

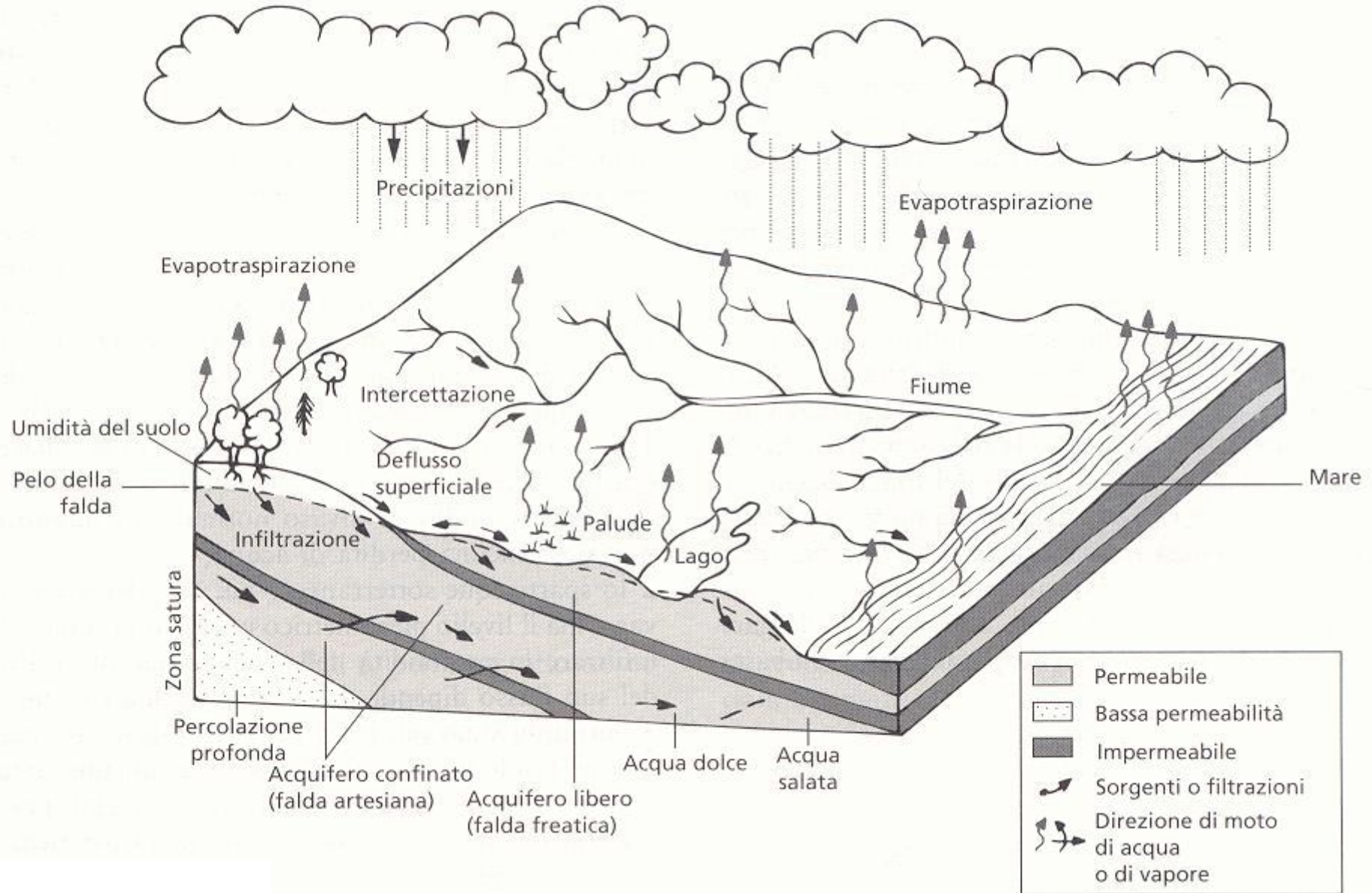
A scenic view of a waterfall cascading down a rocky, forested hillside. The water flows over several tiers of rocks, creating a misty spray at the bottom. The surrounding area is lush with green trees and vegetation. The overall atmosphere is serene and natural.

Moti di infiltrazione

e

Acque sotterranee

Ciclo idrologico



Falde freatiche e in pressione

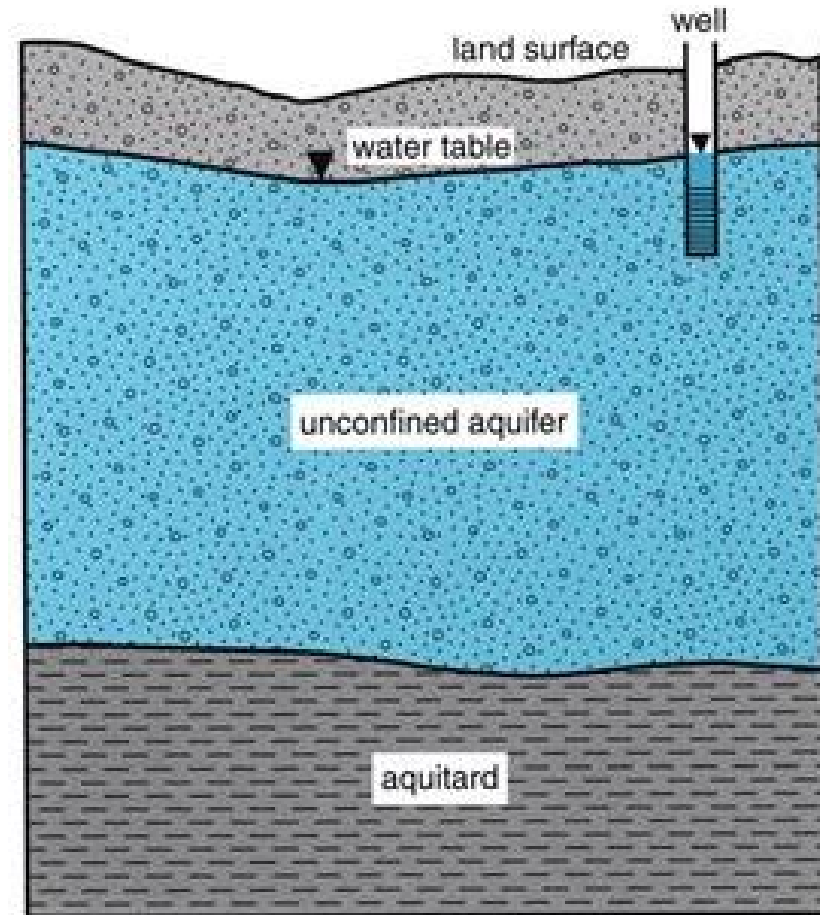
FALDA FREATICA

Gli acquiferi freatici sono in equilibrio
con la pressione atmosferica

Superficie freatica \equiv limite superiore della
zona satura; può subire variazioni stagionali
(si abbassa durante la stagione secca, si alza
durante quella piovosa)

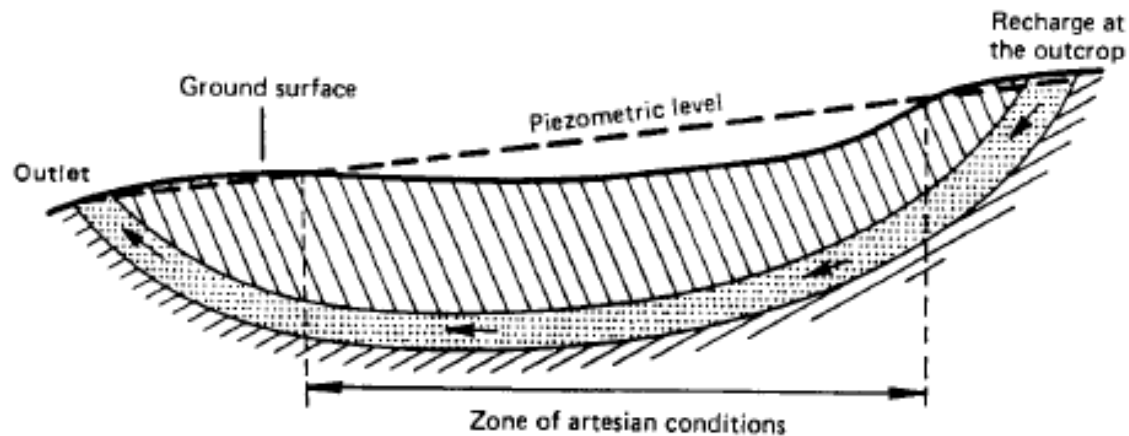
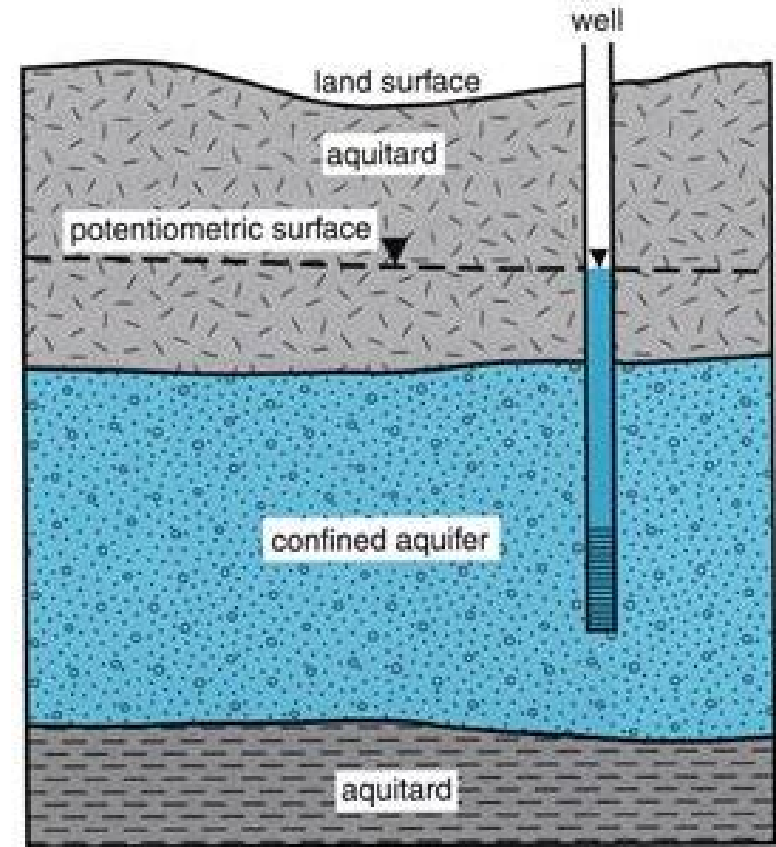
Zona di aerazione: dove i pori delle rocce non
sono saturati da acqua

Zona satura: dove i pori sono saturi di acqua



FALDA IN PRESSIONE

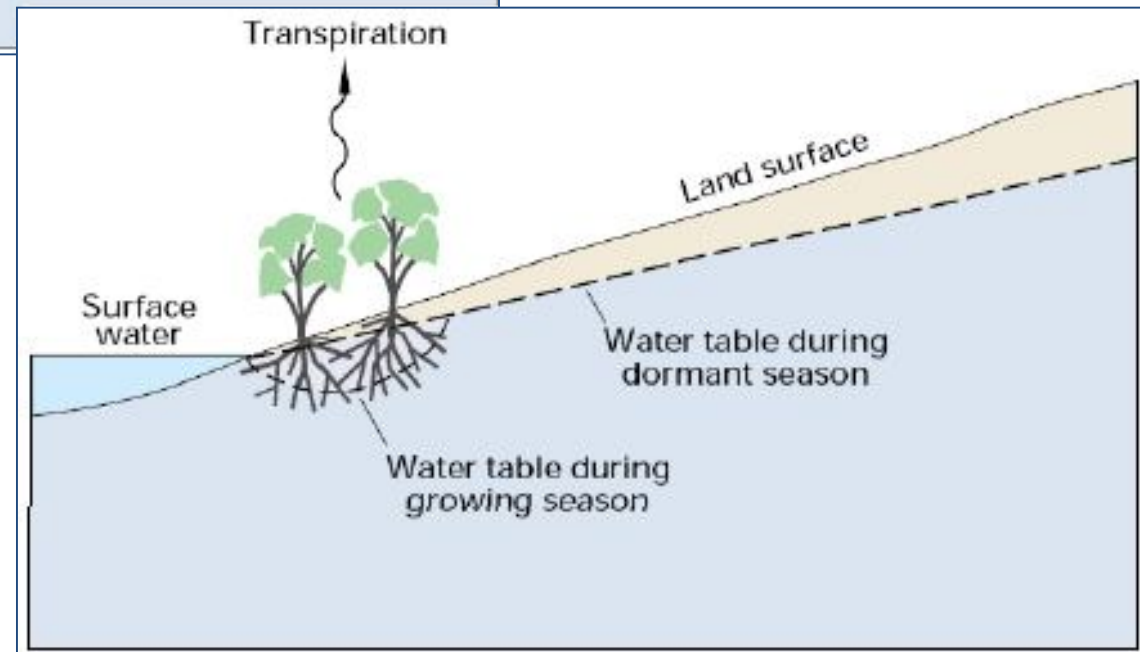
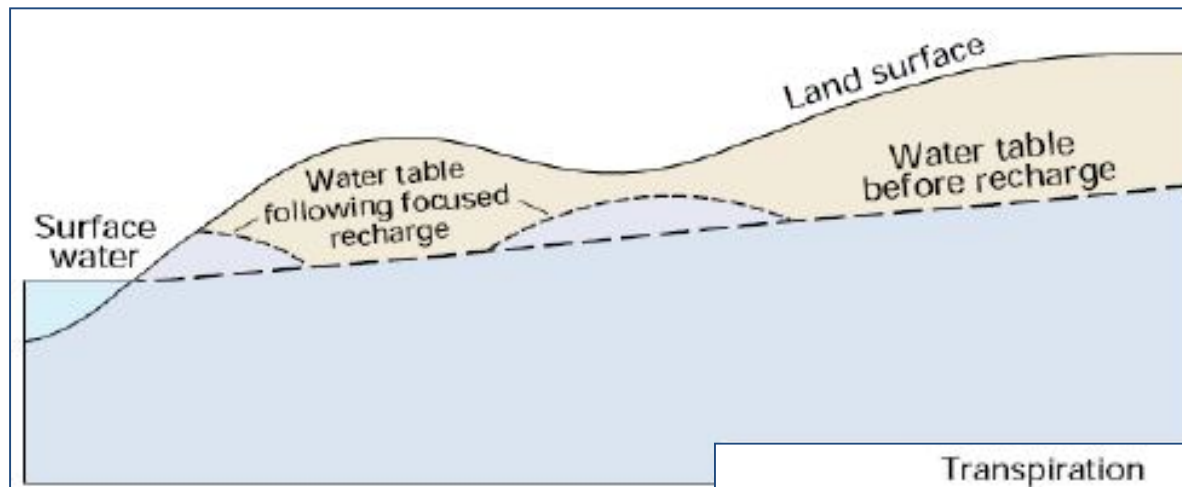
Le falde in pressione si muovono tra due strati impermeabili e hanno il piano dei carichi idrostatici non \equiv con la superficie superiore della falda



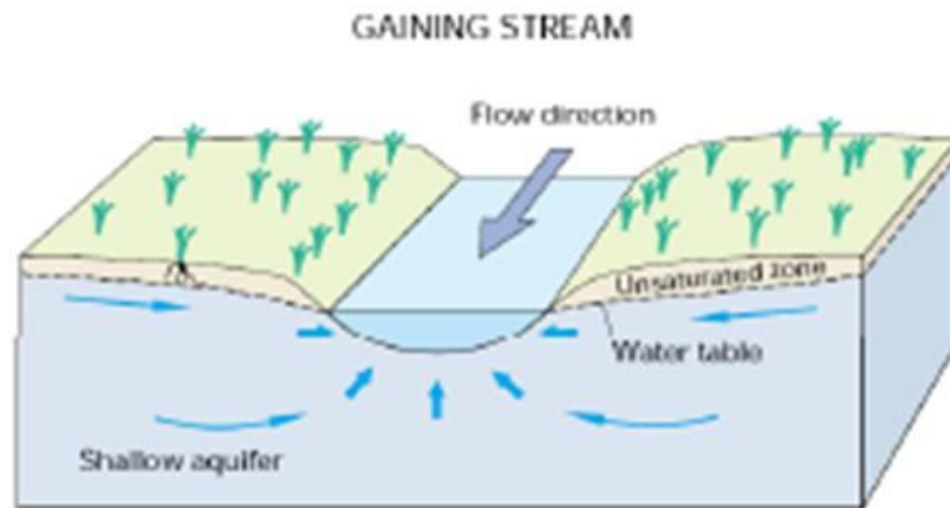
Quando il livello piezometrico della falda supera il piano campagna, la falda è detta

ARTESIANA

Interazione precipitazioni-falde

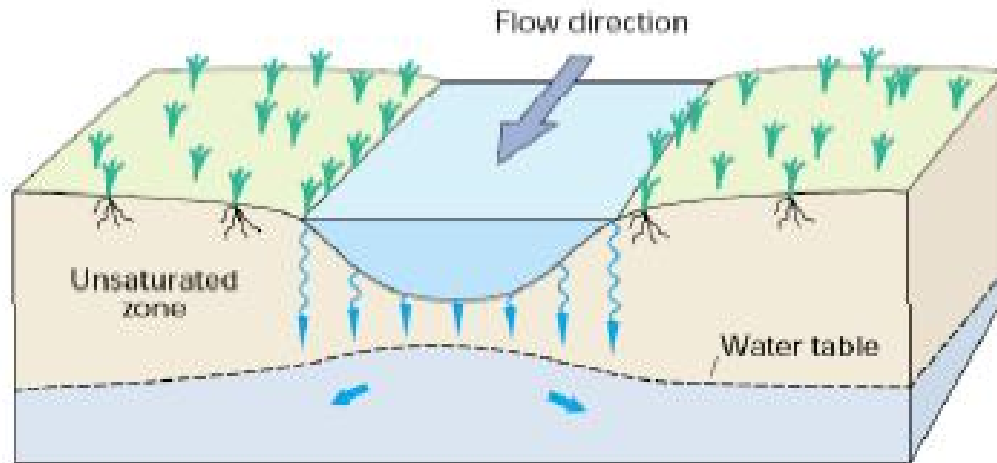


Interazione corsi d'acqua-falde



Interazione corsi d'acqua-falde

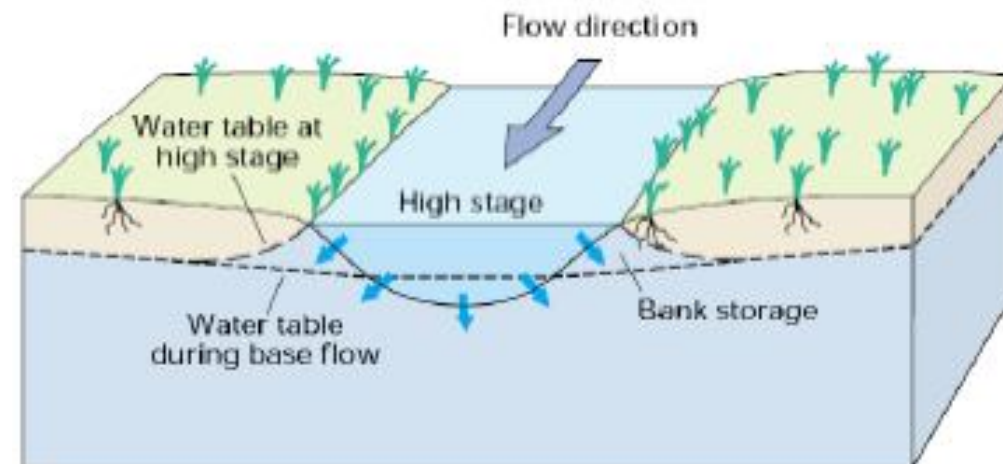
DISCONNECTED STREAM



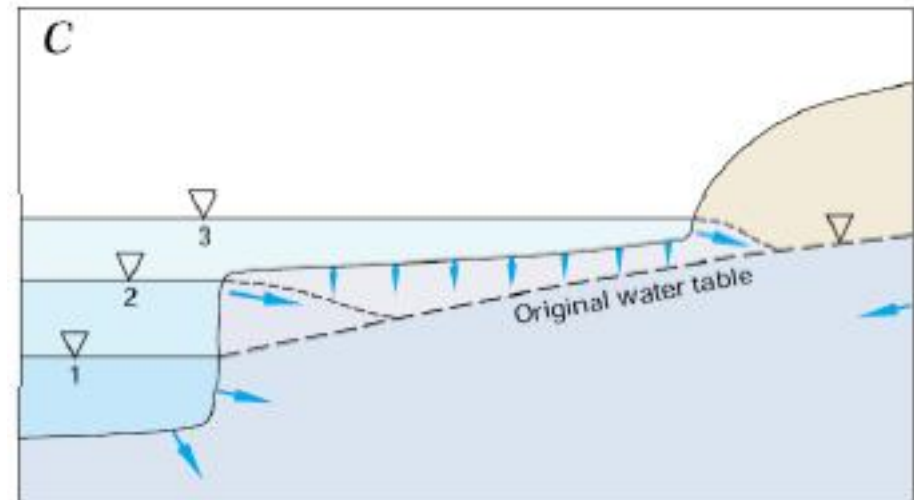
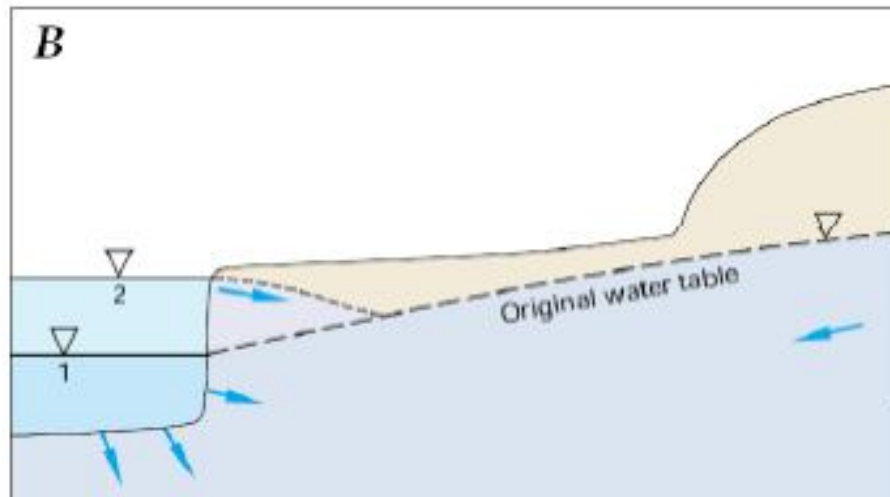
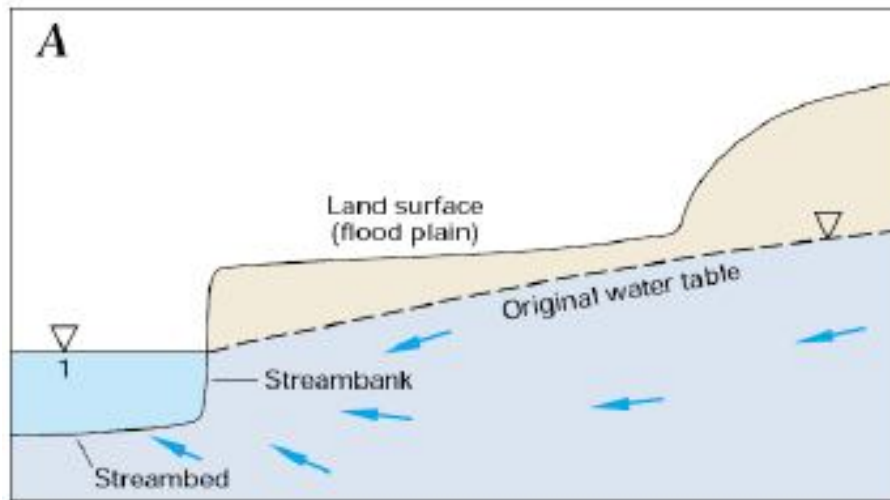
“Disconnected streams” sono separati dalla falda da una zona non satura

Se il livello del fiume sale più in alto di quello della falda adiacente, l'acqua si muove dal fiume nelle sponde creando l'accumulo di sponda

BANK STORAGE



Interazione corsi d'acqua-falde



EXPLANATION

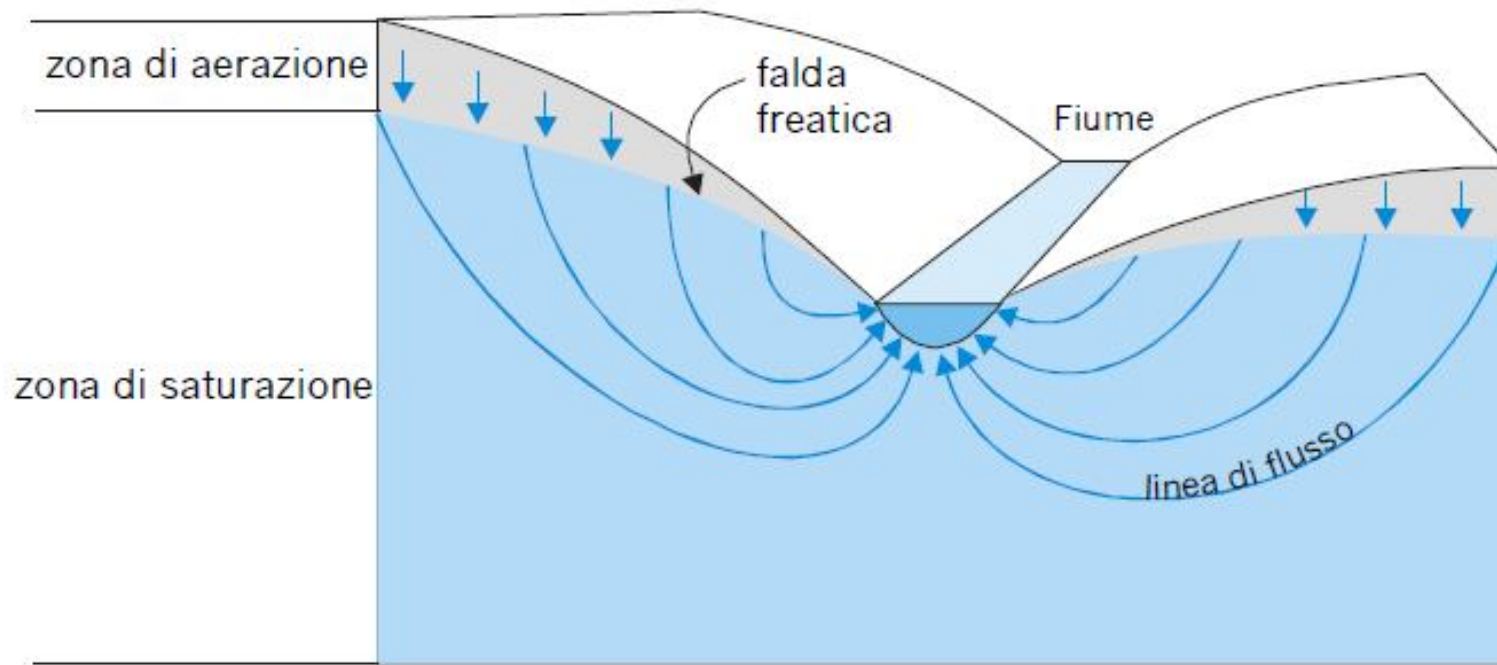
- ▽ 1 ▽ 2 ▽ 3 Sequential stream stages
→ Approximate direction of ground-water flow or recharge through the unsaturated zone

Se il livello del fiume sale più in alto delle sue sponde (C), l'acqua del fiume ricarica la falda attraverso le aree inondabili

Filtrazione

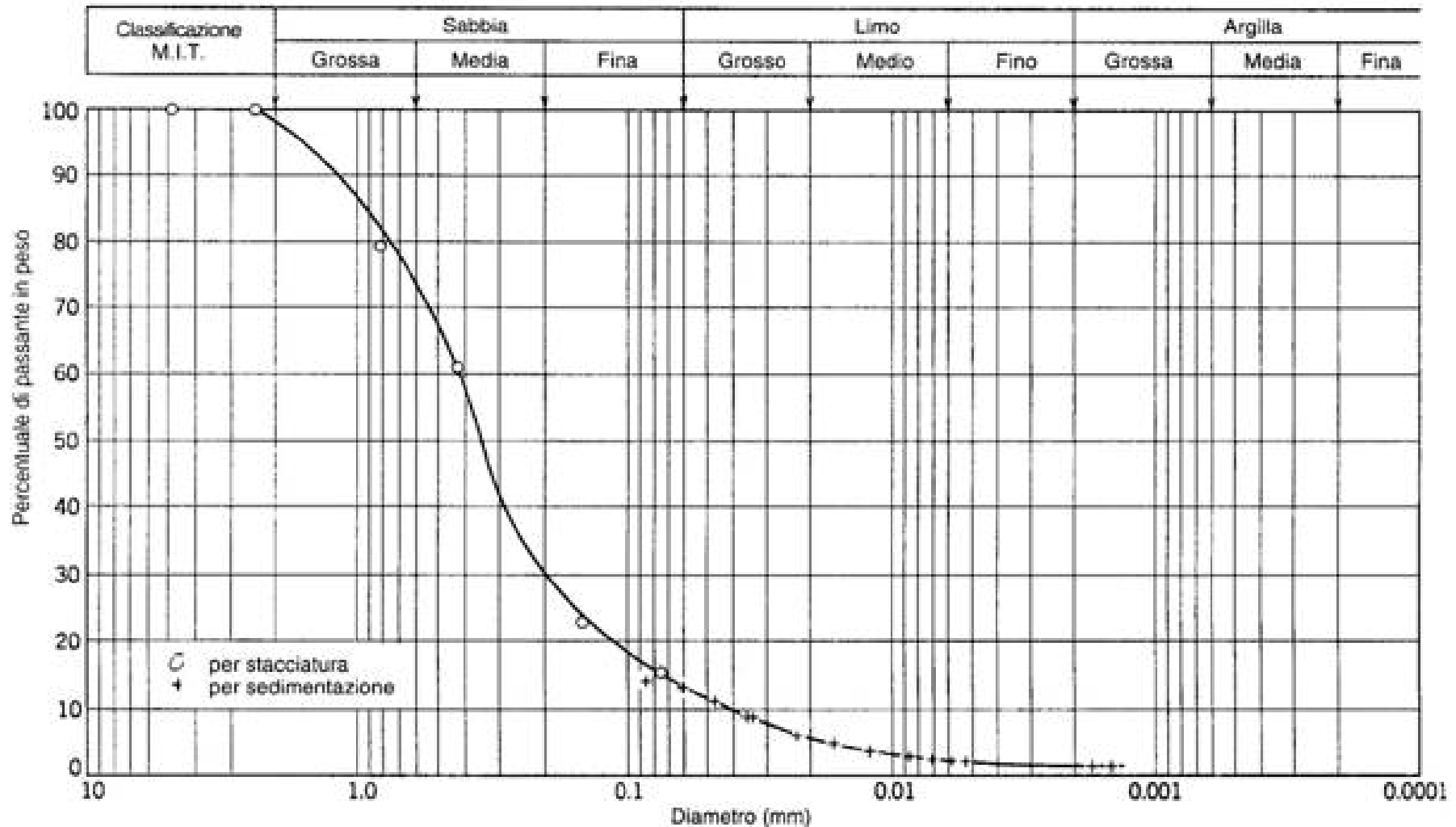
Si applica al flusso di un fluido attraverso un mezzo poroso saturo

→ Grandezze medie



Il moto di filtrazione dipende dalla forma e natura dei grani e dalla composizione granulometrica

CURVA GRANULOMETRICA



**PARAMETRI
FONDAMENTALI**
(per un campione,
nei diversi stati di
aggregazione)

Parametro		Formula
<i>Italiano</i>	<i>Inglese</i>	
Densità, peso di volume	Density, specific weight	$\gamma = W/V$ (g/cm ³)
Peso specifico secco	Dry specific weight, bulk density	$\gamma_d = W_s / V$ (g/cm ³)
Peso specifico del solido	Specific weight of solid, particle density	$\gamma_s = W_s / V_s$ (g/cm ³) $\gamma_s = G\gamma_w$
Gravità specifica, peso specifico dei grani	Specific gravity	$G = \gamma_s / \gamma_w$ (adimensionale)
Porosità	Porosity	$n = V_v / V$; $n = e / (1 + e)$ (adim.)
Indice dei vuoti	Void ratio	$e = V_v / V_s$; $e = n / (1 - n)$ (adim.)
Contenuto d'umidità	Moisture content	$w = W_w / W_s$ (adimensionale)
Grado di saturazione	Saturation index	$S_i = V_w / V_v$ (adimensionale)
Porosità efficace	Effective porosity, specific yield	$n_e = V_v / V$ (adimensionale)

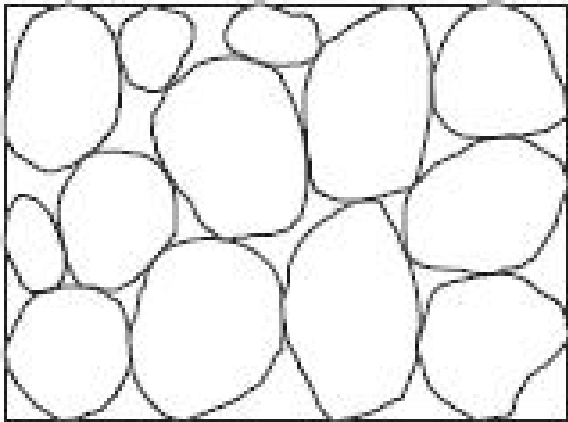
% di roccia occupata da vuoto



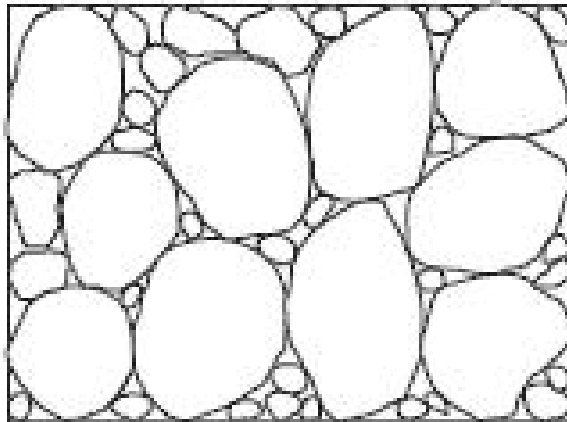
utilizzabile dal fluido in movimento



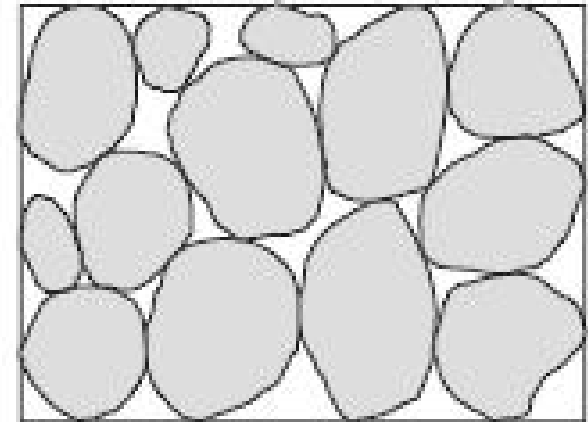
Granulometria vs porosità



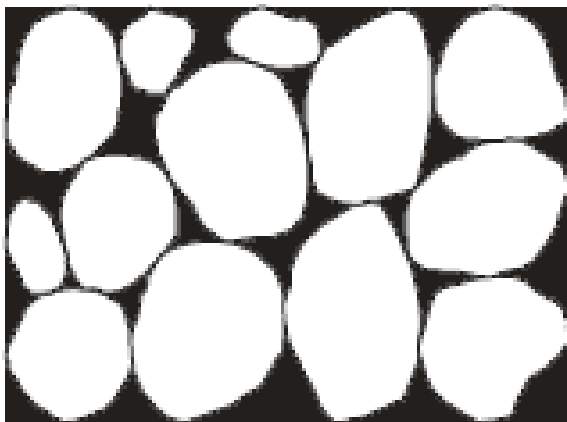
Granuli ben assortiti con alta porosità generale



Granuli poco assortiti con bassa porosità



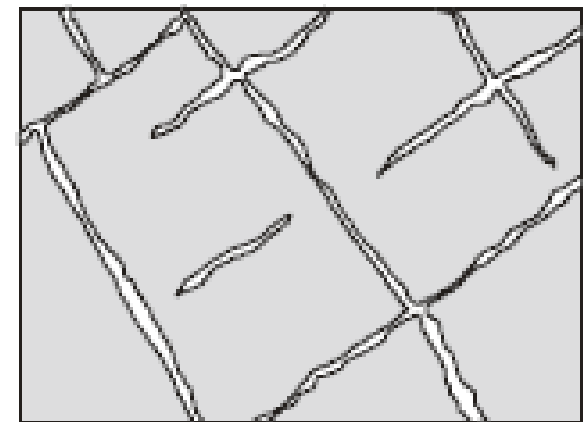
Granuli ben assortiti costituiti da elementi porosi (es. arenacei)



Granuli ben assortiti la cui porosità è ridotta a causa del cemento



Roccia porosa per dissoluzione carsica



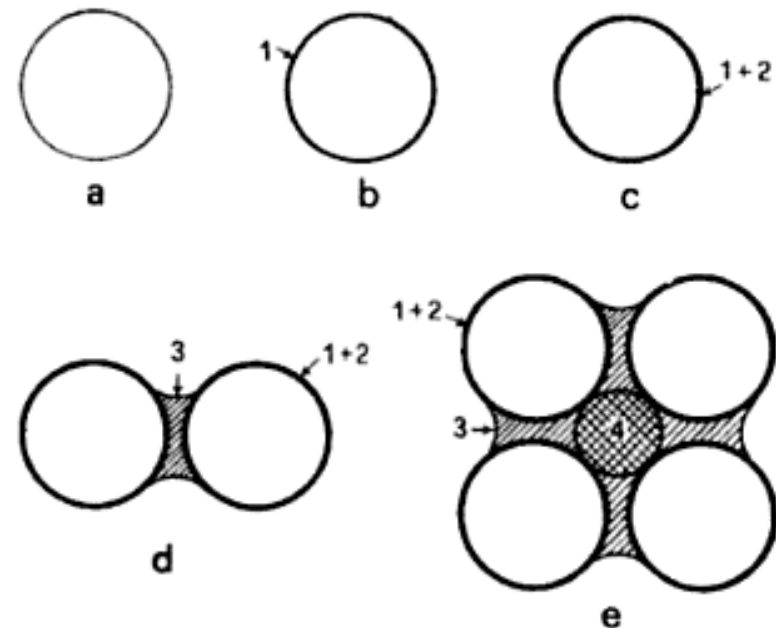
Roccia porosa per fratturazione

Fluidi presenti nel terreno

Il terreno può essere considerato come un **sistema multifase**, costituito da uno scheletro di particelle solide e da vuoti riempiti di acqua e gas

ACQUA

1. **IGROSCOPICA** si forma per condensa sulla superficie delle particelle, che possono assorbire umidità in misura rilevante
2. **PELLICOLARE** si forma sulle particelle per effetto delle azioni molecolari di adesione
3. **CAPILLARE** si forma nei meati stretti per effetto della capillarità, legata all'azione combinata di forze di adesione e di coesione
4. **GRAVITAZIONALE** è presente nei macropori della zona satura del mezzo permeabile; il suo moto avviene per effetto della gravità e delle pressioni idrodinamiche
5. **VAPORE** riempie i vuoti



La legge di Darcy

Per un fluido perfetto pesante incompressibile vale l'eq. di Bernoulli

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{costante} = H \quad \longrightarrow \quad \text{lungo una traiettoria il carico tot si mantiene cost}$$

In filtrazione \longrightarrow perdita di energia dovuta alle resistenze (viscose) dentro i meati

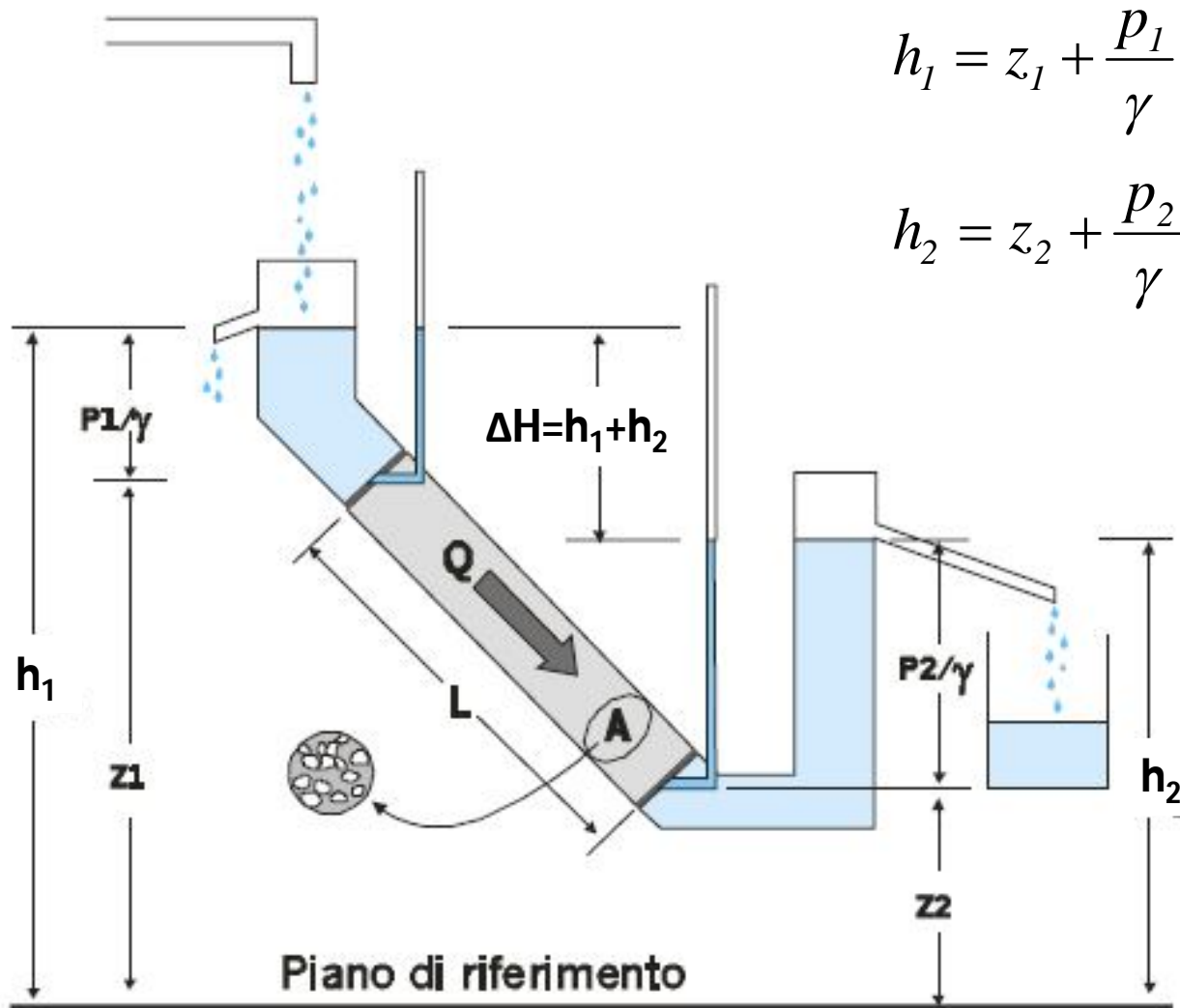
$$z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2gn_s^2} = z_B + \frac{p_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2gn_s^2} + \Delta H$$

n_s = porosità di superficie = Area dei pori / Area tot del mezzo

ΔH = perdita di energia per unità di peso sulla distanza Δs fra i punti A e B

Negli acquiferi, le velocità di flusso sono normalmente molto basse

$$\frac{v^2}{2gn_s^2} = \text{trascurabile}$$



$$h_1 = z_1 + \frac{P_1}{\gamma}$$

$$h_2 = z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$$

PERDITA DI CARICO



È una misura della perdita di energia totale dovuta al flusso dell'acqua nel terreno, ossia dell'energia spesa dall'acqua per vincere la resistenza al moto opposta dal terreno compreso tra i due punti considerati

GRADIENTE IDRAULICO

$$i = \frac{\Delta H}{L}$$

perdita di carico per unità di lunghezza del percorso.

Fra il 1852 e il 1855 **Darcy**, studiando il flusso monodimensionale dell'acqua attraverso strati orizzontali di sabbia (in condizioni di moto laminare), osservò che la portata per unità di superficie è direttamente proporzionale alla perdita di carico e inversamente proporzionale alla lunghezza del percorso considerato

$$\frac{Q}{A} = q = k \frac{\Delta H}{L} = ki$$

q = **velocità di filtrazione** rappresenta la velocità media che il fluido avrebbe se attraversasse l'intera sezione di area A

k = **coefficiente di permeabilità**

- ha le dimensioni di una velocità
- dipende dalle proprietà del fluido (densità e viscosità) e dalle caratteristiche del mezzo poroso



Si determina tramite prove in situ o su campioni

In termini vettoriali, in condizioni di flusso bi-, e tri-dimensionali:

$$\bar{q} = -\bar{K} \cdot \text{grad } h$$

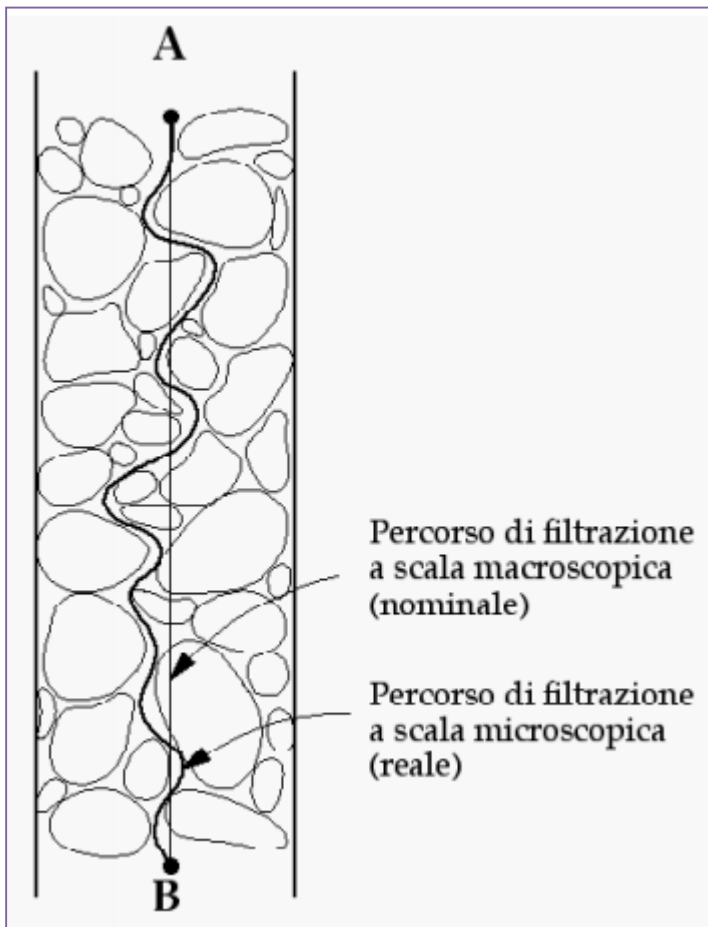
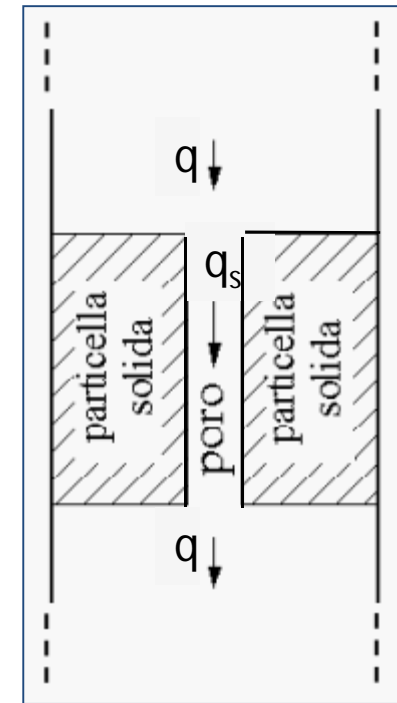
Considerando che la permeabilità è in generale una caratteristica anisotropa per i terreni naturali

$$q_x = -k_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = -k_x \cdot i_x$$

$$q_y = -k_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y} = -k_y \cdot i_y$$

$$q_z = -k_z \cdot \frac{\partial h}{\partial z} = -k_z \cdot i_z$$

Nelle relazioni precedenti, q è una **velocità apparente**, perché la **velocità reale** q_r dell'acqua nei pori è $>$, in quanto l'area della sezione attraversata effettivamente dall'acqua - area dei vuoti - $A_v < A$



Anche il **percorso di filtrazione** finora considerato, pari alla lunghezza L del campione, è in realtà **apparente**, essendo quello reale sicuramente $>$

Coefficiente di permeabilità

Limitandoci a considerare come fluido interstiziale l'acqua, e poiché la densità e la viscosità di un fluido sono legate principalmente alla temperatura, che nel terreno, salvo gli strati più superficiali o alcune situazioni particolari, varia abbastanza poco, si assume il coefficiente di permeabilità dipendente solo dalle caratteristiche del terreno.

Campo di variazione del coefficiente di permeabilità dei terreni

TIPO DI TERRENO	k (m/s)
Ghiaia pulita	$10^{-2} - 1$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} - 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} - 10^{-4}$
Limo e sabbia argillosa	$10^{-9} - 10^{-5}$
Limo	$10^{-8} - 10^{-6}$
Argilla omogenea sotto falda	$< 10^{-9}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} - 10^{-4}$
Roccia non fessurata	$10^{-12} - 10^{-10}$

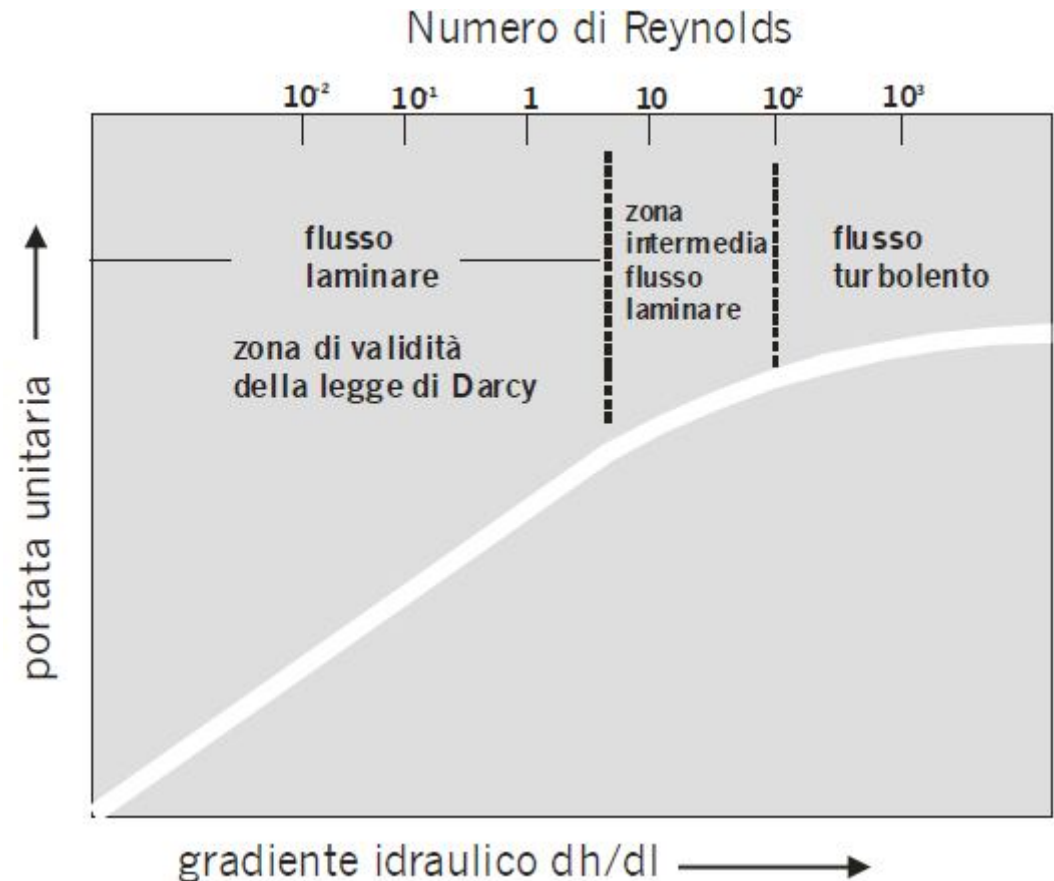
Validità della legge di Darcy

La legge di Darcy resta valida in una certa gamma di velocità

NON È VERIFICATA nei moti turbolenti, né in quelli estremamente lenti,
come in certe argille a bassa permeabilità
NON È APPLICABILE nei mezzi non saturi

Ad alte velocità esiste un parametro (adimensionale) che permette di stabilire se il movimento è ancora di tipo laminare o turbolento

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$



Equazioni di continuità

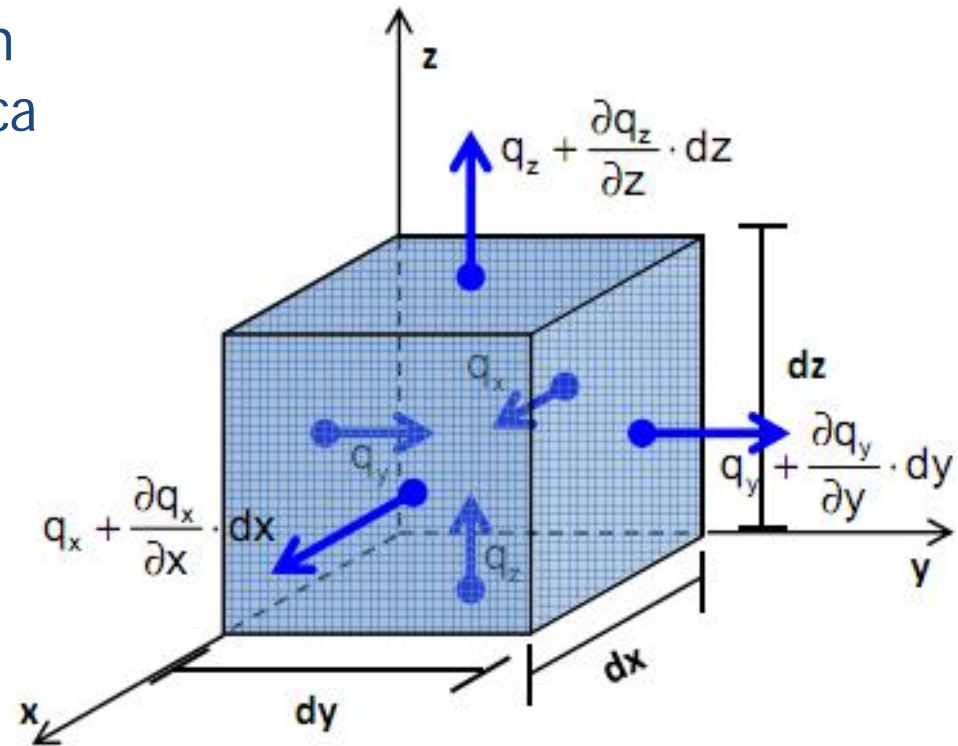
CONDIZIONI STAZIONARIE

La quantità d'acqua che entra in un volume cubico elementare è identica alla quantità che esce (liquido incomprimibile)

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0 \Leftrightarrow \operatorname{div}(\vec{q}) = 0$$



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$



CONDIZIONI TRANSITORIE

La differenza tra flusso entrante ed uscente da un volume cubico unitario (più un eventuale flusso esterno Q) è bilanciata da variazioni nel tempo del contenuto d'acqua

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q = \frac{\partial \Theta}{\partial t}$$

Equazione di Laplace

In condizioni di moto stazionario, l'eq. di continuità

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

Nel caso di mezzo isotropo

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Modello matematico dei moti di filtrazione in condizioni stazionarie in mezzi omogenei ed isotropi

In questo caso la soluzione e quindi la distribuzione delle h non dipende da K

Le equazioni differenziali alle derivate parziali, come quella di Laplace, descrivono quello che accade in un punto del dominio nel quale si svolge un dato fenomeno (filtrazione, nel caso dell'equazione di Laplace)

Un'equazione differenziale ammette infatti infinite soluzioni

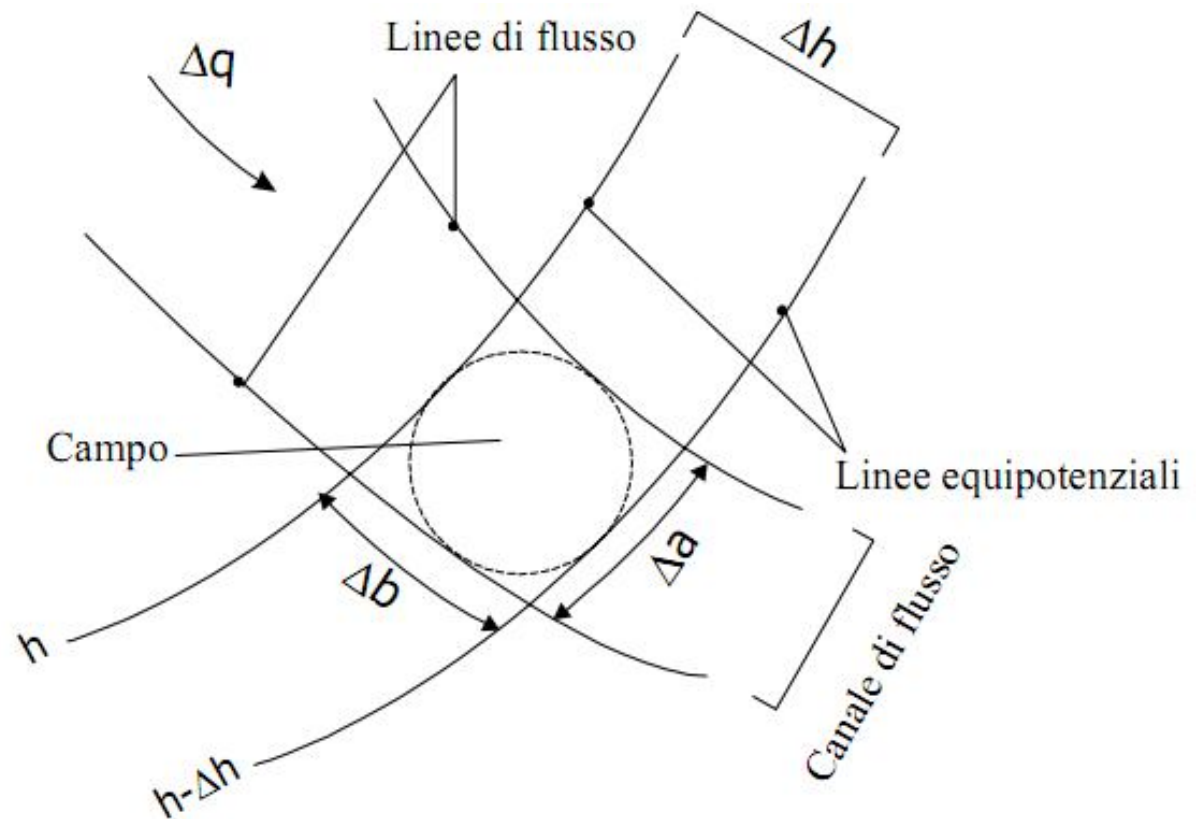
Per ottenere la soluzione che riguarda un caso particolare bisogna fornire altre relazioni (condizioni al contorno, nel caso dell'equazione di Laplace)

La soluzione analitica dell'equazione di Laplace è sempre molto difficile. Attualmente si ricorre a soluzioni numeriche con i metodi delle differenze finite o degli elementi finiti, o alle più tradizionali e storiche soluzioni grafiche

Infatti, l'equazione di Laplace bidimensionale può essere rappresentata graficamente da due complessi di curve (le **linee di flusso** e le **linee equipotenziali**) che si tagliano ad angolo retto

Le linee di flusso sono i percorsi dei filetti liquidi nella sezione trasversale

Le linee equipotenziali sono le linee di eguale energia potenziale, ovvero di eguale carico idraulico

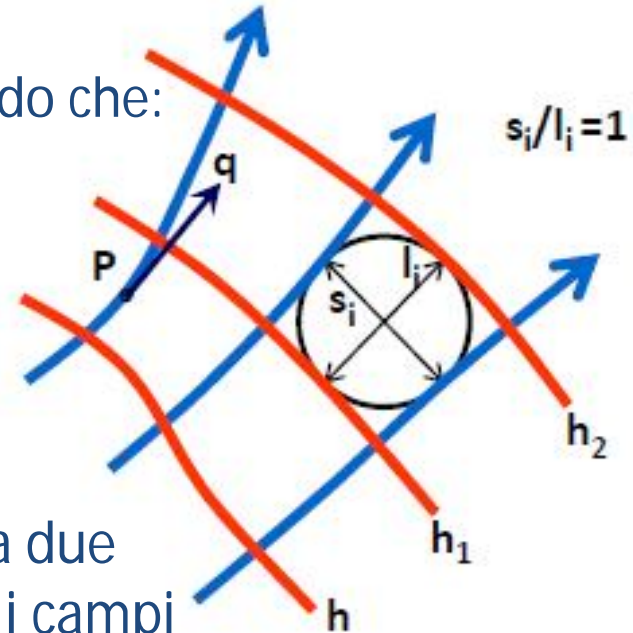


Rete idrodinamica

Come costruirla????

Scegliere le linee di flusso ed equipotenziali in modo che:

- I canali di flusso abbiano stessa Δq
- Δh tra due equipotenziali successive sia costante
- I campi siano approssimativamente quadrati



Noto h e scelto N (num. dei dislivelli di carico tra due equipotenziali successive), dalla condizione che i campi siano approssimativamente quadrati, si ottiene il num N_1 di canali di flusso

$$i = \frac{\Delta h}{l_i}$$

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{\Delta h}{l_i} = \frac{k \cdot h}{N \cdot l_i}$$

$$\Delta q = v \cdot s_i = \frac{k \cdot h \cdot s_i}{N \cdot l_i} \cong \frac{k \cdot h}{N}$$

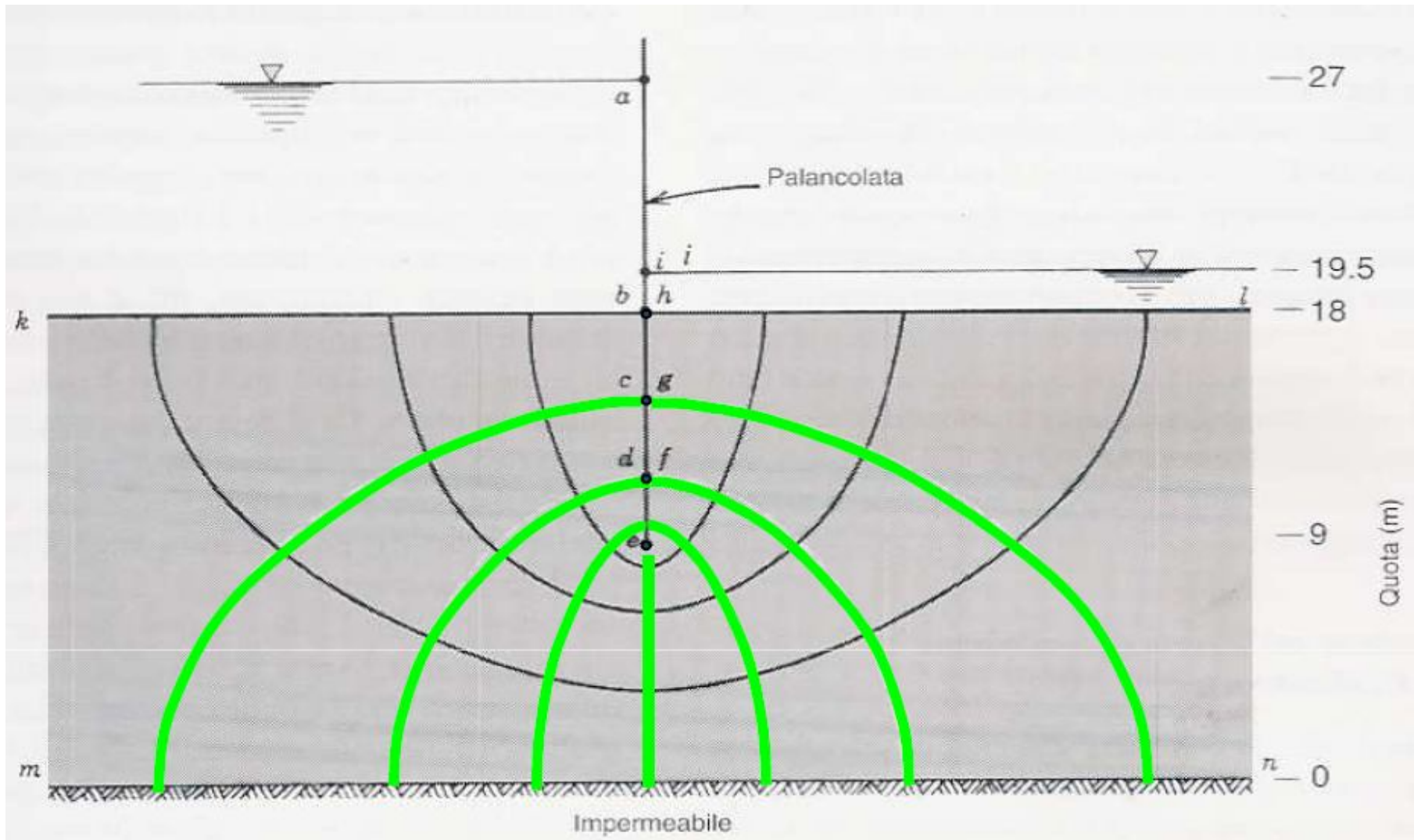
$$Q = N_1 \cdot \Delta q = k \cdot h \cdot \frac{N_1}{N}$$

Le condizioni al contorno, che permettono di tracciare alcune linee equipotenziali e di flusso, sono date da:

- le superfici impermeabili sono linee di flusso (ad esempio la superficie di uno strato di argilla, o la superficie verticale di un diaframma impermeabile, etc..)
- le superfici a contatto con l'acqua libera sono linee equipotenziali, poiché in tutti i loro punti vale la relazione

$$h = z + \frac{p}{\gamma} = \text{cost}$$

Esempio: rete idrodinamica a maglie quadre in un mezzo isotropo e omogeneo



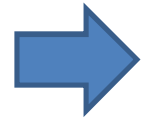
Condizioni idrauliche al contorno:

- Individuare linee di flusso
- Individuare linee equipotenziali

Prove in situ



Pozzi, piezometri e fori di sondaggio



Determinare grandezze idrogeologiche e valutare parametri idrodinamici



Definire condizioni di sfruttamento rispettose della risorsa idrica

Puntuali

di Pompaggio

Pozzo

Piezometro

Stesse modalità costruttive,
ma molto stretto
Per misurare il livello della
piezometrica



Prove Puntuali

Test su piezometri

Si varia istantaneamente il livello piezometrico nel piezometro

Interferenza con l'idrodinamica del mezzo acquifero

Valutazione della **permeabilità**



SLUG TEST



PROVE LEFRANC



PROVE D'ACQUA IN
PRESSIONE

Prove di Pompaggio

Prova di pozzo → portata d'esercizio del pozzo e identificazione dell'eq. del pozzo attraverso cui è possibile gestire correttamente l'opera (approvvigionamento idrico, esaurimento o controllo temporaneo di acque sotterranee)

Prova di acquifero → parametri idrogeologici di un acquifero (conducibilità idraulica, trasmissività, coefficiente di immagazzinamento), ed anche tutti gli altri coefficienti (immagazzinamento specifico, porosità efficace, diffusività, coefficiente di perdita, ecc.)

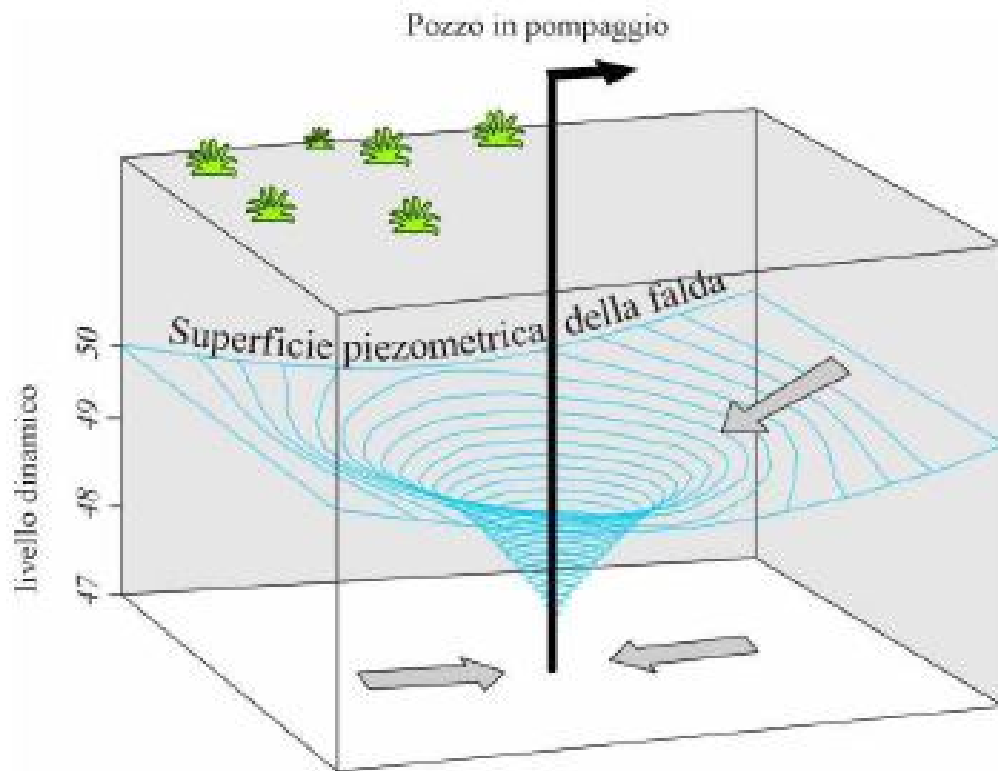
$T=k \cdot b$
K=conducibilità
idraulica
b=spessore
acquifero

Prova a fini multipli → si perseguono entrambi i suddetti obiettivi

Metodologia delle prove di pompaggio

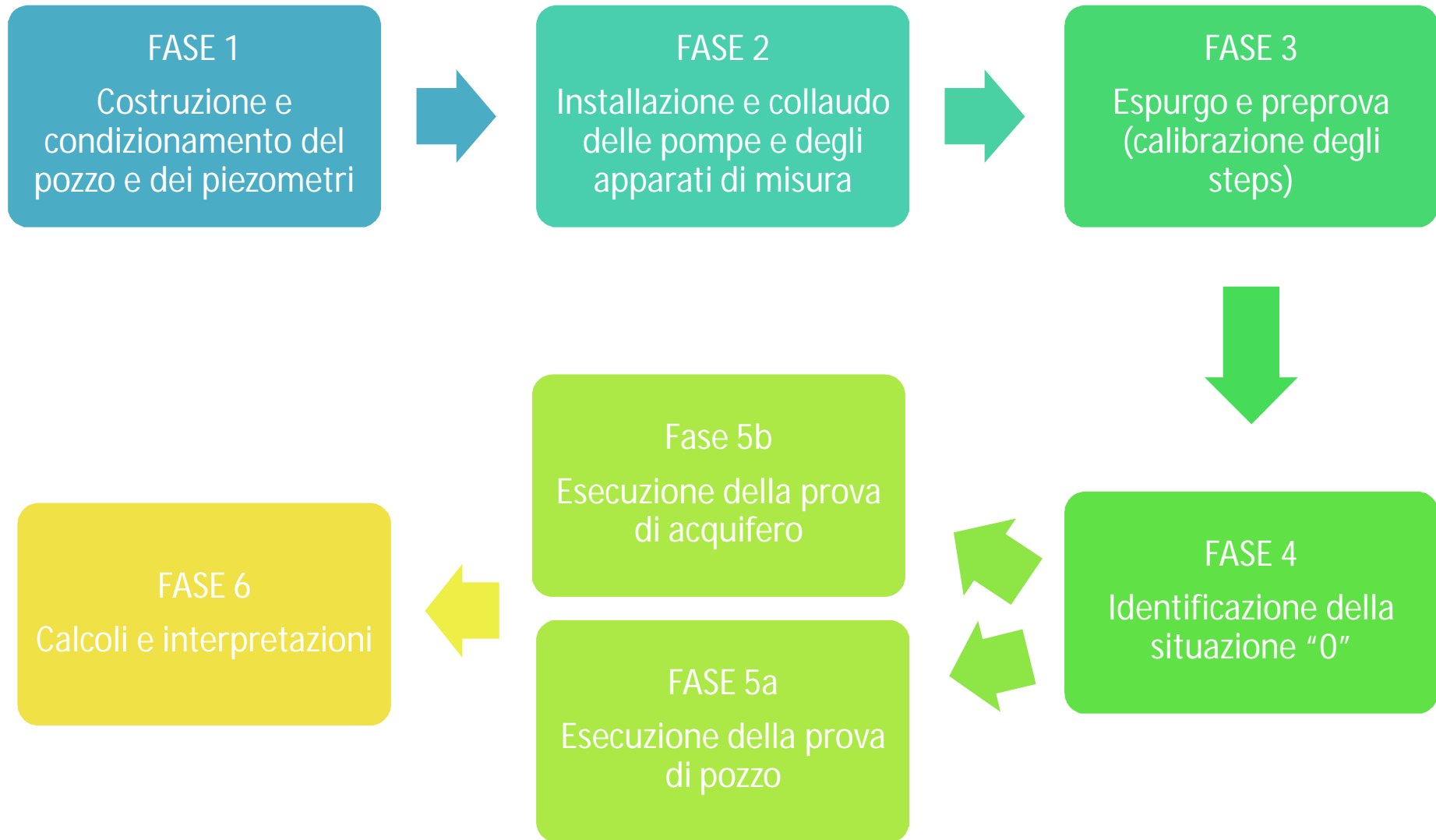
Le prove consistono nel sottoporre un pozzo ad emungimento, tramite una pompa sommersa od aspirante, e nel misurare gli abbassamenti di falda provocati nello stesso pozzo e/o in piezometri vicini

A seconda del metodo di interpretazione scelto e della tipologia di acquifero, si costruiscono i grafici: tempo-abbassamento, abbassamento-distanza, abbassamento specifico-portata, portata-abbassamento ecc.



La geometria della prova ed il metodo di interpretazione scelto, variano a seconda delle caratteristiche del pozzo e dell'acquifero (freatico, confinato, semiconfinato, vicino ad un limite alimentante od impermeabile, ecc.)

Esecuzione delle prove di pompaggio



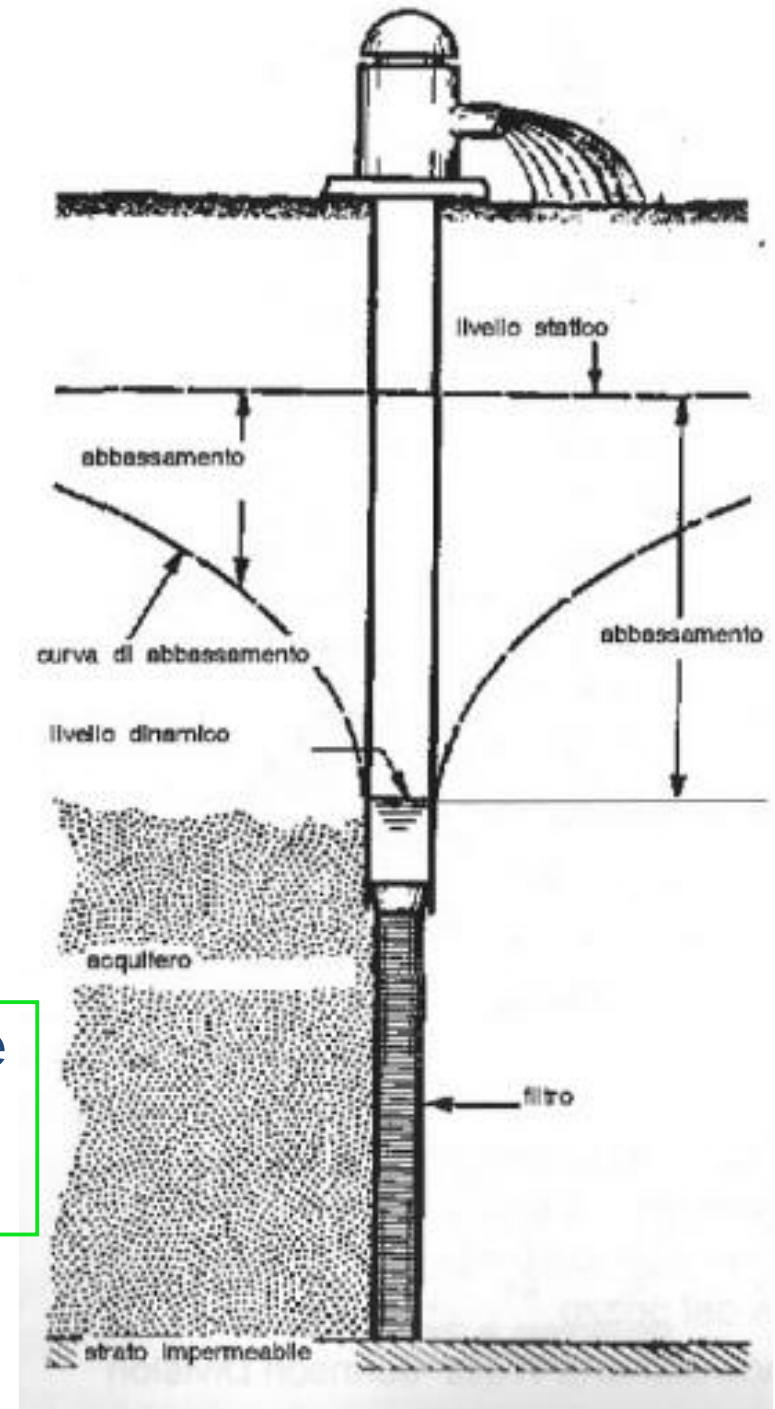
Prove di pozzo

STEP DRAWDOWN TEST (STP)

Si eseguono su un pozzo singolo, da tre a cinque gradini (step) di pompaggio con portata diversa per ognuno di essi con recupero totale di livello alla fine



- prevedere gli abbassamenti a diverse portate
- conoscere l'efficienza del pozzo
- ricavare alcuni parametri dell'acquifero.



Regime di flusso in equilibrio o stazionario in acquiferi in pressione

➔ Modello Dupuit-Thiem

$$s = \frac{Q}{2\pi KH} \ln \frac{R}{r}$$

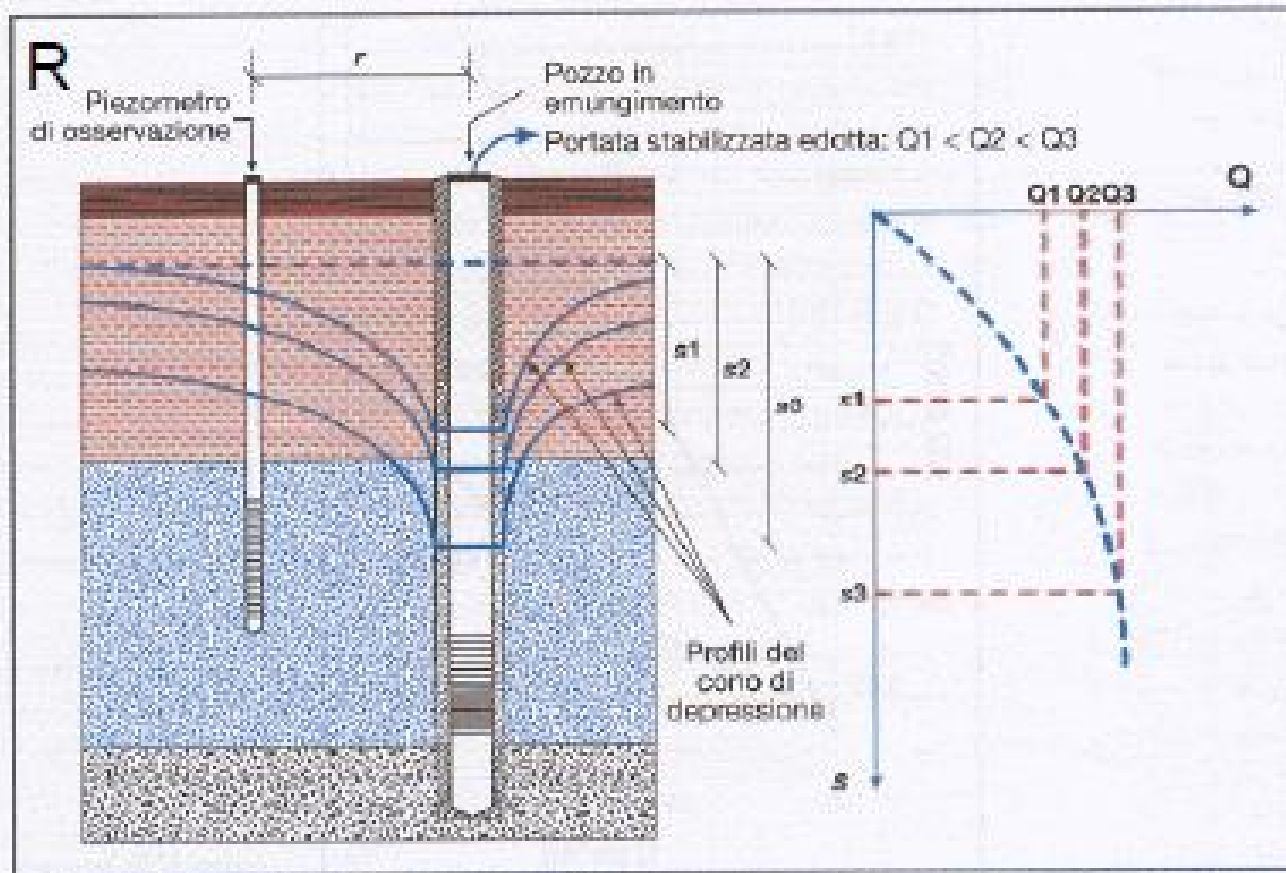


Figura 10.9
Schema di una prova di pompaggio su tre gradini e relativa curva caratteristica (a destra).

s = variazione livello [m]
 R = raggio cono di depressione indotto [m]
 r = raggio pozzo [m]
 K = permeabilità [m/s]
 H = spessore mezzo saturo [m]



$$s = BQ$$

B = perdite di carico lineari, dovute al flusso in regime laminare verso l'opera di presa e al rimaneggiamento attorno ai filtri

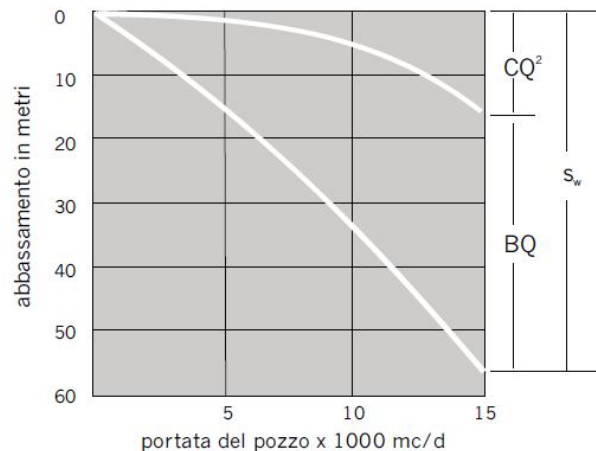
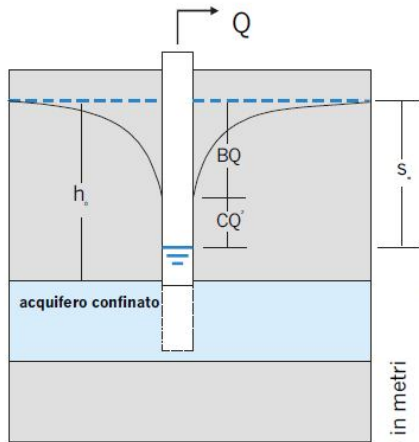
E' stato dimostrato da Jacob che la relazione si verifica anche per acquiferi liberi, per depressioni piccole (< 10% H) e per Q modeste

In mancanza di tali condizioni , intervengono ulteriori perdite di carico alle pareti, dovute al flusso turbolento nei filtri e nelle tubazioni.

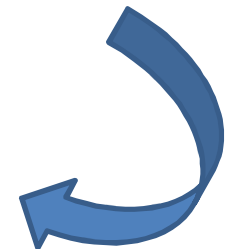


Solo funzione della portata emunta

Per Jacob, tali perdite sono quadratiche

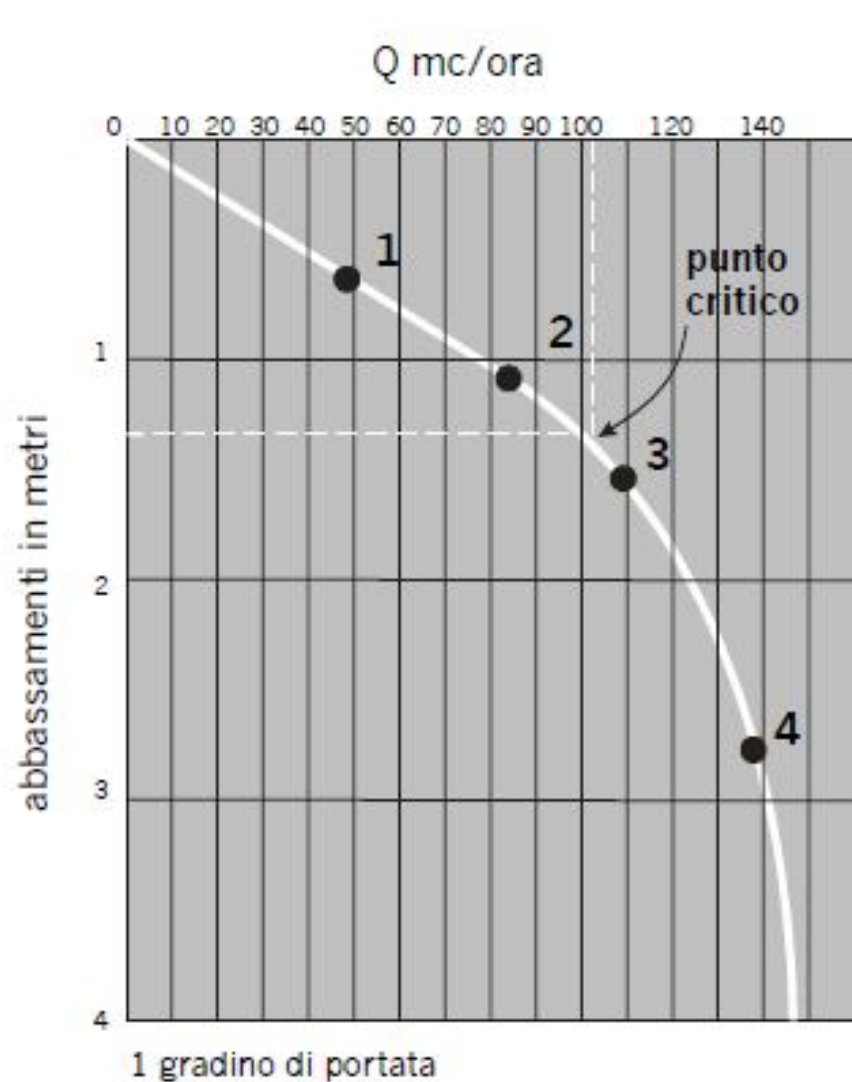


CURVA CARATTERISTICA DEL POZZO

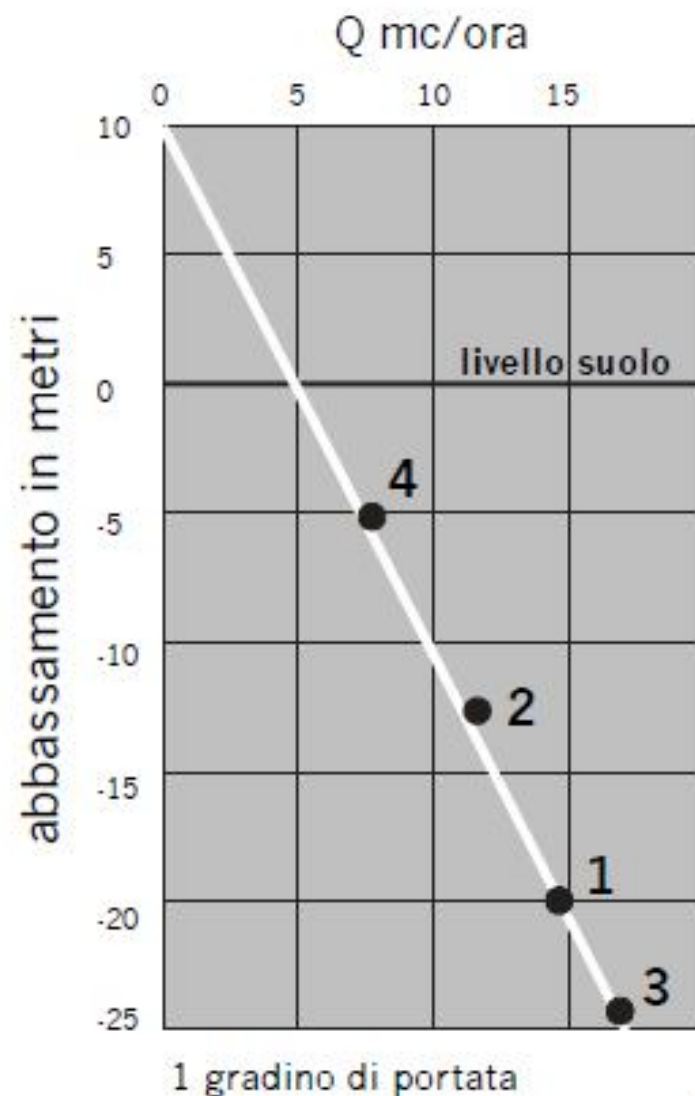


$$s = BQ + CQ^2$$

Curva caratteristica di un pozzo in falda freatica (Q variabile)

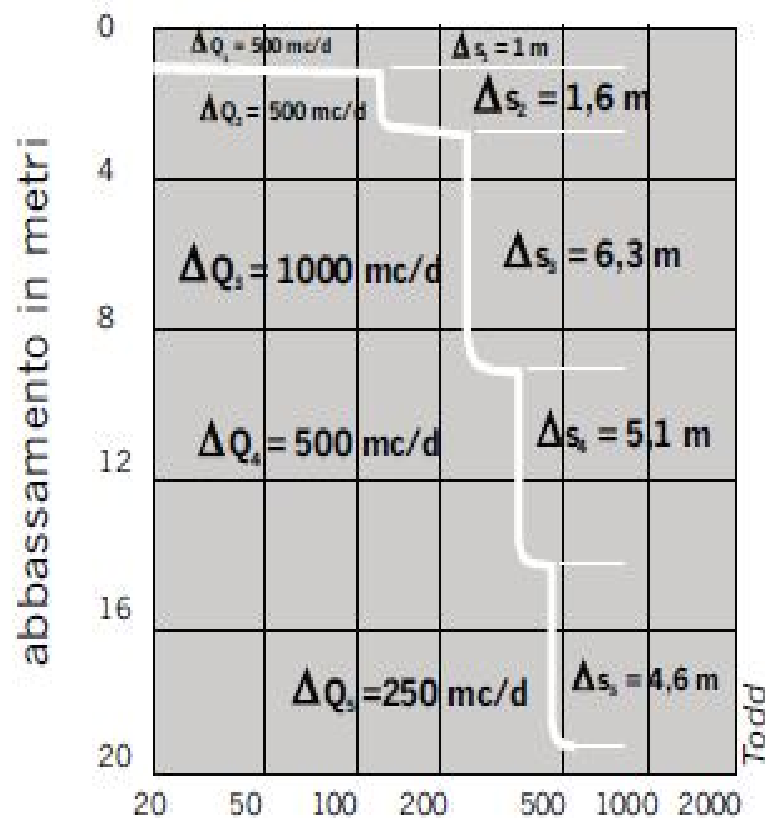


Curva caratteristica di un pozzo in falda artesianica (Q variabile)

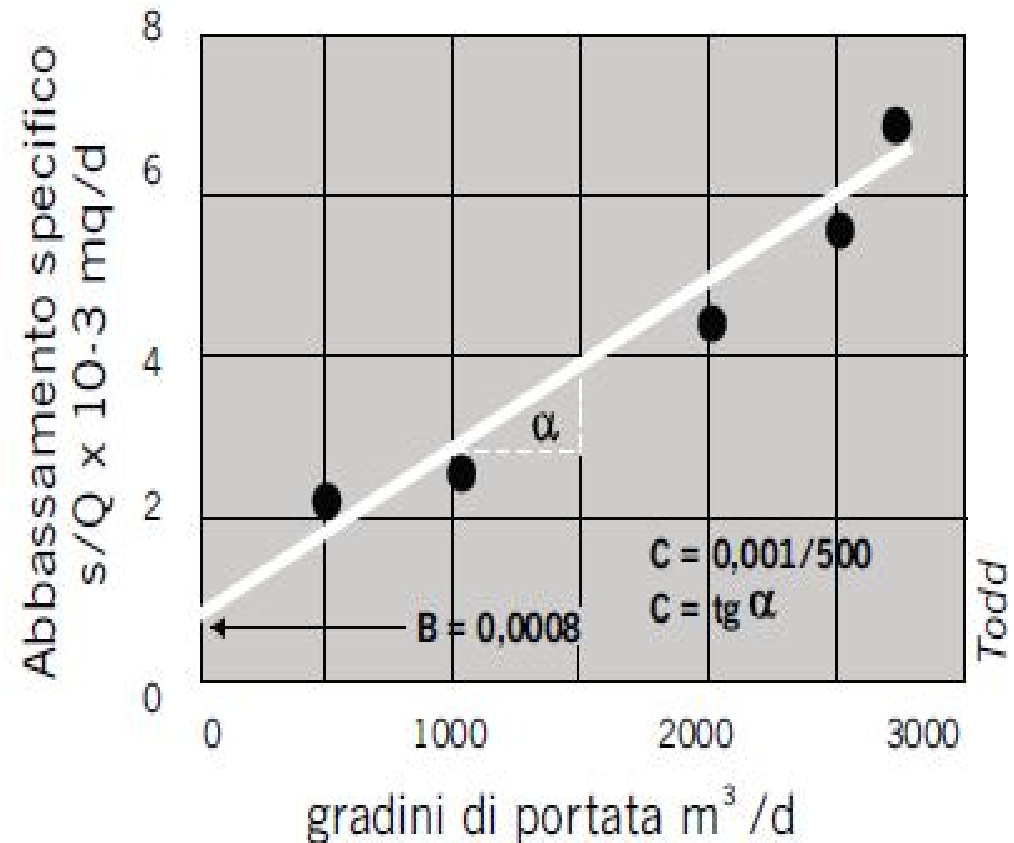


Calcolo dei coefficienti B e C

Curva di un pozzo durante una prova a gradini di portata (calcolo dell'efficienza)



Perdite in pozzo (calcolo coefficienti B e C)



Efficienza del pozzo

Per valutare la validità delle scelte tecniche adottate nella realizzazione del pozzo (filtri coassiali ed inghiaimento), si è sviluppato un calcolo per definire il grado di efficienza del pozzo alle diverse portate di esercizio. La relazione di riferimento è la seguente:

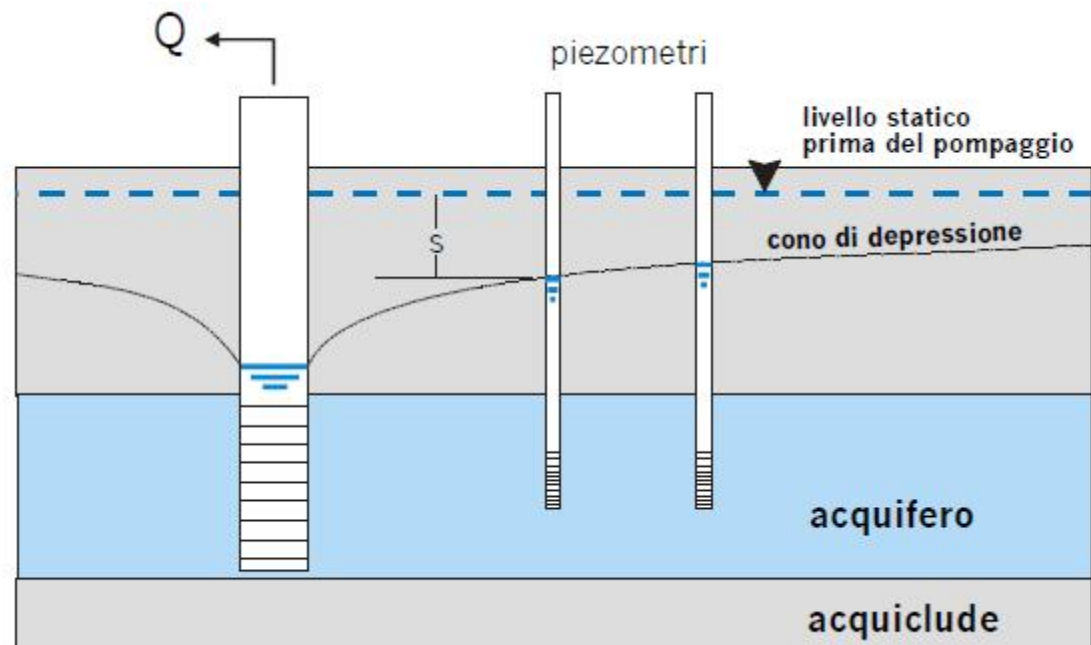
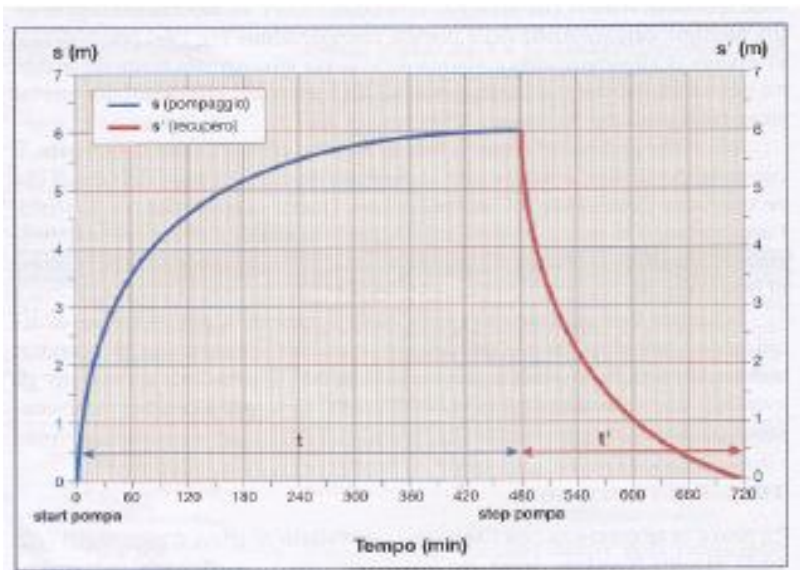
$$EF = \frac{BQ}{BQ + CQ^2} 100$$

Il valore di E dovrebbe mantenersi al di sopra del 60% - 70%

Prove di acquifero

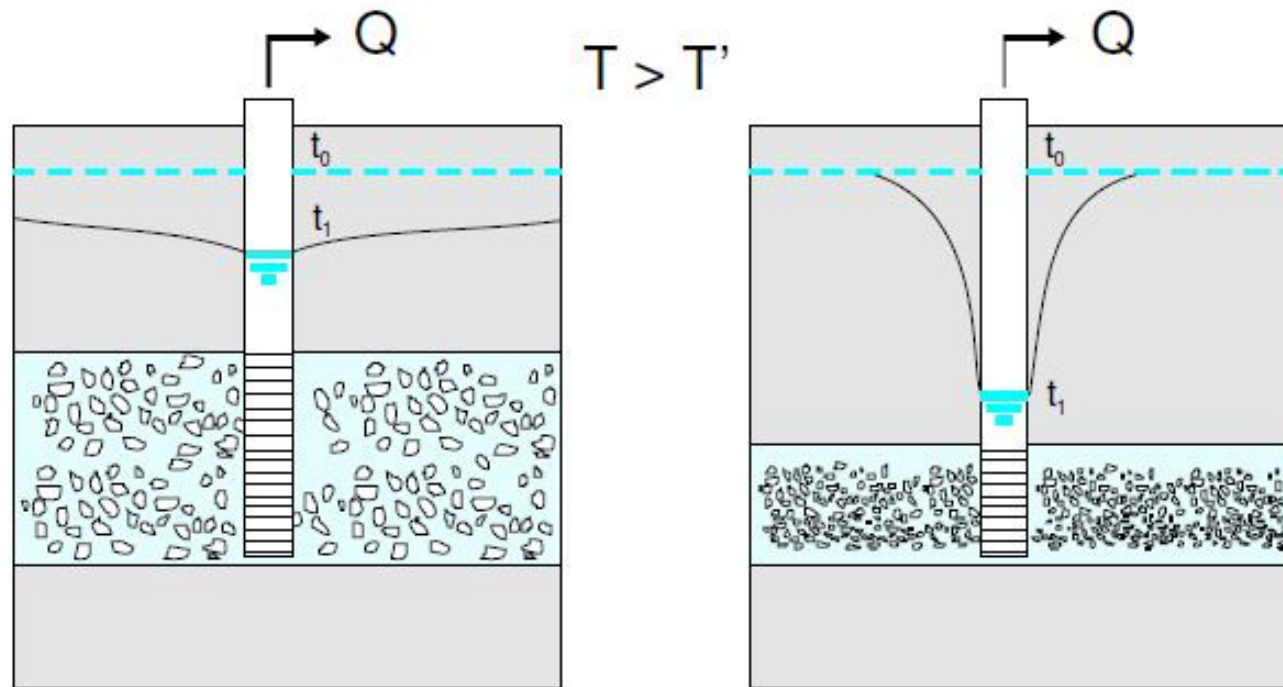
AQUIFER PUMPING TEST (APT)

Si eseguono tramite un unico gradino a portata cost con misure delle depressioni al pozzo e in uno o più piezometri, e recupero alla fine del livello



La distanza dei piezometri dal pozzo dipende dal tipo e permeabilità dell'acquifero, durata ed entità del pompaggio, lunghezza dei filtri.
Ad esempio, se la trasmissività è elevata il cono di depressione è largo e piatto, mentre se la trasmissività è bassa, il cono è più pronunciato e poco esteso.

Nel primo caso i piezometri possono essere più distanti.



Acquifero ad alta trasmissività
 $T = 1240 \text{ m}^2/\text{s}$
 $s = 0,8 \text{ m}$
 $Q = 62,7 \text{ l/s}$

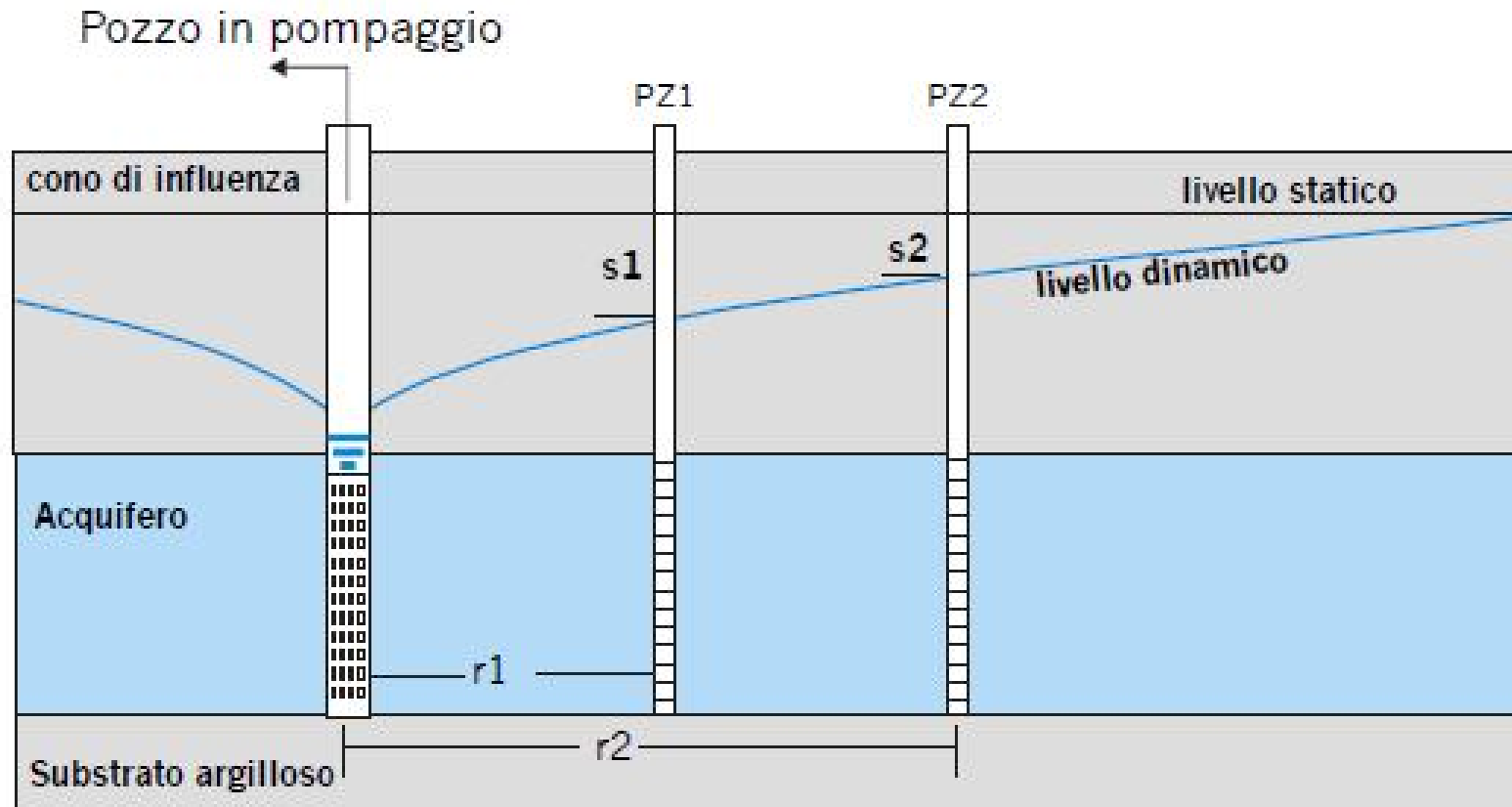
Acquifero a bassa trasmissività
 $T = 124 \text{ m}^2/\text{s}$
 $s = 7,9 \text{ m}$
 $Q = 62,7 \text{ l/s}$

Elaborazione dei dati

Situazione	Acquifero	Metodo d'analisi
Regime permanente (<i>steady state</i>)	Confinato	Thiem
	Freatico	Dupuit
Regime transitorio (<i>unsteady state</i>)	Confinato (*)	Theis Cooper-Jacob Chow
	Freatico (*)	Theis Cooper-Jacob Chow
(*) l'elaborazione può essere fatta anche con misure in risalita, sia nel pozzo sia nei piezometri		

Soluzione in regime permanente

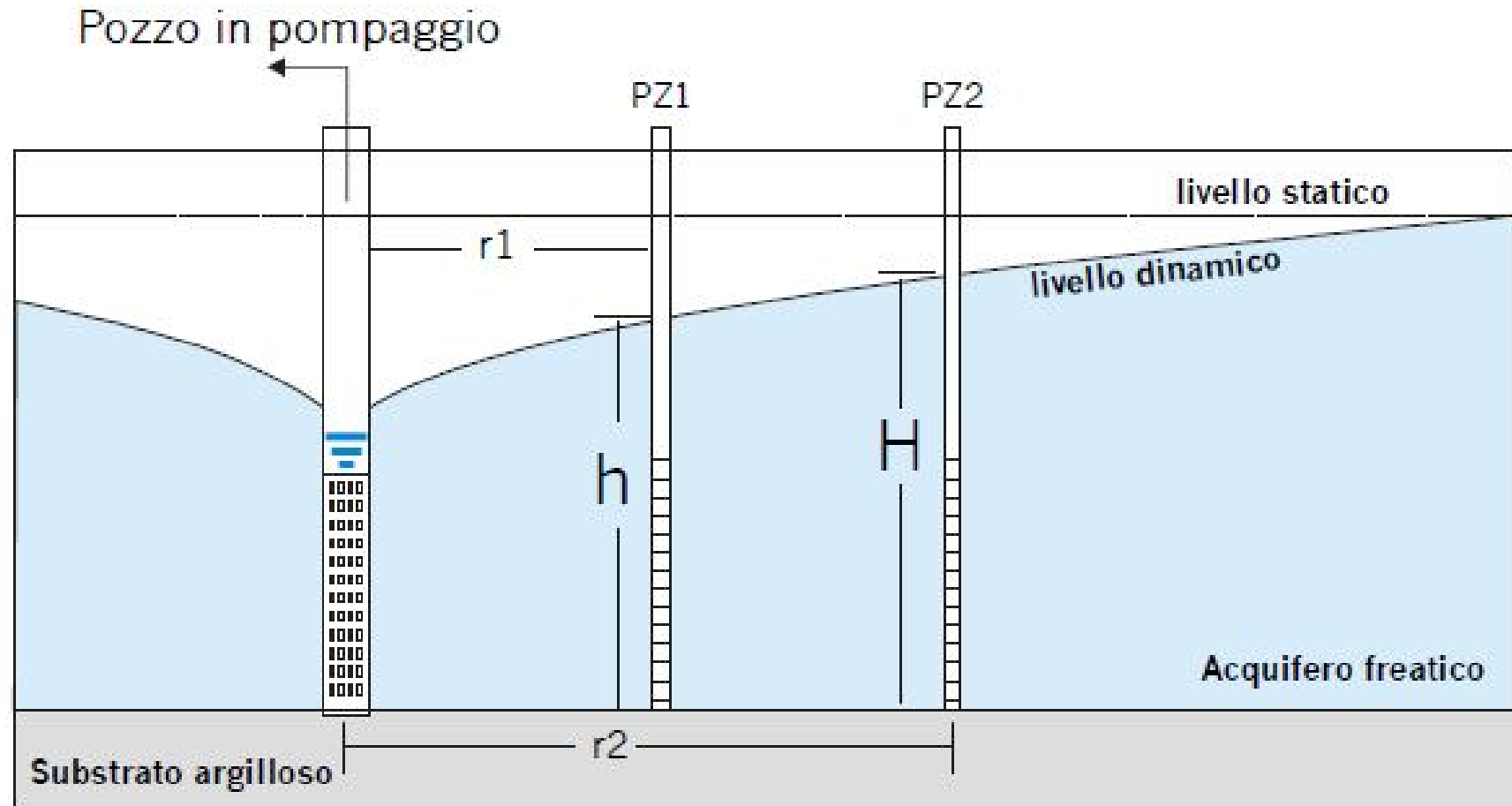
Metodo di Thiem: acquifero confinato



Conoscendo la portata cost, estratta durante la prova, le distanze dei piezometri del pozzo e gli abbassamenti misurati, la trasmissività è data da:

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

Metodo di Dupuit: acquifero freatico



$$Q = \pi K \frac{H^2 - h^2}{\ln r_2 / r_1}$$

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

Condizioni di validità per il pozzo

- Deve essere completo fino al substrato impermeabile
- Il flusso verso i filtri è laminare con numero di Reynolds < 10
(velocità d'ingresso ≤ 3 cm/sec)
- L'acqua pompata è scaricata all'esterno (senza che si reinfiltri nell'acquifero)
- Il diametro del pozzo è piccolo così da trascurare il volume d'acqua nel tubo e le perdite di carico
- La portata è costante
- Il regime è permanente (il tempo non compare nelle formule!)
quindi Δs è costante, a parità di sollecitazione
- Gli abbassamenti sono piccoli, rispetto allo spessore saturo
($\Delta s \leq 0,15 H - 0,25 H$)

Condizioni di validità per l'acquifero

- Deve essere confinato, omogeneo, isotropo, a spessore costante ed infinitamente esteso
- La falda è considerata piatta, all'inizio della prova
- È valida la legge di Darcy ed il flusso è radiale verso il pozzo
- La componente verticale della velocità di flusso è trascurabile ($v_z = 0$)
- Le componenti orizzontali della velocità di flusso sono uguali ($v_x = v_y$)

Metodi di soluzione in regime transitorio

Quando un pozzo in un acquifero infinito, è pompato a portata costante, il prelievo si estende radialmente nel tempo.

Poichè l'acqua prelevata deriva da una riduzione d'immagazzinamento dell'acquifero, il carico piezometrico continua a scendere dato che lo stesso è infinitamente esteso.

Si verifica pertanto una situazione di non equilibrio e, con il tempo, gli abbassamenti interessano aree sempre più vaste e quindi diventano trascurabili, tanto che si possono utilizzare dei metodi d'approssimazione che permettono di ricavare S e T.

Questa procedura è preferita rispetto alle formule d'equilibrio per i seguenti motivi:

- Permette di ricavare S
- È sufficiente un periodo di pompaggio inferiore, dato che non serve raggiungere l'equilibrio con la ricarica
- È sufficiente solo un piezometro
- Non sono necessarie alcune delle ipotesi restrittive del regime d'equilibrio

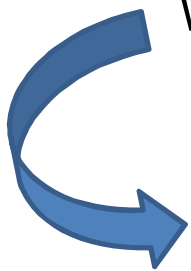
Utilizzando i grafici tempo-abbassamenti, i metodi più noti sono:

- Soluzione di Theis
- Soluzione semplificata di Cooper-Jacob

Soluzione di Theis

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

$W(u)$ è chiamata funzione di pozzo e l'argomento $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

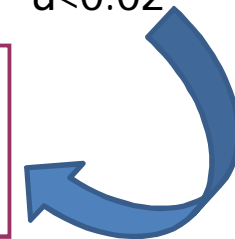


$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)$$
$$S = \frac{4Tt}{r^2} u$$



$u < 0.02$

$$s = 0.183 \frac{Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$



Soluzione di Cooper-Jacob

Il metodo di soluzione Cooper-Jacob, è basato su di un'approssimazione logaritmica della formula di Theis e prevede un grafico semilog, con s in scala aritmetica ed il tempo in scala logaritmica.

Con questo metodo i dati in abbassamento si utilizzano dapprima calcolando il valore di T e quindi quello di S .

$$s = 0.183 \frac{Q}{T} \log t + \log \frac{2.25T}{r^2 S}$$

EQUAZIONE DI UNA RETTA

$$s = a \log t + c$$

$$a = 0.183 \frac{Q}{T}$$

$$c = \log \frac{2.25T}{r^2 S}$$

Calcolo del raggio del cono di depressione

$$r_0 = 1.5 \sqrt{\frac{Tt_0}{S}}$$

Esempio

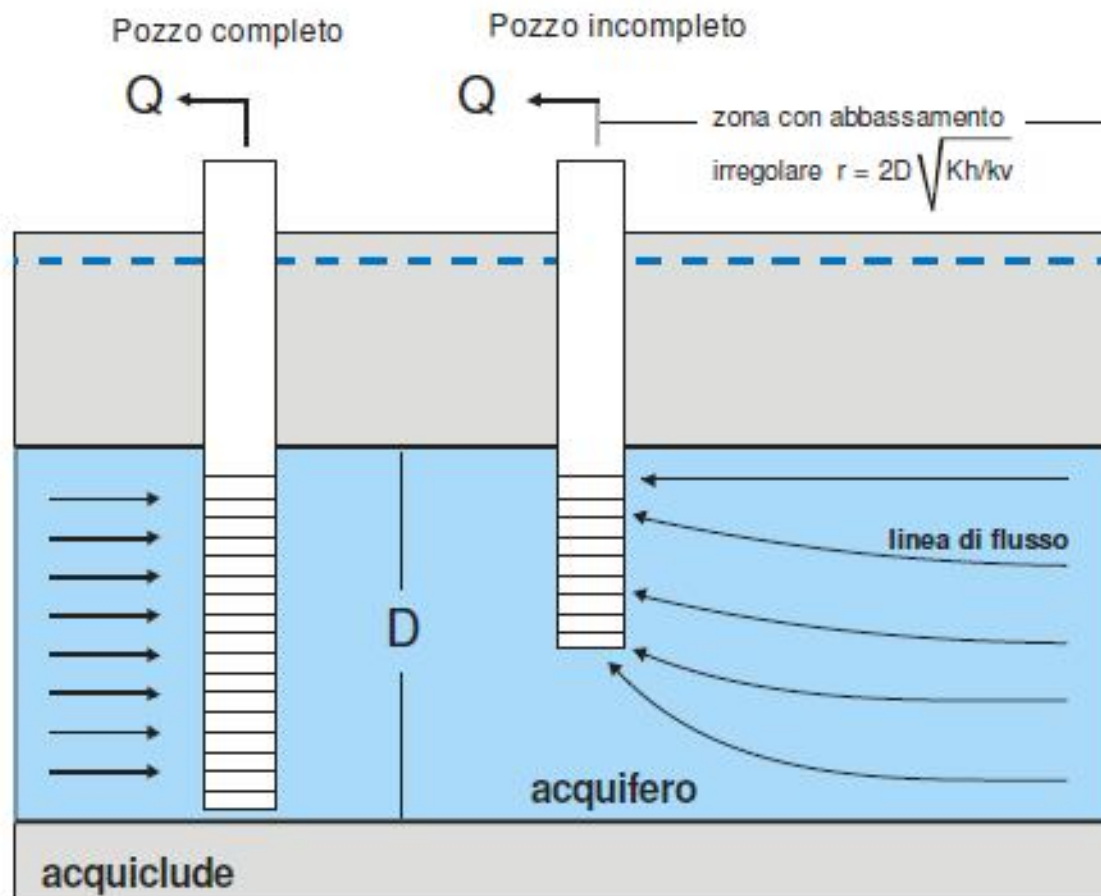
Un APT condotto su una stazione di prova corredata da numerosi piezometri ha permesso di calcolare i valori di T ($0,015 \text{ m}^2/\text{s}$) e di S ($0,2$). Dopo 40 h ($144\,000 \text{ s}$) di pompaggio costante a $122 \text{ m}^3/\text{h}$, si misurano ai vari piezometri le depressioni relative (tabella 7).

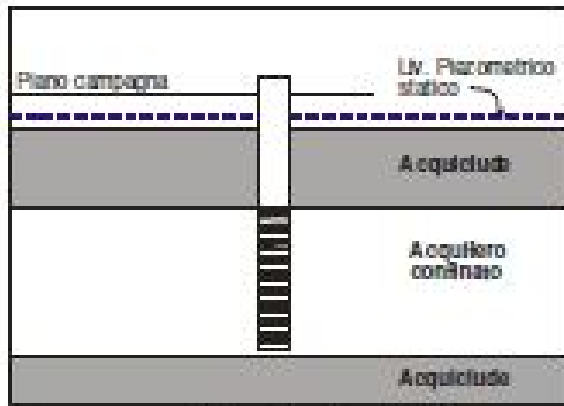
Tabella 7: Dati rilevati da una serie di piezometri nel corso di un APT dopo 40 h di pompaggio a portata costante

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
r (m)	11,8	24,0	39,0	59,0	85,0	123,0	160,0	205,0	250,0	309,0	352,0
s (m)	0,940	0,680	0,480	0,340	0,210	0,100	0,060	0,030	0,020	0,003	0,000

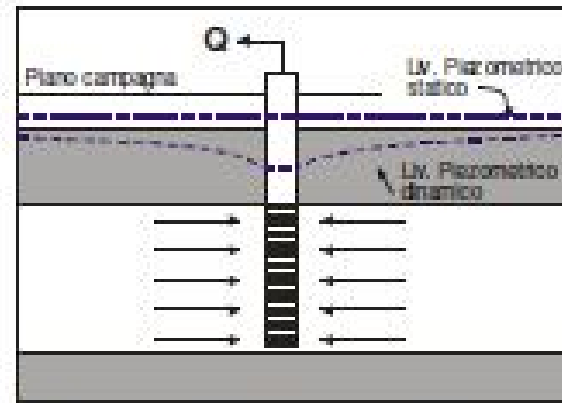
Pozzo incompleto

Il flusso ha una componente verticale che si estende dai filtri, fino ad una distanza di circa 1,5 - 2 volte lo spessore dell'acquifero
Gli abbassamenti misurati necessitano quindi di una correzione, per potere essere utilizzati nelle formule.

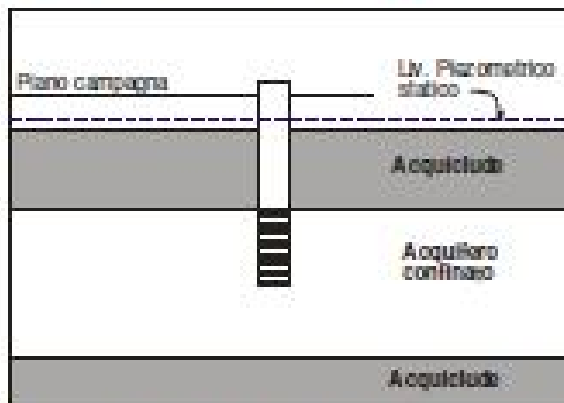




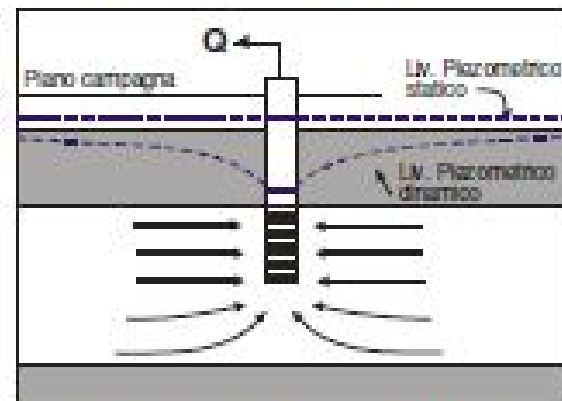
A: pozzo completo, situazione iniziale



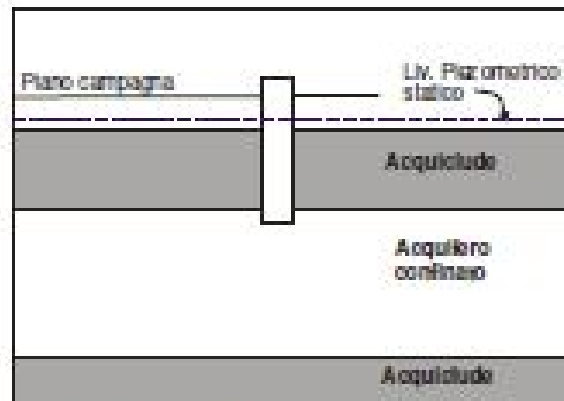
A: pozzo completo in pompaggio



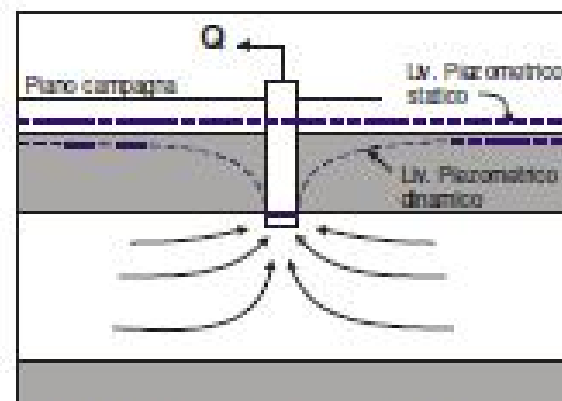
B: pozzo completo al 50%, situazione iniziale



B: pozzo completo al 50% in pompaggio



C: pozzo non completo, situazione iniziale

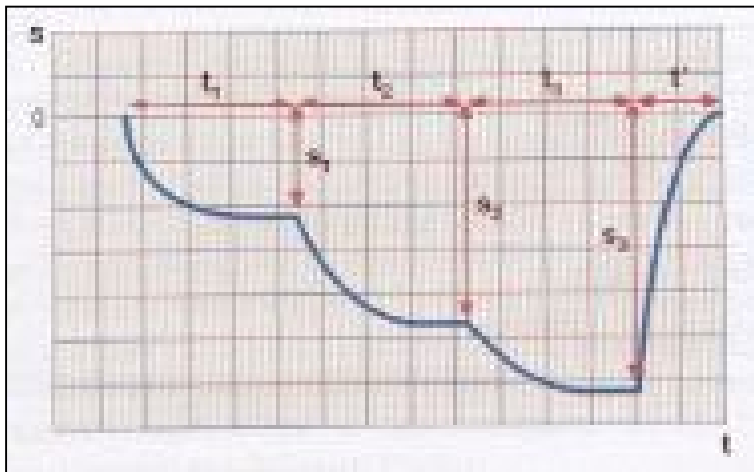


C: pozzo non completo in pompaggio

Prove a fini multipli

MULTI-PURPOSE AQUIFER TEST (MPAT)

Si eseguono a diversi gradini da tre a cinque (step) di pompaggio con portata cost con misure delle depressioni al pozzo ed in uno o più piezometri e recupero totale o parziale di livello dopo ciascun gradino



Step consecutivi, con autostabilizzazione e aumento della portata, con un unico recupero del I.s. alla fine della serie

Step non consecutivi, ciascuno con recupero completo del I.s. al termine della fase di pompaggio

