

Corso di Idrogeologia Applicata
Dr Alessio Fileccia

Acquiferi rocciosi fratturati ed acquiferi carsici

Le immagini ed i testi rappresentano una sintesi, non esaustiva, dell'intero corso di Idrogeologia tenuto presso il Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste. Il programma completo prevede, oltre agli argomenti in elenco e per ogni capitolo, una serie di esercizi con applicazione delle formule analitiche, la descrizione di alcuni software specifici per geostatistica, prove di portata, modellistica ed un'uscita con prove pratiche in un campo pozzi. Le lezioni sono periodicamente aggiornate e controllate. Per una versione definitiva, informazioni, segnalazione di errori o commenti, rivolgersi a:

Dr Alessio Fileccia (geofile@libero.it)

Per scaricare l'intero corso: www.disgam.units.it/didattica/insegnamenti-13.php

(figure e foto sono dell'autore, se non diversamente specificato)

Approccio di studio degli acquiferi rocciosi fratturati

Caratterizzazione geolitologica

(acquiferi fratturati)

Fotogeologia

Rilevamento geologico-geomorfologico

Studi strutturali sull'andamento delle fratture a:

- a) scala decametrica b) scala metrica c) scala centimetrica

(definizione di spaziatura, direzione, immersione, inclinazione, frequenza, apertura)

Caratterizzazione degli acquiferi carsici

Numero cavità

Estensione e topografia

Quote accessi e livelli d'erosione

Quote livelli piezometrici

Livelli fossili ed attivi

Quote emergenze

Ubicazione doline ed inghiottitoi

Censimento acque superficiali

Misure idrologiche

Portata di corsi d'acqua e sorgenti, pluviometria bilancio idrologico

Monitoraggio sorgenti

Portate, livelli

Parametri chimici (conducibilità, temperatura, contenuto in calcio, batteri.....)

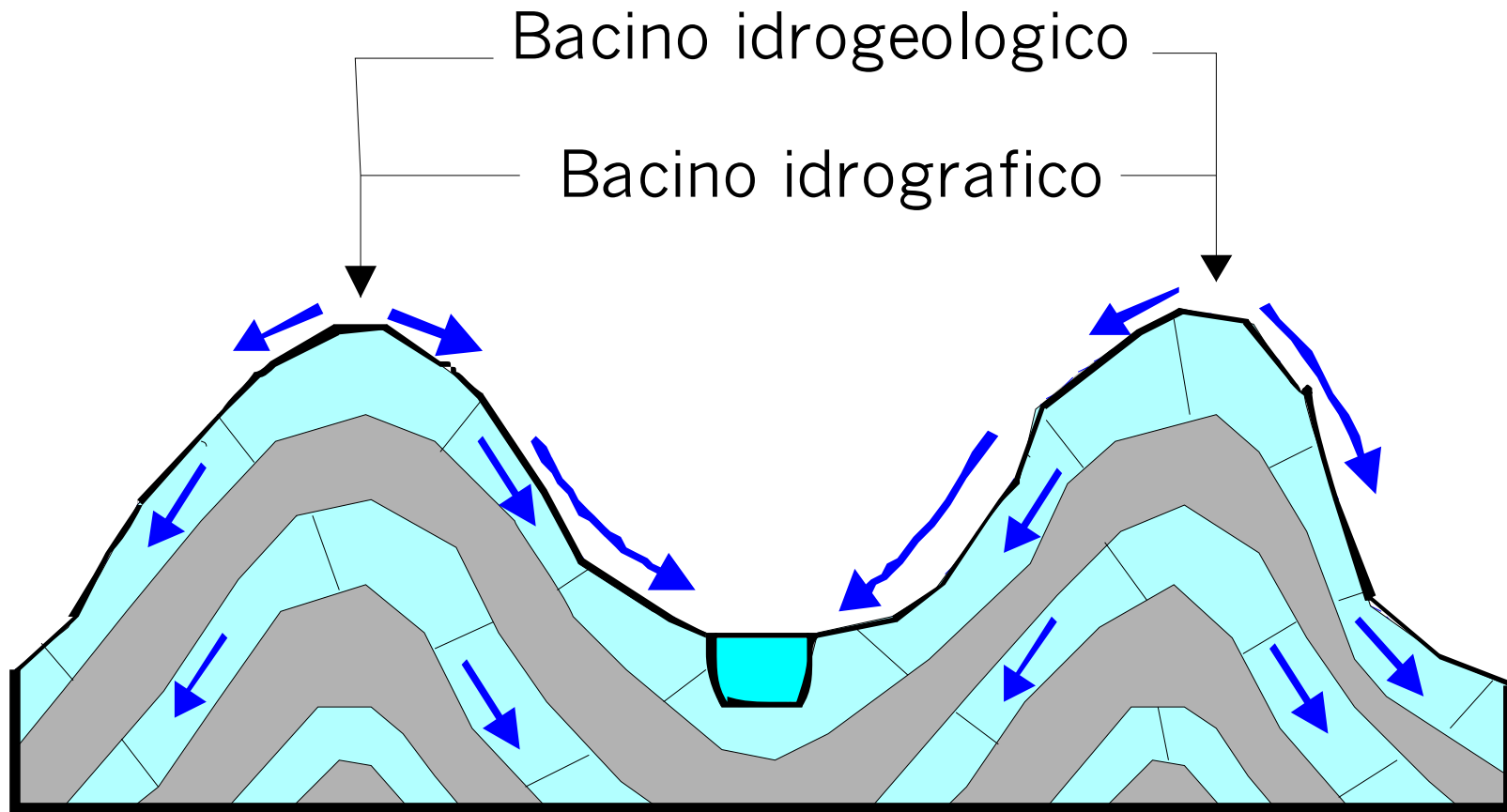
Contenuto isotopico (per la ricostruzione dei circuiti profondi e quote d'alimentazione)

Prove di tracciamento

Scelta del tracciante

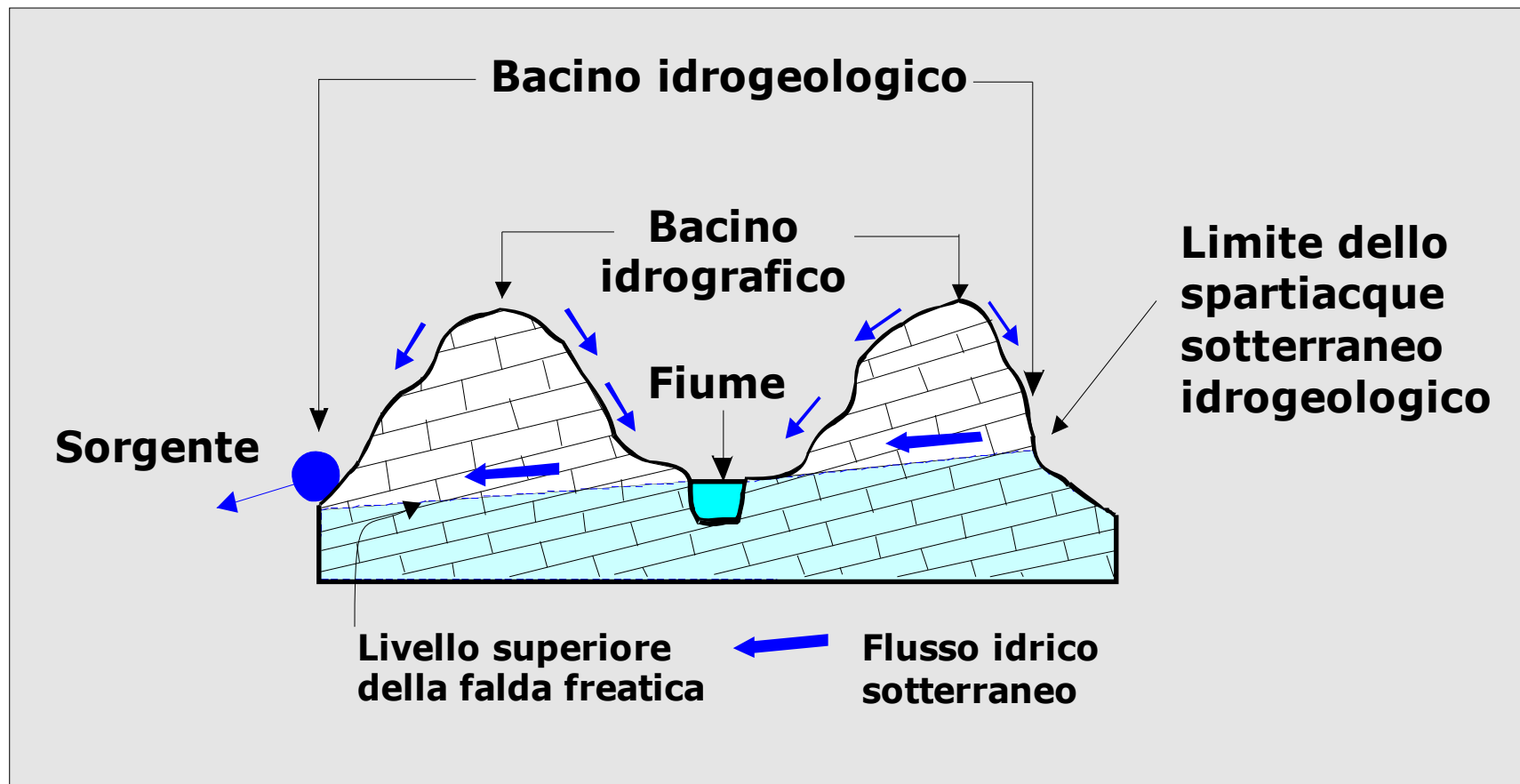
Individuazione dei punti d'immissione e di controllo all'uscita del sistema

Esempi di bacini e spartiacque idrografici e sotterranei



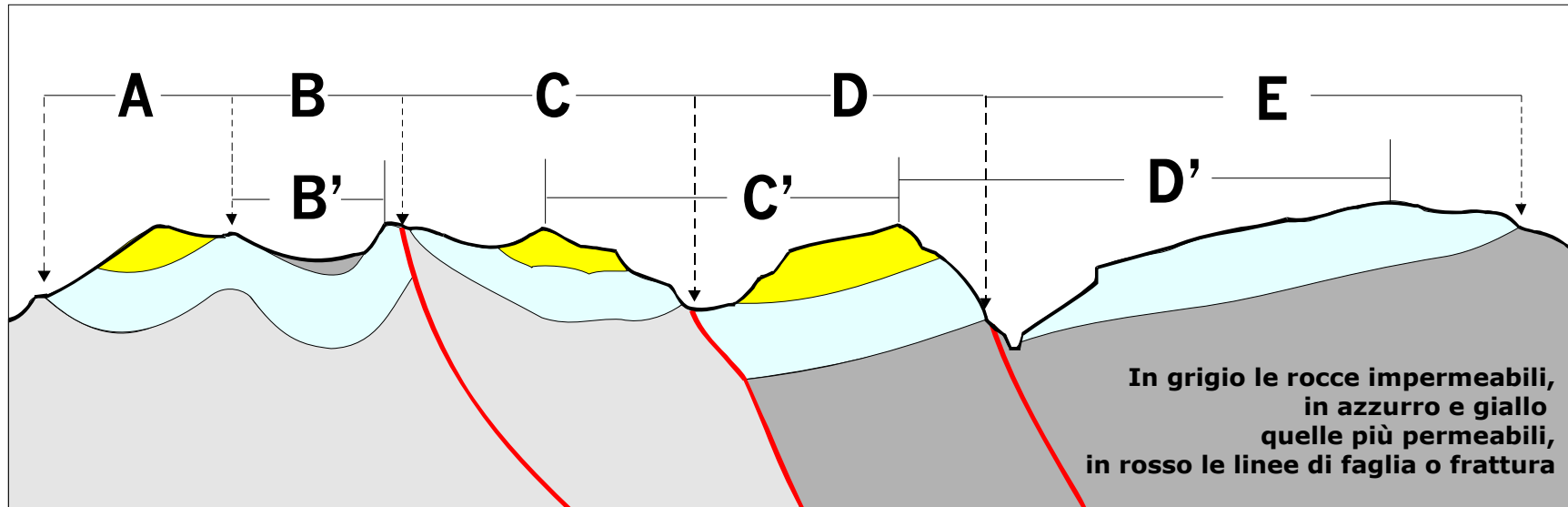
(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

Esempi di bacini e spartiacque idrografici e sotterranei



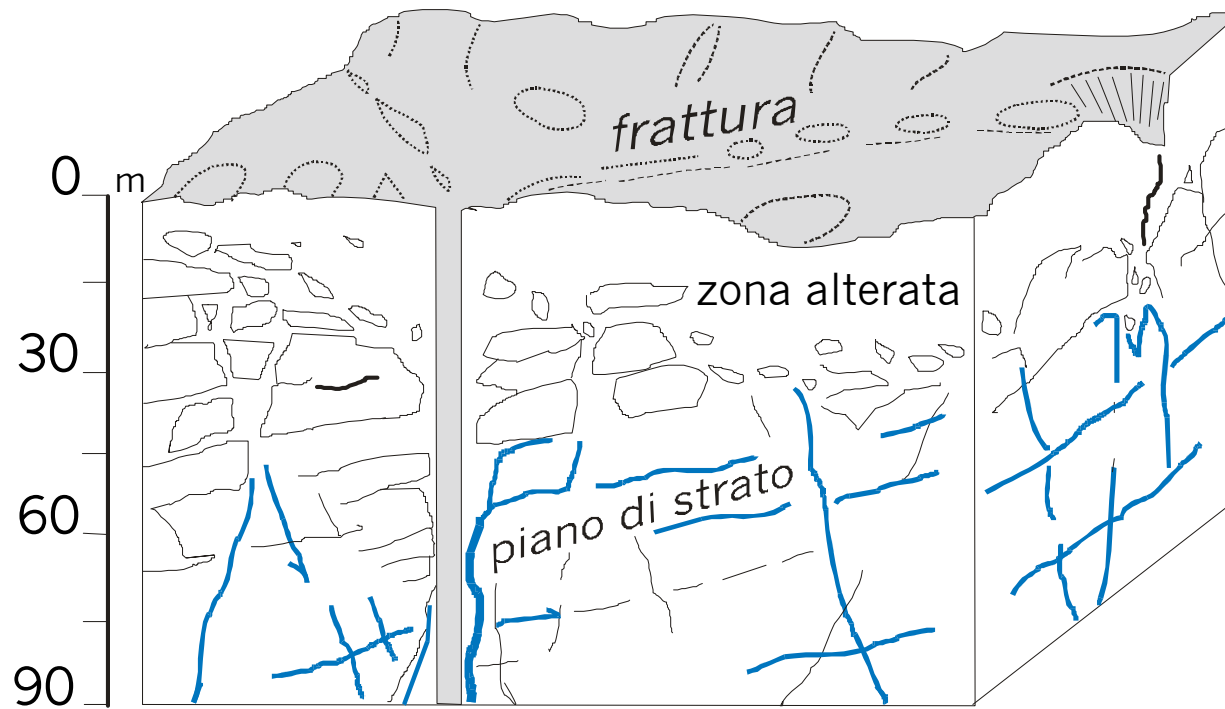
(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

Limiti di alcuni bacini idrogeologici in diverse strutture



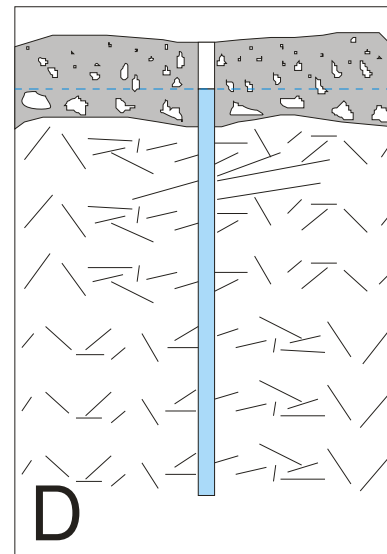
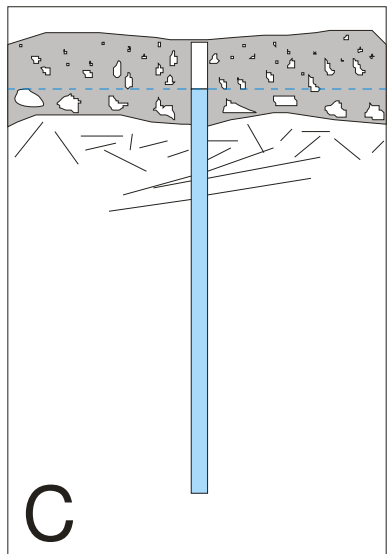
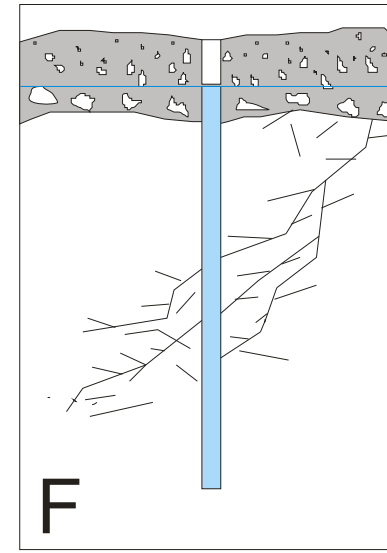
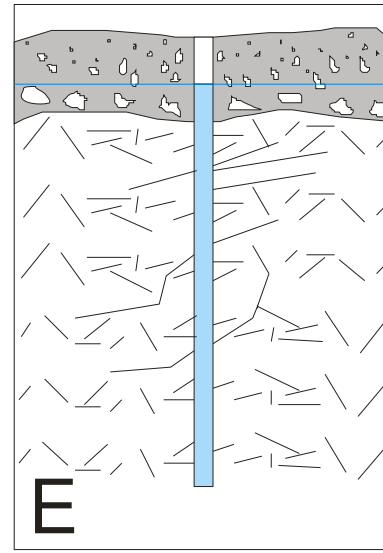
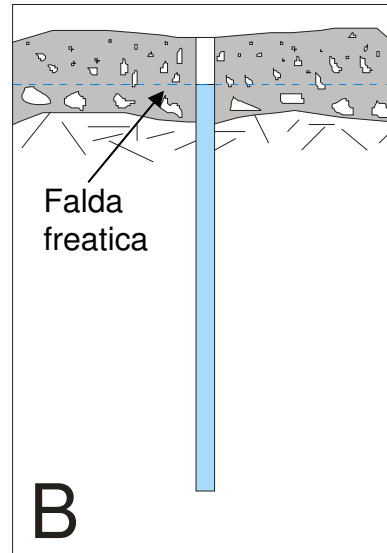
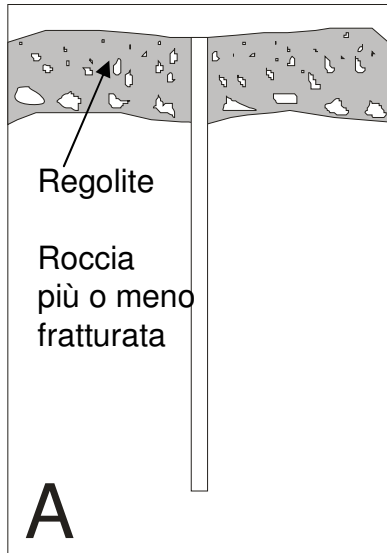
Notare la diversità tra i bacini idrogeologici A, B, C, D, E
e quelli idrografici B', C' D'

Aree a diversa permeabilità nelle rocce calcaree fratturate



(Freeze, Cherry)

Le zone più fratturate sono quelle a maggiore permeabilità ed accumulo idrico



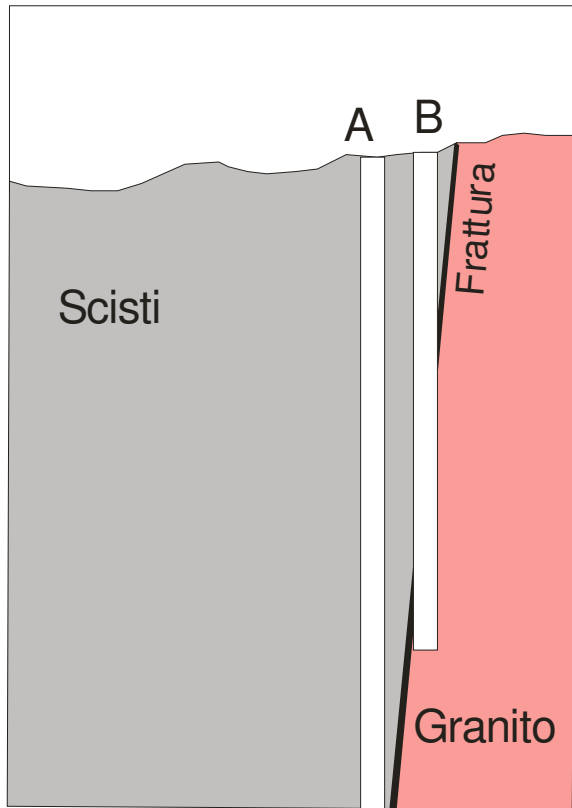
Pozzi secchi, in un substrato roccioso compatto (A);

Pozzi che incontrano poche fratture collegate poco sotto il regolite (B - C) forniscono portate dell'ordine di 1 l/s fino a drenare le fratture

Pozzi che penetrano molte fratture collegate tra loro, forniscono portate elevate (D - E)

Pozzi che penetrano una o due fratture (F) forniscono portate mediamente elevate, a seconda dell'ampiezza della frattura

(modificato da Le Grand, 1967)



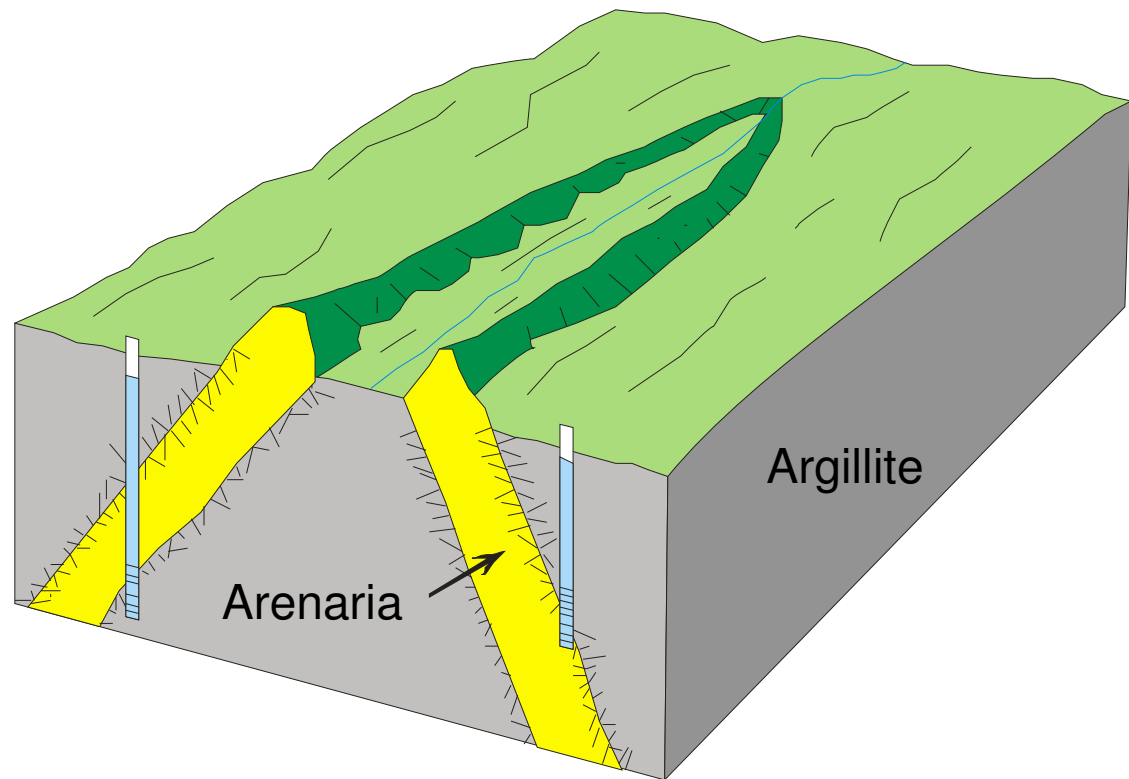
Le zone di contatto, in frattura, sono favorevoli per la perforazione di pozzi in terreni rocciosi

(USGS, H.I. Atlas 730-F, modificato)

Il pozzo A, perforato quasi completamente negli scisti, fornisce circa 0.06 l/s

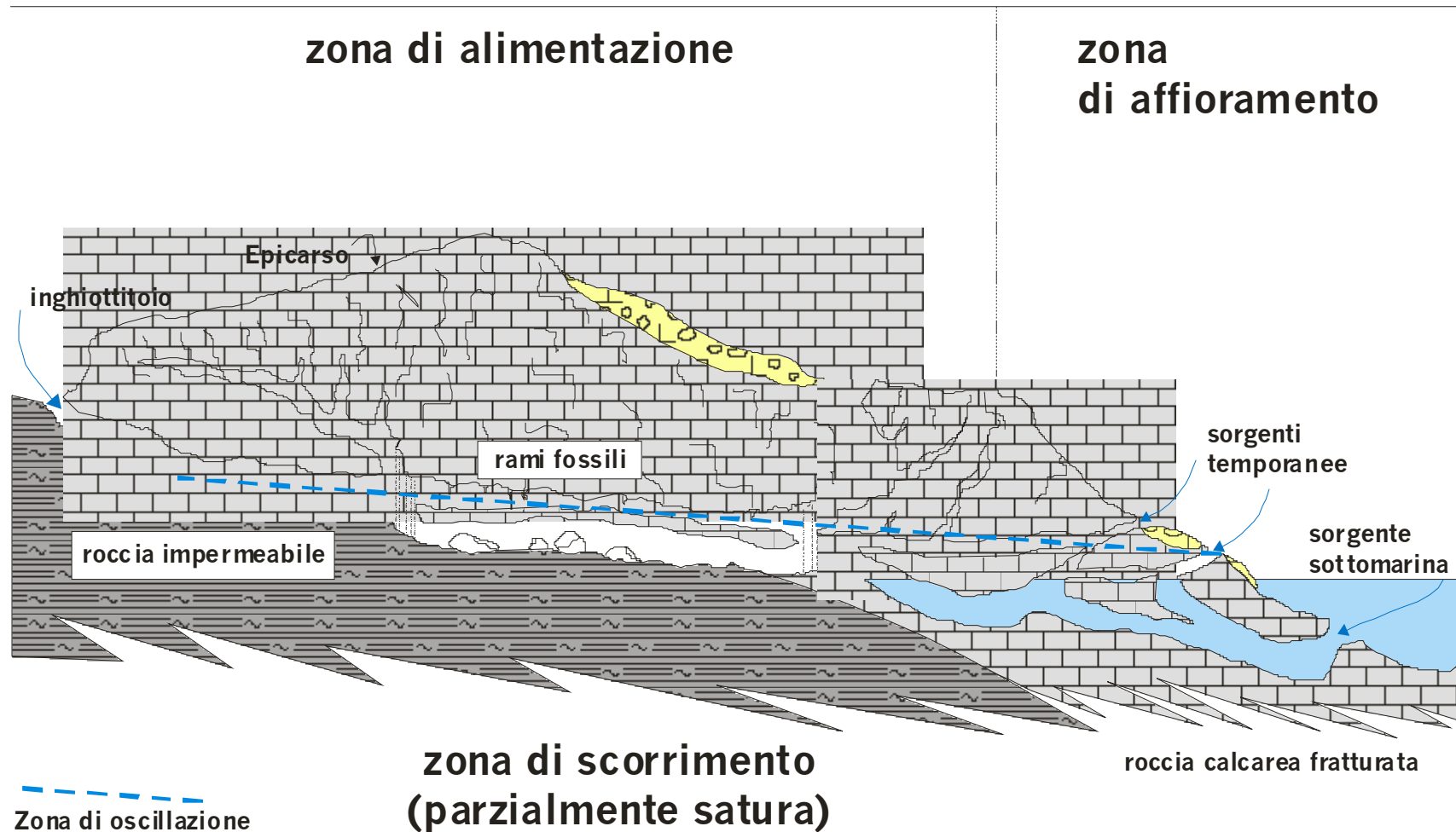
Il pozzo B, situato a poche decine di metri, fornisce circa 6 l/s

(USGS, H. I., Atlas 730-G, modificato)



(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

Schema della circolazione idrica in un massiccio carsico



Zona non satura (*epicarso e zona di trasferimento*)

Epicarso (di 2-5 m) zona intensamente fratturata per decompressione dell'ammasso e processi morfogenetici, trasferisce e depura le acque di precipitazione esterna; flusso verticale

Zona di trasferimento

Caratterizzata da un deflusso verticale e temporaneo, lungo le principali fratture e pozzi, giunge fino alla zona satura e di oscillazione (zona vadosa); in certi casi possono esistere sorgenti temporanee, alte, di troppo pieno se le gallerie intersecano la superficie topografica

Zona satura

Corrisponde alle fratture e gallerie quasi sempre sommerse e comprende anche la zona di oscillazione (zona freatica), caratterizzata da forti variazioni dei livelli piezometrici (anche centinaia di metri), accompagnate da notevoli circolazioni d'aria (buchi soffianti)

Area di emergenza

E' quella altimetricamente più bassa, con le sorgenti perenni e/o temporanee vicino al livello di base (locale, carsico o strutturale)



Condotta freatica nel complesso carsico di Holloch (Svizzera), scavata dall'acqua in pressione (*foto B. Vigna*)

(*Idrogeologia: Acquiferi fratturati*)



Condotte freatiche lungo la costa del golfo di Orosei (NU) *(foto B. Vigna)*

(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

Parametri che condizionano le caratteristiche idrogeologiche

Fattori esterni (morfologia, clima, vegetazione)

Litologia (calcari, dolomie, altre rocce)

Struttura:

Piani di faglia, fasce cataclastiche o milonitiche,

Fratturazione in grande

Microfessurazione

Giunti di strato

Per struttura idrogeologica od idrostruttura si intende una serie di formazioni anche a diversa litologia, ma con comportamento idrogeologico simile (unità spaziale e giaciturale)

Le sorgenti

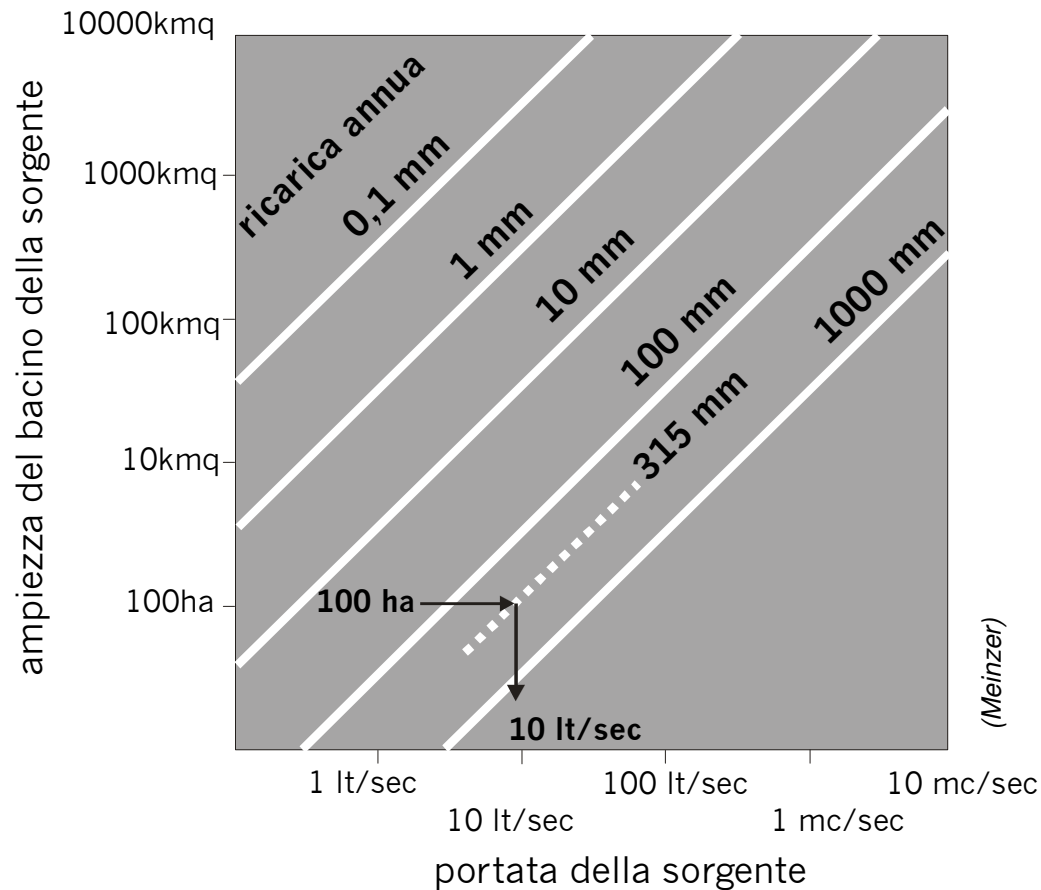
Una sorgente si può definire come un punto od una zona della superficie del terreno dalla quale fluisce , in modo naturale, un determinato volume d'acqua proveniente da un acquifero (Llamas). Esistono numerose classificazioni delle sorgenti, legate soprattutto alle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero e della zona di sbocco. Una delle più complete è quella di Meinzer (vedi oltre).

La classificazione di Civita (1972) tiene conto delle caratteristiche idrogeologiche al punto di emersione e distingue tre classi principali a loro volta suddivise in due sottoclassi a seconda che il contatto tra livello permeabile e non, sia visibile oppure che si tratti semplicemente di un innalzamento della superficie piezometrica all'interno della stessa formazione permeabile.



*Rio dei Gamberi, Slovenia
(foto. G. Tormene)*

Relazioni tra area del bacino, ricarica annua e portata media di una sorgente



Una sorgente sufficiente ai bisogni di un'unità familiare deriva da una zona di ricarica di pochi ettari.

Per definire la grandezza di una sorgente, Meinzer ha proposto una classificazione basata sulla portata media e divisa in 8 classi diverse tra meno di 1 lt/sec ed oltre 10 mc/sec. Un altro criterio di classificazione, sempre proposto da Meinzer, è l'indice di variabilità, (R_v), espresso in funzione della portata massima (Q_M), portata minima (Q_m), e portata media (Q_{med}) dell'intero anno idrologico (medio o non):

$$R_v = (Q_M - Q_m)100/Q_{med}$$

Sono costanti quelle con $R_v < 25\%$
 Sub-variabili quelle con R_v tra 25 e 100%

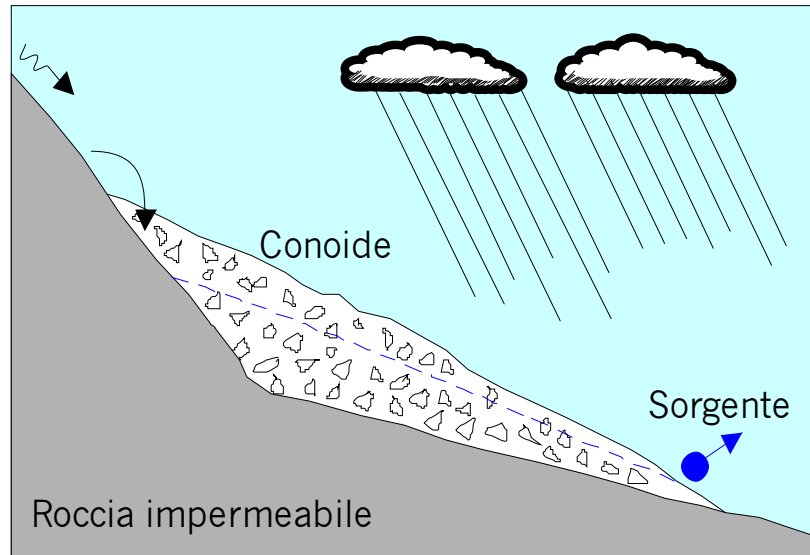
Variabili quelle con $R_v > 100\%$

L'indice può essere utile, in prima fase, a selezionare le sorgenti che necessitano di interventi di regolarizzazione della portata

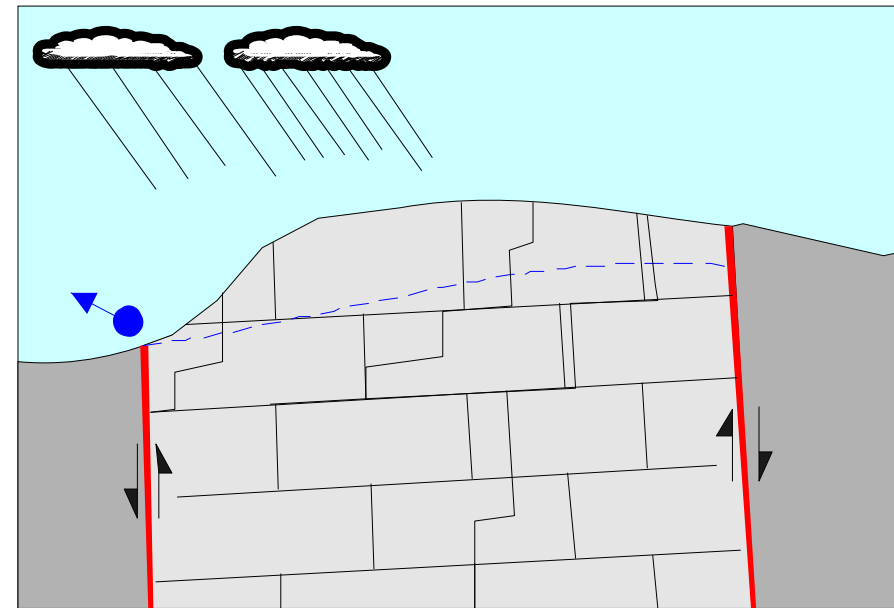
Classificazione delle sorgenti in base alla portata (*Meinzer*)

Ordine di grandezza	Portata
I	$> 2,83$ (m ³ /s)
II	0,283 – 2,83 (m ³ /s)
III	28,3 – 283 l/s
IV	6,31 – 28,3 l/s
V	0,631 – 6,31 l/s
VI	63,1 – 631 ml/s
VII	7,9 – 63,1 ml/s
VIII	$< 7,9$ ml/s

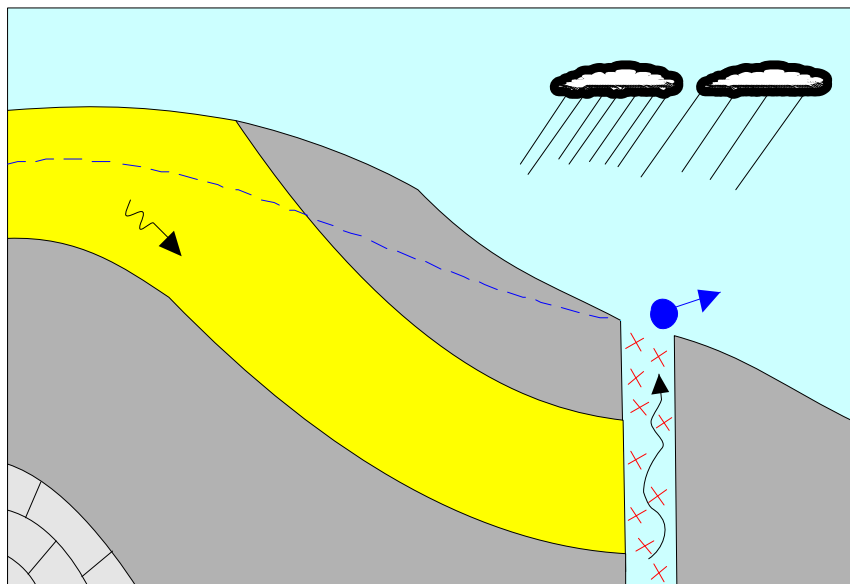
Varie tipologie di sorgenti



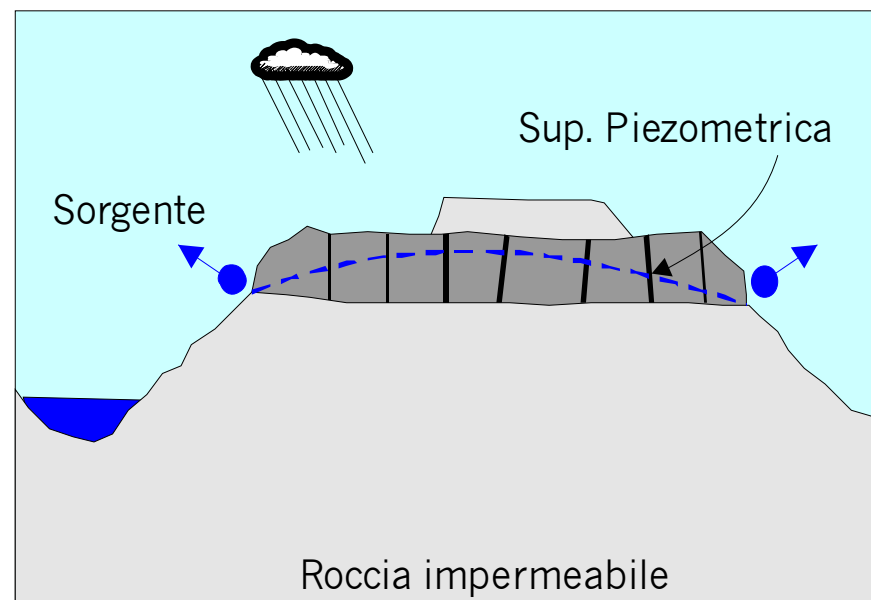
Effettuate alcune considerazioni
in merito a:
Situazione idrogeologica
Regime
Alimentazione
Qualità chimica
Vulnerabilità
Metodo di captazione consigliabile



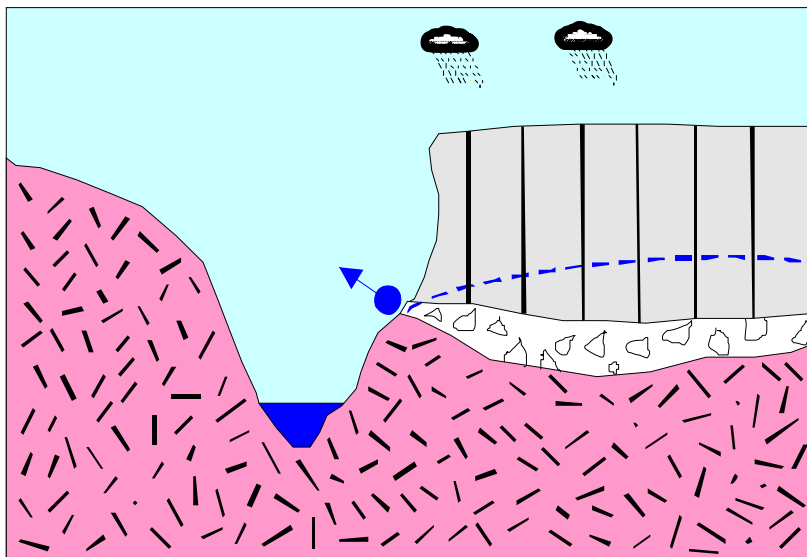
Varie tipologie di sorgenti



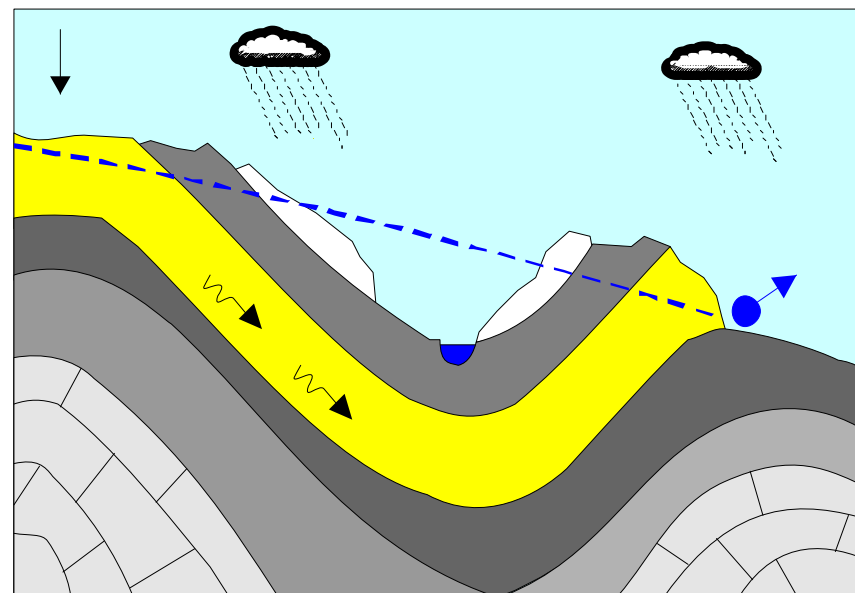
Effettuate alcune considerazioni
in merito a:
Situazione idrogeologica
Regime
Alimentazione
Qualità chimica
Vulnerabilità
Metodo di captazione consigliabile



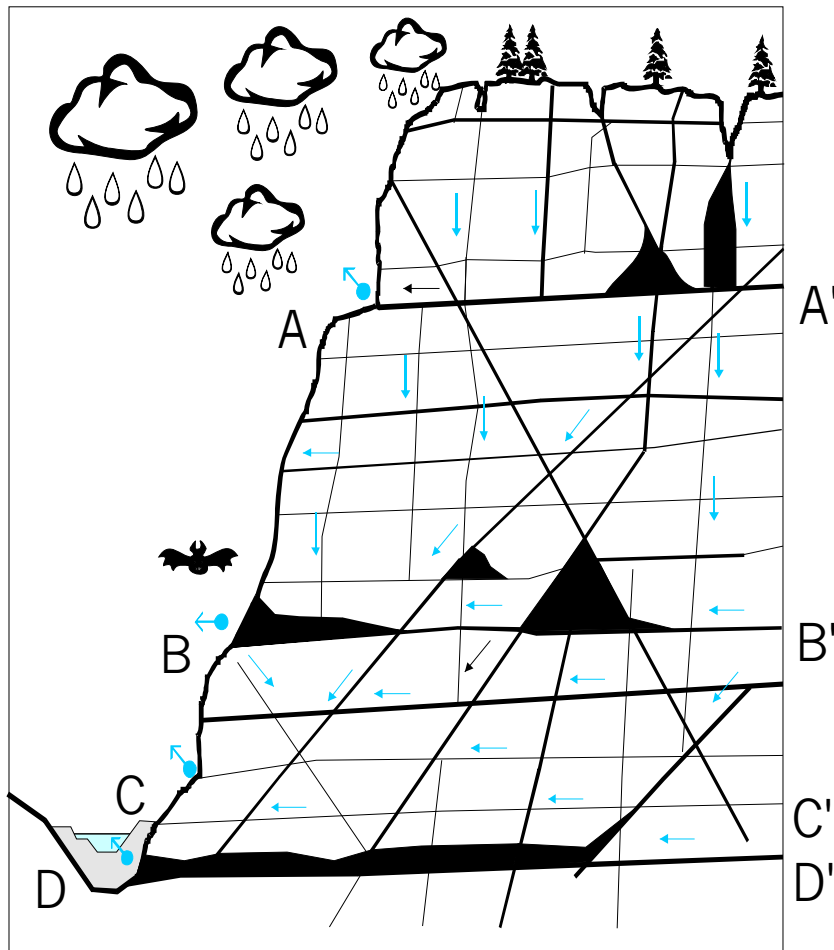
Varie tipologie di sorgenti



Effettuate alcune considerazioni
in merito a:
Situazione idrogeologica
Regime
Alimentazione
Qualità chimica
Vulnerabilità
Metodo di captazione consigliabile



Sorgenti temporanee e perenni



Affioramento di acque tra gli interstrati



Funzionamento delle sorgenti a diversa quota dopo l'inizio delle precipitazioni (A, B, C sorgenti temporanee, D sorgente perenne)

(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

Studio degli idrogrammi di piena delle sorgenti

La forma della curva di esaurimento registrata per una sorgente, caratterizza la risposta dell'acquifero alla ricarica oltre che l'organizzazione del sistema di fratture.

Le informazioni raccolte si dimostrano molto più utili se vengono esaminate anche insieme alle variazioni qualitative dell'acqua (chemiogrammi).

Durata ed intensità delle precipitazioni influenzano la forma della curva di piena nei corsi d'acqua superficiali.

E' noto anche che le caratteristiche del bacino idrografico (forma, dimensione, pendenze, densità del drenaggio, litologia e vegetazione) modificano la risposta del ruscellamento.

Le condizioni precedenti l'immagazzinamento, influenzano inoltre la quantità di acqua che ruscella e l'intervallo di tempo tra l'evento piovoso e la piena.

In conseguenza di questo la forma degli idrogrammi di piena e le caratteristiche del flusso di base mostrano grosse variazioni.

In un particolare regime climatico, la litologia è considerata come il fattore dominante per la forma dell'idrogramma.

Rocce impermeabili mostrano idrogrammi con un picco di portata molto netto a causa del piccolo immagazzinamento e rapido flusso, mentre invece, i bacini idrogeologici costituiti da formazioni permeabili tendono ad avere risposte ritardate e più piatte.

L'idrogramma di un sistema carsico vadoso, tende ad avere picchi molto netti, simili a quelli dei corsi d'acqua superficiali.

Nel caso di gallerie freatiche e quindi di un flusso idrico in gallerie sature a monte della sorgente, la risposta è simile a quella di una serie di affluenti che si gettano in un lago.

Alcuni idrogrammi sono del tipo a "denti di sega", altri hanno curve più piatte od a debole pendenza, in ogni caso evidenziano la presenza di un sistema di condotti variamente distribuito e dimensionato.

Nell'interpretazione dell'idrogramma è importante inoltre sapere se stiamo analizzando tutto il flusso uscente dal bacino idrogeologico o parte di esso.

Curve di esaurimento

La variazione di portata di una sorgente nel tempo, a seguito di un evento piovoso, mostra alcune caratteristiche essenziali:

- Un intervallo di tempo tra l'inizio delle piogge e la sua risposta (aumento di portata)
- Una salita più o meno veloce e ripida della curva (tratto ascendente, *rising limb*)
- Una discesa più o meno veloce e dolce della curva discendente, (*falling limb*)
- Piccole variazioni di portata con forma a denti di sega, su entrambi i fianchi della curva

Quando la curva è al massimo lo è anche l'immagazzinamento nel sistema carsico.

L'entità dello svuotamento è indicato dalla pendenza del tratto in discesa (a destra) della curva di esaurimento.

L'equazione che meglio approssima la curva di esaurimento risale a Maillet, che propose la seguente relazione esponenziale per rappresentare lo scarico di una sorgente in funzione del volume di acqua presente nell'immagazzinamento.

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Dove Q_t è la portata in mc/sec della sorgente al tempo t ; Q_0 è la portata iniziale dell'evento di piena ($t = 0$); t è il tempo in giorni, passato tra le due misure di portata precedenti; e è la base dei logaritmi Neperiani; α con dimensione $1/t$, è il coefficiente di esaurimento, o *regression coefficient*.

Se la curva è costruita su carta semilog, si ottiene una retta di pendenza $-\alpha$.

Applicando i logaritmi alla formula di Maillet, si ottiene un'equazione semplificata per ricavare poi il coefficiente α .

$$\alpha = \frac{\log Q_1 - \log Q_2}{0,4343 (t_2 - t_1)}$$

In alcune situazioni reali le curve di esaurimento non sono sempre lineari (su grafici semilog) e sono state pertanto introdotte altre espressioni per migliorare la sovrapposizione tra dati sperimentali e calcolati. Il valore di α dà un'indicazione della permeabilità generale del massiccio, soprattutto nella zona insatura. Valori di α elevati (0,1-0,2) indicano elevate permeabilità, rapidi drenaggi e scarso immagazzinamento dell'acquifero. In altri termini α fornisce utili indicazioni sulla proporzione tra flusso diffuso e canalizzato. Spesso il tratto discendente iniziale, mostra alcune variazioni di pendenza associabili a diverse dimensioni ed estensioni dei condotti.

Chemiogrammi

Le variazioni di portata sono associate anche a variazioni di qualità chimica delle acque. A partire dagli anni '60 si comprese come l'intensità della fratturazione e dell'estensione del carsismo, possono essere evidenziate dalle variazioni di composizione chimica, analizzate insieme alle variazioni di portata. Alcuni ricercatori, notarono come anche nelle sorgenti che mostrano scarse variazioni di portata durante l'anno, vi possano essere invece forti variazioni in temperatura, conducibilità, Ca, Mg, HCO₃, pH. Jakucs (1959) riporta un classico esempio di studio per una sorgente in Ungheria (Komlos). Jakucs diluì della fluoresceina in una zona d'assorbimento e poco prima di un forte evento piovoso, registrando allo sbocco i seguenti parametri: Ca, torbidità, Cl, fluoresceina, portata. La sorgente mostrò un aumento di portata precedente la comparsa della fluoresceina, anche se questa era stata immessa nel circuito prima delle piogge. Ashton (1966) interpretò questo fatto come una serie di impulsi da vari punti d'ingresso ed attraverso sezioni diverse dell'acquifero, introducendo il concetto di flusso a pistone. Ad esempio l'aumento della concentrazione in Ca all'inizio della piena era dovuto alla spinta dell'acqua "vecchia" con un tempo di residenza maggiore nella zona freatica profonda. I chemiogrammi hanno una forma ad impulsi, in sequenza e talvolta sovrapposti dovuti ad acque di composizione e quantità leggermente diverse provenienti da sub bacini con caratteristiche proprie. Combinando variazioni chimiche e di portata mostrate dai grafici si possono separare i volumi scaricati dall'acquifero nei diversi eventi di piena. Il fenomeno dell'acqua "vecchia" spinta fuori dalla "nuova" fu confermato da vari ricercatori negli anni '70 (Bakalowicz, Eberentz, Mangin) utilizzando le variazioni in ¹⁸O registrate allo sbocco d'alcune sorgenti carsiche. L'evento piovoso costringe l'acqua con maggiore permanenza nell'acquifero ed immagazzinata nei diversi reticoli carsici, ad uscire all'esterno. Questo fenomeno si verifica con velocità di flusso variabili, secondo la permeabilità dei reticoli da cui proviene l'acqua e provoca un miscelamento dei diversi flussi.

(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

Variazione della portata e delle caratteristiche chimiche per un acquifero carsico, parzialmente omogeneo, nel quale l'apporto dei canali maggiori è paragonabile a quello delle fessurazioni, (Q_{max} / Q_{min} pari a 100 -300)

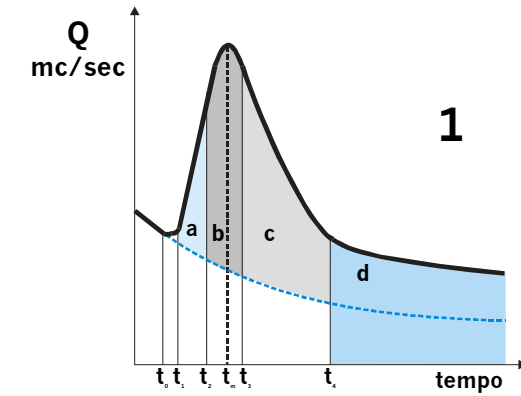
1: l'istante t_0 corrisponde all'inizio delle precipitazioni; in t_1 comincia l'incremento di portata; tra t_1 e t_2 l'idrogramma è formato dall'acqua accumulata nelle canalizzazioni della zona freatica (a) spremuta dalla pressione dell'onda di piena; con l'incremento della portata aumenta la torbidità (2) e, nel caso di piogge dopo un lungo periodo secco, aumentano anche i microorganismi (3, c); l'istante t_2 coincide con la repentina diminuzione di durezza, causata dall'arrivo della piena che ha attraversato la zona vadosa (b); la portata raggiunge il massimo (t_m); l'istante t_3 coincide con un ulteriore aumento della torbidità (2) e l'arrivo di acqua di percolazione (c); t_4 coincide con il ritorno ai valori iniziali di durezza (4) e fino alla prossima pioggia, la sorgente scarica acqua immagazzinata nelle fessure della zona freatica (d). Nel caso di acquifero omogeneo, con rapporto tra Q_{max} / Q_{min} circa 50, e quindi con canali poco sviluppati, l'andamento dei grafici sarebbe differente. Ad esempio la durezza totale aumenterebbe con la piena per "pistonaggio". L'acqua vecchia all'interno dei blocchi fessurati viene spremuta fuori dal carico piezometrico delle acque d'infiltrazione. Ancora diversa sarebbe la risposta in un acquifero carsico in cui la rete dei canali è irrilevante rispetto a quelle delle fessure. Le variazioni sarebbero molto meno marcate e difficilmente correlabili agli eventi piovosi. (Bonacci 1985)

Esempio di risposta idraulica e chimica di una sorgente

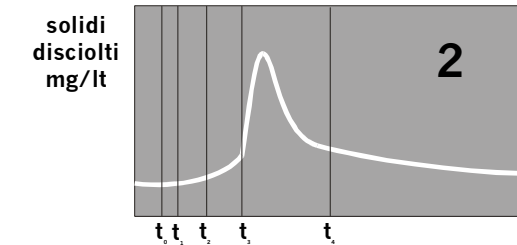
(vedi figura alla pagina seguente)

Esempio di risposta idraulica e chimica di una sorgente

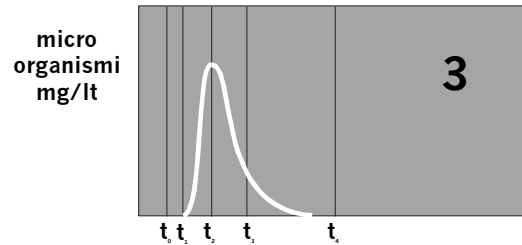
(vedi didascalia alla pagina precedente)



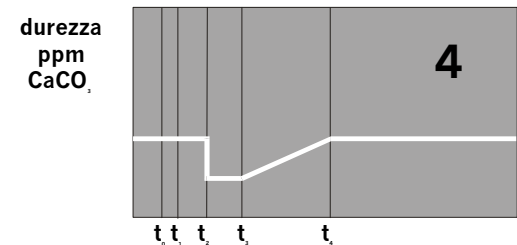
1



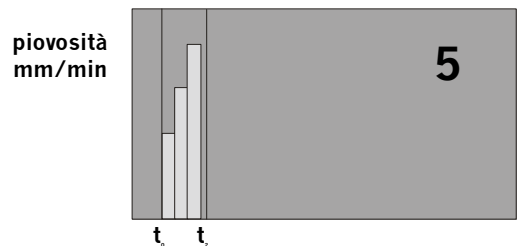
2



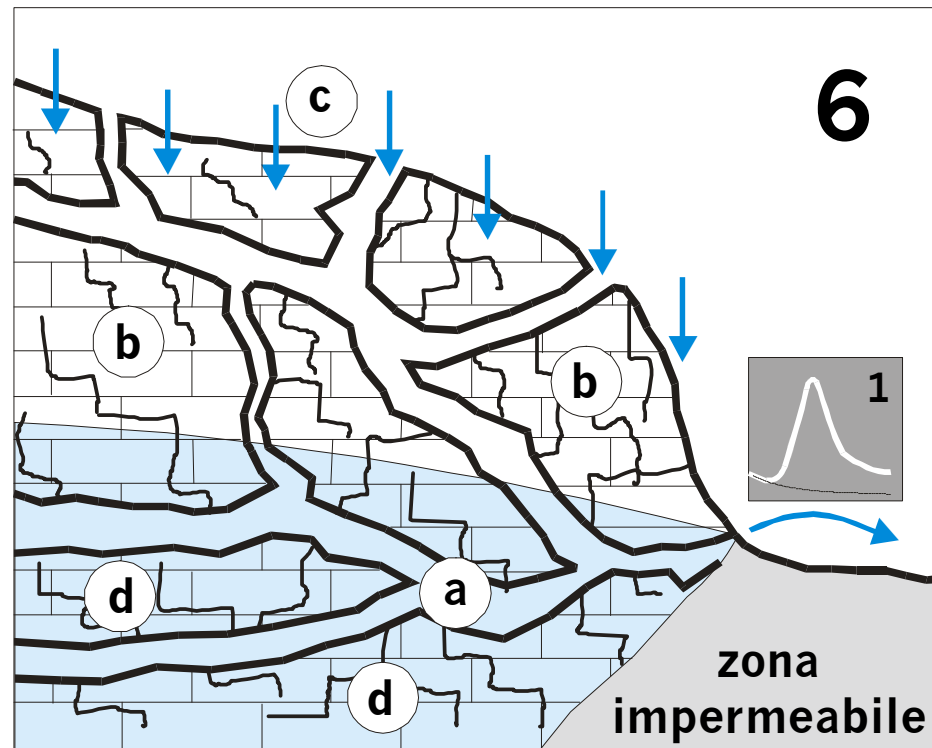
3



4



5



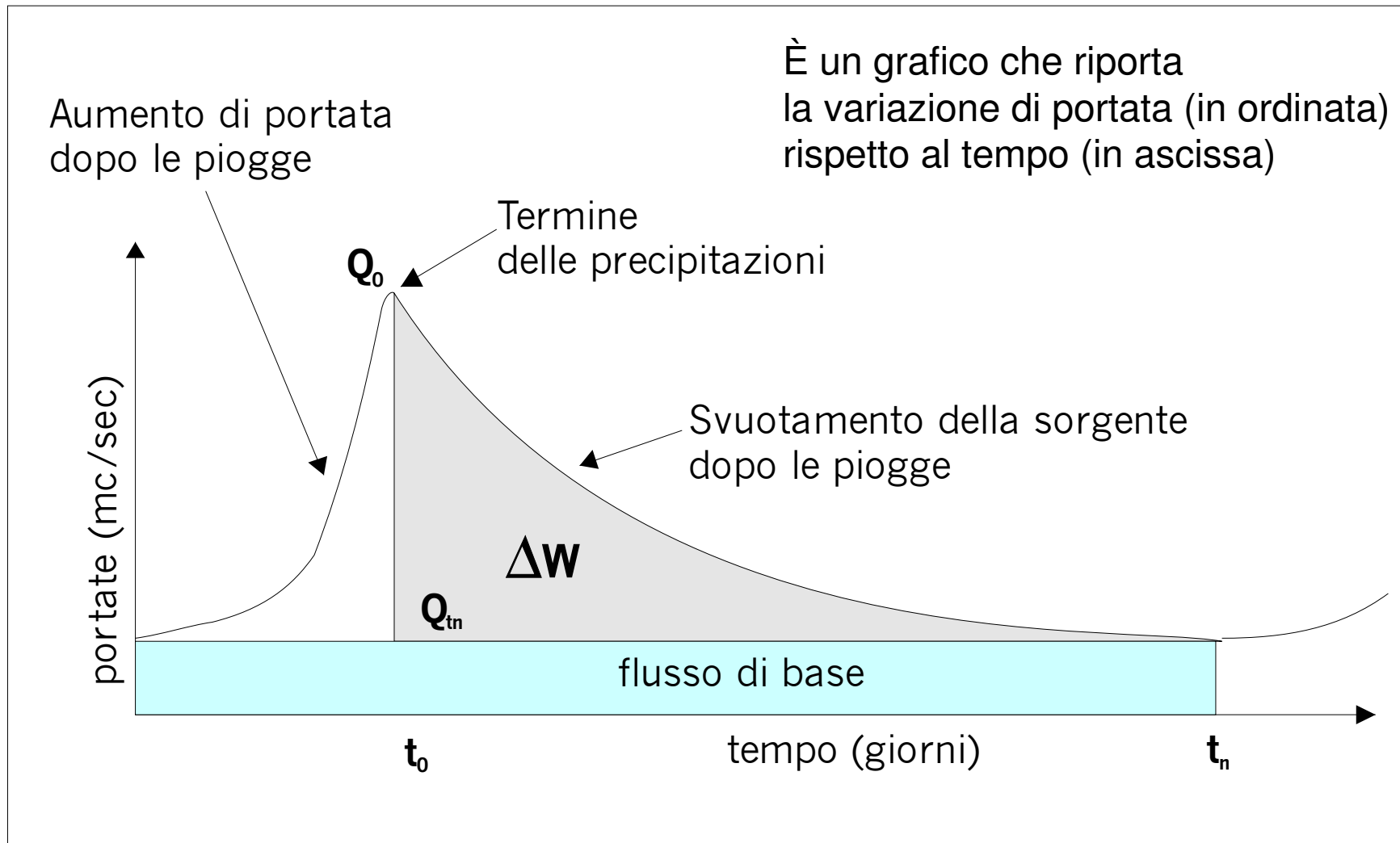
6

zona impermeabile

(Bonacci, 1985)

(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

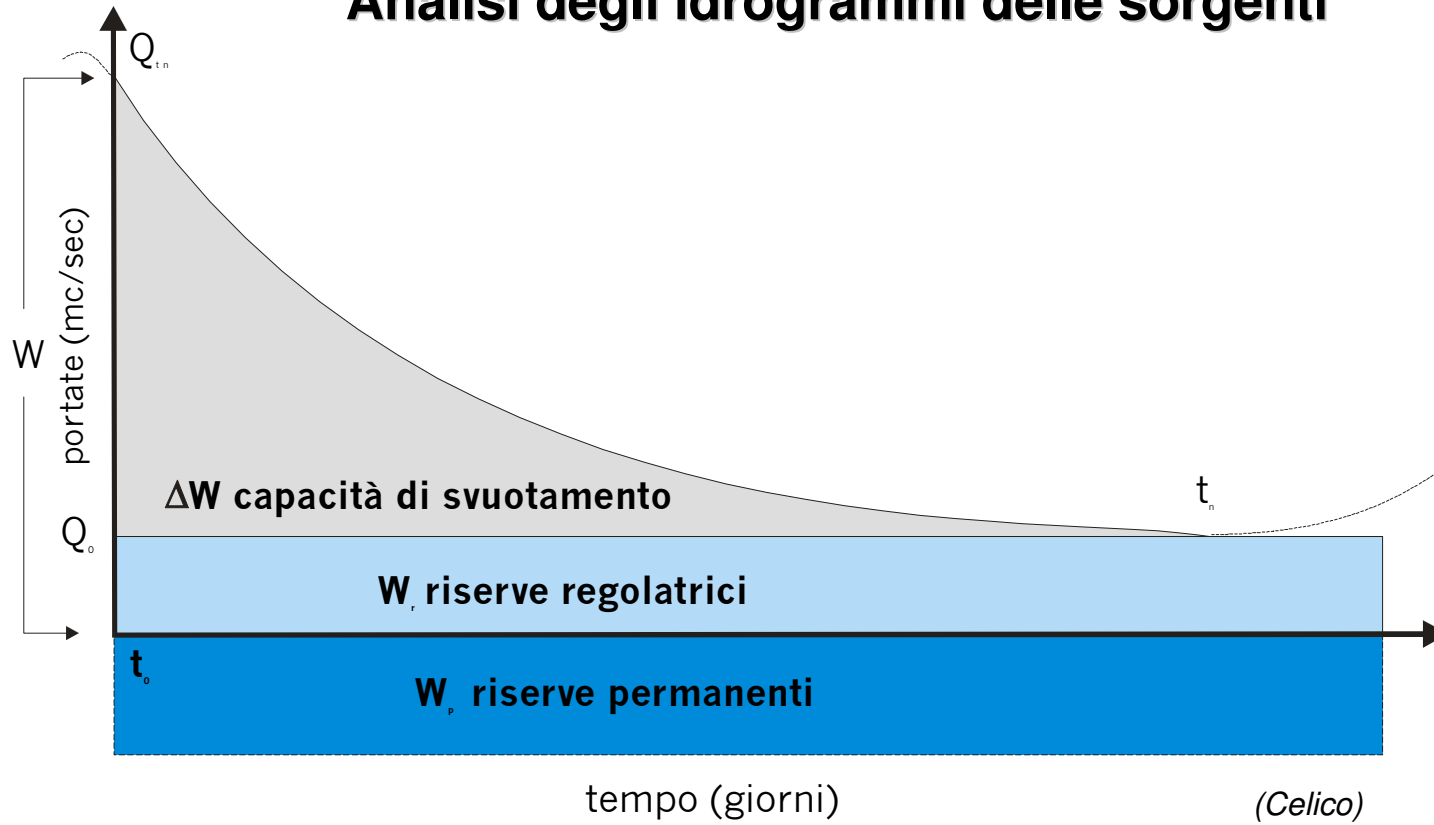
L'idrogramma di una sorgente



ΔW corrisponde al volume defluito tra t_0 e t_n

(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

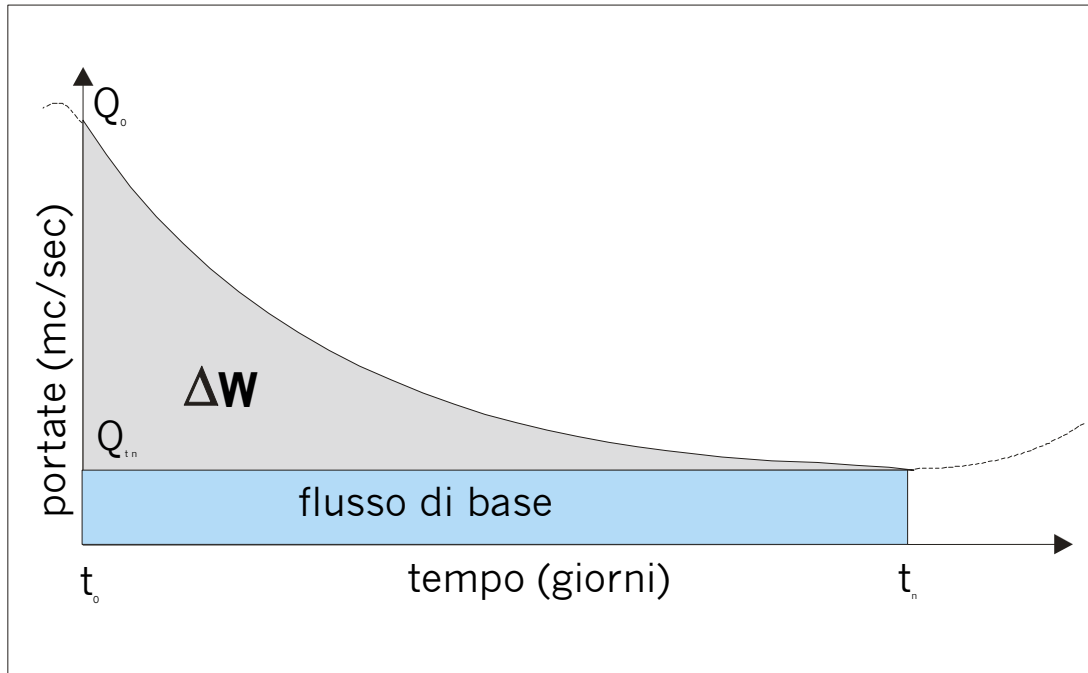
Analisi degli idrogrammi delle sorgenti



W immagazzinamento dinamico

ΔW corrisponde al volume defluito tra t_0 e t_n

Diagramma di esaurimento di una sorgente



$$\alpha = (\ln Q_0 - \ln Q_t) / t_n$$

(Celico)

$$W = Q_0 86400 / \alpha \quad Q \text{ mc/sec; } \alpha \text{ in } g^{-1}$$

Immagazzinamento dinamico

$$W_t = Q_0 86400 / \alpha e^{-\alpha t}$$

Immagazzinamento al tempo t

$$\Delta W = W - W_t = \text{volume defluito durante l'evento}$$

ΔW = capacità di svuotamento: volume di acqua, tra l'inizio e la fine esaurimento

$t_0 - t_n$ = periodo di svuotamento della sorgente

Flusso di base: portata della sorgente in regime non influenzato

Equazione della curva (Maillet)

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

$$e = 2,718$$

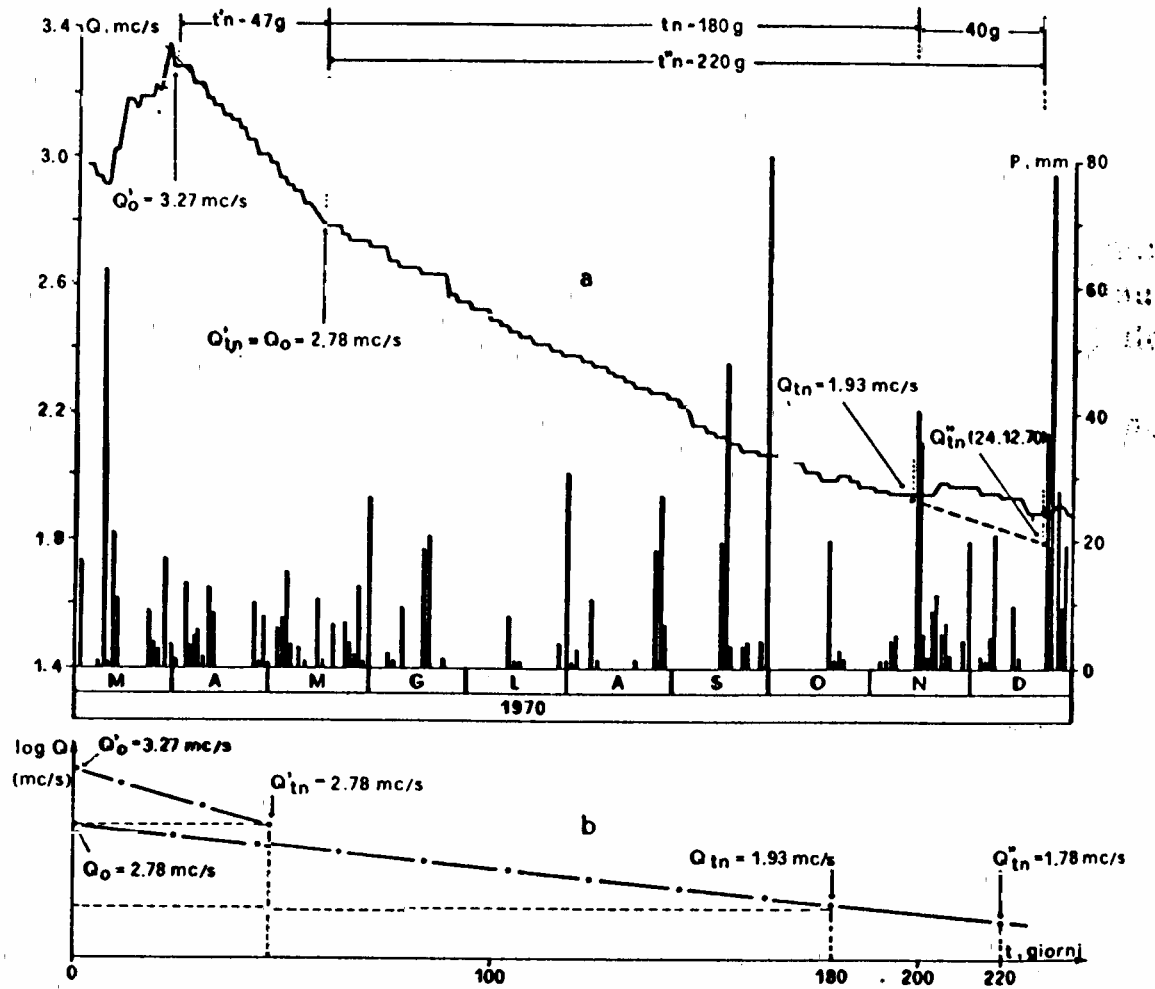
α = coefficiente di esaurimento

t = tempo trascorso dall'inizio esaurimento

Q_t = portata falda al tempo t (fine esaurimento)

Q_0 = portata falda al tempo 0 (inizio esaurimento)

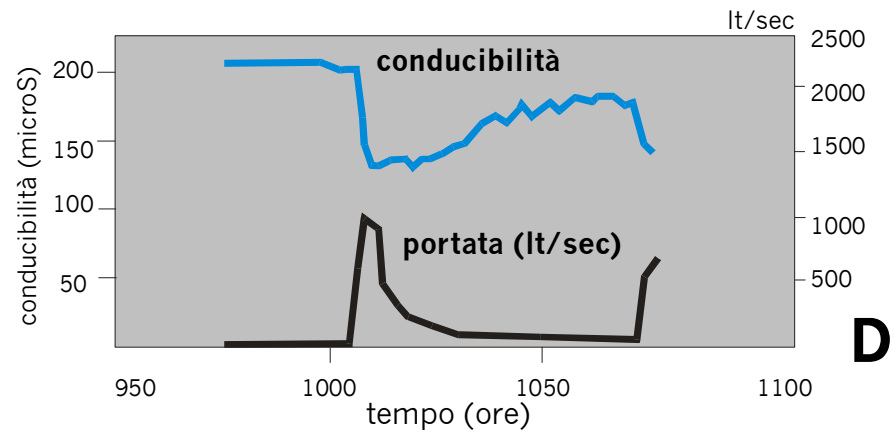
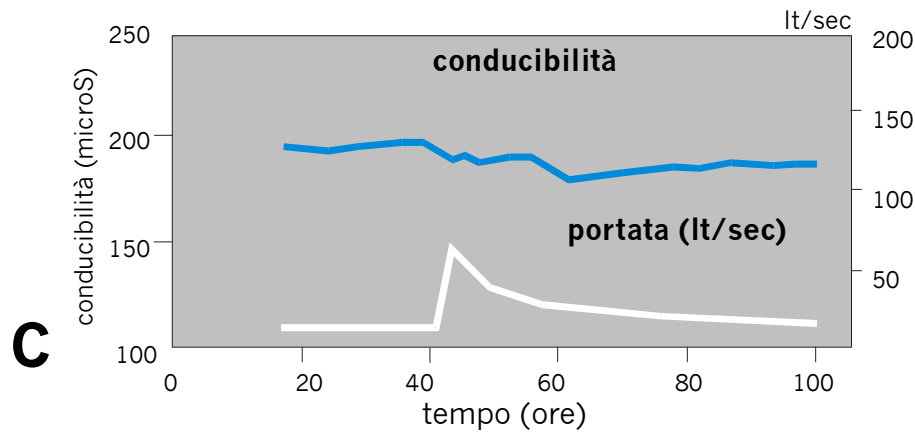
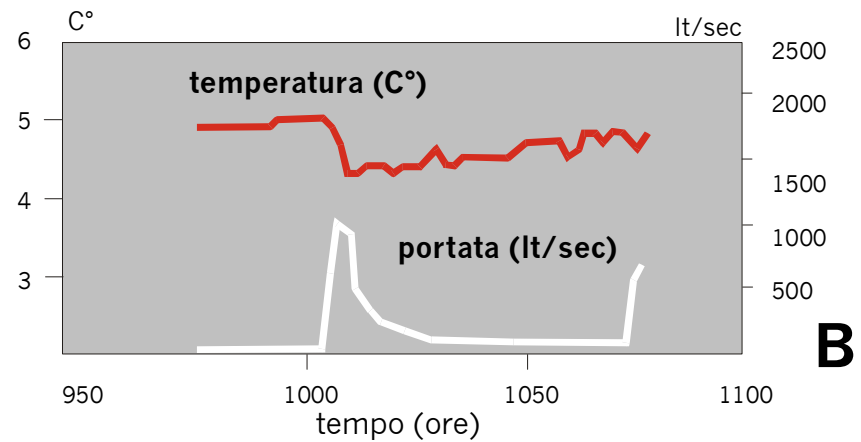
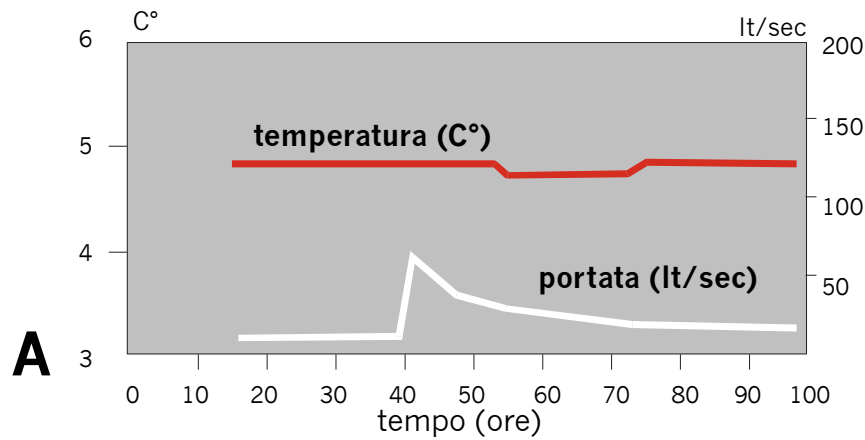
Calcolo del coefficiente di esaurimento



(Celico)

$$\alpha = (\ln 2,78 - \ln 1,93) / 180$$

(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)



Diagrammi portata-temperatura e portata-conducibilità per una stessa sorgente

Un evento temporalesco di breve intensità determina un aumento di portata di 30 lt/sec; alla sorgente una blanda diminuzione di conducibilità e temperatura segnala l'arrivo di acqua d'infiltrazione (A - C).

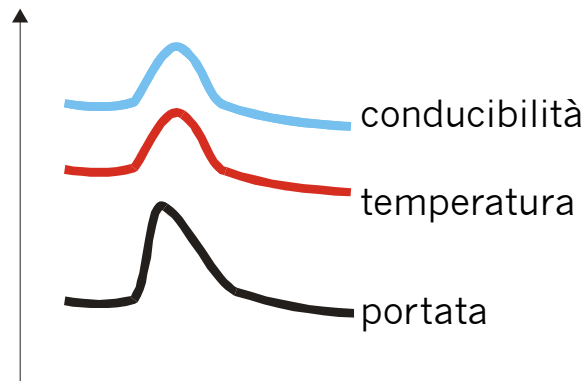
Una piena maggiore (grafici a destra) determina un aumento di portata a 1000 lt/sec.

In questo caso conducibilità e temperatura diminuiscono più rapidamente evidenziando il meccanismo di sostituzione prevalente (B - D). Il comportamento idrodinamico ed idrogeochimico, evidenzia un sistema con scarse riserve ed alto grado di vulnerabilità (*Vigna*)

Comportamento idrodinamico ed idrogeochimico delle sorgenti *(da Vigna)*

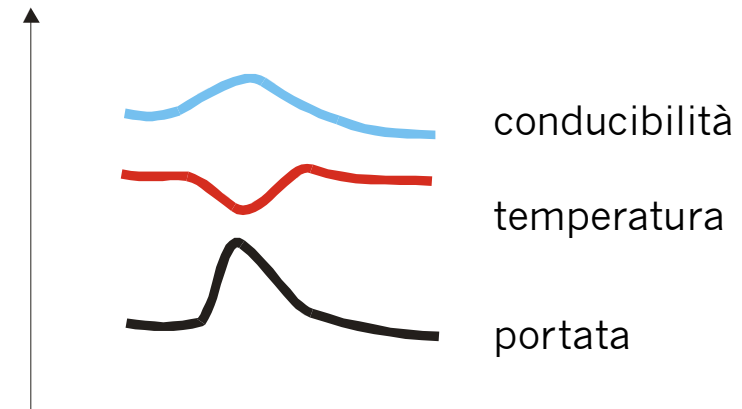
Pistonaggio

(ricarica rapida del sistema)



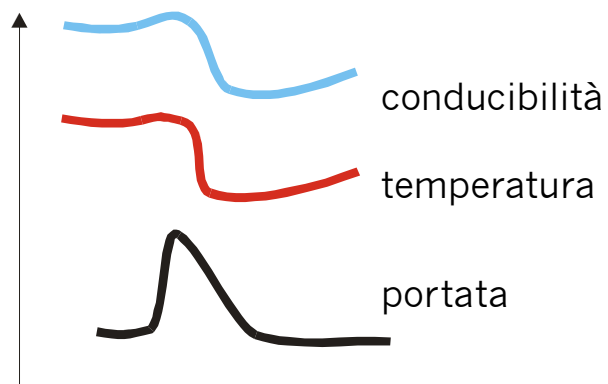
Miscelazione

(grande sviluppo dei condotti)



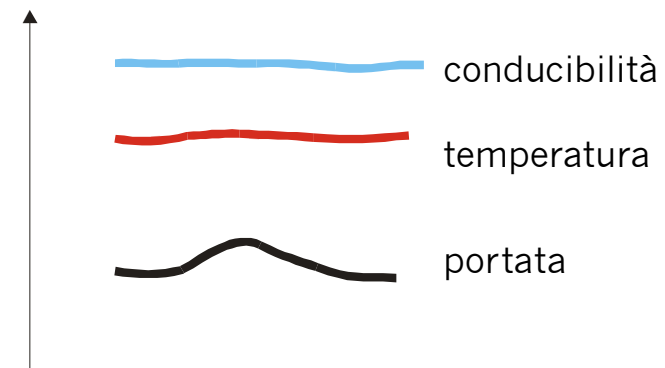
Sostituzione prevalente

(completo rinnovamento delle acque)

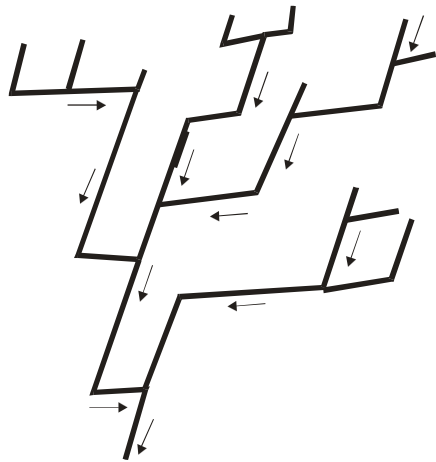


Omogeneizzazione




(circolazione di tipo idrodispersiva)

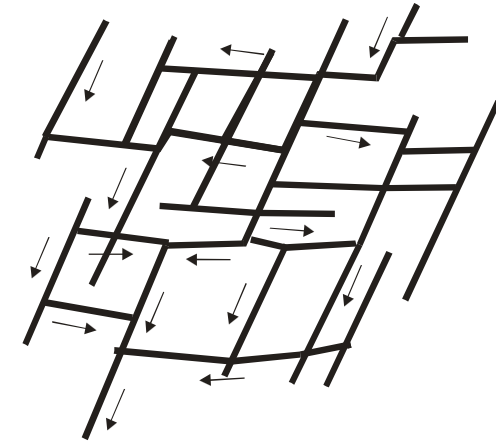


Sistemi di circolazione in acquiferi fratturati e carsici (Vigna)






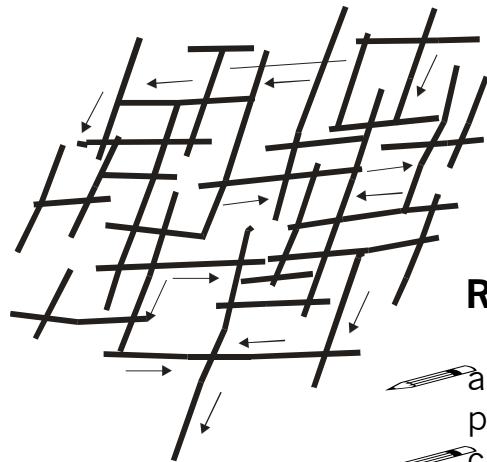
Rete a primario dominante

-  importanti vie di drenaggio preferenziale
-  organizzazione della rete di drenaggio
-  condotti sifonanti ma assenza di una zona satura tradizionale






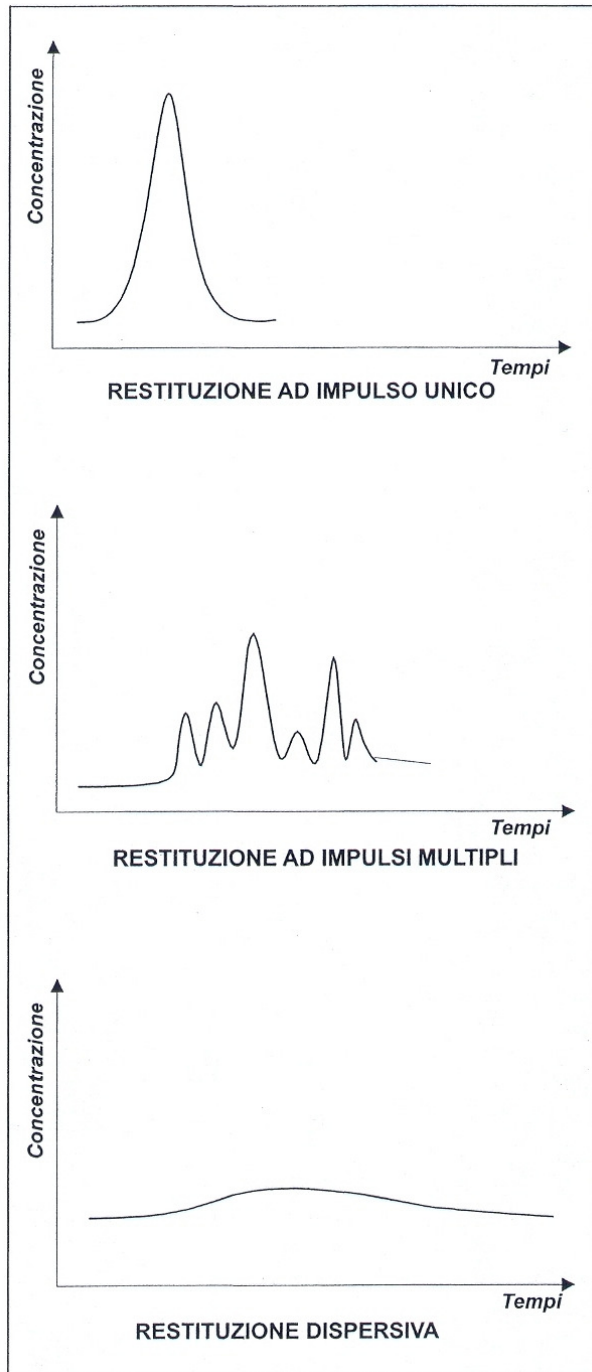
Rete a dreni interdipendenti

-  numerose vie di drenaggio interdipendenti
-  circolazione semidispersiva nella rete di condotti e fratture
-  presenza di zone sature con più "sersem"



Rete a circolazione dispersiva

-  assenza di vie di drenaggio preferenziale
-  circolazione dispersiva nella rete di fratture
-  presenza di una zona satura tradizionale



Traccianti ottici

L'uso dei traccianti, immessi nella zona di alimentazione dell'acquifero, fornisce le seguenti informazioni:

- estensione del bacino
- velocità di propagazione dell'onda di piena
- tipologia del sistema di circolazione

In alto: curva caratteristica per un sistema a dreno dominante

Al centro: curva caratteristica per un sistema a dreni interdipendenti

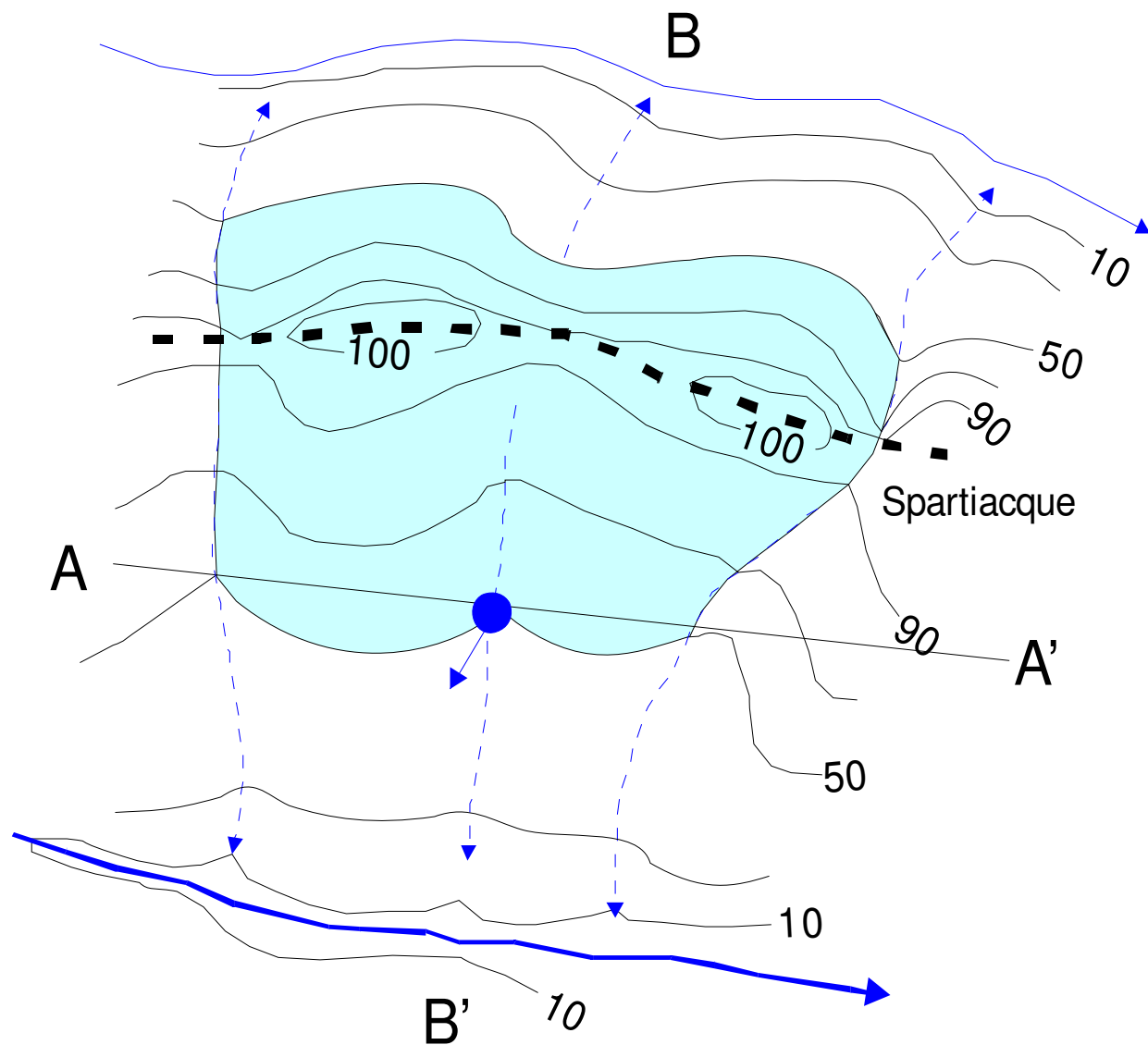
In basso: curva caratteristica per un sistema a circolazione dispersiva

(da Vigna)

(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

Metodo Altimetrico-Morfologico per la delimitazione delle aree di alimentazione delle sorgenti

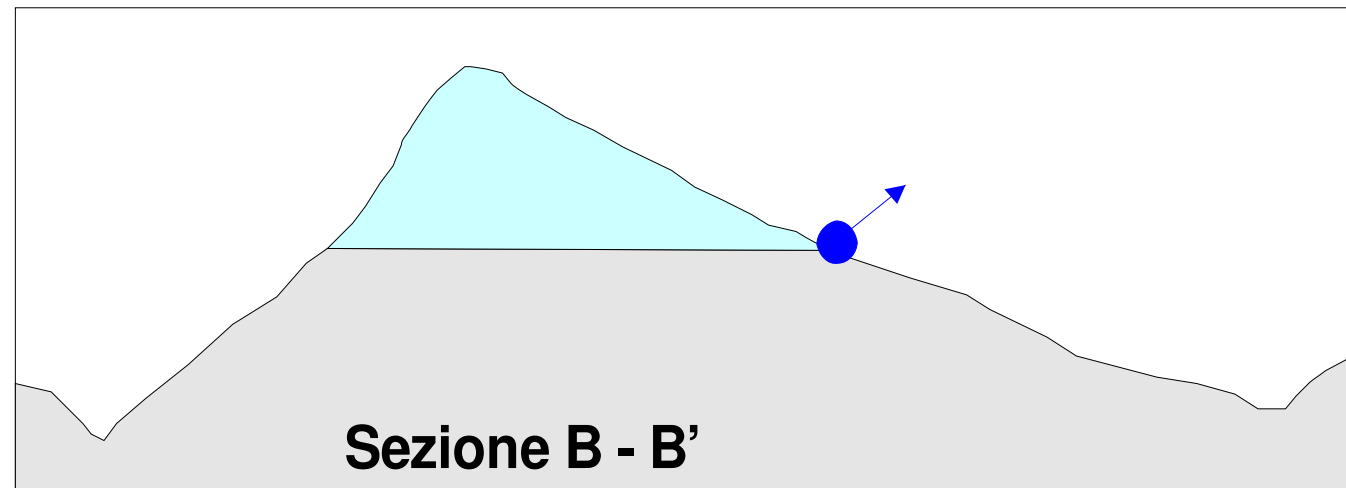
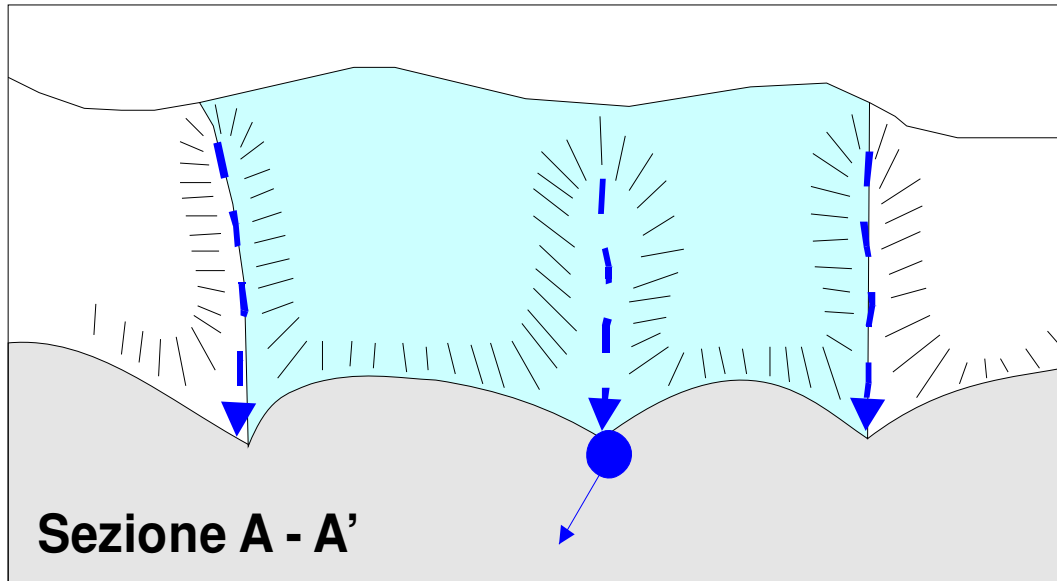
(Piacentini 1992)



Porzione del massiccio montuoso topograficamente superiore alla quota della sorgente, con estensione laterale fino ai fossi compresi degli impluvi adiacenti il bacino idrografico ed estensione a monte e nel versante opposto fino a quota sorgente. In caso di più sorgenti si effettuano raccordi con curve di livello o corsi d'acqua

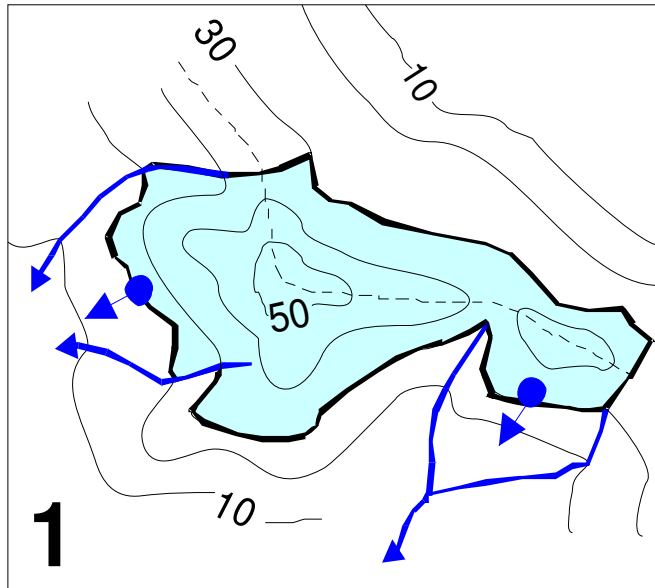
(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

**Metodo Altimetrico-Morfologico
per la delimitazione
delle aree
di alimentazione
delle sorgenti**
(Piacentini 1992)

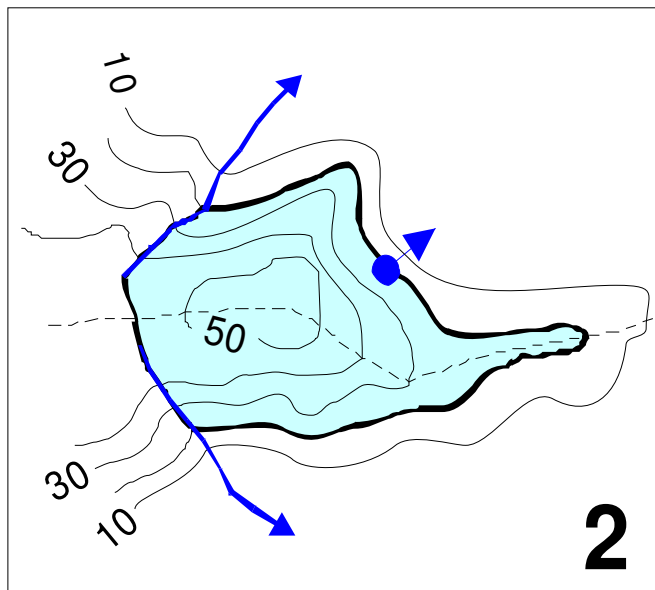


Metodo Altimetrico-Morfologico per la delimitazione delle aree di alimentazione delle sorgenti

(Piacentini 1992)



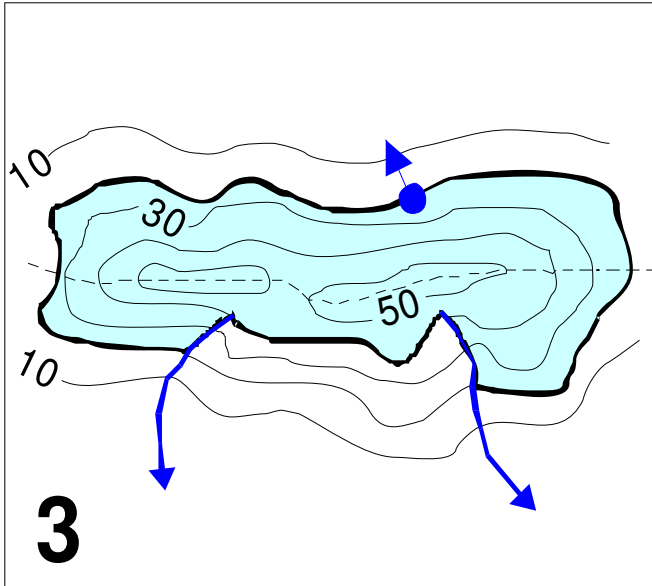
Due sorgenti sullo stesso versante e nessun corso d'acqua su quello opposto



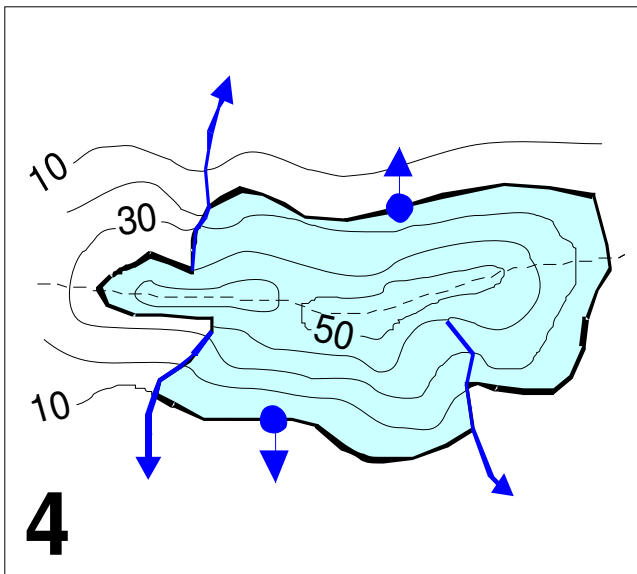
Sorgente singola con corsi d'acqua divergenti sui due versanti

Metodo Altimetrico-Morfologico per la delimitazione delle aree di alimentazione delle sorgenti

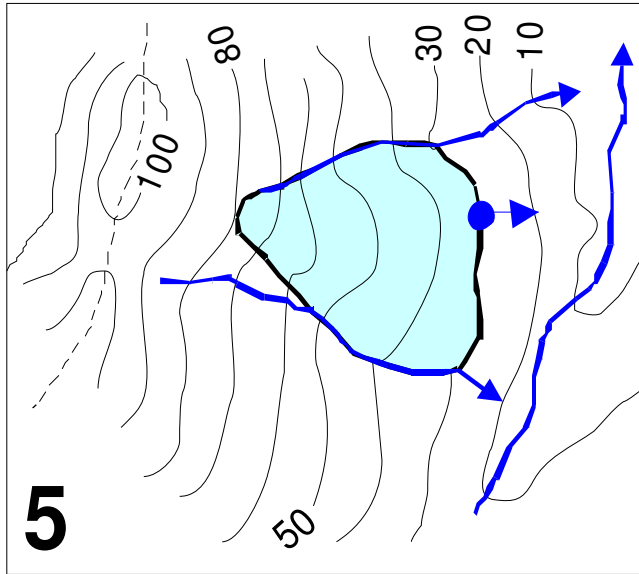
(Piacentini 1992)



Sorgente singola con corsi d'acqua sul versante opposto

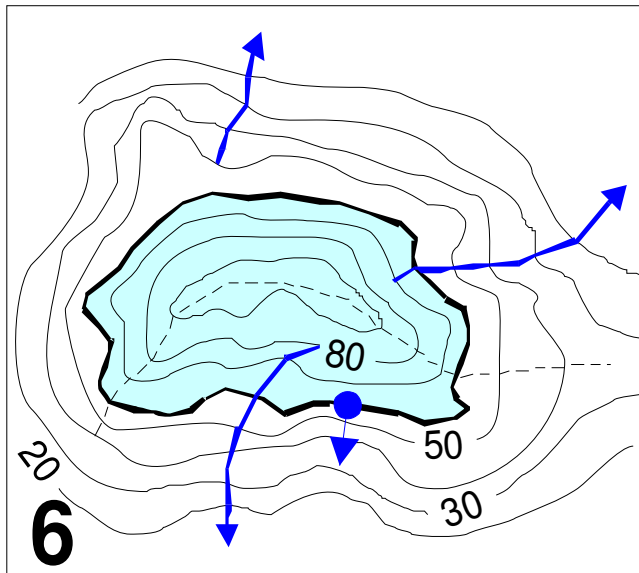


Due sorgenti su versanti opposti con corsi d'acqua sui due versanti



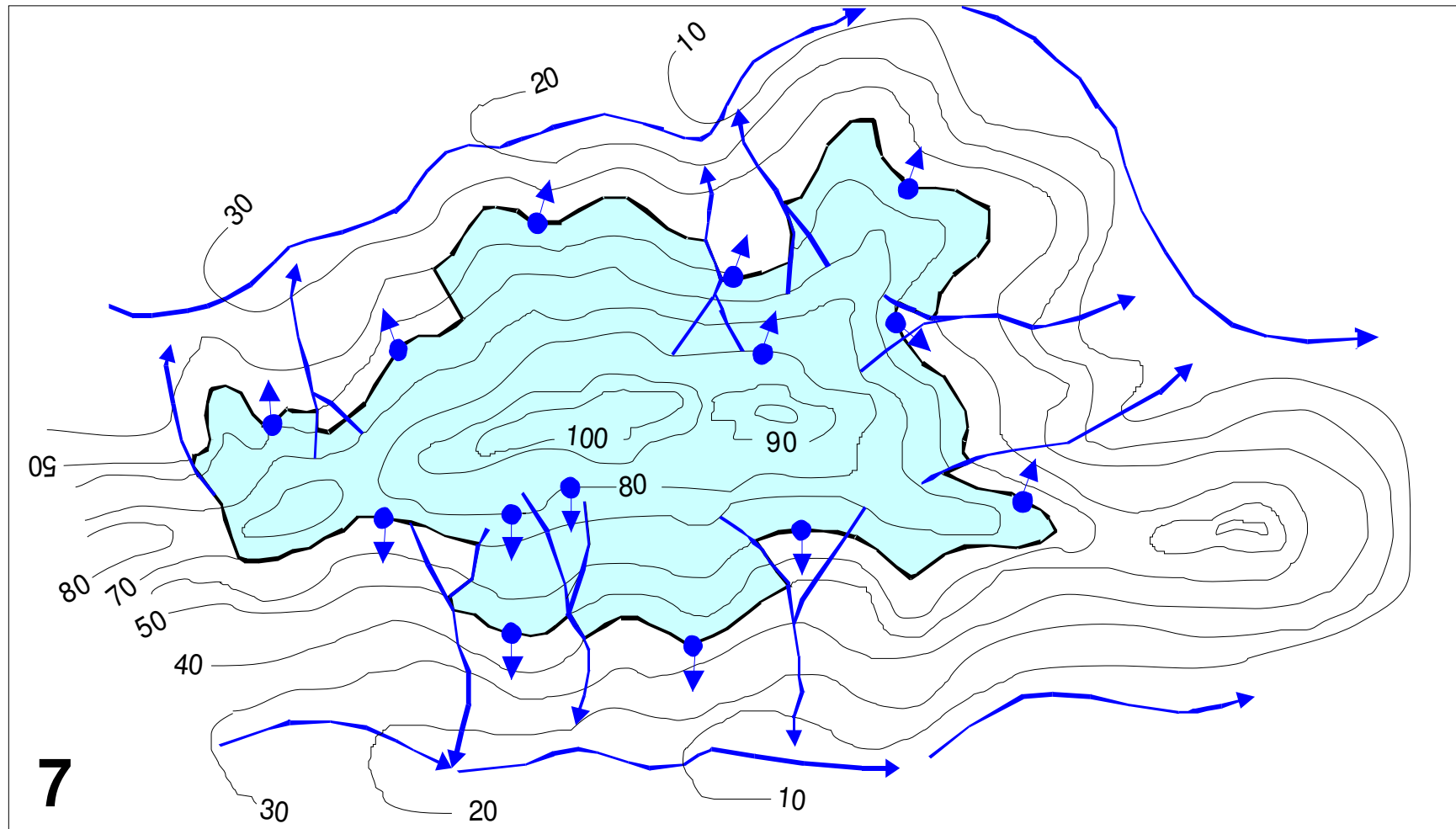
Metodo Altimetrico-Morfologico per la delimitazione delle aree di alimentazione delle sorgenti
(Piacentini 1992)

Sorgente singola su dorsale delimitata da corsi d'acqua



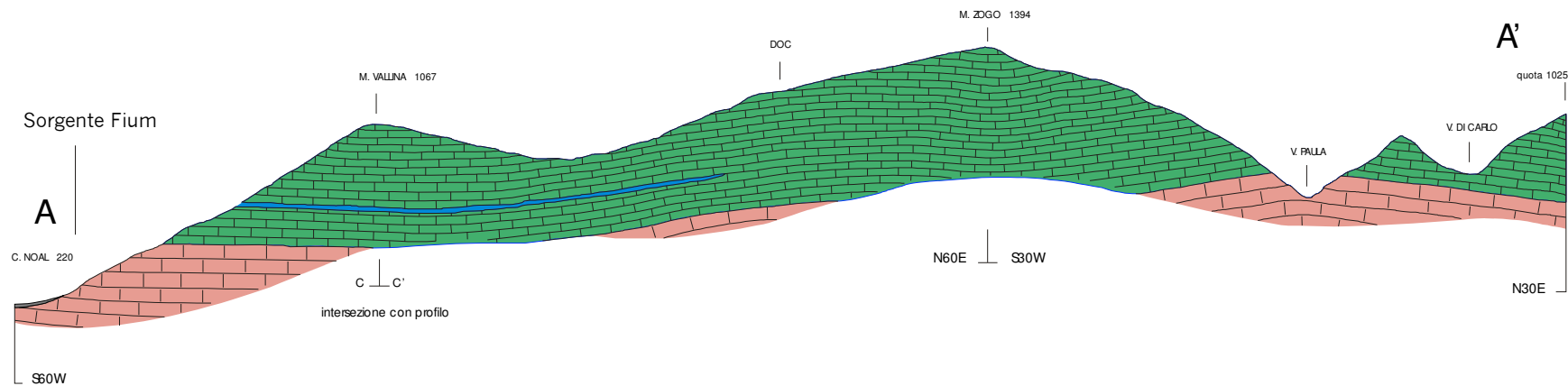
Sorgente isolata ad alta quota

**Metodo Altimetrico-Morfologico per la delimitazione
delle aree di alimentazione delle sorgenti**
(Piacentini 1992)



Caso di più sorgenti su dorsale

(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)



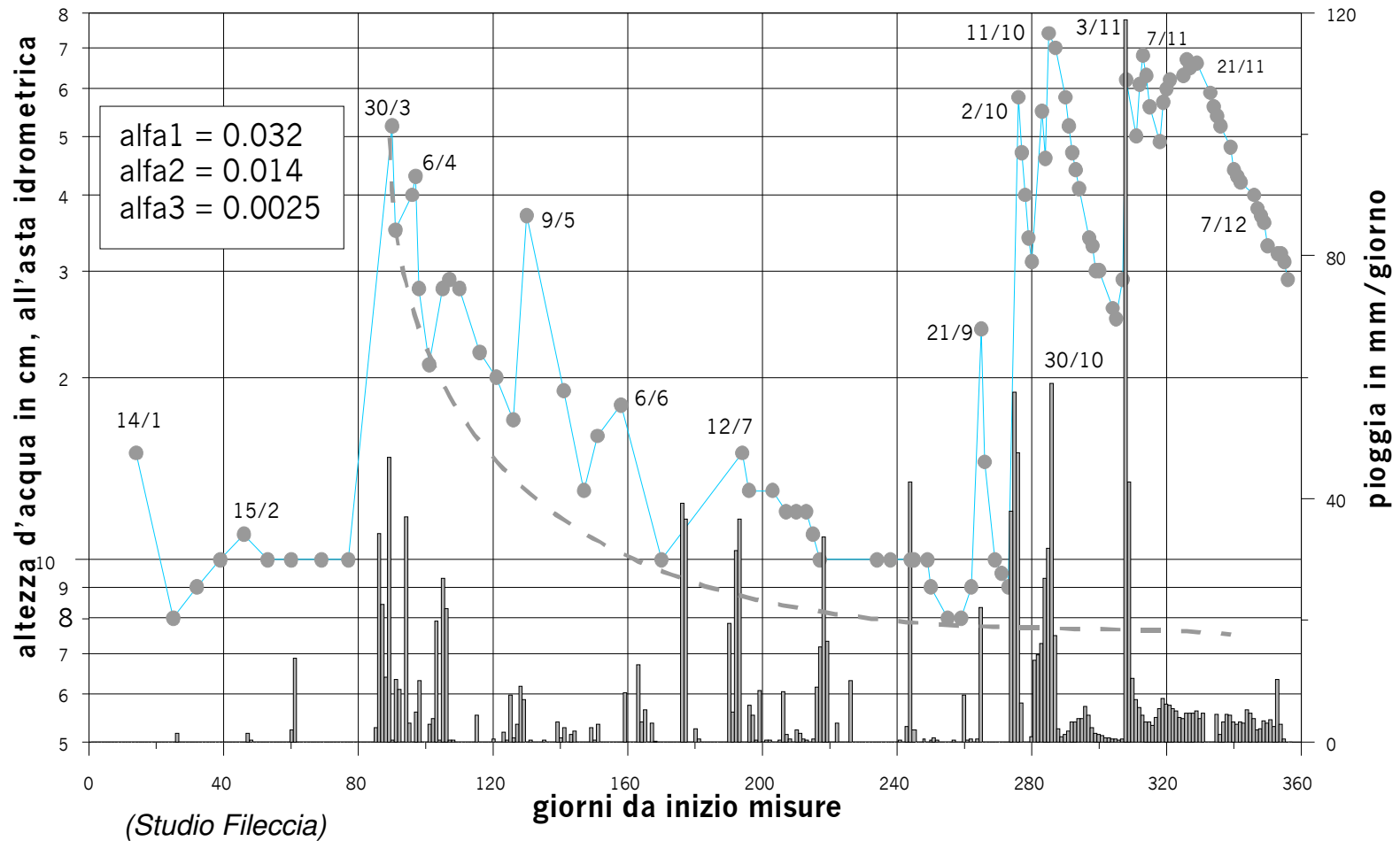
Delimitazione del bacino idrogeologico della sorgente FIUM (BL)

Profilo geologico

(Studio Fileccia)

Delimitazione del bacino idrogeologico della sorgente FIUM (BL)

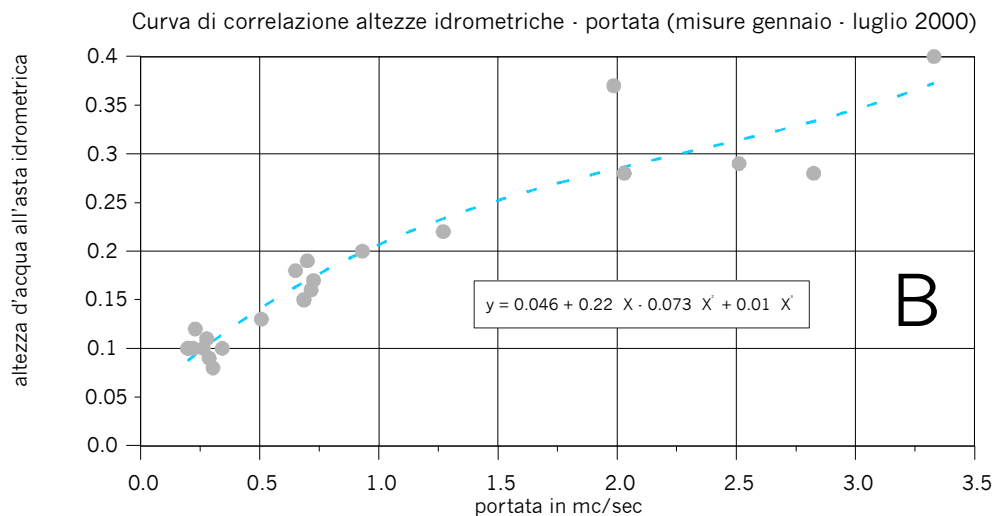
Idrogramma della sorgente e pluviometria nell'area circostante



(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)

Delimitazione del bacino idrogeologico della sorgente FIUM (BL)

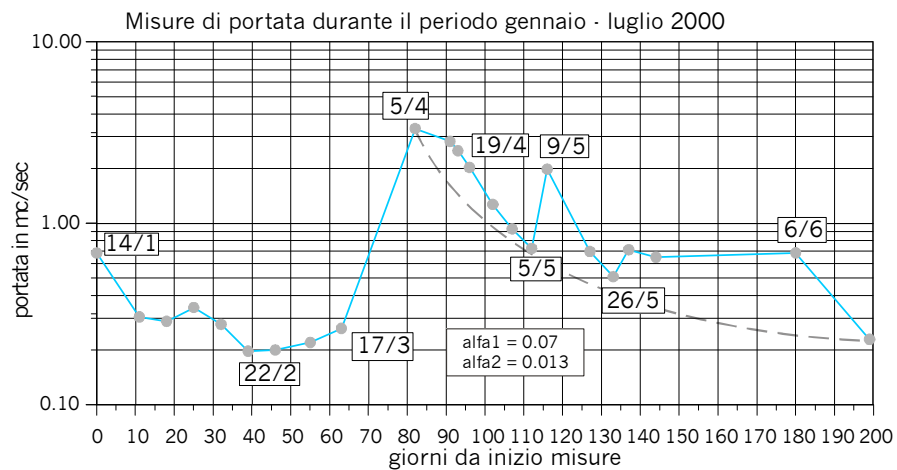
Curva di taratura e portate misurate



La curva è utile nei casi in cui la sorgente sia dotata della sola asta idrometrica.

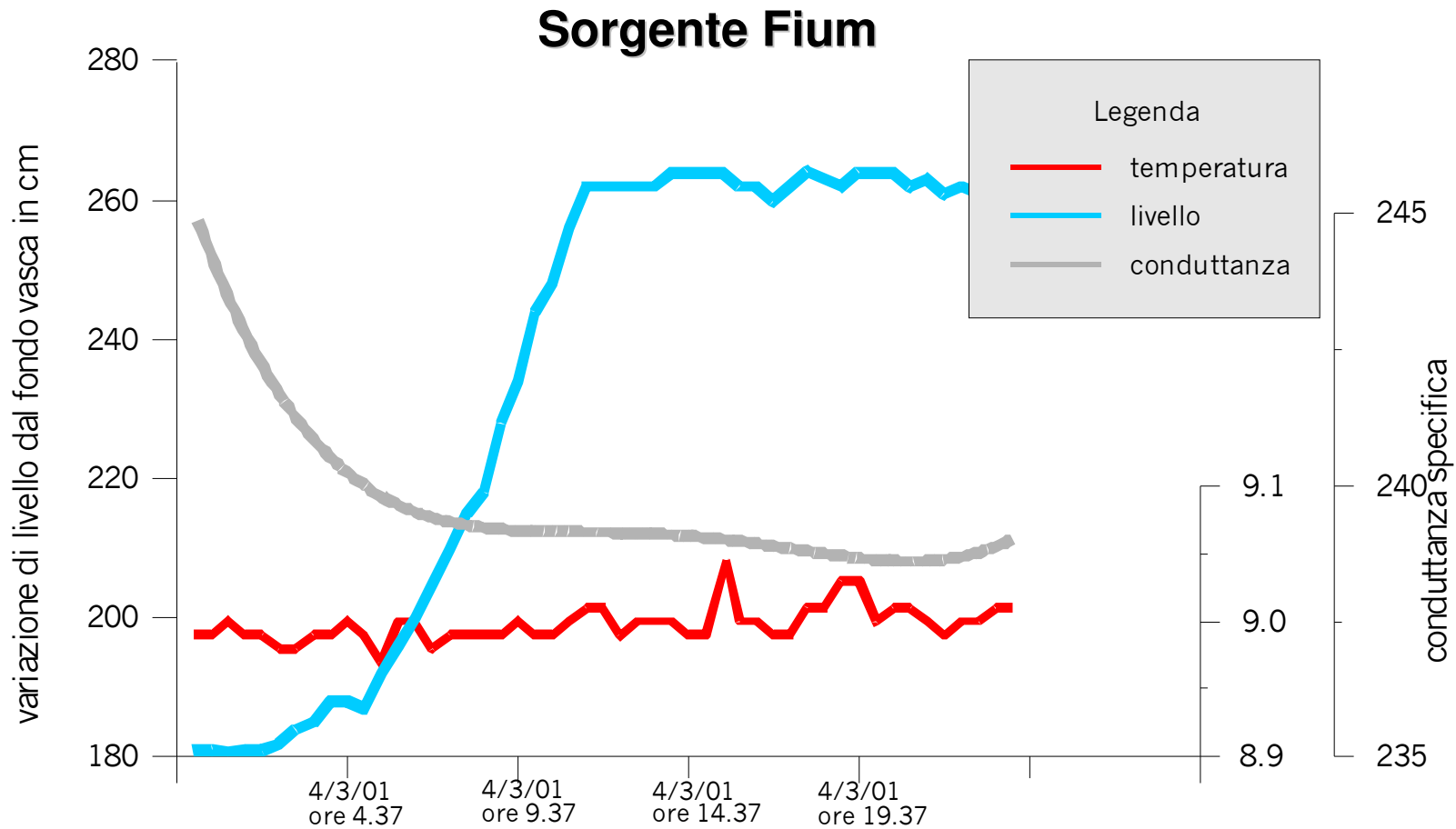
(Studio Fileccia)

Idrogramma della sorgente e calcolo dei coefficienti di esaurimento



C

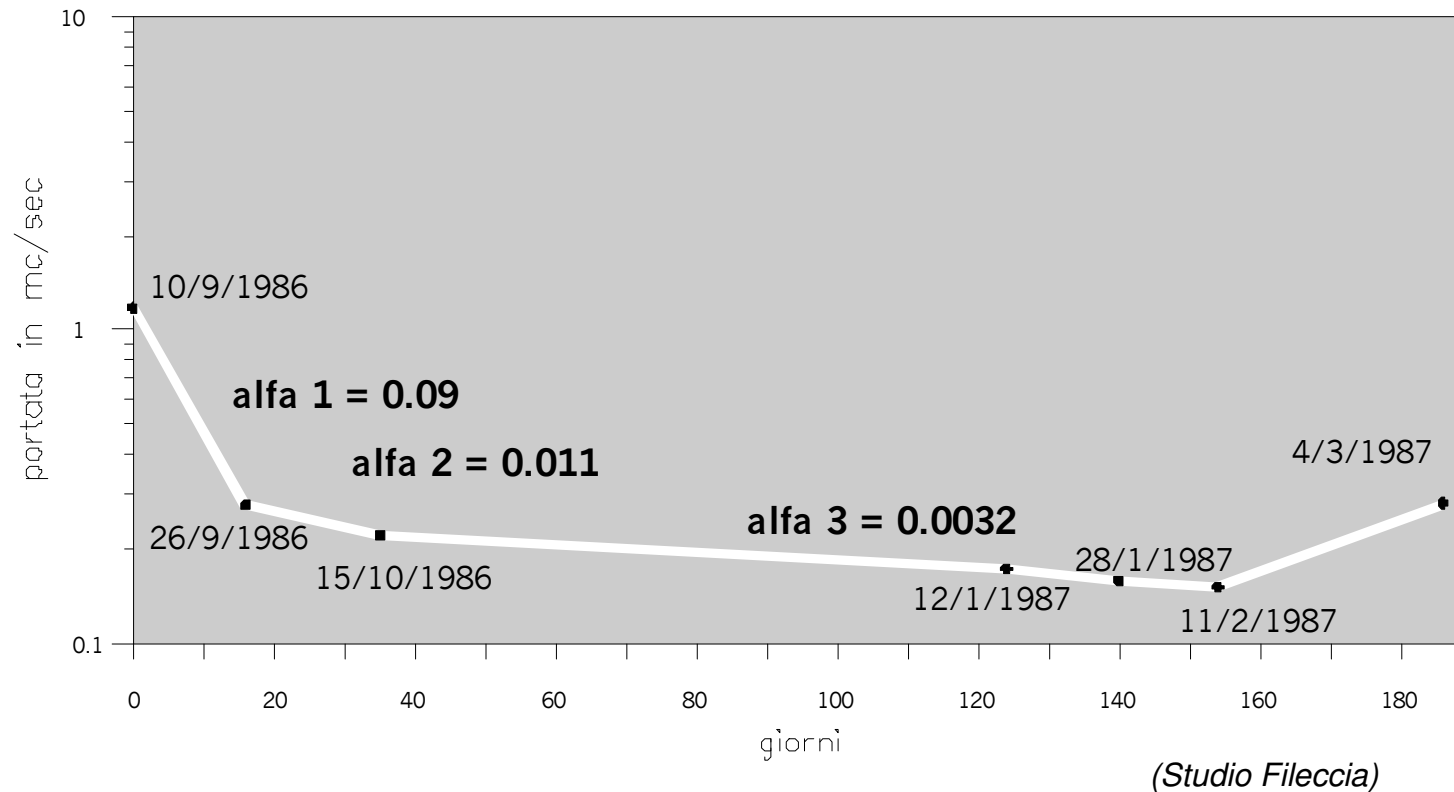
(Idrogeologia: Acquiferi fratturati)



misure effettuate con intervalli di 30 min.)

Esempio di monitoraggio con acquisitori automatici, per evidenziare le caratteristiche di una sorgente carsica ed il fenomeno di sostituzione prevalente (*Studio Fileccia*)

Sorgente Tegorzo: curva d'esaurimento 1986-87



giorni	portata mc/s
0	1.175
16	0.275
35	0.22
124	0.173
140	0.158
154	0.151
186	0.28

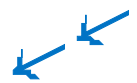
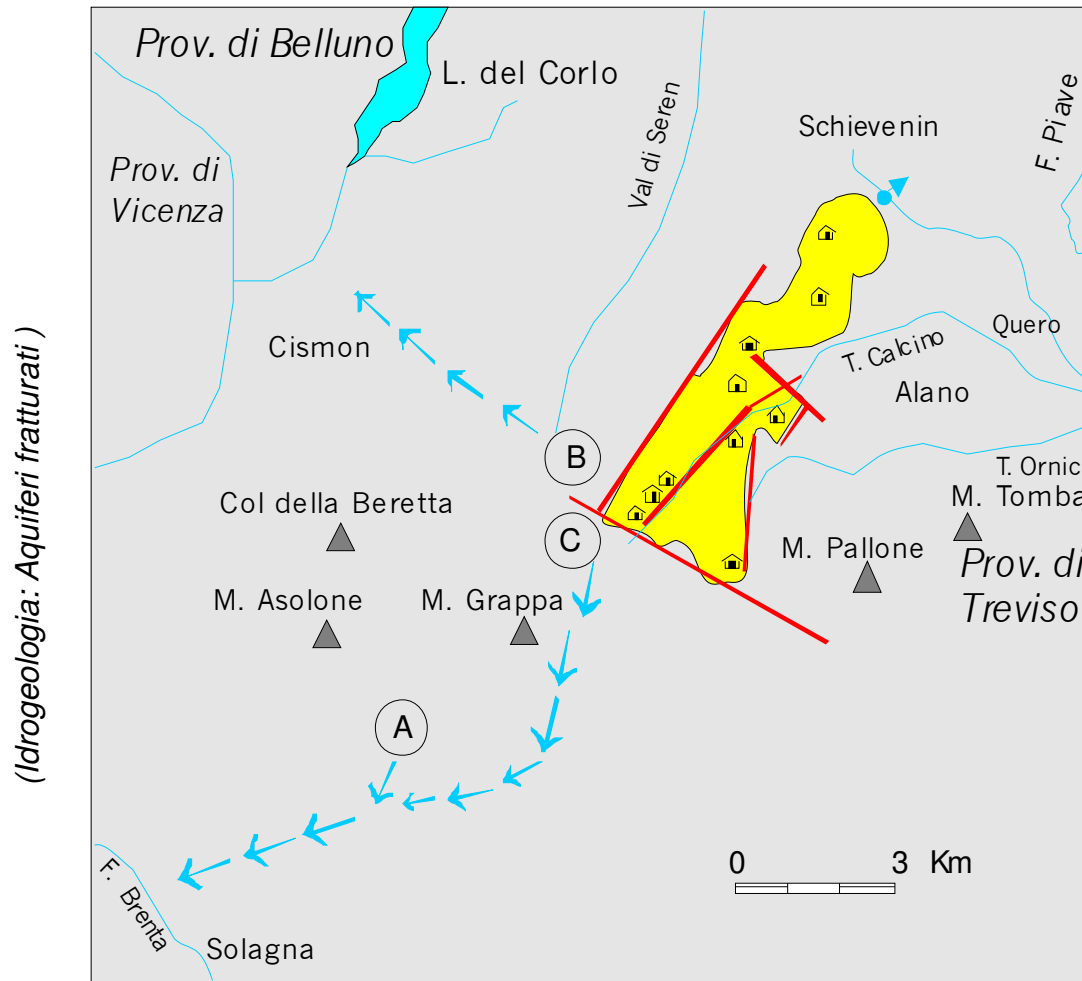
Nel grafico in figura l'acquifero è caratterizzato da tre ordini di porosità, rappresentati dai tre coefficienti. Il primo indica che la rete di canali carsici si svuota in circa 15 giorni, il secondo che la rete di fessure più piccole, drena in circa 20 giorni. Il terzo coefficiente costituisce la risposta idrica, con flusso laminare, della rete di piccole fessure dell'acquifero e della parte insatura al di sopra (durata circa 4 mesi). In pratica, valori di α dell'ordine di 10^{-2} , indicano canali larghi e reti di fessure ben interconnesse, mentre valori di α dell'ordine di 10^{-3} , drenaggi lenti e fessure più piccole.

Prova di colorazione con fluoresceina



La prova è stata effettuata nell'ambito dello studio per la delimitazione del bacino idrogeologico di una sorgente carsica. Sono stati utilizzati 5 kg di fluoresceina immessi in un torrente sotterraneo a 450 m di profondità. La sostanza è stata evidenziata a circa 10 km di distanza dopo una ventina di giorni (*Studio Fileccia*)

Sorgente Tegorzo ed area del bacino idrogeologico



flusso sotterraneo

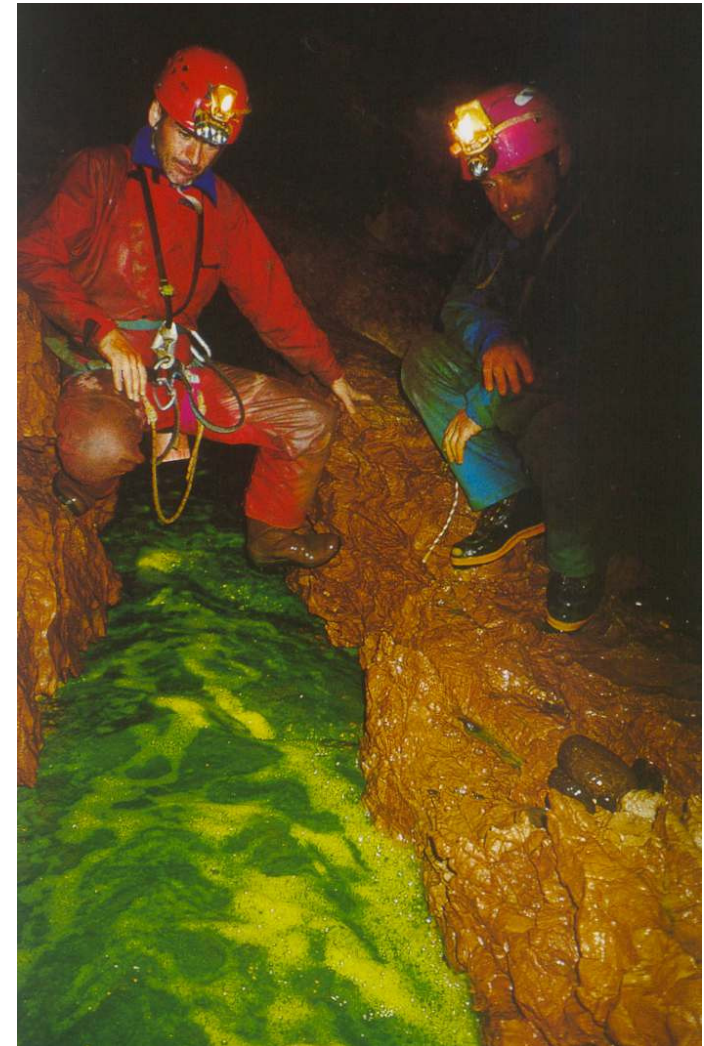


faglia



malga

Prove di tracciamento e percorso sotterraneo da Abisso M. Oro (A); da Val Piana (B); da Abisso Spaurazzo (C)



Immissione di fluoresceina
(foto M. Pappacoda)