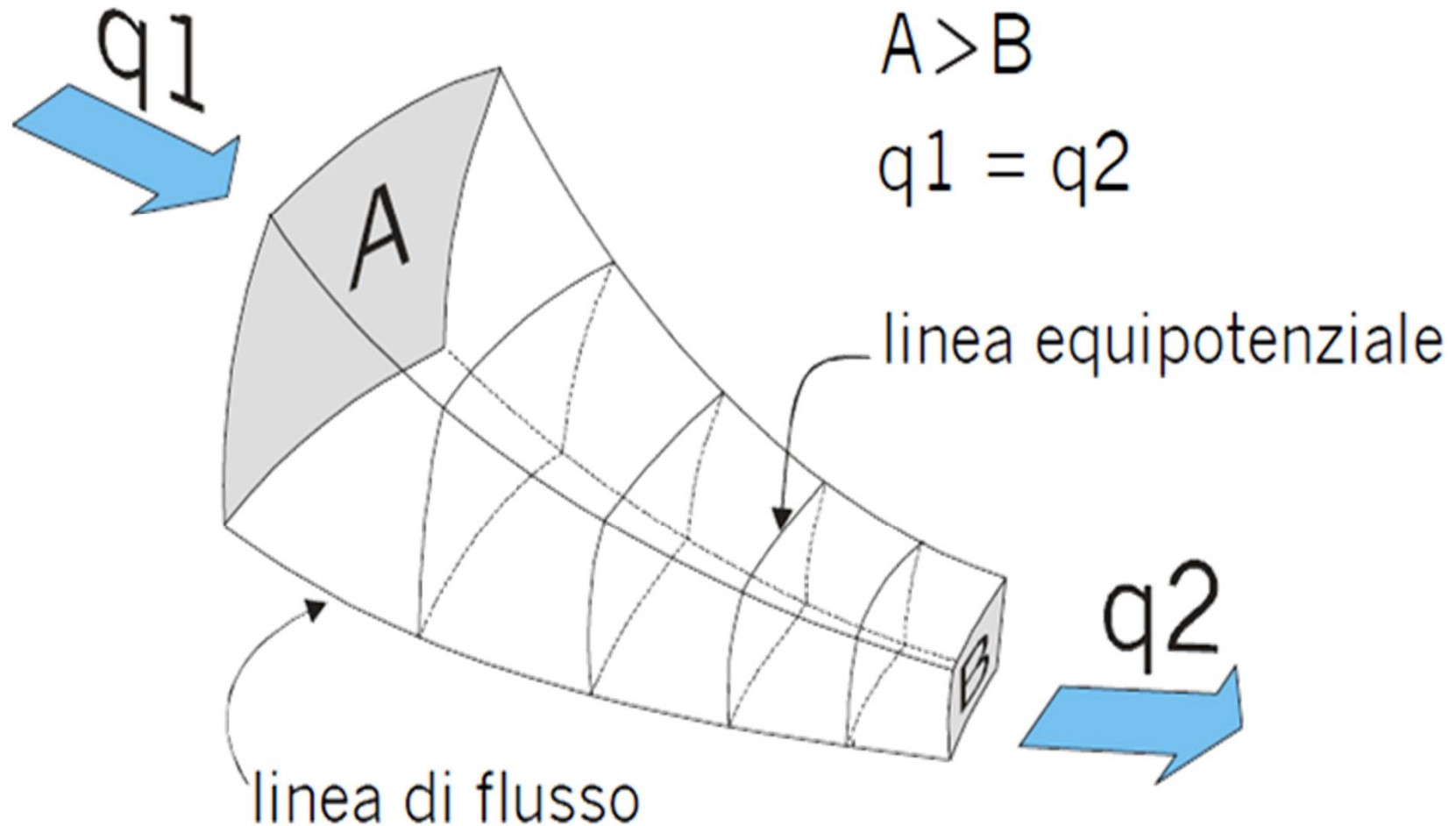
I reticoli di flusso costituiscono un metodo per rappresentare il campo di moto e per analizzare le velocità di flusso e la distribuzione della trasmissività in un acquifero. Un reticolo di flusso è una serie di linee equipotenziali e di flusso, tra loro perpendicolari. Le linee equipotenziali collegano punti con lo stesso carico idraulico. La linea di flusso è una linea immaginaria che rappresenta il percorso di una particella fluida in movimento nell'acquifero.

La morfologia della rete di flusso dipende da diversi fattori:

- Posizione delle zone di alimentazione e di recapito
- Distribuzione della permeabilità

Tubo di flusso

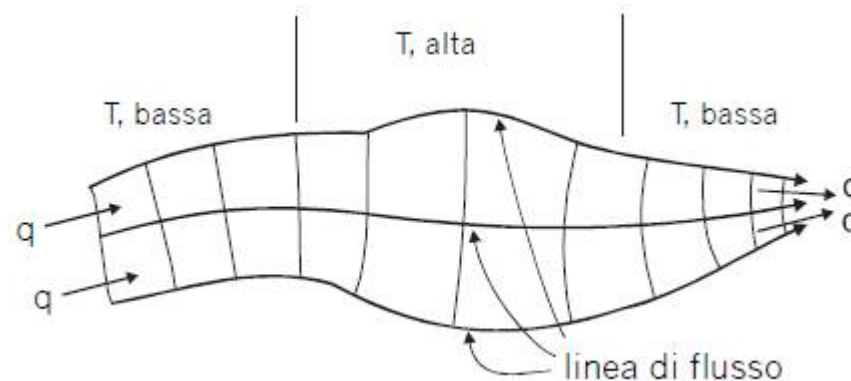
Un **tubo di flusso** è delimitato da linee di flusso, al suo interno la portata rimane costante, dato che non vi è travaso di acqua attraverso due linee di flusso.



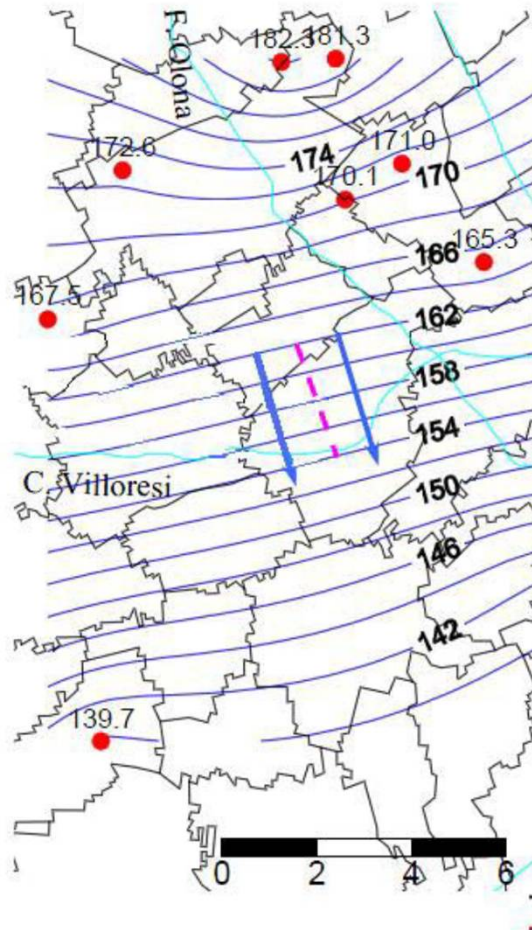
Tubo di flusso

Le portate attraverso i segmenti del reticolo di flusso sono uguali.

Le varie forme delle zone quadrangolari del reticolo, sono una conseguenza delle variazioni di trasmissività (se il substrato è orizzontale)



CARTE PIEZOMETRICHE E CALCOLO DELLA PORTATA



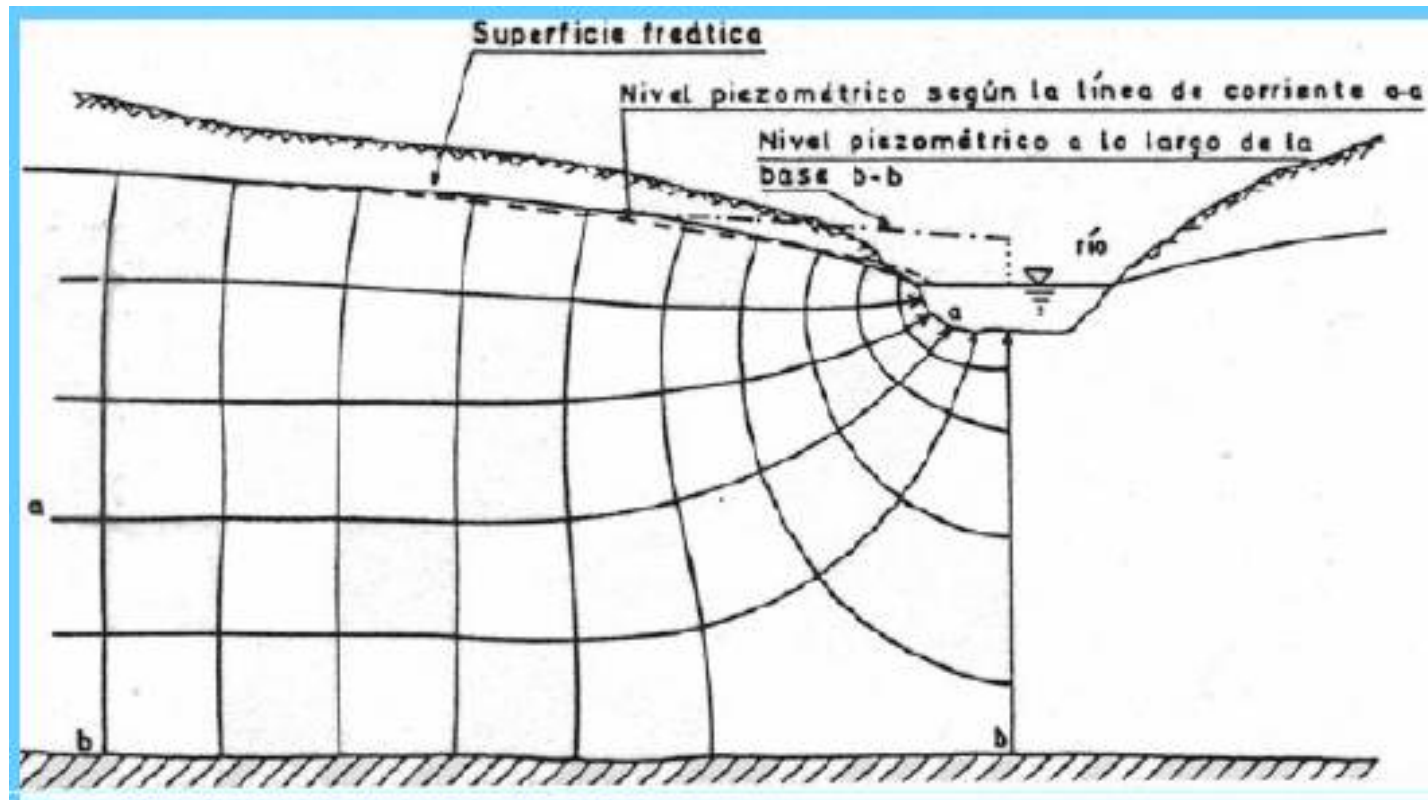
Esempio di carta piezometrica con indicazione di un tubo di flusso (in azzurro) e una linea di flusso (rosa, perpendicolare alle isopiezies in ogni punto)

Nel caso di falde **cilindriche**, ossia a linee di flusso parallele, con sezione di flusso costante, è possibile applicare direttamente la relazione di Darcy, per calcolare la portata di un tubo di flusso.

Anzitutto, si calcola il gradiente idraulico, prendendo a riferimento due isopiezies qualsiasi: $i = (H_1 - H_2)/L$, dove $H_1 [m]$ è il carico idraulico sull'isopiezia di monte, $H_2 [m]$ è il carico sull'isopiezia di valle, $L [m]$ è la distanza tra le due isopiezies (tratto rosa in figura).

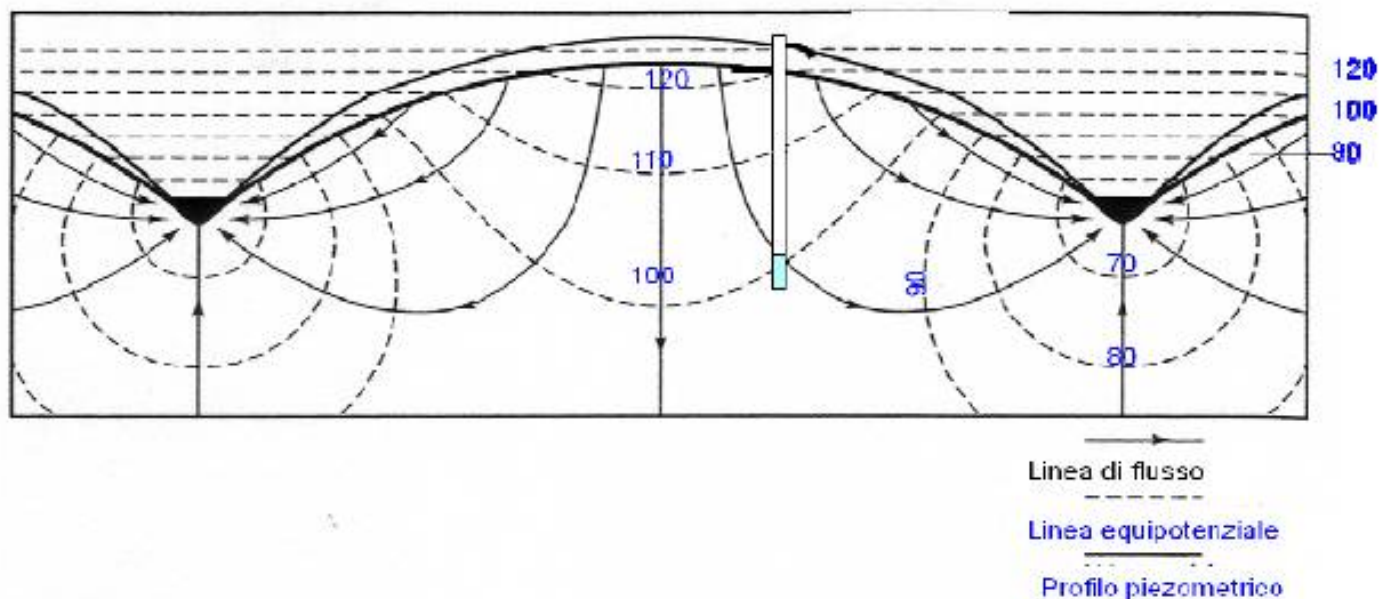
La sezione di flusso si ottiene con $A = e \cdot i$, dove $e [m]$ indica lo spessore saturo e $l [m]$ la larghezza del tubo di flusso, pertanto si ottiene $Q = KiA [m^3/s]$.

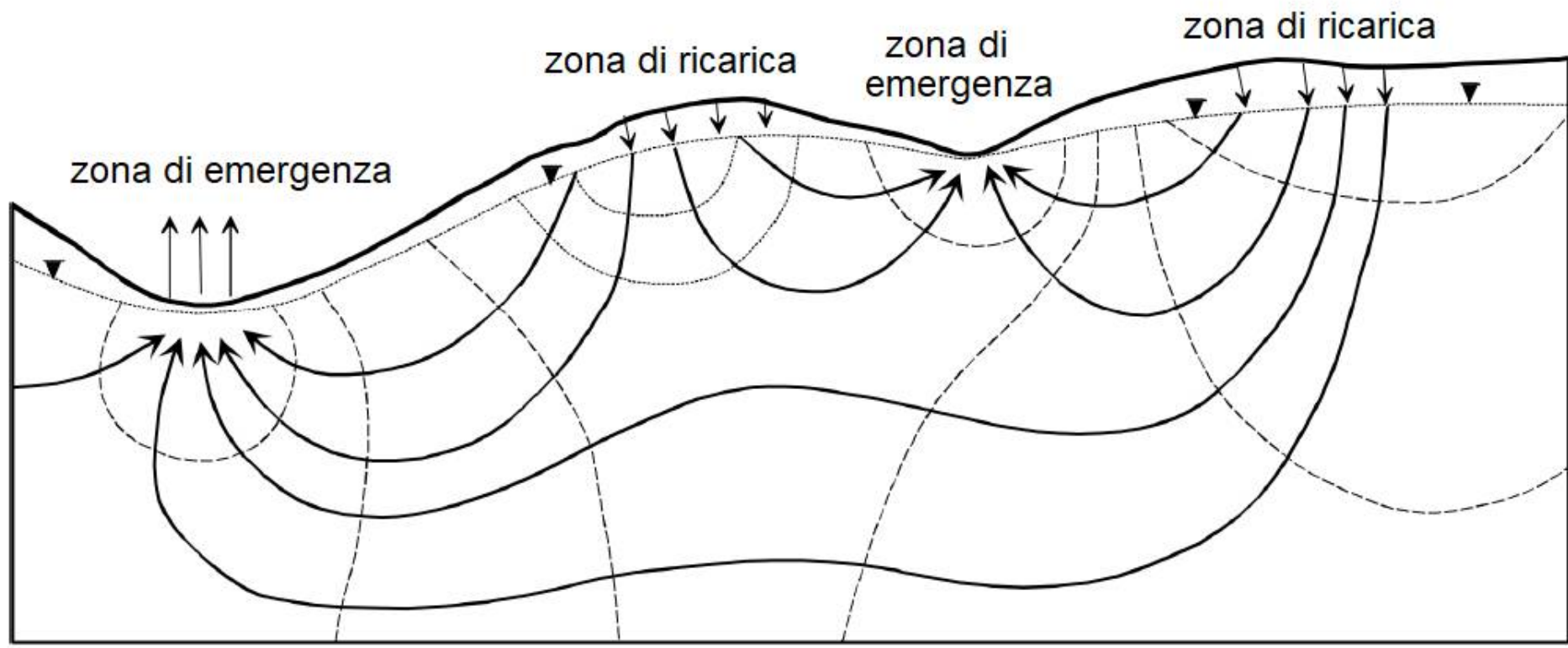
In generale le superfici piezometriche sono verticali, ciò vuol dire che il potenziale idraulico è costante con la profondità. Ma in vicinanza delle zone di ricarica degli acquiferi, zone di pompaggio etc etc il potenziale cambia con la profondità



Rete di flusso per una falda che alimenta un fiume

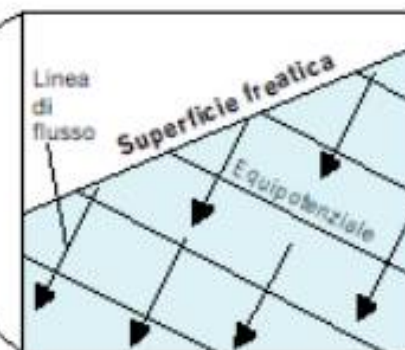
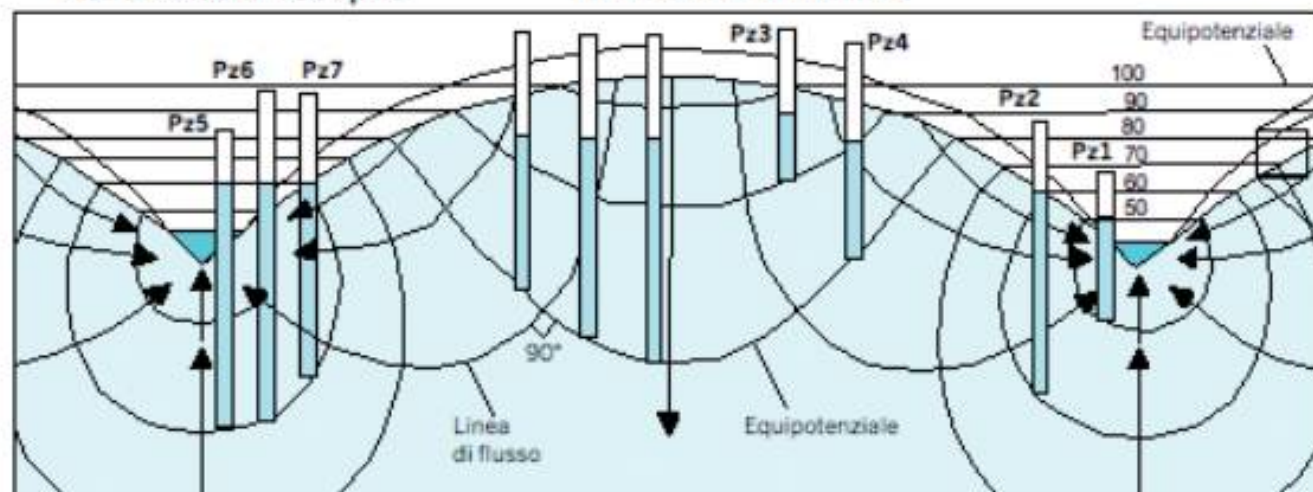
Esaminiamo ad esempio la seguente figura, dalla quale si evince innanzitutto come con la profondità le superfici di uguale livello piezometrico (equipotenziali) abbiano la tendenza a variare per la presenza di recapiti (i corsi d'acqua della figura), verso i quali il flusso della falda rappresentato dalle linee normali alle equipotenziali viene a convergere. Nella figura è rappresentato un pozzo non in funzione, con livello piezometrico a m 100 s.l.m.





Linee di flusso convergenti
nelle zone di recapito

Linee di flusso divergenti
nelle zone di ricarica



B

Il potenziale aumenta
verso il basso

Il potenziale diminuisce
verso il basso

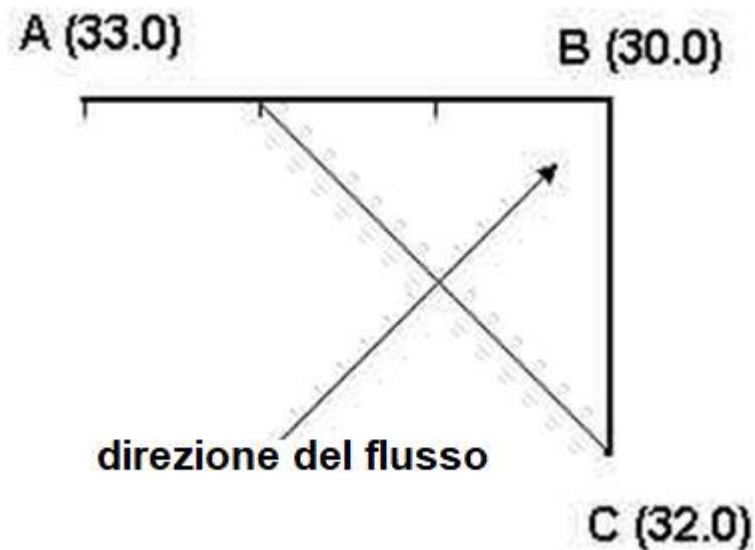
Flusso verso le zone
a carico piezometrico minore

(Hubbert, modificato)

A

Il gradiente idraulico può essere calcolato con tre punti di misura attraverso il metodo grafico:

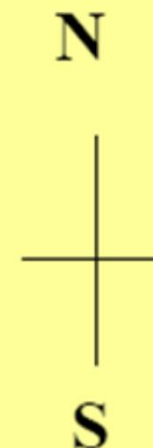
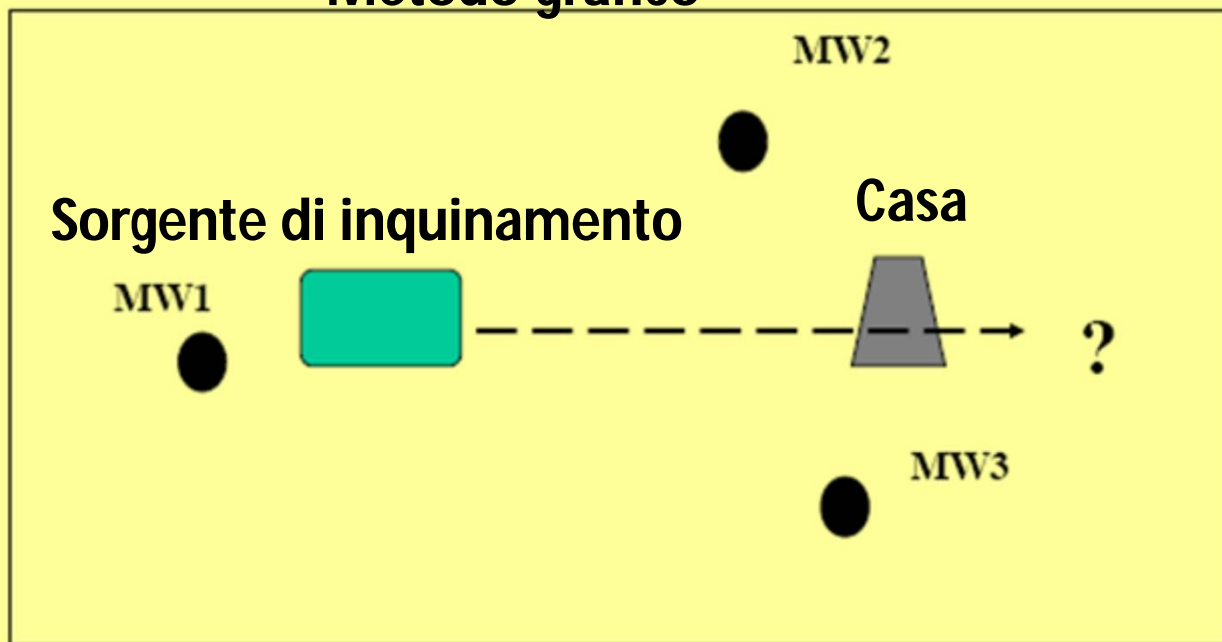
- 1) Disegnare su una carta i tre pozzi che corrispondono ai tre punti di misura
- 2) Disegnare una linea che raccorda il pozzo a carico idraulico più alto e quello a carico idraulico più basso. Graduare la linea e localizzare il valore del carico idraulico corrispondente al terzo pozzo (carico idraulico intermedio)
- 3) Disegnare una linea tra questo punto e il terzo pozzo. Dato che questa linea unisce due punti a uguale carico idraulico, essa è per definizione una linea equipotenziale
- 4) La direzione del flusso idrico sotterraneo è perpendicolare alle equipotenziali, dunque disegnare una linea perpendicolare alla linea precedente diretta verso il pozzo a carico idraulico più basso. La direzione di quest'ultima linea è la direzione del flusso



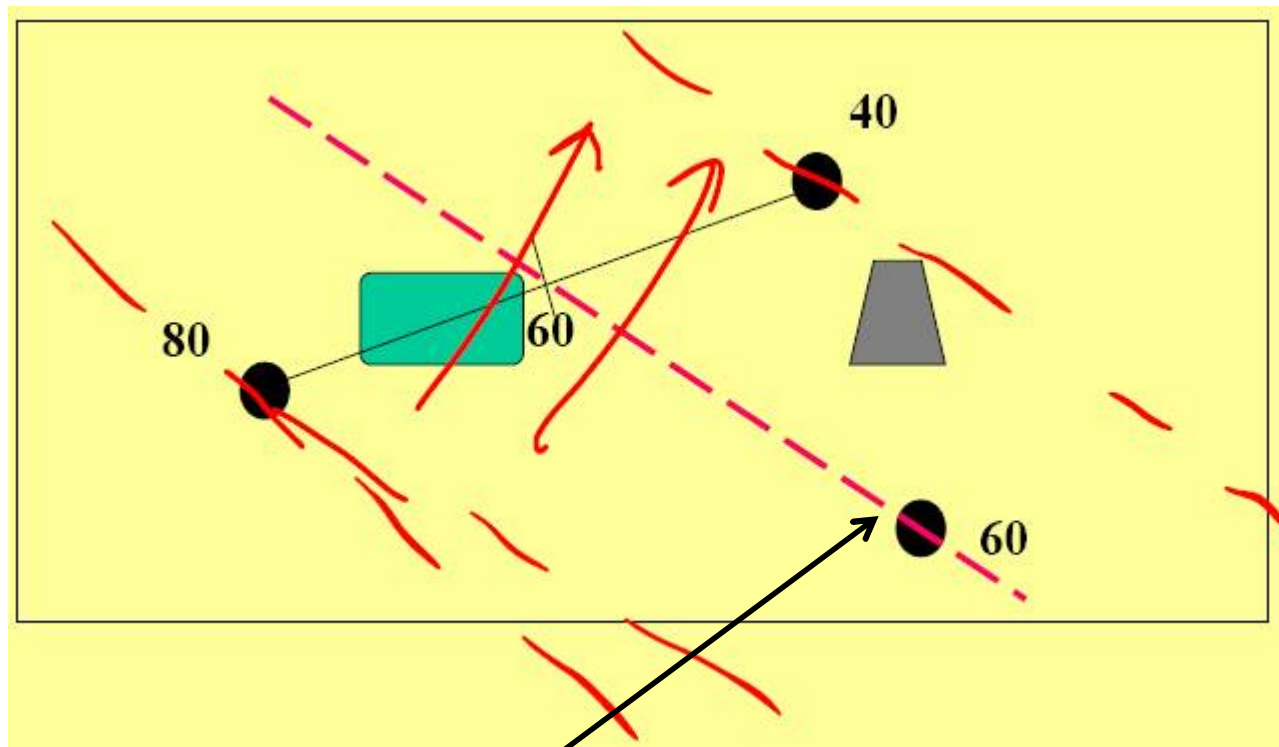
Minimo tre punti di misura di carico idraulico per determinare la direzione del flusso



Metodo grafico

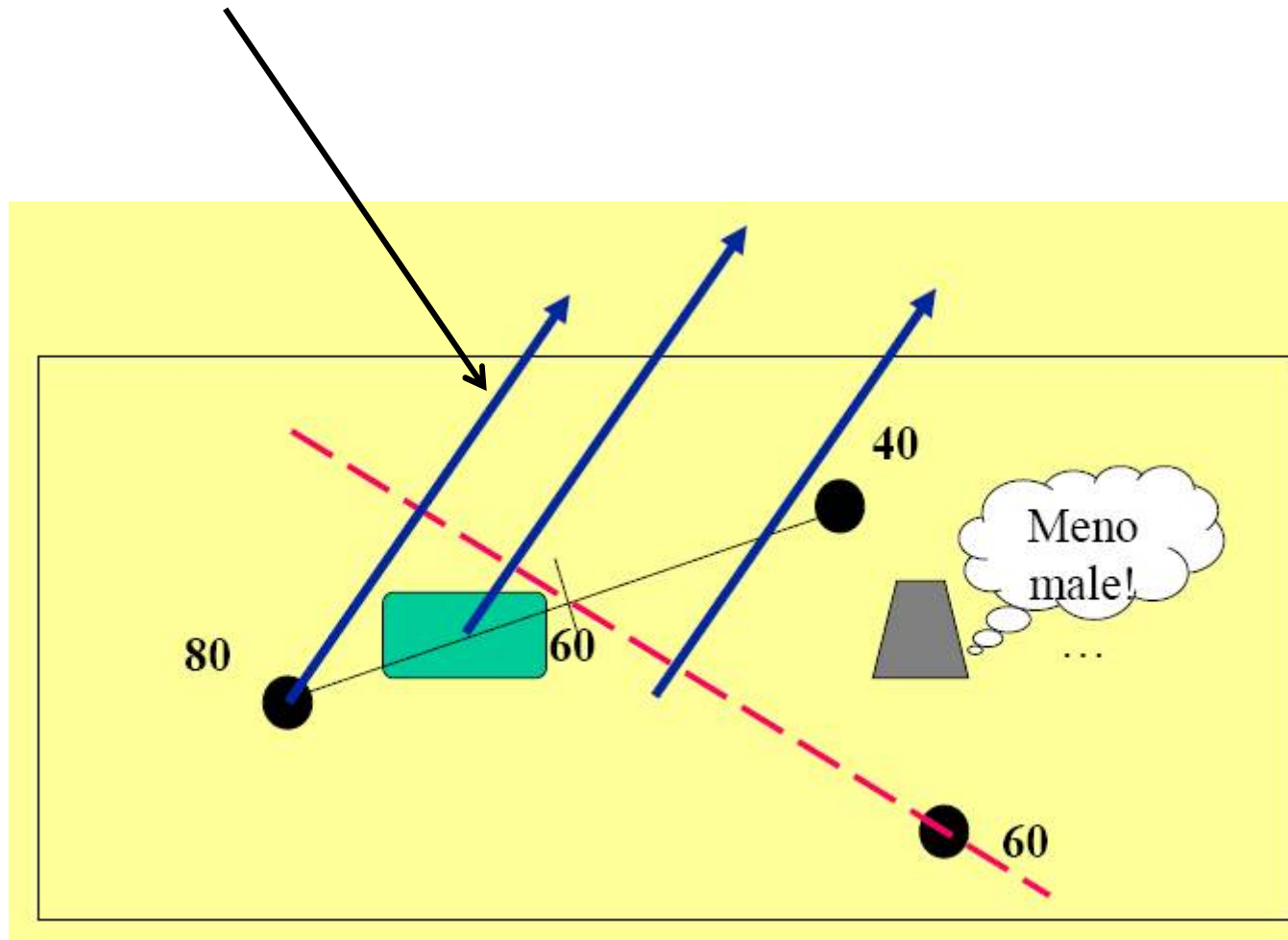


Disegnare una linea che raccorda il pozzo a carico idraulico più alto e quello a carico idraulico più basso. Graduare la linea e localizzare il valore del carico idraulico corrispondente al terzo pozzo (carico idraulico intermedio)

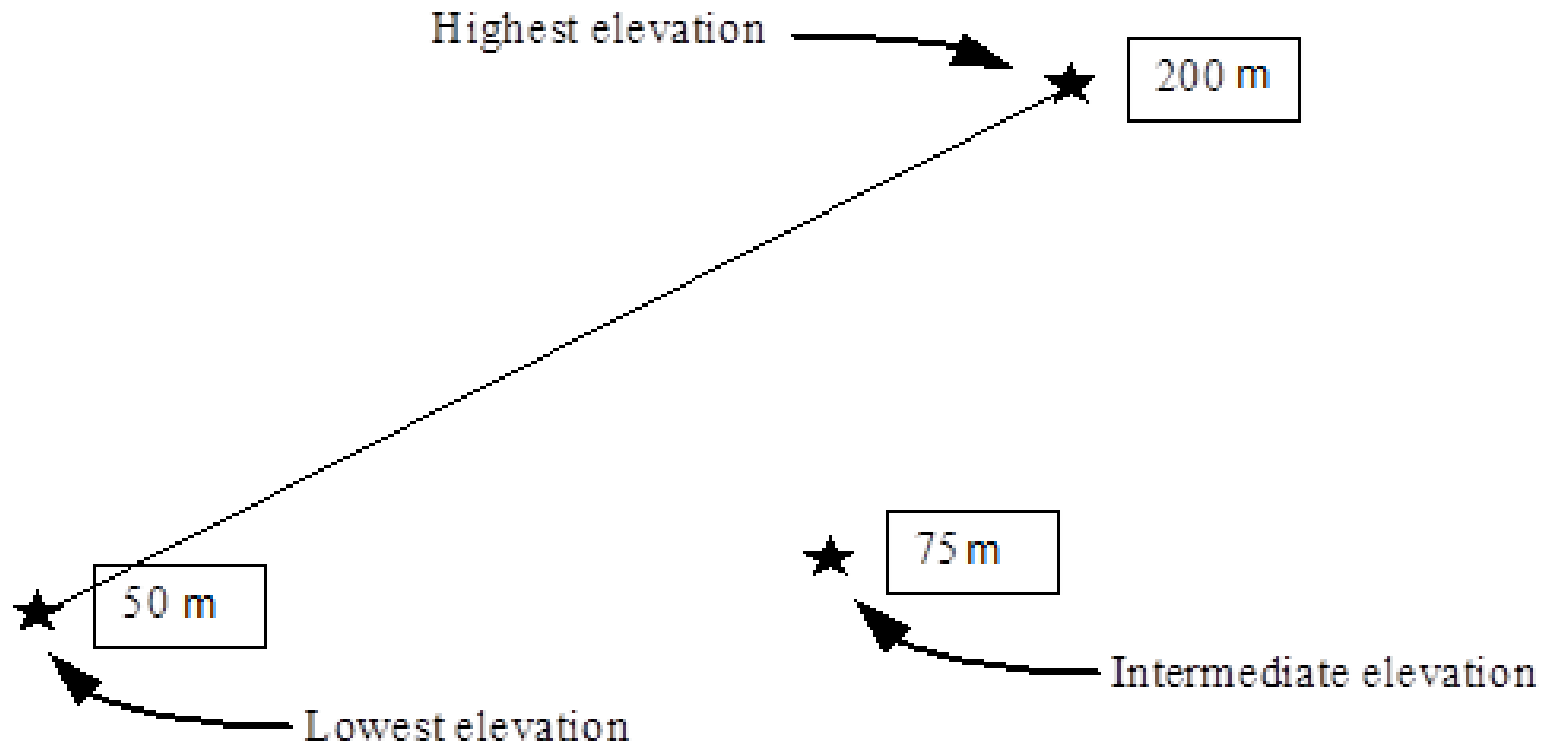


Disegnare una linea tra questo punto e il terzo pozzo. Dato che questa linea unisce due punti a uguale carico idraulico, essa è per definizione una linea equipotenziale

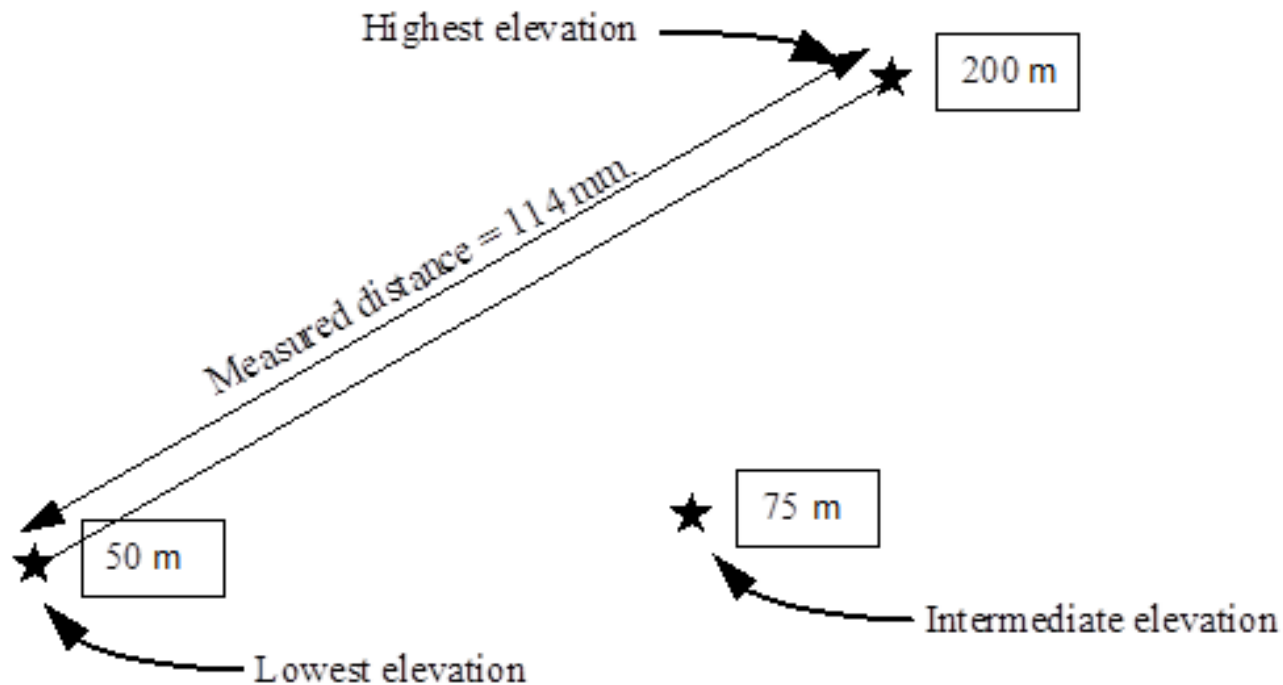
La direzione del flusso idrico sotterraneo è perpendicolare alle equipotenziali, dunque disegnare una linea perpendicolare alla linea precedente diretta verso il pozzo a carico idraulico più basso. La direzione di quest'ultima linea è la direzione del flusso



Construct a graphical three-point problem to determine the direction of groundwater flow



Step1) Draw a line between the highest and lowest groundwater elevations. Remember to use elevations that are corrected (compared) to sea level.



$$\frac{(200\text{m} - 75\text{m})}{(200\text{m} - 50\text{m})} = \frac{\text{unknown distance}}{114 \text{ mm.}}$$

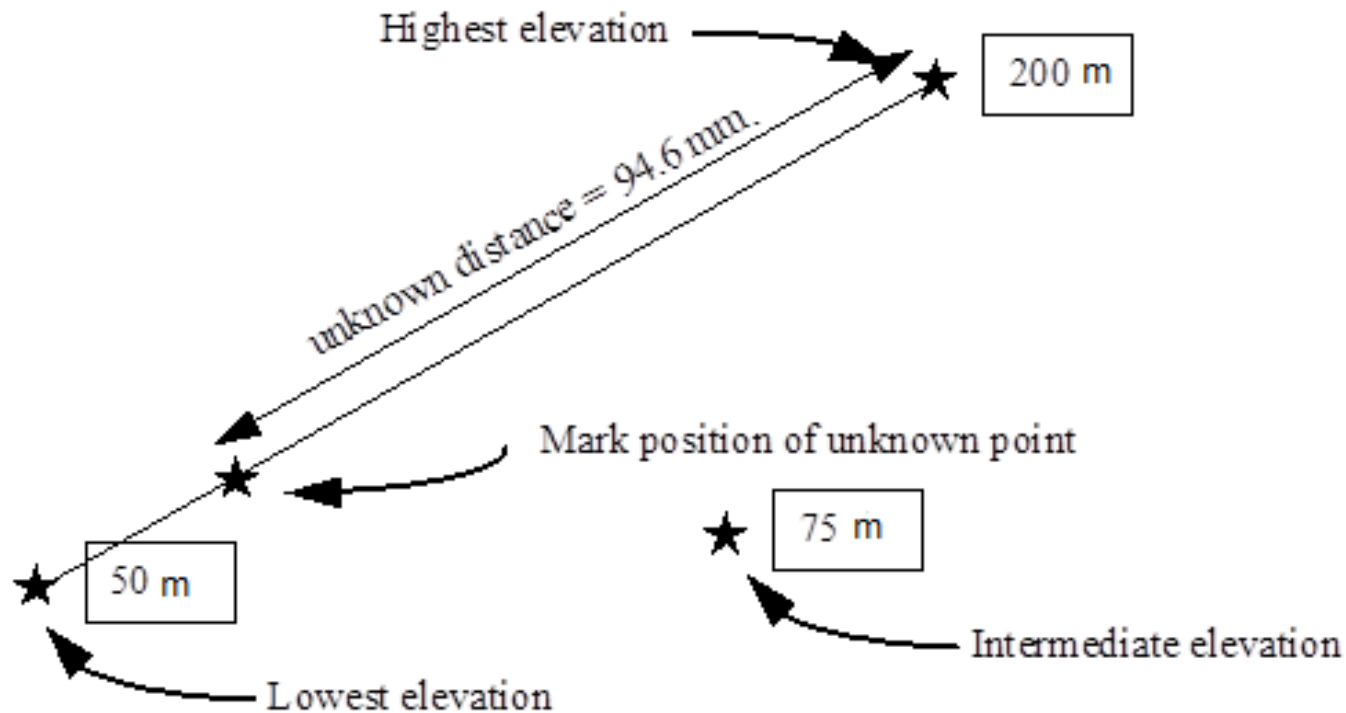
$$\text{unknown distance} = 94.6 \text{ mm.}$$

Step 2) Determine the position where the intermediate groundwater elevation would project along this line. Use measured distances on the map and differences between water level elevations to construct a ratio and determine this position:

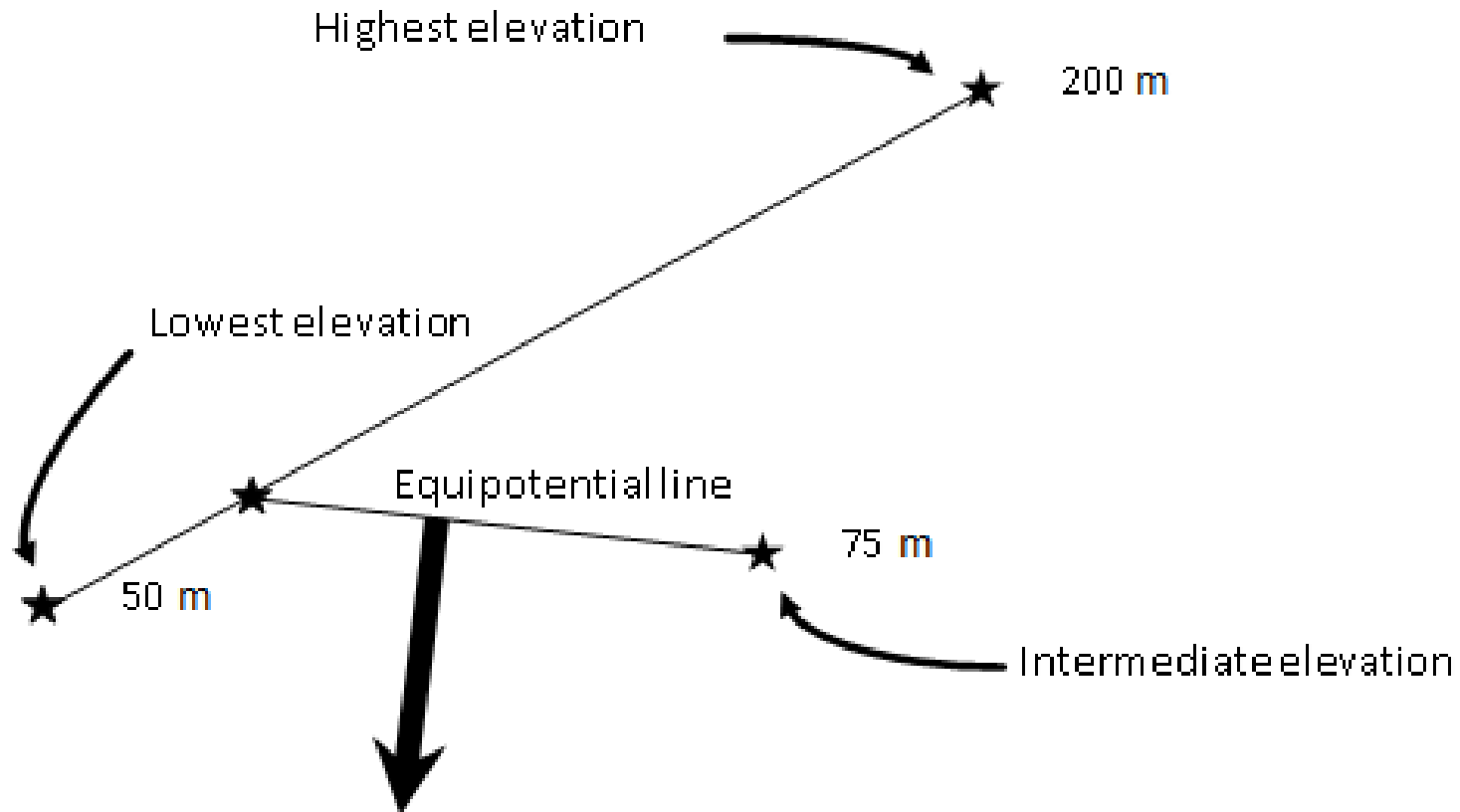
Example ratio equation:

$$\frac{(\text{highest elevation} - \text{intermediate elevation})}{(\text{highest elevation} - \text{lowest elevation})} = \frac{\text{unknown distance}}{(\text{measured distance between highest and lowest elevations})}$$

Read the highest elevation, lowest elevation and intermediate elevation from your map, and plug these values into the ratio equation. Use your ruler to measure the distance between the highest and lowest elevations on your map and plug this value into the equation. Any units are will work, but millimeters or metric units are often easiest to use. Solve for the unknown distance. The unknown distance is the map distance from the highest elevation to the intermediate elevation.



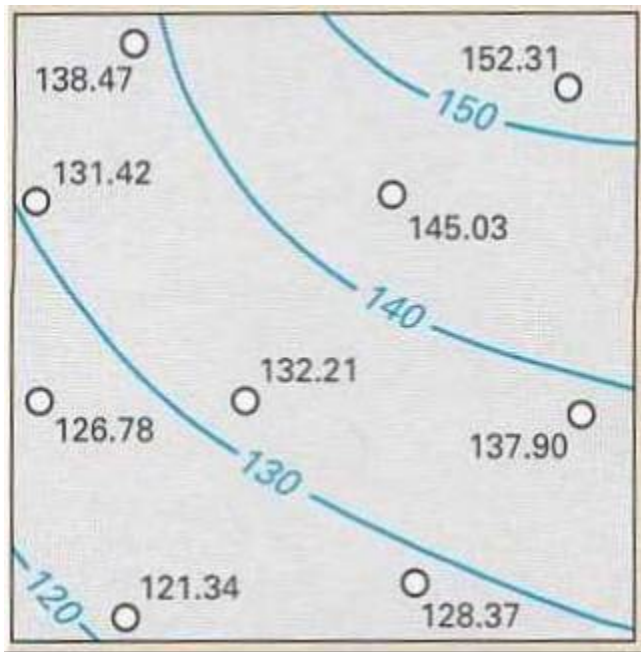
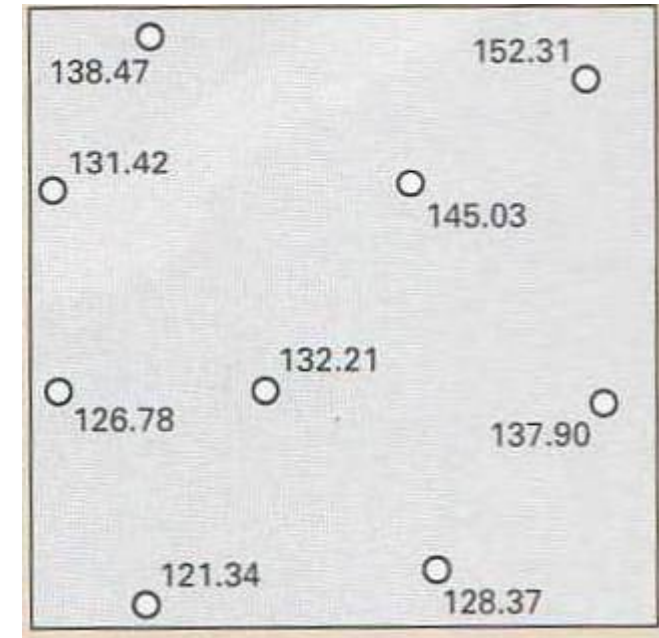
Step 3) Mark the unknown distance that you calculated in step 2 along the line that connects the highest and lowest elevations. Make sure that you start measuring from the highest elevation.



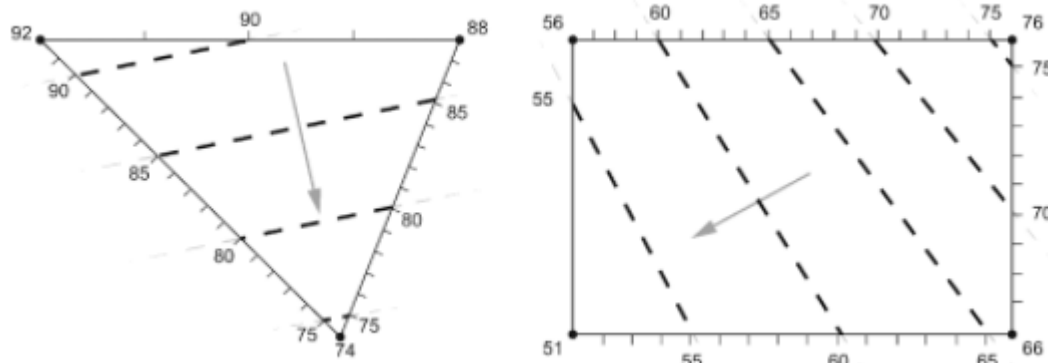
Step 4) Draw a line between the intermediate elevation and the unknown point that you marked in step 3. This new line is perpendicular to the dip (inclination) of the groundwater surface. It is essentially an equipotential line (a line in an two-dimensional field where the total hydraulic head or water level is constant for all points on the line). Draw a large arrow perpendicular to your new line to represent the dip of the groundwater surface and the direction of groundwater flow. The direction of groundwater flow is 90° to the equipotential line.

RICOSTRUZIONE DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

conoscendo la quota topografica del punto di misura si ricava la quota della superficie piezometrica rispetto al livello medio del mare



Le misure così effettuate in una determinata area possono quindi essere interpolate per ottenere una carta piezometrica rappresentante la forma della sua superficie (tipo carta topografica) attraverso linee ad uguale quota piezometrica: ISOPIEZE



Se i punti sono in numero maggiore di 3, la ricostruzione diviene più affidabile ed è realizzata mediante una serie di triangoli che coprono tutta l'area di misura.

La ricostruzione della superficie piezometrica su un'area vasta prende il nome di **carta piezometrica**

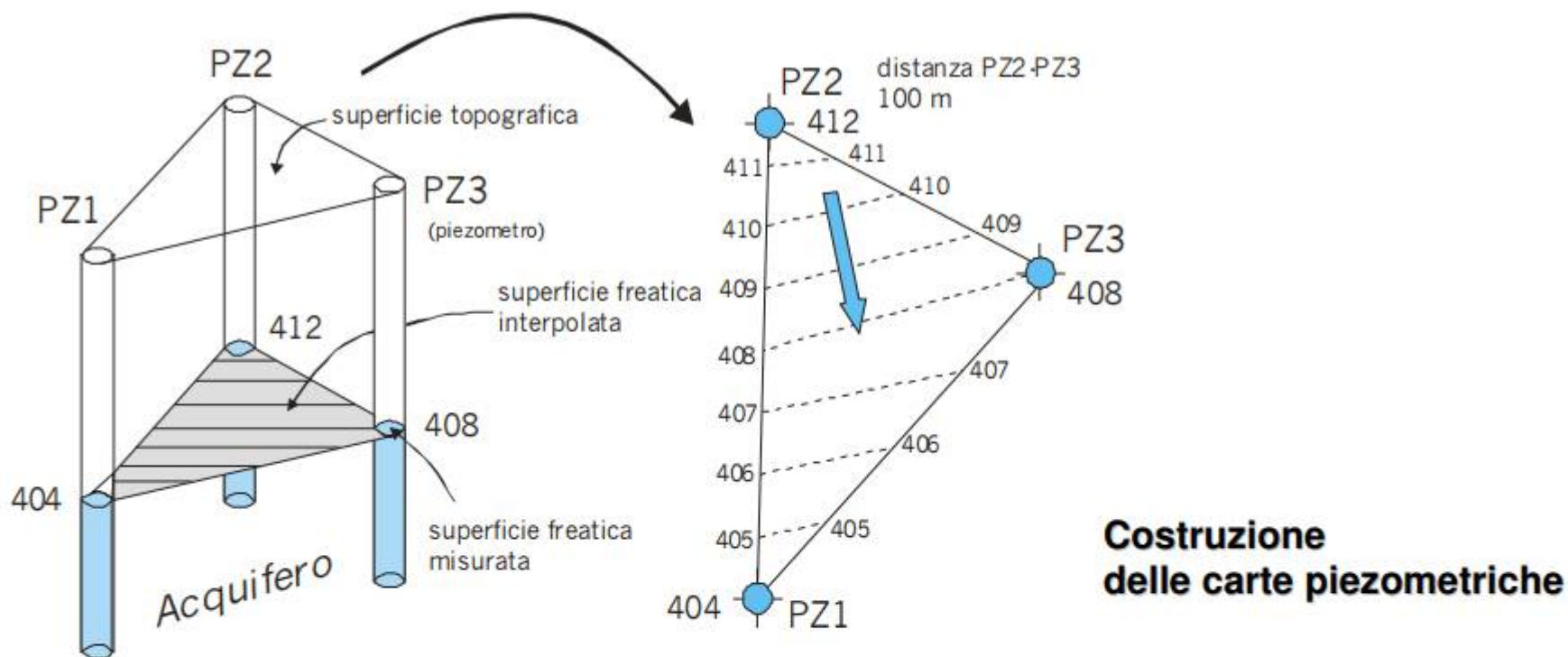


Fig. A: costruzione delle isofreatiche mediante interpolazione grafica; B: procedura per ricavare le quote di falda tra i punti d'acqua misurati (PZ1 - PZ2 - PZ3); unire i punti d'acqua con dei segmenti e costruire un reticolo a maglia triangolare; misurare sulla carta la lunghezza dei segmenti che uniscono i punti d'acqua; riportare questa lunghezza al dislivello piezometrico;

Ad esempio le isofreatiche con equidistanza un metro, tra PZ1 e PZ2 (dislivello 8 m), si ricavano:

Lunghezza tratto planimetrico PZ1 - PZ2 = 6,6 cm

Distanza tra le isofreatiche 1 m: $8/6,6 = 1/x$

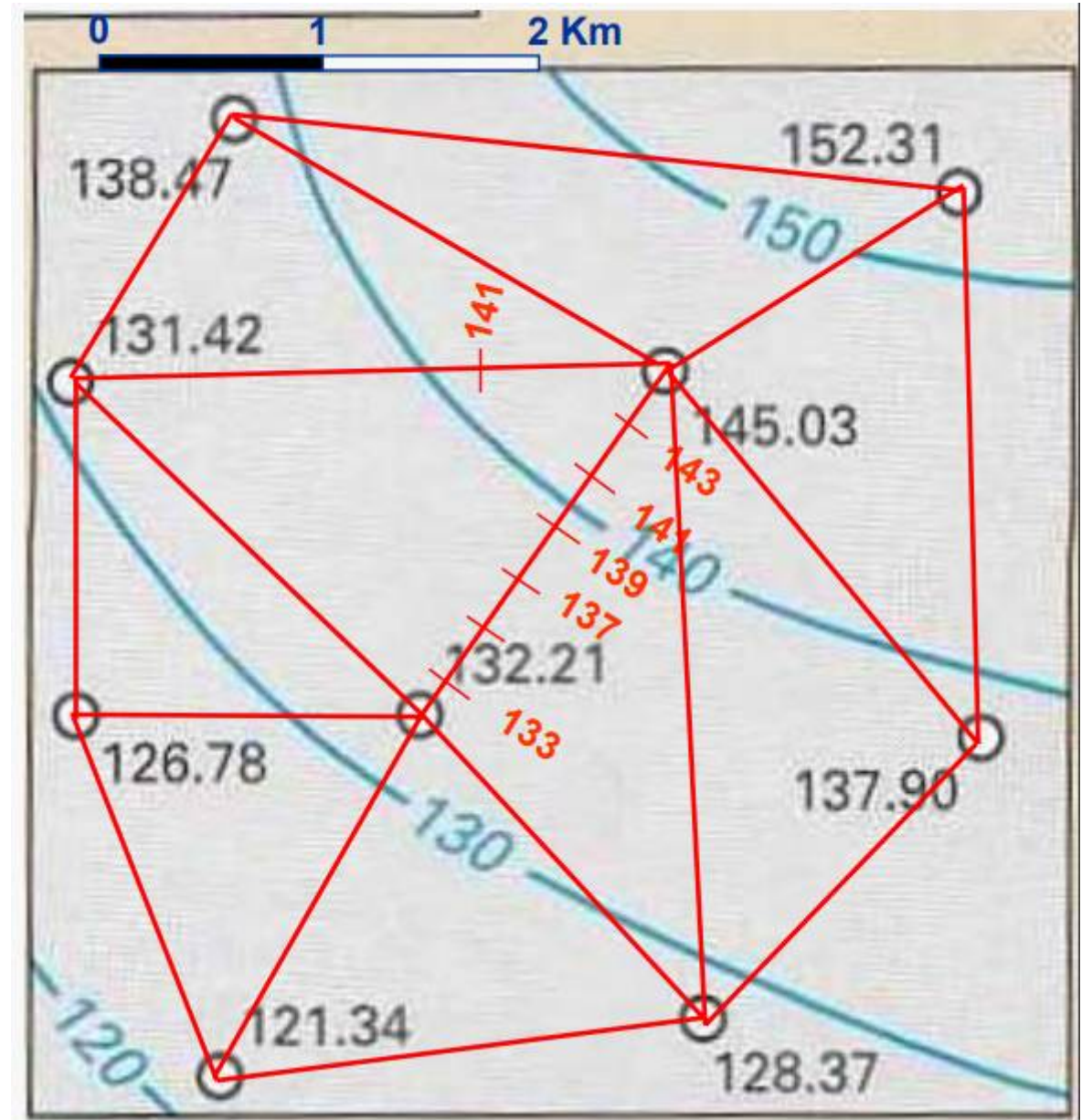
Da cui $x = 6,6/8$ e $x = 0,825$ cm

Sul segmento che unisce PZ1 a PZ2 si segnano i trattini corrispondenti al passaggio delle isofreatiche 1 m ogni 0,825 cm; analogamente le isofreatiche tra PZ1 e PZ3 sono intervallate, lungo il segmento PZ1 - PZ3, di 1,525 cm e quelle tra PZ3 e PZ2 di 1,13 cm

LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Compiendo la triangolazione per tutti i punti di misura disponibili potrò tracciare tutte le isopieze e quindi ottenere la rappresentazione della superficie piezometrica. Il metodo d'interpolazione della triangolazione è semplicistico.

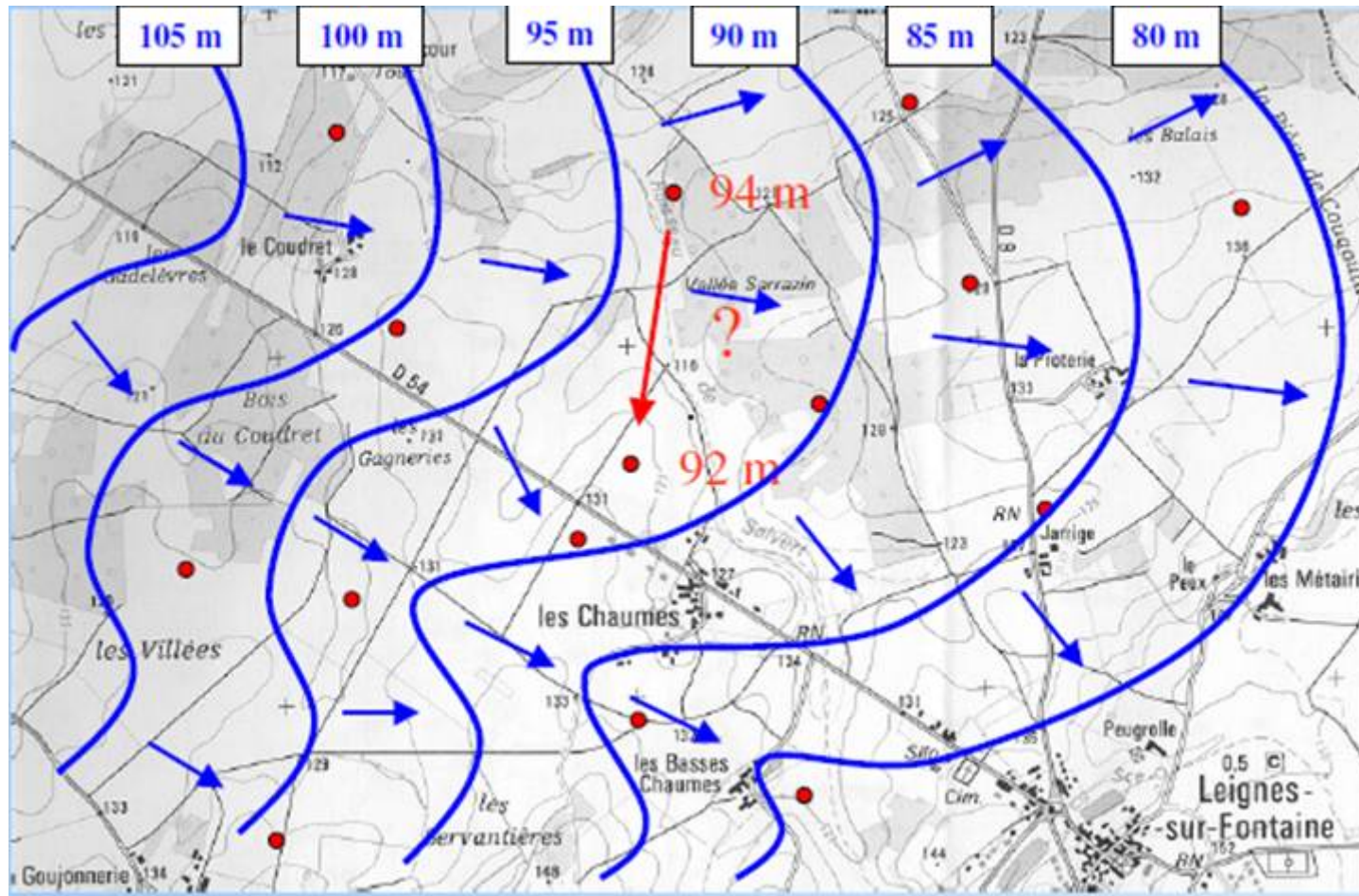
Attualmente esistono in commercio numerosi software d'interpolazione che usano diversi metodi geostatistici tra i quali il più diffuso è il kriging



Realizzazione di una carta piezometrica

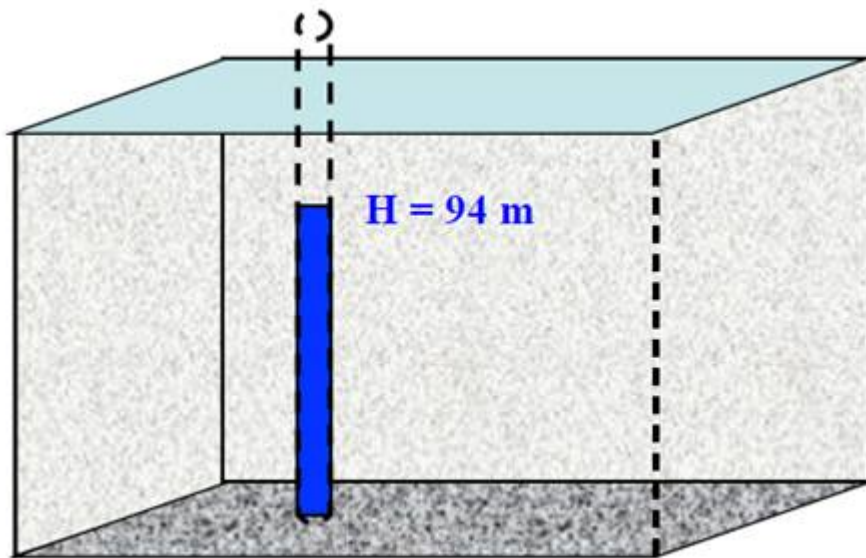
Punti di osservazione: pozzi, piezometri

→ direzione del flusso

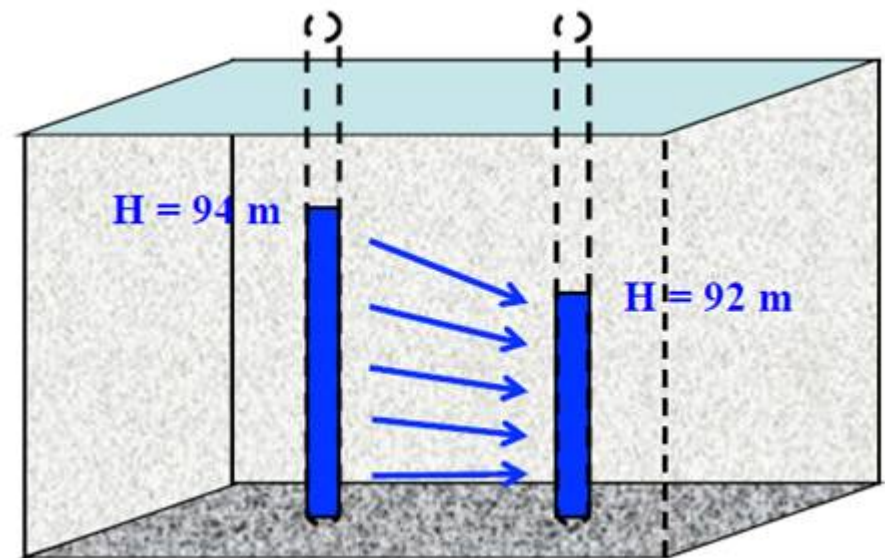


Realizzazione di una carta piezometrica

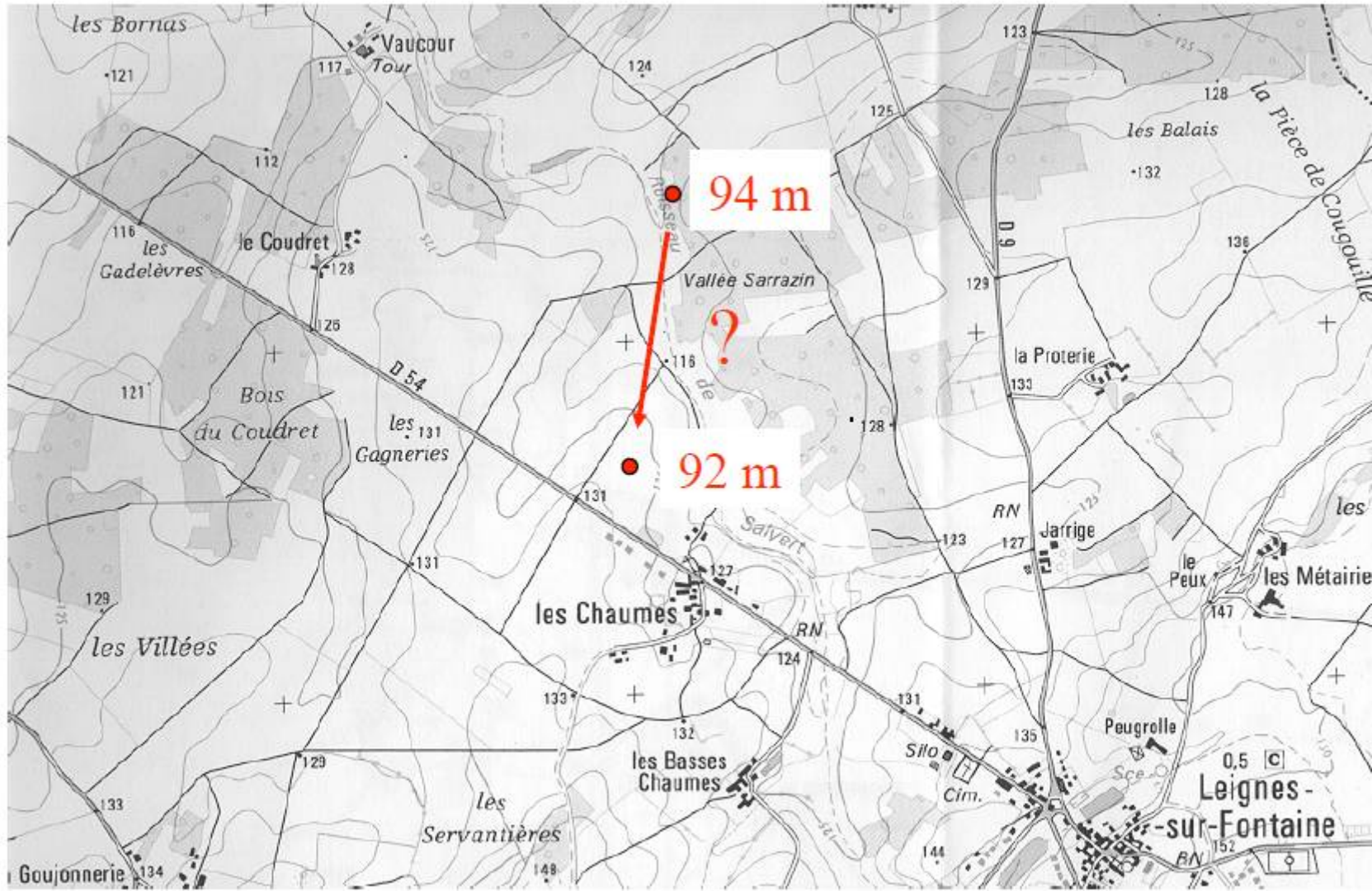
Realizzazione di un primo sondaggio



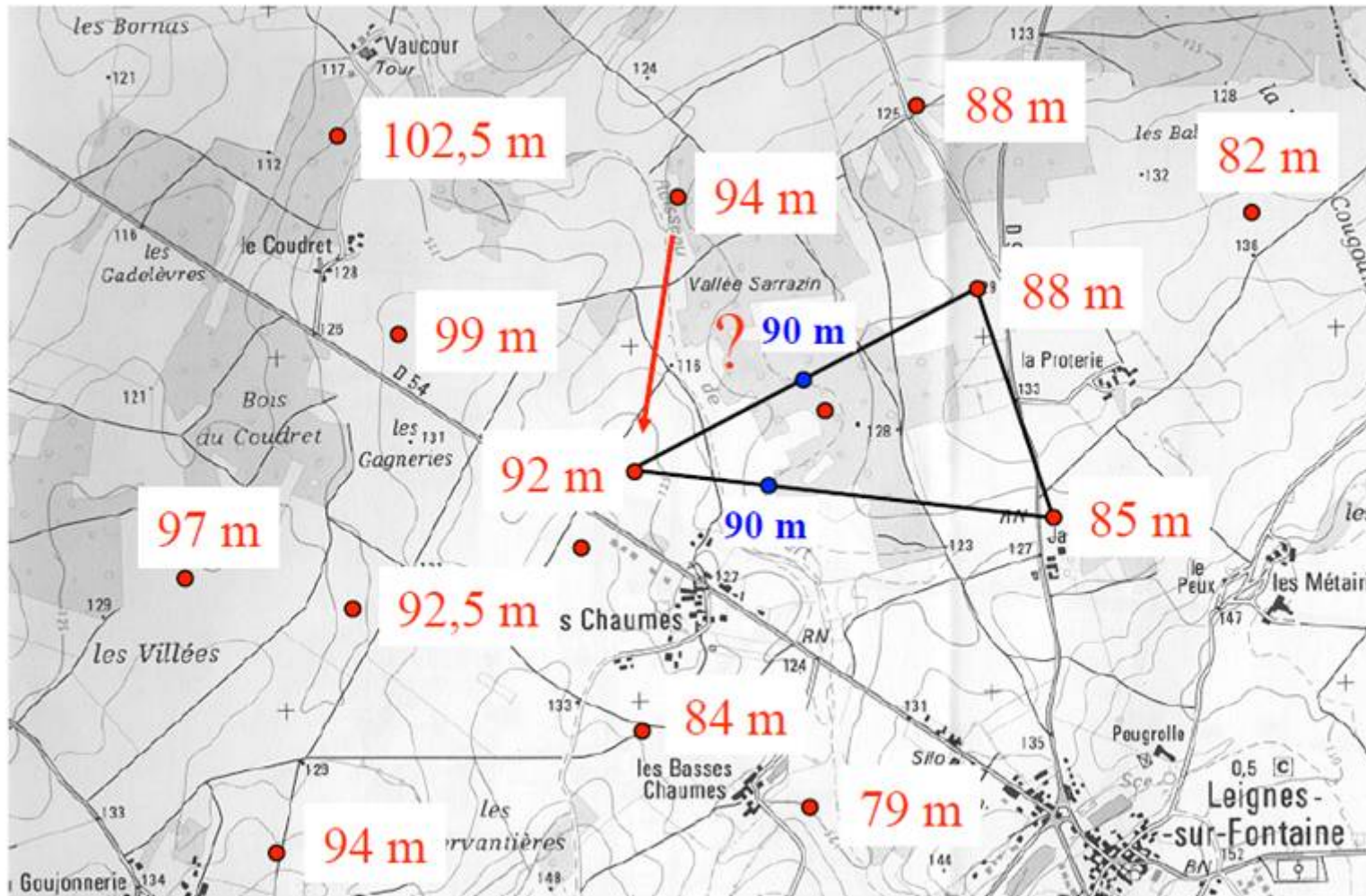
Realizzazione di un secondo sondaggio



Realizzazione di una carta piezometrica



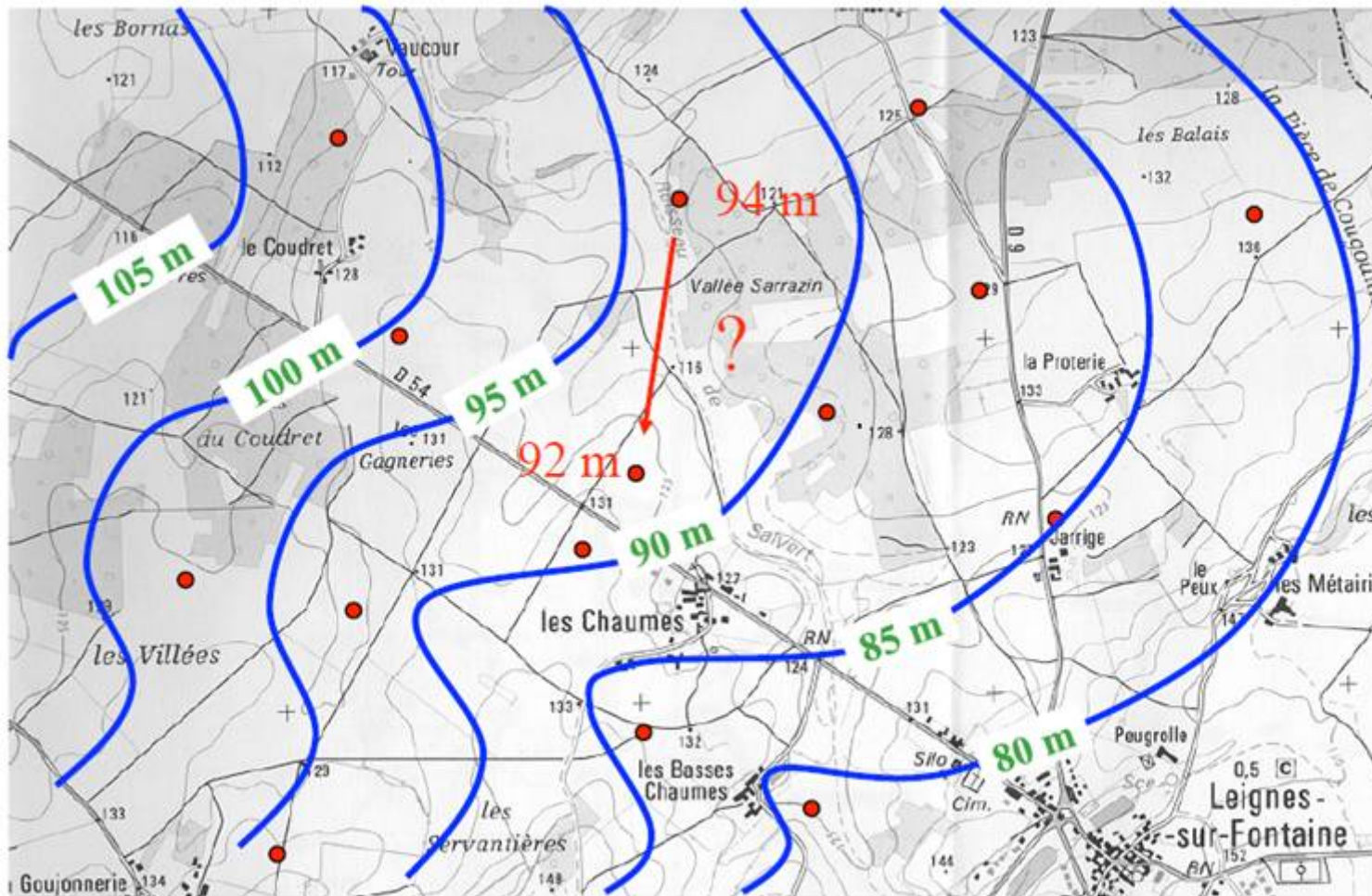
Realizzazione di una carta piezometrica



● Punti di osservazione: pozzi, piezometri

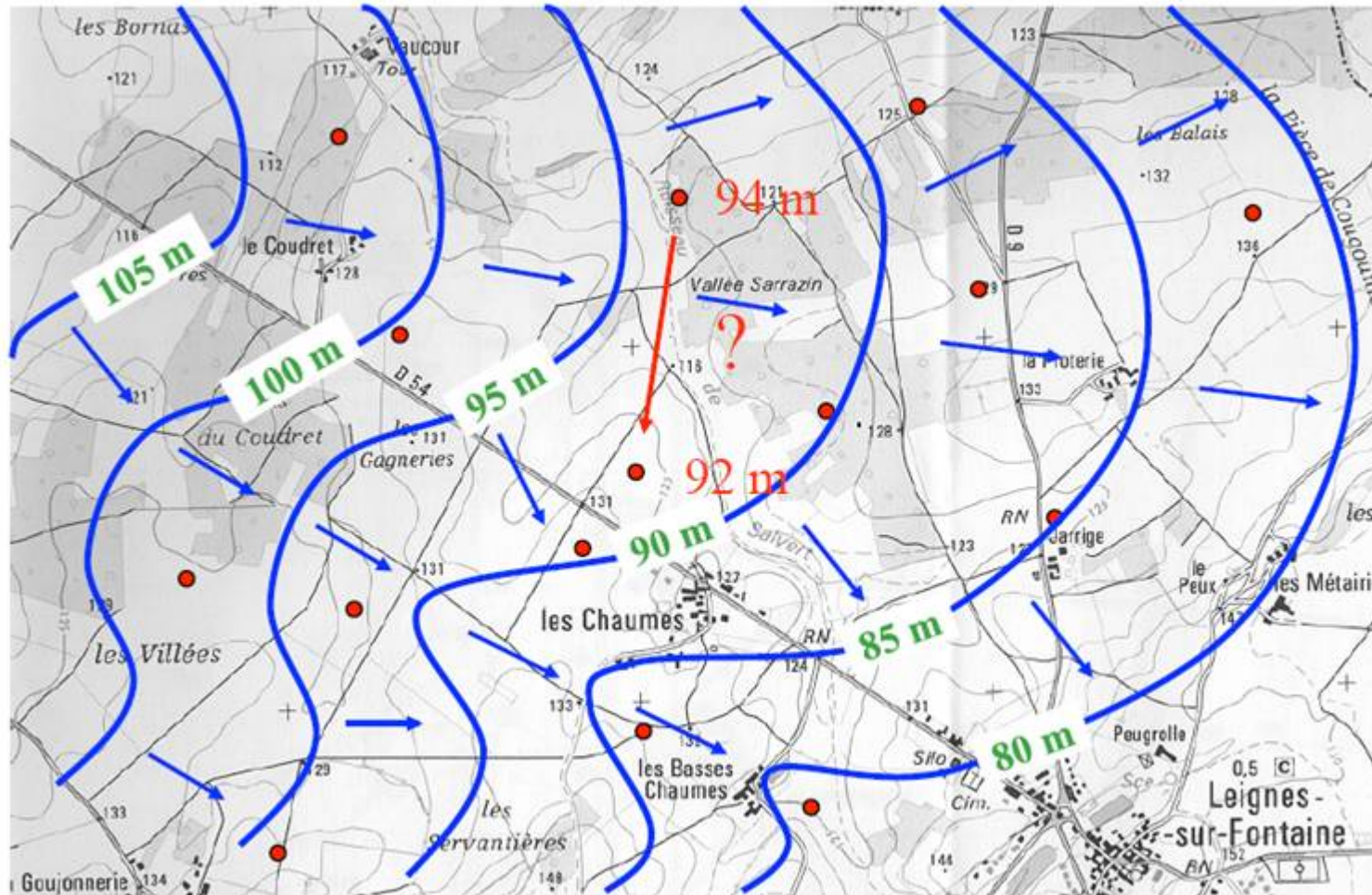
● Altezza piezometrica interpolata

Realizzazione di una carta piezometrica

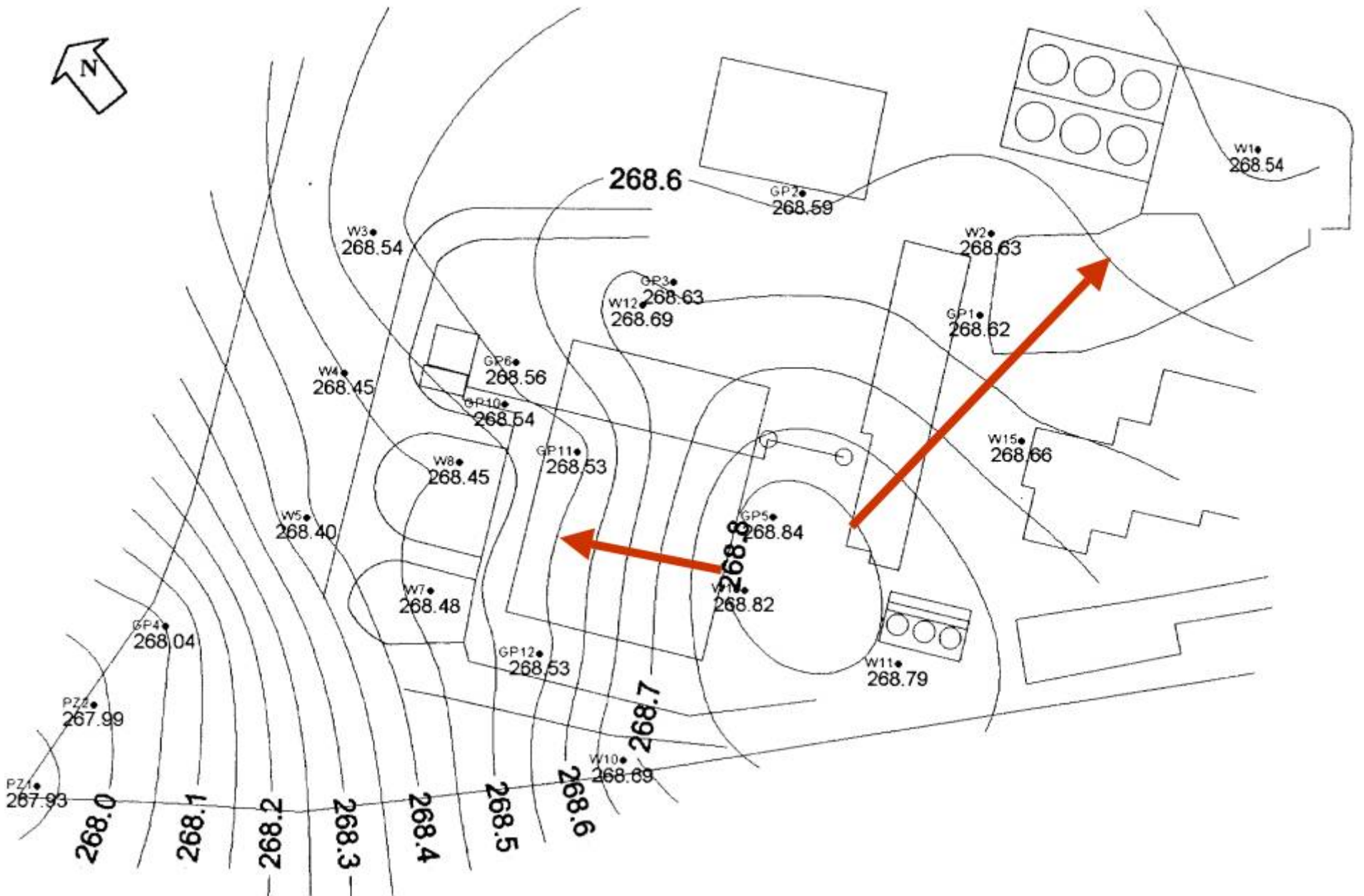


- Punti di osservazione: pozzi, piezometri
- ~ isopieze

Realizzazione di una carta piezometrica



- Punti di osservazione: pozzi, piezometri
- Direzione del flusso

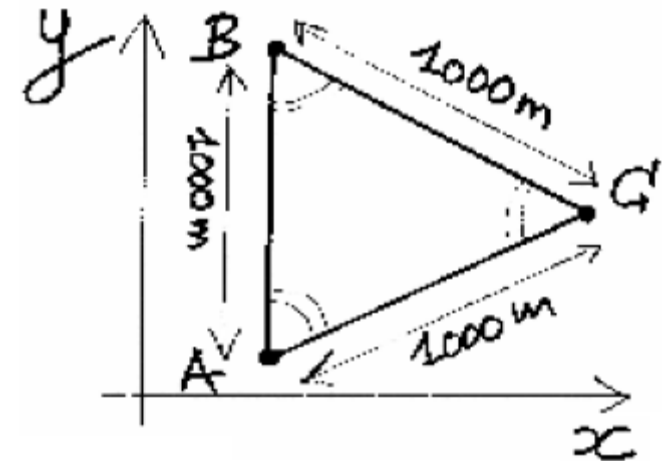


ESERCIZIO

Tre piezometri in una falda confinata sono disposti a triangolo equilatero a distanza di 1km ciascuno. Determinare:

- 1) La direzione del gradiente idraulico e il suo modulo
- 2) La portata specifica q (in m/g)
- 3) La velocità di un tracciante V (in m/g)

Schema dei tre piezometri

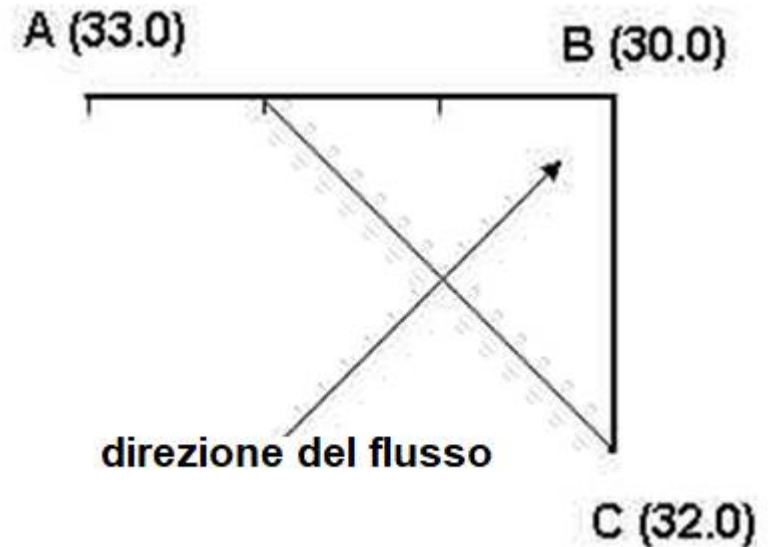
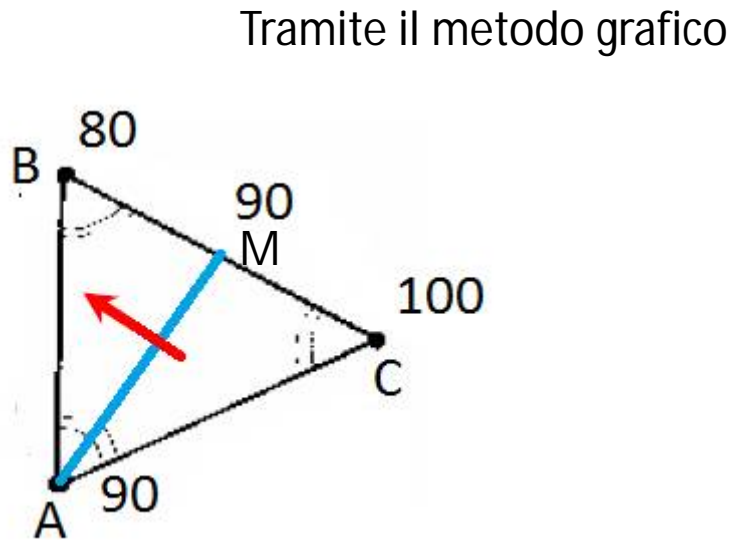


Dati piezometrici	A	B	C	Parametri idrogeologici
Altezza del piano campagna rispetto al livello medio mare	95m	110m	135m	Conducibilità: $K \approx 10^{-4} \text{ m/s}$
Profondità della falda osservata nei piezometri	5m	30m	35m	Porosità efficace $n_e = 20 \%$ Spessore della falda $b \approx 15 \text{ m}$

Per cominciare, occorre calcolare l'altezza piezometrica H

Dati piezometrici	A	B	C
Altezza del piano campagna rispetto al livello medio mare	95m	110m	135m
Profondità della falda osservata nei piezometri	5m	30m	35m
Altezza piezometrica $H = (1) - (2)$	90 m	80 m	100 m

1) La direzione del gradiente idraulico e il suo modulo



La linea AM che passa per il punto medio del segmento BC è l'isopieza $H=90m$. Il gradiente idraulico i è perpendicolare alle isopieze per cui $i \perp AM$. i è inoltre parallela a BC ed ha modulo:

$$|i| = \frac{100m - 80m}{1000m} = 0.020 \text{ m/m}$$

Il flusso è dunque parallelo a BC, da C verso B, e il gradiente idraulico è di 0.02 ossia 20m/km

2) La portata specifica q (in m/g)

Legge di Darcy: $q = K i = 10^{-4} \text{ m/s} \times 0.02 \text{ m/m} = 2 \times 10^{-6} \text{ m/s} \approx 0,2 \text{ m/g}$

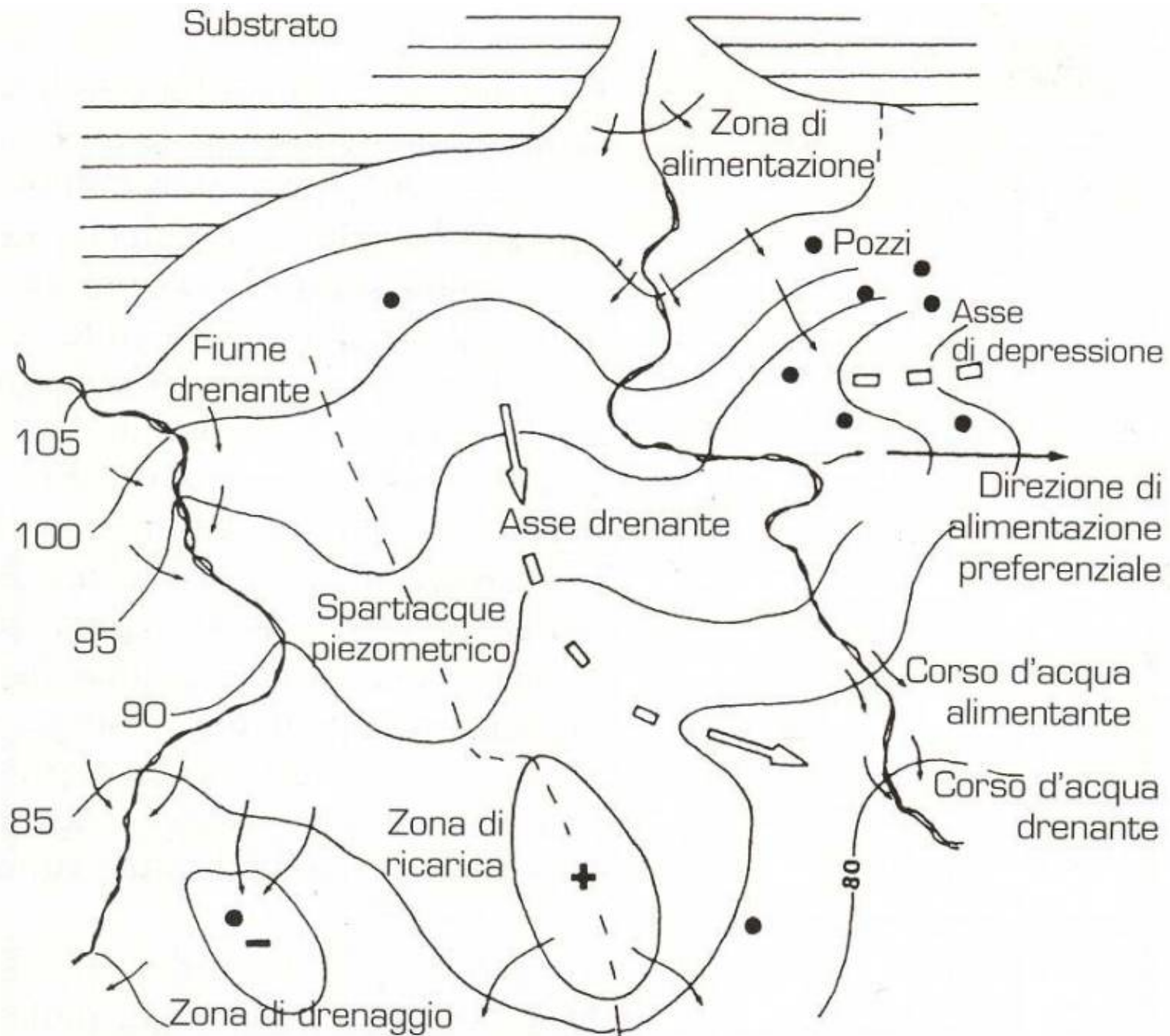
3) La velocità di un tracciante V (in m/g)

$V = q/n_e$ dove n_e è la porosità efficace

$V \approx 0.2/0.2 \text{ m/g} \approx 1 \text{ m/g}$

Le carte piezometriche permettono l'analisi della morfologia della superficie piezometrica attraverso la determinazione di:

- Diretrici e verso del deflusso sotterraneo (ricavabili dalla linea di flusso)
- Gradiente idraulico (calcolabile lungo una linea di flusso che congiunge due successive isopieze, come differenza di carico idraulico, divisa per la lunghezza della linea di flusso fra queste due quote);
- assi drenanti, rappresentati dagli assi delle depressioni della superficie piezometrica; essi sono determinati da particolari condizioni naturali, che facilitano la convergenza delle acque verso questi settori, in genere caratterizzati da maggiore trasmissività;
- depressioni piezometriche artificiali, prodotte dai prelievi di batterie di pozzi o da singole captazioni
- spartiacque piezometrici, individuati dal divergere delle linee di flusso;
- corsi d'acqua drenanti o alimentanti la falda
- depressioni o innalzamenti della superficie piezometrica dovuti a intercomunicazioni con altre falde o al passaggio di acque verso il substrato o provenienti da esso.
- Portate: $Q = kAi$



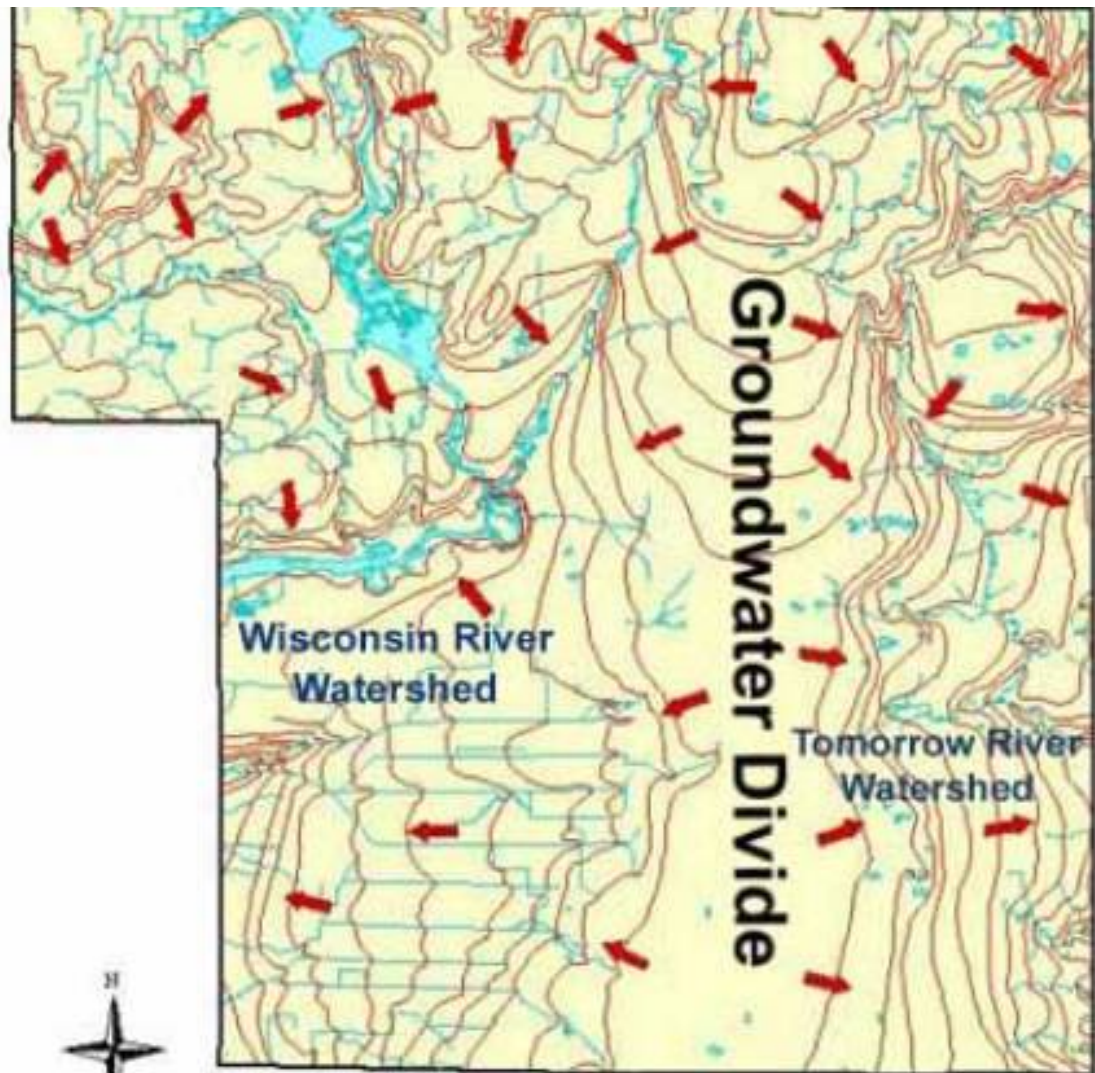
Fattori determinanti del livello piezometrico nel tempo

FATTORI NATURALI





- oscillazioni della portata e del livello della fonte di alimentazione della falda;
- precipitazioni;
- temperature dell'aria e della sua umidità relativa e assoluta;
- pressione atmosferica;
- variazioni di livello del recapito della falda.

FATTORI ANTROPICI

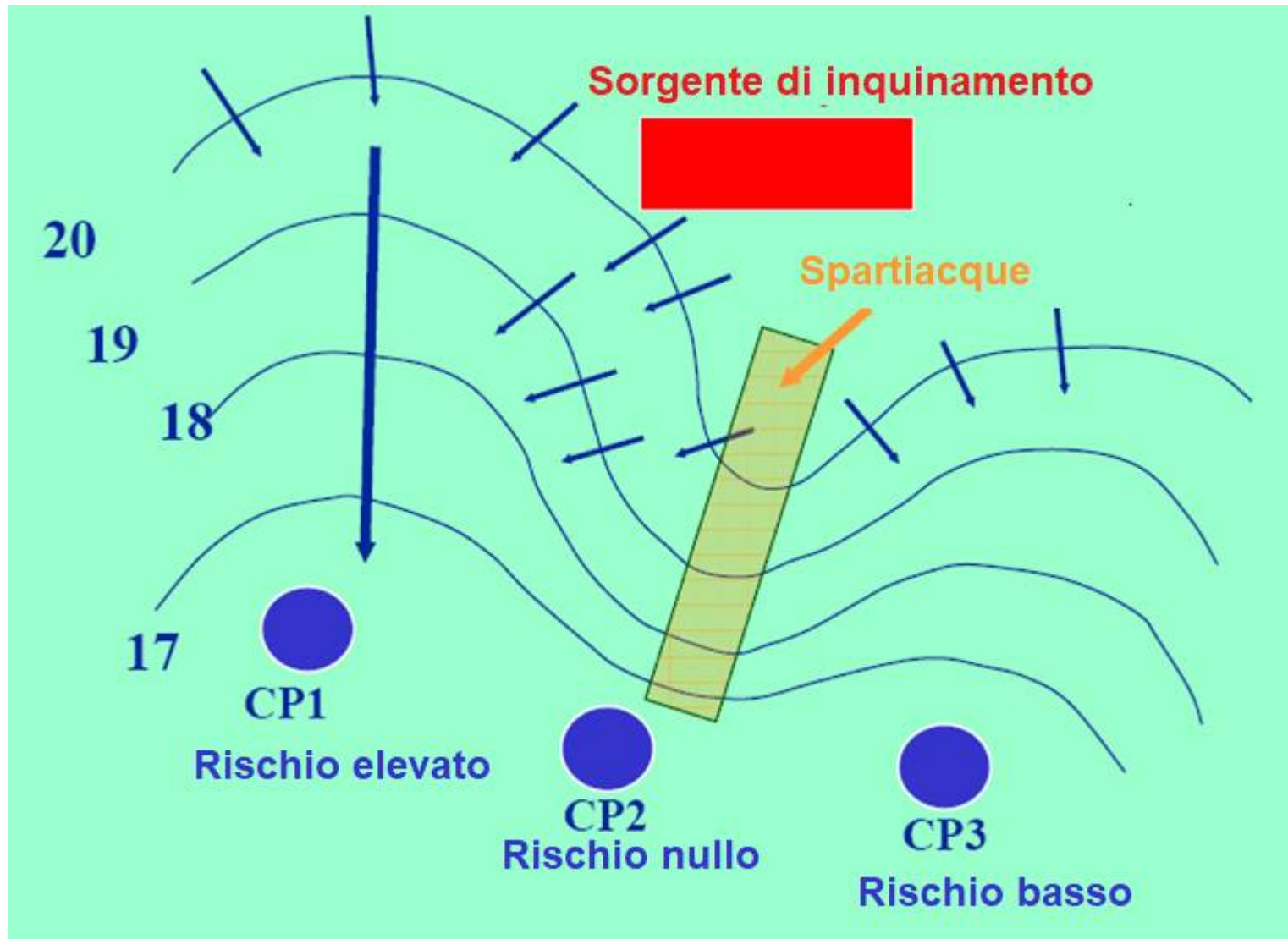
- prelievi da pozzi;
- locali aumenti della pressione sul terreno per sovraccarichi temporanei (per esempio per il passaggio di automezzi pesanti)
- irrigazioni o bonifiche agenti per un arco di tempo relativamente limitato, per esempio stagionale;
- forme di drenaggio o di convogliamento delle acque agenti per periodi limitati (per esempio durante forti piogge).



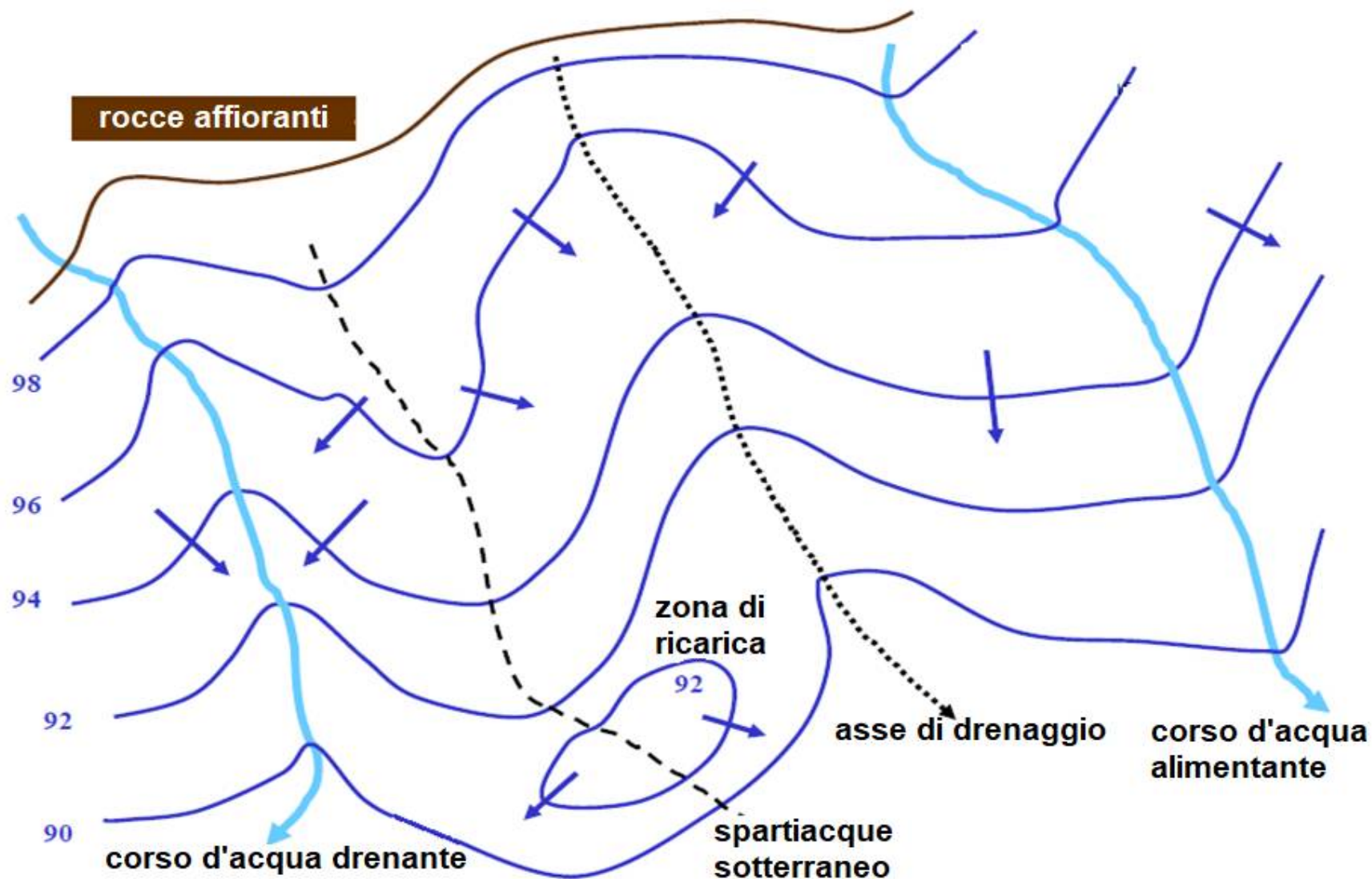
0 2 4 6 8 Miles

-  Flow Direction
-  Water Table Contours
-  Streams/Rivers
-  Lakes/Reservoirs

La costruzione delle isopieze può essere d'aiuto per identificare il rischio associato alle sorgenti di inquinamento

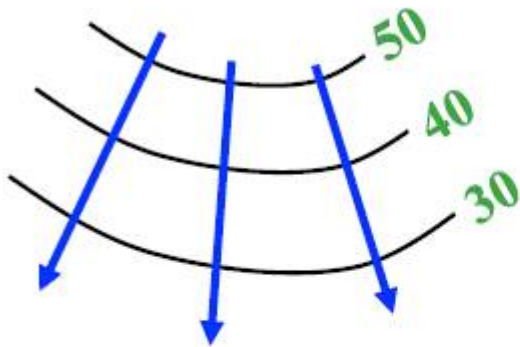


- Attraverso le isopieze è possibile determinare:
- ❖ La direzione di deflusso della falda
 - ❖ Gli assi di drenaggio sotterranei
 - ❖ Gli spartiacque sotterranei
 - ❖ Le zone di alimentazione della falda e le sorgenti

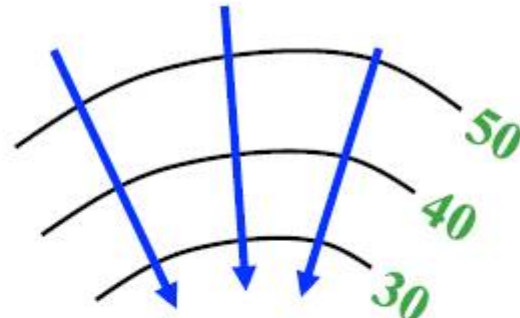


Diverse configurazioni di deflusso

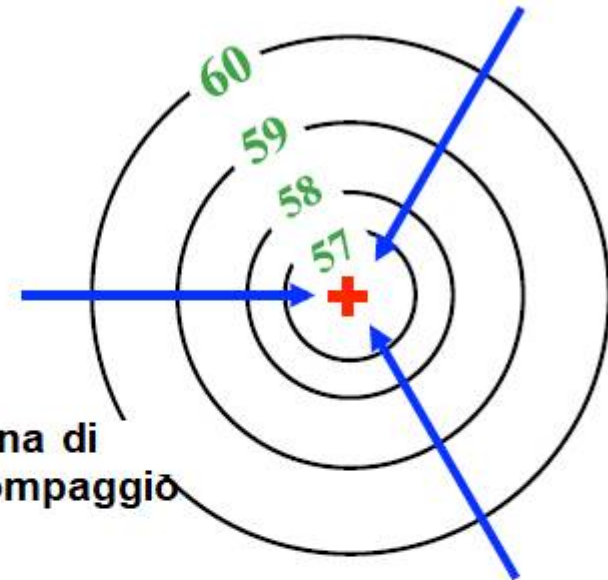
Zona divergente



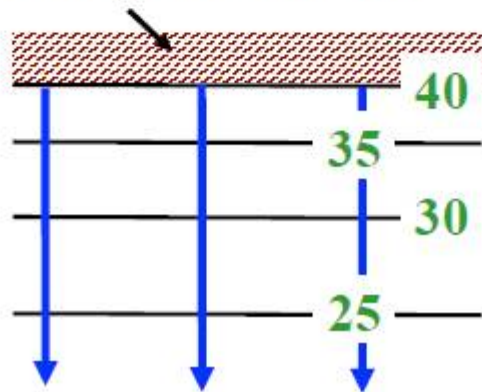
Zona convergente



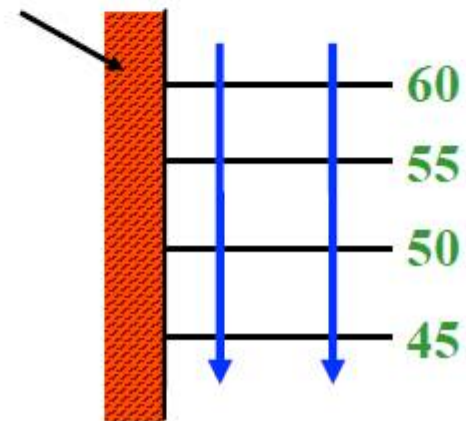
Zona di pompaggio



Zona di alimentazione



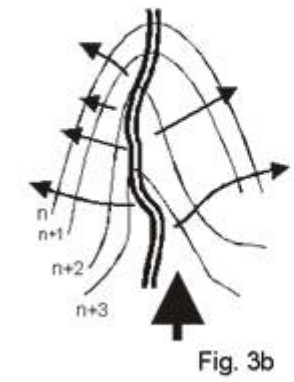
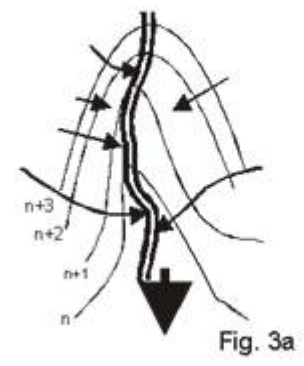
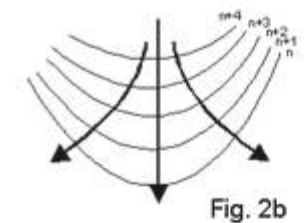
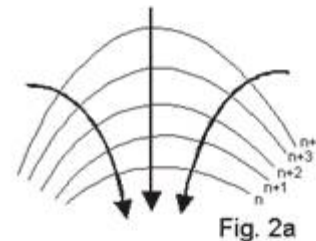
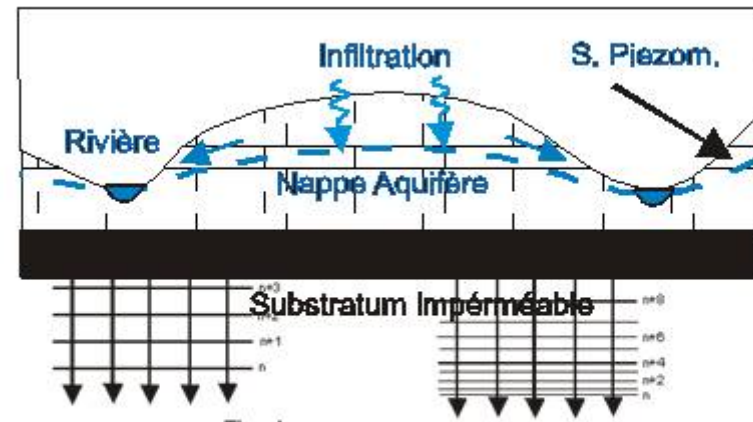
Barriera impermeabile



Gli assi di flusso

Fig. 2a : Falda radiale a filetti convergenti

Fig. 2b : Falda radiale a filetti divergenti



Tipi di falde

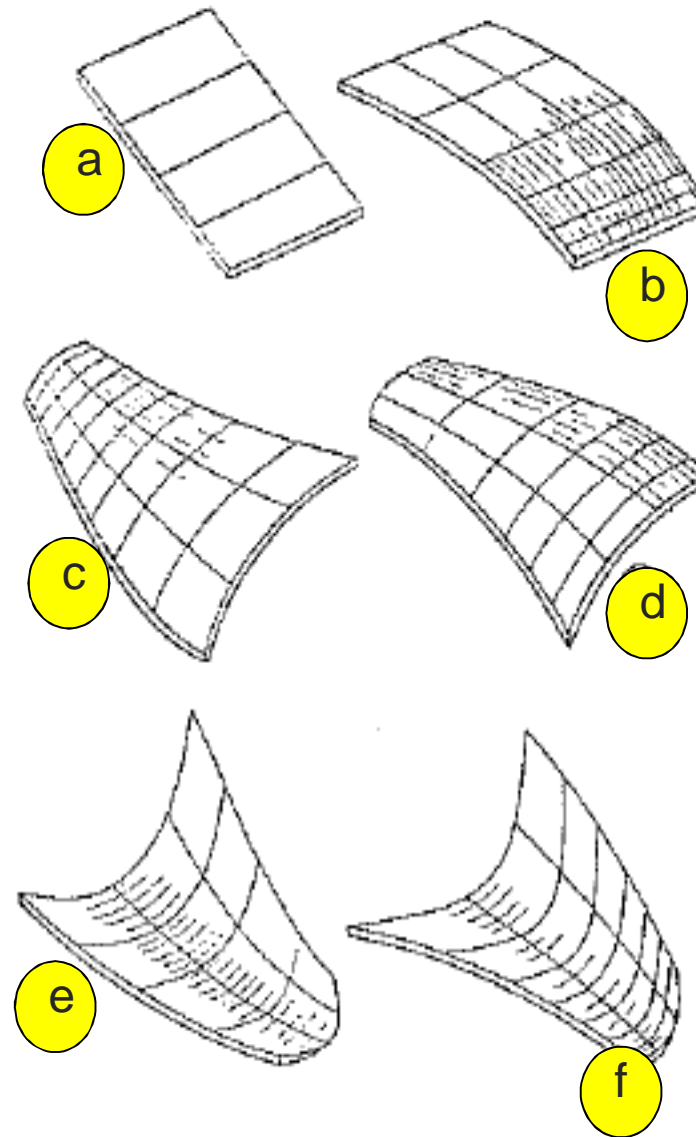
a, falda piatta

b, falda cilindrica

c, falda radiale

d, falda radiale a filetti divergenti

e e f, falda radiale a filetti convergenti

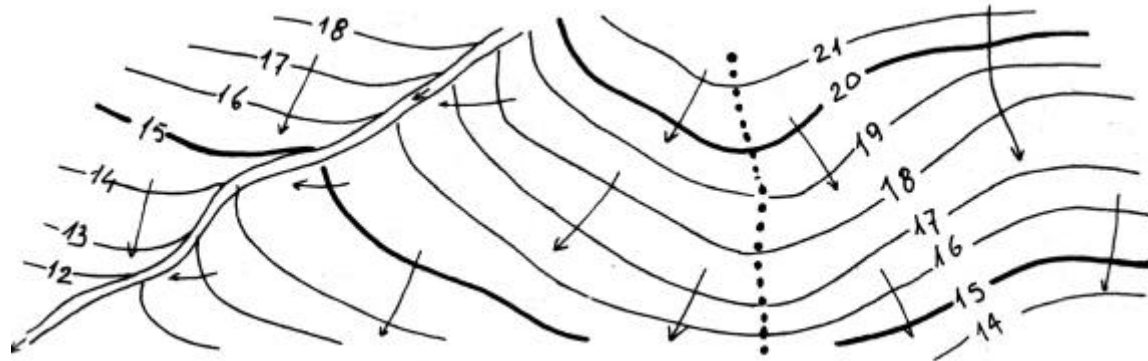


Interpretazione delle isopieze

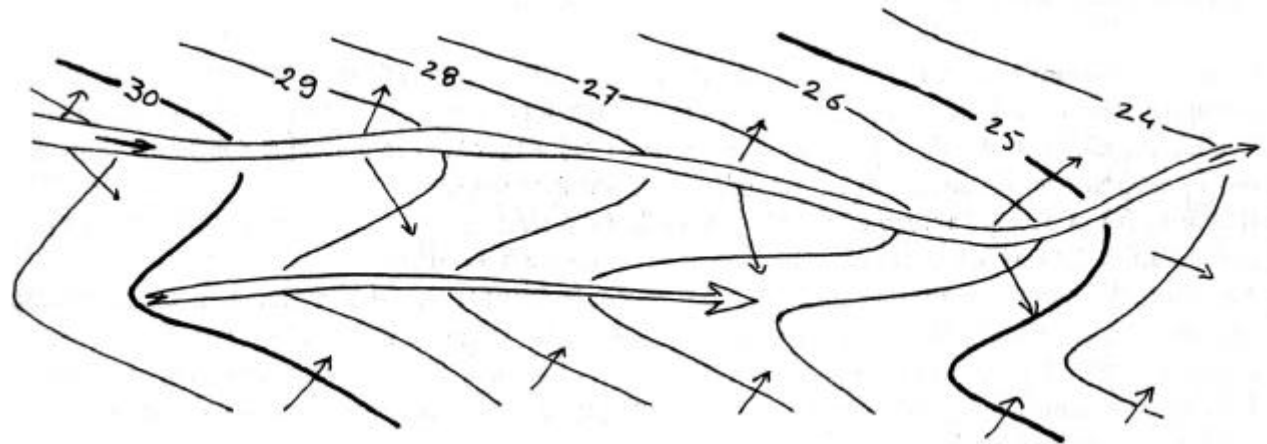
Tabella 8.5 Interpretazione di situazioni diverse alla luce della Legge di Darcy.

Parametro	Variazione	Acclività del profilo piezometrico	Interasse tra le ispiezometriche	Applicazione legge di Darcy
Conducibilità idraulica (K)	Cresce Decresce	Diminuisce Aumenta	Aumenta Diminuisce	$K = \frac{Q}{A} \frac{\partial L}{\partial h}$
Portata unitaria (Q)	Cresce Decresce	Aumenta Diminuisce	Diminuisce Aumenta	$Q = KA \frac{\partial h}{\partial L}$
Sezione di flusso (A)	Cresce Decresce	Diminuisce Aumenta	Aumenta Diminuisce	$A = \frac{Q}{K} \frac{\partial L}{\partial h}$

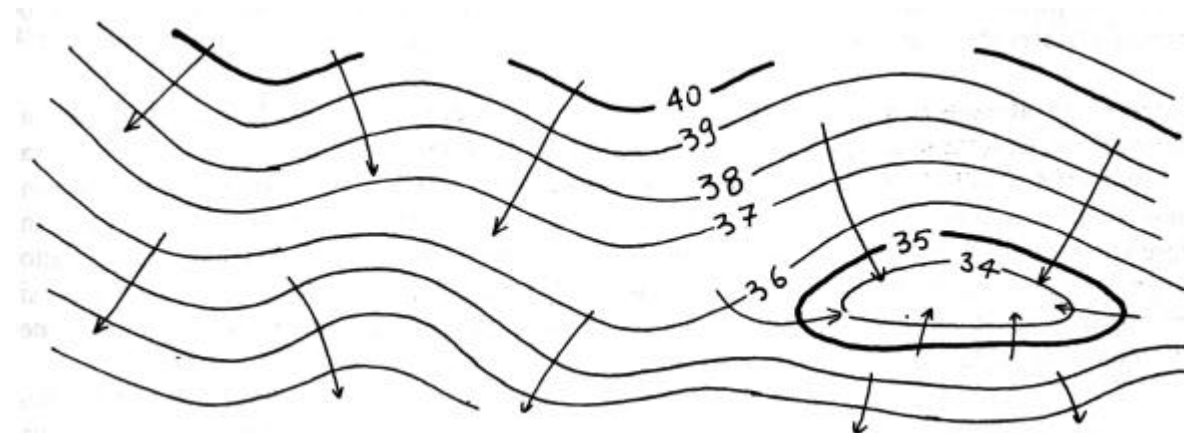
Spartiacque (linea punteggiata) e assi di drenaggio in corrispondenza di un fiume



Assi di drenaggio paralleli a un corso d'acqua che alimenta la falda



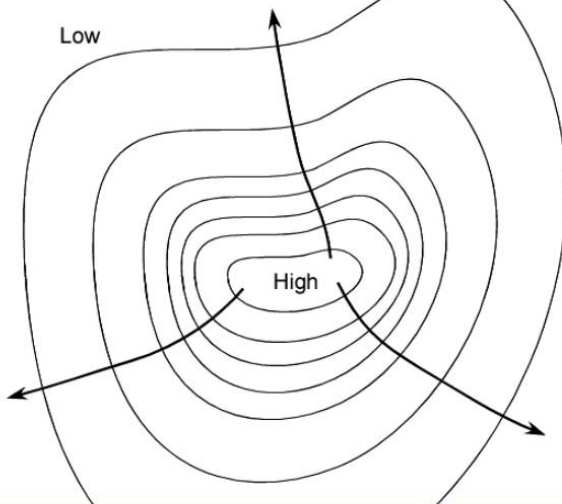
Isopieze chiuse in corrispondenza di una barriera di pozzi



Watertable contours

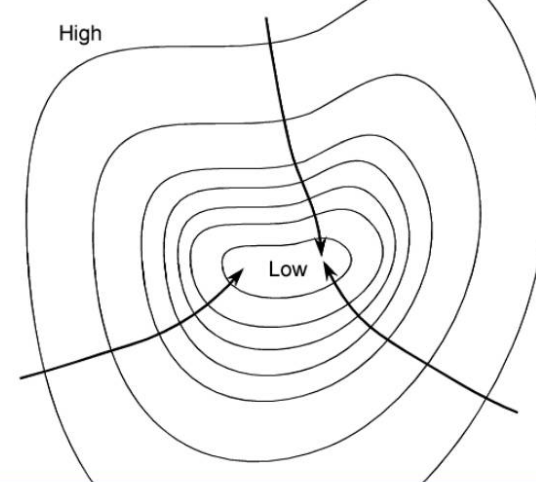
2D Flow: The elevation of the watertable can provide first-order information on subsurface conditions.

Watertable contours



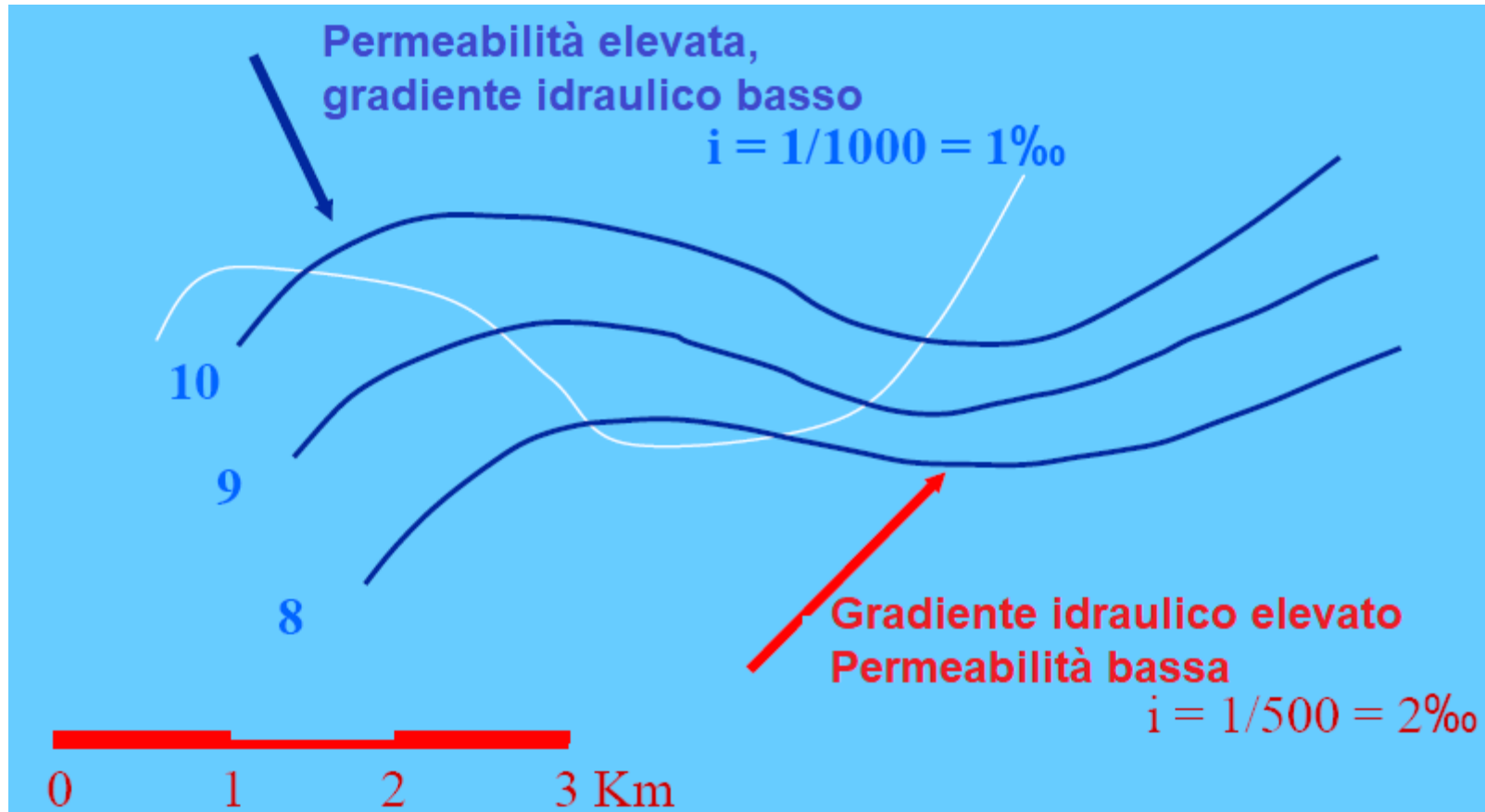
Flow from high elevations to low elevations.
Where's the **recharge** area?

Watertable contours

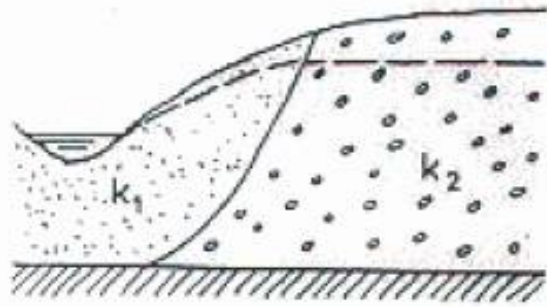


Flow from high elevations to low elevations.
Where's the **discharge** area?

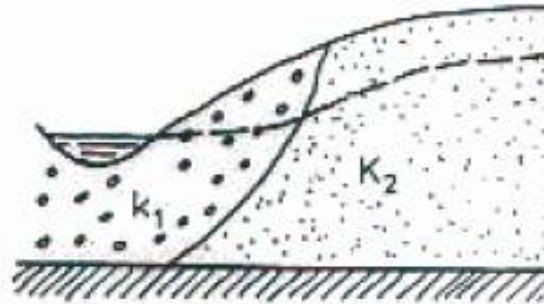
Il gradiente idraulico è funzione della permeabilità (o conducibilità idraulica)



Il gradiente idraulico è inversamente proporzionale alla conducibilità idraulica



a)



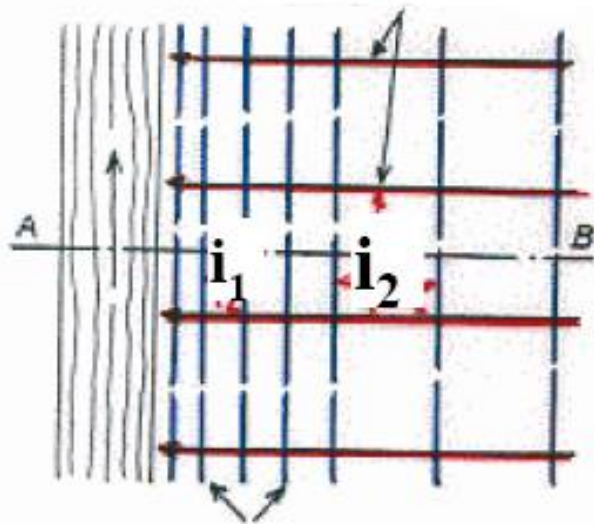
b)

Se A è costante:

$$Q = AK_1 i_1 = AK_2 i_2$$

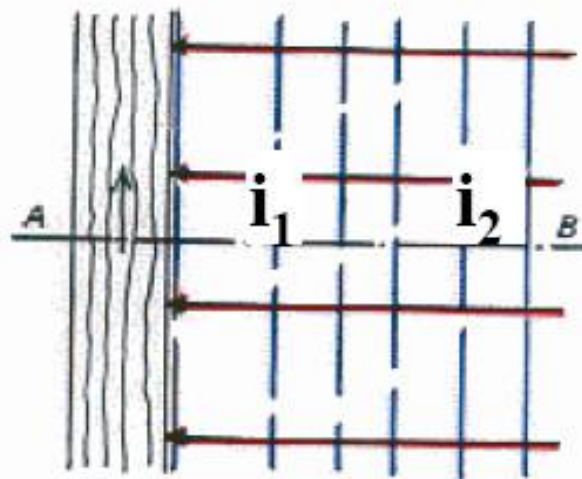
$$K_1 < K_2 \Leftrightarrow i_1 > i_2$$

$$K_1 > K_2 \Leftrightarrow i_1 < i_2$$



$$i_1 > i_2$$

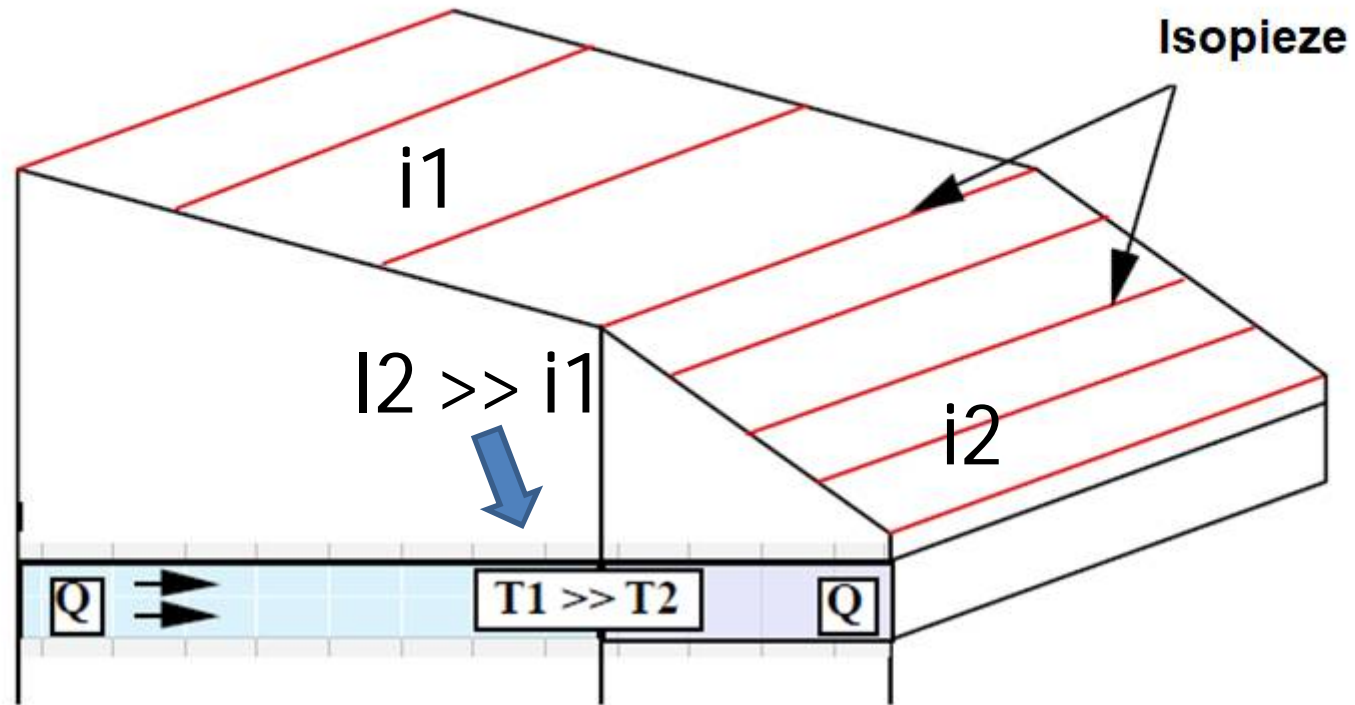
$$K_1 < K_2$$



$$i_1 < i_2$$

$$K_1 > K_2$$

Effetti della variazioni di trasmissività



Refraction of flow lines (and equipotentials) across abrupt boundaries

By continuity, the flow between two adjacent streamlines in the upper unit (Q_1) must equal the flow between two adjacent streamlines in the lower unit (Q_2)

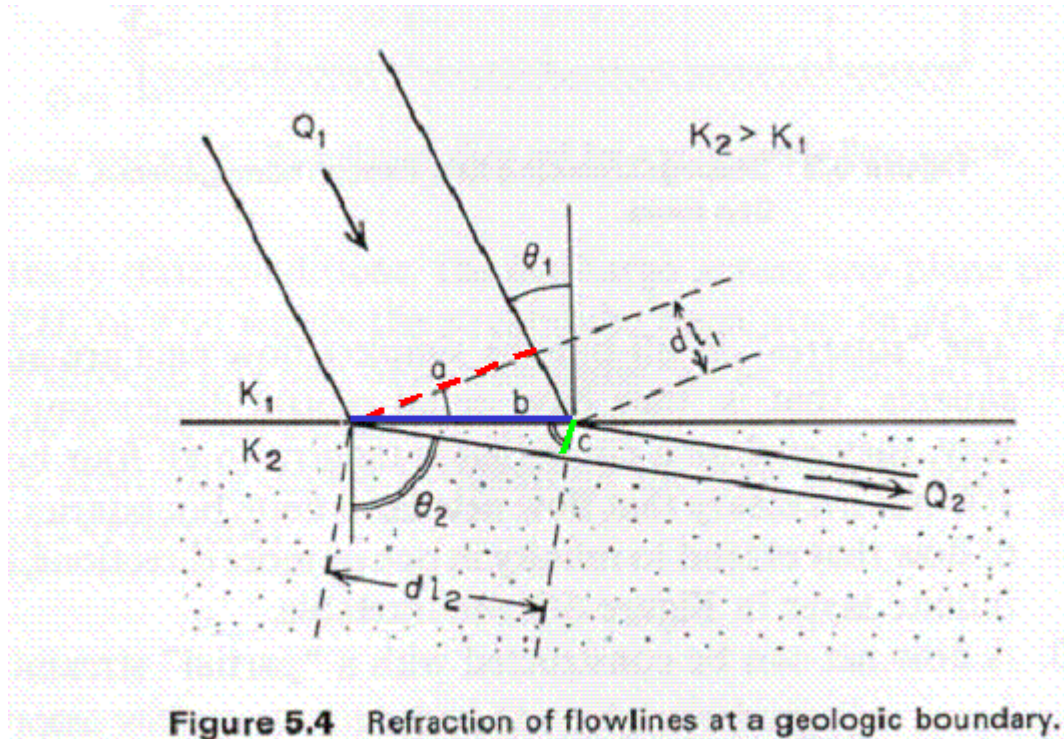


Figure 5.4 Refraction of flowlines at a geologic boundary.

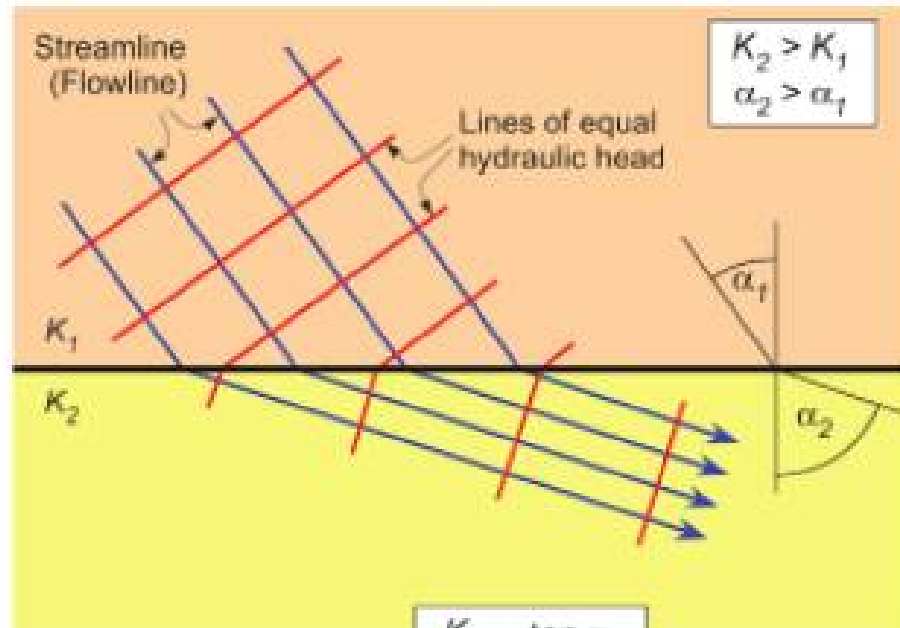
By Darcy's law, $Q_1 = -K_1 a w (\Delta h)/dl_1$ and $Q_2 = -K_2 c w (\Delta h)/dl_2$ where w is the width of the system in the direction perpendicular to the section shown and Δh is the head change from one equipotential (dashed line) to the next. Note that aw is the area through which flow occurs in the upper unit, cw is the area through which flow occurs in the lower unit. Setting these two flows equal to each other and eliminating common terms, we get:

$$K_1 a/dl_1 = K_2 c/dl_2$$

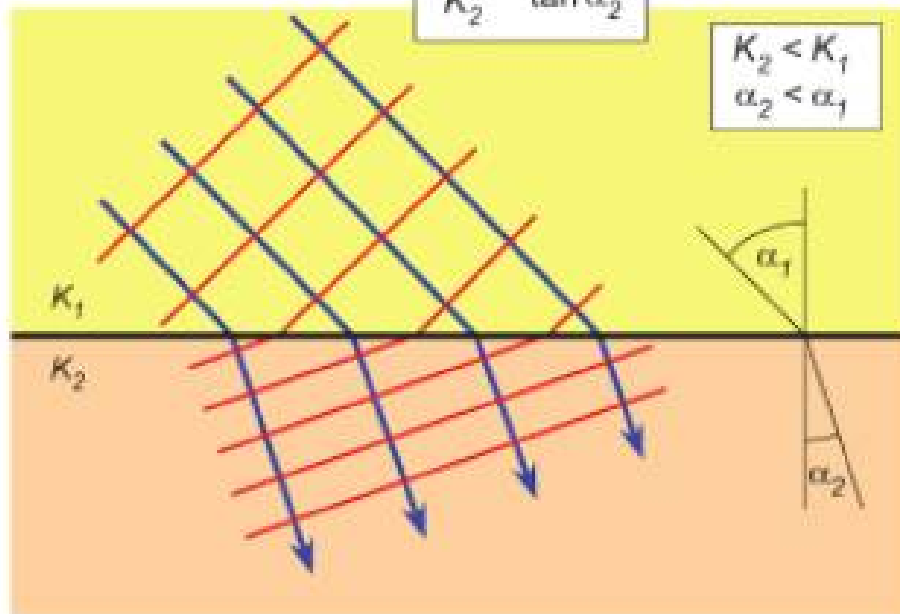
Note that $\tan \theta_1 = dl_1/a$ and $\tan \theta_2 = dl_2/c$

$$\text{So } K_1/\tan \theta_1 = K_2/\tan \theta_2$$

$$\text{And } K_1/K_2 = \tan \theta_1/\tan \theta_2$$



$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2}$$

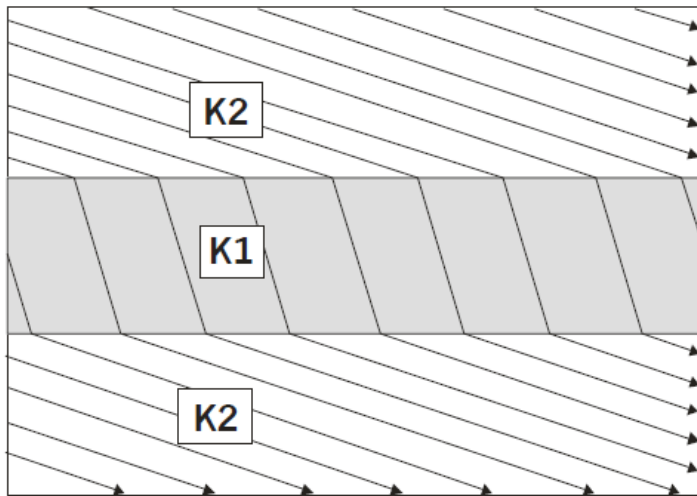


Le variazioni di K influenzano il reticolo di flusso

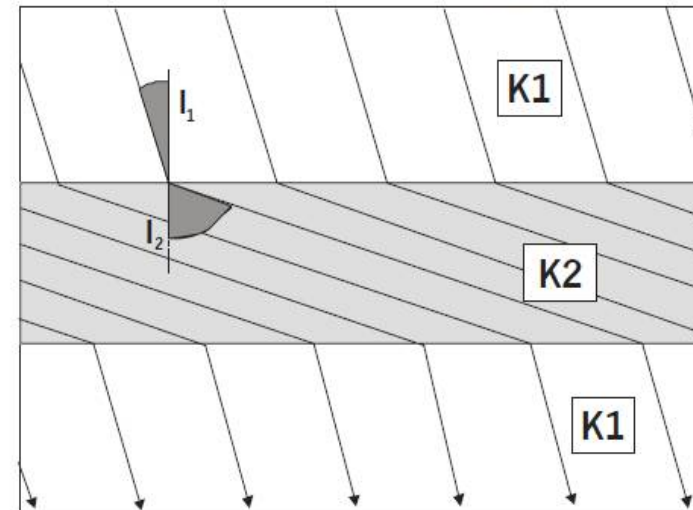
Le linee di flusso possono attraversare limiti geologici a diversa permeabilità; al passaggio è valida la legge di rifrazione (rifrazione delle linee di flusso)

Deviazione simile a quella dei raggi luminosi che attraversano due superfici a differente densità

$K_2/K_1=10$; un livello di materiale fino (K_1) è situato tra due livelli più grossolani (K_2).



$K_2/K_1=10$; un livello grossolano (K_2) è situato tra due livelli più fini (K_1).

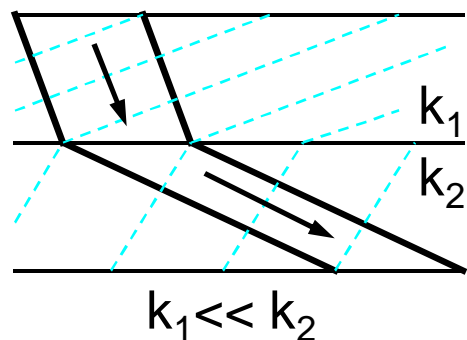
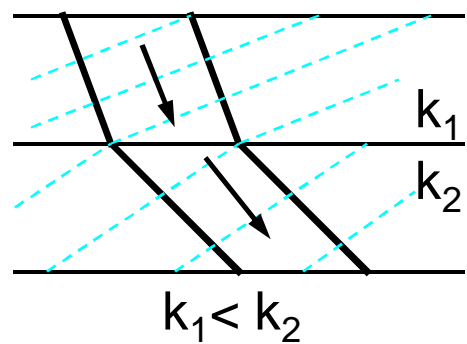
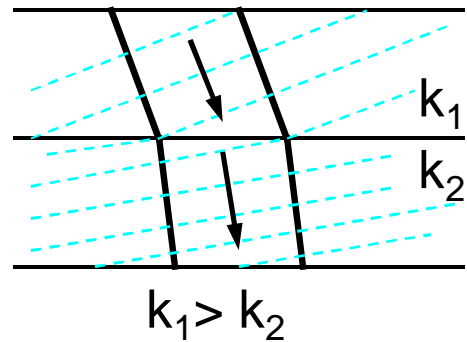


Le linee di flusso tendono a restare negli strati a maggiore permeabilità

Basta un contrasto di due ordini di grandezza per deviare quasi a 90° le linee di flusso. La deviazione del flusso si ricava in base ai valori di K e degli angoli di incidenza I_1 e I_2 :

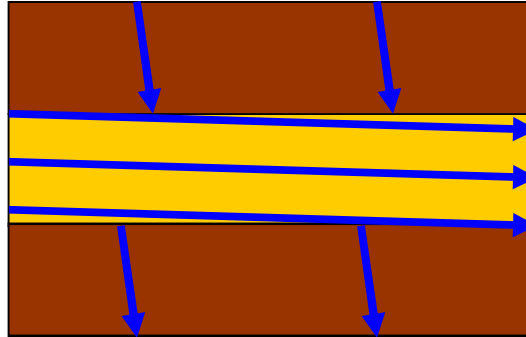
$$K_1/K_2 = \tan I_1 / \tan I_2$$

Flow Line Refraction



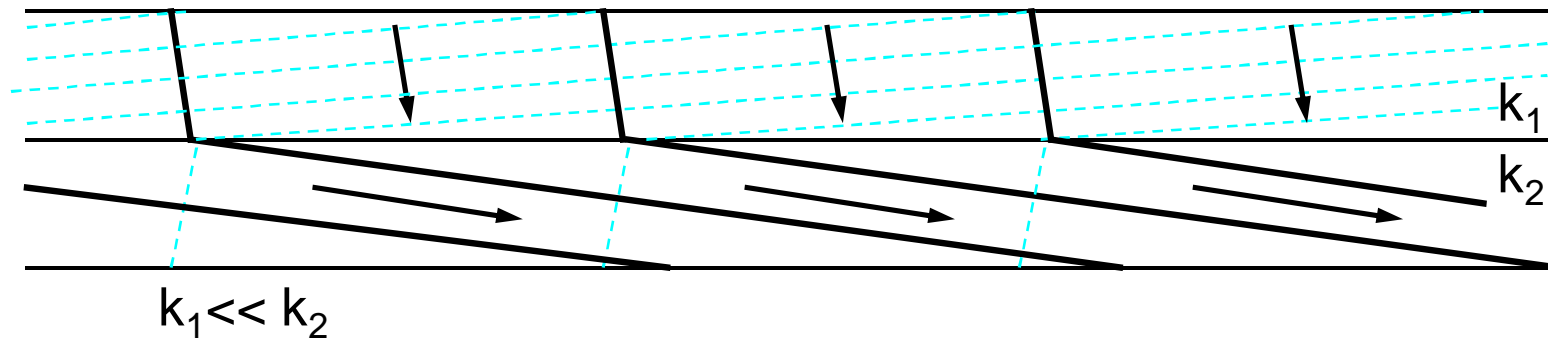
- If k decreases with depth, equipotentials crowd together and flow becomes more vertical
- If k increases with depth, equipotentials spread apart and flow becomes more horizontal
- If k increases significantly with depth, equipotentials become more widely spaced and flow becomes sub-horizontal

Path of Least Resistance



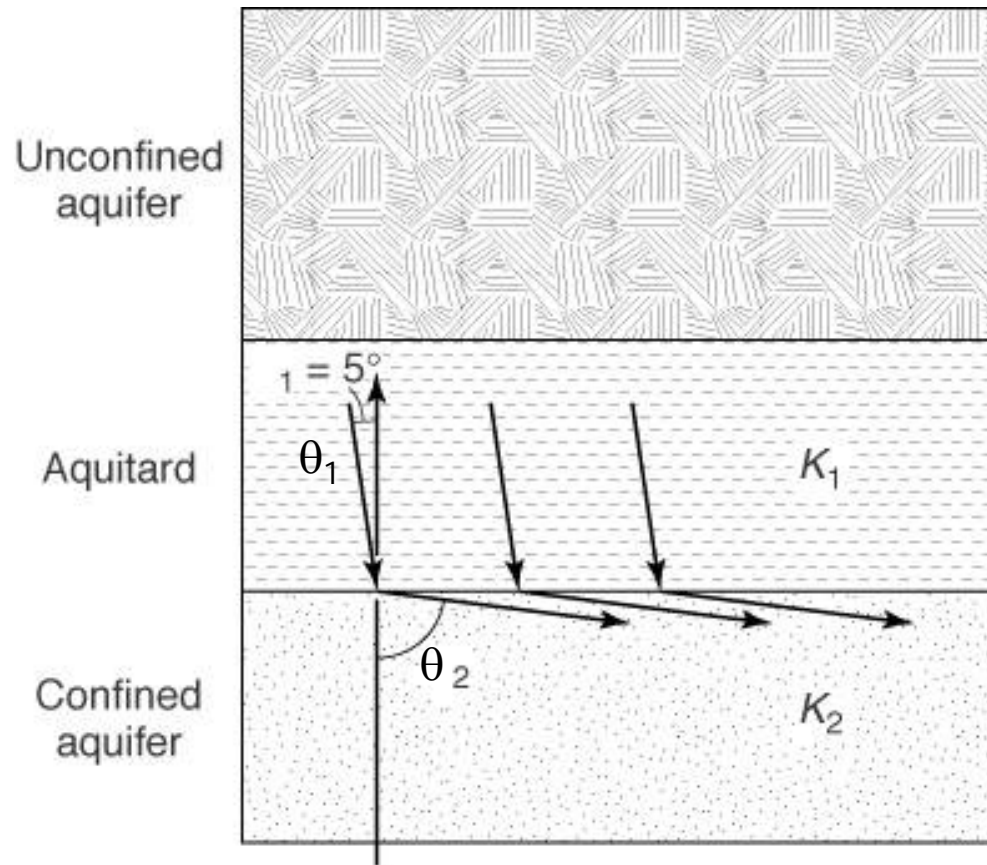
- Groundwater flows obliquely across heterogeneous systems
- Flow lines 'prefer' to use high K formations as conduits; flow lines 'prefer' to cut across low K units by the shortest route
- In flow systems with aquifer/aquitard conductivity contrasts of 2 orders of magnitude or more
 - ($K_1 > 100K_2$)
 - Flow lines tend to become 'parallel' to high K units, and 'perpendicular' to low K units

Aquitard and Aquifer



- For regional flow systems where k_2 / k_1 or $k_{\text{aquifer}} / k_{\text{aquitard}}$ tends to be 100 or greater
- Flows in aquitards (k_1) are subvertical
- Flows in aquifers (k_2) are subhorizontal
- The spacing of flow lines is a measure of flux so that the aquifer is acting as a collector, concentrating flow.

Consider a leaky confined aquifer with 4.5 m/d horizontal hydraulic conductivity is overlain by an aquitard with 0.052 m/d vertical hydraulic conductivity. If the flow in the aquitard is in the downward direction and makes an angle of 5° with the vertical, determine θ_2 .

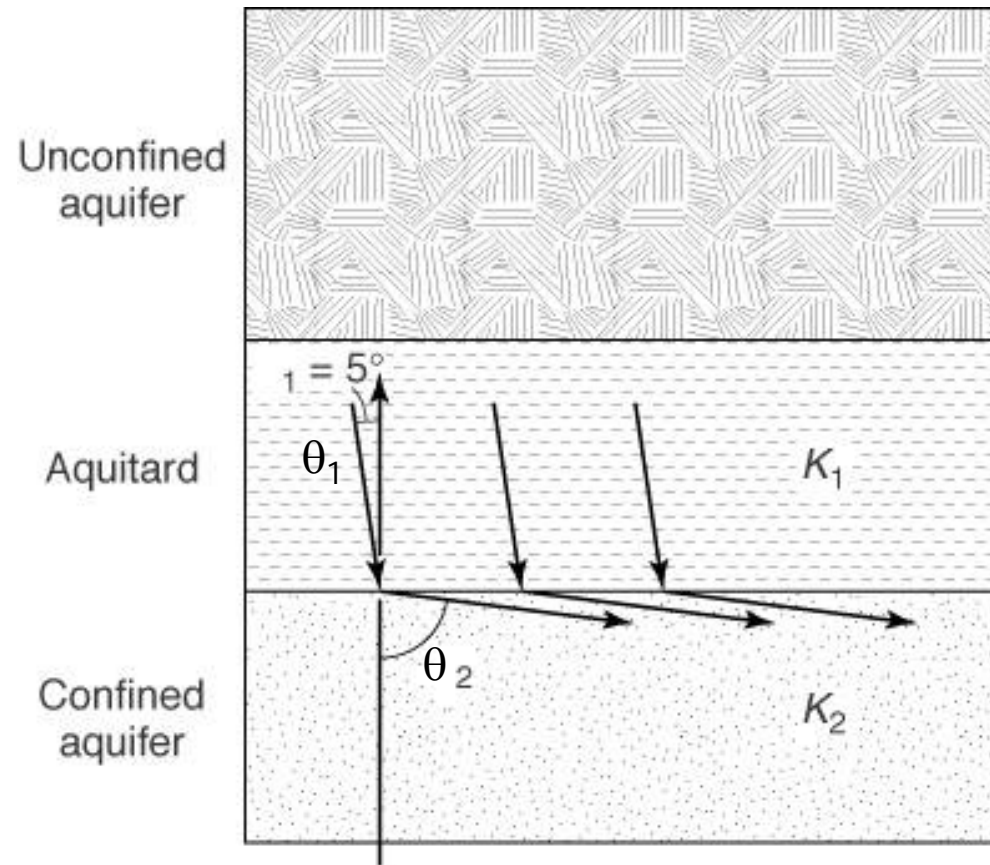


Consider a leaky confined aquifer with 4.5 m/d horizontal hydraulic conductivity is overlain by an aquitard with 0.052 m/d vertical hydraulic conductivity. If the flow in the aquitard is in the downward direction and makes an angle of 5° with the vertical, determine θ_2 .

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$$

$$\frac{0.052 \text{ m/d}}{4.5 \text{ m/d}} = \frac{\tan(5^\circ)}{\tan\theta_2}$$

$$\theta_2 = 82.5^\circ$$



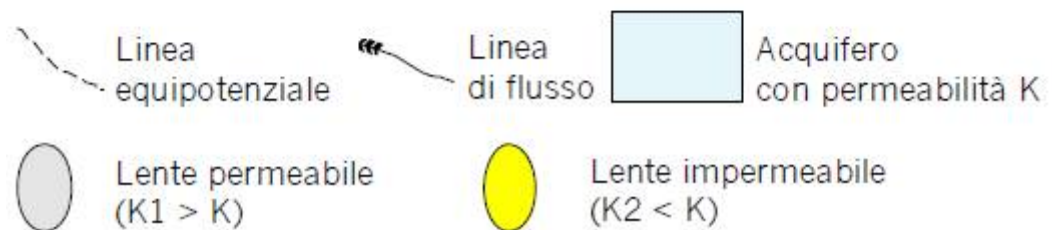
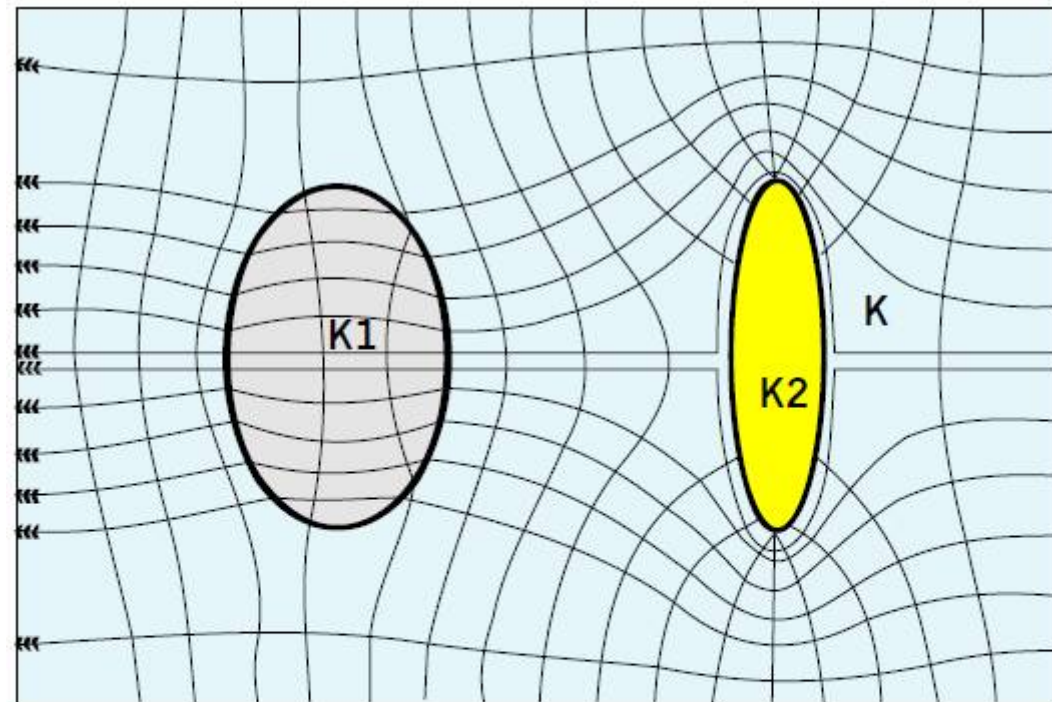
Le variazioni di K influenzano il reticolo di flusso

Nella figura è rappresentato uno schema di flusso bidimensionale da destra a sinistra.

Nell'acquifero vi sono due intercalazioni a diversa permeabilità: in giallo la lente più impermeabile ed in grigio quella più permeabile.

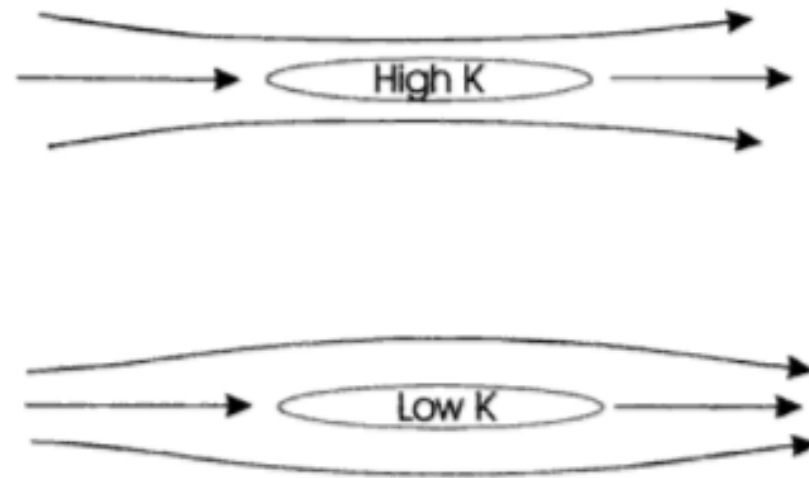
Le linee di flusso tendono ad entrare nel mezzo più permeabile con un moto laminare e scarsa tendenza al mescolamento.

L'entità della deviazione è regolata dalla diversa permeabilità dei mezzi.

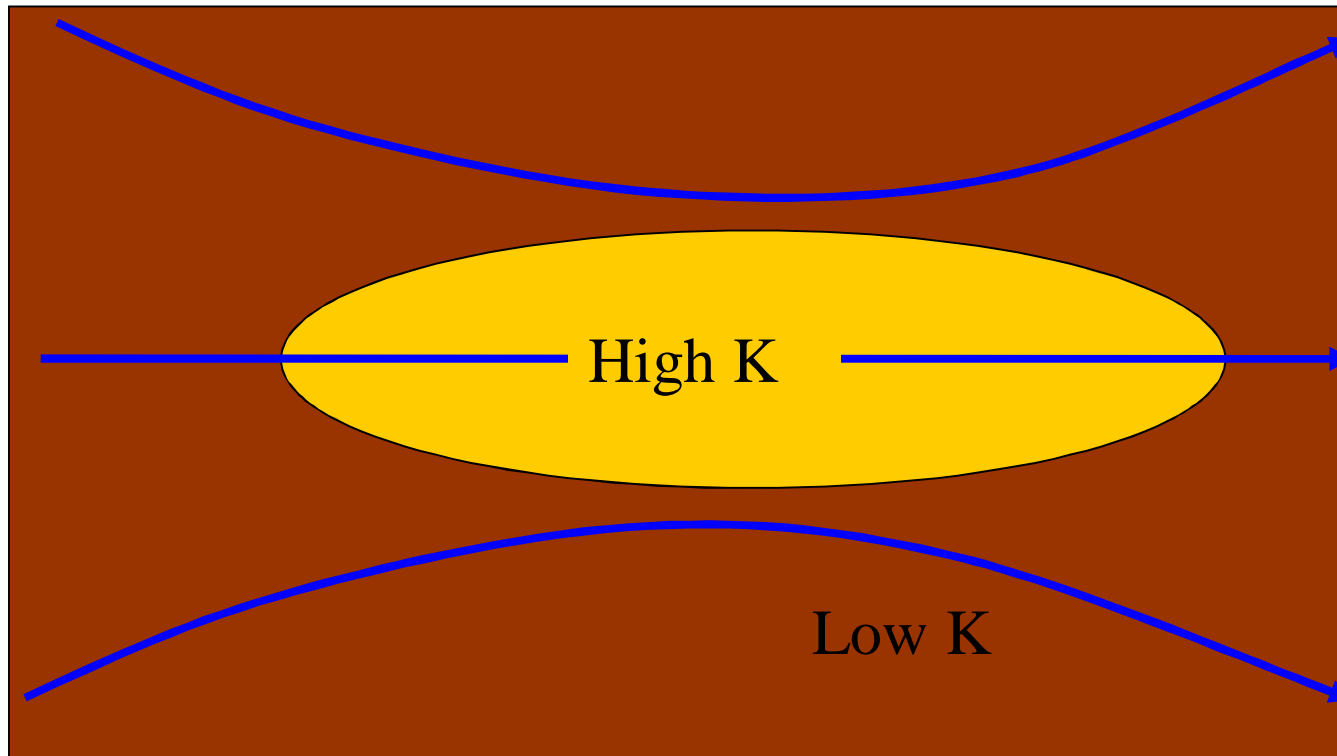


Groundwater flowing through a layer of rock or sediment may encounter a lense of material having a significantly different hydraulic conductivity than the bulk of the aquifer. In general, flow paths refract to show an affinity for material having a higher hydraulic conductivity. Hence, groundwater that is flowing through a sand formation will diverge around a clay lense. Conversely, groundwater moving through a sandy clay aquifer will refract toward a gravel body.

This implies that detection monitoring wells should be screened in the more permeable lenses within a complex geologic setting to increase the chance of intercepting contamination.

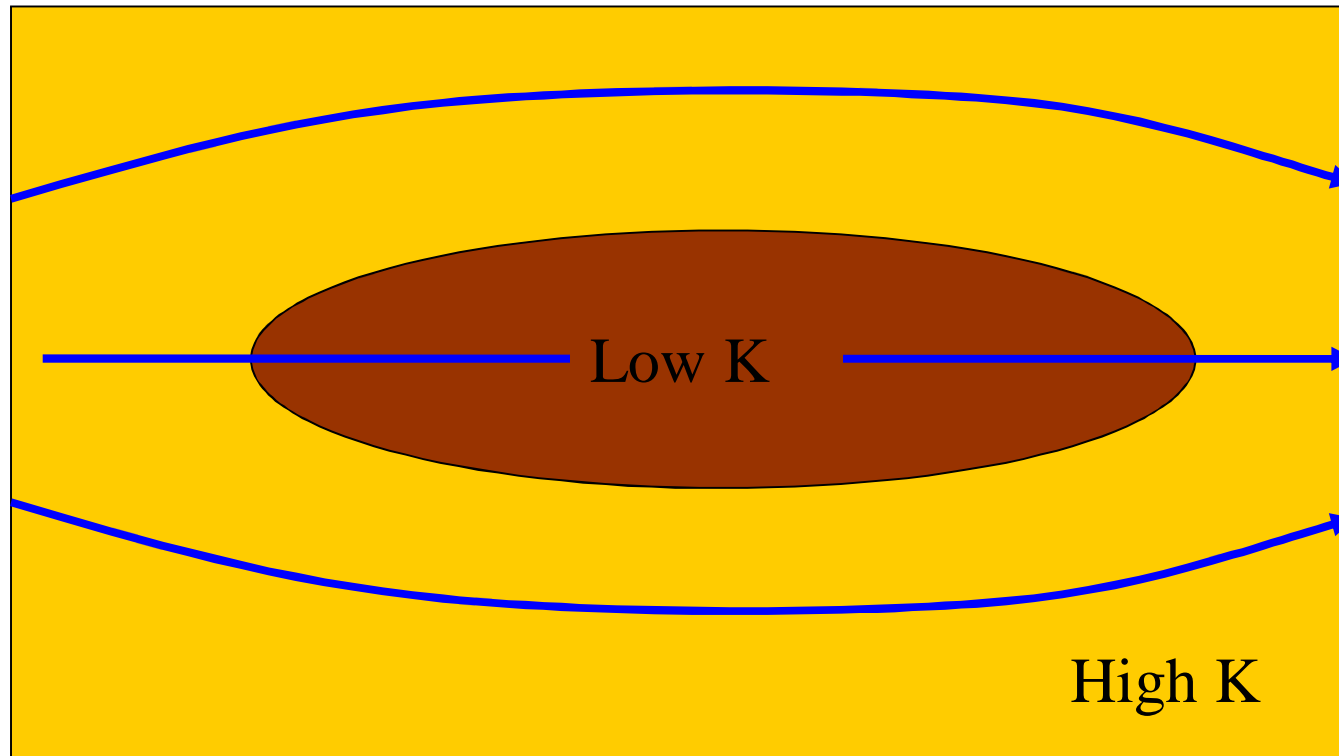


Effect of Lenses – High K



FLOW LINE REFRACTION NEAR HIGH K LENS

Effects of Lenses – Low K

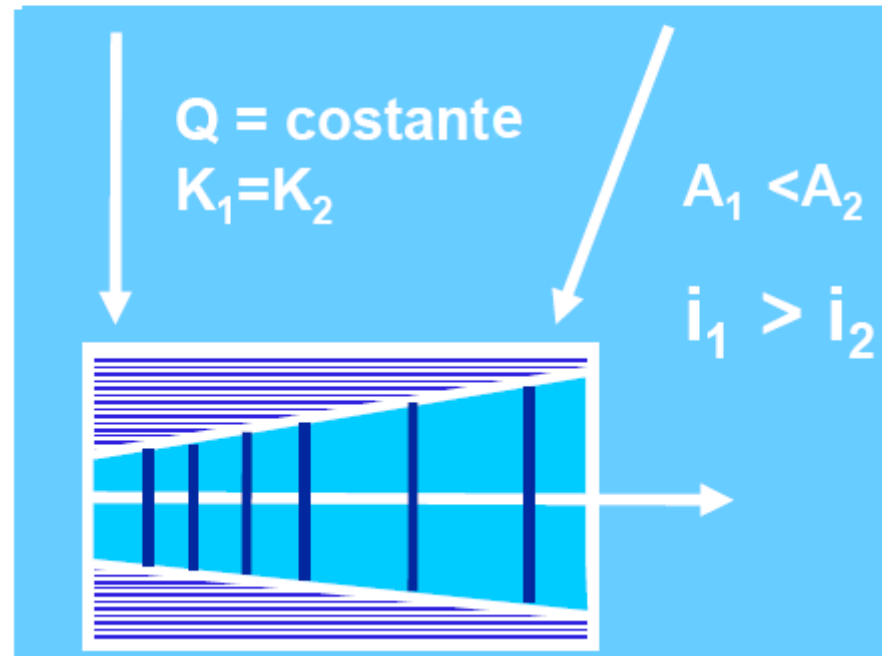


FLOW LINE REFRACTION NEAR LOW K LENS

Il gradiente idraulico è inversamente proporzionale alla sezione

$$i_1 = \frac{Q}{K_1 A_1} \quad i_2 = \frac{Q}{K_2 A_2}$$

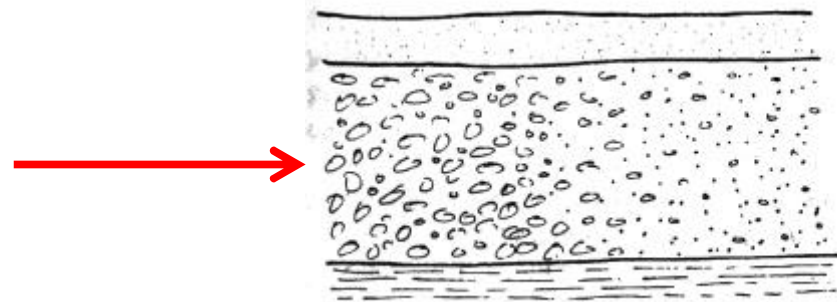
Una variazione di distanza delle equipotenziali (ossia una variazione di gradiente) può essere causata da una variazione di sezione a parità di permeabilità



Deduzioni sulla struttura geologica di un acquifero

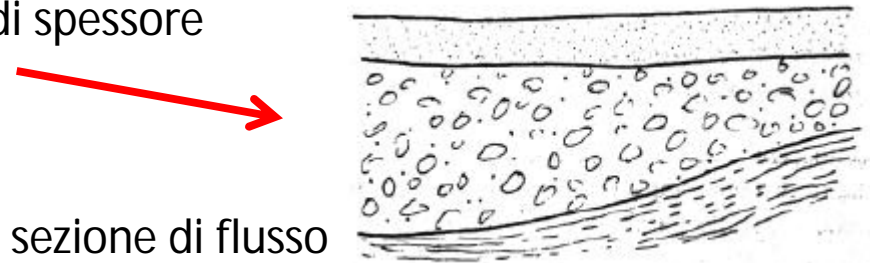
Variazioni del gradiente idraulico: cause antropiche (pompaggio, irrigazioni) o variazioni della trasmissività dell'acquifero

Riduzione della permeabilità

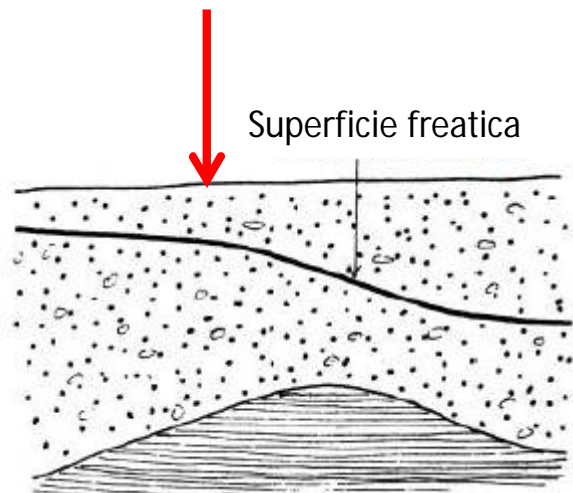
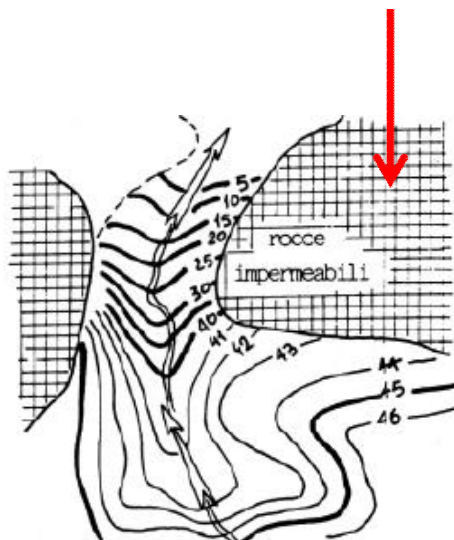


Aumento del gradiente idraulico da sinistra a destra a causa della riduzione della trasmissività dell'acquifero

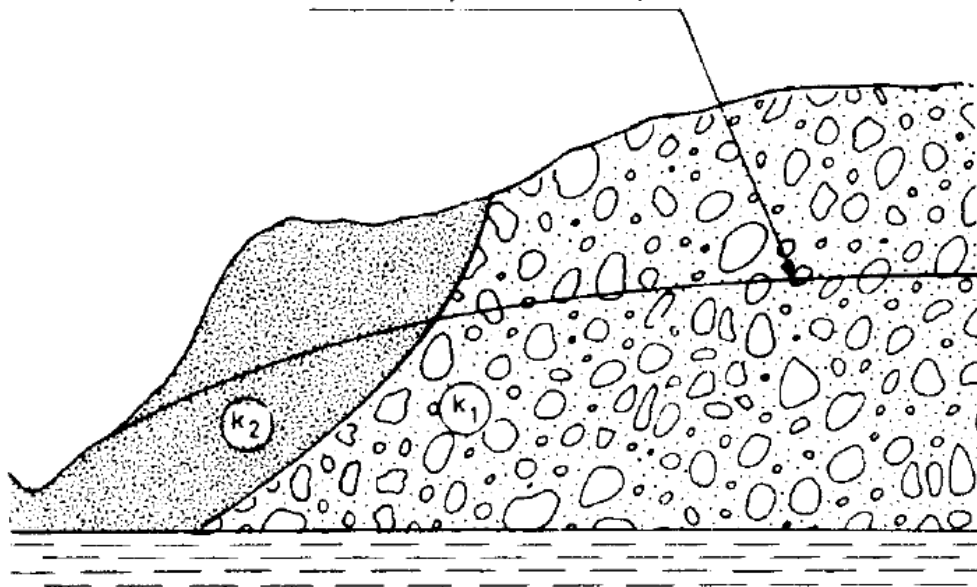
Riduzione di spessore



Aumento del gradiente idraulico per riduzione della sezione di flusso



Superficie piezometrica



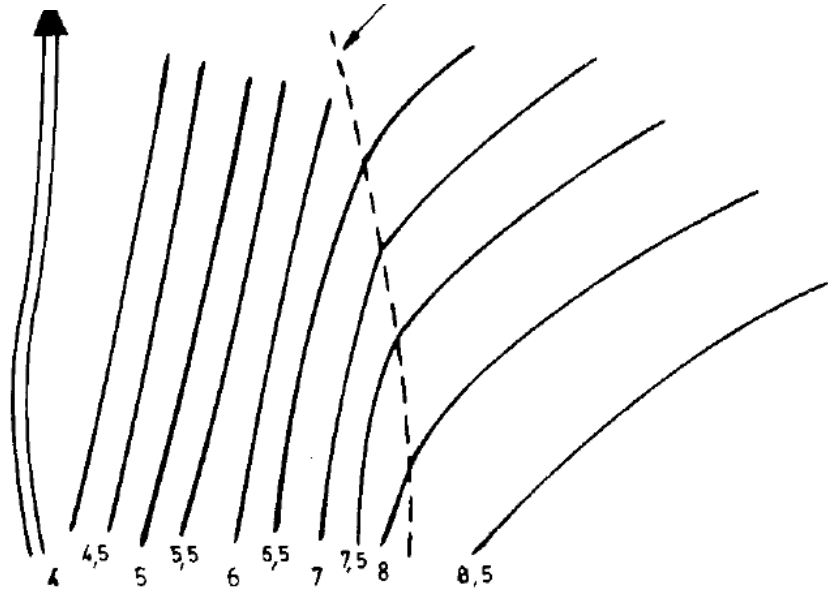
Terrazzo alluvionale

Il terrazzo basso è meno permeabile di quello alto.

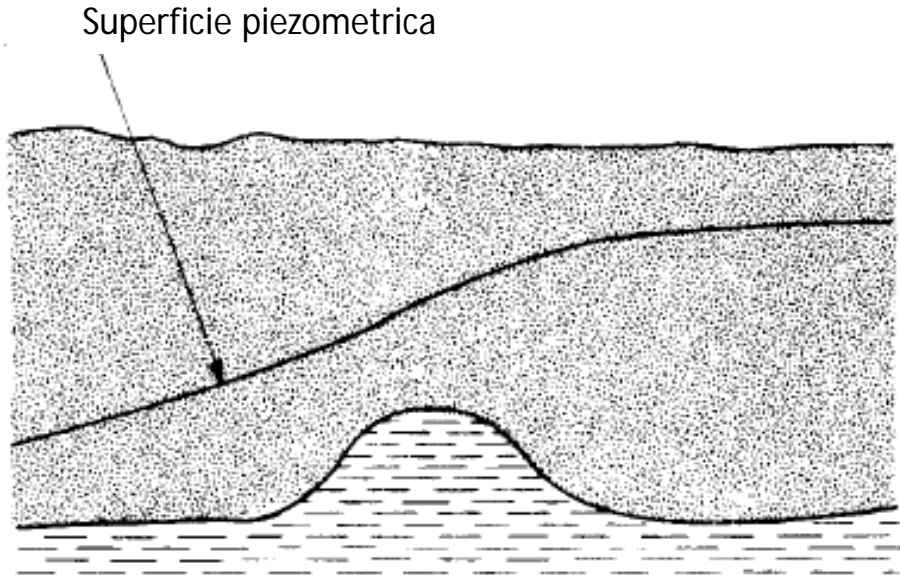
fiume

$k_2 < k_1$

Limite tra i due terrazzi

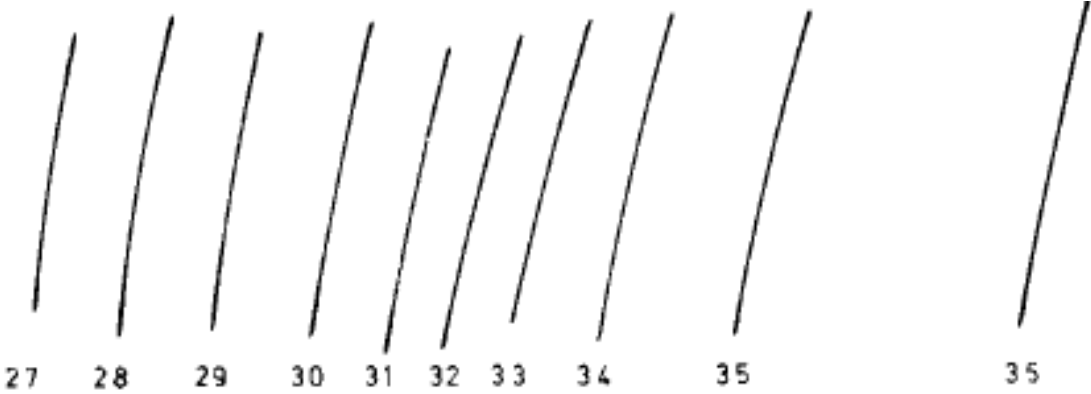


Carta piezometrica e

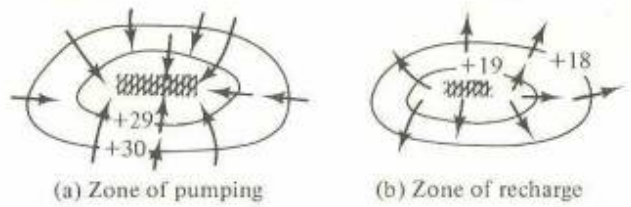


Una risalita del muro impermeabile si traduce con una diminuzione dello spessore della falda. Se il mezzo è omogeneo, il gradiente aumenta localmente

Muro impermeabile
Sezione

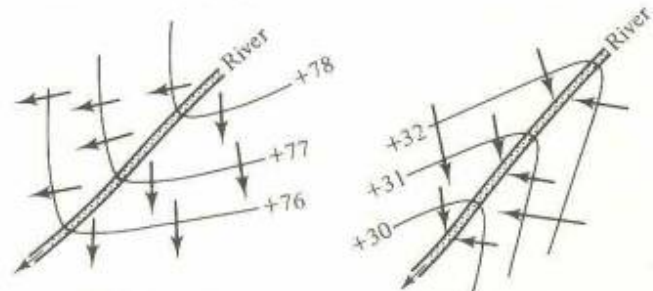


Carta piezometrica



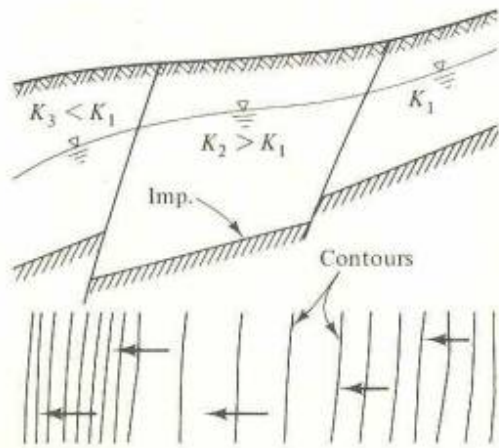
(a) Zone of pumping

(b) Zone of recharge

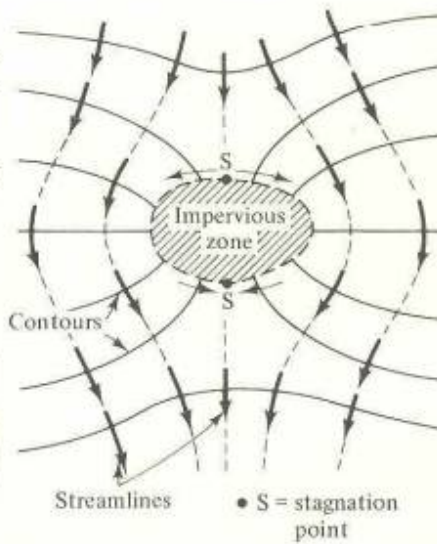


(c) Influent river

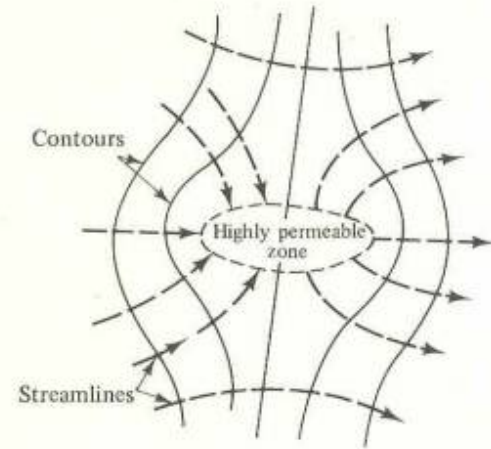
(d) Effluent river



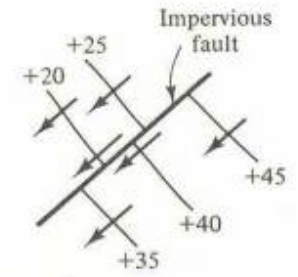
(e) Effect of variable transmissivity



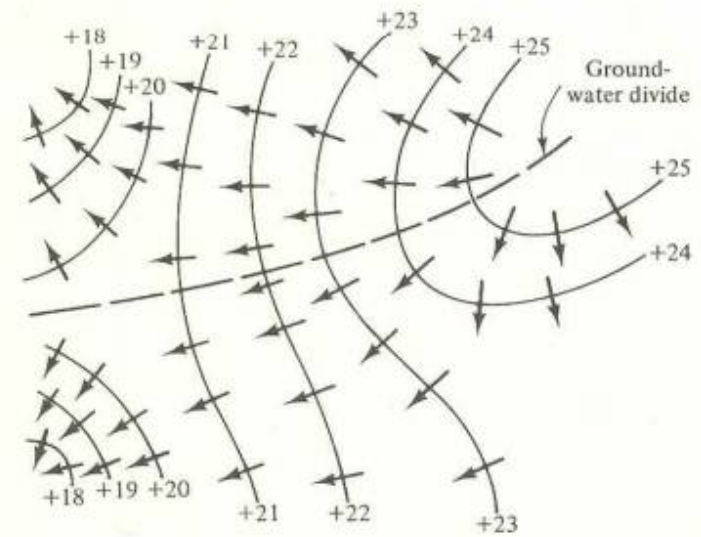
(f) Effect of impervious zone



(g) Effect of highly permeable zone



(h) Difference in water levels across an impervious fault

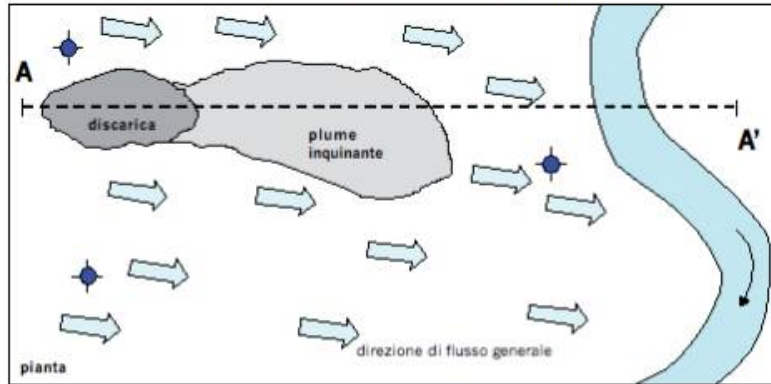


(i) A groundwater divide

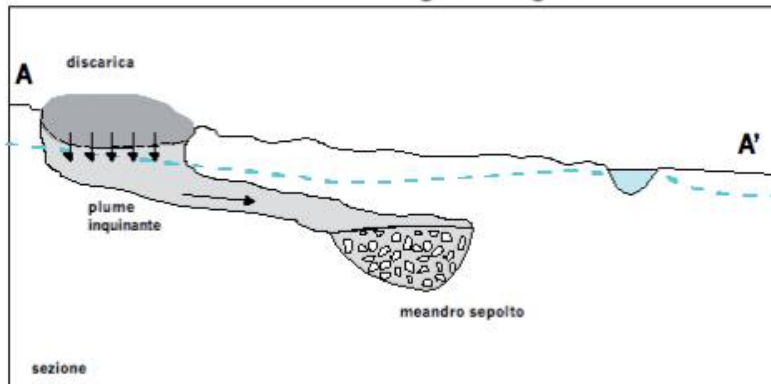
Figure 5-34 Typical features of contour maps.

Figure 5-34 (cont.)

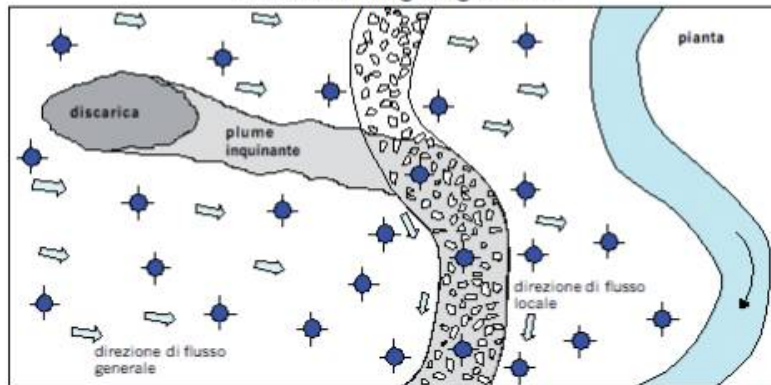
Ricostruzione idrogeologica approssimata



Ricostruzione stratigrafica lungo A-A'



Situazione idrogeologica reale



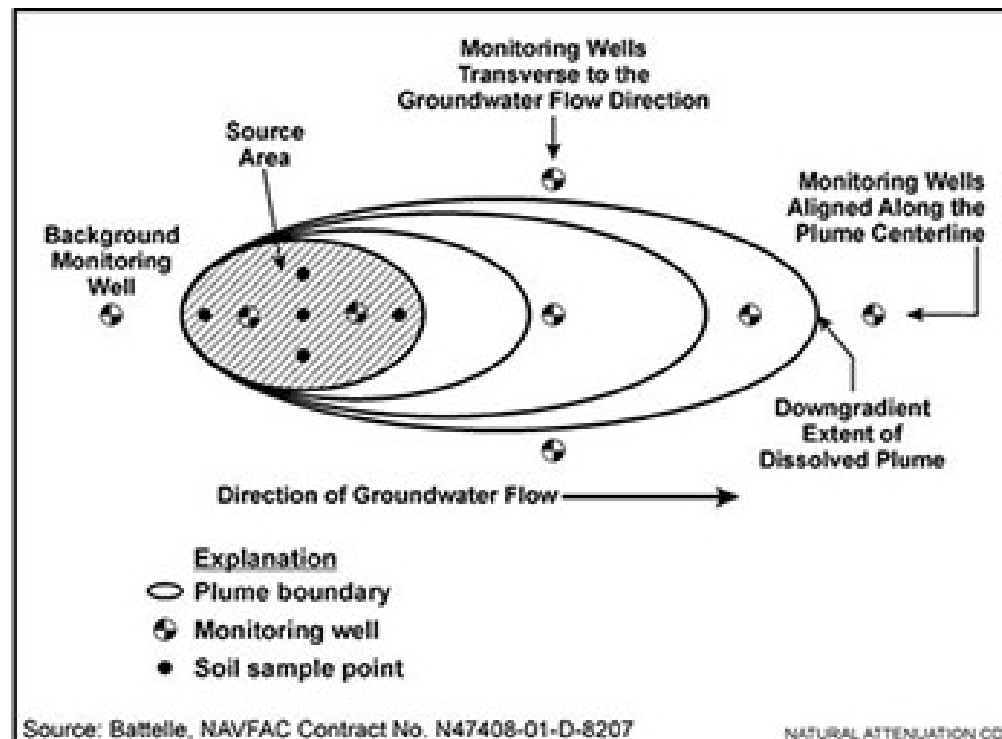
Negli studi di inquinamento necessari per predisporre un corretto piano di bonifica dell'acquifero, la conoscenza della stratigrafia può aiutare a comprendere l'andamento locale delle linee di flusso

La ricostruzione della piezometria con misure su tre pozzi fornisce un flusso generale verso il fiume a destra, in alto, in realtà la stratigrafia mostra la presenza di una zona più permeabile tra la discarica ed il fiume (paleoalveo); l'andamento corretto delle linee di corrente si ricava infittendo la rete piezometrica (in basso) e questo permette di conseguenza una più efficiente progettazione degli interventi di bonifica

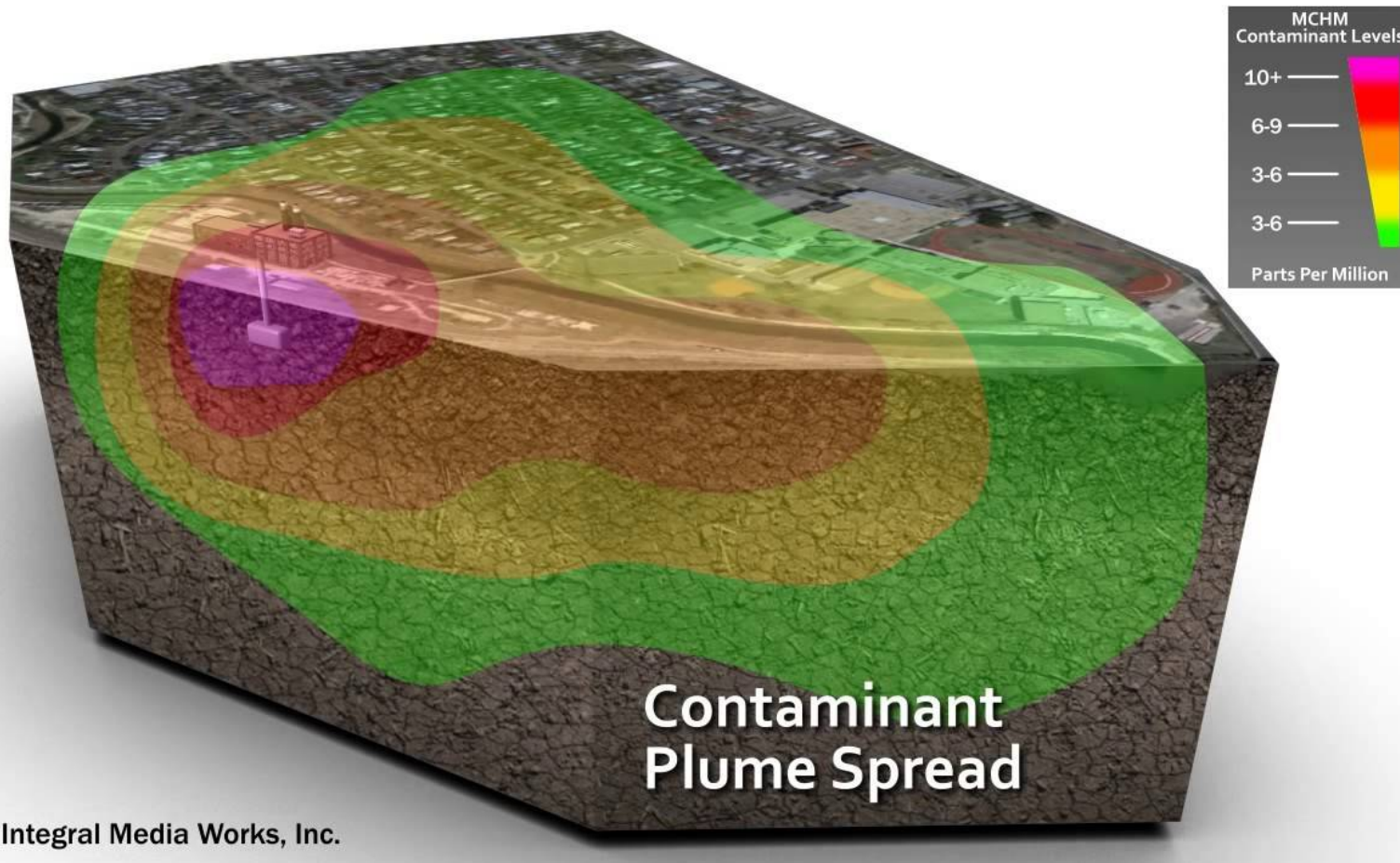
Un'adeguata ricostruzione della piezometria ottenuta considerando misure di altezza piezometrica e dati di stratigrafia è necessaria ai fini del monitoraggio della risorsa idrica sotterranea

Monitoraggio= osservazione ripetuta e interpretazione critica del fenomeno in analisi (contaminazione, intrusione salina, abbassamento piezometrico)

Piezometri di monitoraggio di un plume

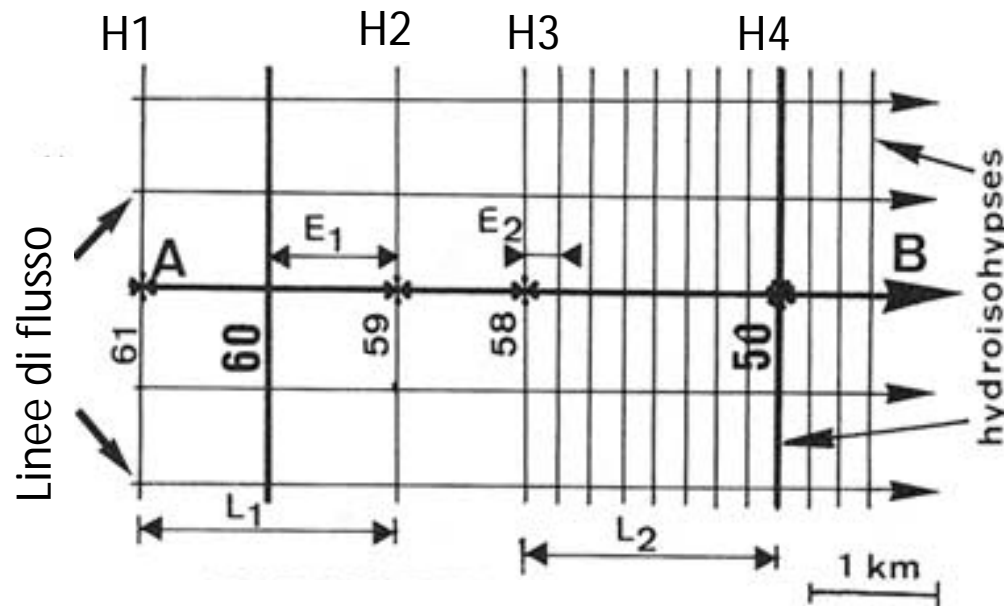
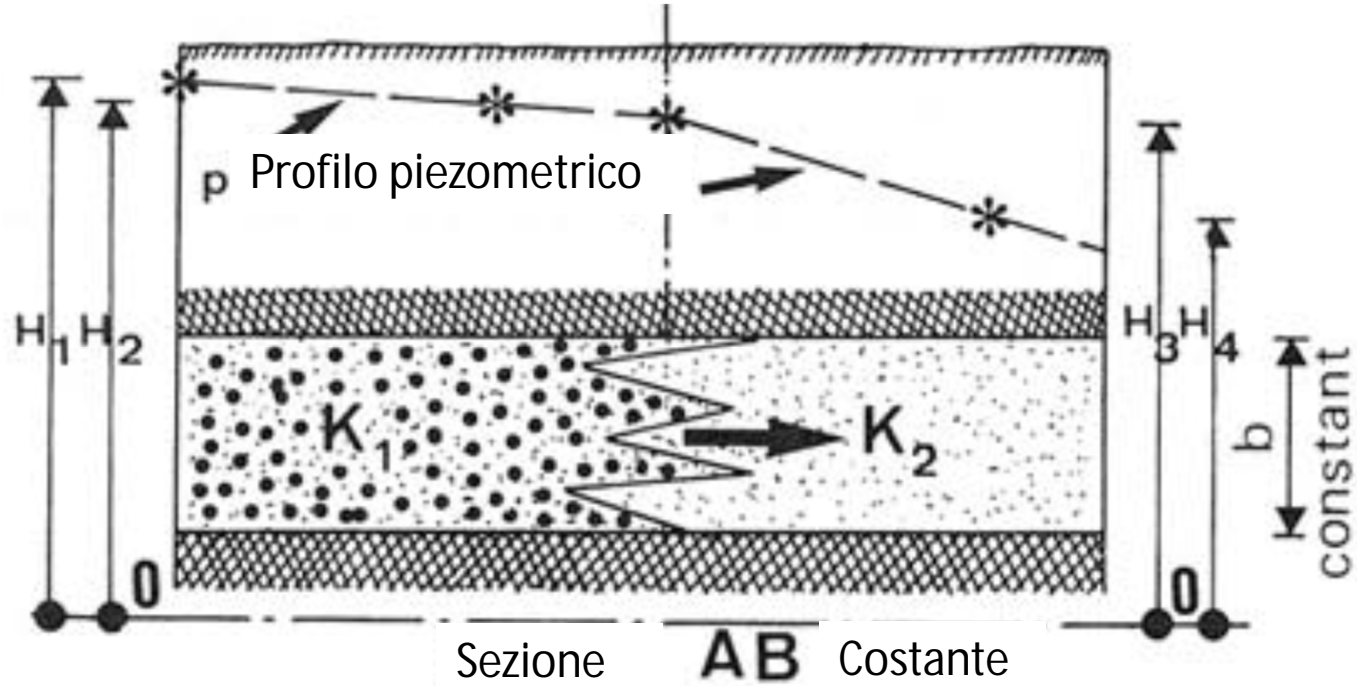


il **plume** (detto anche **plumen** o **pennacchio**) è quella parte di un acquifero sotterraneo che, in una situazione di contaminazione da sostanze pericolose, trasporta le sostanze contaminanti.



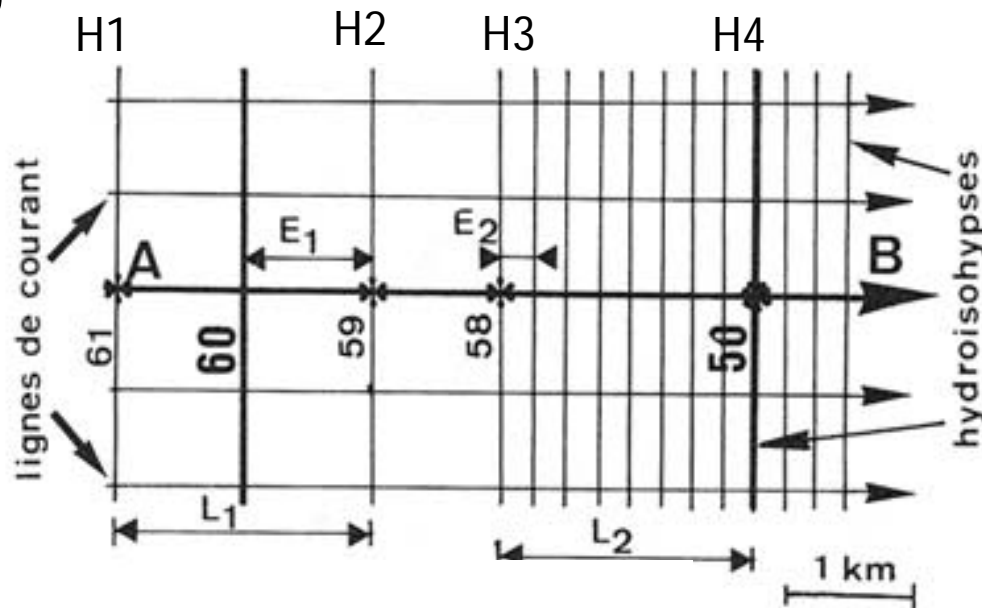
ESERCIZIO

Calcolare il gradiente idraulico e il contrasto di permeabilità K_2/K_1



$$L_1 = L_2 = 2000$$

Esercizio



$$L1=L2=2000$$

Flusso in un acquifero confinato a spessore costante. Una diminuzione del coefficiente di conducibilità idraulica, dovuta alla variazione laterale delle facies, comporta un aumento del gradiente idraulico.

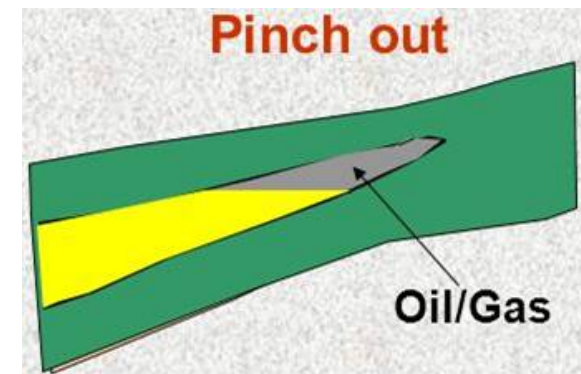
$$i_1 = \frac{H_1 - H_2}{L_1} = \frac{2}{2000} = 0,001 \quad i_2 = \frac{H_3 - H_4}{L_2} = \frac{8}{2000} = 0,004$$

$K2/K1 = i1/i2 = 0.001/0.004 = 0.25$ è la risposta esatta

Regional Flow

- To predict flow patterns in regional flow systems the data requirements include:
 - Permeability distributions
 - Geometry of basin boundaries (including the surface topography)
- The most influential factors on flow patterns are:
 - Ratio of basin depth to lateral extent
 - Configuration of the water table (topography)
 - Permeability distribution
- Major valleys collect flow and concentrate discharge
- Deep permeable aquifers act as conduits and control recharge rates and the location of recharge areas
- Stratigraphic pinchouts at depth exert an influence on the location of recharge and discharge areas

Per **trappola sedimentaria** o **trappola stratigrafica** si intende una particolare assetto geologico che, per la combinazione delle sue caratteristiche geometriche e della stratigrafia delle serie sedimentarie che la costituiscono, è in grado di trattenere, intrappolando idrocarburi



L'oscillazione della superficie piezometrica

- La superficie piezometrica di una falda varia la sua posizione nel tempo per cause naturali o dovute all'azione dell'uomo:
 - a) l'alternarsi dei periodi di ricarica e di svuotamento dell'acquifero (per piovosità o irrigazione);
 - b) l'influenza della variazione della pressione atmosferica;
 - c) l'influenza delle oscillazioni di specchi d'acqua liberi a contatto laterale con l'acquifero;
 - d) l'effetto di terremoti;
 - e) l'effetto degli emungimenti.
- La direzione delle linee di flusso e delle equipotenziali può variare nel tempo al variare delle condizioni al contorno (alimentazione, prelievo, ecc.)
- Una corretta campagna di indagini idrogeologiche deve prevedere la ricostruzione della superficie piezometrica in almeno tre momenti dello stesso anno idrologico, corrispondenti al regime di piena, di magra ed intermedio della falda.

CAMPAGNA PIEZOMETRICA

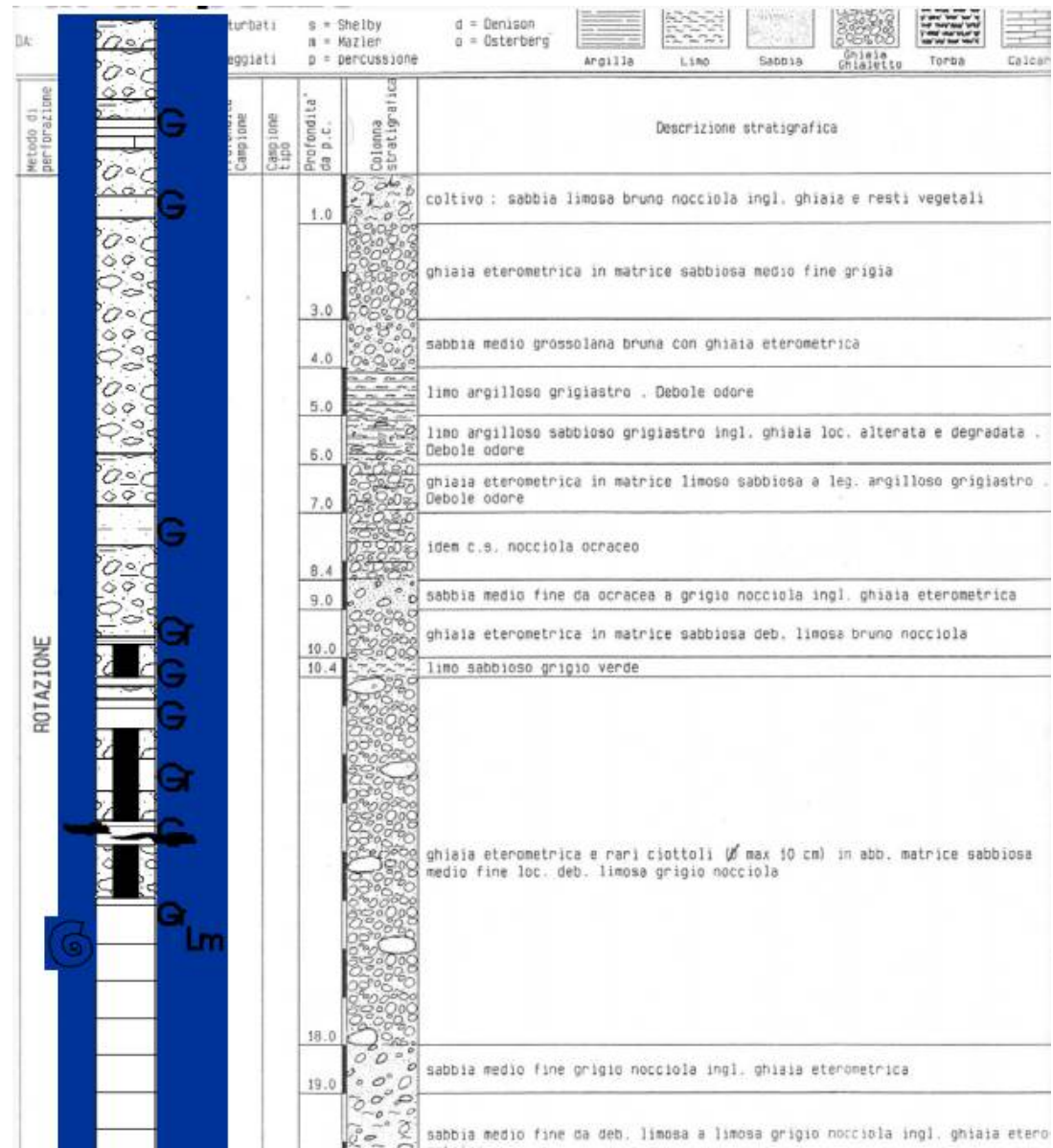
Per effettuare una campagna piezometrica occorre:

- compiere una ricerca bibliografica
- individuare lo scopo della campagna piezometrica (campagna regionale, locale, bonifica..)
- individuare i pozzi/piezometri che possono essere misurati
- attraverso le stratigrafie distinguere i pozzi/piezometri che captano in falde diverse
- scegliere i pozzi/piezometri in modo da ottenere per una data falda una distribuzione omogenea dei punti di misura ed eventualmente più densa nell'area di maggiore interesse
- ricerca delle quote topografiche della bocca pozzo
- nel caso di misure di una falda freatica valutare l'opportunità di misurare i livelli idrici dei corsi d'acqua superficiali
- prima di effettuare la misura spegnere il pozzo per almeno 15 min. per ottenere il livello statico

N.B: la campagna deve essere condotta nel più breve tempo possibile (dati coevi)

Stratigrafia di un pozzo

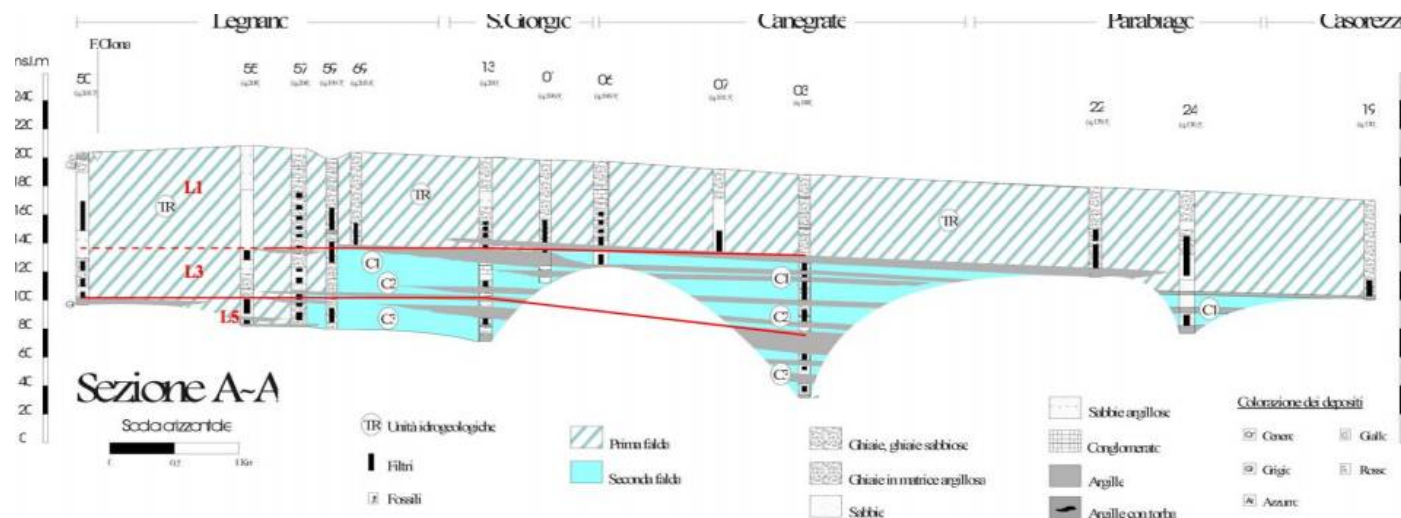
Il grado di dettaglio della rappresentazione è funzione dello scopo dell'indagine



SEZIONI IDROGEOLOGICHE

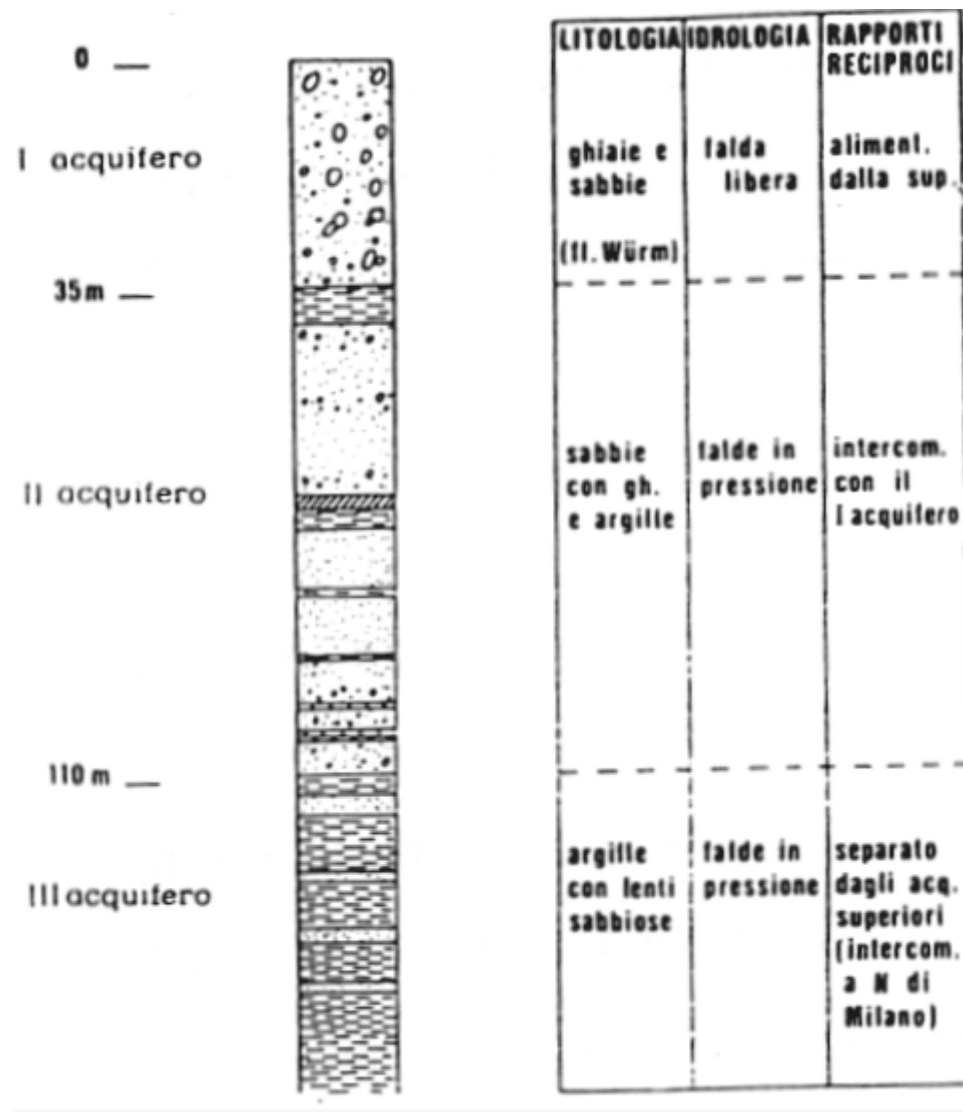
Permettono di ricostruire la struttura idrogeologica dei depositi fluvio - glaciali:

- distinzione degli acquiferi
- individuazione di aquitard e aquiclude
- individuazione degli scambi idrici tra acquiferi diversi
- individuazione delle zone di alimentazione
- individuazione dei rapporti con i corpi idrici superficiali



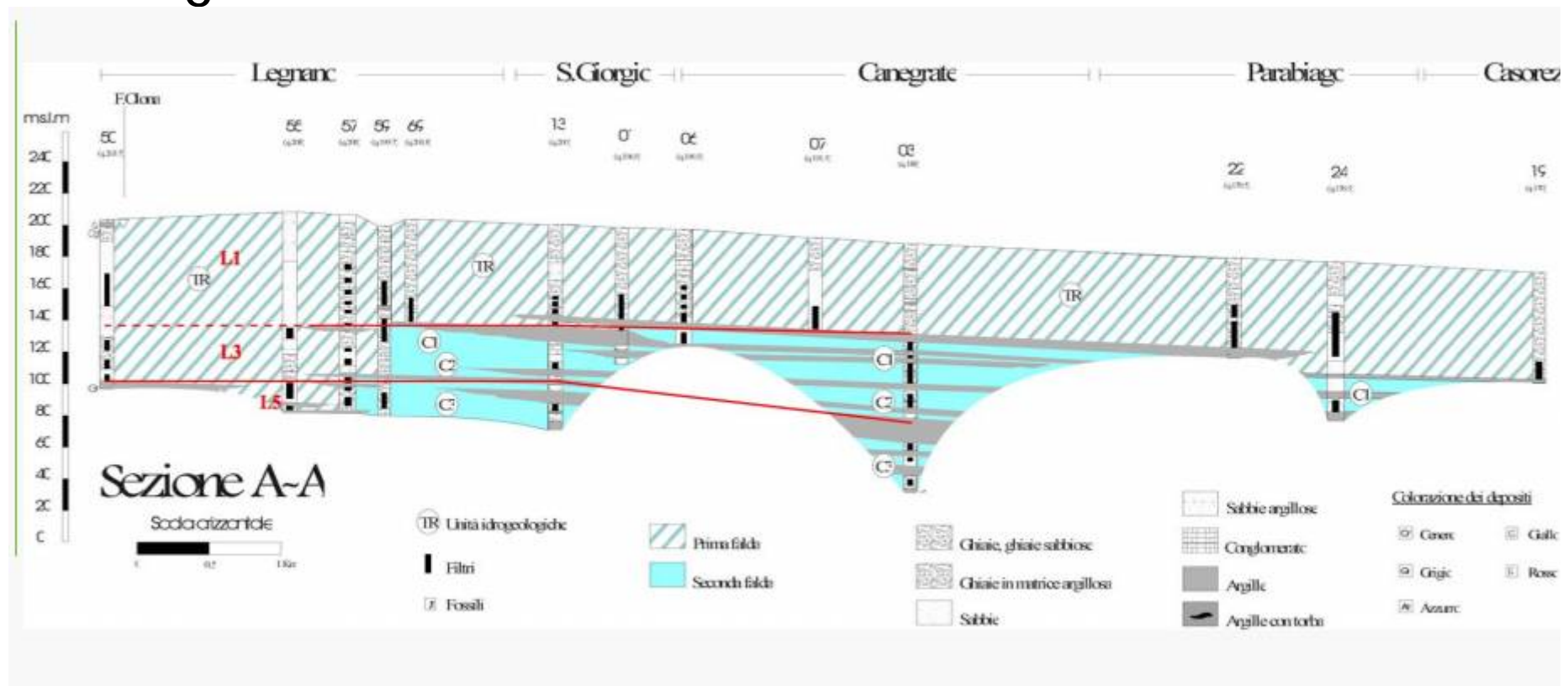
distinzione degli acquiferi

- individuazione di aquitard e aquiclude
- individuazione degli scambi idrici tra acquiferi diversi



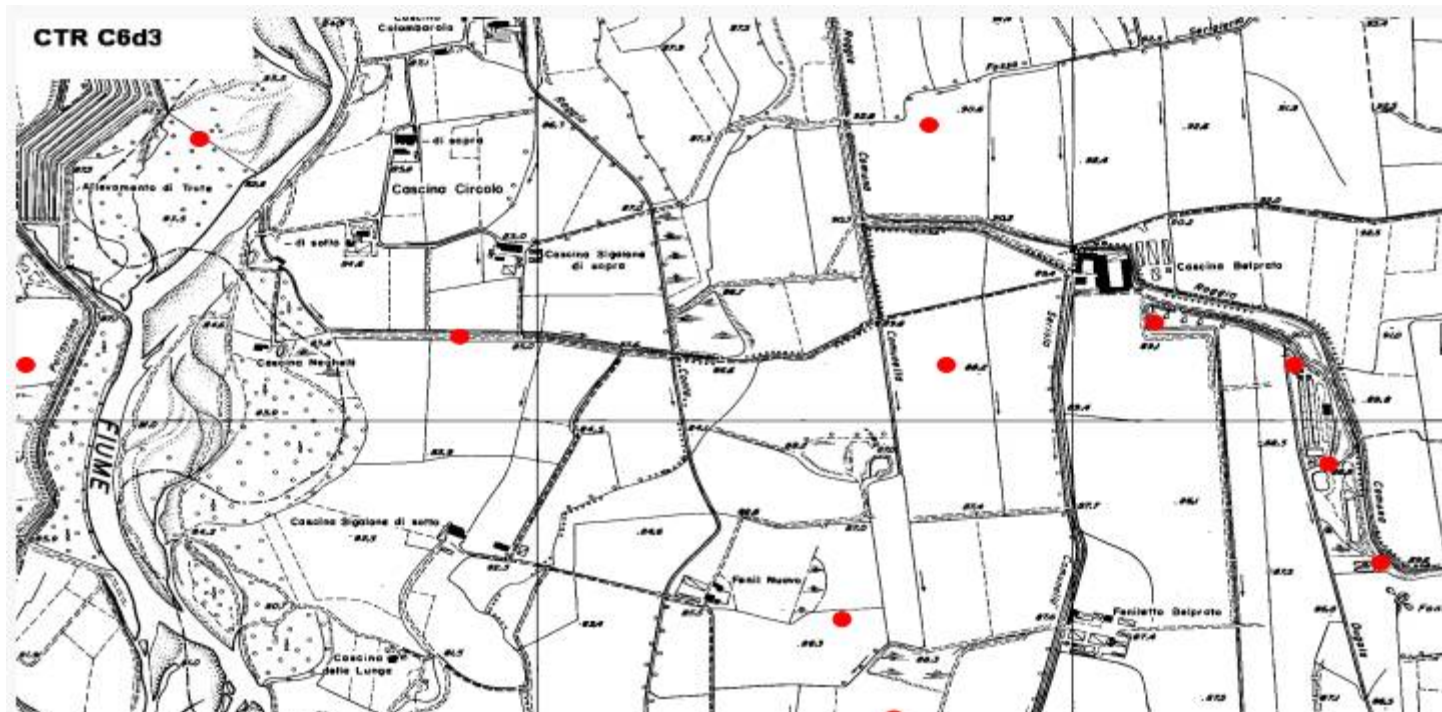
Campi di utilizzo:

- ubicazione e protezione delle opere di captazione
- gestione qualitativa delle risorse idriche sotterranee
- gestione quantitativa delle risorse idriche sotterranee
- indagini di siti contaminati

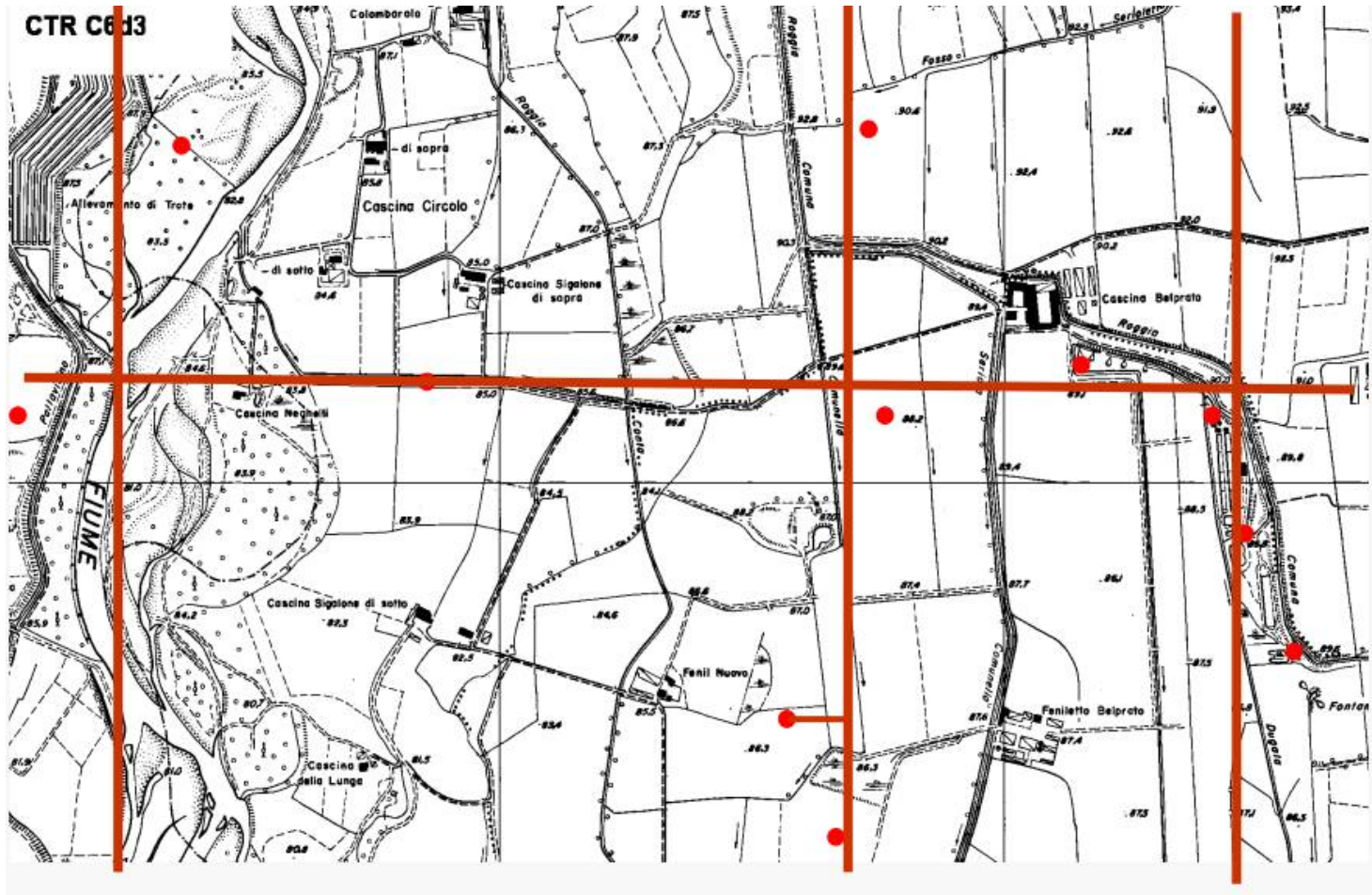


Fasi di costruzione delle sezioni

- Ubicazione dei pozzi su cartografia tecnica
- inquadramento del sito rispetto alla carta geologica
- reperimento di dati bibliografici
- scelta dei pozzi da utilizzare
- tracciamento delle linee delle sezioni

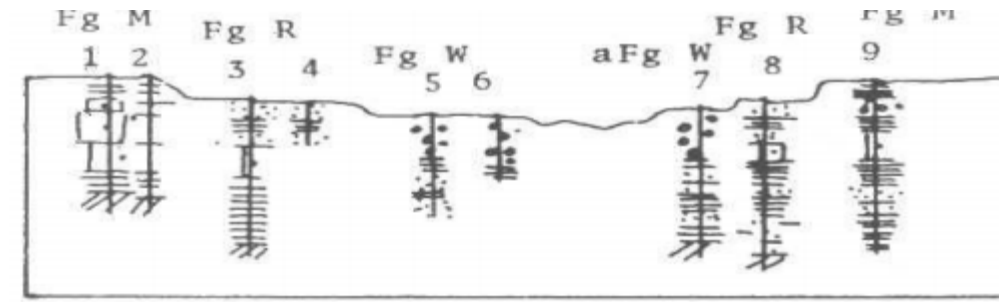


Fasi di costruzione delle sezioni



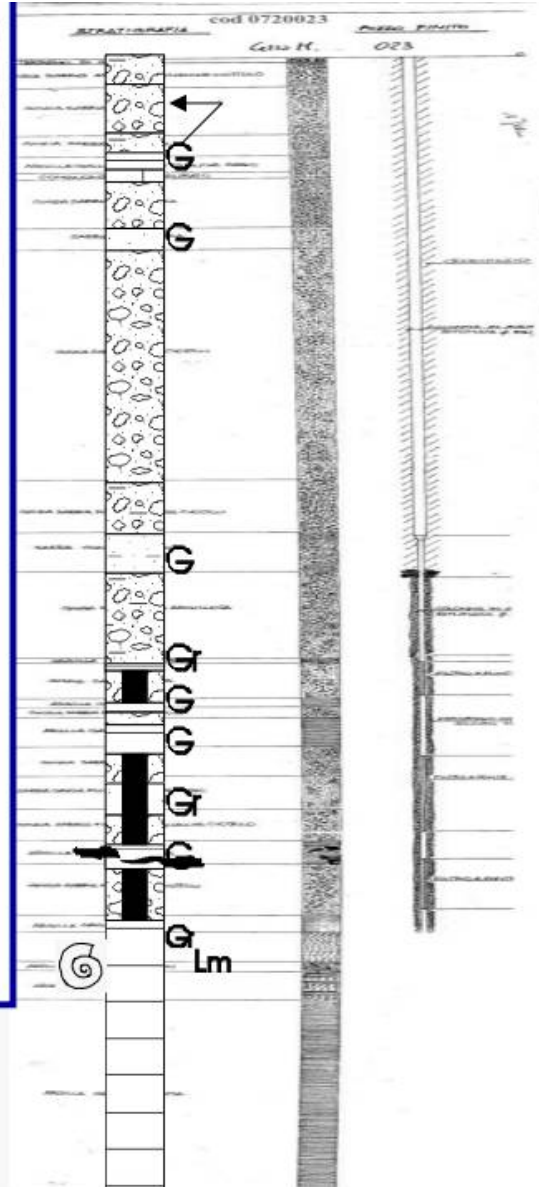
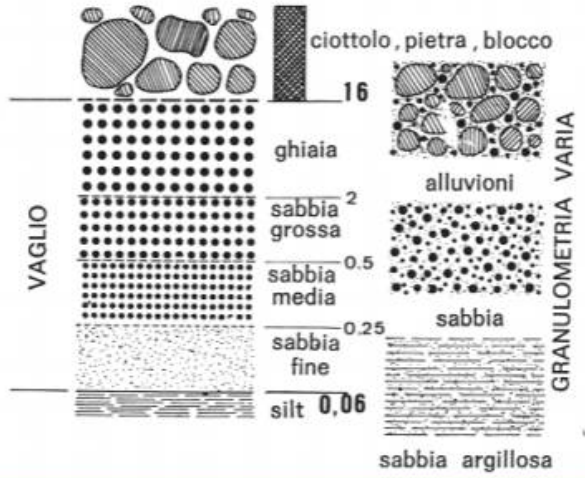
Fasi di costruzione delle sezioni

- profilo altimetrico
- analisi delle stratigrafie e loro rappresentazione sul profilo

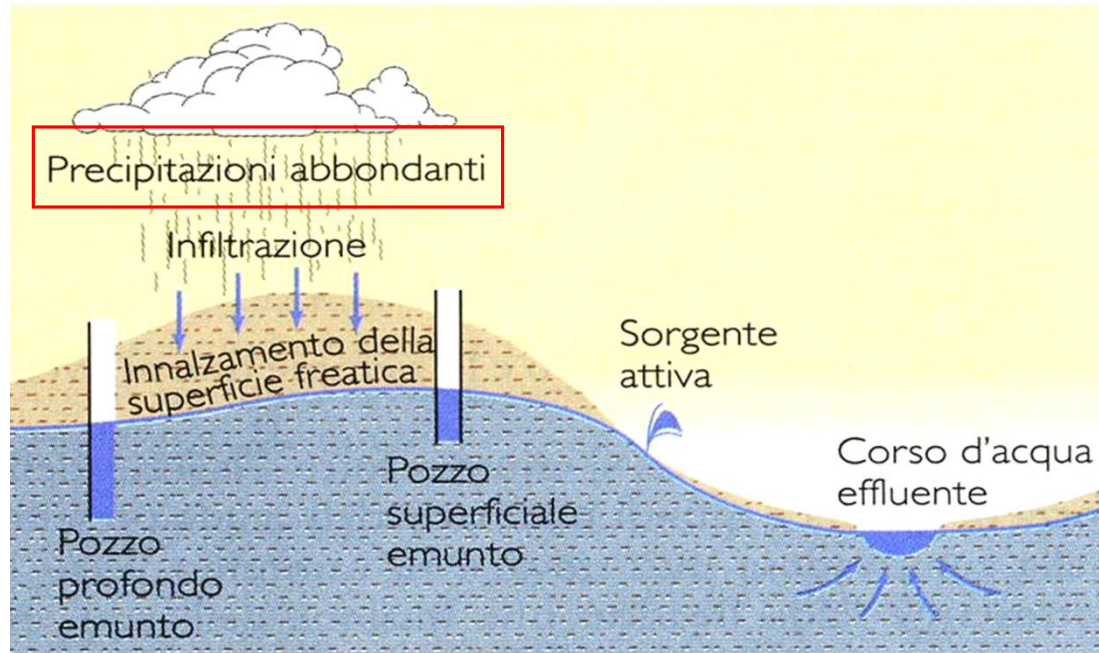


- prima identificazione delle principali unità idrogeologiche sulla base di:
 - caratteri litologici grossolani
 - Permeabilità
 - spessori dei materiali
 - disposizione geometrica dei materiali
- correlazione fra le stratigrafie sulla base
 - immersione dei depositi
 - loro alternanza
 - affioramenti dei terrazzi
 - caratteristiche litologiche di dettaglio
- identificazione degli acquiferi

Denominazioni		Diametri dei grani mm
Ciottolo, pietra, blocco		superiore a 16
Vaglio	Ghiaia, ghiaietta	<u>16 a 2</u>
	grossa	<u>2 a 0,5</u>
	Sabbia media	0,5 a 0,25
	fine	0,25 a <u>0,06</u>
Silt		0,06 a <u>0,002</u>
Argilla		più piccola di 0,002



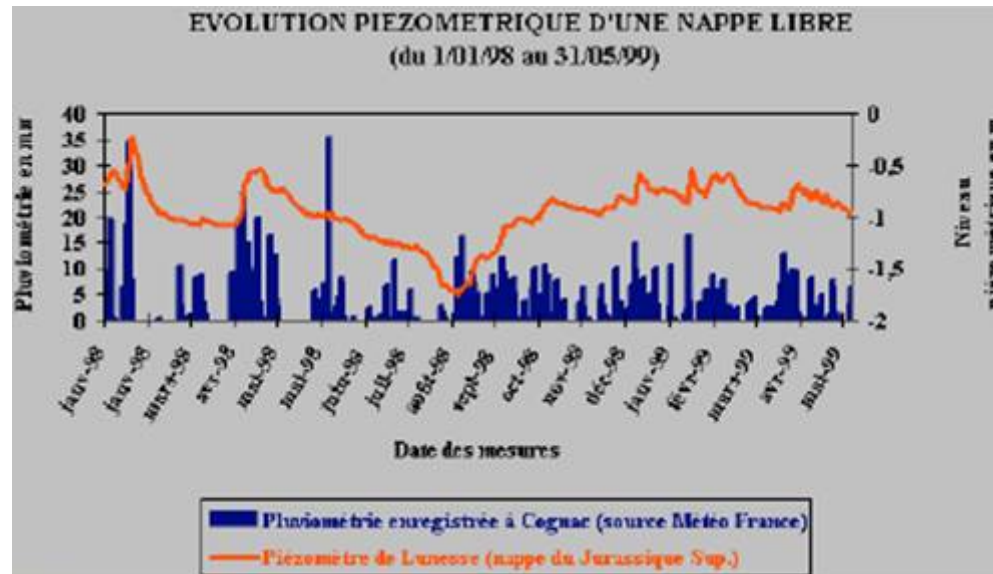
Effetti delle **variazioni stagionali delle piogge** sulla superficie di falda



L'oscillazione della superficie piezometrica

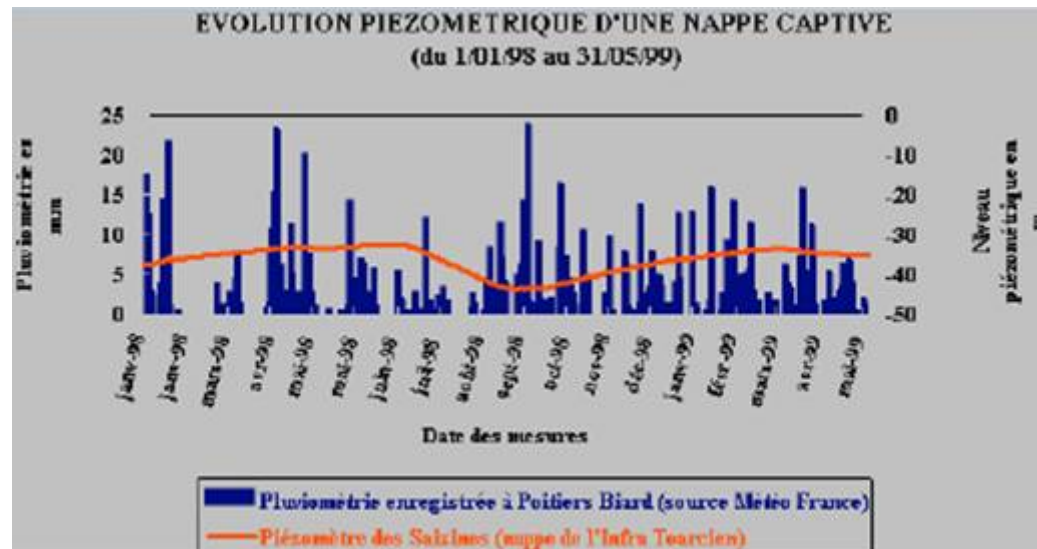
Falda libera

Forte variazione del livello piezometrico a seguito degli eventi meteorici



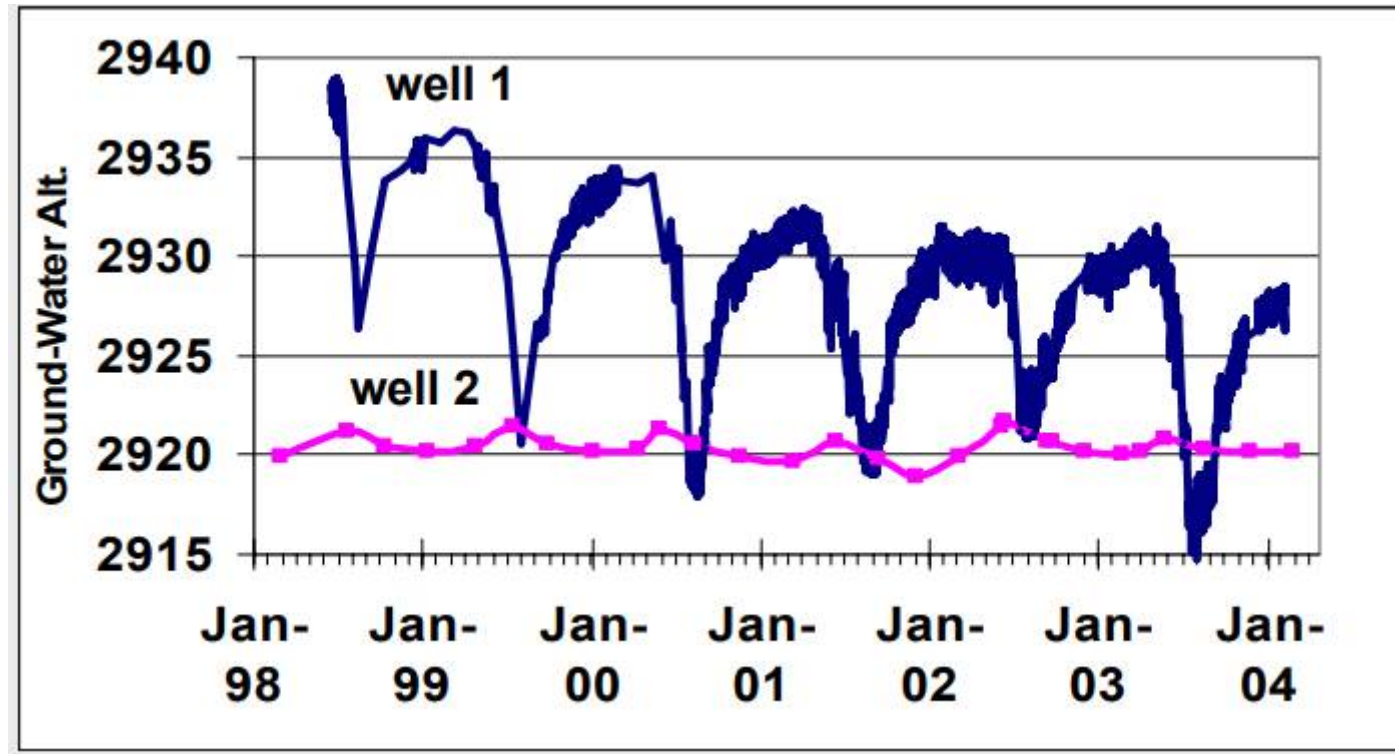
Falda confinata

lieve variazione del livello piezometrico a seguito degli eventi meteorici



Ground-Water Hydrograph

Ground-Water level measurements vs. time



The water table is not static. It rises and falls in response to inputs and outflows from the aquifer. Changes in water level reflect changes in aquifer storage or pressure over time. The water-level data can be compared to other factors such as climate to better understand how the aquifer works. Each water-level measurement adds knowledge of how the aquifer works, but because climatic and other factors operate on periods of years to decades, water-level records must be of similar duration to be most effective.

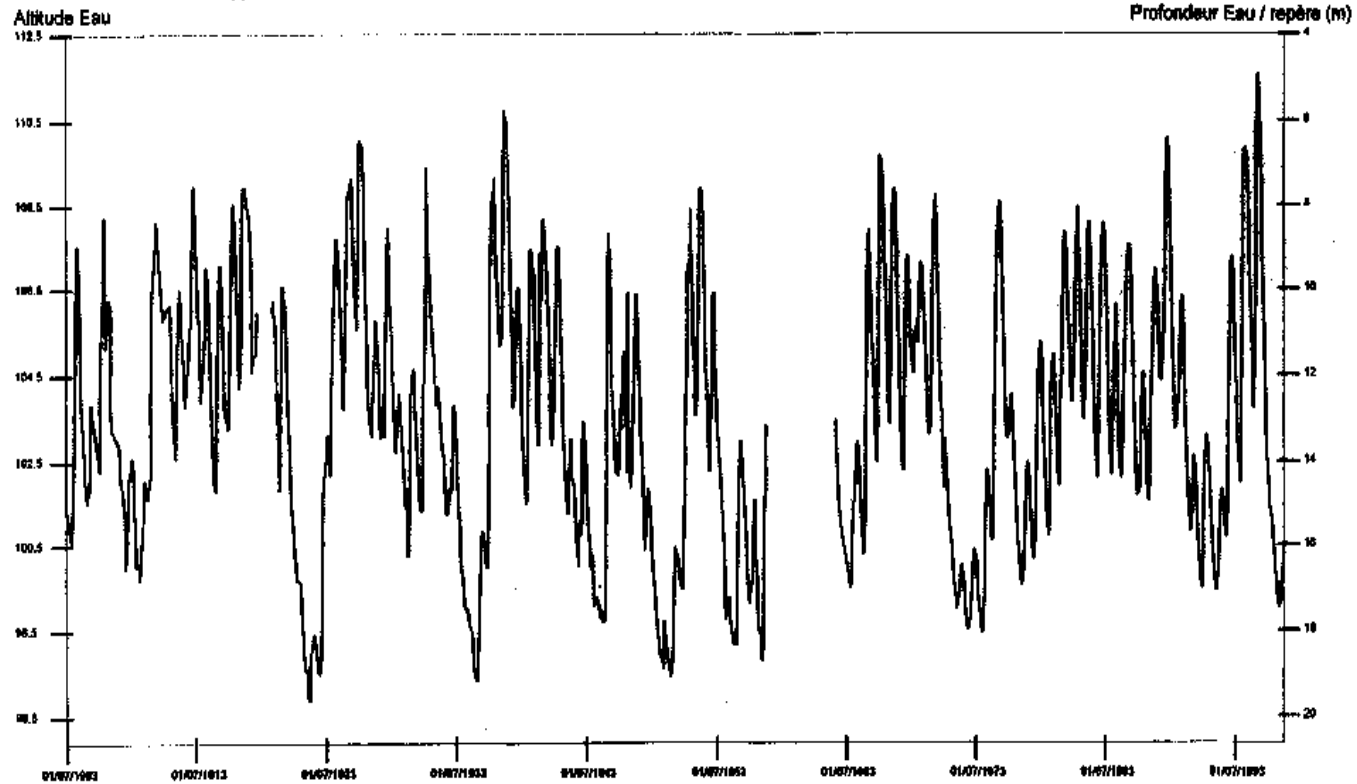
Variazioni piezometriche

- ✦ **Ripercussioni a scala interannuale degli emungimenti effettuati**
- ✦ **Influenza dei cicli climatologici sull'evoluzione dei livelli di falda**
- ✦ **Relazioni idrauliche tra le falde sovrapposte o con i corsi d'acqua superficiali**
- ✦ **Modifiche della direzione del flusso idrico sotterraneo a seguito dell'interruzione del prelievo da pozzi captanti**



Réseau: RB
Prof. Ouvrage: 30
Côte du Repère: 116.5
Côte du Sol: 116.5
Code Nappe: ART02,.....+L
Système Aquifère: 001G
Nom Nappe: CRAIE, CRAIE 1 -NAPPE DE LA CRAIE

Indice BRGM: 00254X0003
Désignation: P1
Commune: TINCQUES
Lieu dit: STATION SNCF
Département: PAS-DE-CALAIS (62)
Région: SGR/NPC



Piezométrie du 16/06/1903 au 18/03/1997 tracée le 10/04/1997

Influenza delle sole precipitazioni



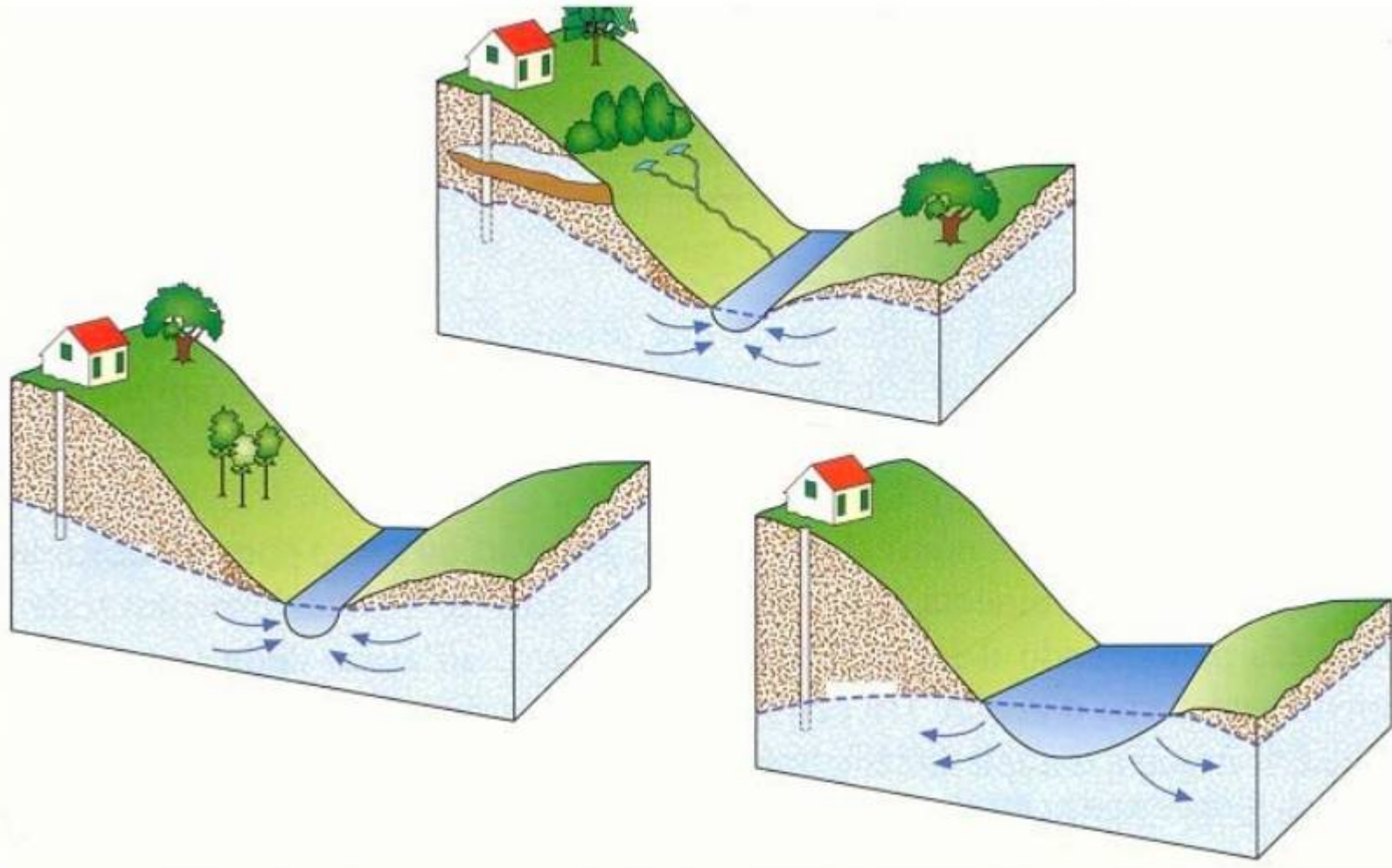
Réseau: RB
Prof. Ouvrage: 35.3
Côte du Repère: 18.17
Côte du Sol: 16.82
Code Nappe: ART02,.....0C
Système Aquifère: 001Y1
Nom Nappe: CRAIE, CRAIE 1

Indice BRGM: 00281X0002
Désignation: F1
Commune: RIEULAY
Lieu dit: LES HUDIONS, SMERT
Département: NORD (59)
Région: SGR/NPC



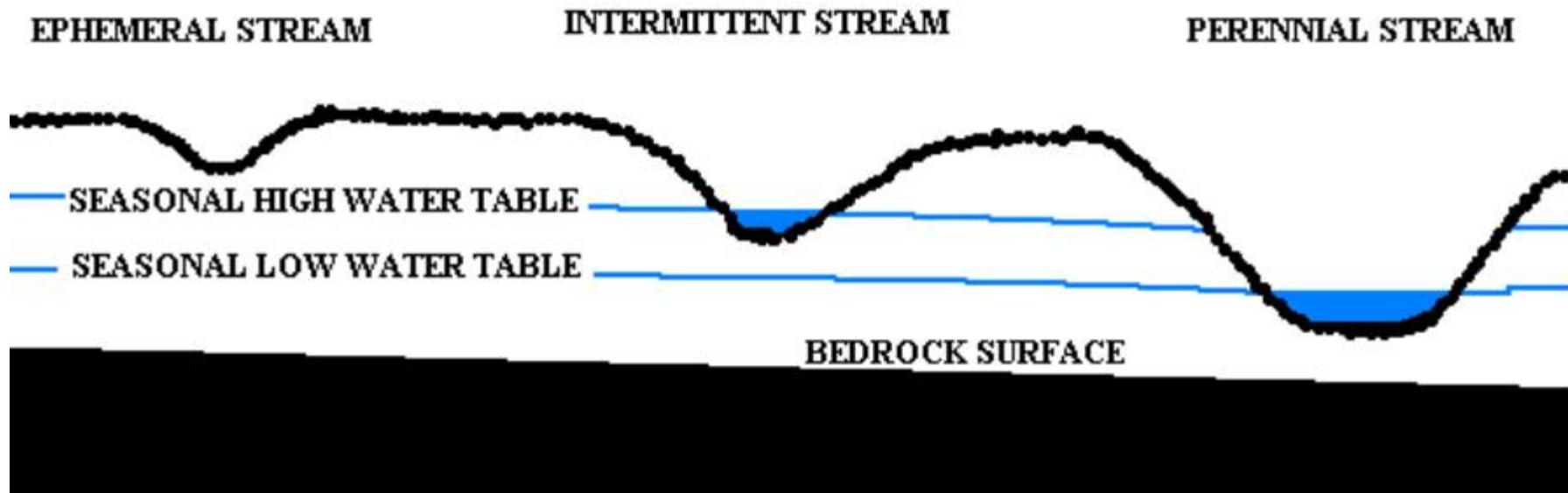
Piezométrie du 05/01/1902 au 28/01/1997 tracée le 10/04/1997

Rapporti fiume-falda



Stream Classification

- ❑ **Ephemeral Streams** only flow in response to precipitation. There is no hydraulic (supply) groundwater support.
- ❑ **Intermittent Streams** consistently flow, but only part of the year (when the water table is high enough to intersect the streambed and furnish the stream with hydraulic support).
- ❑ **Perennial Streams** are “permanent”, as they have year-round hydraulic support from ground water.



DIVERSE CATEGORIE DI ACQUE SUPERFICIALI

Nelle regioni aride o semi-aride alcuni fiumi possono presentare un flusso perenne e costante, mentre altri possono invece essere soggetto a interruzioni nel flusso d'acqua

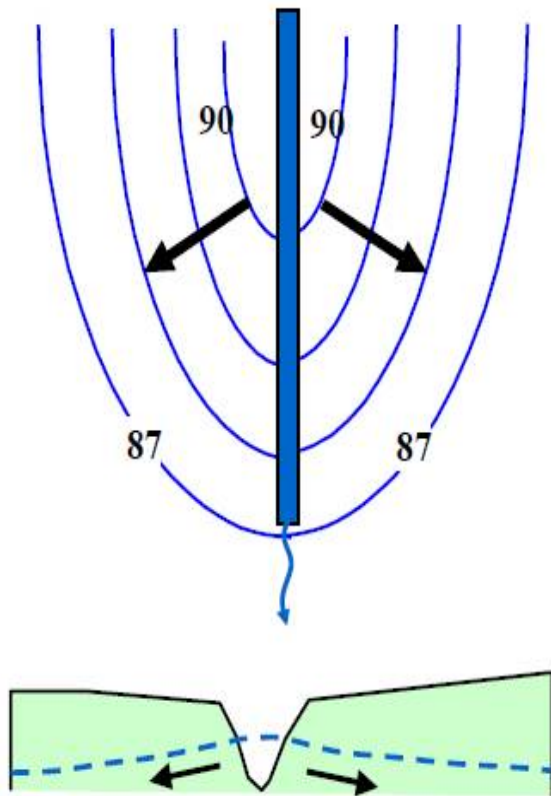
"corso d'acqua temporaneo": un corso d'acqua soggetto a periodi di asciutta totale o di tratti dell'alveo annualmente o almeno 2 anni su 5; -

"corso d'acqua intermittente": un corso d'acqua temporaneo con acqua in alveo per più di 8 mesi all'anno, che può manifestare asciutte anche solo in parte del proprio corso e/o più volte durante l'anno; -

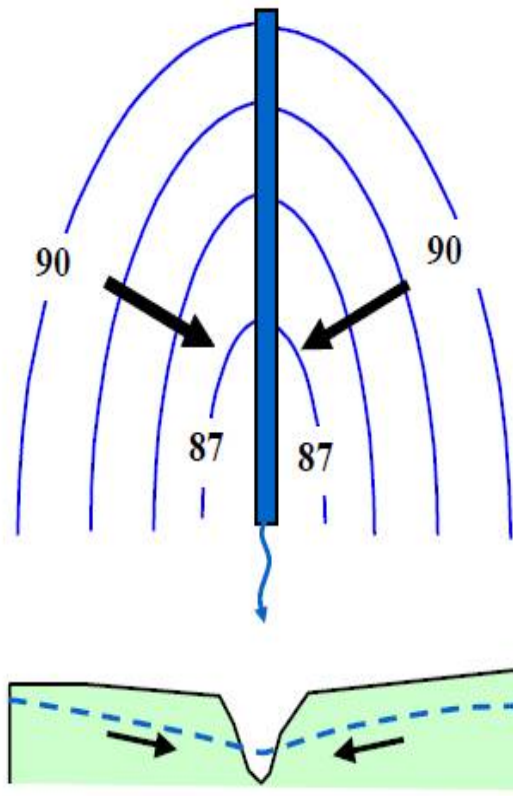
"corso d'acqua effimero": un corso d'acqua temporaneo con acqua in alveo per meno di 8 mesi all'anno, ma stabilmente; a volte possono essere rinvenuti tratti del corso d'acqua con la sola presenza di pozze isolate; -

"corso d'acqua episodico": un corso d'acqua temporaneo con acqua in alveo solo in seguito ad eventi di precipitazione particolarmente intensi, anche meno di una volta ogni 5 anni. I fiumi a carattere episodico (esempio: le fiumare calabre o lame pugliesi), sono da considerarsi ambienti limite, in cui i popolamenti acquatici sono assenti o scarsamente rappresentati, anche nei periodi di presenza d'acqua. Pertanto tali corpi idrici non rientrano nell'obbligo di monitoraggio e classificazione. Nelle definizioni sopra riportate l'assenza di acqua in alveo si intende dovuta a condizioni naturali.

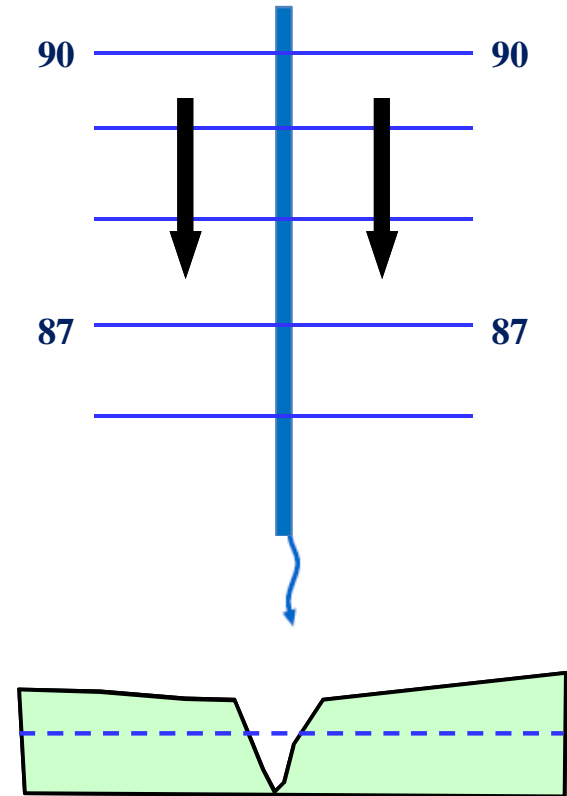
Rapporti fiumi - falda



fiume alimentante
- *spartiacque idraulico* -



fiume drenante



fiume neutro

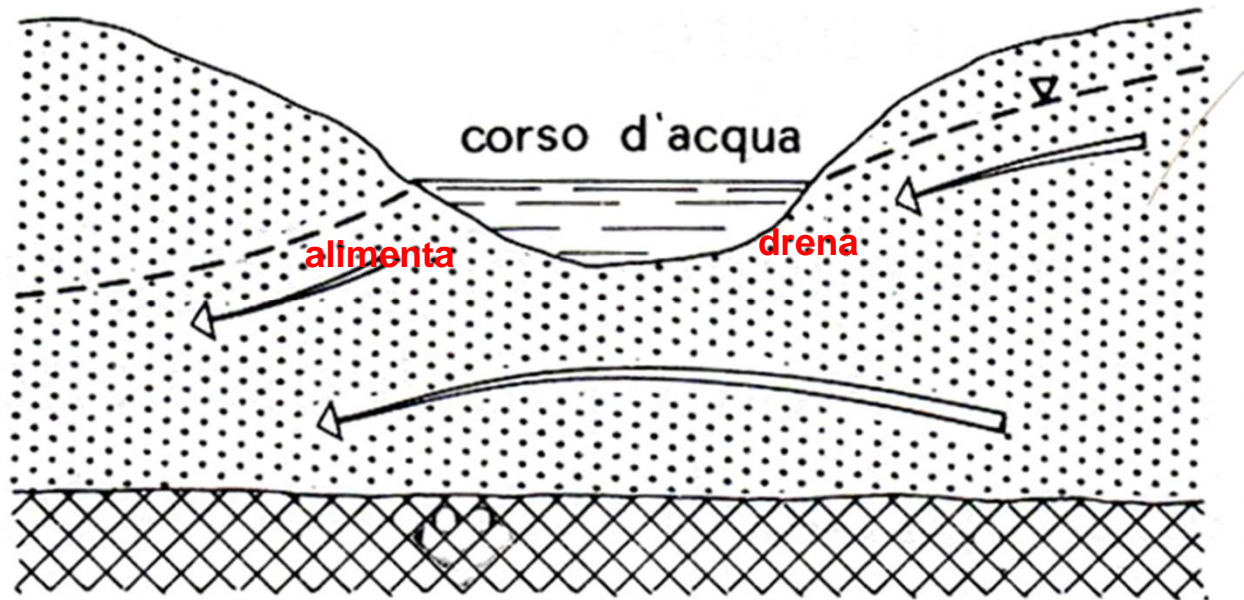
Queste condizioni sono valide solo se esiste un contatto idraulico tra corpi idrici superficiali e sotterranei, vale a dire se non sono separati da una unità confinante!

Rapporto tra falda e superfici libere d'acqua

Falda



Fiume



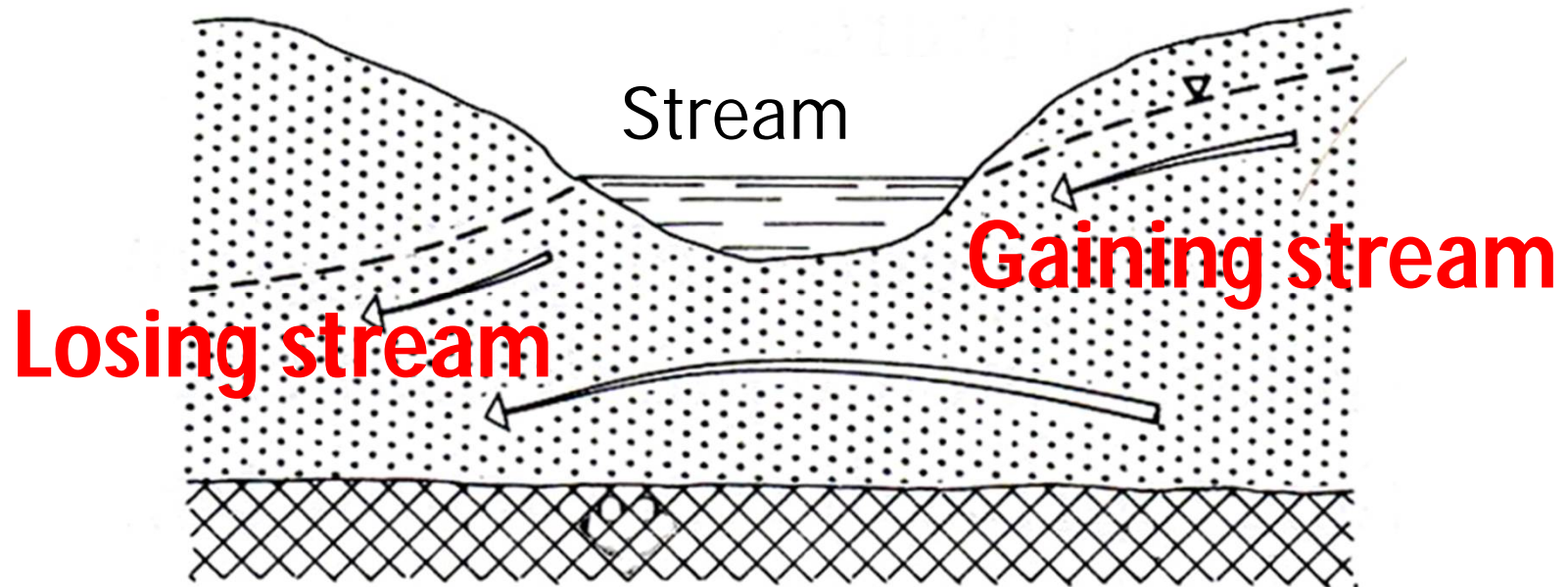
In DEPOSITI ALLUVIONALI sono favoriti scambi con acque superficiali

Relation between surface water and groundwater

Groundwater



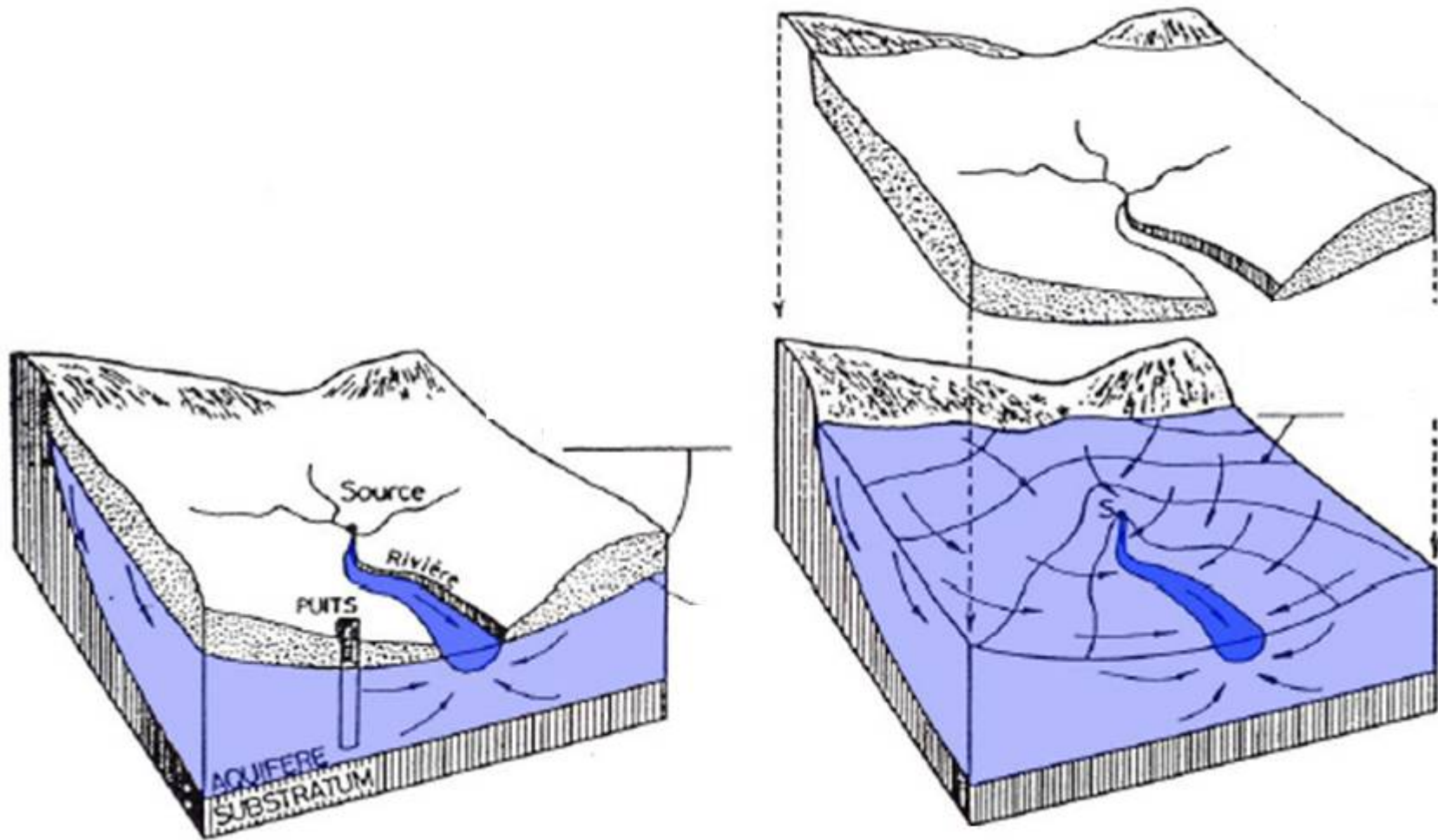
Surface water



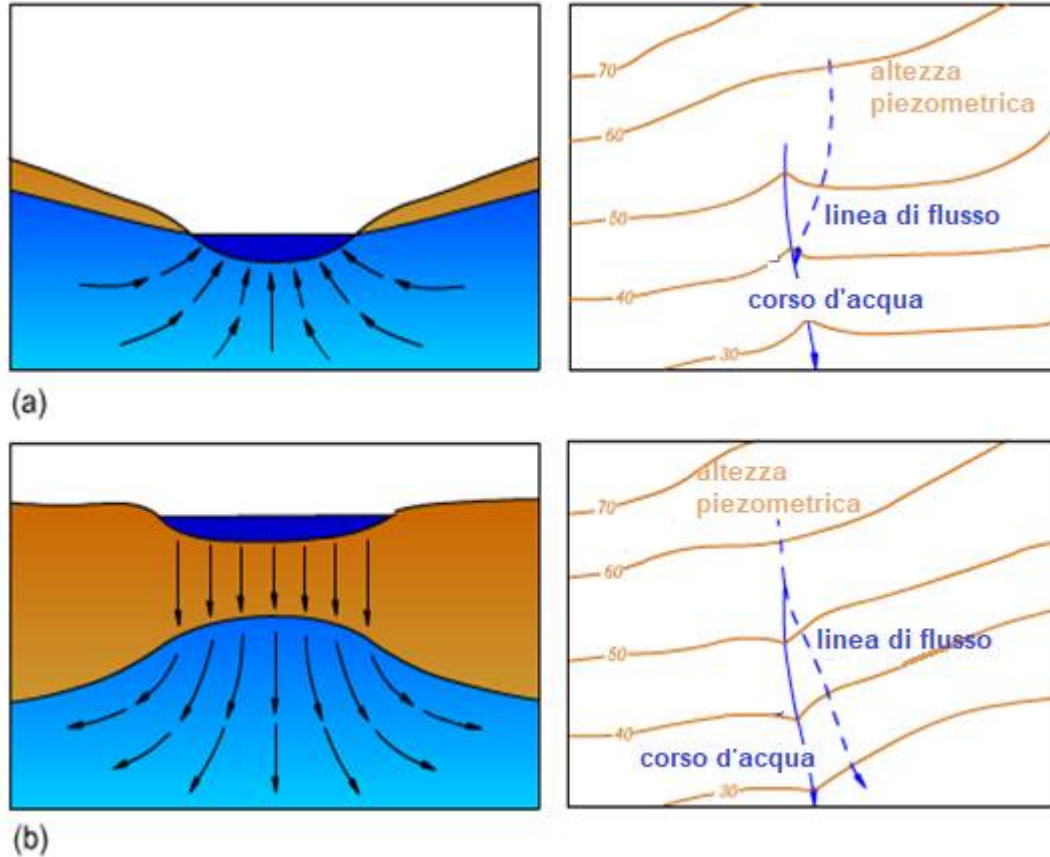
Changing Stream Conditions

Streams can be “gaining streams” along one portion of their length and “losing streams” along another portion, depending upon their relationship to the water table at those points. The beds of many streams are covered by silt and have a low permeability

Fiume alimentato dalla falda



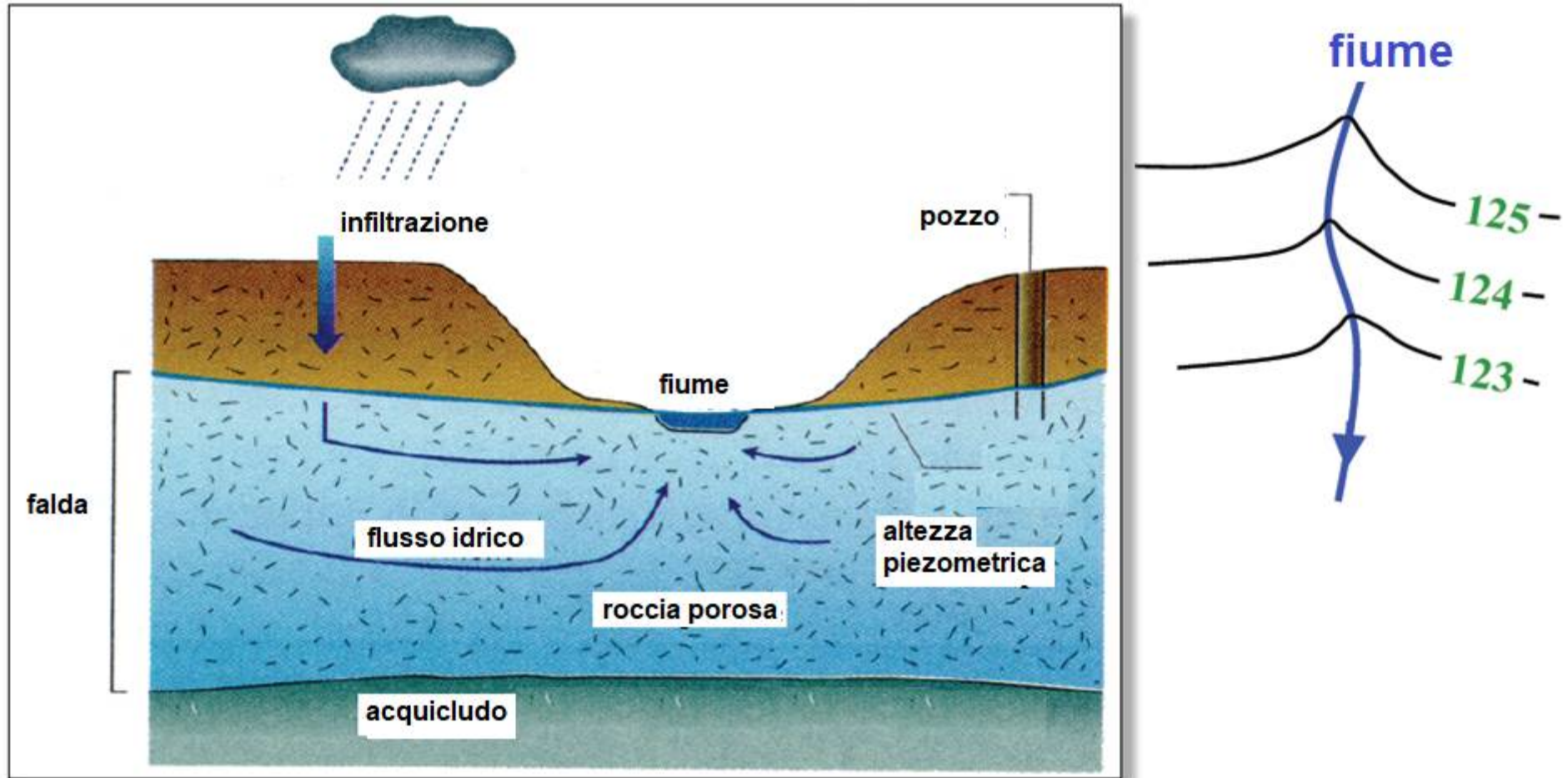
Relazioni falda/corsi d'acqua



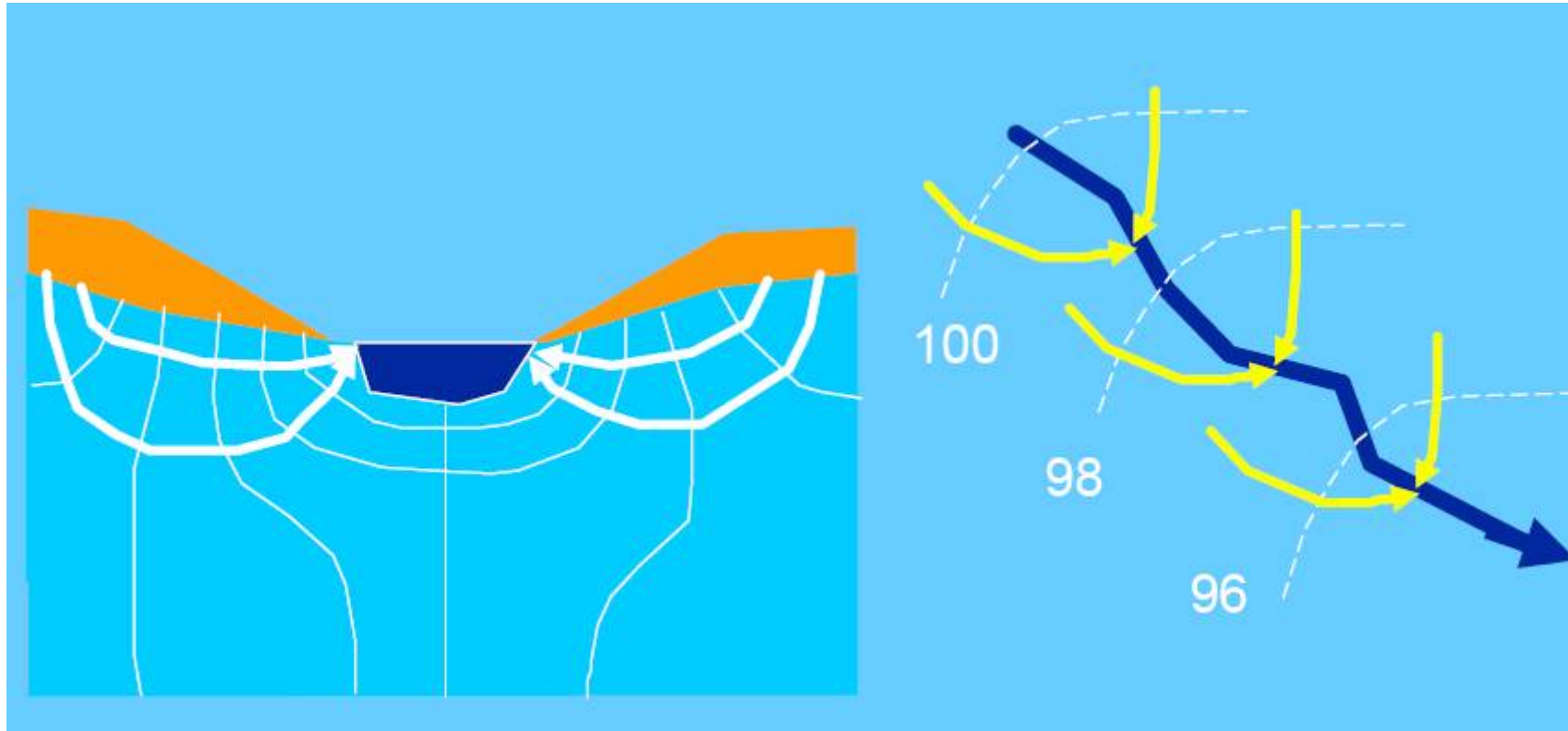
- a) La falda alimenta il fiume
- b) Il fiume alimenta la falda

Relazioni falda/corsi d'acqua

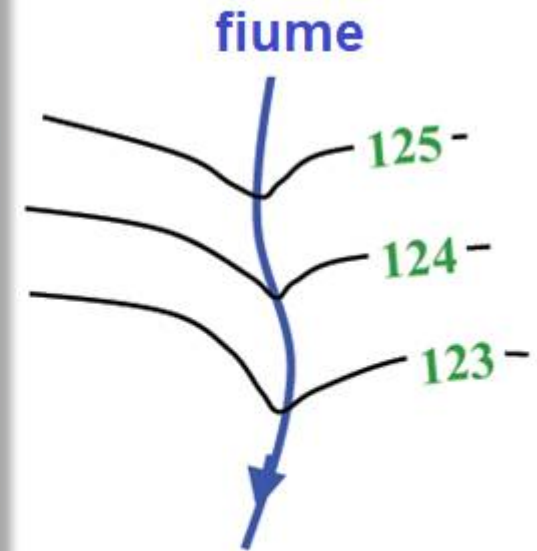
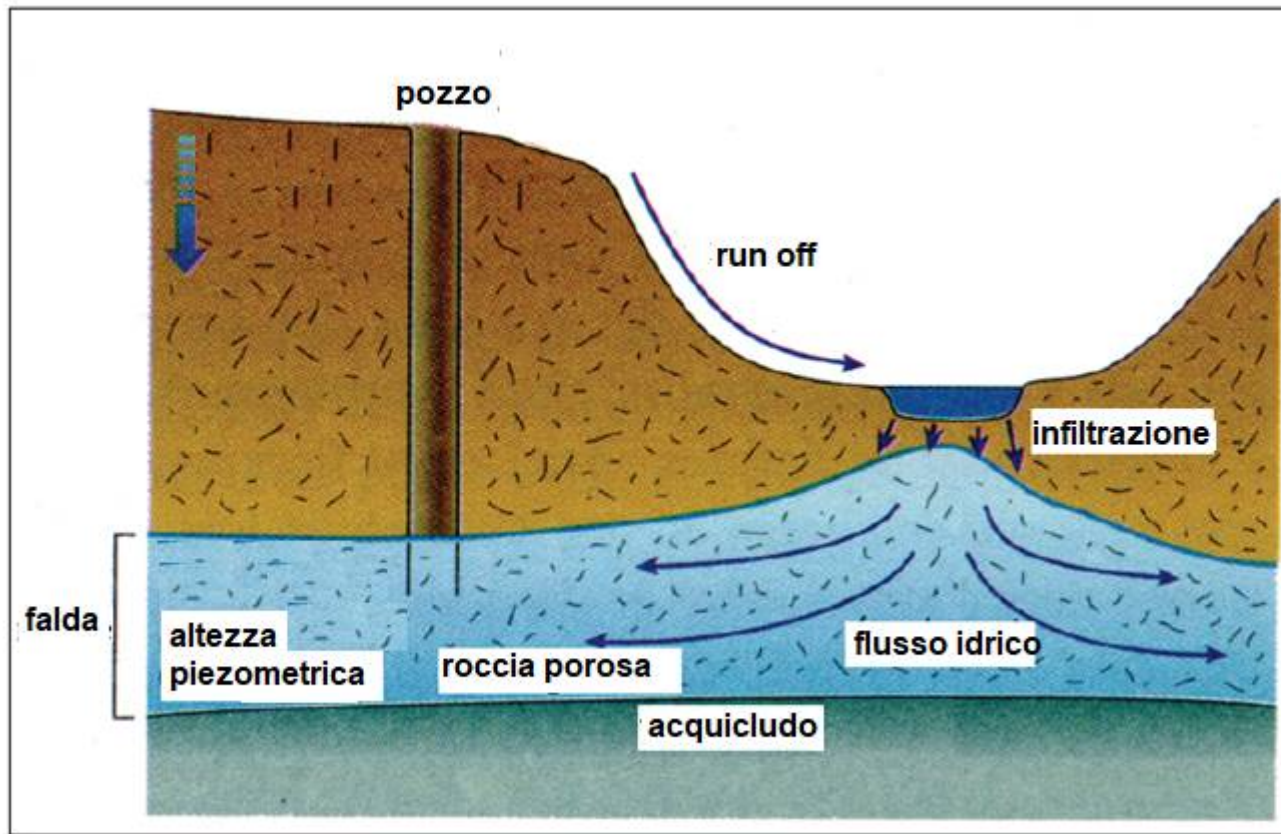
Fiume alimentato dalla falda



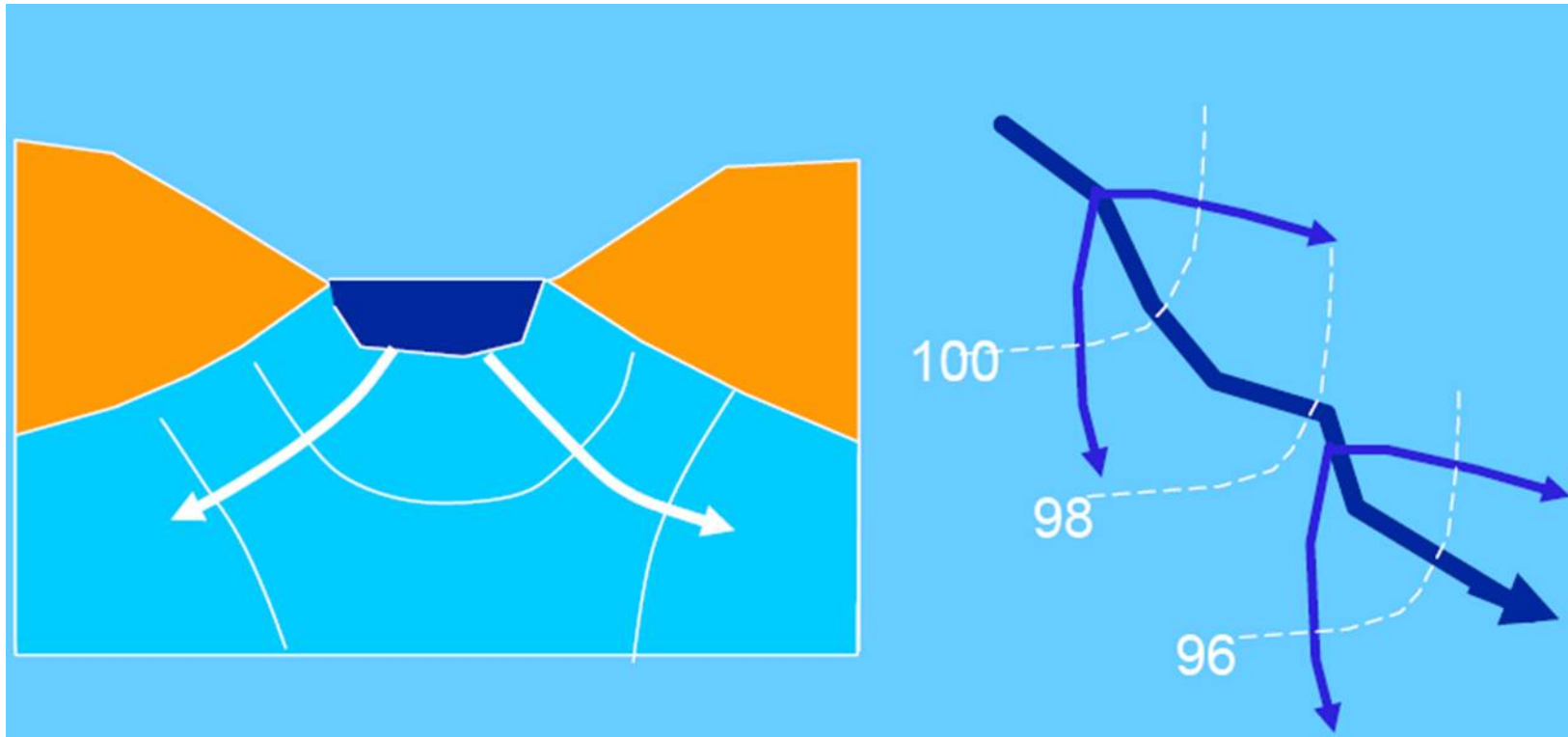
Fiume alimentato dalla falda



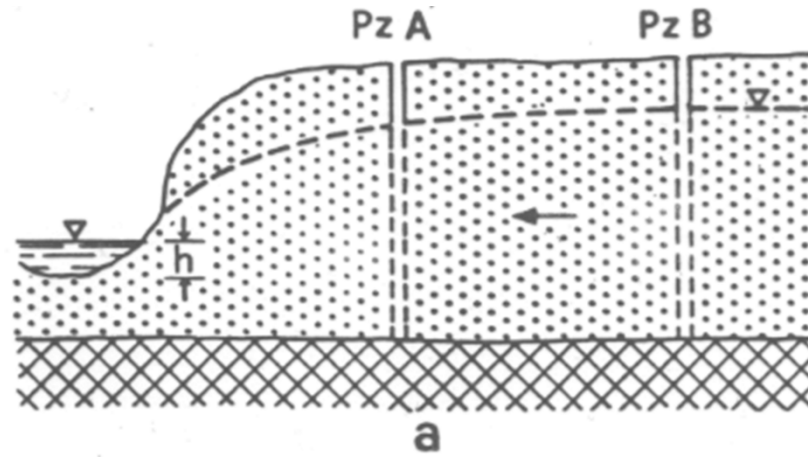
Falda alimentata dal fiume



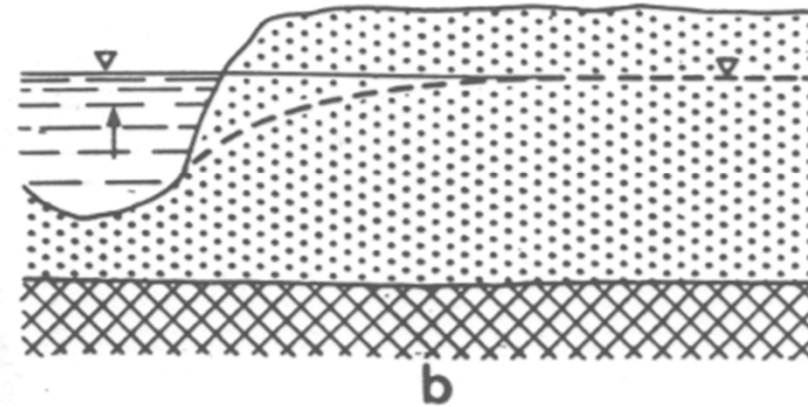
Falda alimentata dal fiume



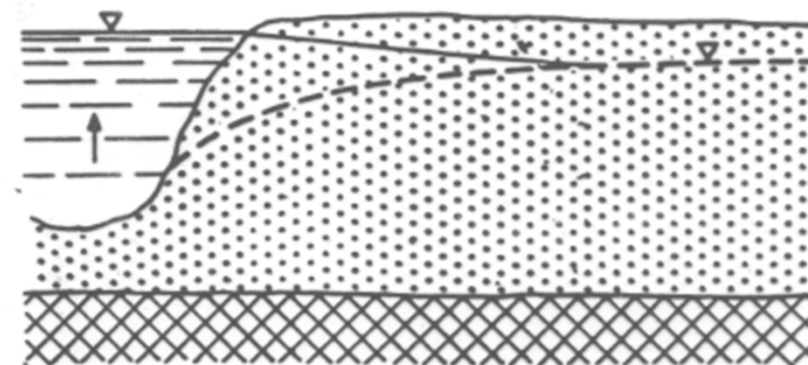
Fiume drenante



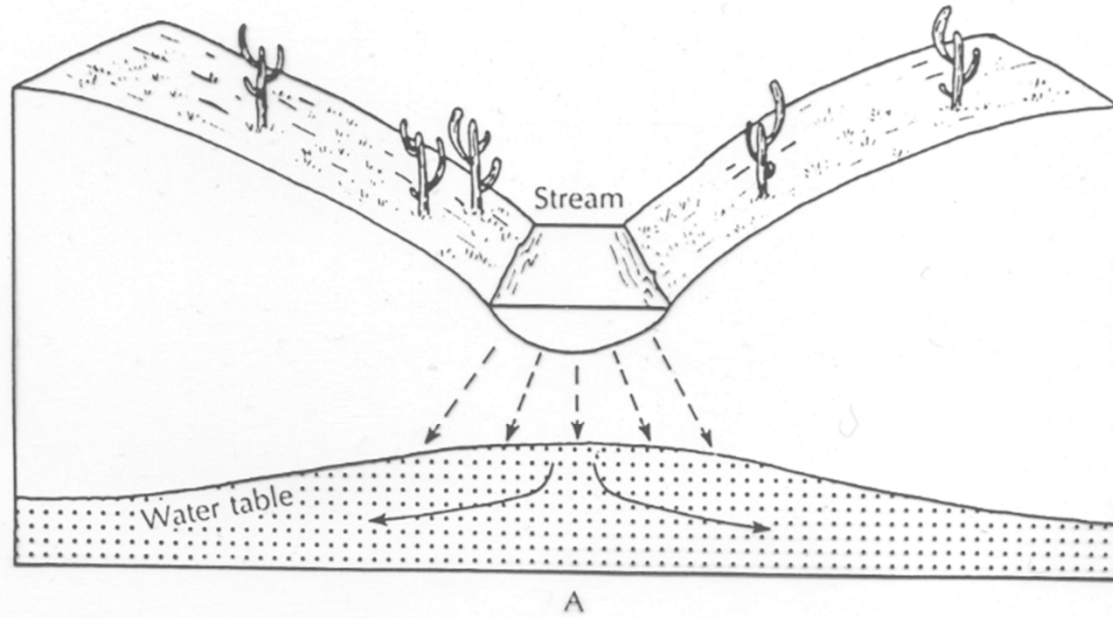
Fiume da drenante a indifferente



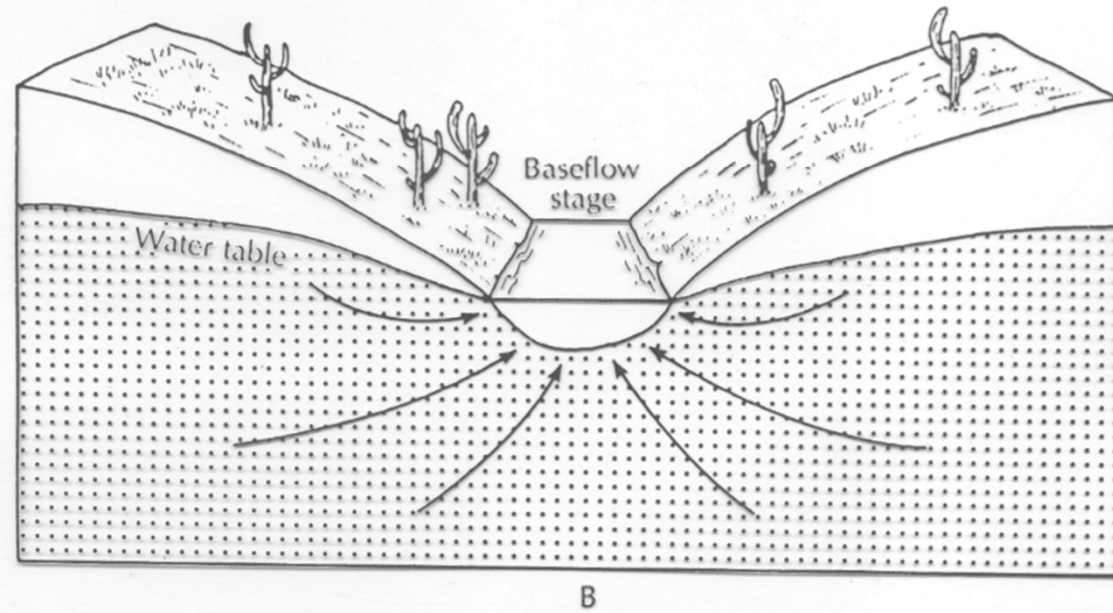
Fiume da drenante ad alimentante



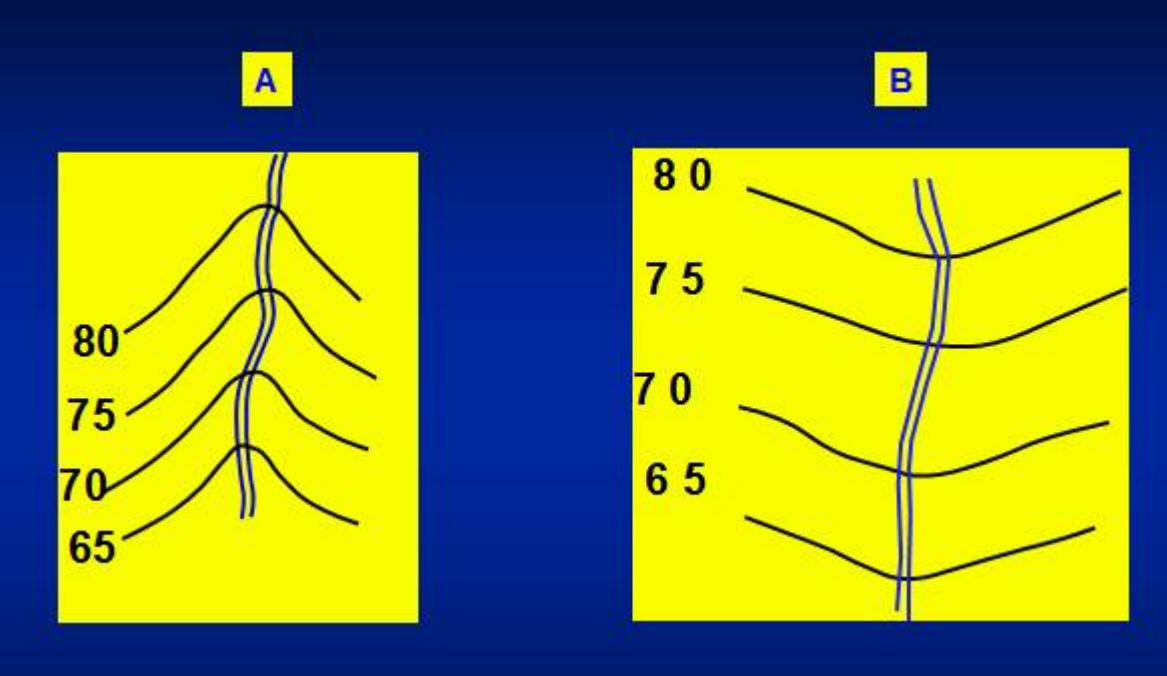
losing stream



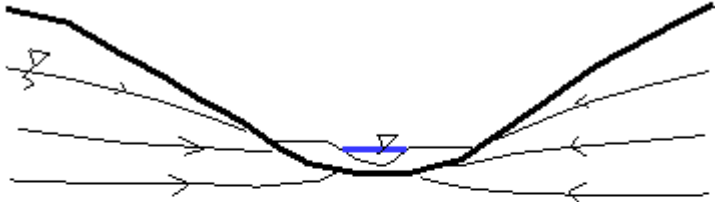
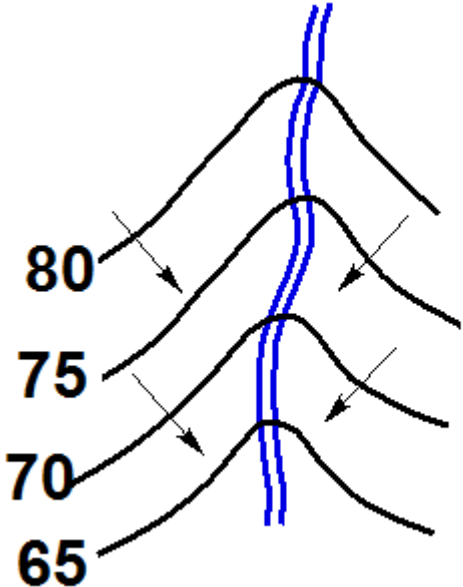
gaining stream



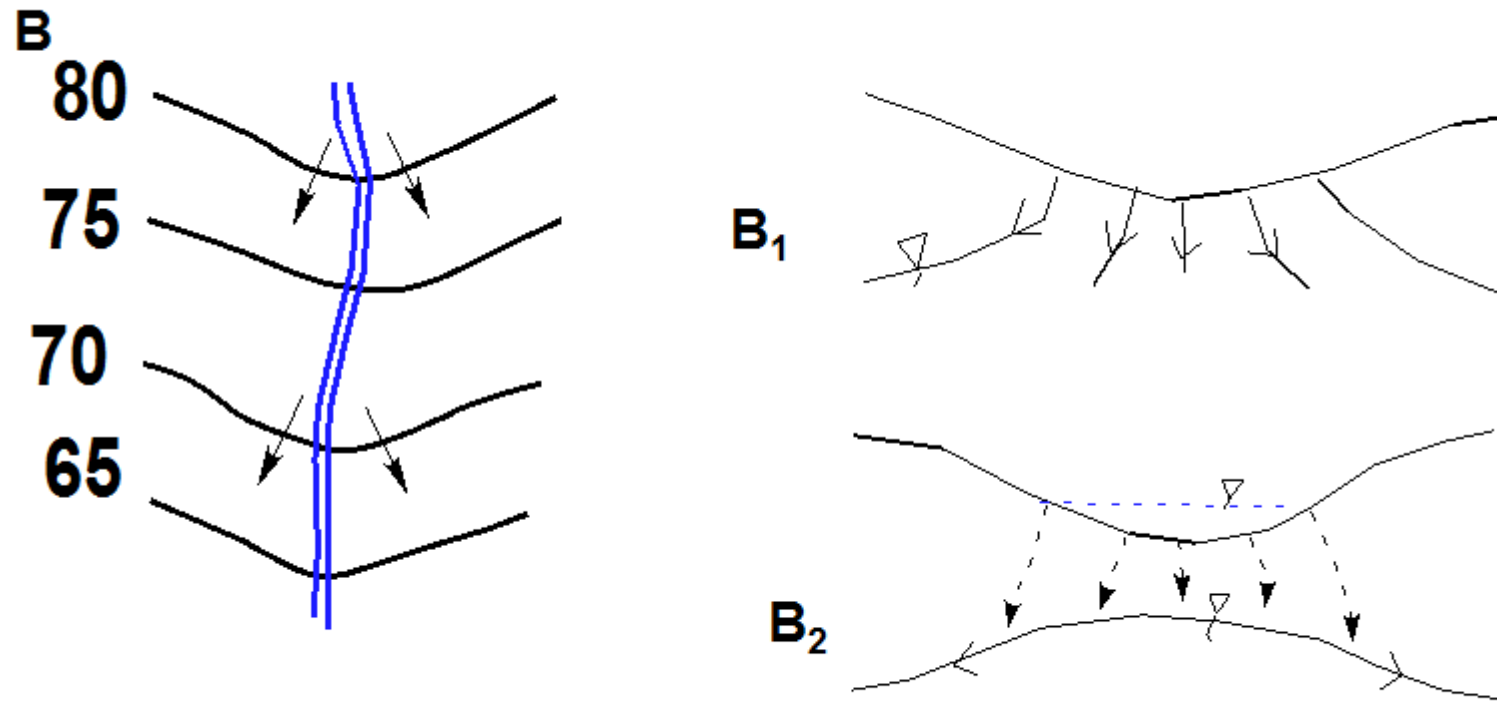
Relazioni falda/corsi d'acqua: esercizio



Relazioni falda/corsi d'acqua: esercizio



Relazioni falda/corsi d'acqua: esercizio

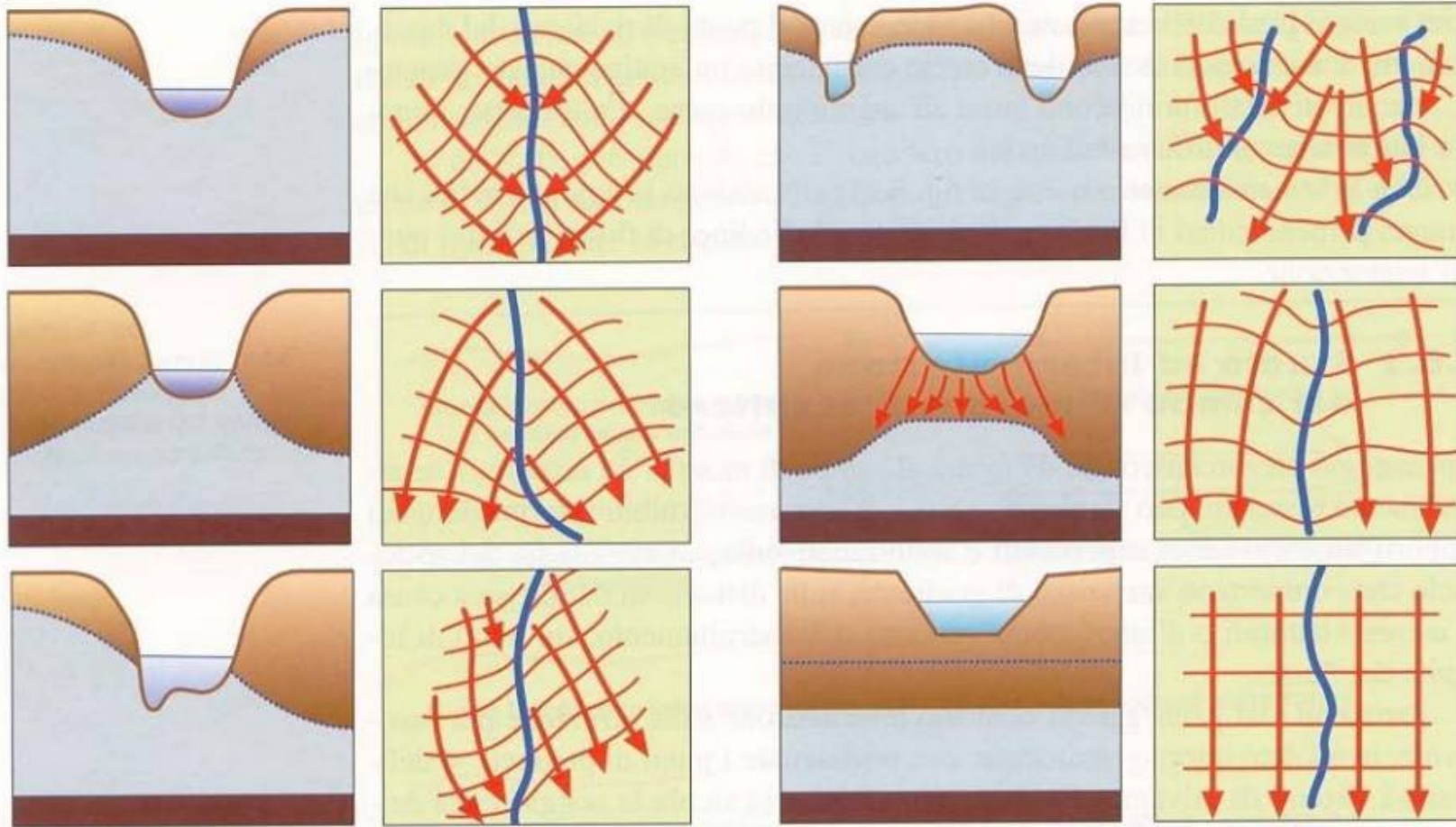


Falda alimentata da un fiume

B₁ : Per infiltrazione diretta (mezzo saturo)

B₂ : Per infiltrazione indiretta (mezzo insaturo)

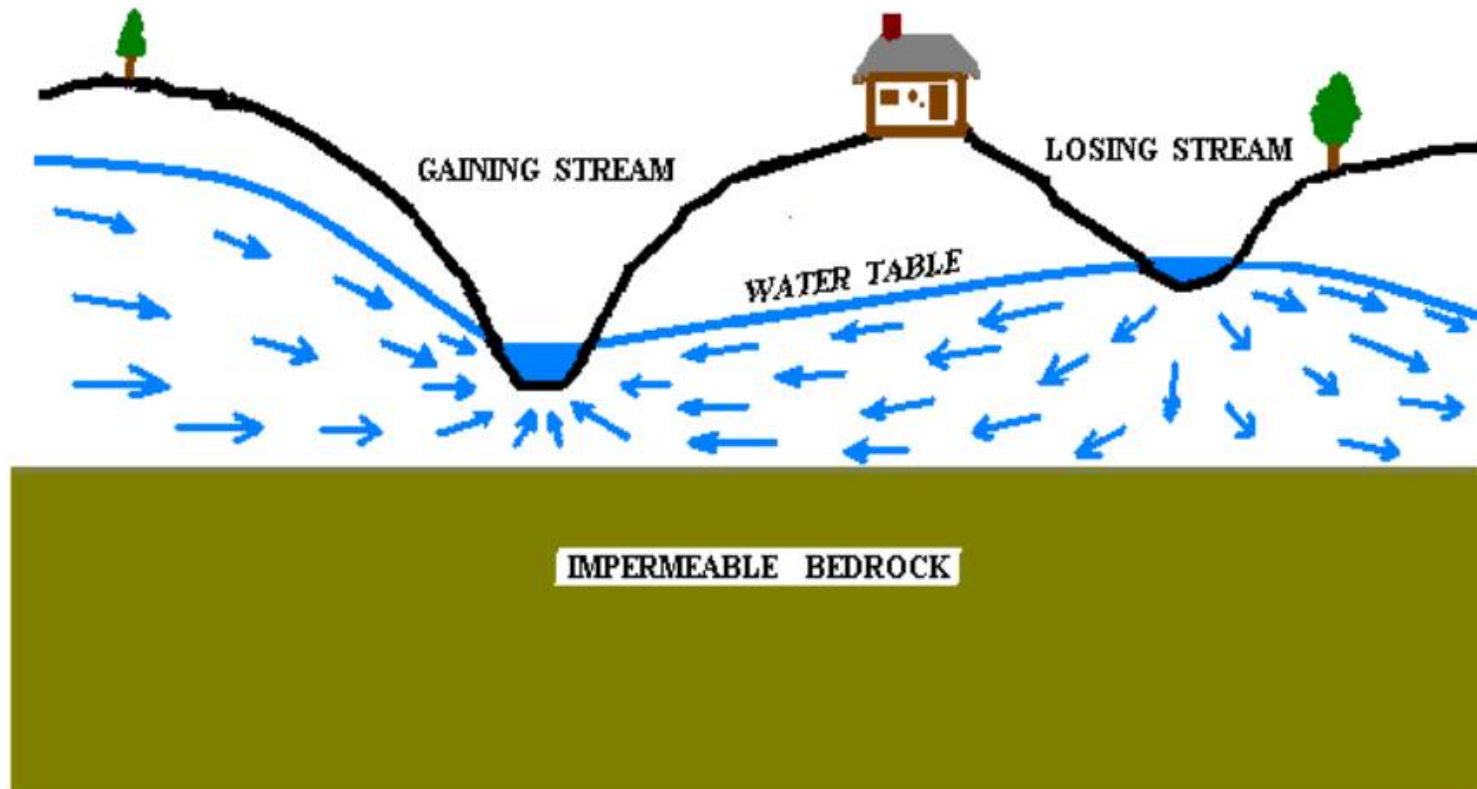
Diversi rapporti fiume-falda

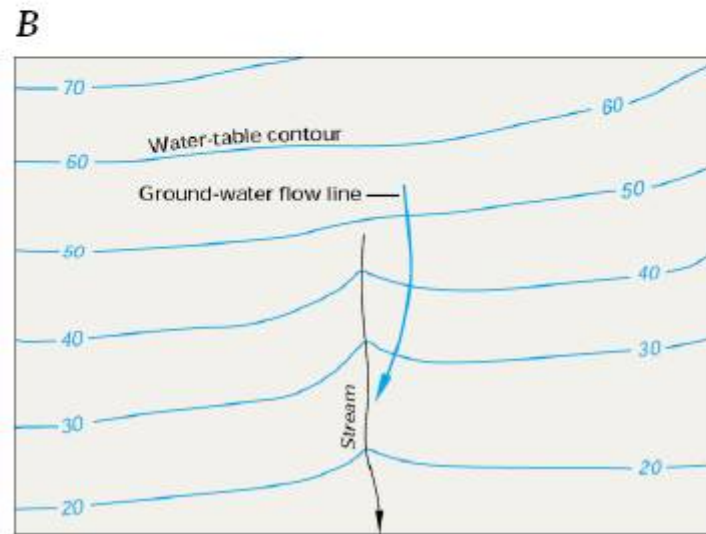
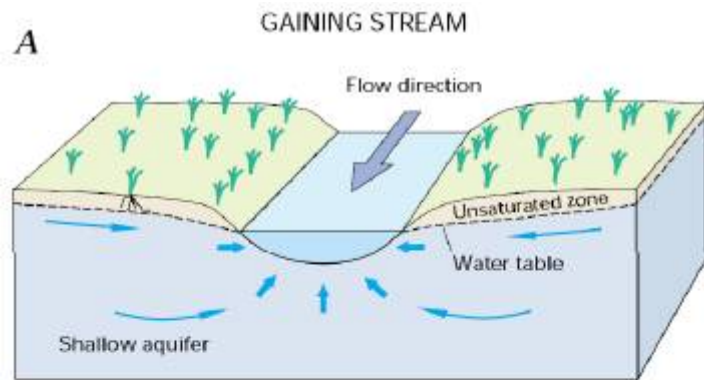


Gaining and Losing Streams

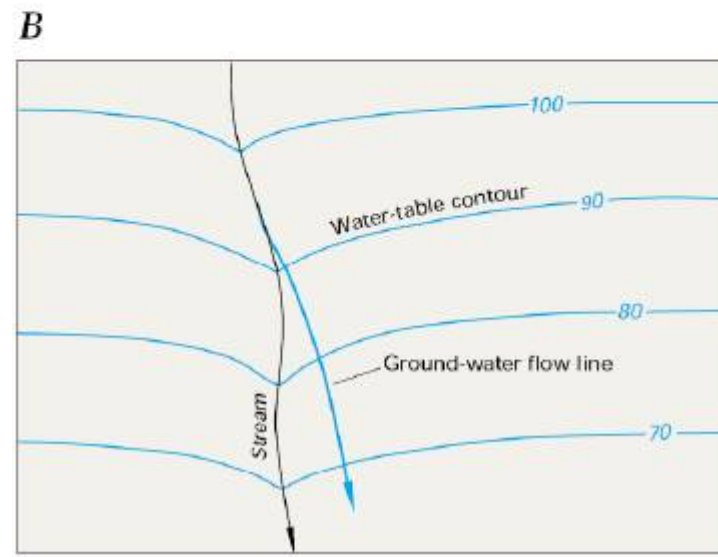
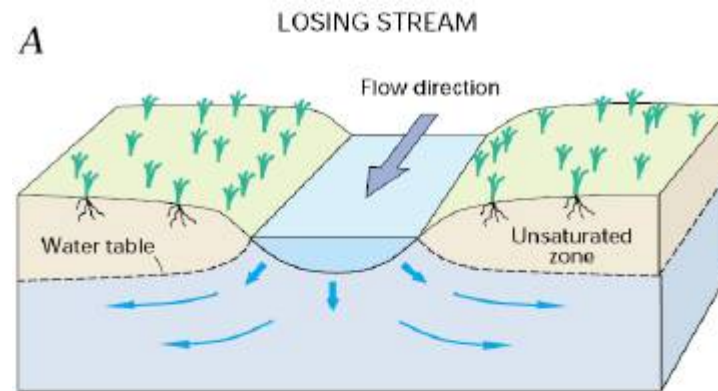
- Gaining Streams: Most streams in humid environments receive contributions from groundwater throughout their lengths. Groundwater “always” seeps into the stream, as the surface of the stream is consistently at a lower elevation than the water table.
- Losing Streams: Water can move from the stream into the ground if the water table is at a lower elevation than the surface of the stream.

Gaining and Losing Streams



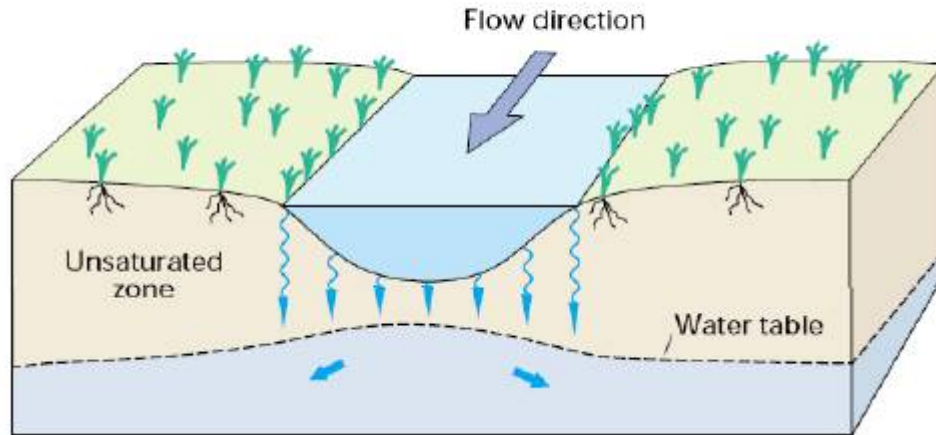


Gaining streams receive water from the groundwater system A) This can be determined from watertable contour maps because the contour lines point in the upstream direction where they cross the stream (B).



Losing streams lose water to the groundwater system A). This can be determined from water table contour maps because the contour lines point in the downstream direction where they cross the stream (B).

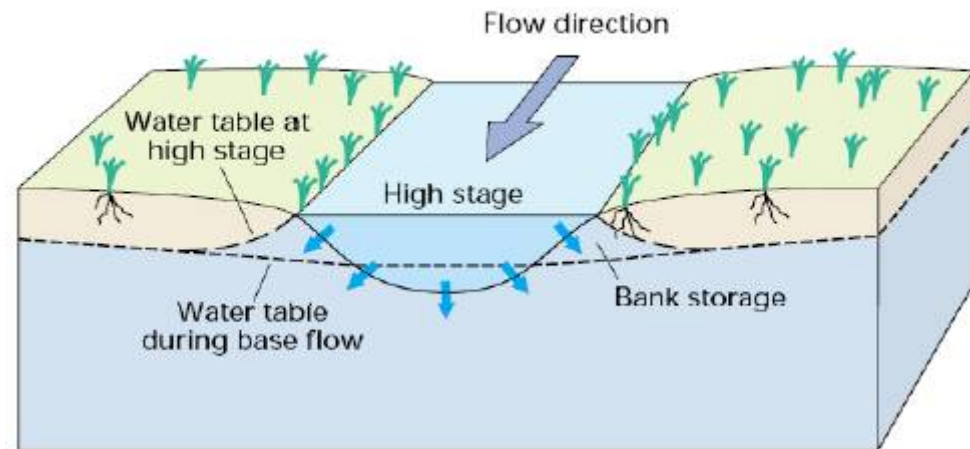
DISCONNECTED STREAM

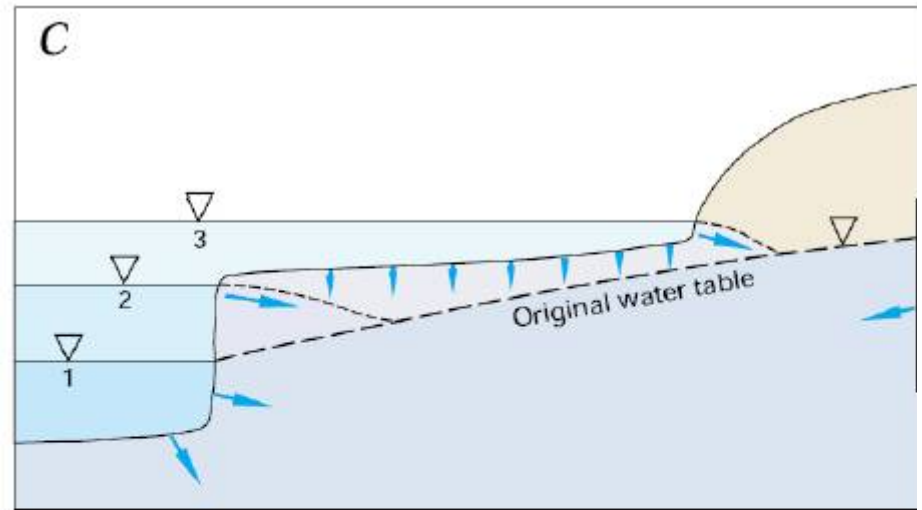
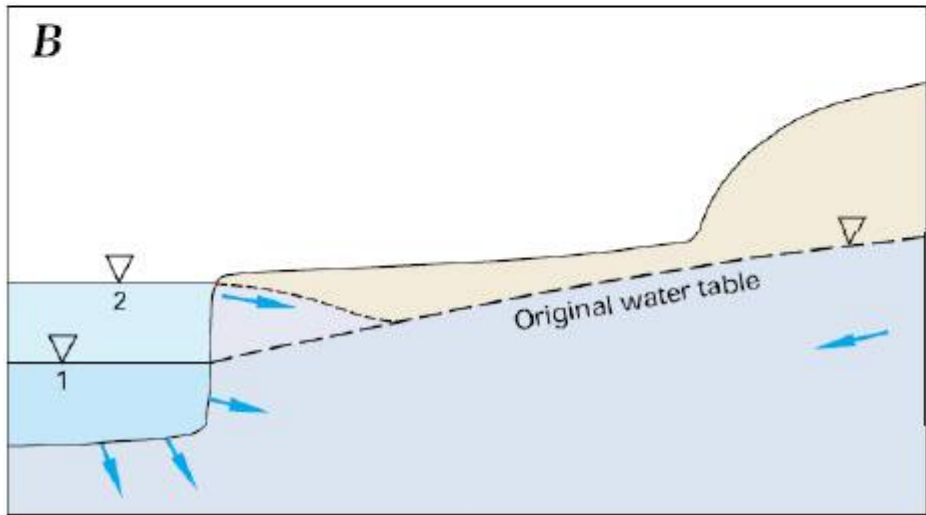
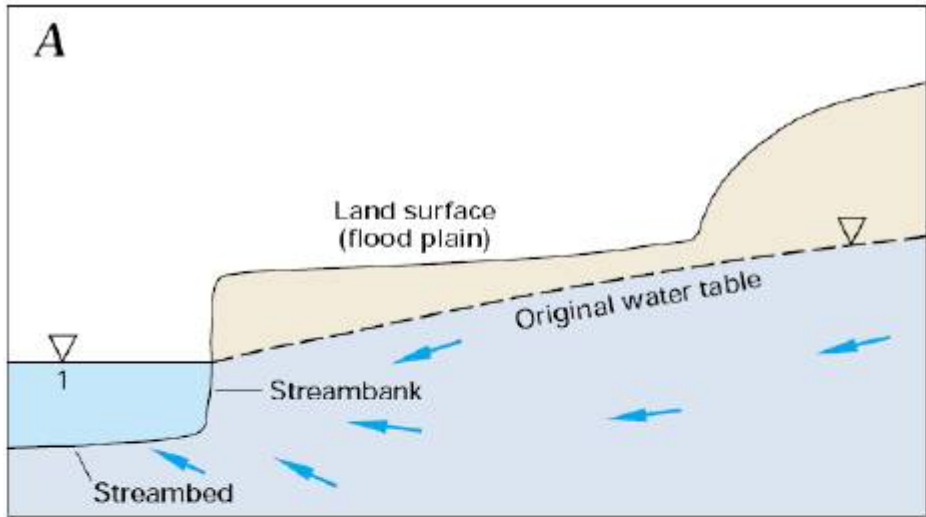


Disconnected streams are separated from the groundwater system by an unsaturated zone.

If stream levels rise higher than adjacent groundwater levels, stream water moves into the streambanks as bank storage.

BANK STORAGE



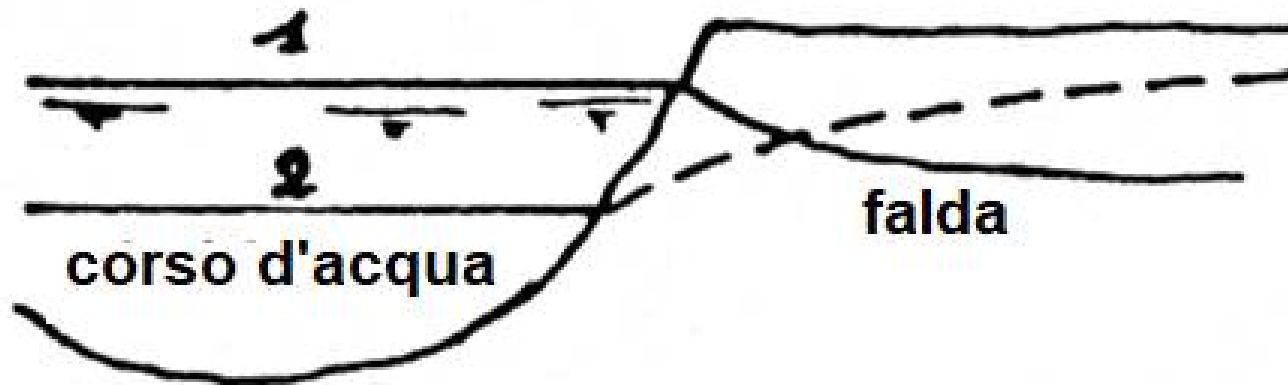


EXPLANATION

- ▽ 1 2 3 Sequential stream stages
- Approximate direction of groundwater flow or recharge through the unsaturated zone

If stream levels rise higher than their streambanks (C), the floodwaters recharge groundwater throughout the flooded areas

Variazioni stagionali delle relazioni fiume/falda
1-Acque alte ; 2-Acque basse

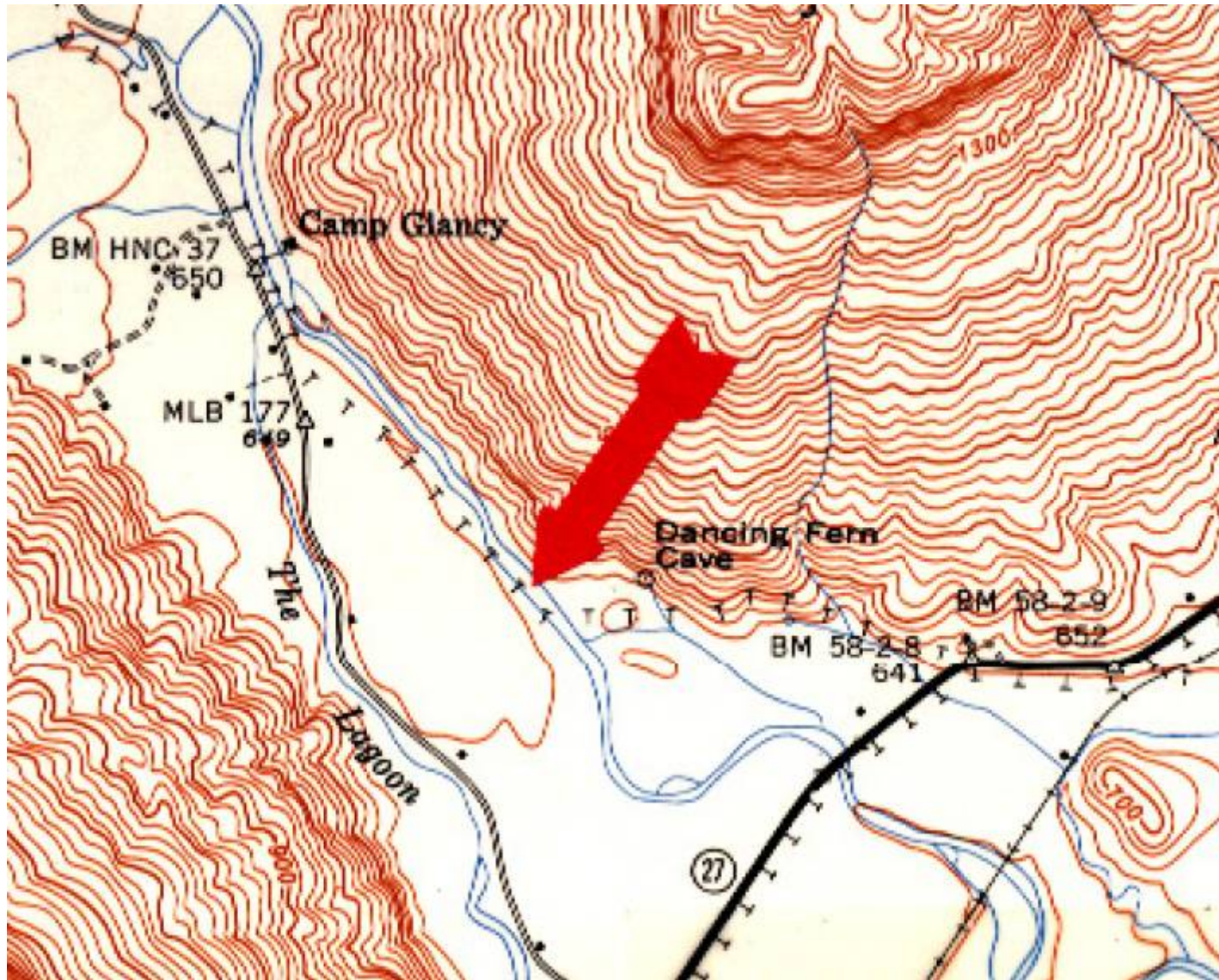


un corso d'acqua può essere alimentato dalla falda in un certo periodo dell'anno, durante il quale drena l'acquifero, mentre in un altro periodo può alimentare la falda, invertendo quindi il flusso delle acque

Examples of Losing Stream Conditions

- ❑ A rainfall event, flood condition, or manmade discharge can cause the surface of a stream to rise above the elevation of the water table and force water in the stream into the groundwater system.
- ❑ An active water supply well can locally lower the water table and attract the stream water into the groundwater system.

Gaining stream

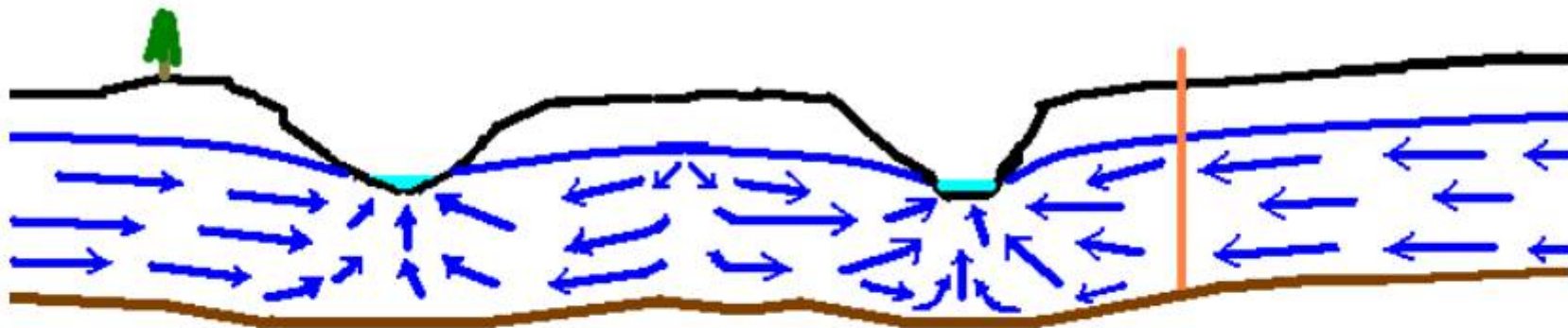


Losing stream



Conversion of streams from gaining to losing caused by high stream flow and well activity

"TYPICAL" CONDITIONS WITH AN INACTIVE SUPPLY WELL



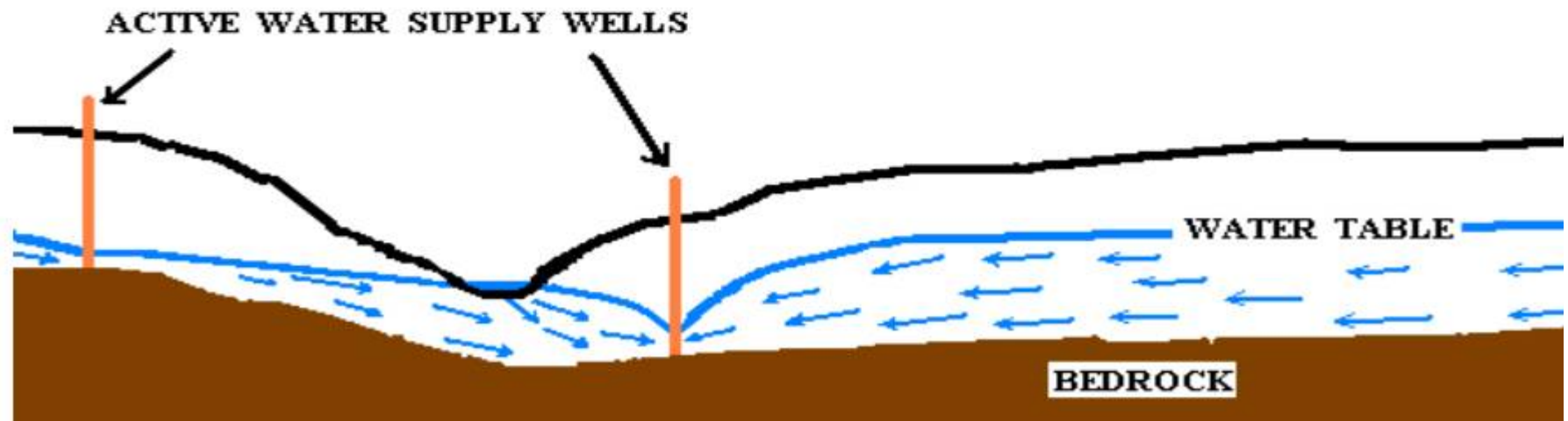
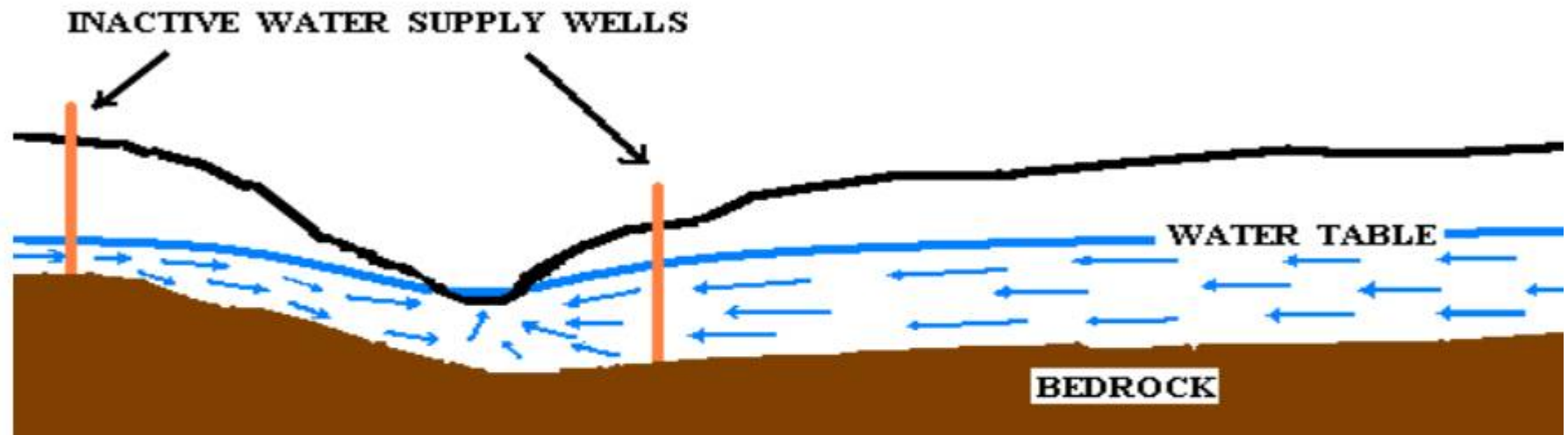
HIGH STREAM FLOW AND AN ACTIVE SUPPLY WELL



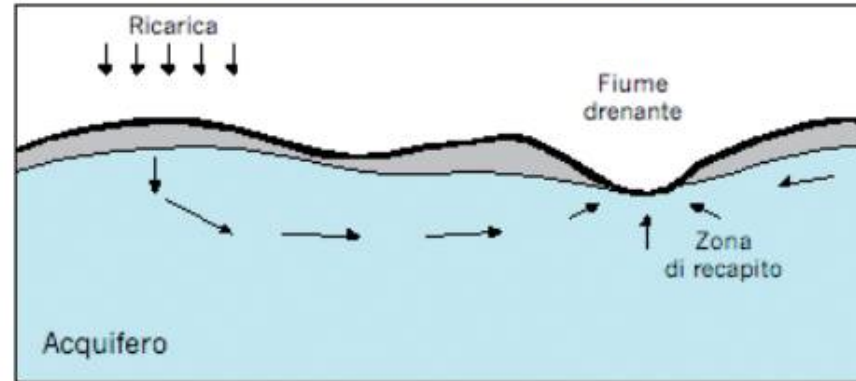
Influence of an Active Well

- ❑ The activity of a water supply well can attract water from a “losing stream”, or even force a “gaining stream” behave as a “losing stream”, by locally lowering the water table which is feeding that stream. This is known as “induced infiltration”.
- ❑ The “strength” of a well’s influence on the stream, and the amount of water it will draw from it, is a function of the pumping rate of the well, the frequency and duration of its pumping episodes, the distance the well is located from the stream, the properties of the streambed and aquifer, the presence of bedrock fractures that are in hydraulic communication with the stream (if the well is a bedrock well), and the amount of ground water being furnished to the well from sources other than the stream.

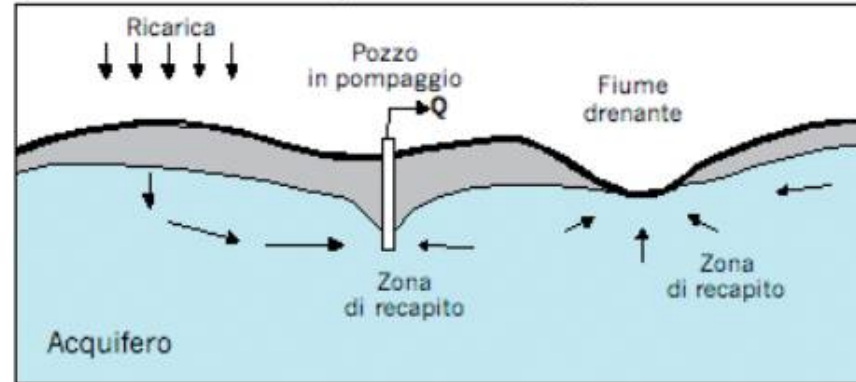
INDUCING THE INFILTRATION OF STREAM WATER BY PUMPING A SHALLOW WATER SUPPLY WELL



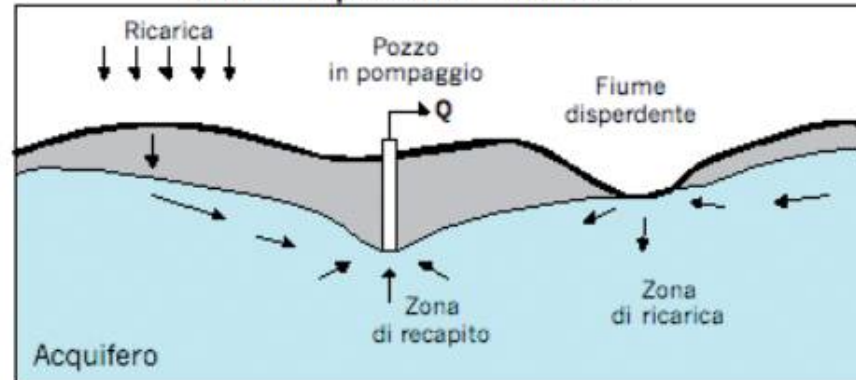
Situazione precedente al pompaggio



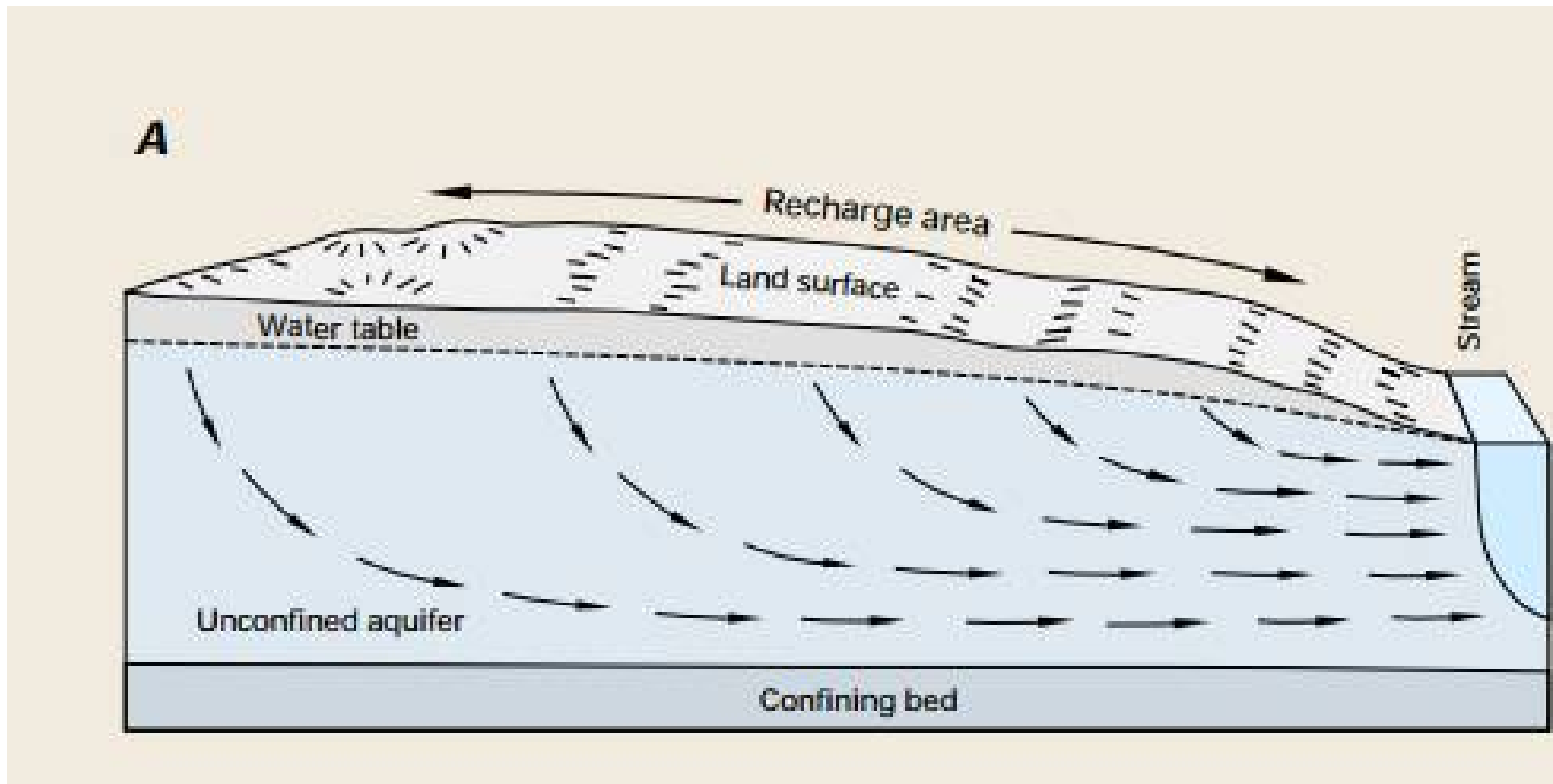
Cono di depressione in allargamento



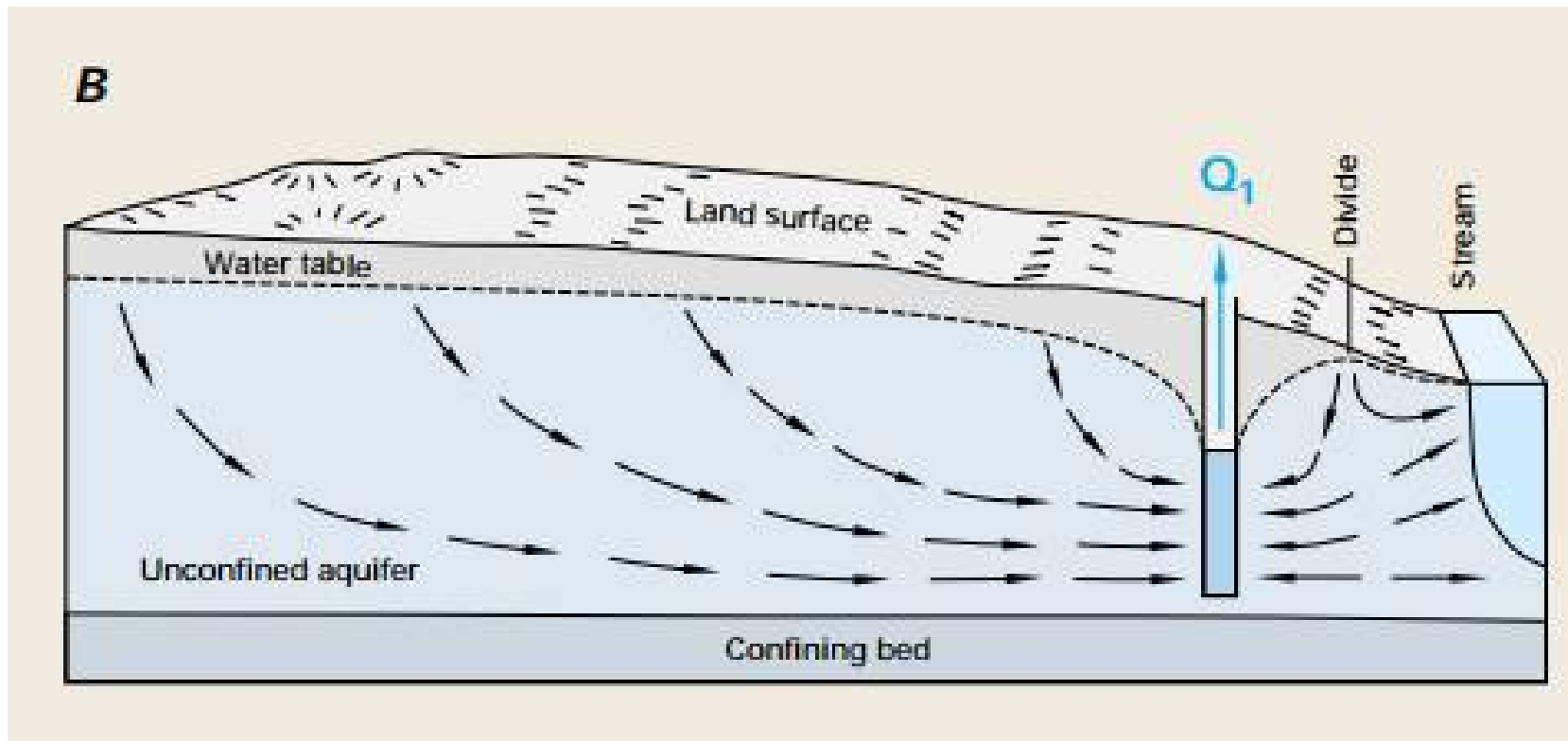
Cono di depressione stabilizzato



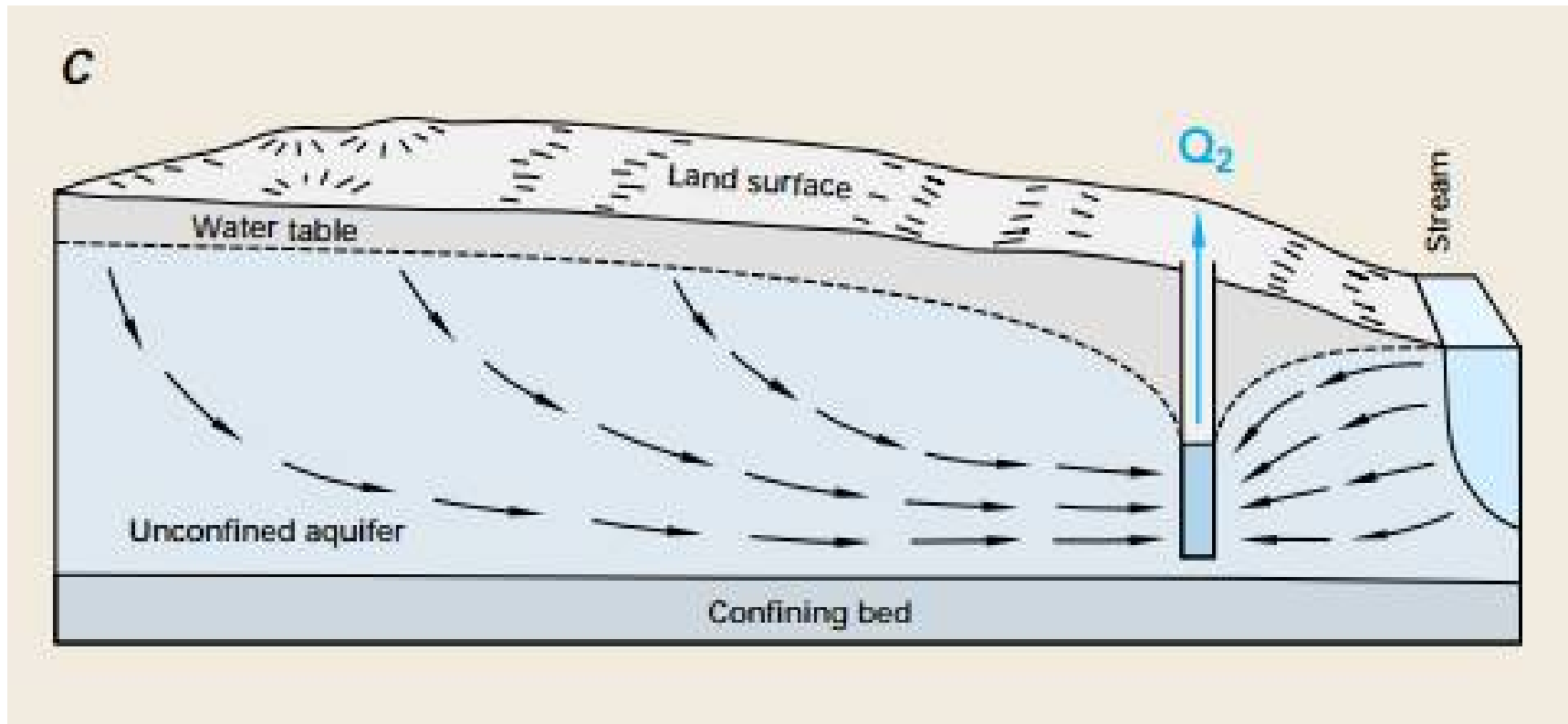
In a schematic hydrologic setting where groundwater discharges to a stream under natural conditions (A)



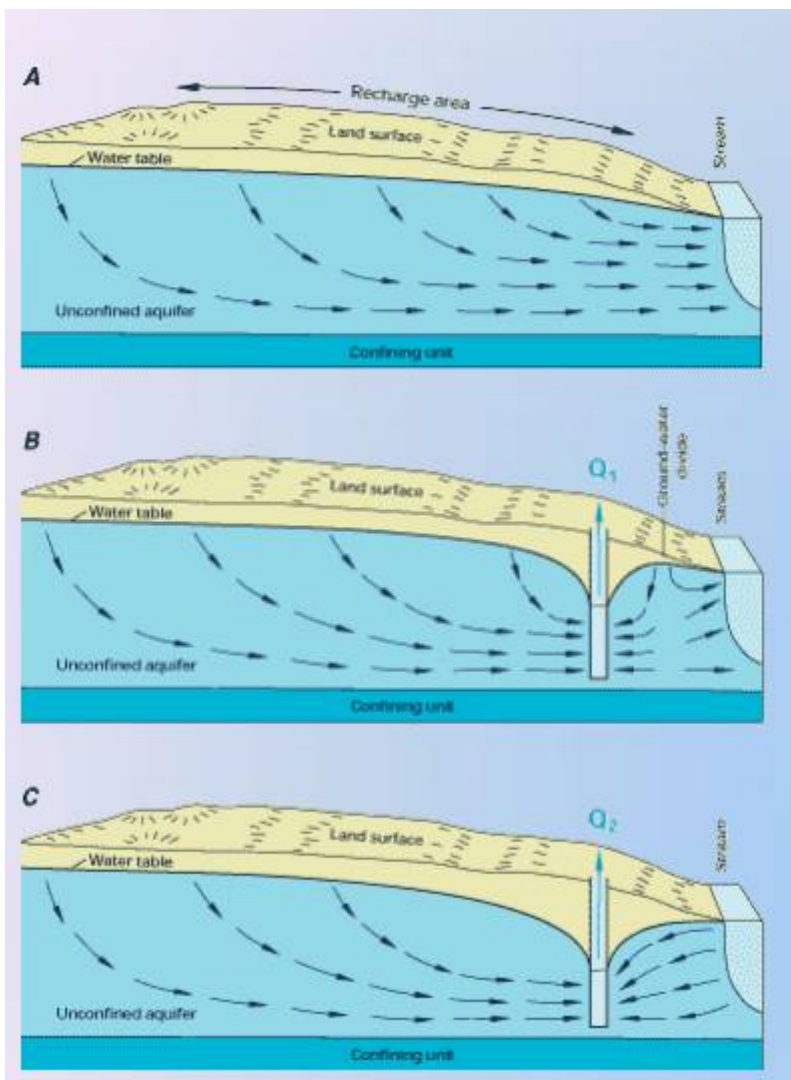
Placement of a well pumping at a rate (Q_1) near the stream will intercept part of the groundwater that would have discharged to the stream (B).



If the well is pumped at an even greater rate (Q_2), it can intercept additional water that would have discharged to the stream in the vicinity of the well and can draw water from the stream to the well (C).



Relazione tra la falda e un pozzo in funzione



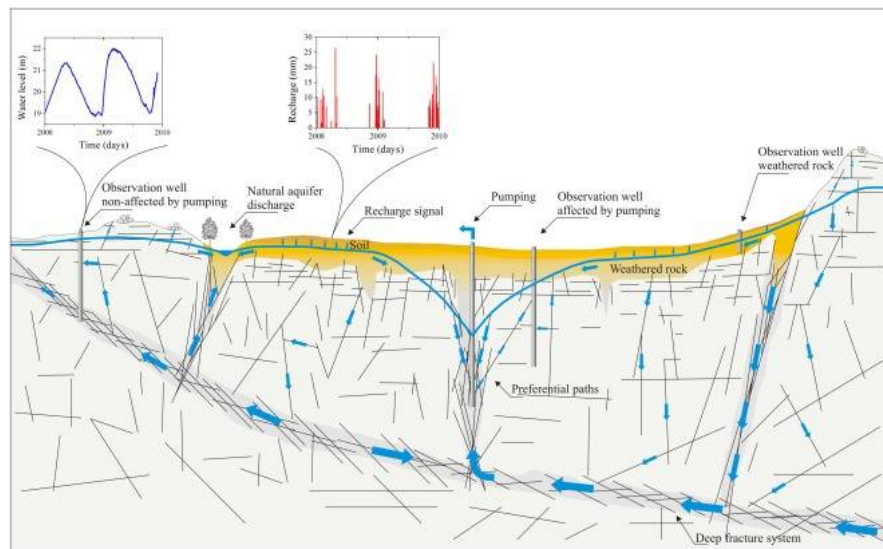
L'acqua meteorica che cade sull'area di ricarica, si infiltra ad alimentare la falda freatica e poi si dirige al fiume con percorsi sotterranei.

Se il pozzo pompa con una portata continua, il flusso sotterraneo si modifica e solo la parte di falda che si trova a destra dello spartiacque sotterraneo viene drenata dal fiume.

Nel caso in cui la portata del pozzo sia superiore, allora verrà emunta anche acqua dal fiume.

Geologic Factors

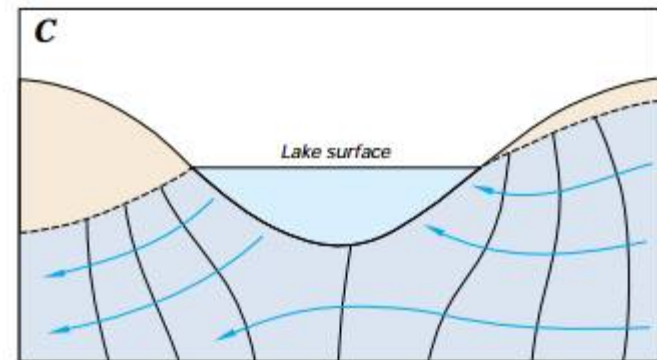
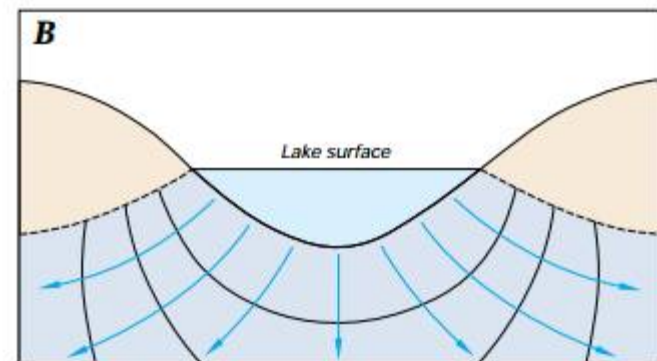
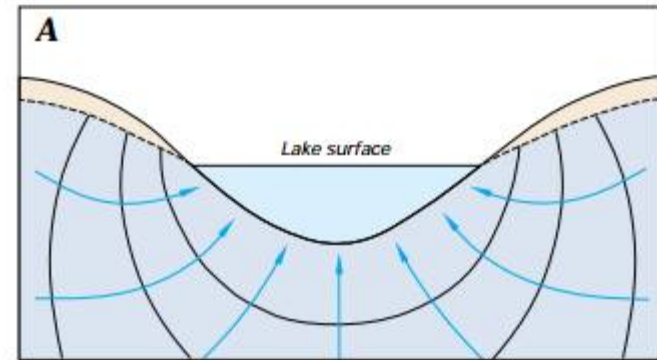
When bedrock wells are involved, the presence and configuration of the fractures within the bedrock can serve to “pipe” ground water to (and from) the stream. Geologic faults and contact zones often offer preferential paths for the transmission of groundwater towards (and away from) local streams.



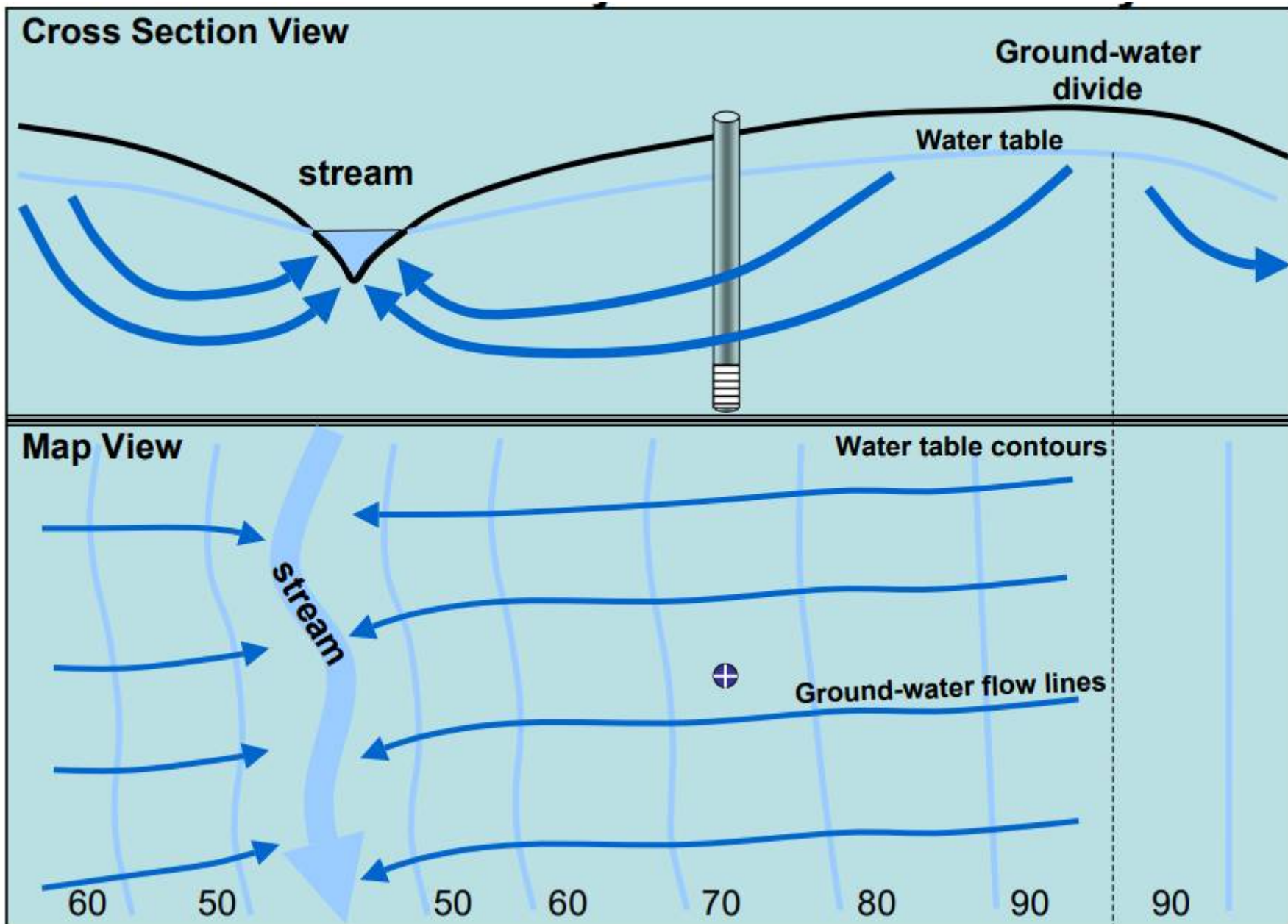
INTERACTION OF GROUND WATER AND LAKES

Lakes interact with ground water in three basic ways: some receive groundwater inflow throughout their entire bed; some have seepage loss to ground water throughout their entire bed; but perhaps most lakes receive groundwater inflow through part of their bed and have seepage loss to ground water through other parts. Although these basic interactions are the same for lakes as they are for streams, the interactions differ in several ways.

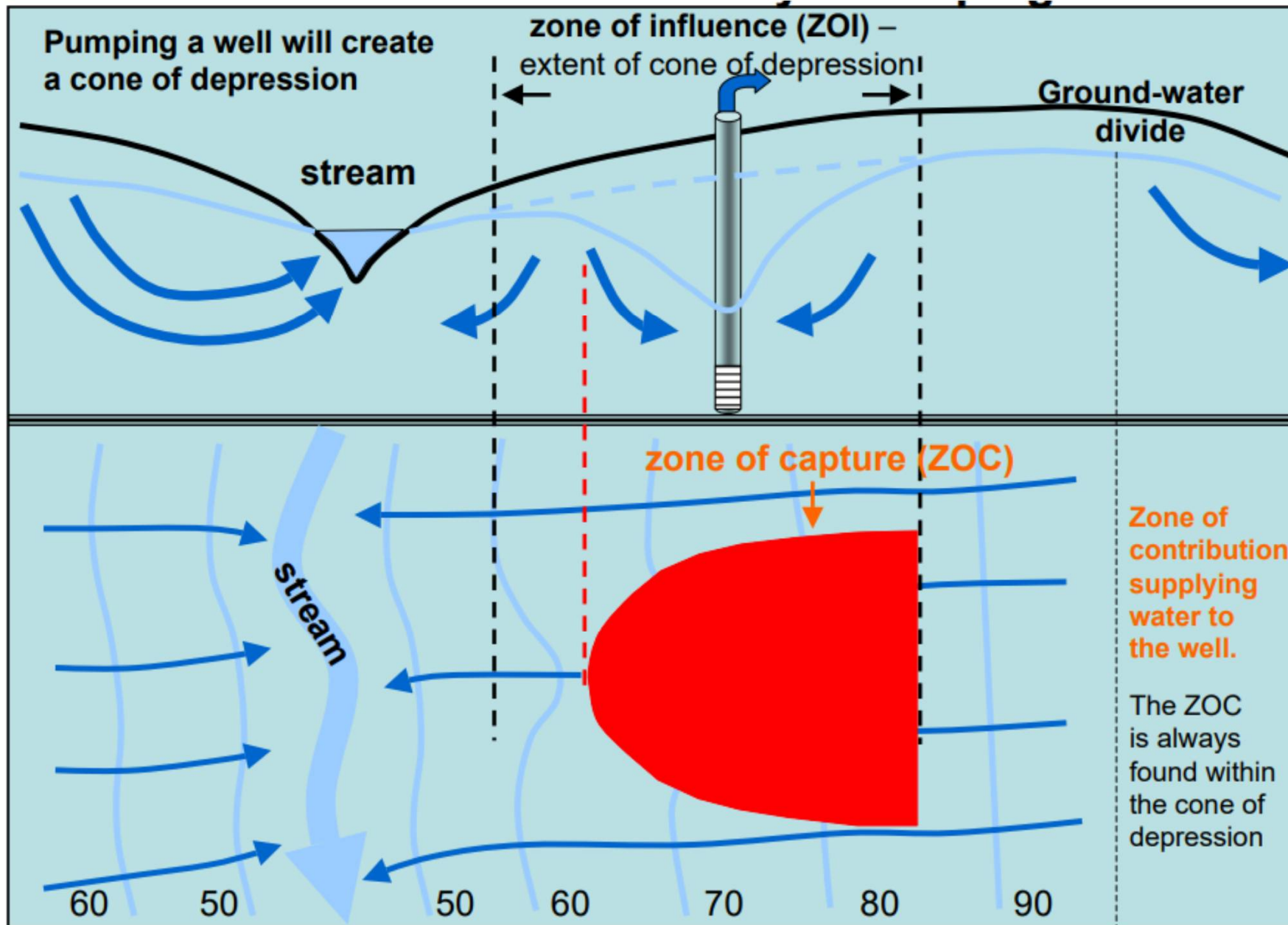
Lakes can receive ground-water inflow (A), lose water as seepage to ground water (B), or both



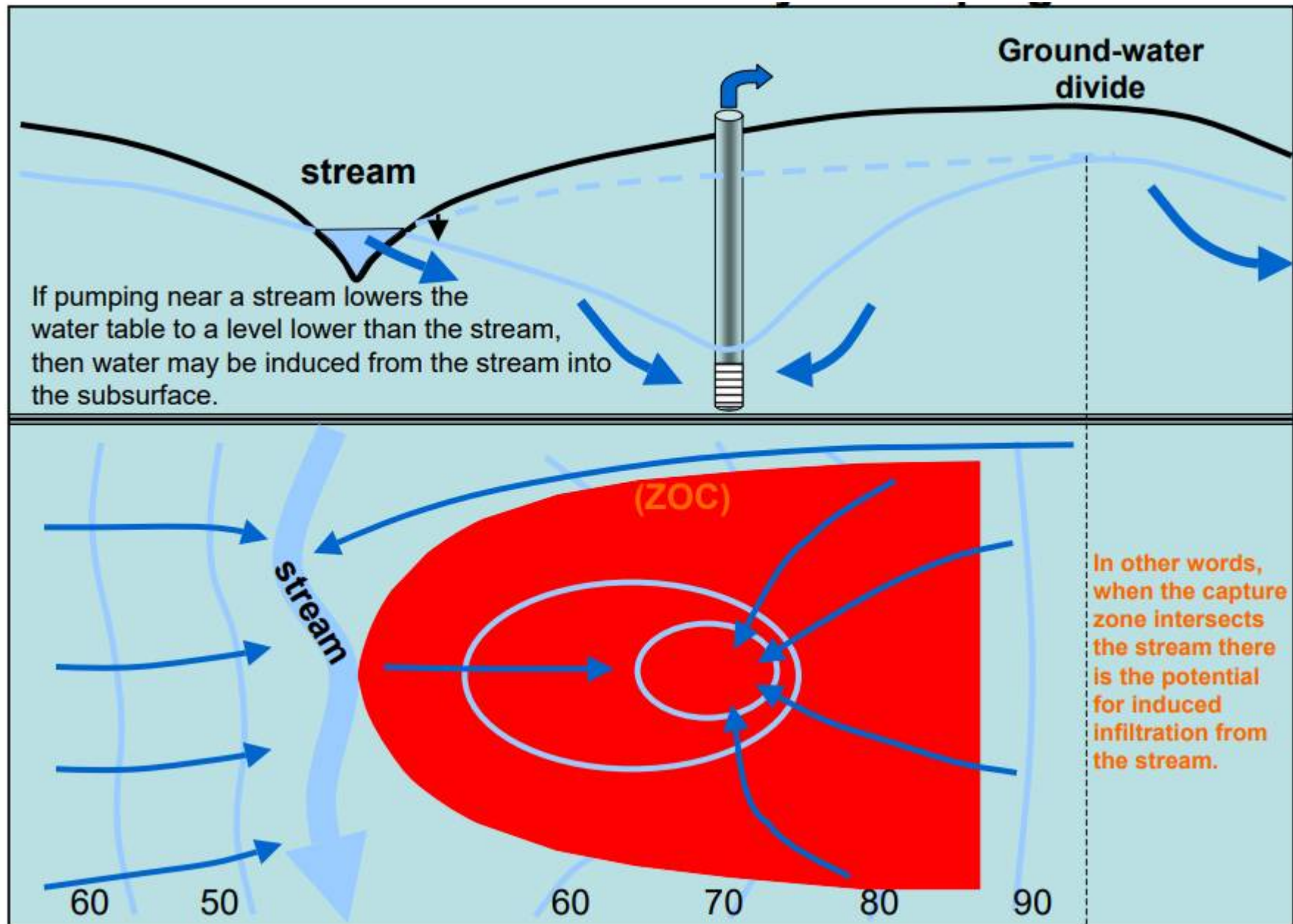
Ground-Water Flow System in a Stream Valley



Ground-Water Flow Affected by a Pumping Well



Ground-Water Flow Affected by a Pumping Well

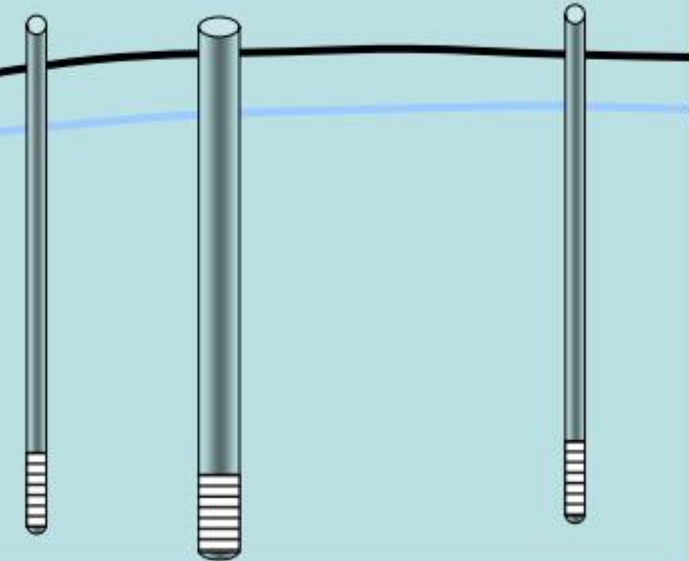


Aquifer Test: Quantifying the Hydraulic Characteristics

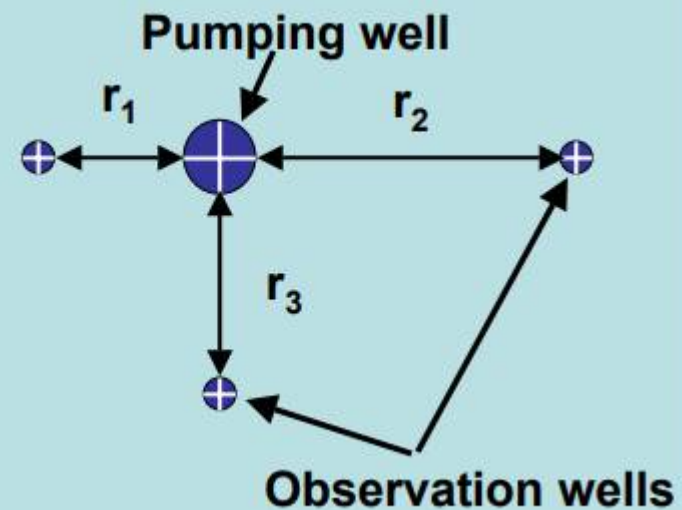
Q: Is there a way to predict if the capture zone will intersect the stream?

A: The best way is to quantify the transmissivity and storativity (T and S) by performing an aquifer test.

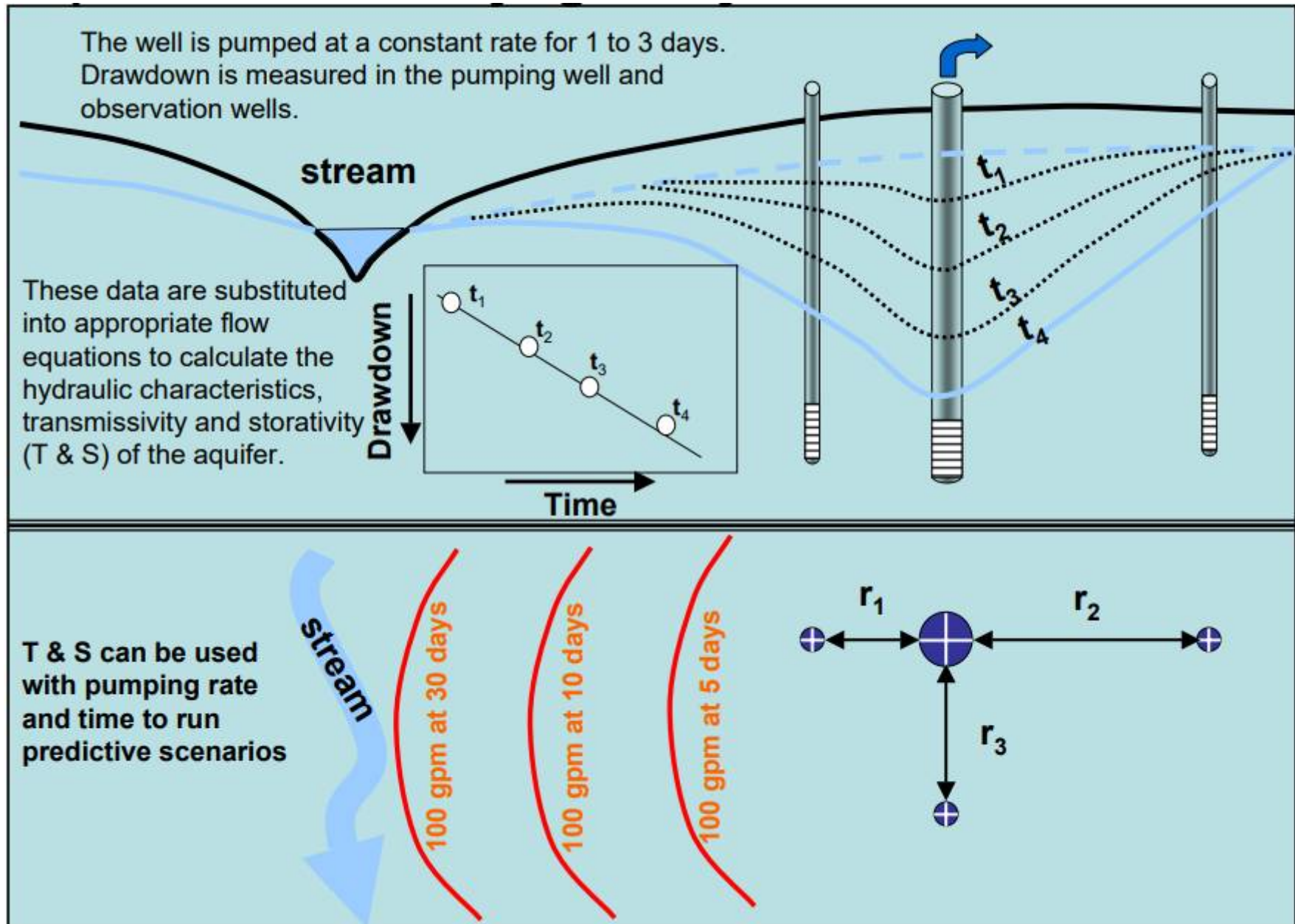
The basic principle is to stress (pump) the aquifer and monitor the response (drawdown).



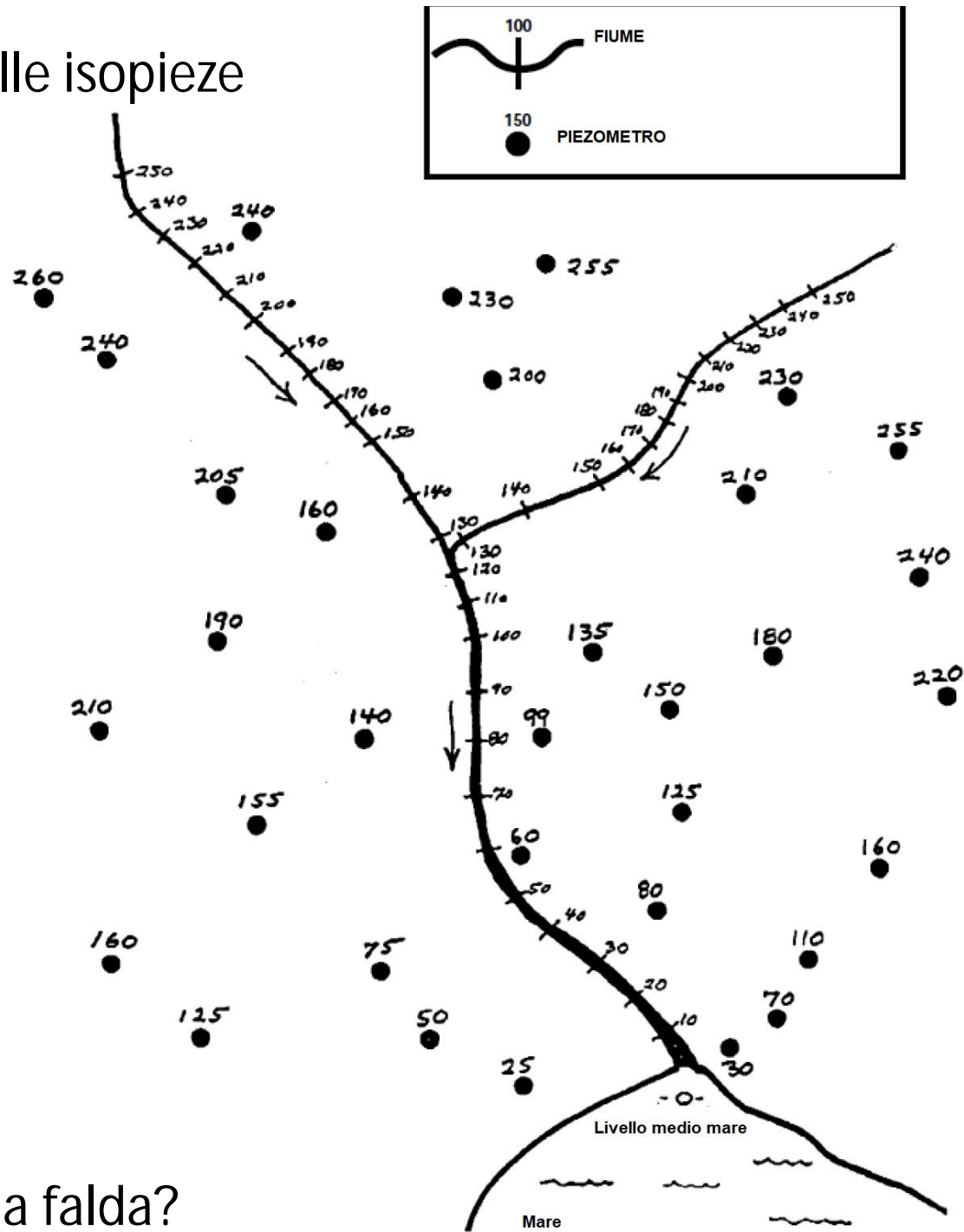
The basic procedure requires a pumping well and at least one observation well at a known distance away. If there is a concern about impact to nearby surface water bodies, an observation well should be located between the pumping well and the surface water.



Aquifer Test: Quantifying the Hydraulic Characteristics



Esercizio: tracciamento delle isopieze



Il fiume drena o alimenta la falda?

SOLUZIONE

IL FIUME DRENA LA FALDA

