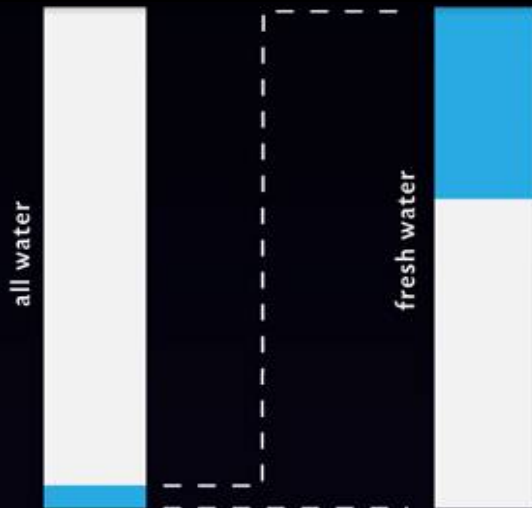


L'ACQUA sarà il PETROLIO del 21° SECOLO



Solo il 2,5% dell'acqua del
pianeta è DOLCE

Di questa, il 70% è congelata nei ghiacciai
e nelle calotte polari



Tutta la popolazione mondiale si basa
sul 30% del 2,5% (0,75%)
delle risorse idriche disponibili



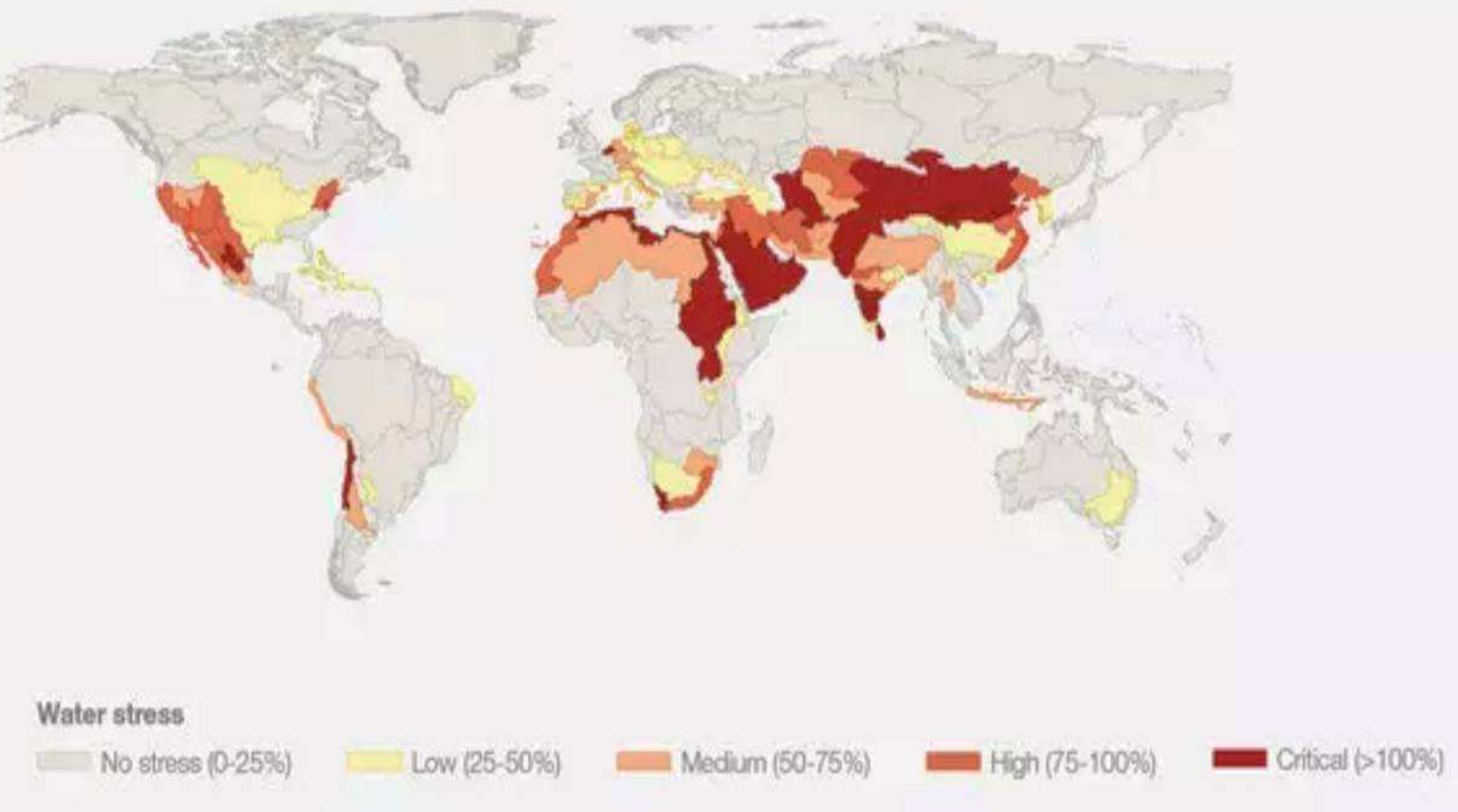
di queste 1/10 sono superficiali
e 9/10 sotterranee



ATTUALMENTE IL MONDO USA **PIU' DELLA META'**
DELLE RISORSE DI ACQUA DOLCE DISPONIBILI IN SUPERFICIE O NEL SOTTOSUOLO

NEL 2025 ARRIVERA' AL

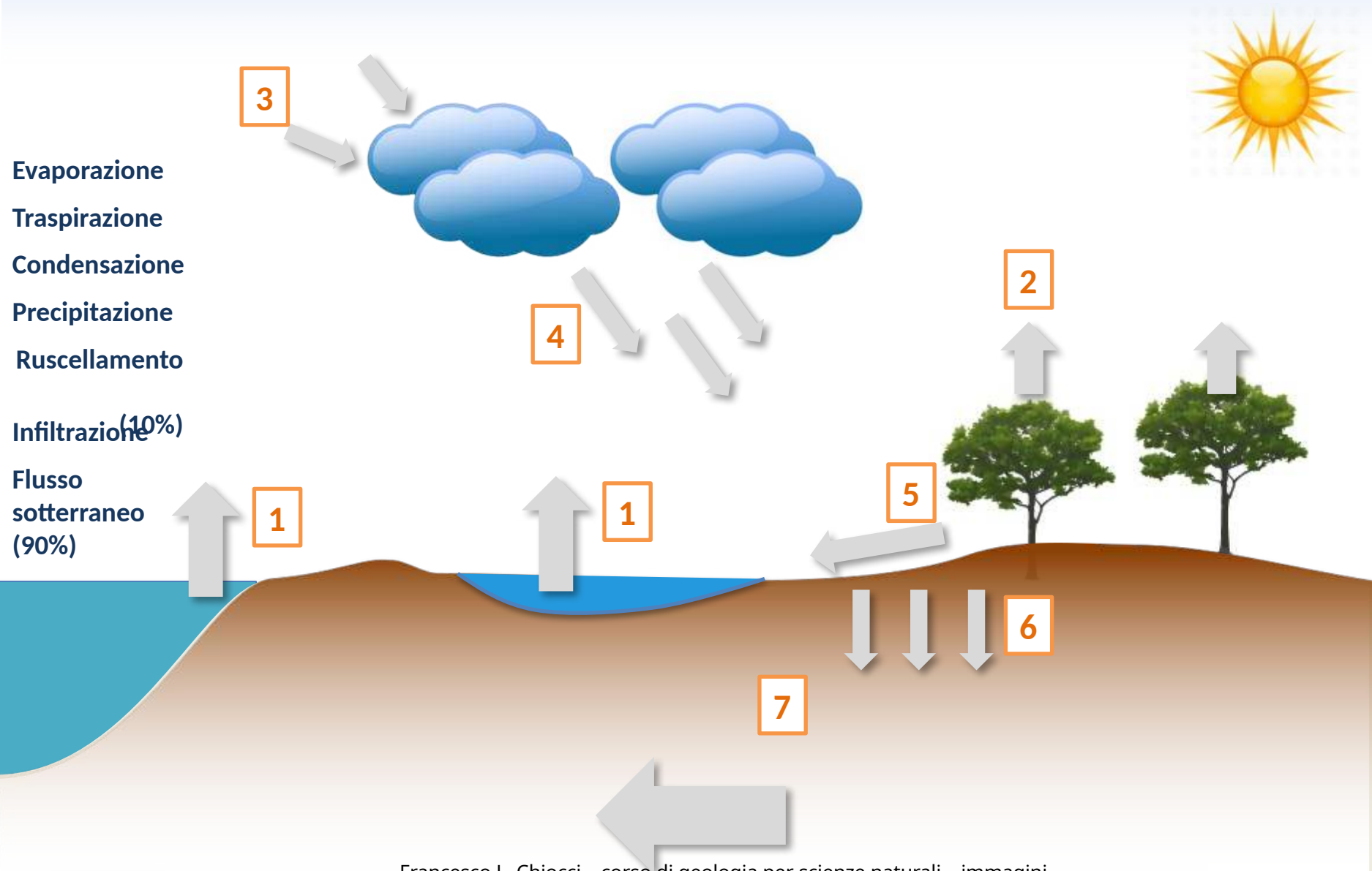
Francesco L. Chiocci - corso di geologia per scienze naturali - immagini



FAO, Level of water stress (SDG 6.4.2) by major major river 2018

È il rapporto tra sottrazione di acqua per agricoltura, servizi e industria e quantità di acqua disponibile sottratta quella necessaria per supportare i servizi ecosistemici

IDROLOGIA il ciclo idrologico



CICLO IDROLOGICO

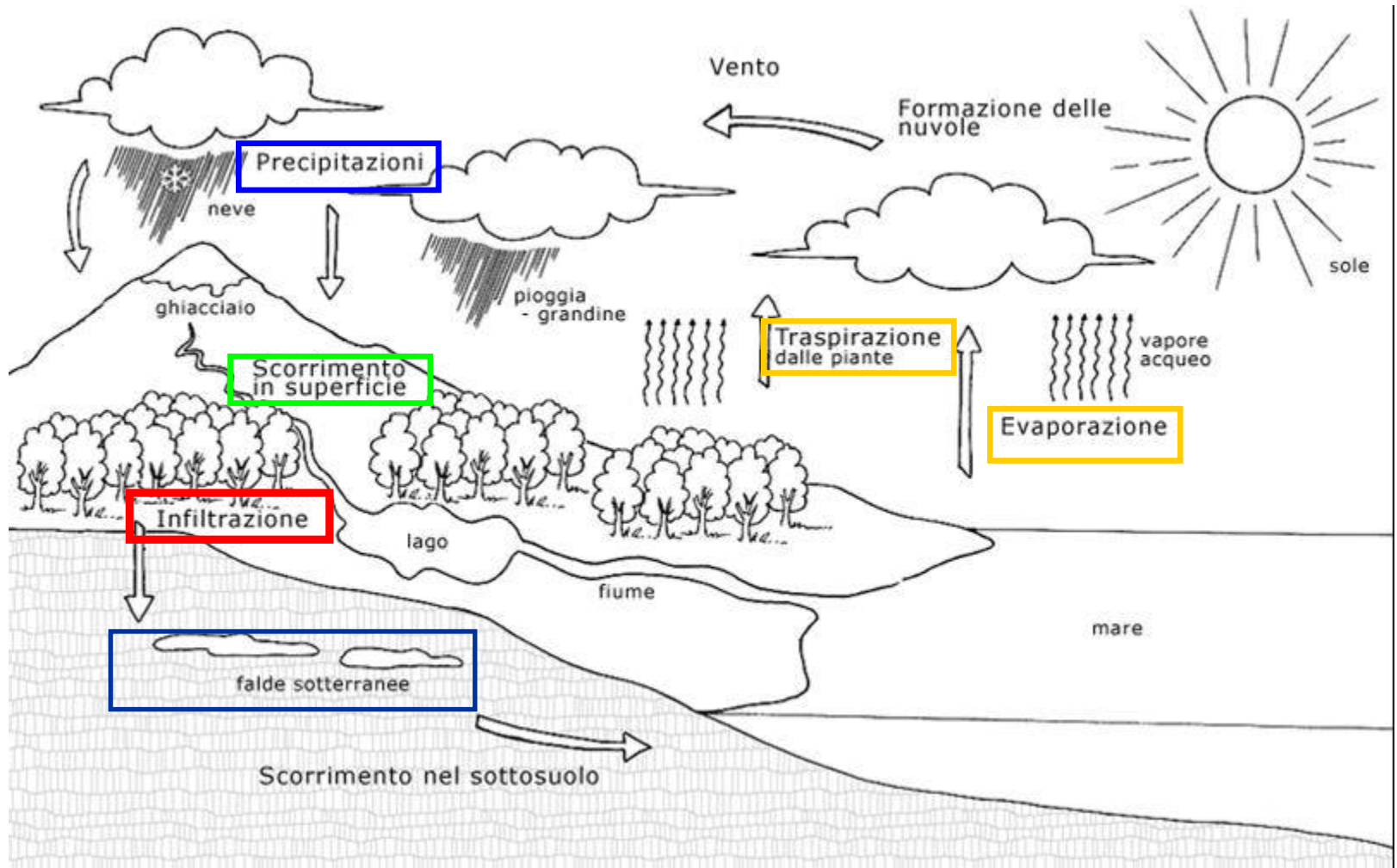
$$P = ETR + R + I$$

Precipitazione P = quantità d'acqua che giunge al suolo

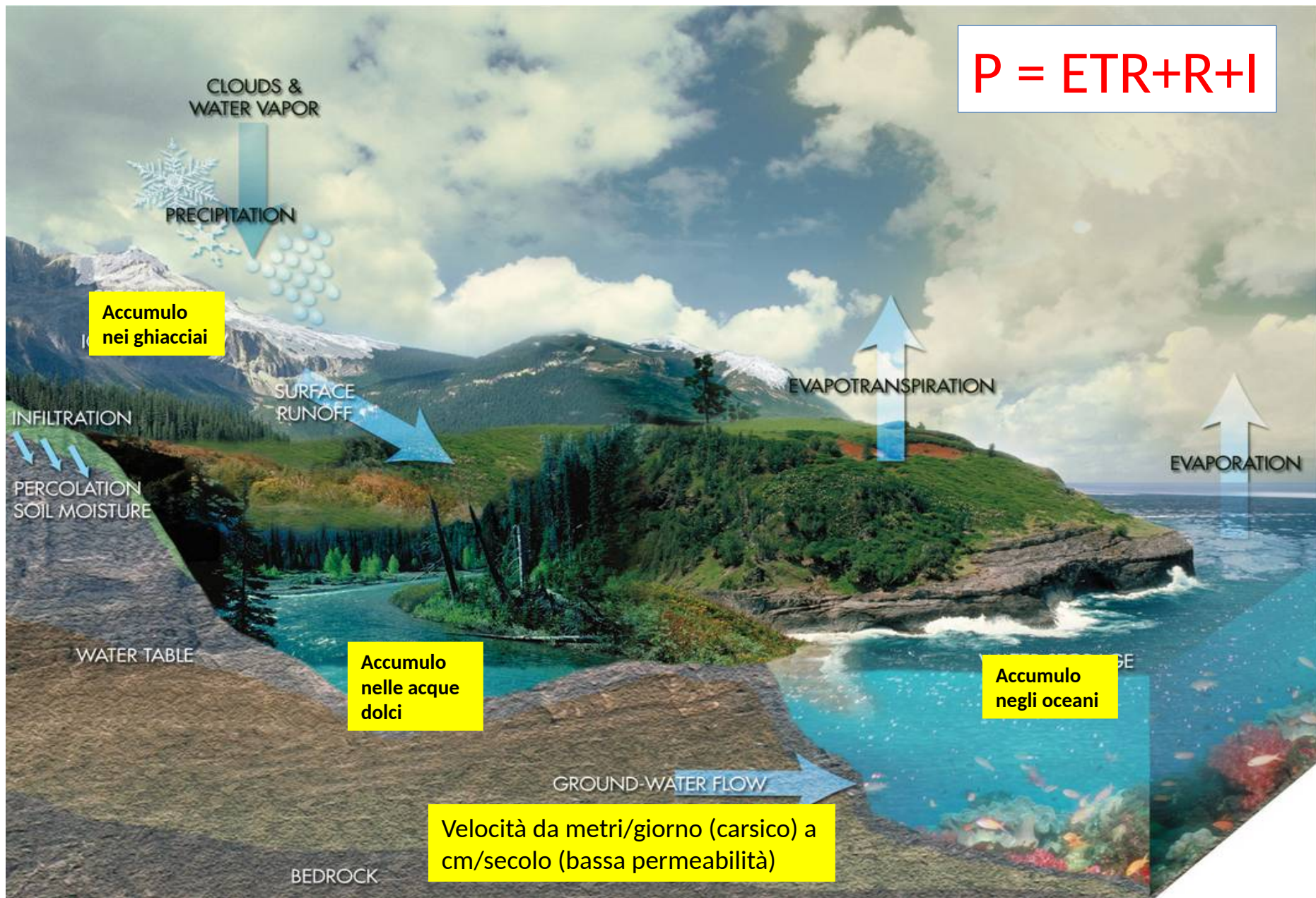
Evapotraspirazione ETR = quantità d'acqua che ritorna all'atmosfera per evaporazione e traspirazione

Ruscellamento R = quantità d'acqua che scorre in superficie raggiungendo i fiumi, i laghi o il mare

Infiltrazione I = quantità d'acqua che si introduce nel terreno e raggiunge la falda acquifera

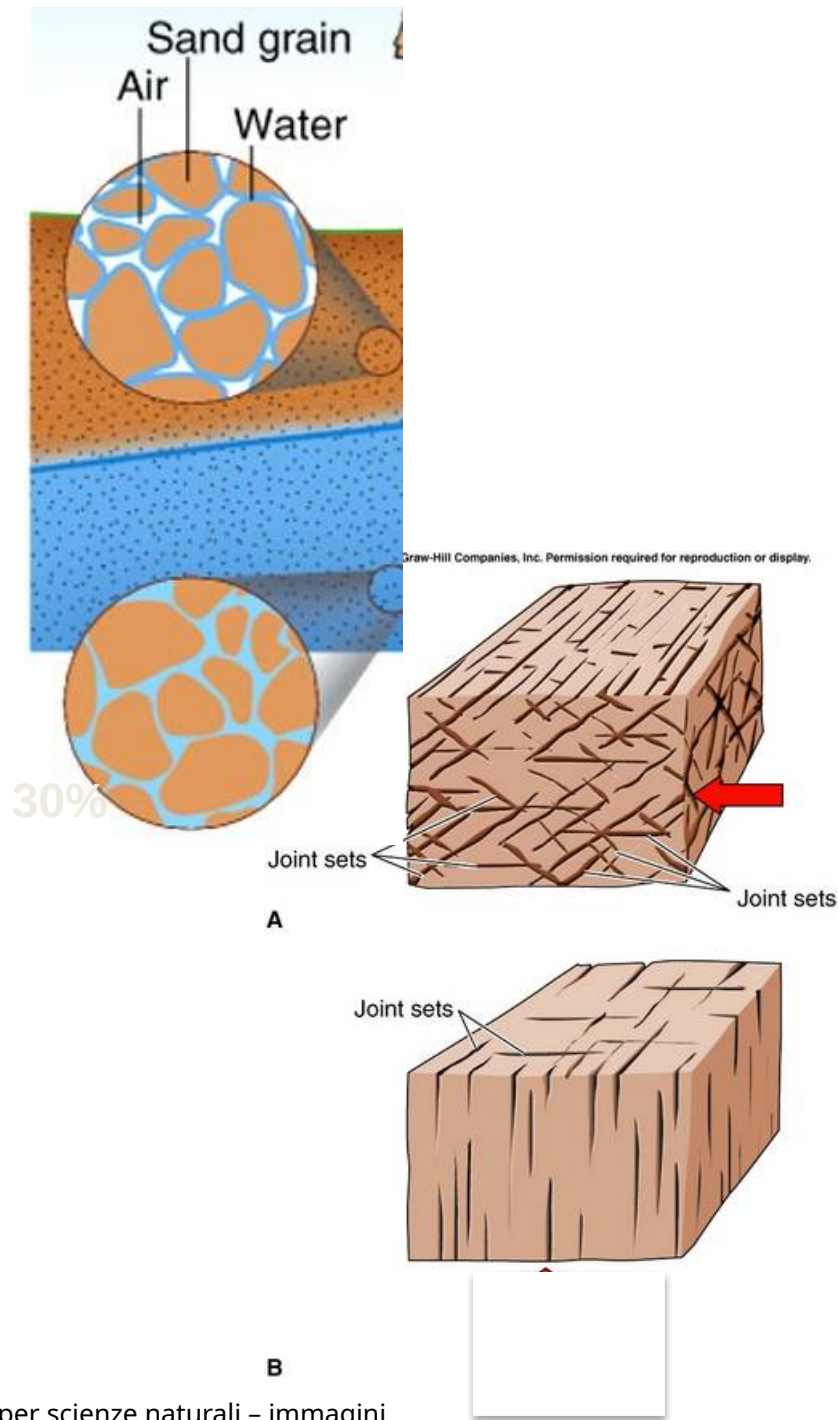


$$P = ETR + R + I$$



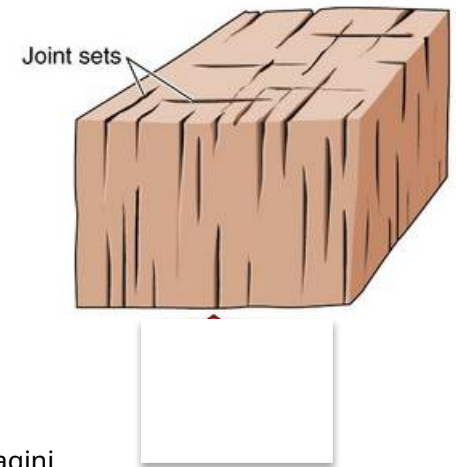
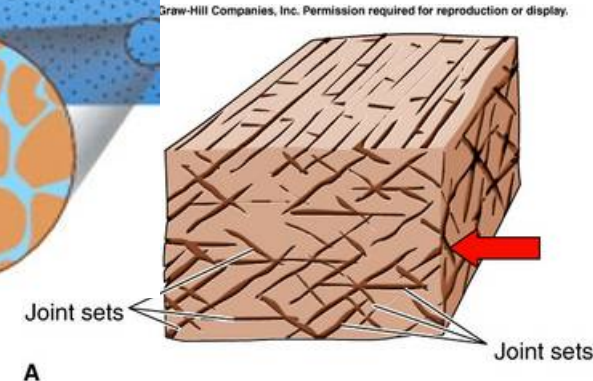
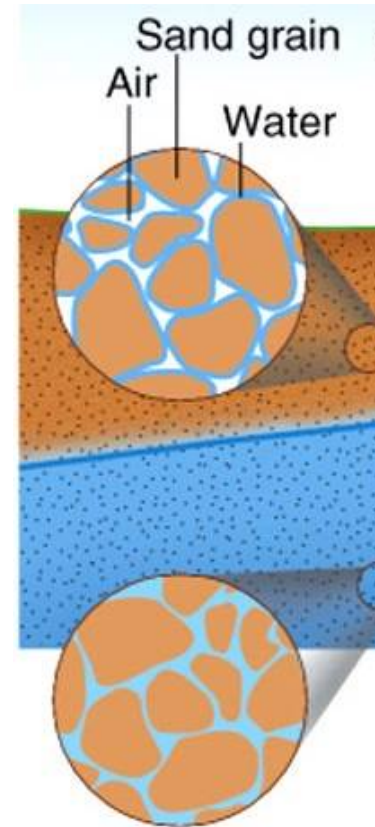
Porosità e Permeabilità

- **Porosità**: Percentuale di volume vuoto.
 - **Nei sedimenti**: Determinata da quanto sono compatti e quanto ricchi in matrice (silt e argilla in genere tra 20 e 40%)
 - **Nelle rocce**: Determinata dal numero e dimensioni delle fratture (di solito bassa, <5%)



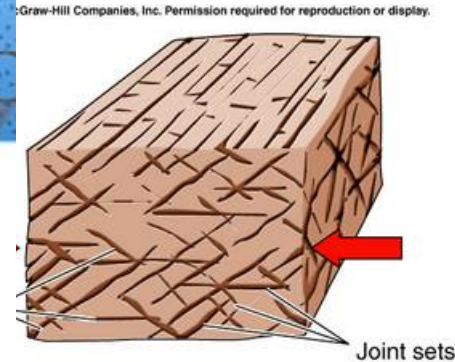
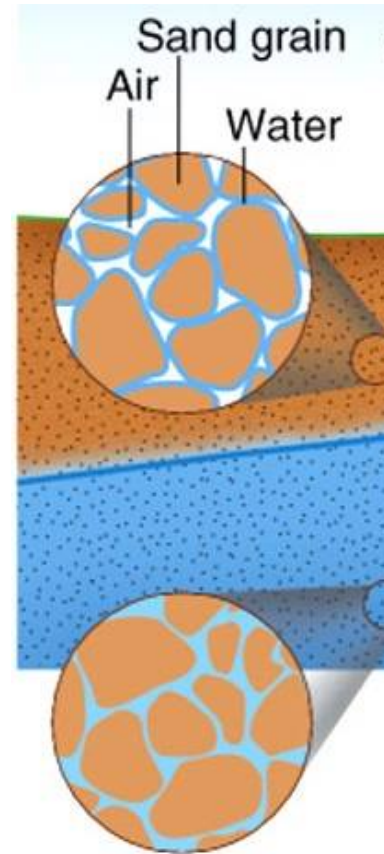
Porosità e Permeabilità

- **Permeabilità:** Facilità con la quale l'acqua fluisce in un mezzo poroso
 - **Nei sedimenti:** Proporzionale alla granulometria
 - Ghiaia $\square$ Eccellente
 - Sabbia $\square$ Buona
 - Silt $\square$ Moderata
 - Argilla $\square$ Bassa
 - **Nelle rocce:** Proporzionale alla spaziatura e all'interconnessione tra le fratture. Può essere alta o molto alta nel caso di carsismo



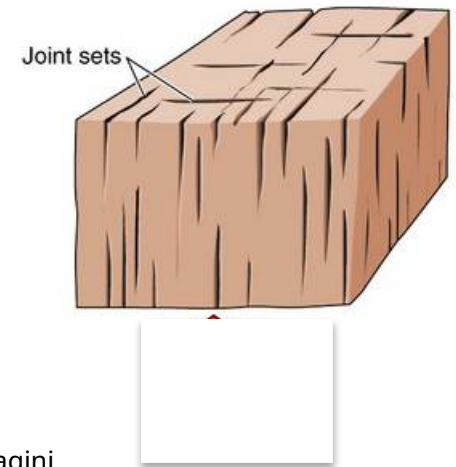
Porosità e Permeabilità

- La permeabilità **NON** è proporzionale alla porosità



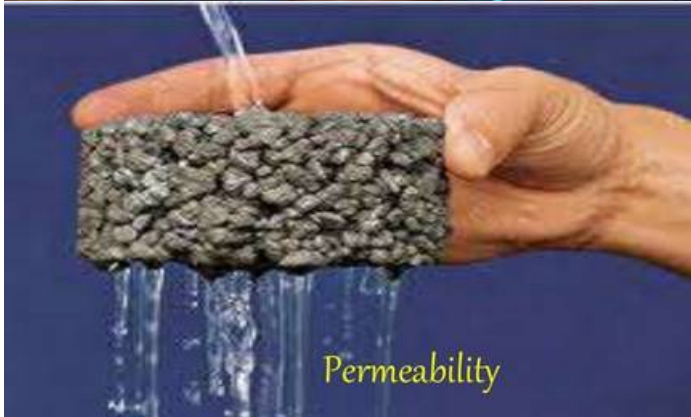
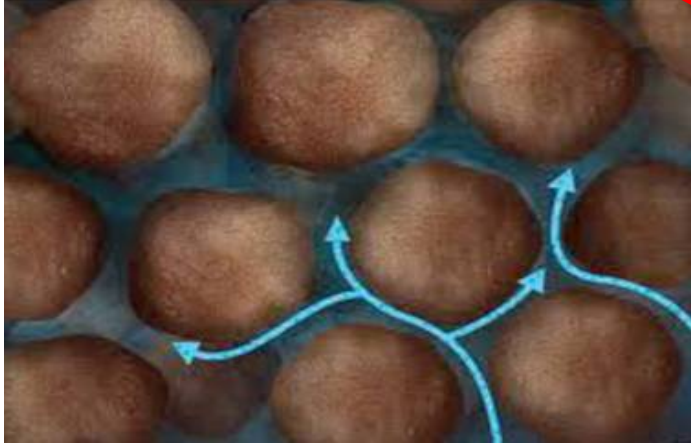
A

Sediment	Porosity (%)	Permeability
Gravel	25 to 40	excellent
Sand (clean)	30 to 50	good to excellent
Silt	35 to 50	moderate
Clay	35 to 80	poor
Glacial till	10 to 20	poor to moderate



B

L'acqua (come il petrolio) non si trova in cavità o grotte sotterranee ma circola all'interno dei pori o delle fratture nelle rocce permeabili o nel sedimento sciolto



Tubi finestrati per pozzo

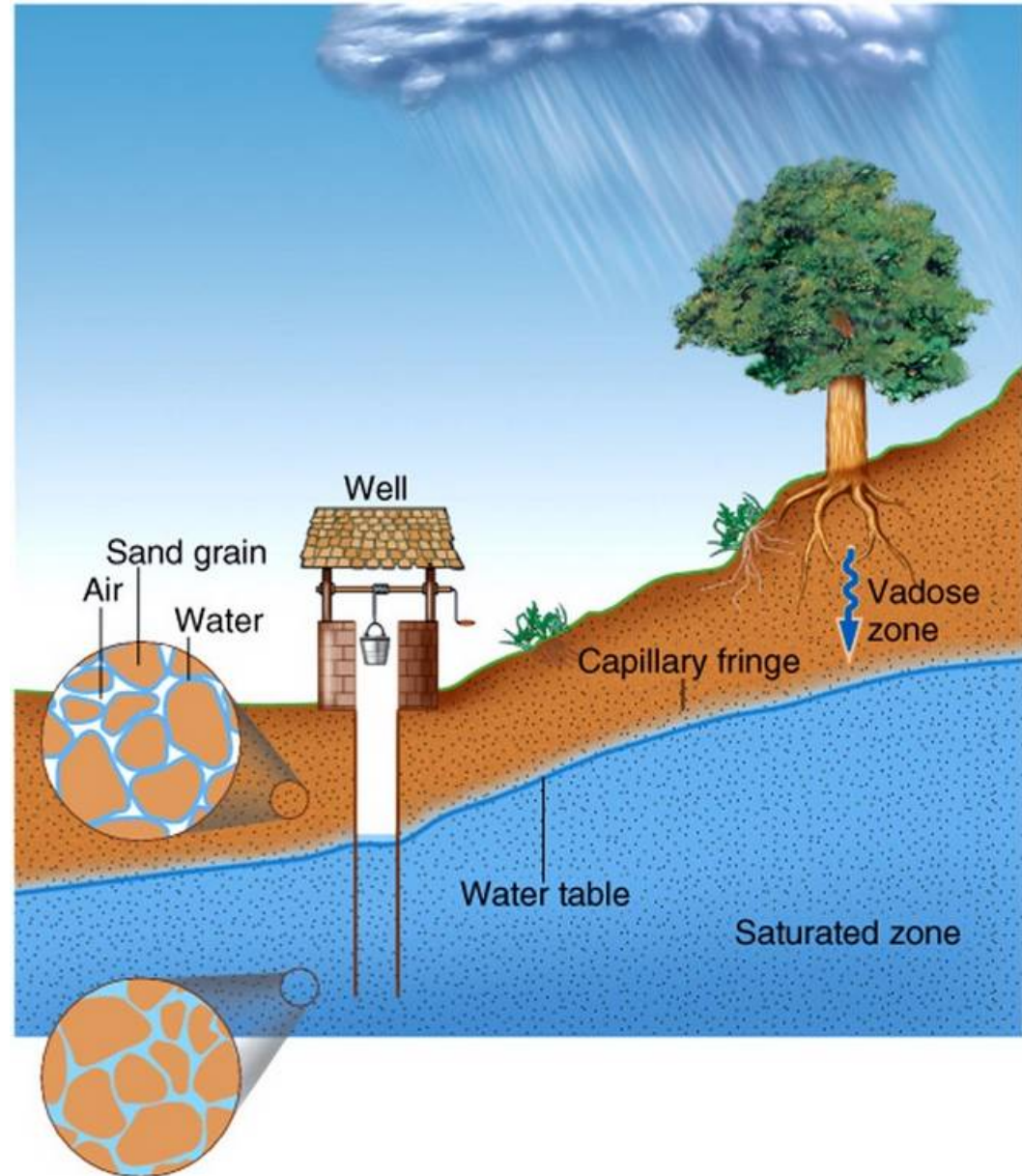
Le fessure sono dimensionate in base alla granulometria dell'acquifero

La falda acquifera

È la zona in cui le rocce sono completamente sature (gli spazi tra i granuli o nelle fratture sono riempiti di acqua). La sua profondità è la **quota piezometrica**.

Al di sopra della falda vi è la frangia di risalita capillare

La quota della falda è la quota dell'acqua nei pozzi o dell'acqua libera (fiumi, laghi, mare)



Se il livello della falda si alza o se il suolo scende per subsidenza (come in questo caso), la falda affiora

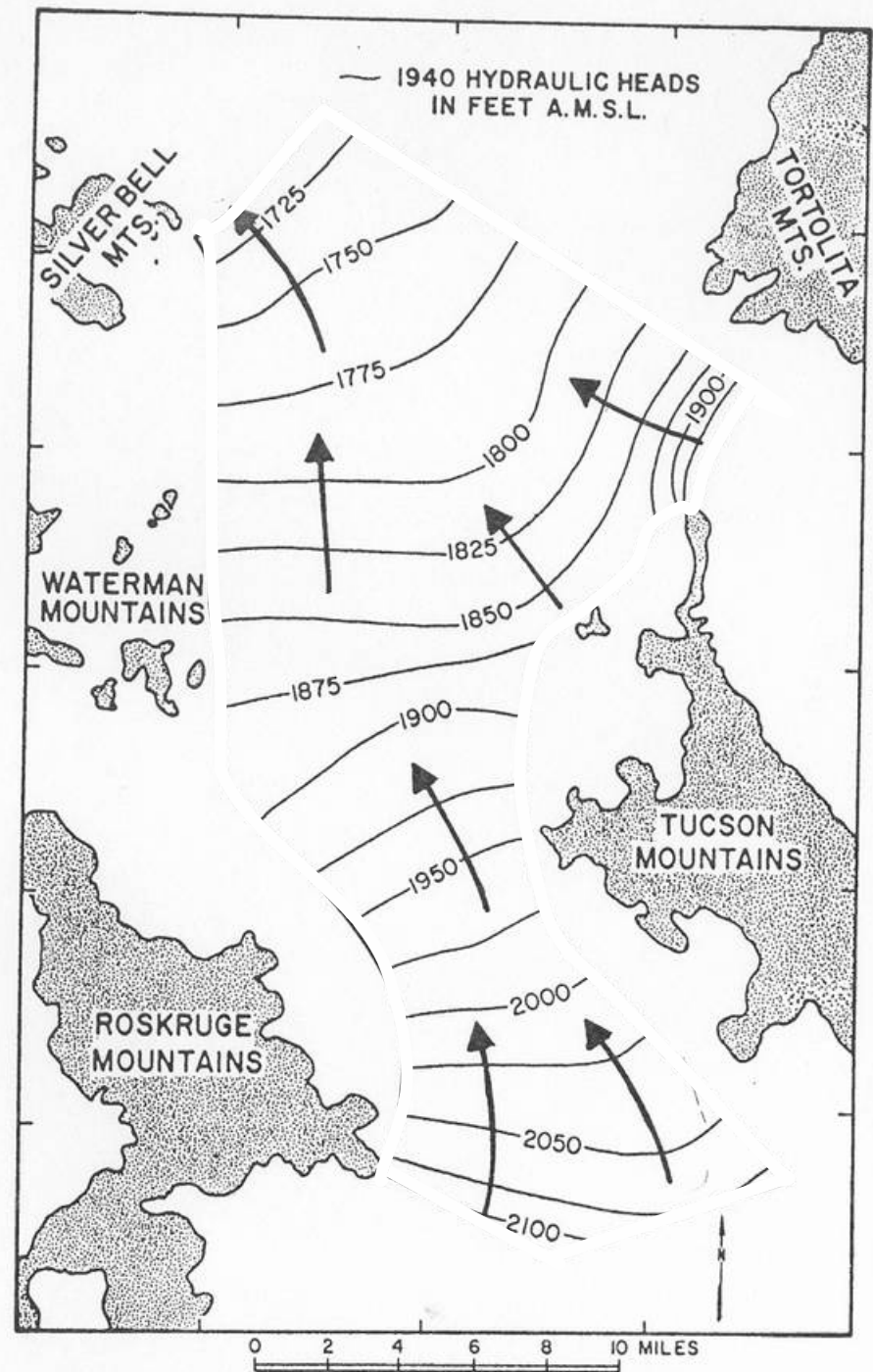


Francesco L. Chiocci – corso di geologia per scienze naturali – immagini per lezione non riproducibili perché molte protette da copyright

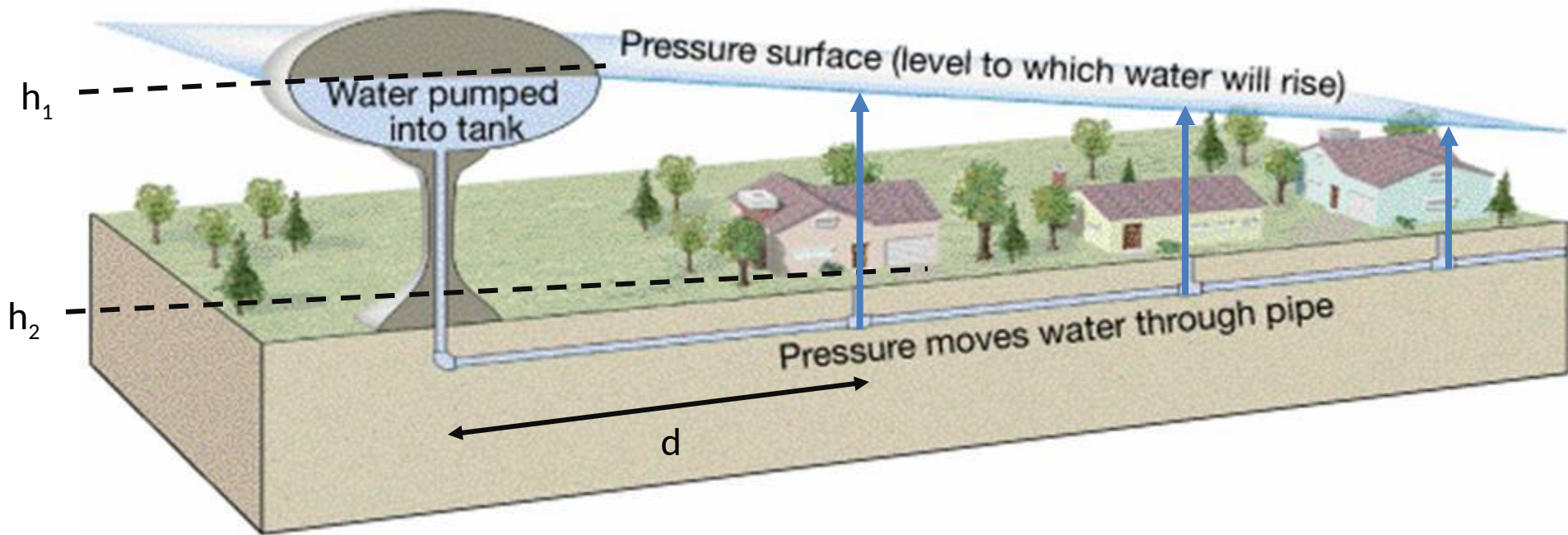
La carta piezometrica

Descrive la quota della superficie della falda.

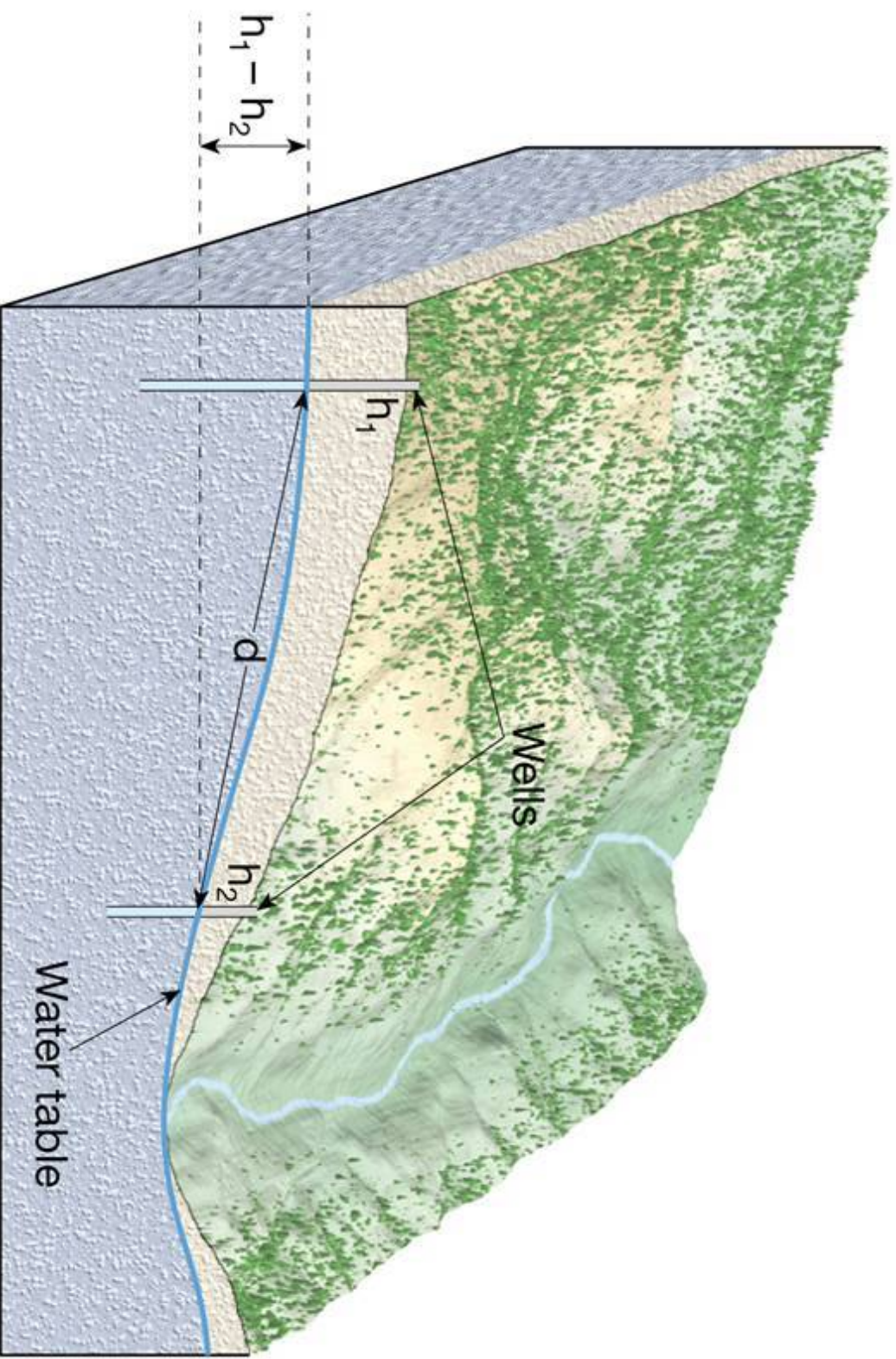
Le curve di livello si chiamano isopieze, il flusso sotterraneo è sempre perpendicolare ad esse.



Gradiente idraulico = $\frac{h_1 - h_2}{d}$

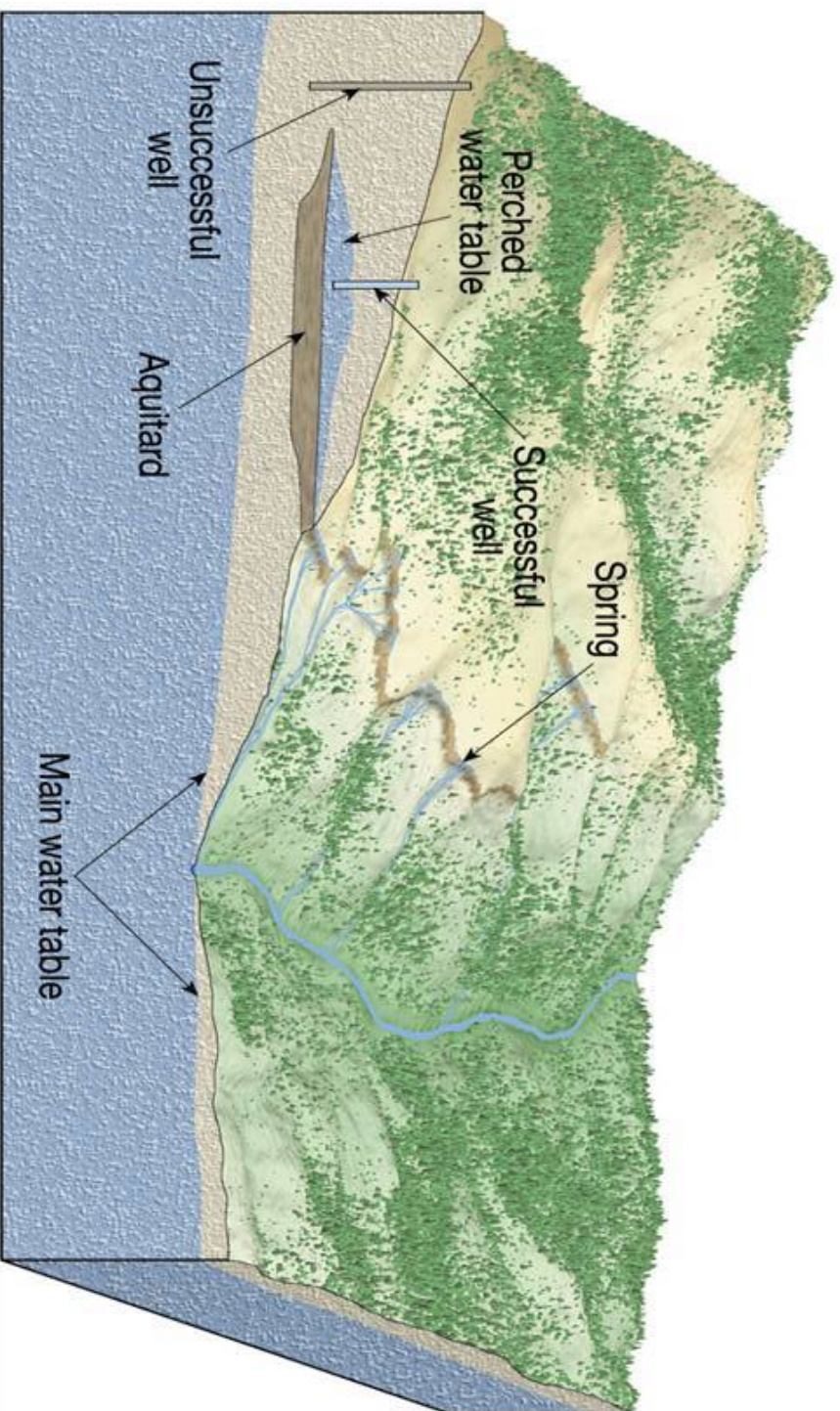


Gradiente idraulico



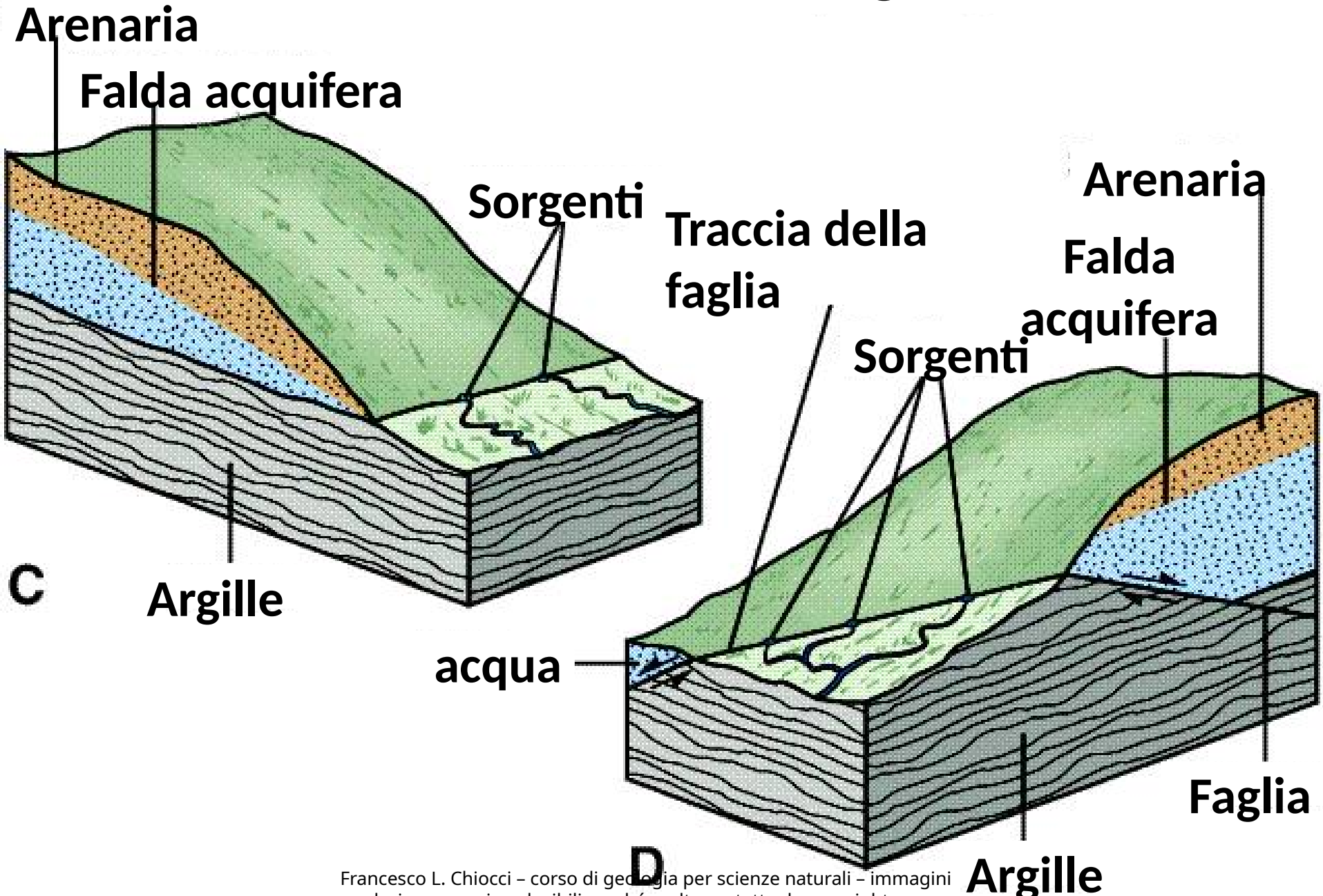
$$\text{Hydraulic gradient} = \frac{h_1 - h_2}{d}$$

Sorgenti

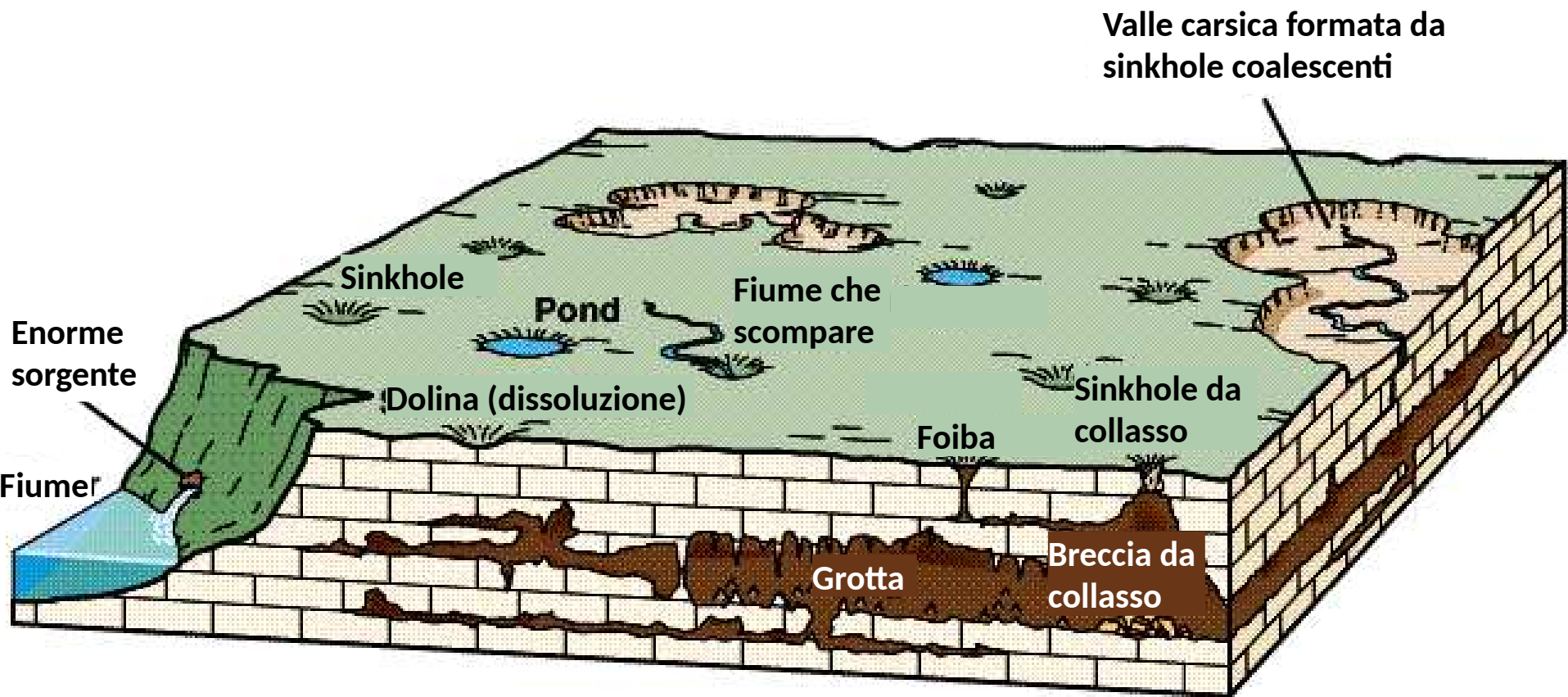


Fuoriuscita naturale d'acqua quando la falda intercetta la superficie topografica.

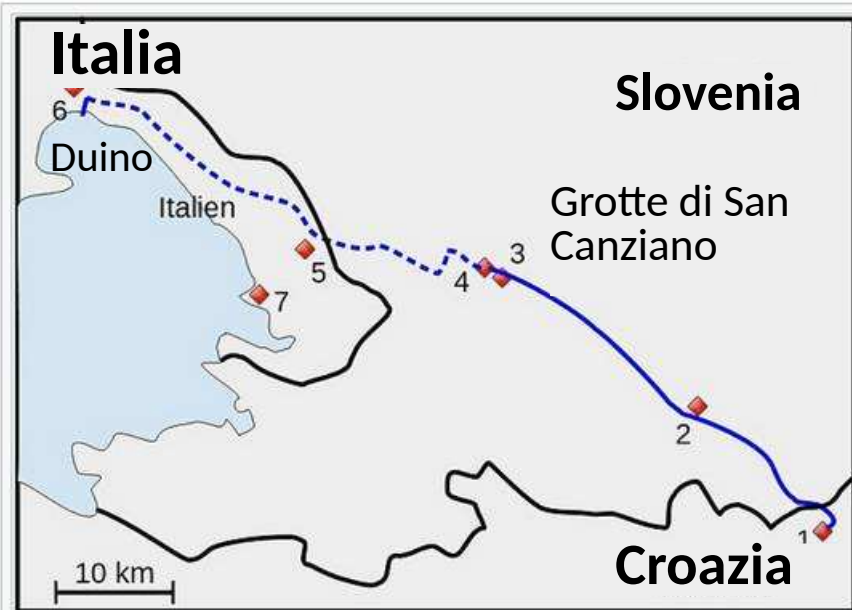
Formazione delle sorgenti



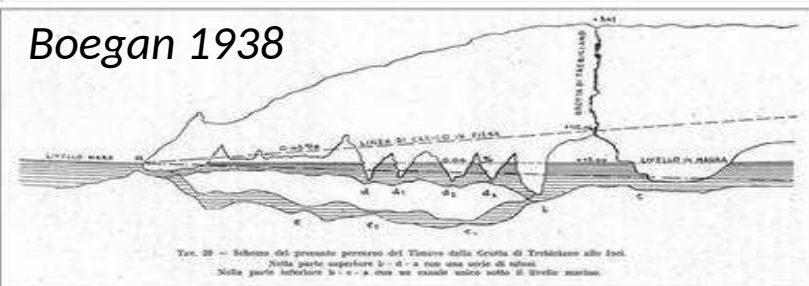
Carsismo epigeo ed ipogeo

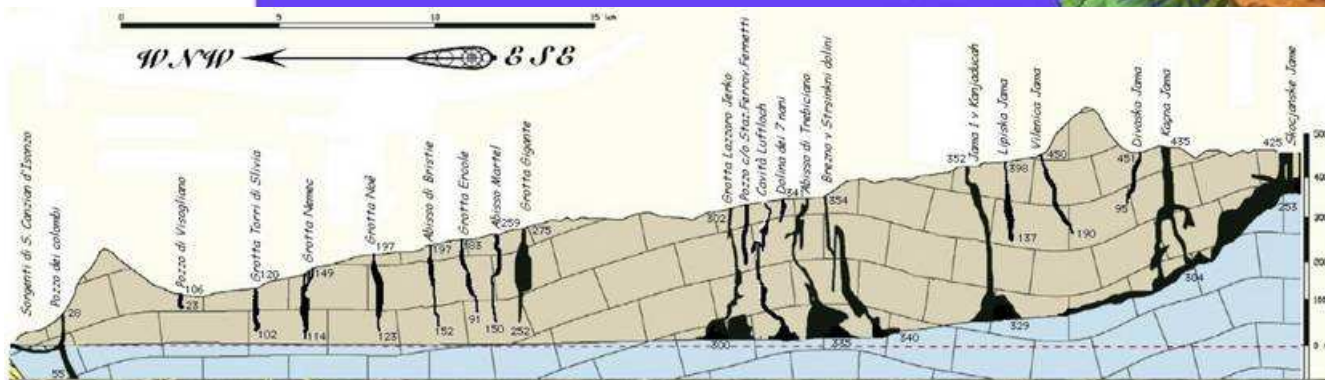


Fiume Timavo: Nasce in Croazia e attraversa il Carso per quasi novanta chilometri di cui 40 in sotterranea e sfocia in mare in Italia nei pressi di S.Giovanni di Duino

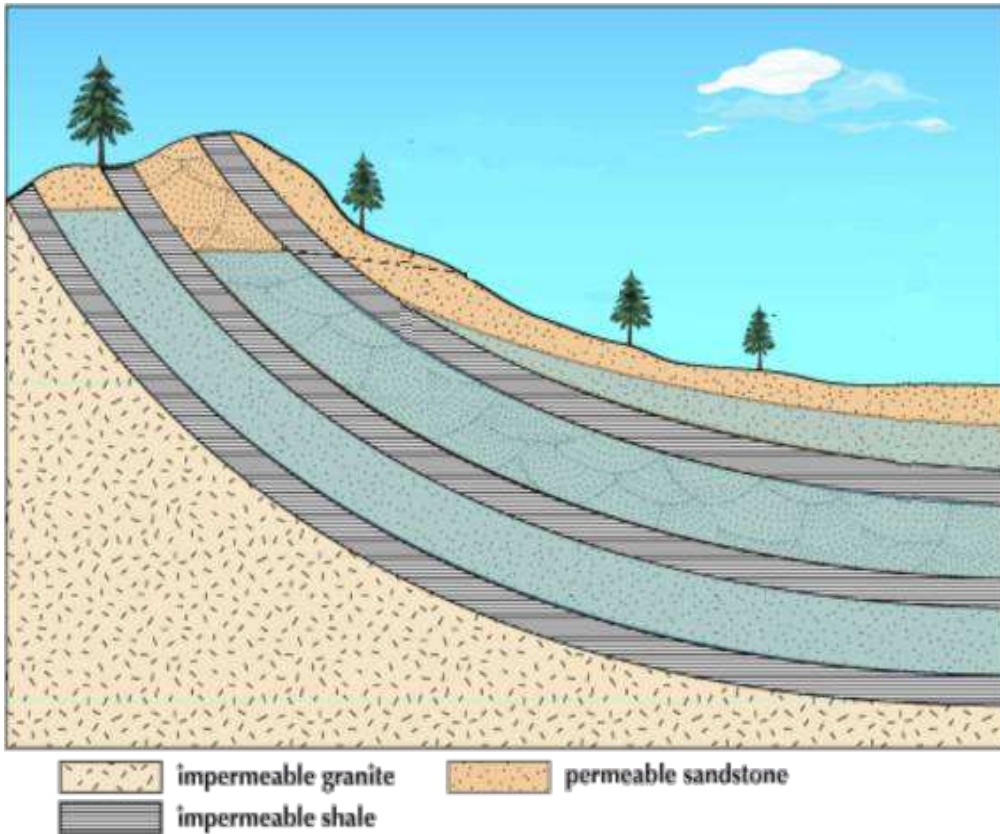


Boegan 1938





Se la falda è limitata inferiormente da un livello impermeabile, il corpo roccioso che contiene l'acqua *estraibile* si chiama acquifero



Ogni acquifero ha un suo livello piezometrico

in rocce **CRISTALLINE O SEDIMENTARIE**
(senza carsismo):

- circolano prevalentemente in fratture e discontinuità,
- non costituiscono grandi serbatoi (emergenze con scarse portate)

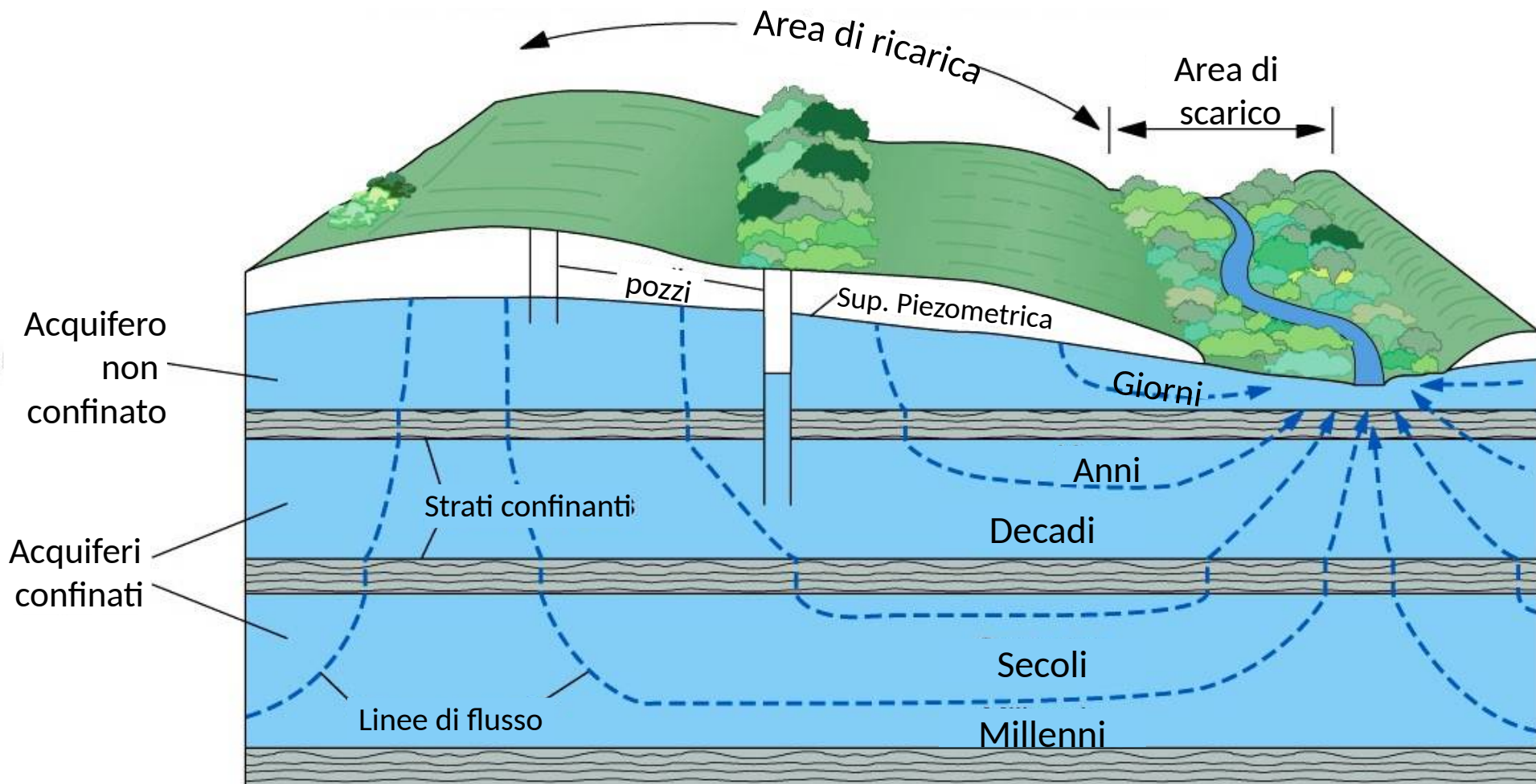
in rocce **CARBONATICHE CARSIFICATE (e gessi)** - circolano in fratture ma anche in cavità e condotti, allargati per dissoluzione,

- costituiscono grandi serbatoi naturali (emergenze con buone portate)

in **SEDIMENTI SCIOLTI**:

- circolano nei vuoti intergranulari,
- costituiscono serbatoi naturali di notevole capacità,

Ogni acquifero ha le sue caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua (e quindi indipendenza degli inquinanti), velocità del flusso e tempi di ricarica



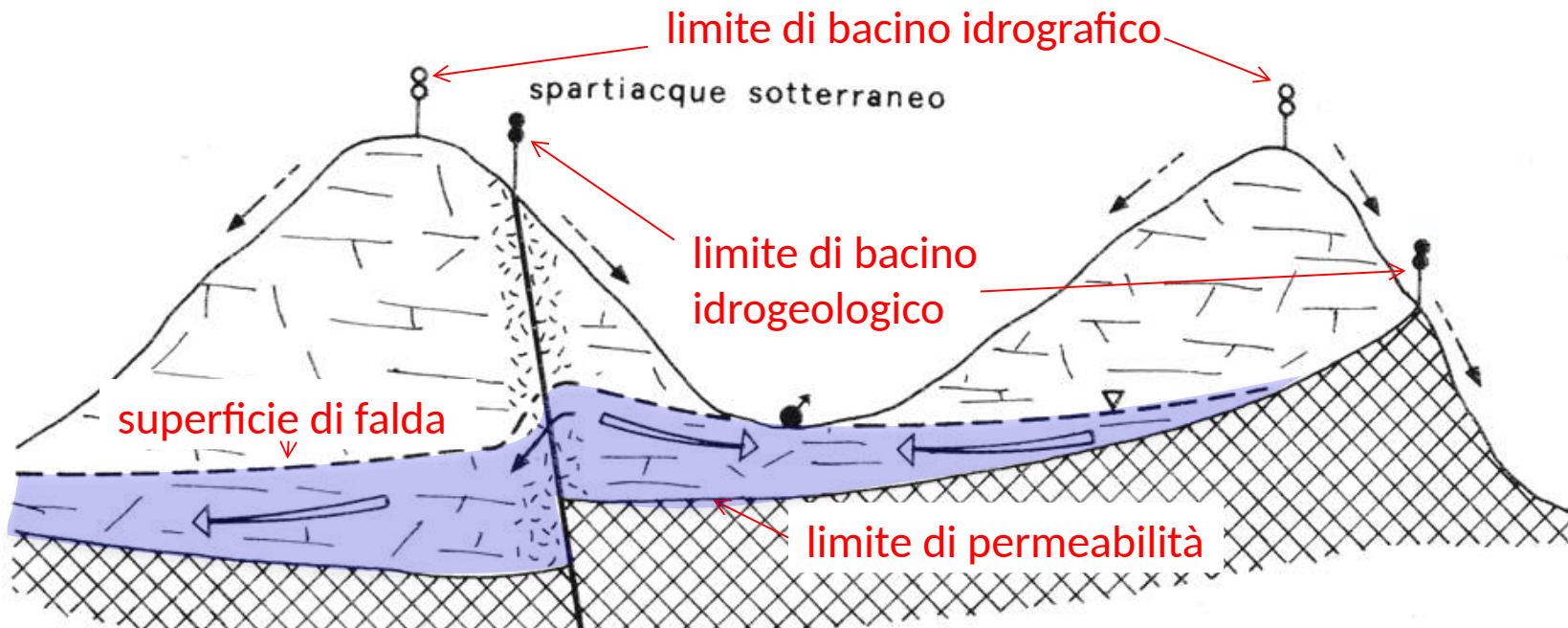
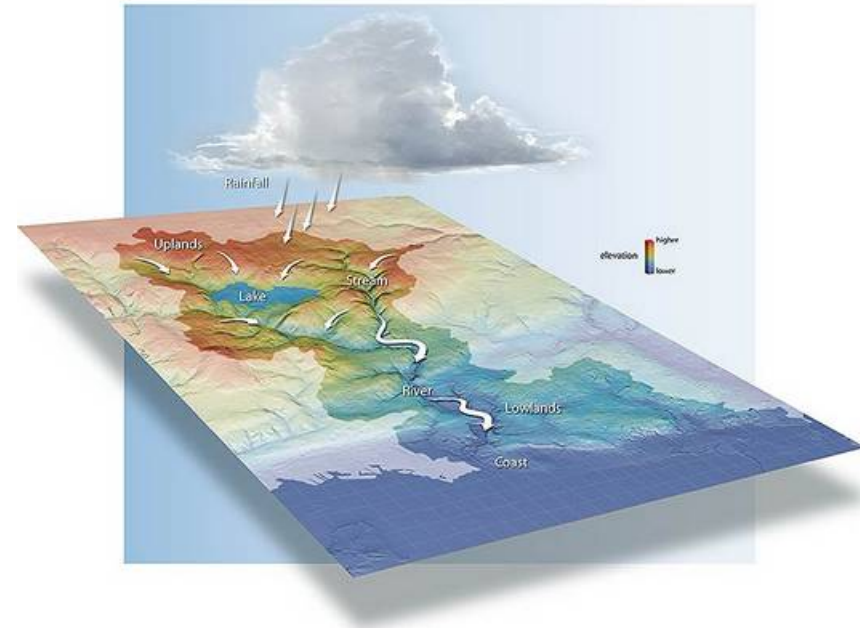
Bacino IDROGRAFICO

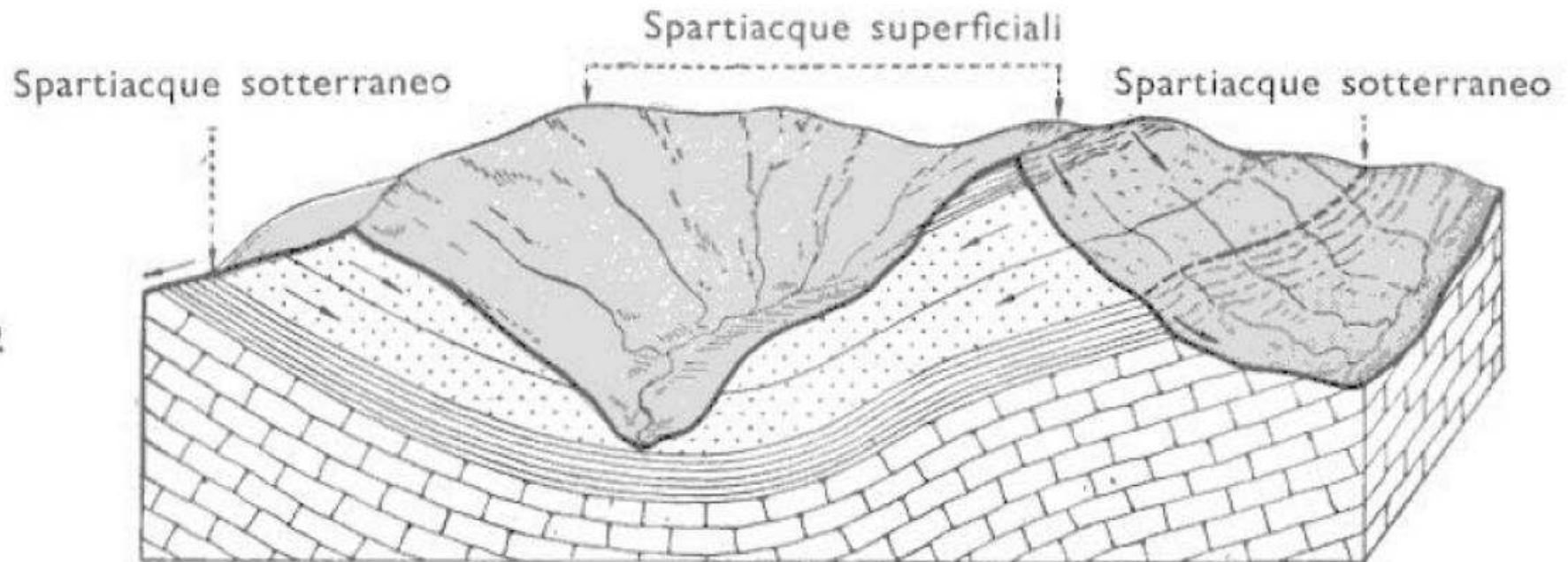
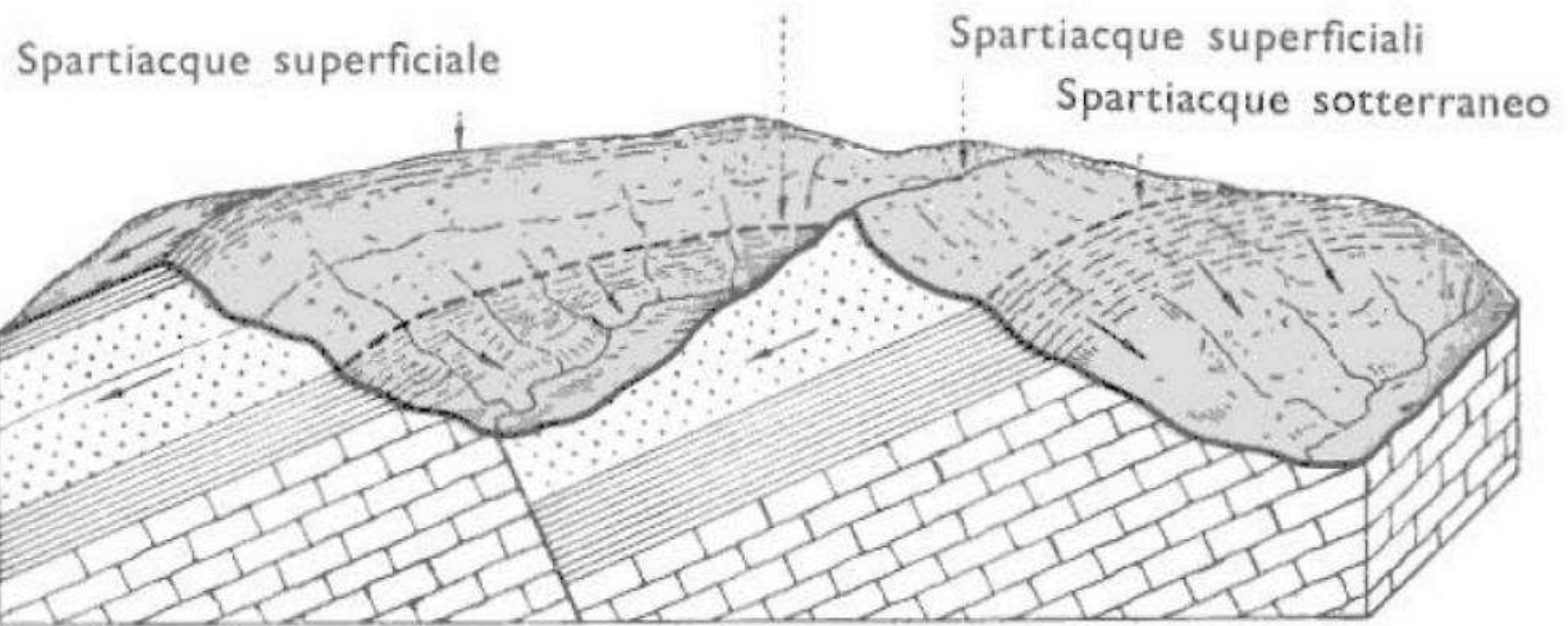
≠

Bacino IDROGEOLOGICO

limiti di bacini idrografici (spartiacque superficiali)

limiti di bacini sotterranei (spartiacque sotterranei) e limiti di permeabilità





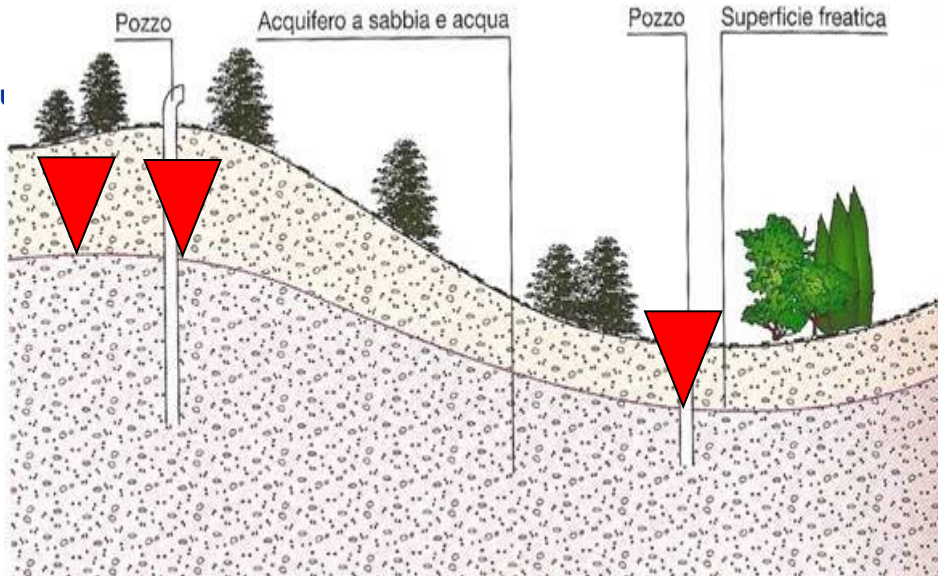
TIPI DI FALDA

Falda libera o freatica

Falda limitata solo inferiormente da uno strato impermeabile

La superficie piezometrica è quella dell'acqua nei pozzi o delle acque superficiali libere (fiumi, laghi, mare)

Superficie piezometrica = Superficie della falda

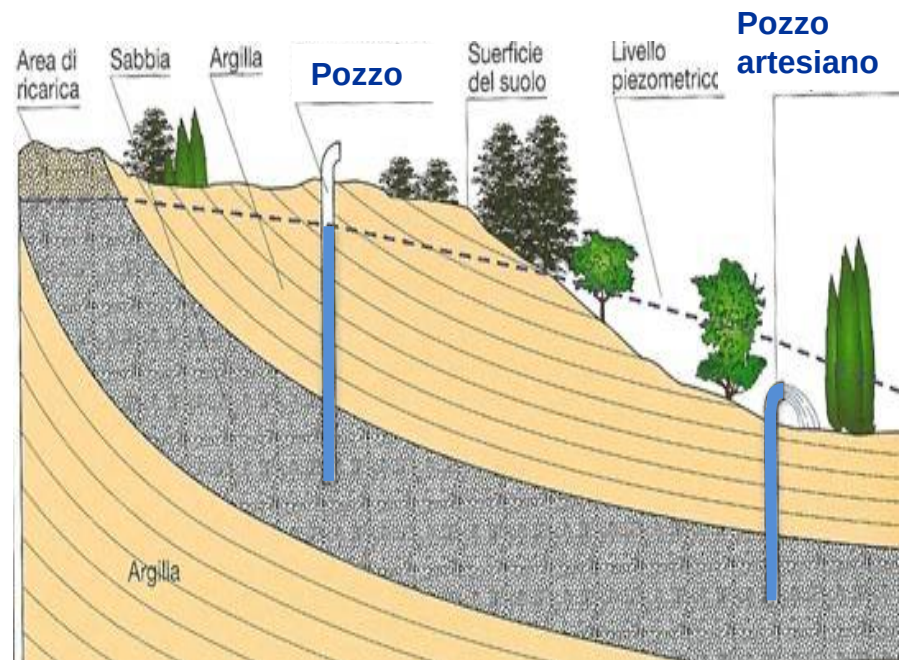


Falda imprigionata o in pressione.

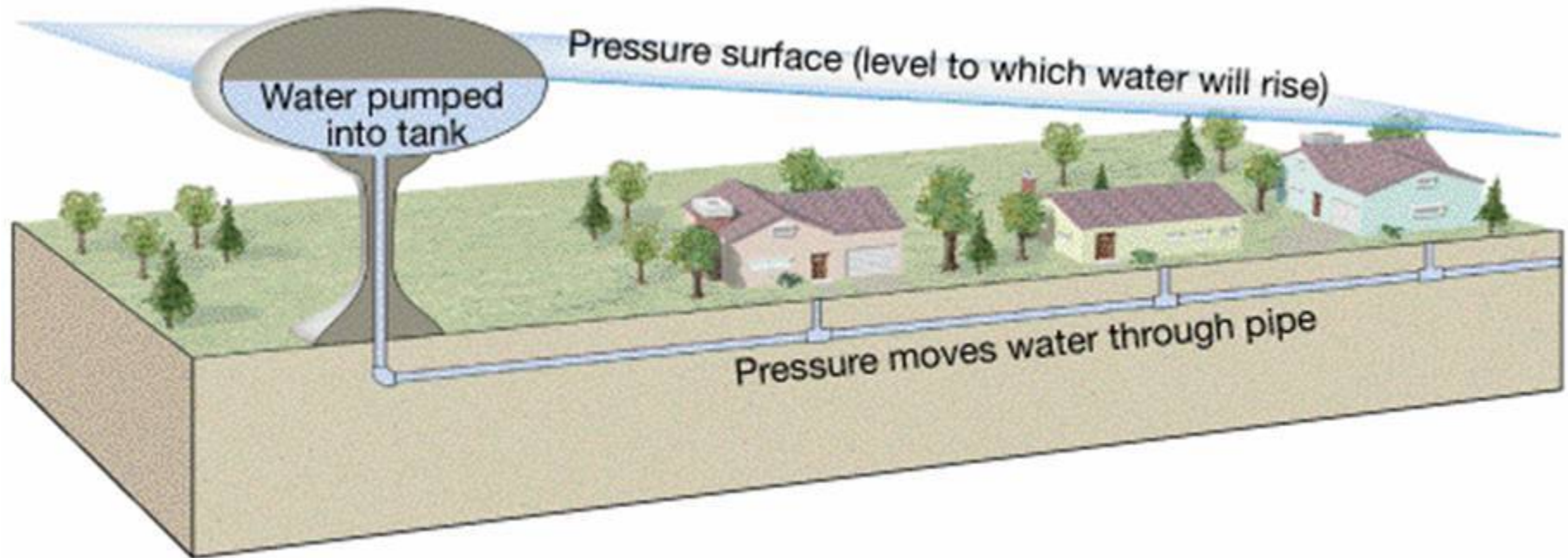
Falda limitata inferiormente e **superiormente** da strati impermeabili. Perforando un pozzo il livello risale al di sopra del tetto dello strato permeabile.

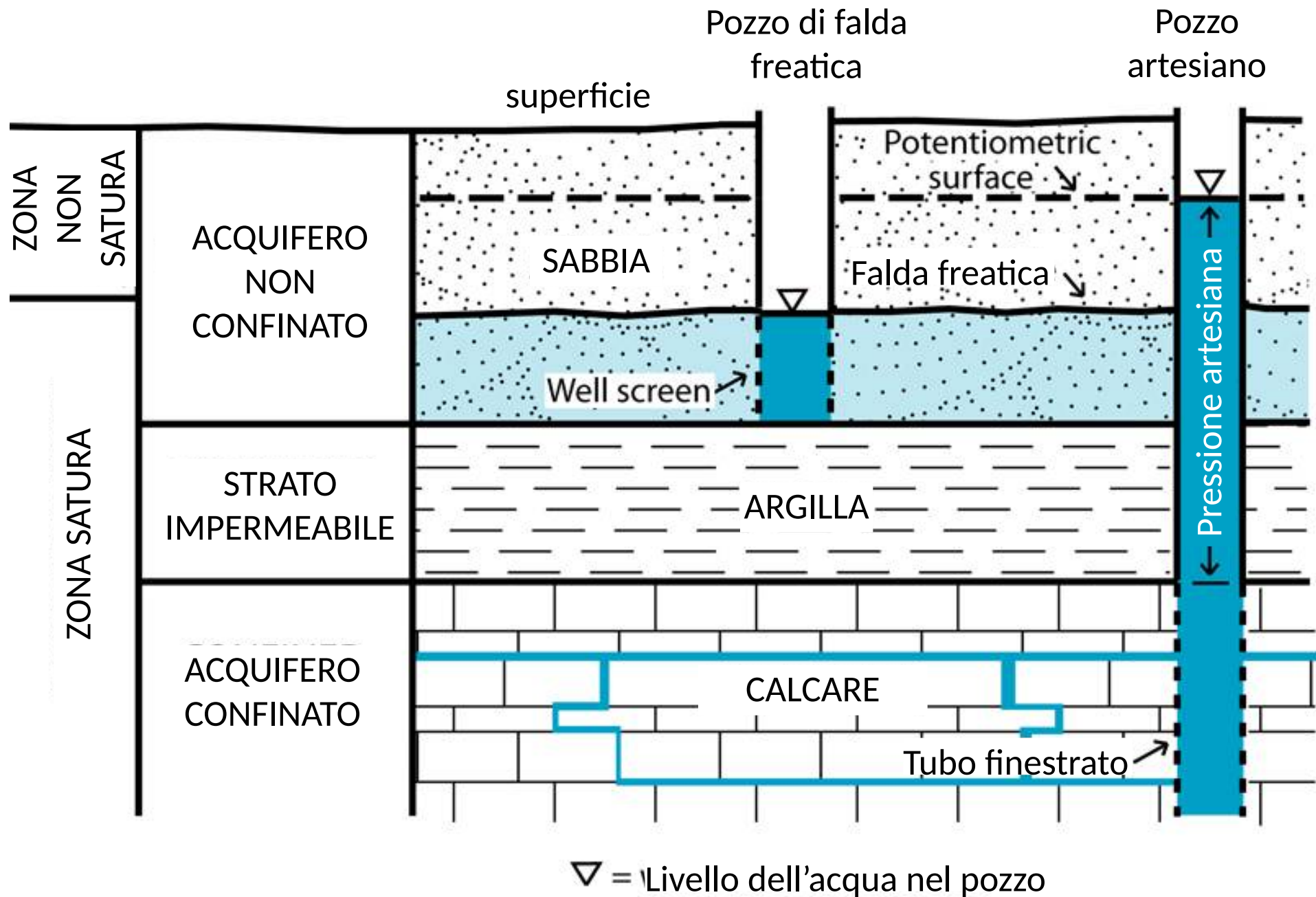
Superficie piezometrica $\neq$ Superficie della falda

Falda artesianica: falda imprigionata, il cui livello risale al di sopra del piano campagna.

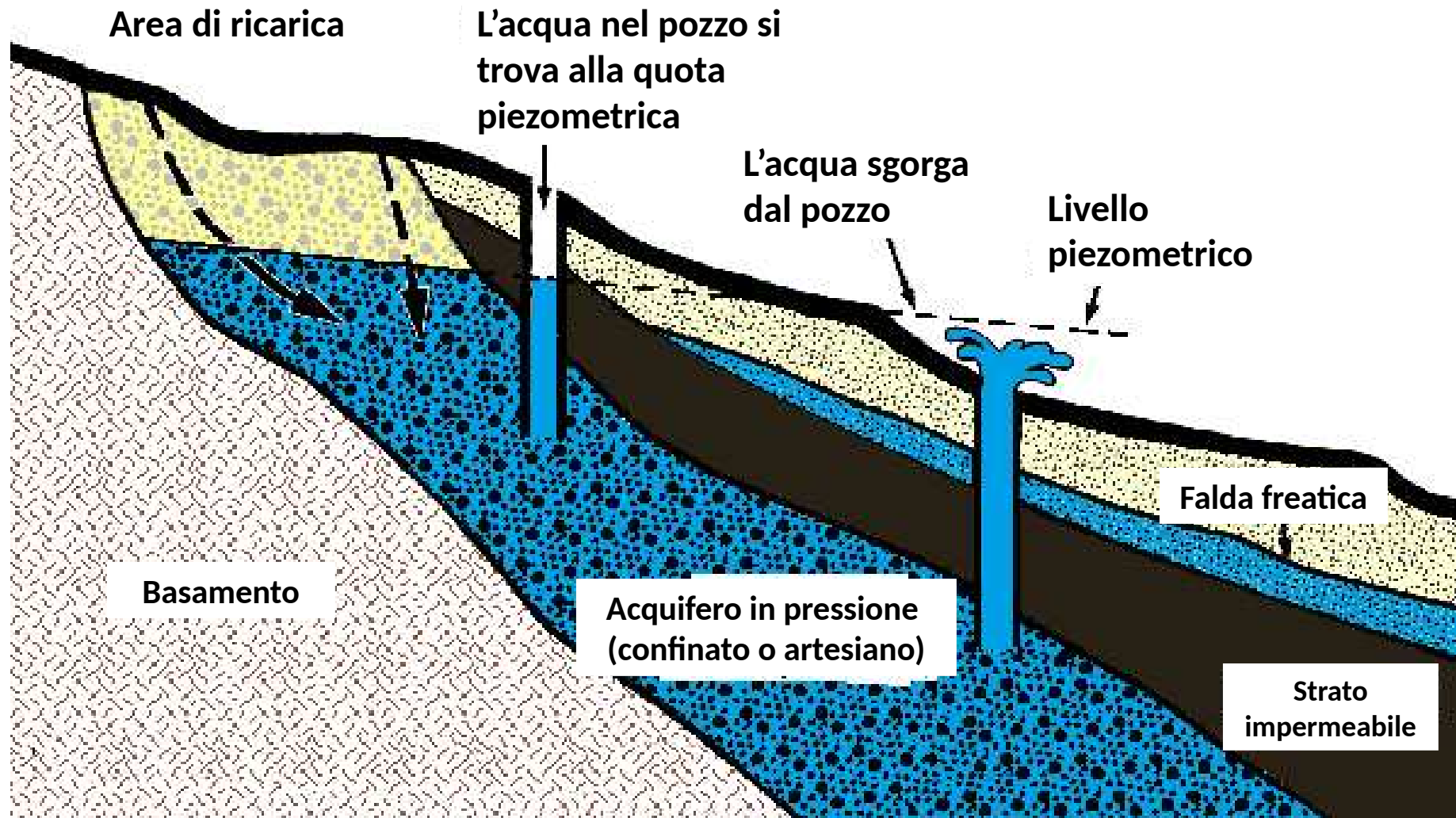


Sistema artesiano artificiale

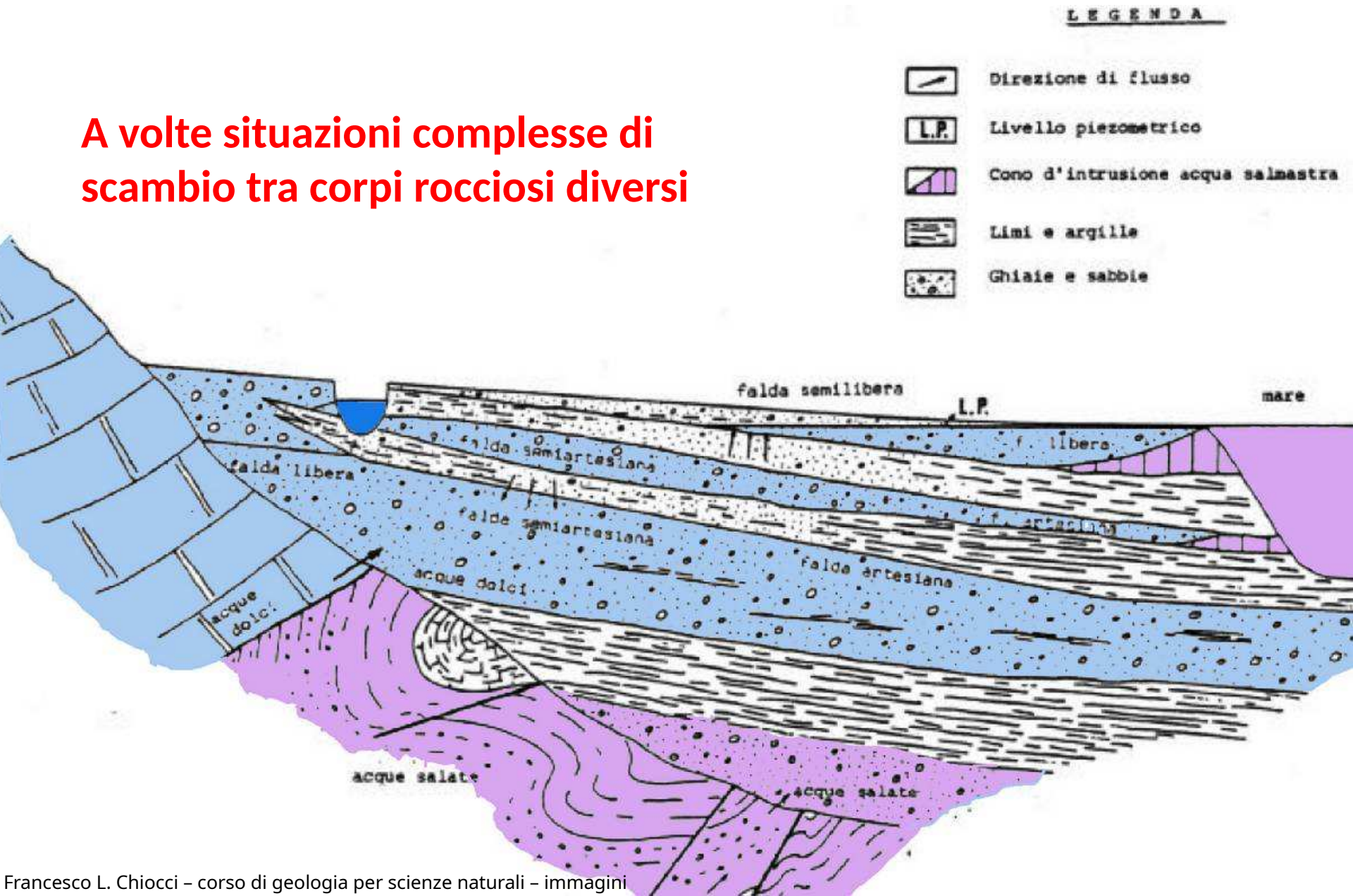




Acquifero confinato e pozzi artesiani



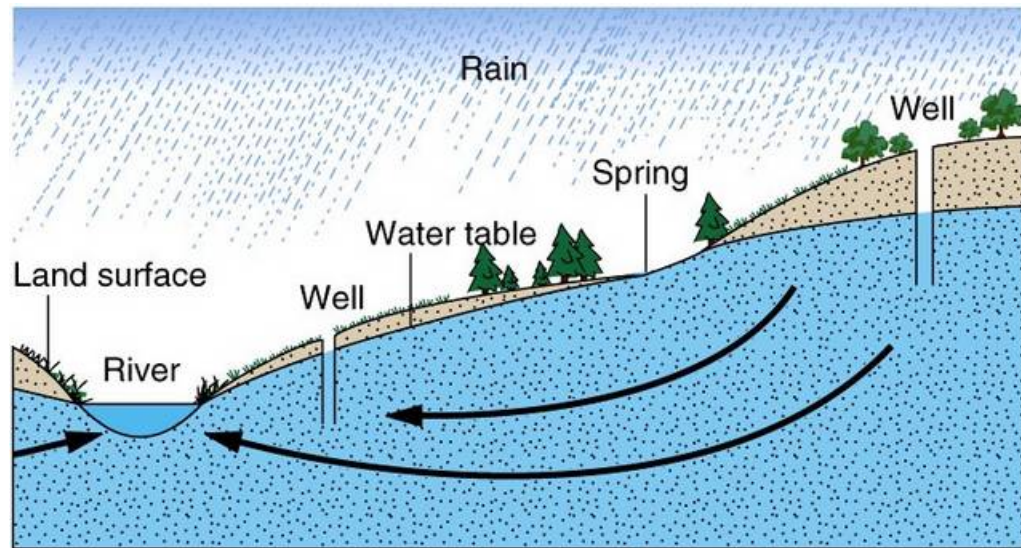
A volte situazioni complesse di scambio tra corpi rocciosi diversi



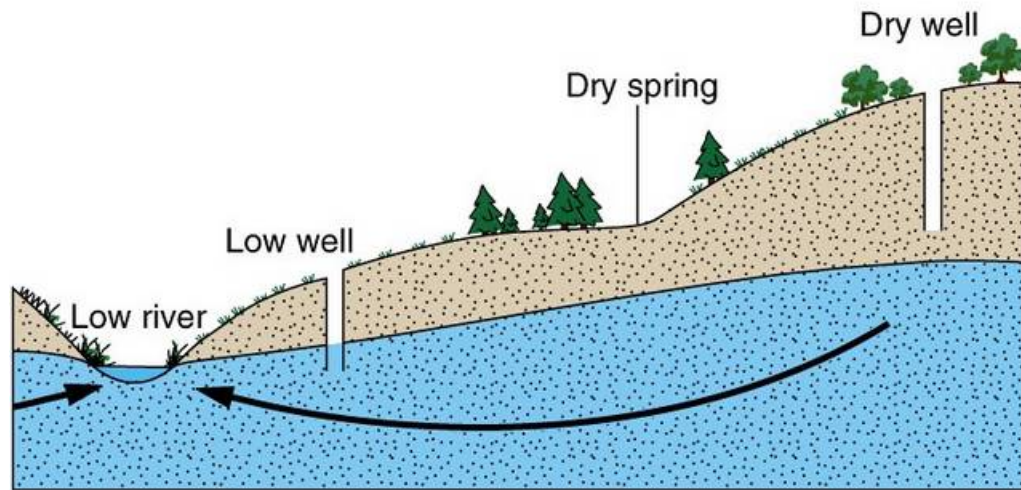
Quando la superficie piezometrica **raggiunge** la **superficie** ho una sorgente o acqua libera.

La **velocità** dipende da permeabilità e inclinazione della superficie piezometrica

La superficie piezometrica ha una **quota variabile nel tempo** per cause naturali (piovosità e ricaricamento della falda) e per cause antropiche (emungimento)

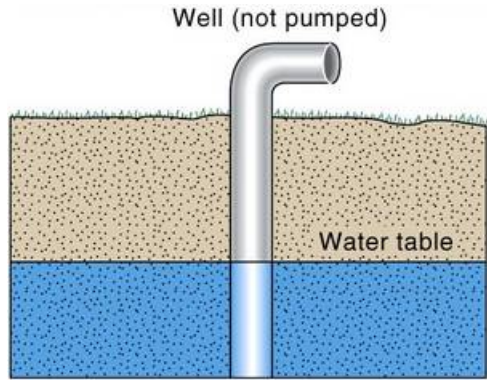


A

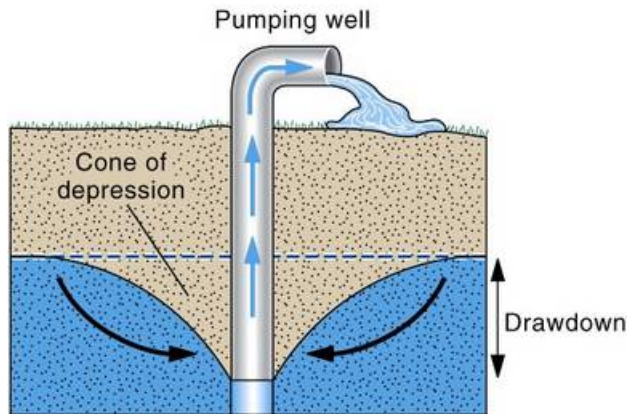


B

L'emungimento causa un cono di depressione (funzione della permeabilità)

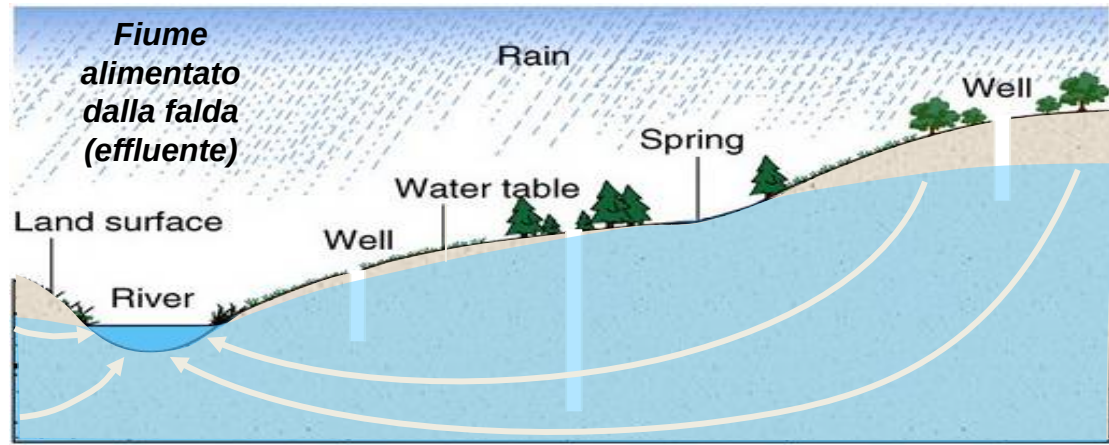


A

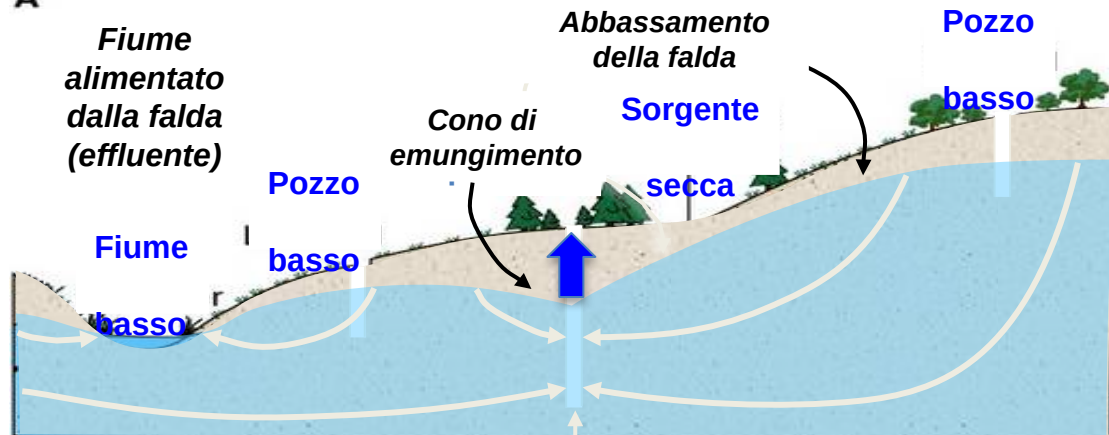
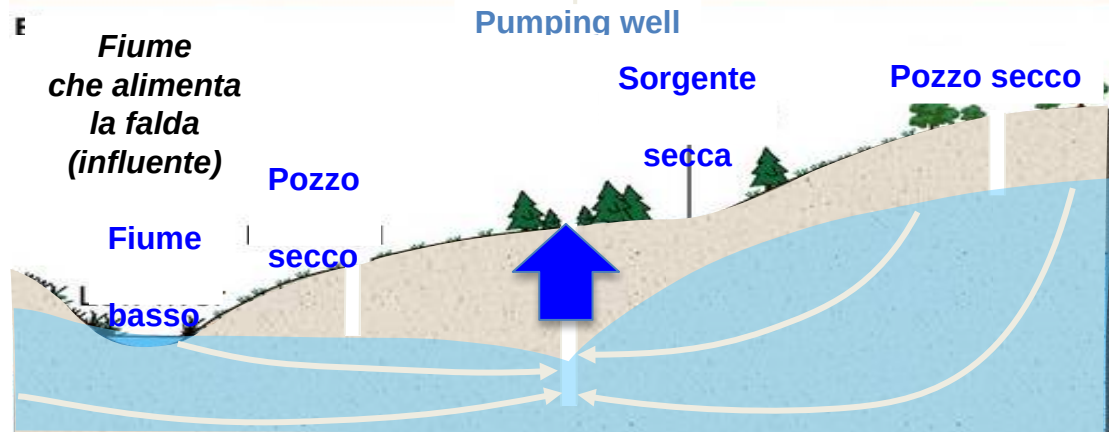


B

Questo può portare a rendere
secche sorgenti e pozzi,
addirittura a invertire il senso
del flusso di acque sotterranee



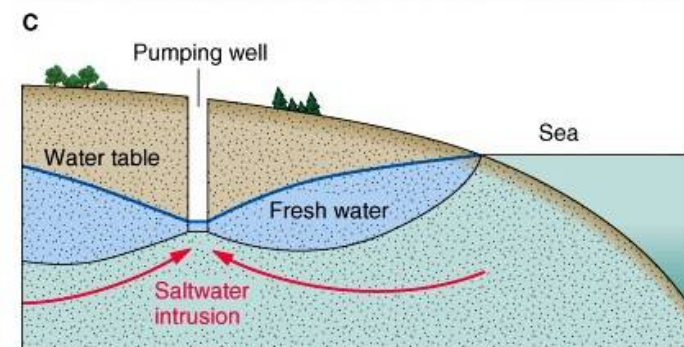
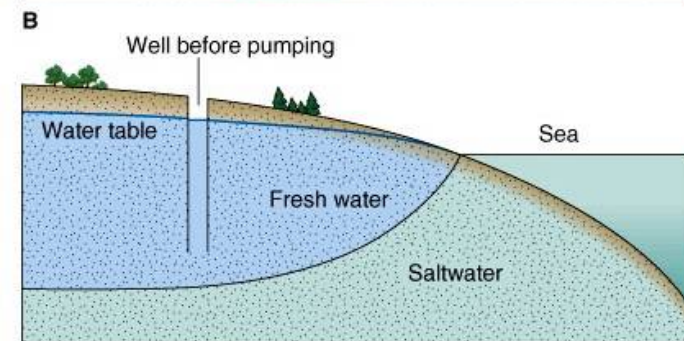
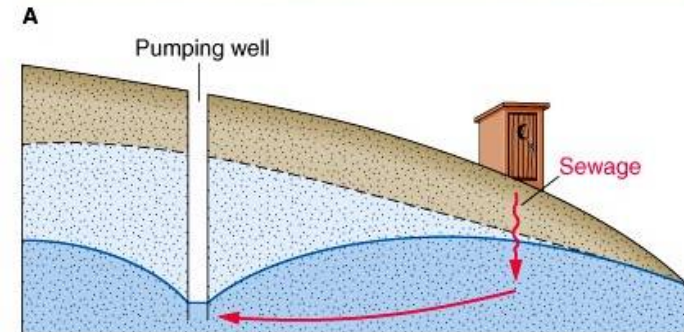
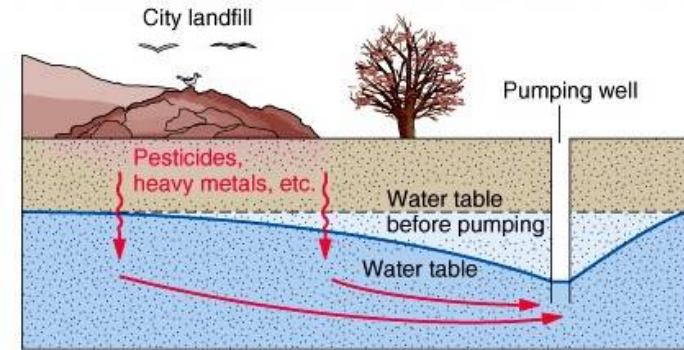
A

**E**

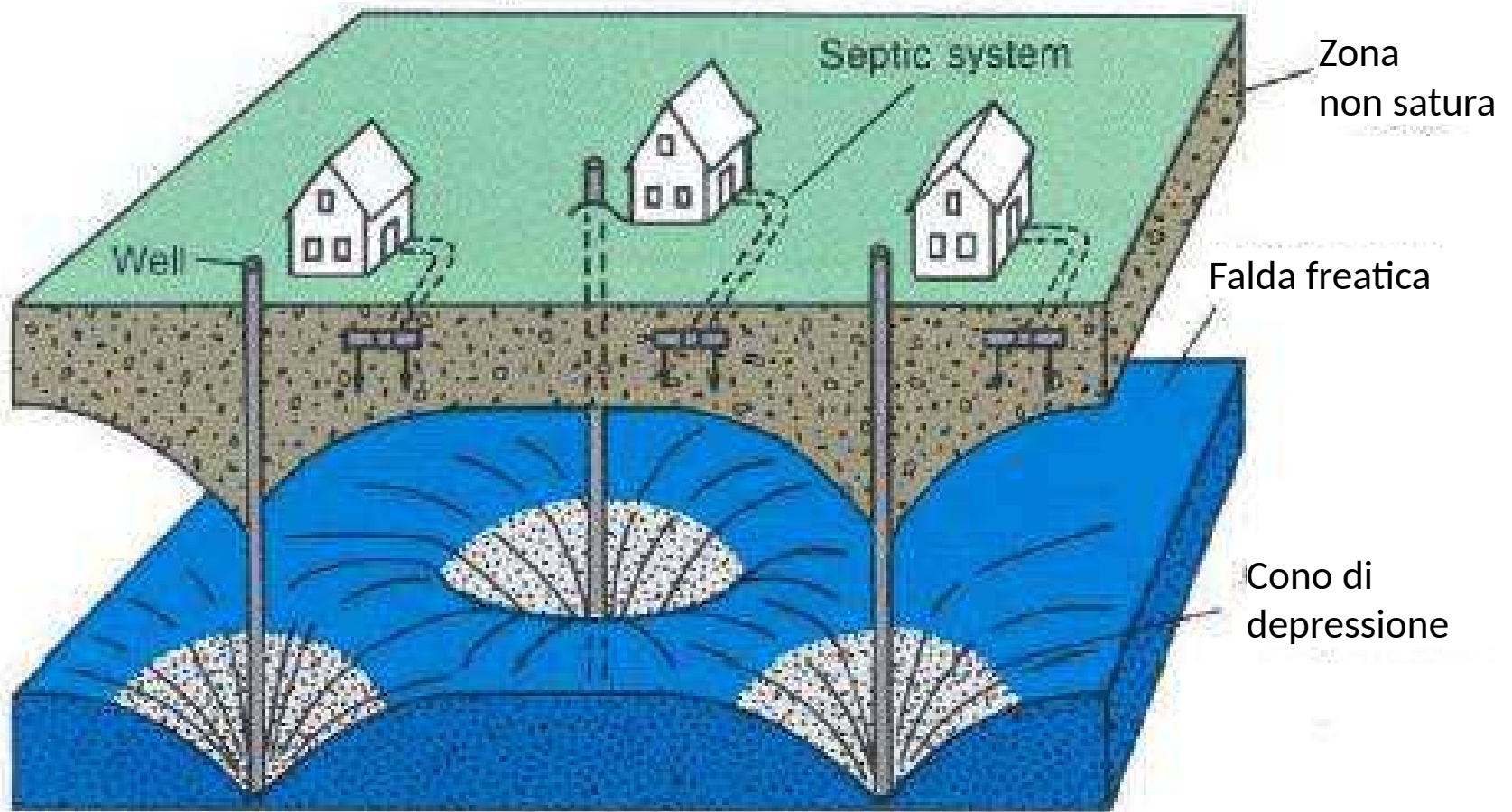
cors

Effetti dell'emungimento

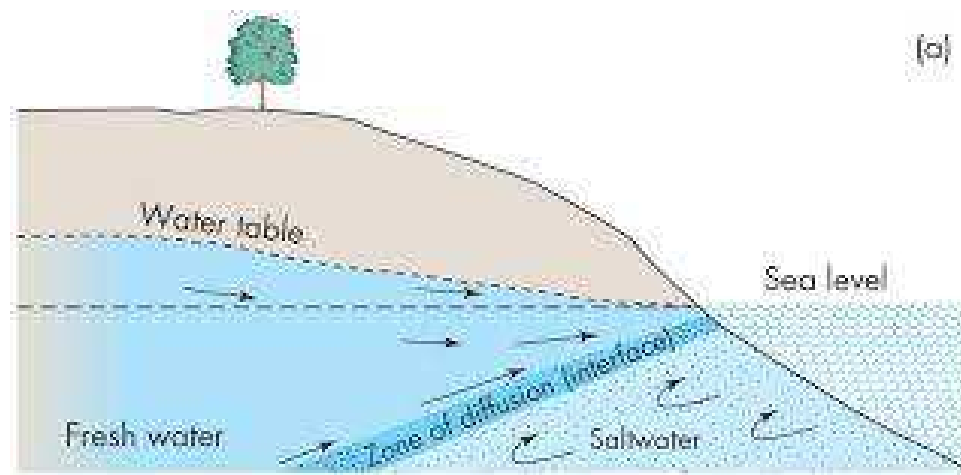
- Accelera il flusso verso il pozzo
- Abbassa la falda con conseguenze sulla vegetazione
- Cattura eventuali inquinanti nel cono di depressione
- Può invertire il flusso dell'acqua sotterranea e attrarre gli inquinanti soprapendio
- Nel caso di acquiferi costieri può causare l'intrusione del cuneo salino (NB l'acqua dolce galleggia sull'acqua salata)



Il problema non è mai il singolo pozzo ma l'effetto combinato di molti emungimenti in un dato territorio che deprimono la falda

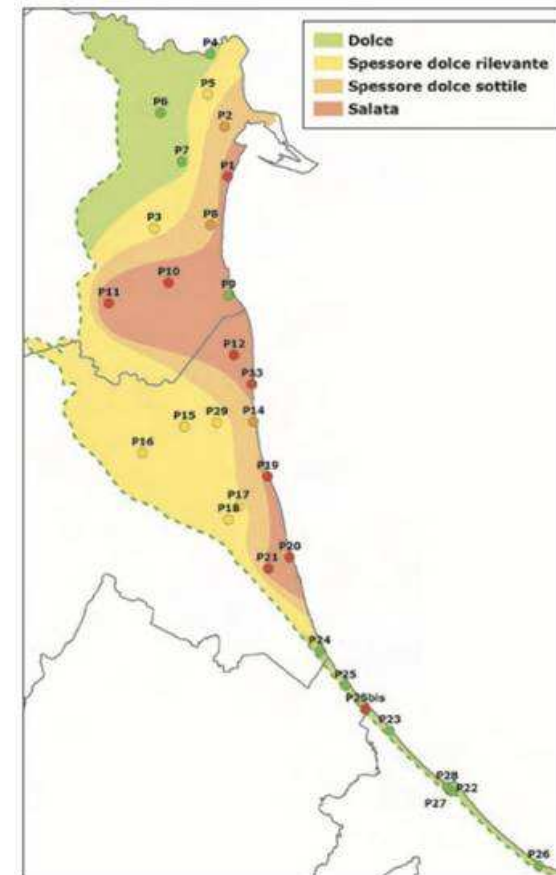
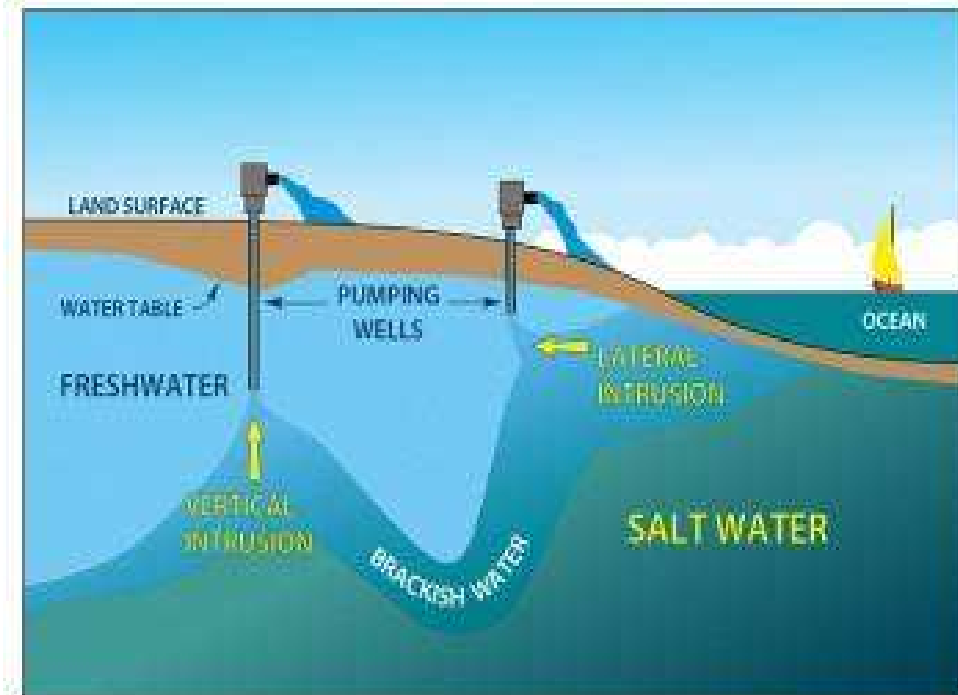


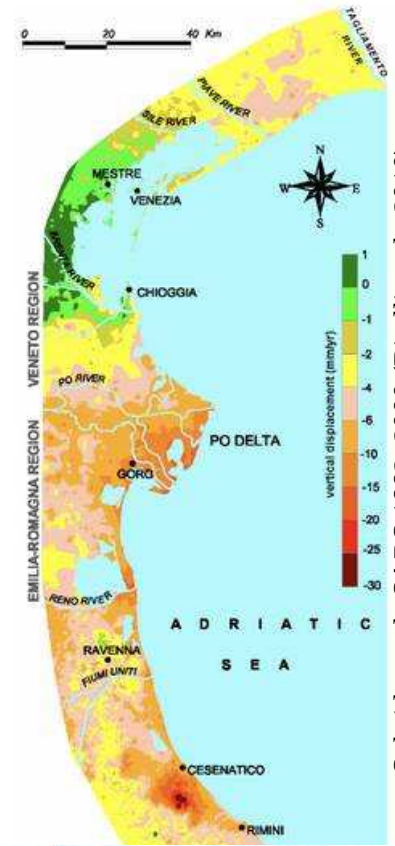
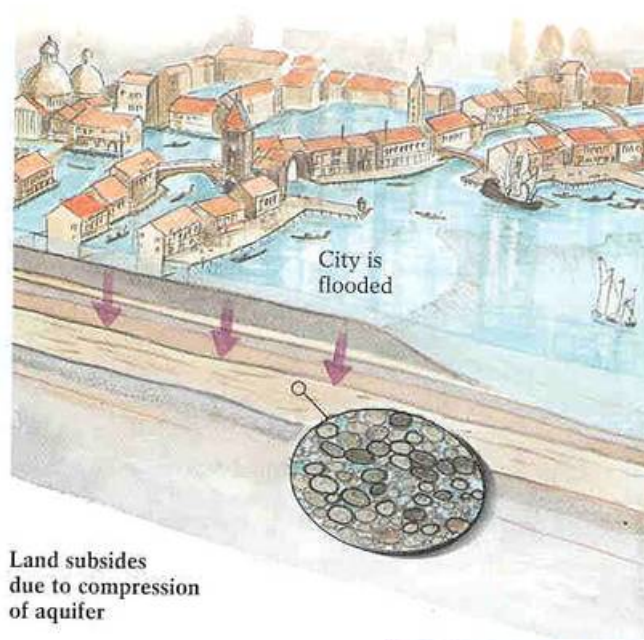
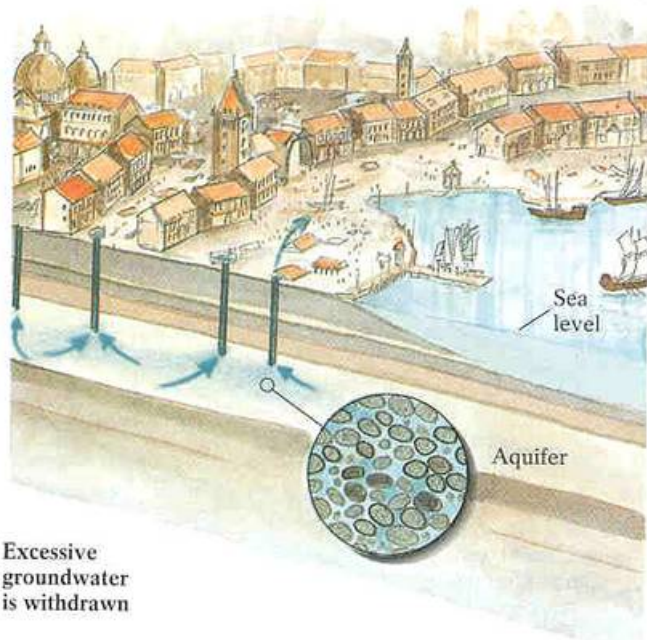
Nella fascia costiera l'emungimento della falda porta all'intrusione del cuneo salino con gravi problemi per l'approvvigionamento idrico, l'irrigazione e lo stato della vegetazione e degli ecosistemi.



L'acqua dolce galleggia sull'acqua salata. In funzione della differenza di densità, il peso della falda deprime l'interfaccia.

Nel Mediterraneo la profondità dell'interfaccia è di circa 35 m per ogni metro di altezza della piezometrica (legge Ghyben-Herzberg). Se la piezometrica viene depressa dal pompaggio, posso richiamare acqua salmastra e poi acqua di mare sia lateralmente che verticalmente





Subsidenza da SARS 1992–2000 (Bitelli et al., 2010).



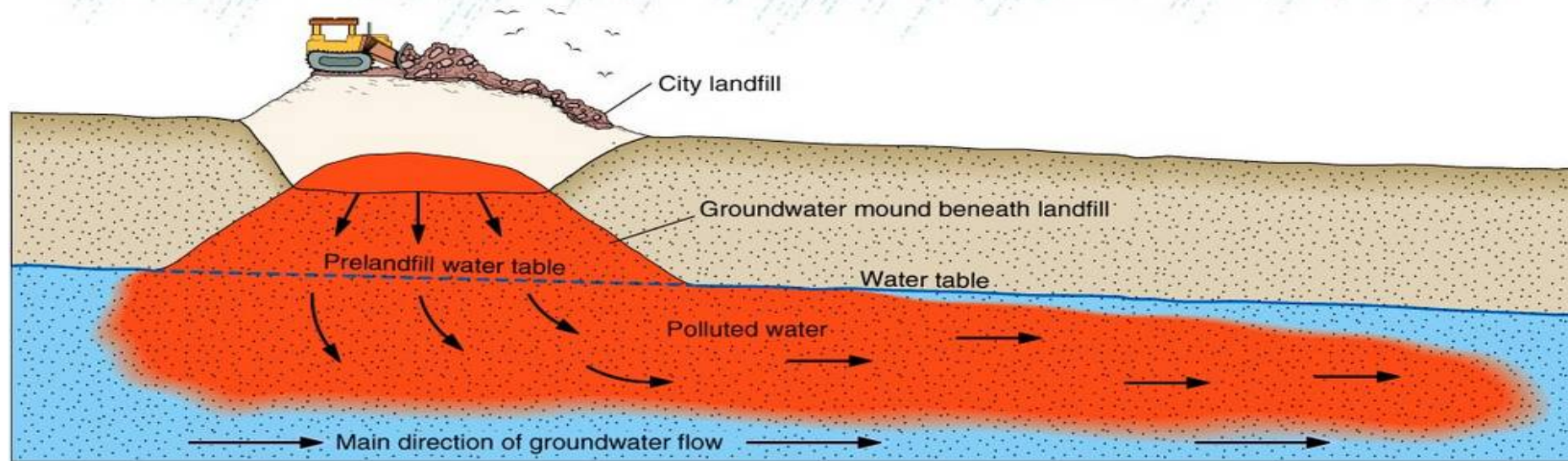
Palazzo Grimani sul Canal Grande all'epoca di Canaletto (1700) e al giorno d'oggi

Inquinamento delle falde freatiche

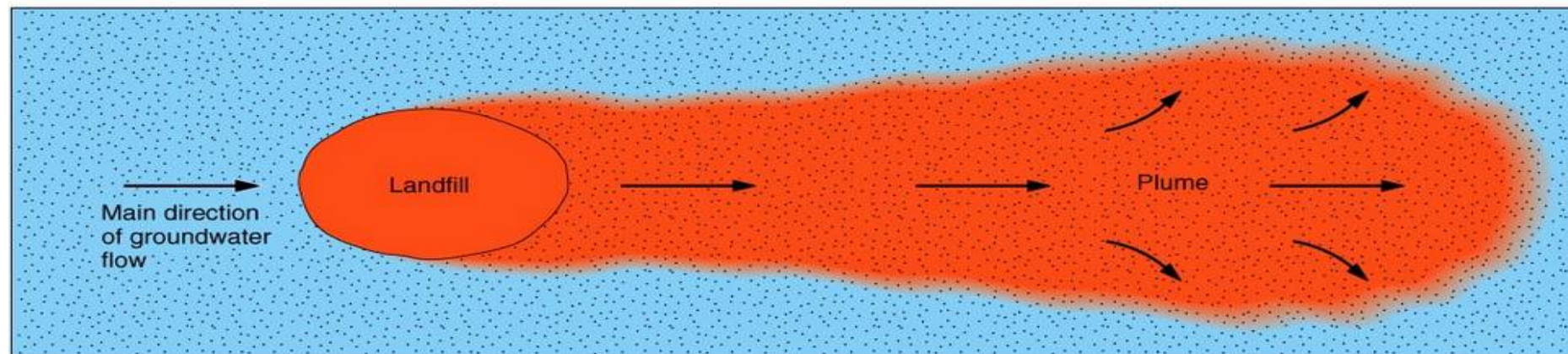
Gli inquinanti solubili si disperdono nelle acque sotterranee

Gli inquinanti si muovono negli acquiferi seguendo la direzione del flusso

Il pompaggio delle falde può attrarre l'inquinante nella riserva di acqua



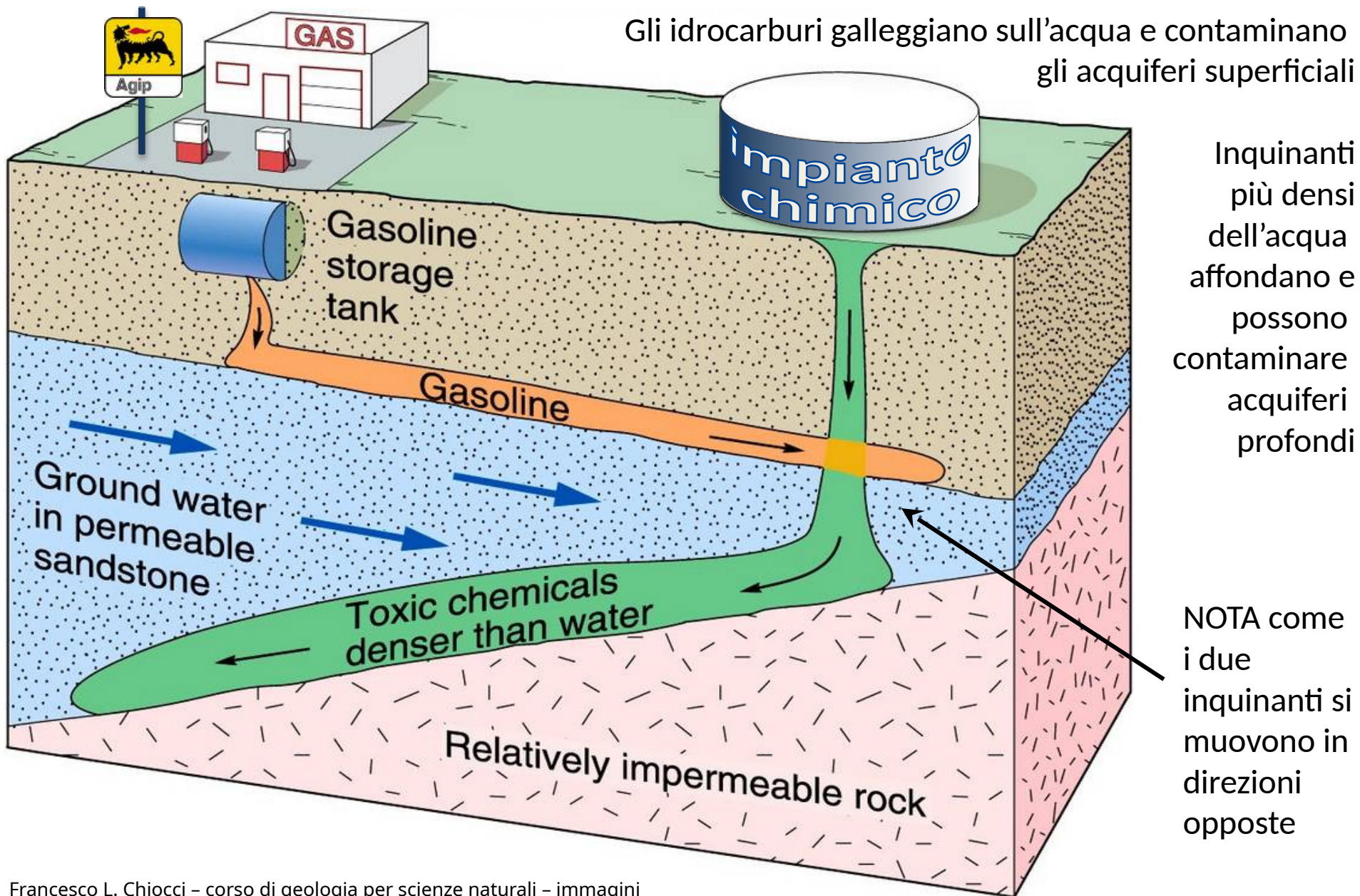
A Cross section



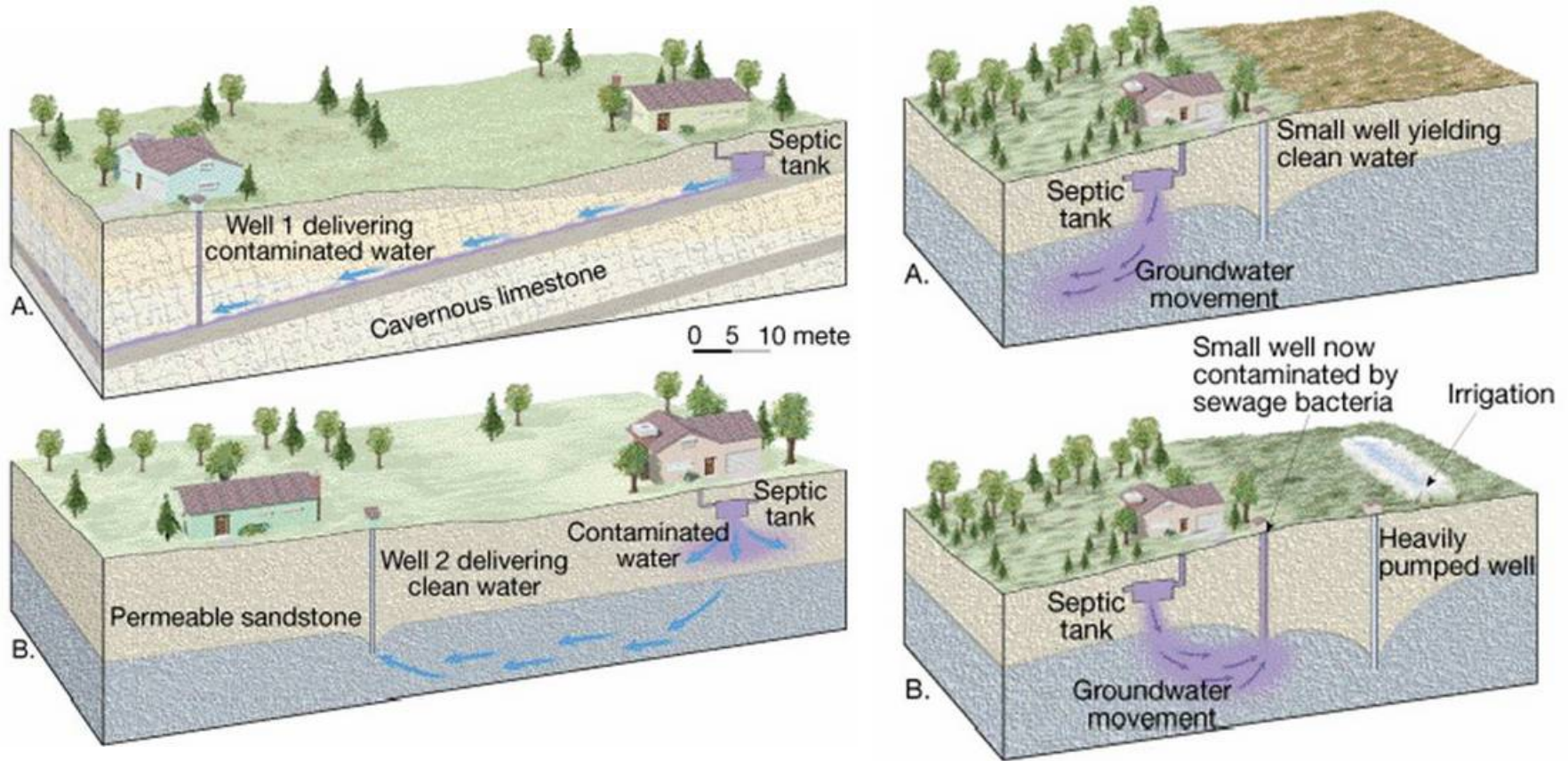
B Map view of contaminant plume. Note how it grows in size with distance from the pollution source.

Inquinamento delle falde freatiche e profonde

In funzione della densità i contaminanti si comportano in maniera diversa



Inquinamento della falda freatica



Woburn, MA Animation