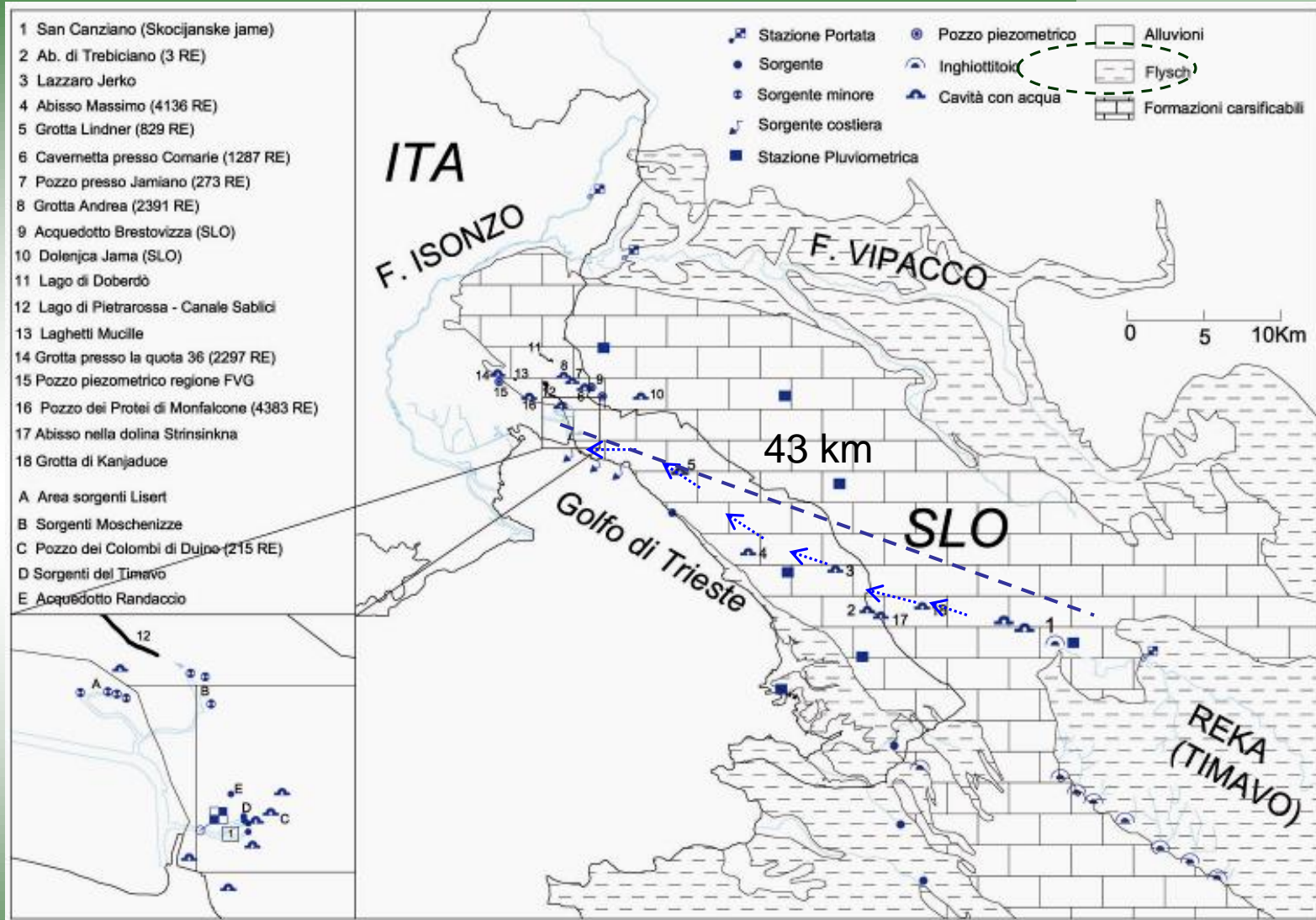


IL TIMAVO

Marne e arenarie
NON carsificabili
e impermeabili

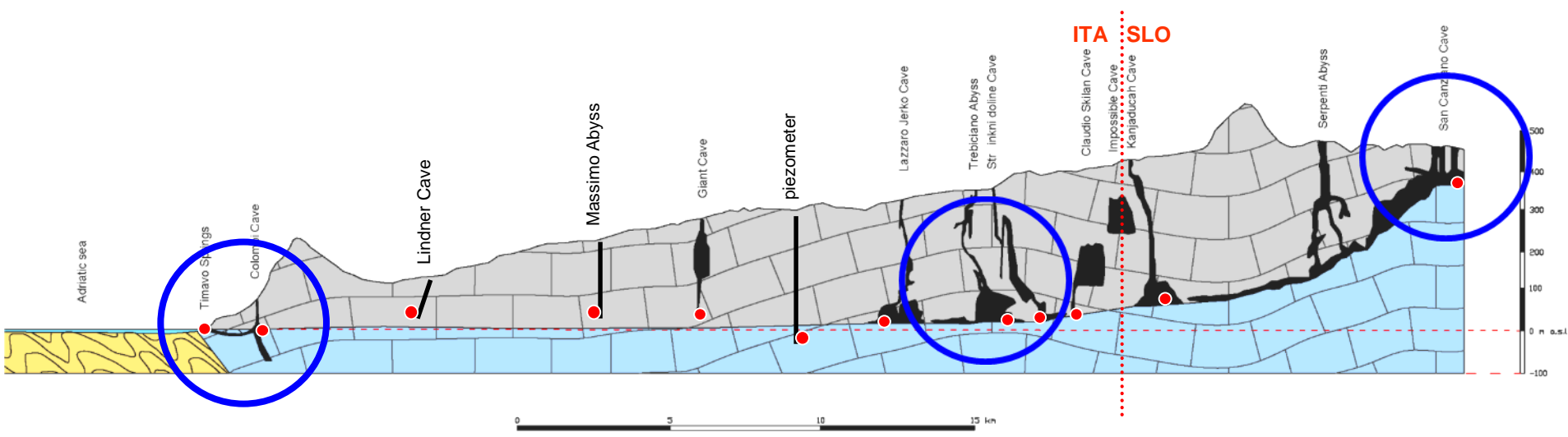


Sezione idrogeologica del Carso - Krus

Spring zone

Karst Plateau

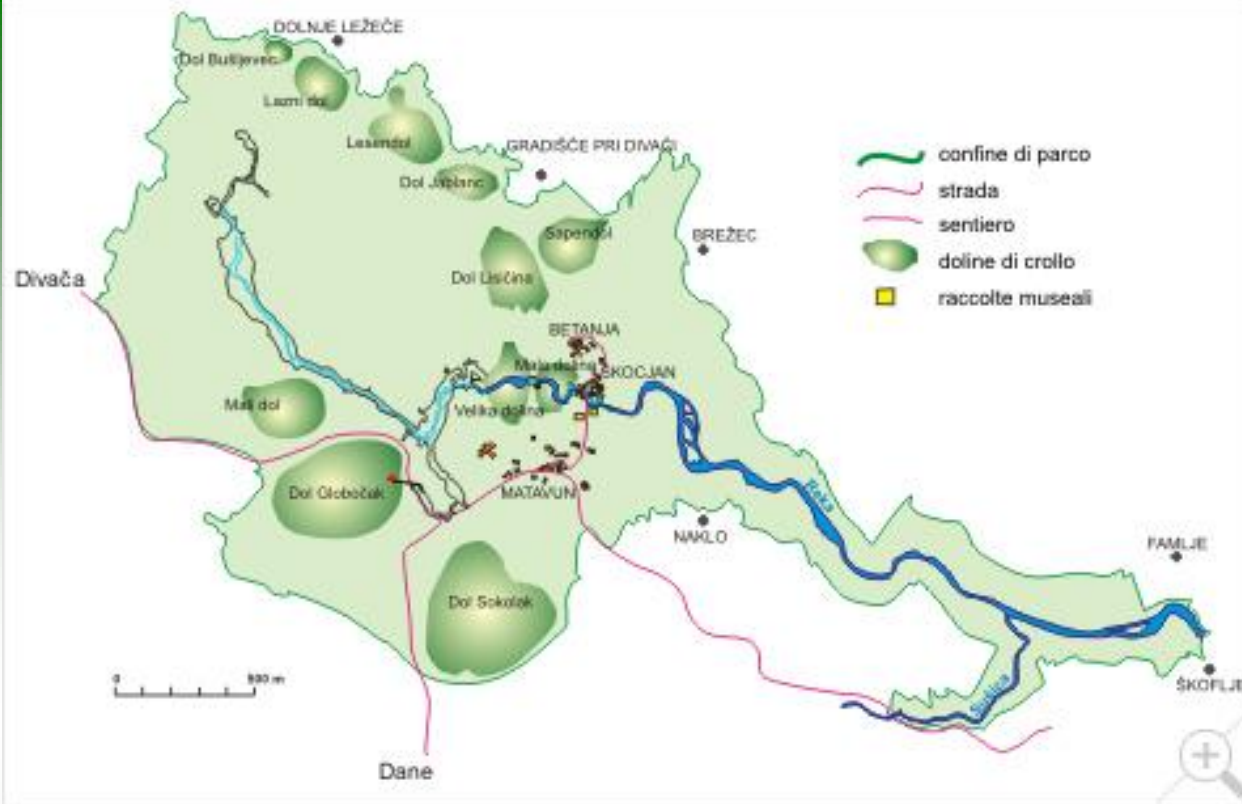
Transfer zone



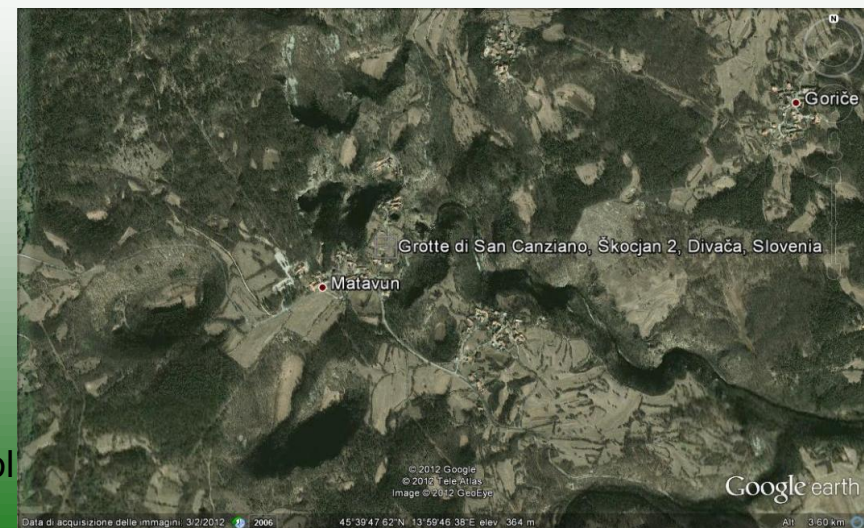
Grotte il cui fondo talvolta si riempie di acqua quasi ferma

grotte con grandi caverne in cui scorre un fiume

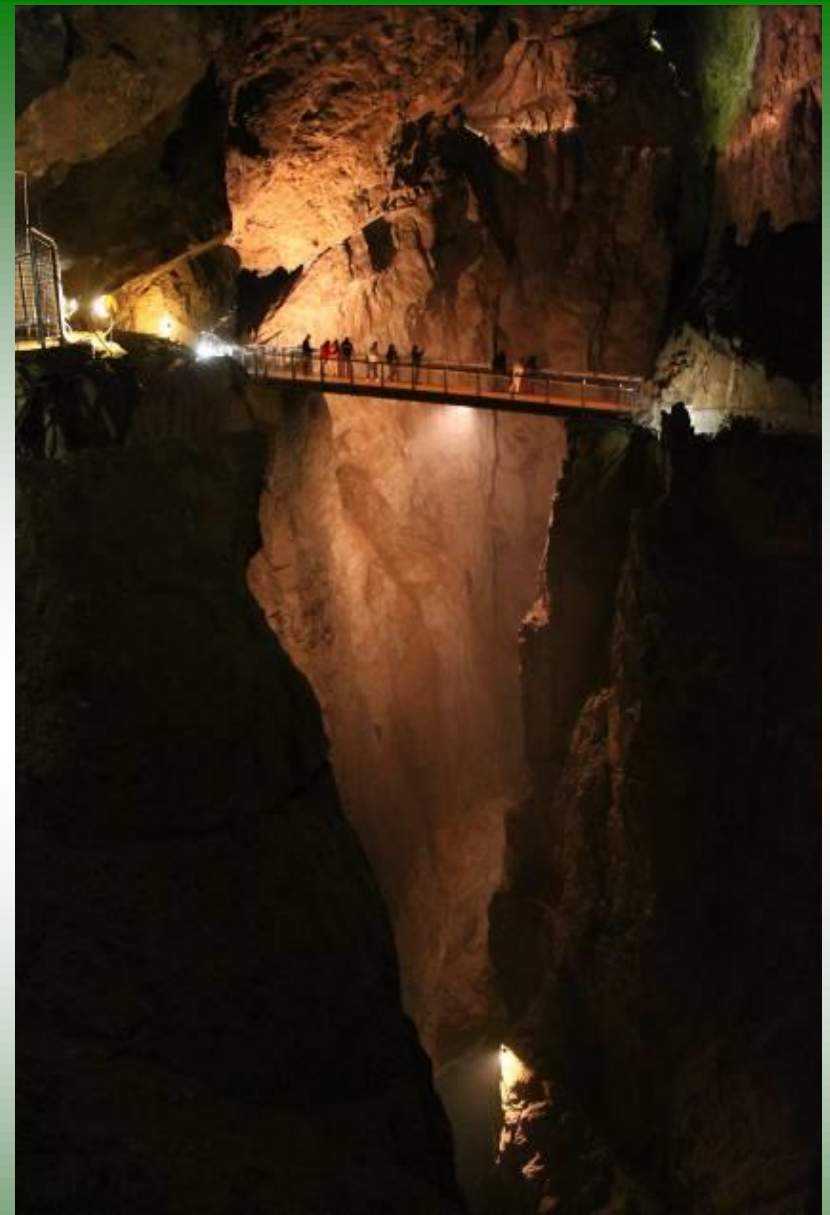
Patrimonio UNESCO



<http://www.park-skocjanske-jame.si/ita/index.shtml>
Grotte di S. Canziano



Le Grotte di San Canziano – Skocianske Jame

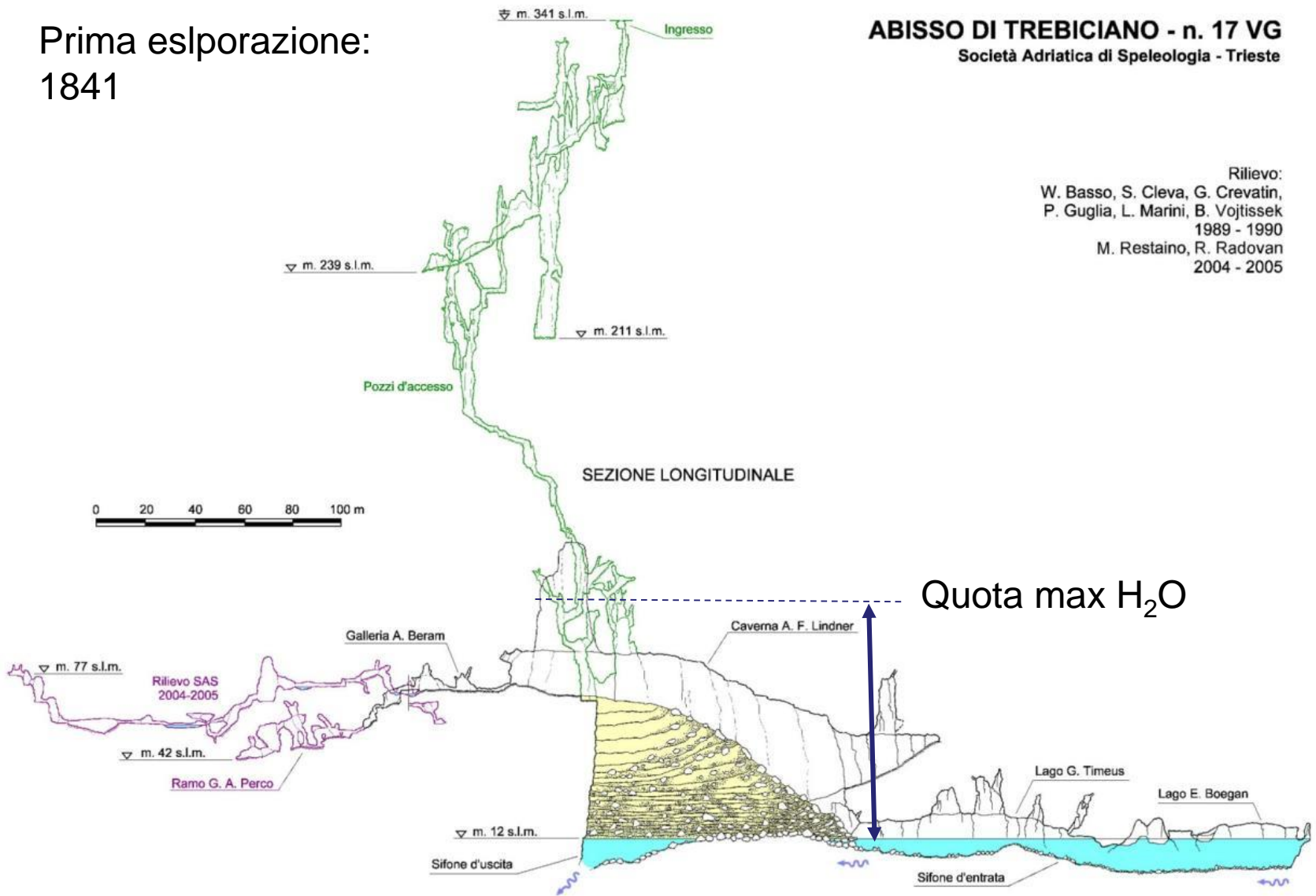


Portate del Reka nelle grotte; minima: $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$; MAX $305 \text{ m}^3/\text{s}$, media $8.3 \text{ m}^3/\text{s}$

Prima esplorazione:
1841

ABISSO DI TREBICIANO - n. 17 VG
Società Adriatica di Speleologia - Trieste

Rilievo:
W. Basso, S. Cleva, G. Crevatini,
P. Guglia, L. Marini, B. Vojtissek
1989 - 1990
M. Restaino, R. Radovan
2004 - 2005



Abisso di Trebiciano



2022-2023

Carso F GFCeol - STAN



Abisso di Trebiciano, Caverna Lindner, ph. Sandro Sedran

Risorgive S Giovanni di Duino



Portata media: $35 \text{ m}^3/\text{s}$, ma la portata della Reka/Timavo a 5 km da S. Canziano è di soli $8 - 10 \text{ m}^3/\text{s}$. E' il resto ??

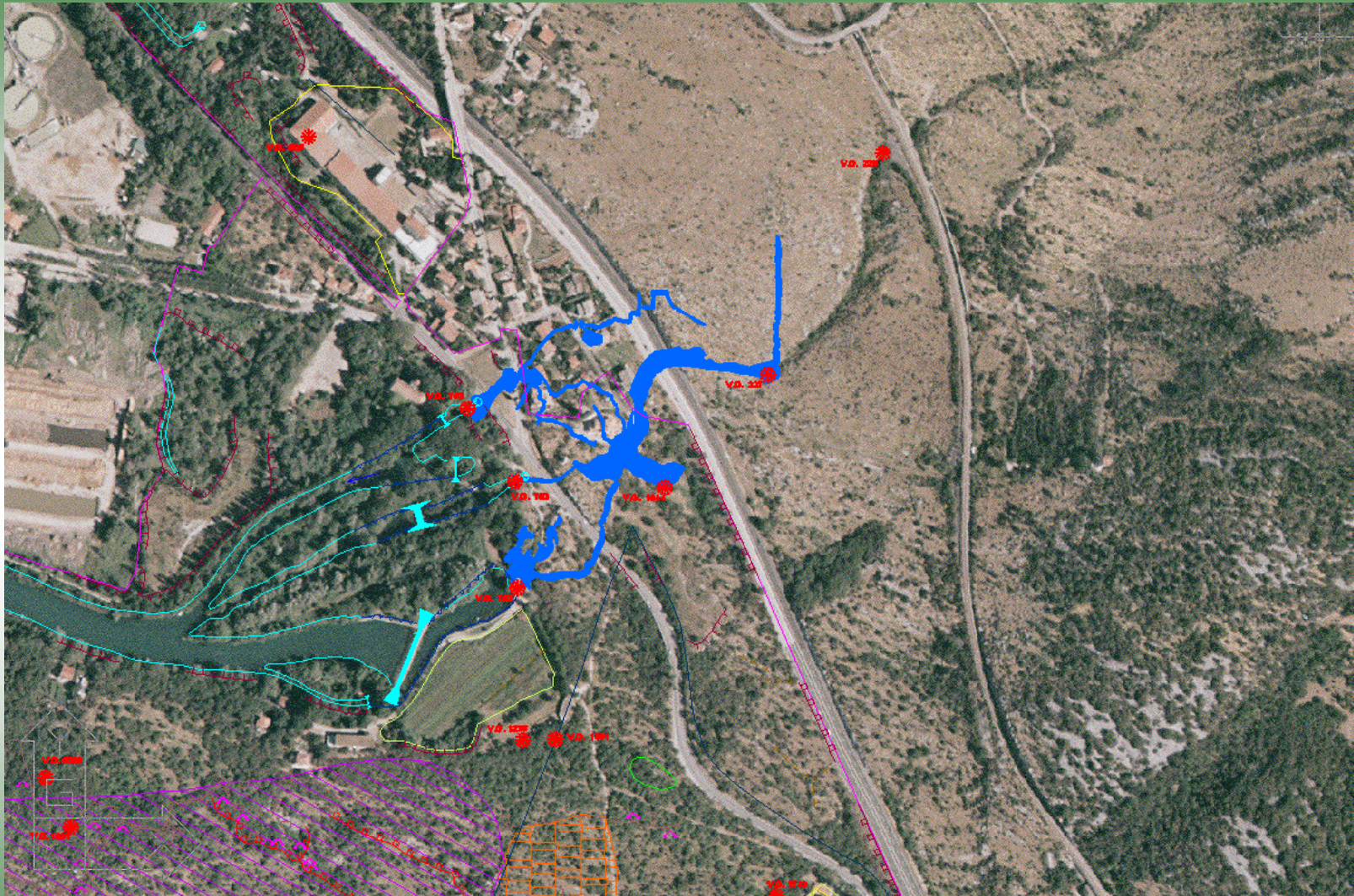
2° Ramo



3° Ramo in piena



Le risorgive a S.Giovanni di Duino: grotte in zona freatica



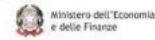


Carta Idrogeologica del Carso Classico
 Hidrogeološka karta Klasičnega Krasa



Progetto HYDROKARST finanziato nell'ambito del Programma per la Cooperazione Transfrontaliera Italia-Slovenia 2007-2013, dal Fondo europeo di sviluppo regionale e dai fondi nazionali.

Projekt HYDROKARST sofinanciran v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija 2007-2013 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev.



Test di tracciamento / Sledilni poskus

- Punto di iniezione / Mesto injiciranja
- Tipo di connessione:
 - Principale / Glavna
 - Secondaria / Sekundarna
 - Incerta / Nezanosljiva
- Povezavnosti

Classe di permeabilità / Razred prepustnosti

Rocce Kamnine	Depositi Sedimenti
Moito alta / Zelo visoka	Moito alta / Zelo visoka
Alta / Visoka	Alta / Visoka
Media / Srednja	Media / Srednja
Bassa / Nizak	Bassa / Nizak
Moito bassa / Zelo nizak	Moito bassa / Zelo nizak

Q=10 m³/s

Q=20,6 m³/s

Q≈35 m³/s

Q=8,26 m³/s

- Idrografia superficiale / Površinski vodotok
- ◆ Sorgente captata / Zajeti izvir
- ◆ Sorgente / Izvir
- Lago / Jezero
- ▼ Inghiottoio / Ponor
- ▽ Grotta con acqua / Vodna jama
- Grotta / Jama
- Traccia grotta / Tloris jame
- Piezometro / Gladina podzemne vode
- Pozzo di acquedotto / Črpališče
- Pozzo / Vrtina



2022-2023

Carso F GFGeol - STAN

14

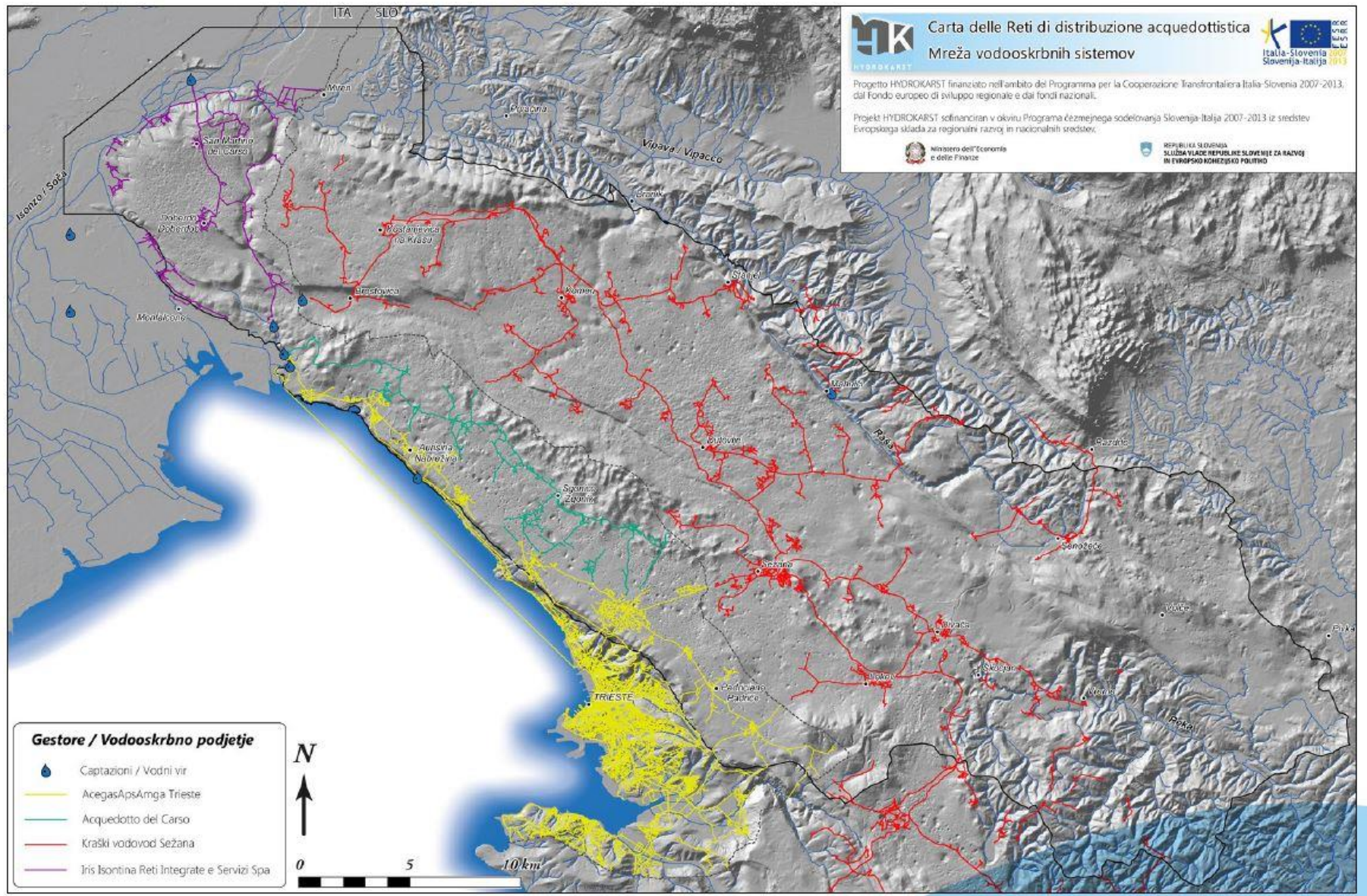
Il Carso è attraversato dal confine tra Italia e Slovenia e quindi è un «acquifero» transfrontaliero



2022-2023

Carso FCGEol-STAN

Google



Un sistema carsico è:

Un gigantesco contenitore di acqua che la riceve dalla pioggia (acque meteoriche) e dai fiumi *allogenicici* (fiumi che provengono dall'esterno) (inghiottitoi)

L'acqua lo attraversa (percolazione, infiltrazione)
→ grotte attive, fiumi sotterranei

.. e la restituisce: sorgenti, risorgenti, grotte – sorgenti

ALL'UOMO L'ACQUA SERVE **ma...**

DECRETO LEGISLATIVO 11 maggio 1999, n. 152

Ripubblicazione del testo del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, recante: "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole" corredato delle relative note. (Decreto legislativo pubblicato nel supplemento ordinario n. 101/L alla Gazzetta Ufficiale - serie generale - n. 124 del 29 maggio 1999). (GU Serie Generale n.177 del 30-07-1999 - Suppl. Ordinario n. 146)

ART. 94

(disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano)

1. Su proposta delle Autorita' d'ambito, le regioni, per mantenere e migliorare le caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano, erogate a terzi mediante impianto di acquedotto che riveste carattere di pubblico interesse, nonche' per la tutela dello stato delle risorse, individuano le aree di salvaguardia distinte in zone di tutela assoluta e zone di rispetto, nonche', all'interno dei bacini imbriferi e delle aree di ricarica della falda, le zone di protezione.

2. Per gli approvvigionamenti diversi da quelli di cui al comma 1, le Autorita' competenti impartiscono, caso per caso, le prescrizioni necessarie per la conservazione e la tutela della risorsa e per il controllo delle caratteristiche qualitative delle acque destinate al consumo umano.

3. La zona di tutela assoluta e' costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni o derivazioni: essa, in caso di acque sotterranee e, ove possibile, per le acque superficiali, deve avere un'estensione di almeno dieci metri di raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta e dev'essere adibita esclusivamente a opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio.

4. La zona di rispetto e' costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e puo' essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilita' e rischio della risorsa. In particolare, nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attivita':

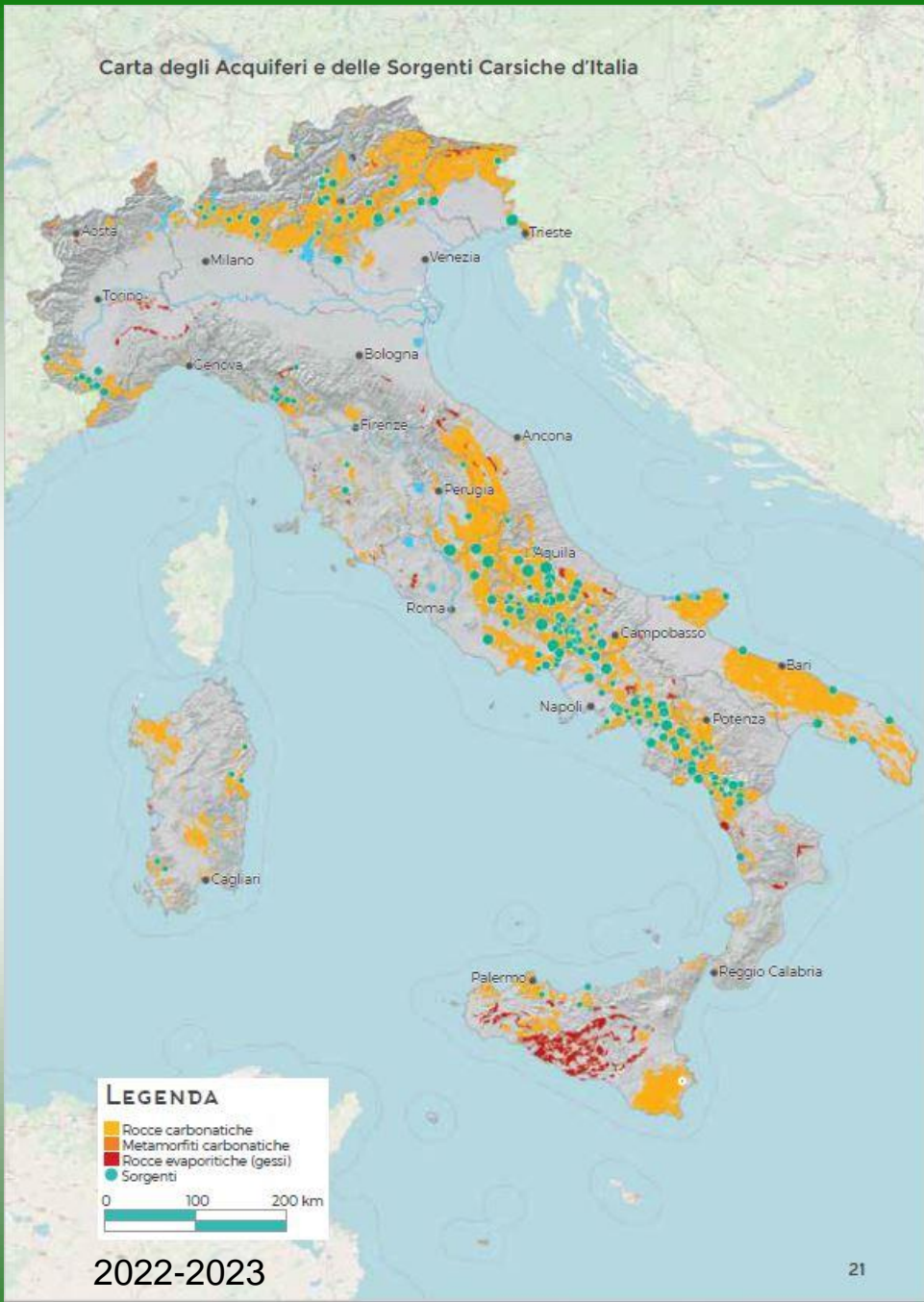
- a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi,

Leggi di tutela delle acque !

Idr

a

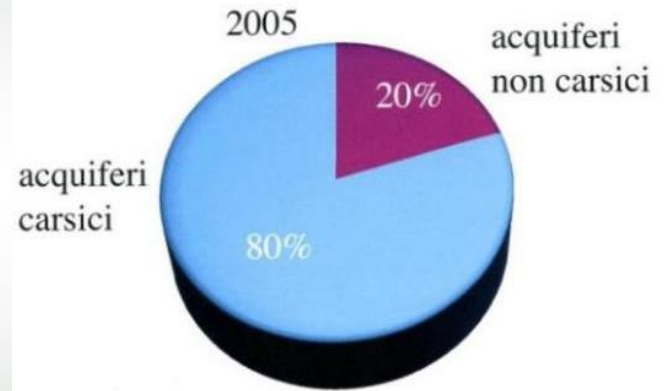
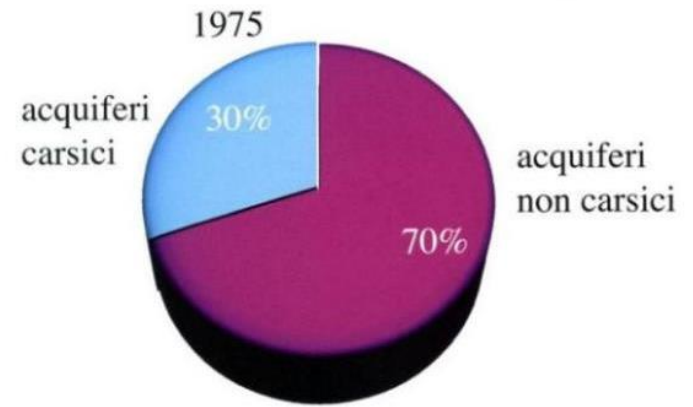
Carta degli Acquiferi e delle Sorgenti Carsiche d'Italia



2022-2023

21

ool - S



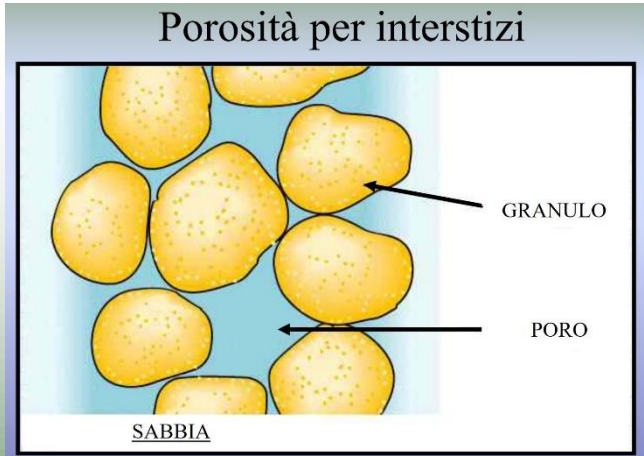
Portata globale delle principali sorgenti carsiche delle regioni italiane (mc/sec)



- **Ma le acque carsiche sono molto vulnerabili, perché manca l'azione di filtro che hanno i sedimenti porosi (ghiaie, sabbie) . Manca il tempo....manca l'autodepurazione**
- **Quindi bisogna sapere quali sono i suoi percorsi, la sua velocità, l'andamento delle grotte, l'area di alimentazione delle sorgenti, il regime delle sorgenti (variazioni della portata nel tempo e in relazione alla piovosità**
- **Come si fa: geologia, idrogeologia, speleologia, chimismo delle acque, tracciamenti**

Fessurazione:
Calcari e dolomie

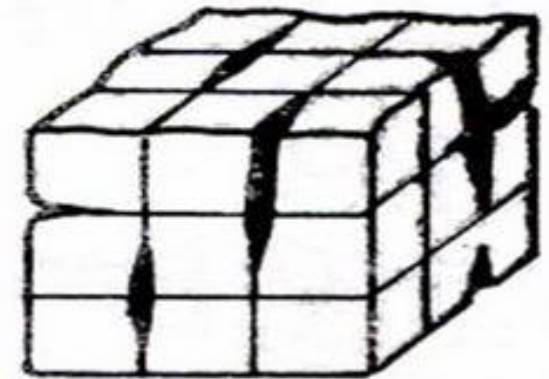
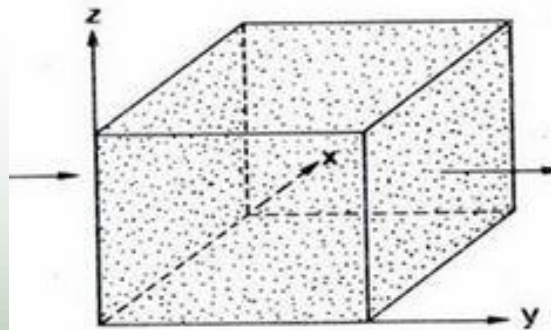
Porosità: sedimenti
sciolti (es.: Ghiaie e
sabbie fluviali)



«spazi» nella roccia»

Per porosità

Per fessurazione

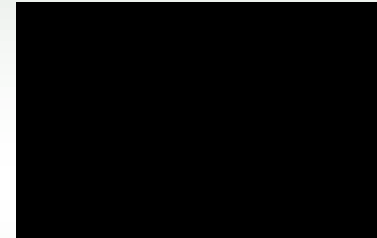


NB si può anche parlare di «porosità» per fratturazione

Porosita'

POROSITÀ: la presenza di piccoli spazi vuoti nella massa di un corpo
È una caratteristica di estrema variabilità che dipende dal numero, dalle dimensioni, dalla forma e dalla disposizione spaziale dei vuoti

Esprime l'attitudine che ha una roccia ad immagazzinare ed a liberare l'acqua.



V_v = volume dei vuoti
 V_t = volume totale

Porosita'



Nei sedimenti la porosità dipende da:

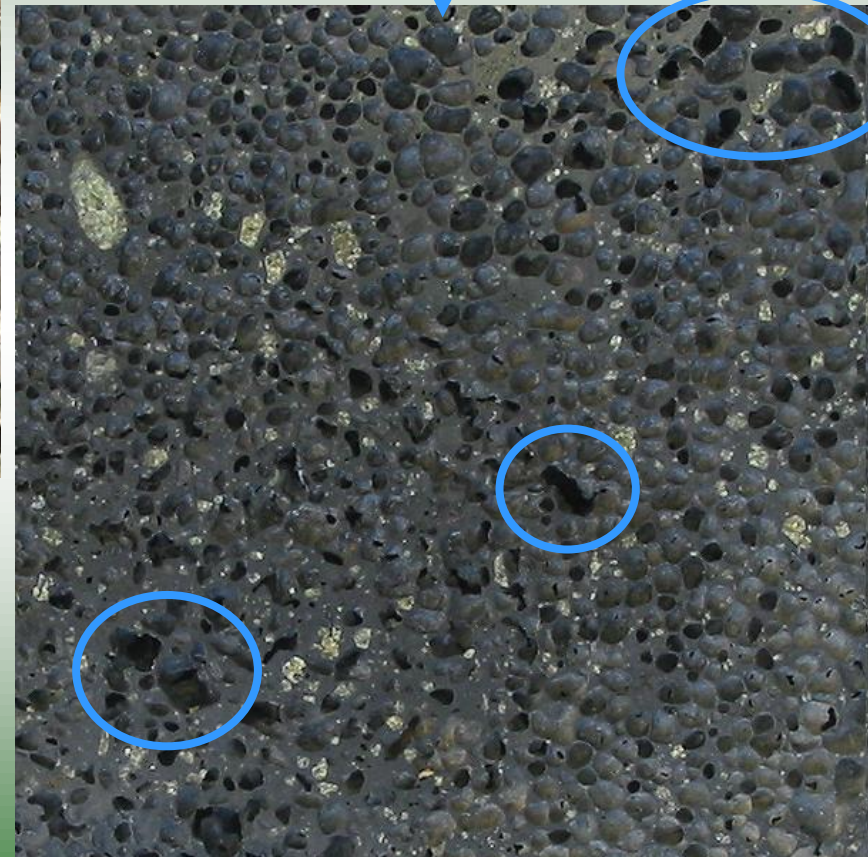
- Coefficiente di uniformità;
- Grado di compattazione;
- Disposizione e forma dei grani;
- Intercomunicazione dei vuoti.

POROSITA'

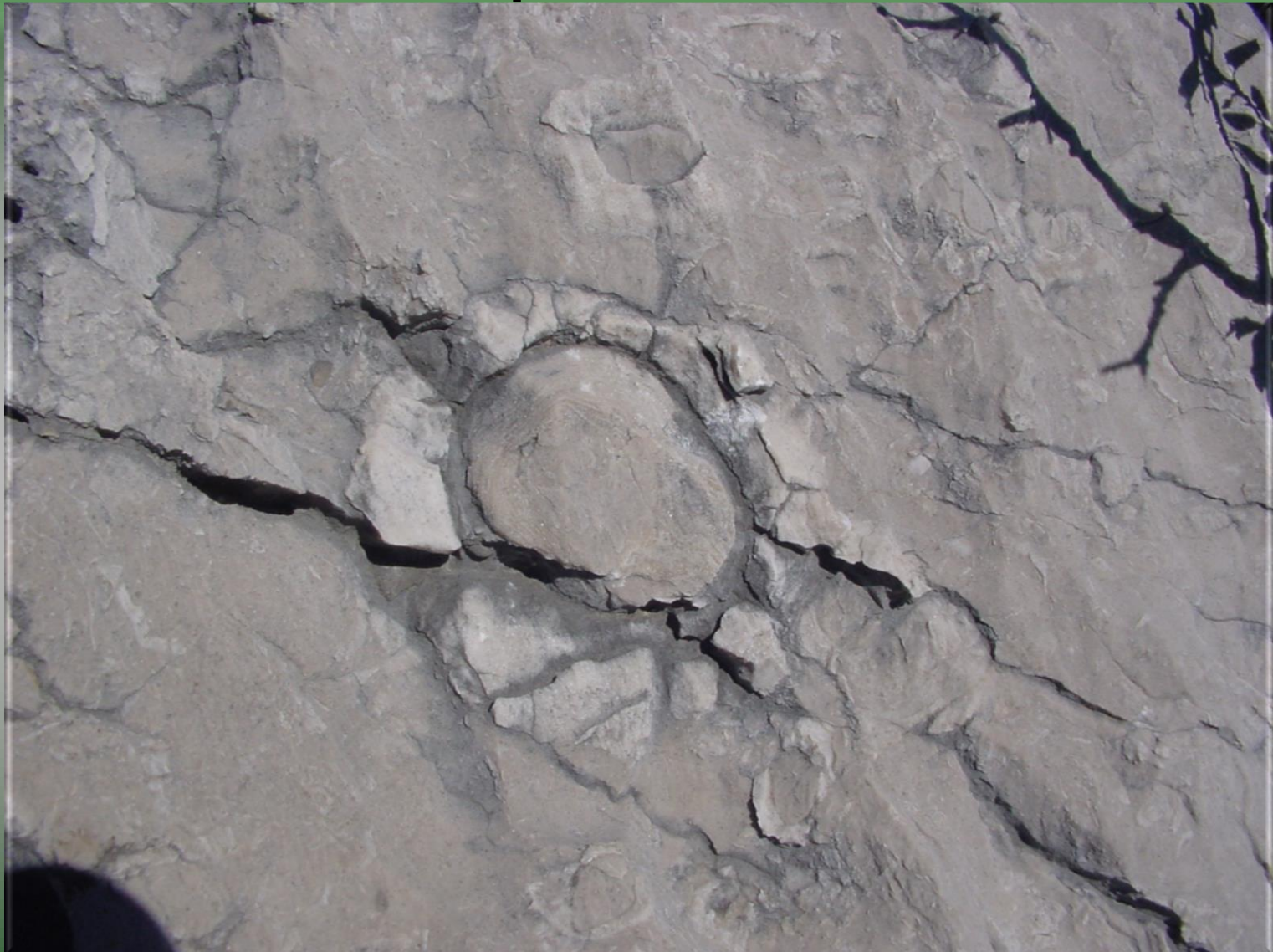


Ghiaia: vuoti intercomunicanti

Roccia effusiva (lava..):
vacuoli da degassazione,
NON comunicanti



Porosita' per fratturazione



Porosità' per fratturazione



Si parla di **porosità primaria** quando i meati si sono formati contemporaneamente alla roccia che li contiene. Essi sono legati ai processi di deposizione e di diagenesi.

La **porosità secondaria** è quella che si genera successivamente alla formazione della roccia. E' espressione della fratturazione, della fessurazione, delle dissoluzioni chimiche, delle variazioni termiche, dell'erosione meccanica, ... ed è legata ai processi tettonici, metamorfici, all'azione degli agenti esogeni, ecc.

Porosita'



POROSITA

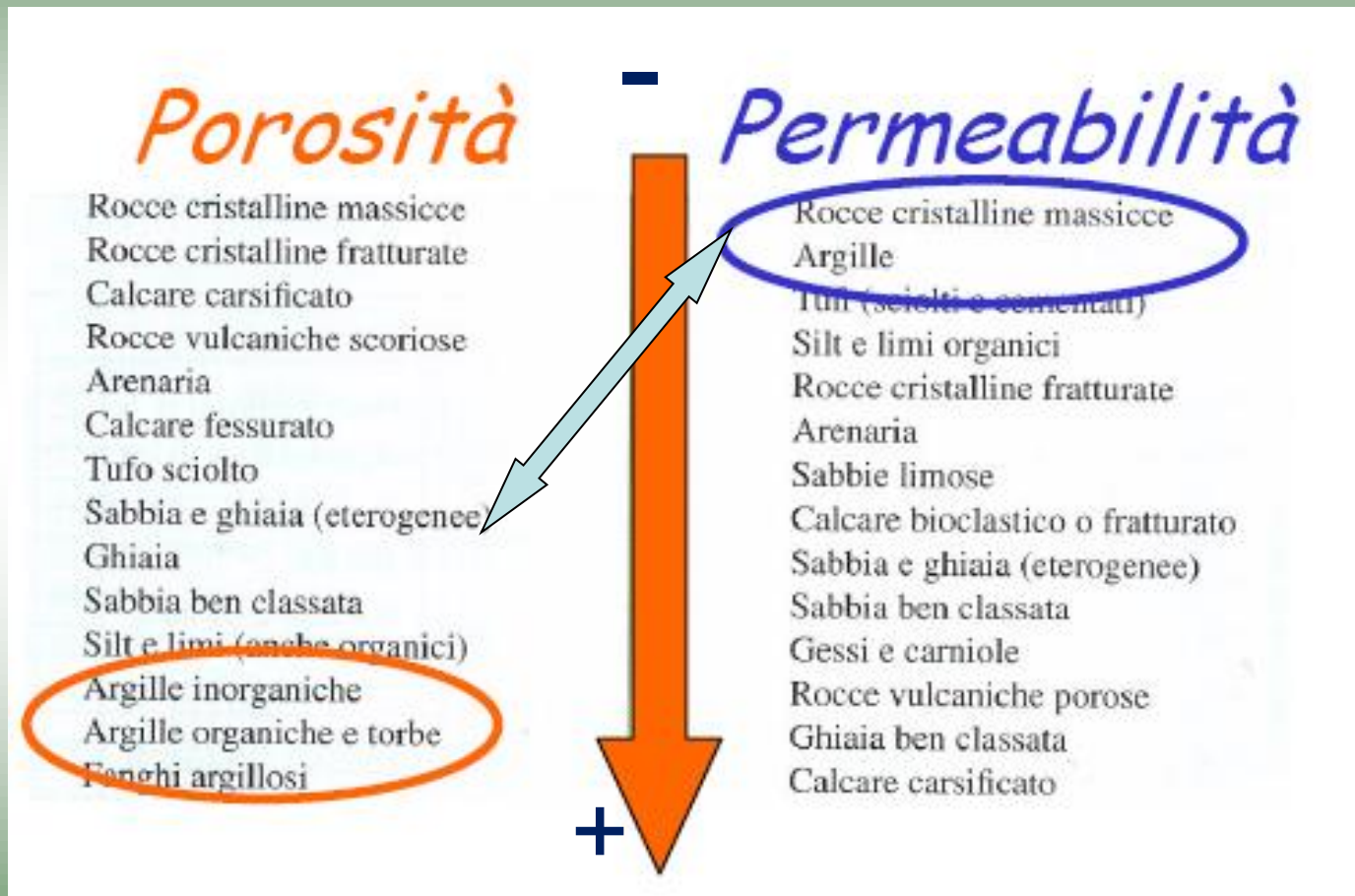


COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' o CONDUTTIVITA' IDRAULICA

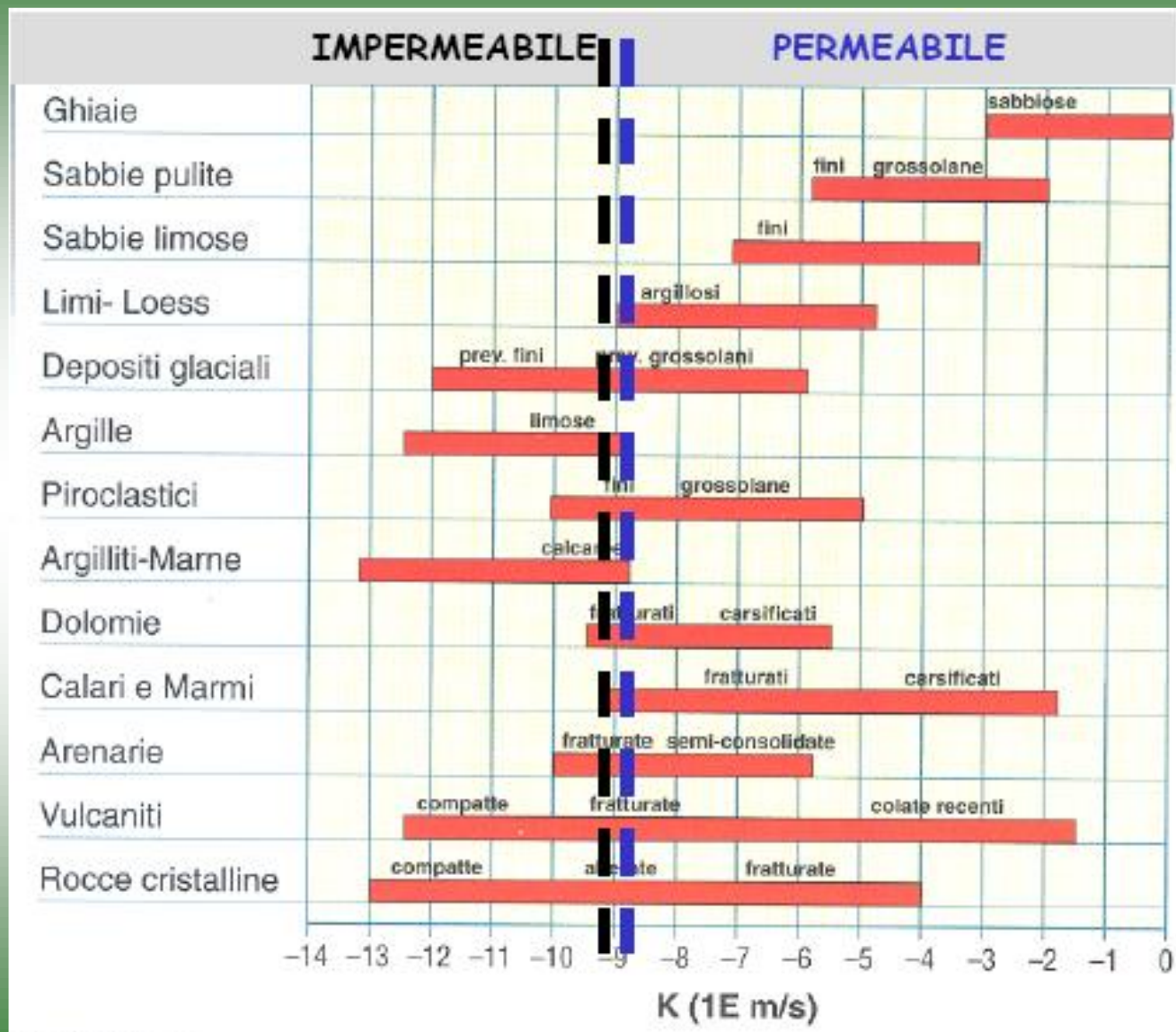
La conduttività idraulica (o coefficiente di **permeabilità**) è l'attitudine del terreno a lasciarsi attraversare dall'acqua che si muove sotto l'azione della gravità.

Questa proprietà condiziona in modo predominante la resa degli acquiferi e perciò la sua determinazione è indispensabile se si desidera quantificare l'idoneità dei terreni ad ospitare acque captabili.

Porosità e coefficiente di permeabilità



Coefficiente di permeabilità



Acquifero (deve essere poroso, ma soprattutto permeabile)

Acquiferi porosi

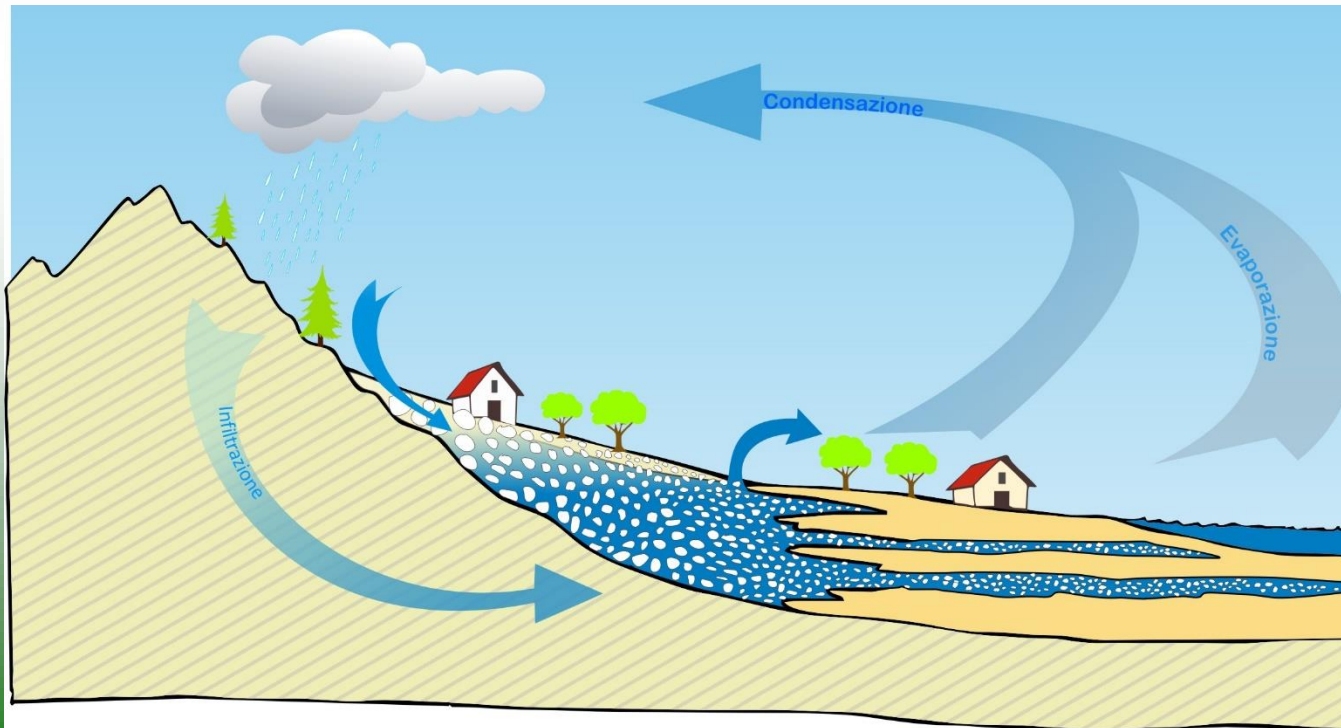
Costituiti da materiale sciolto

Depositi di duna, coltri di alterazione (per es. di arenarie), depositi morenici, depositi marini recenti, depositi lacustri, depositi piroclastici, **depositi alluvionali**.

Acquiferi fessurati (e carsici)

Costituiti da ammassi rocciosi permeabili per fratturazione e/o carsismo

I più importanti sono rappresentati dagli acquiferi **carbonatici**.



RETE A CIRCOLAZIONE DISPERSIVA

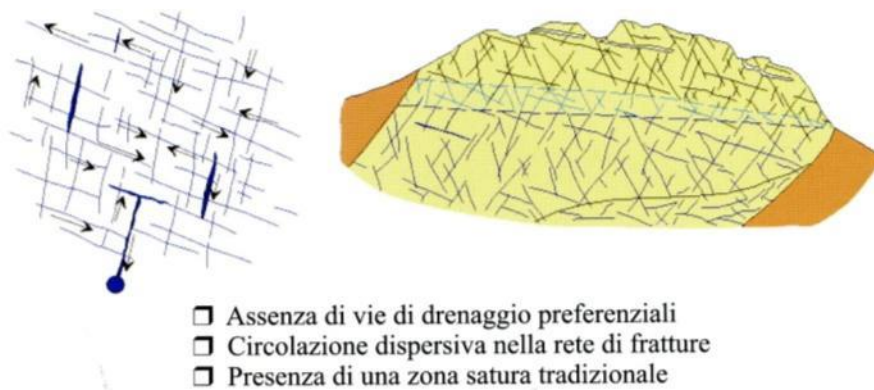


Fig. 7 - Sezione e planimetria schematica di un sistema con funzionamento a circolazione dispersiva

A cross-section and plan sketch of a dispersive flow system

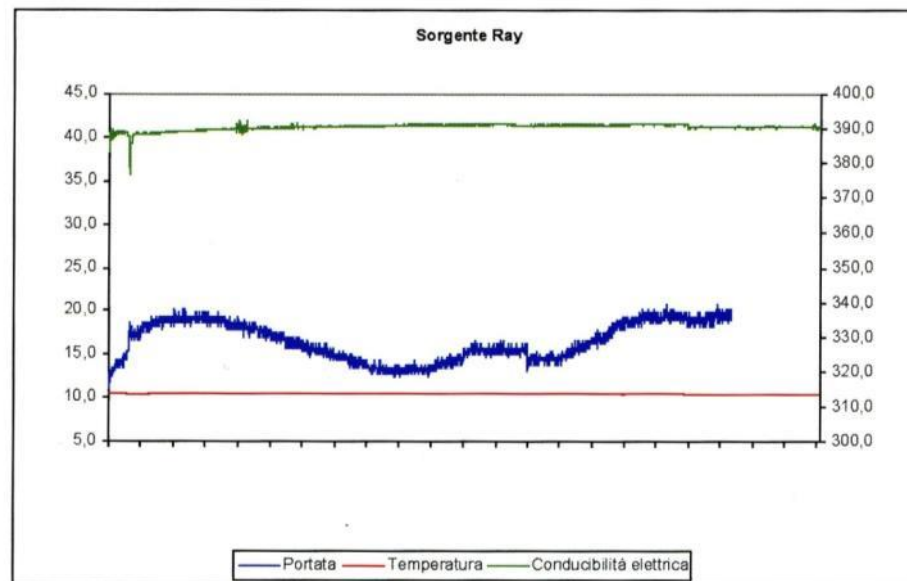
Sistemi con rete a circolazione dispersiva

nel tempo, con incrementi non correlabili con i singoli eventi infiltrativi o comunque sfasati di diversi

Non c'è relazione diretta
tra piovosità e portata
Risposte lente

Fig. 8 - Andamento della portata, temperatura e conducibilità elettrica delle acque di una sorgente alimentata da un sistema a circolazione dispersiva (Sorgente Ray, Piemonte meridionale)

Discharge, temperature and electrical conductivity trend of spring water fed by a dispersive flow system (Ray spring, south Piemonte county)



INTERPRETAZIONE DEI DATI

In un acquifero poco carsificato con circolazione prevalentemente impostata nelle discontinuità dell'ammasso roccioso le acque di neoinfiltrazione circolano molto lentamente nella rete di drenaggio. Alla sorgente si osserva nel tempo un blando aumento della portata mentre la mineralizzazione e la temperatura rimangono piuttosto costanti. TIPO DI RISPOSTA: **OMOGENEIZZAZIONE**.

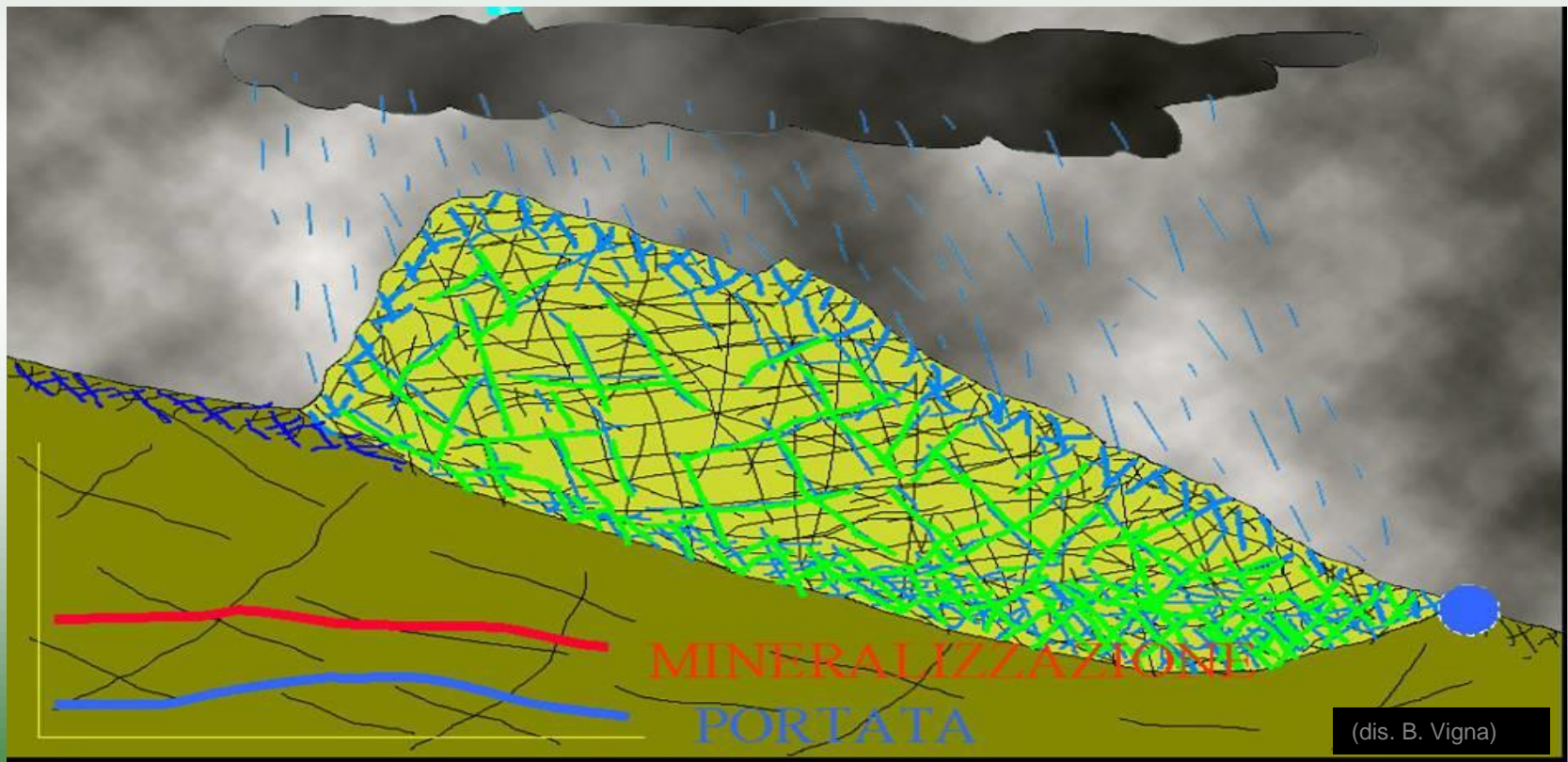


Fig. 4 - Sezione e planimetria schematica di un sistema con funzionamento a dreni interdipendenti

A cross-section and plan sketch of a interdependent drains system

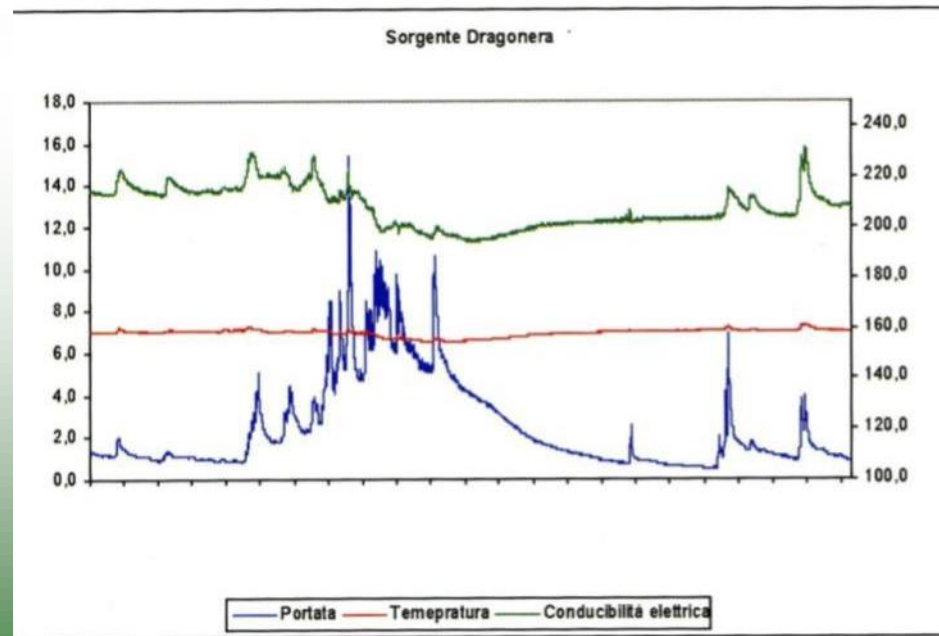
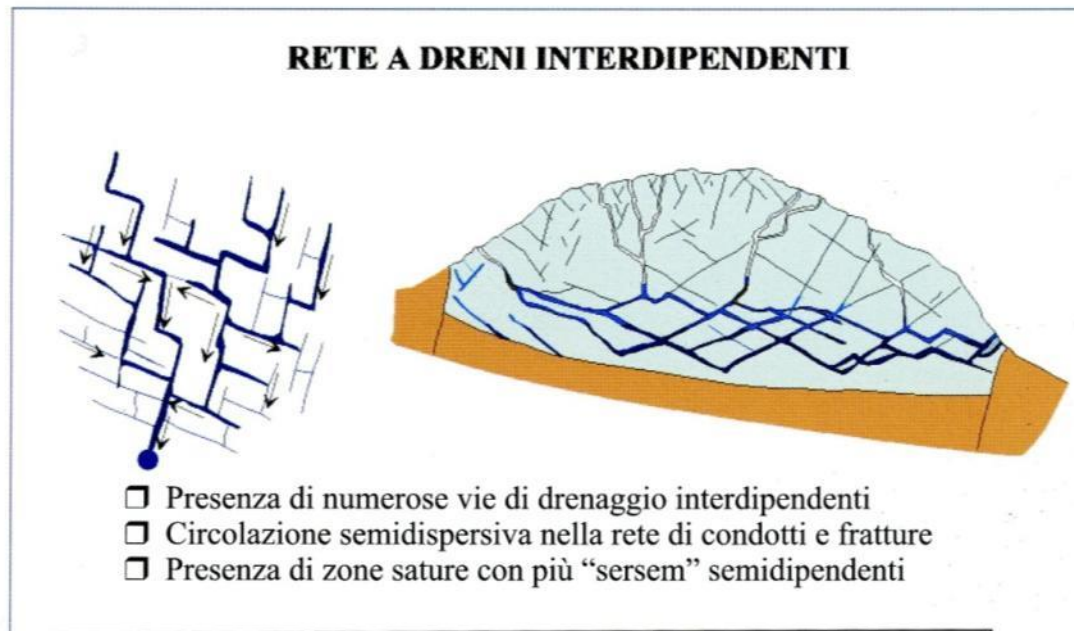
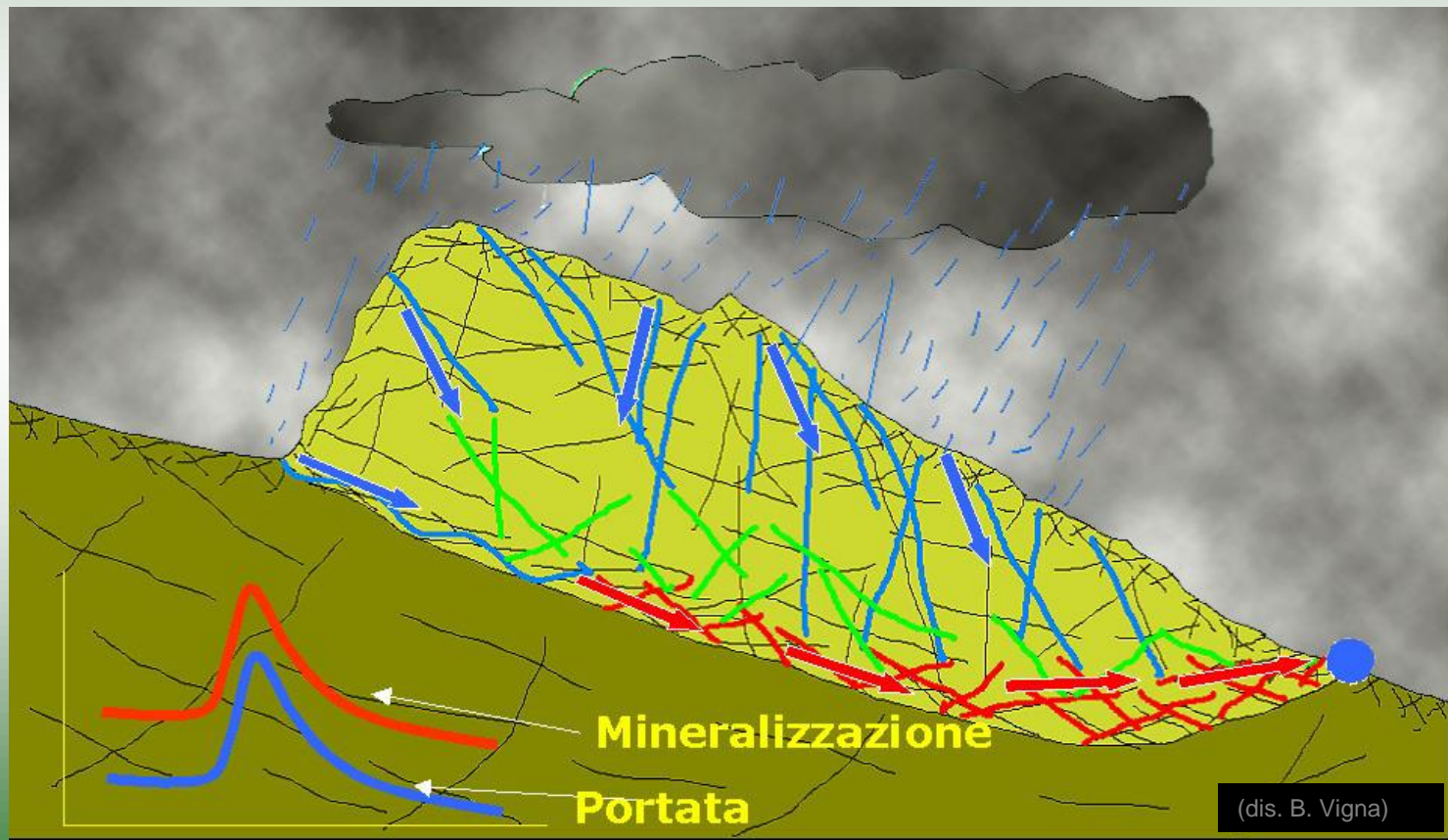


Fig. 5 - Andamento della portata, temperatura e conducibilità elettrica delle acque di una sorgente alimentata da un sistema a dreni interdipendenti (Sorgente della Dragonera, Piemonte meridionale)

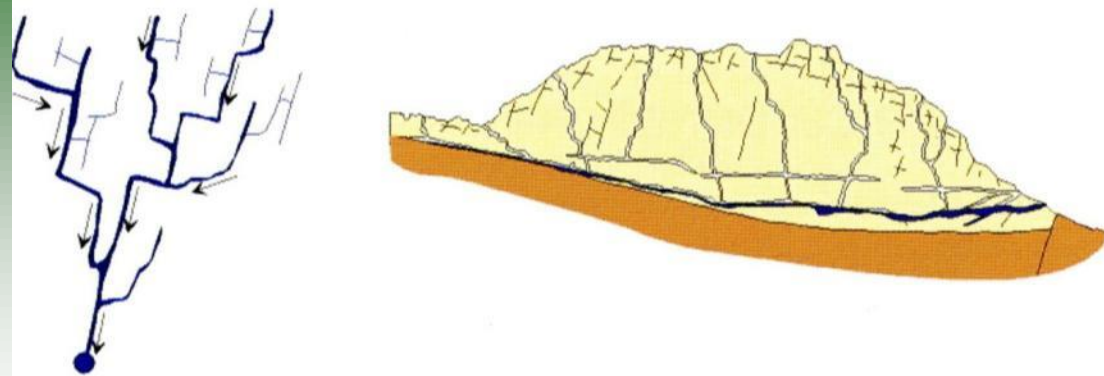
Discharge, temperature and electrical conductivity trend of spring water fed by a interdependent drains system (Dragonera spring, south Piemonte county)

INTERPRETAZIONE DEI DATI

In un acquifero carsificato e con ampia zona satura le acque di neoinfiltrazione rimobilizzano le acque presenti nell'acquifero con conseguente aumento della mineralizzazione e della temperatura delle acque alla sorgente. TIPO DI RISPOSTA: **PISTONAGGIO**.



RETE A DRENO DOMINANTE



- Esistenza di importanti vie di drenaggio preferenziali
- Organizzazione della rete di drenaggio
- Condotti sifonanti ma assenza di una zona satura tradizionale

Fig. 1 - Sezione e planimetria schematica di un sistema con funzionamento a dreno dominante

A cross-section and plan sketch of a dominant main conduit system

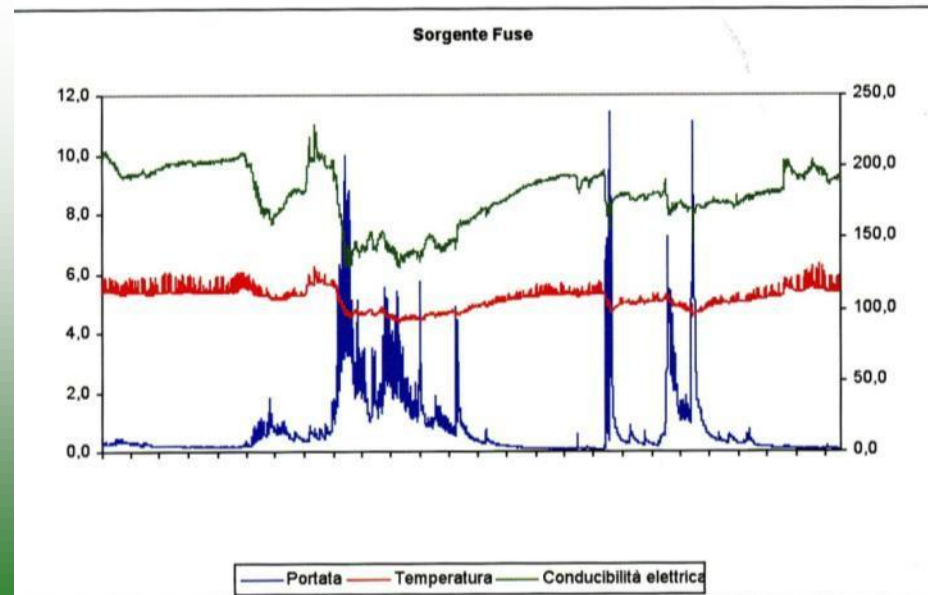
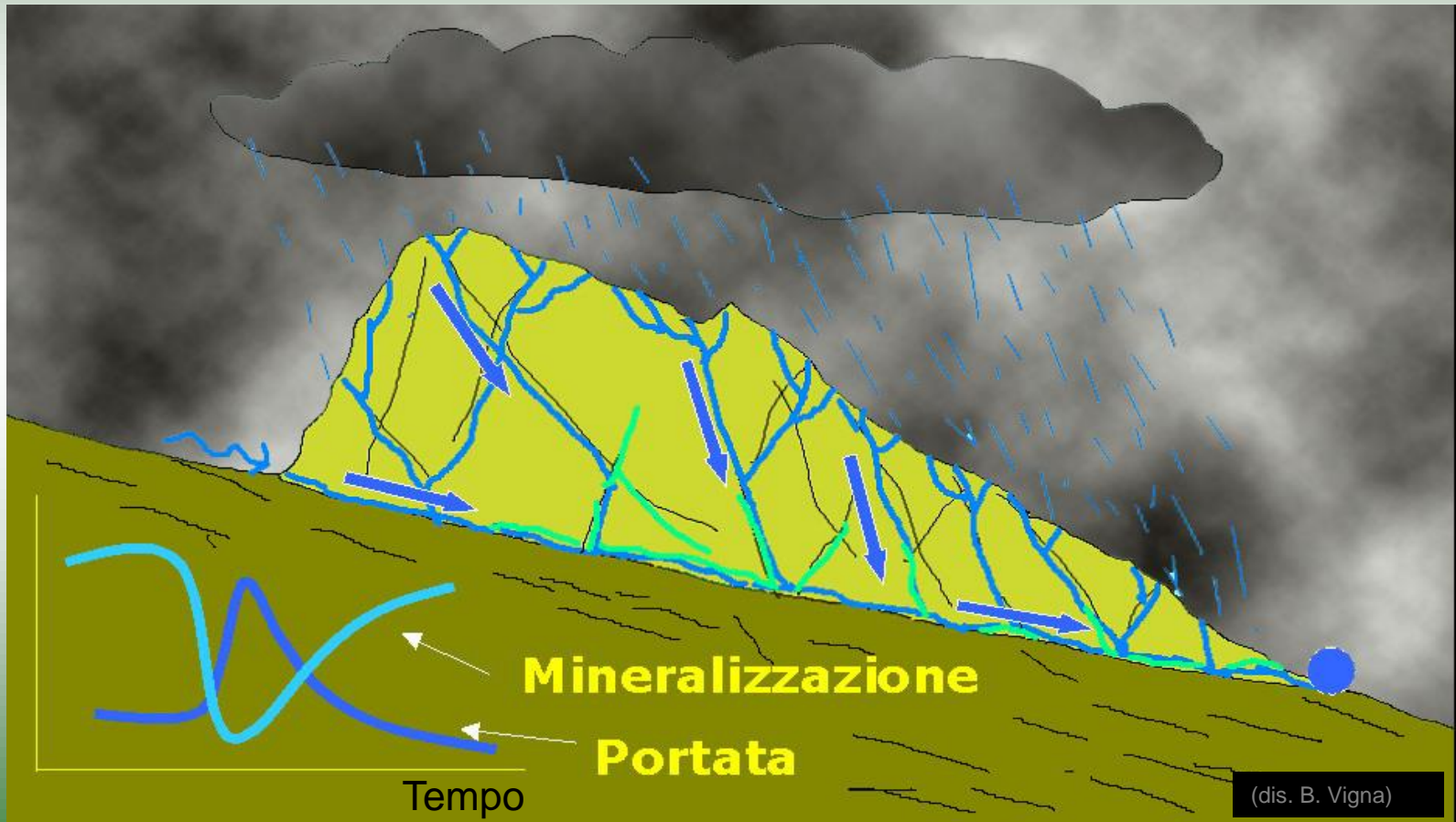


Fig. 2 - Andamento della portata, temperatura e conducibilità elettrica delle acque di una sorgente alimentata da un sistema a dreno dominante (Sorgente delle Fuse, Piemonte meridionale)

Discharge, temperature and electrical conductivity trend of spring water fed by a dominant main conduit system (Fuse spring, south Piemonte county)

INTERPRETAZIONE DEI DATI

In un acquifero molto carsificato e con assenza di una zona satura le acque di neoinfiltrazione arrivano velocemente alla sorgente (netta diminuzione della mineralizzazione ed evidenti variazioni della temperatura). TIPO DI RISPOSTA: **SOSTITUZIONE.**

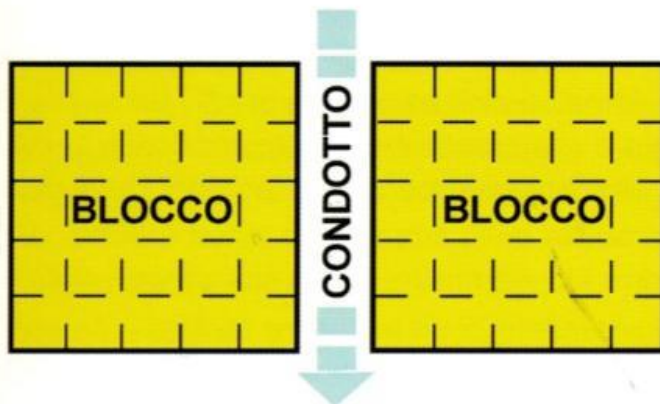


CONDOTTI DI DISSOLUZIONE: *o dreni*

alta permeabilità
circolazione veloce
volume piccolo

BLOCCHI:

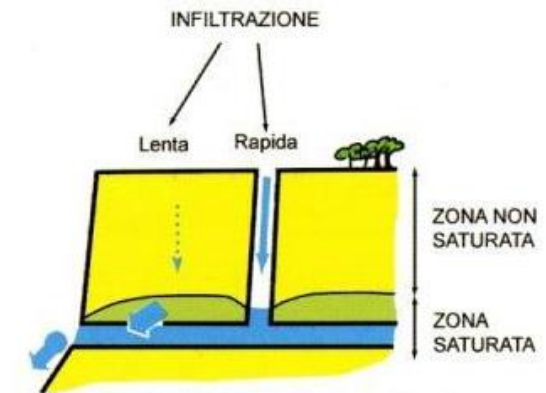
bassa permeabilità
circolazione lenta
volume notevole



ALLE RISORGENTI

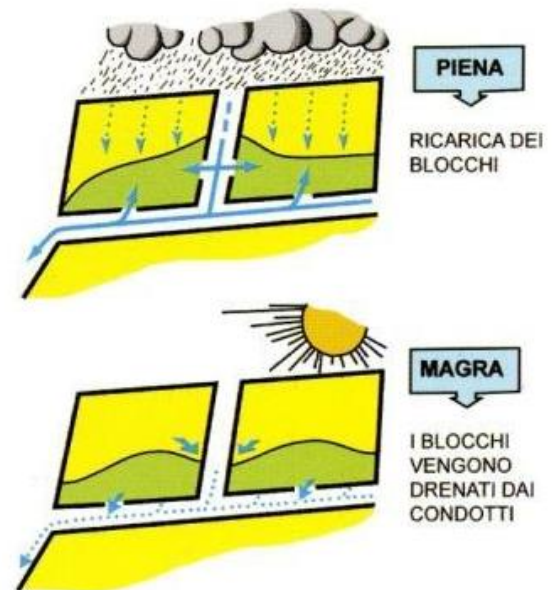
Fig. 14 - Schematizzazione in blocchi e condotti di un acquifero carsico

A COMPONENTI DEL REGIME IDRICO DELLE SORGENTI CARSICHE



LA RISULTANTE E' DATA DA : Condotti + Blocchi

B



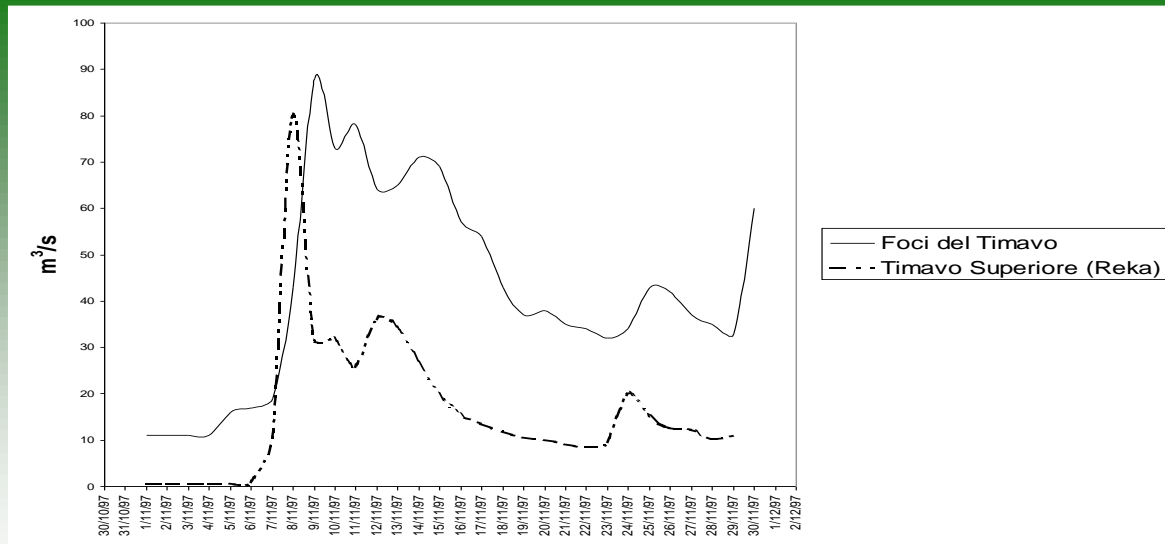
		Acquiferi non carsici	Acquiferi carsici
PERMEABILITÀ	porosità	importante	trascurabile
	fessurazione	trascurabile	importante
LIVELLO PIEZOMETRICO		unico	variabile
MOTO DELL'ACQUA		laminare/lento	turbolento/veloce
DIREZIONE DEL FLUSSO		unica lineare	variabile
RICARICA	piogge	sì	sì
	perdite di fiumi	sì	sì
	condensazione	no	si
PORTATA ALLE SORGENTI		costante	variabile
PARAMETRI CHIMICO-FISICI		costanti	variabili
DEFINIZIONE DEL BACINO		facile	difficile

Fig. 13 - Principali differenze esistenti tra gli acquiferi carsici e non carsici

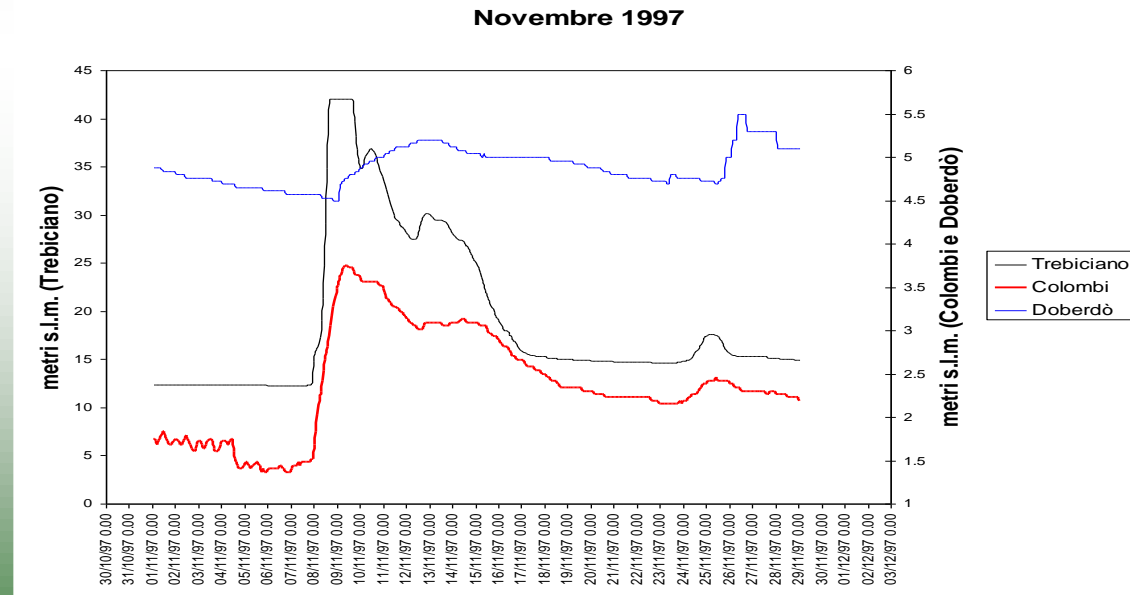
come ricostruire la provenienza e la velocità dell'acque sotterranee

- Livelli (altezza) da mettere in relazione alla piovosità
- Temperatura:
- Conducibilità (mineralizzazione): la somma di tutti gli ioni presenti
- Analisi chimiche: cambiano al variare della roccia in cui scorre l'acqua
- Analisi isotopiche: è legata alla quota
- Tracciamenti con fluoresceina sodica e tinopal

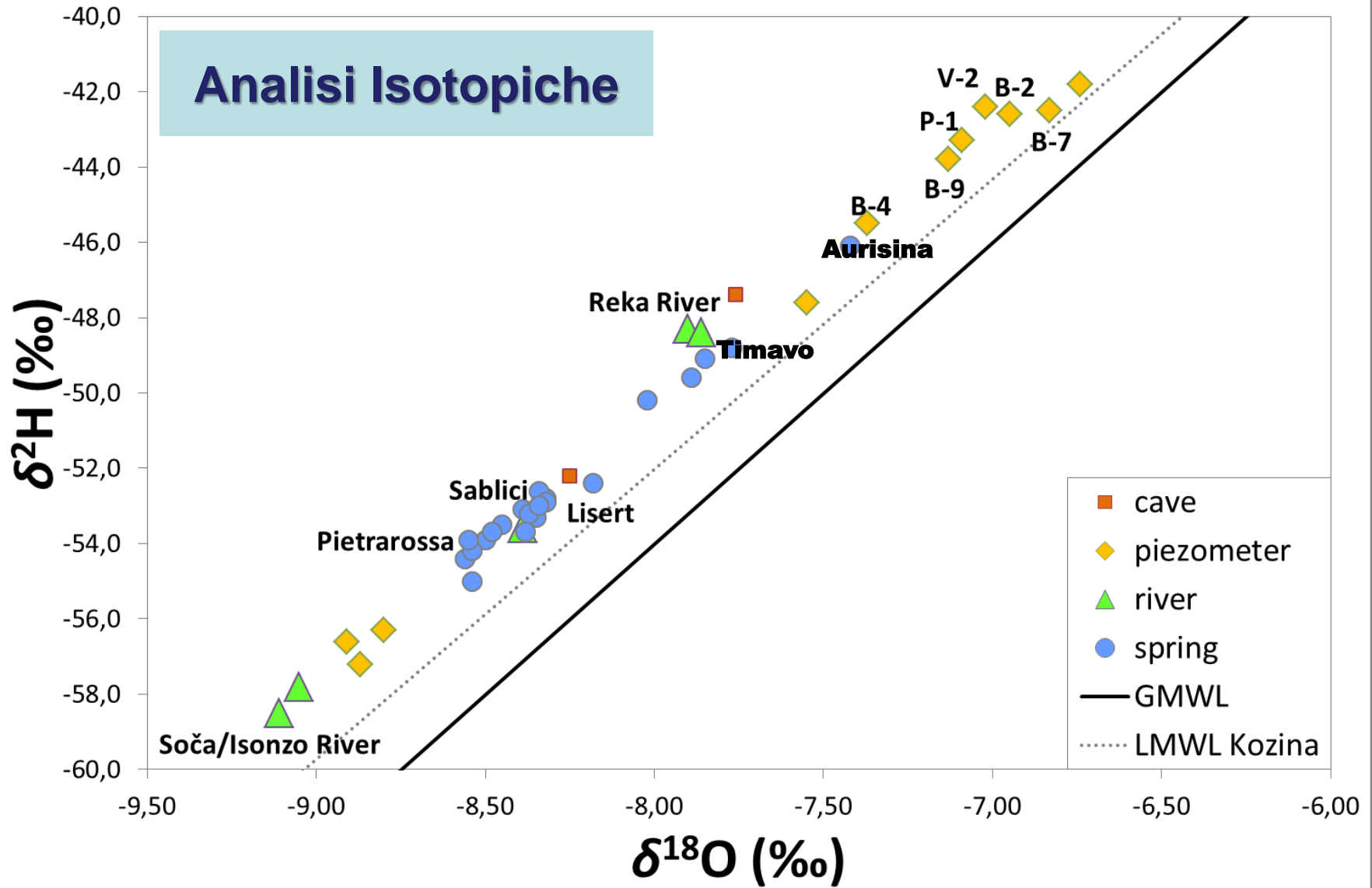
Variazione di altezza e portata durante una piena del Timavo a Trebiciano e alle foci e a Doberdò



In fase di magra (10-20 mc/s) circa il 70% delle acque provengono dal Timavo superiore, il rimanente ? , falda Isonzo, acqua meteorica di infiltrazione sul Carso



Analisi Isotopiche



Mg/Ca vs conducibilità



Is= Isonzo; Rek= Timavo superiore; Storje: acque carsiche di fondo

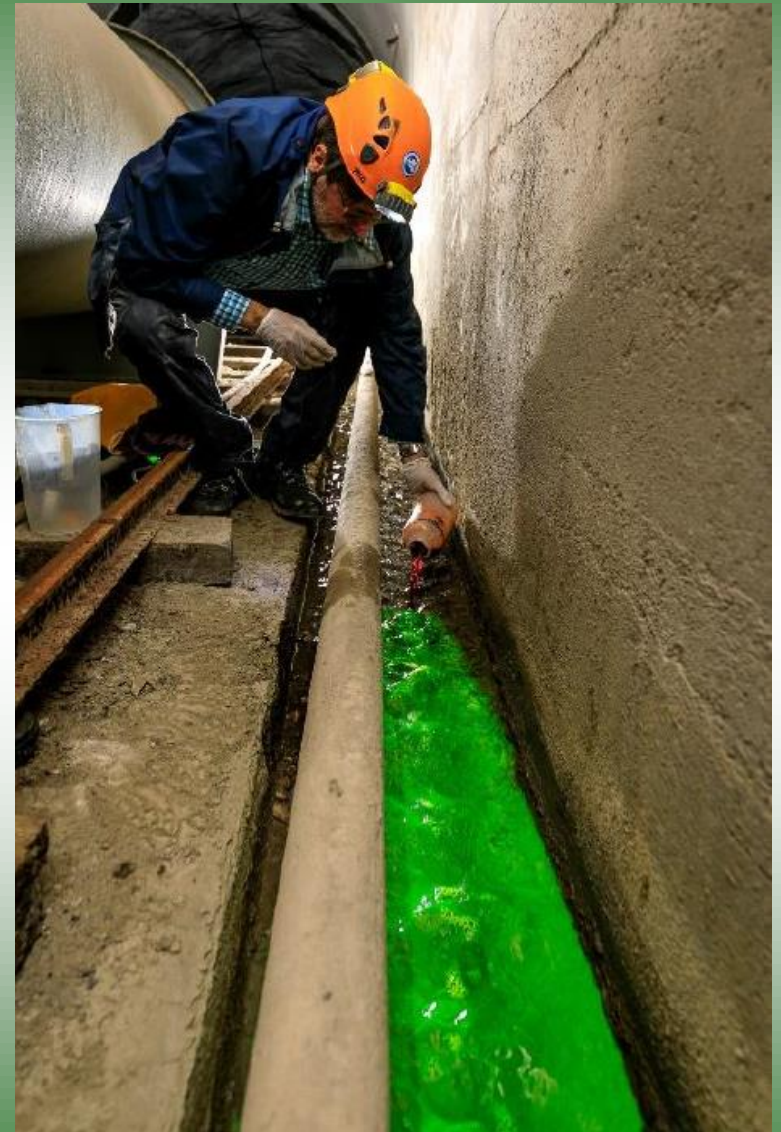
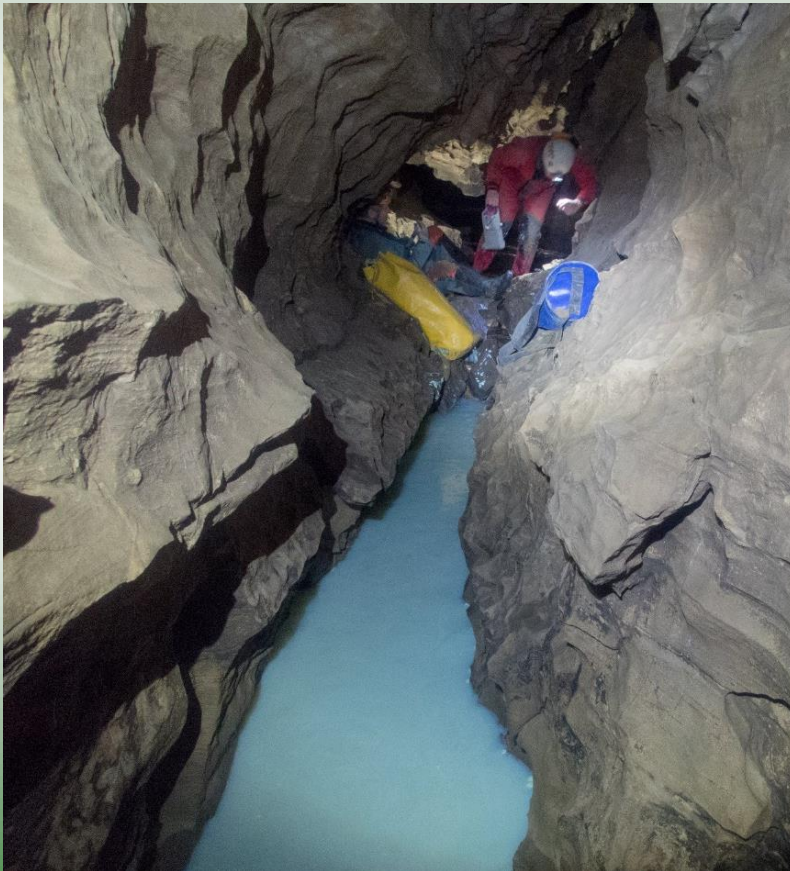
TRACCIAMENTI

Con sostanze artificiali

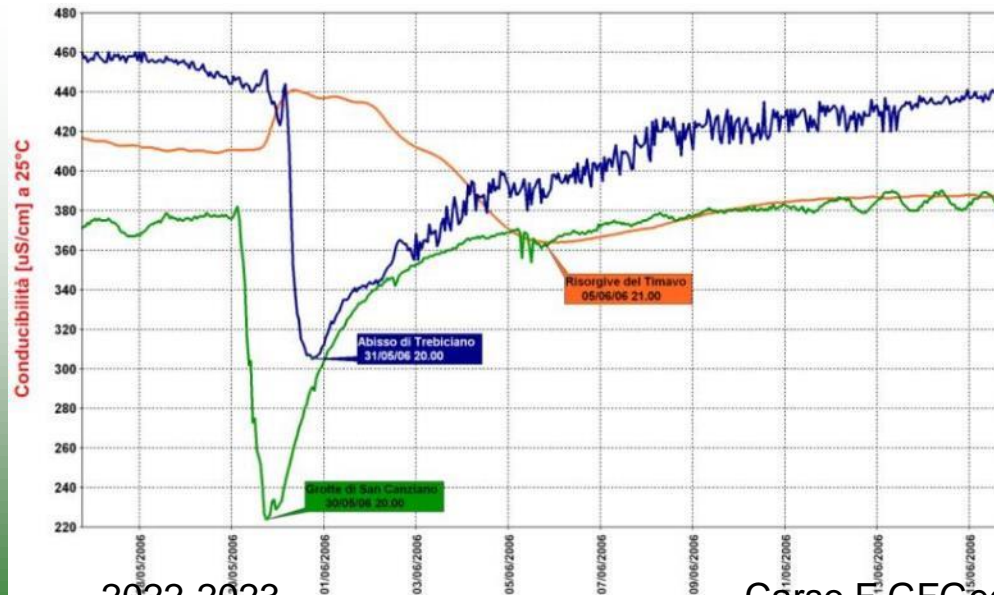
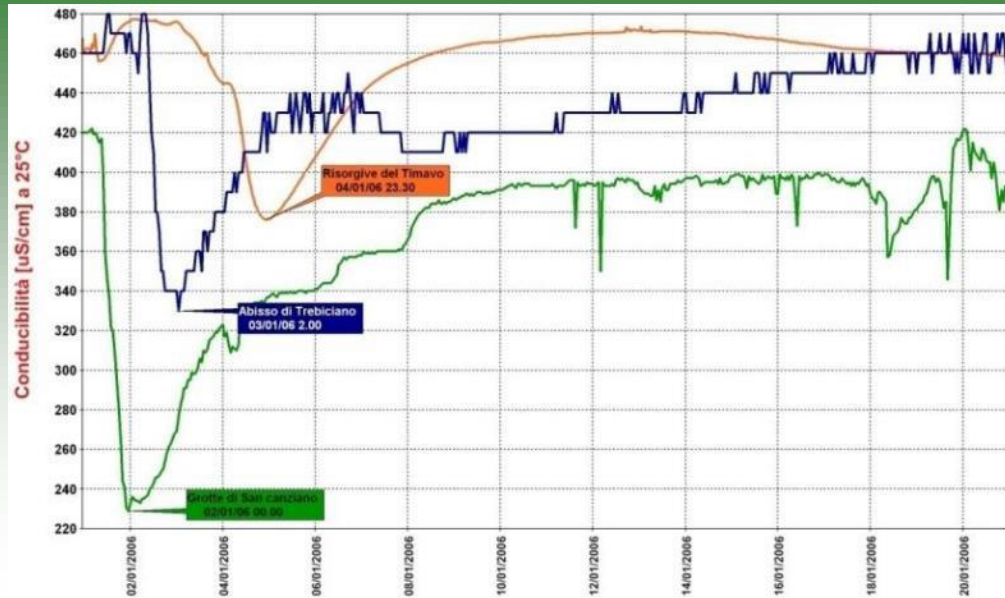
- Sostanze solubili in acqua, che la colorano
- Non modificarne la densità
- Non tossiche
- Facilmente reperibili e non molto costose
- Non visibili a occhio nudo, ma
- . . . facilmente analizzabili
- (CONCENTRAZIONE !)

Immissione Fluoresceina
Galleria SIOT, Timau

Immissione Tinopal
Grotta «Tirfor» Bernadia



con che velocità si muove l'acqua ipogea?



Velocità apparente di transito [m/h]

Tratto Grotte di San canziano - Abisso di trebiciano (12.7 km)	Tratto Abisso di Trebiciano - Risorgive del Timavo (23 km)
840	477
416	273
529	176
470	
462	
208	
446	138
941	410
446	385
173	
159	
620	325

Acque sotterranee in Carso:
5 – 20 km metri al giorno

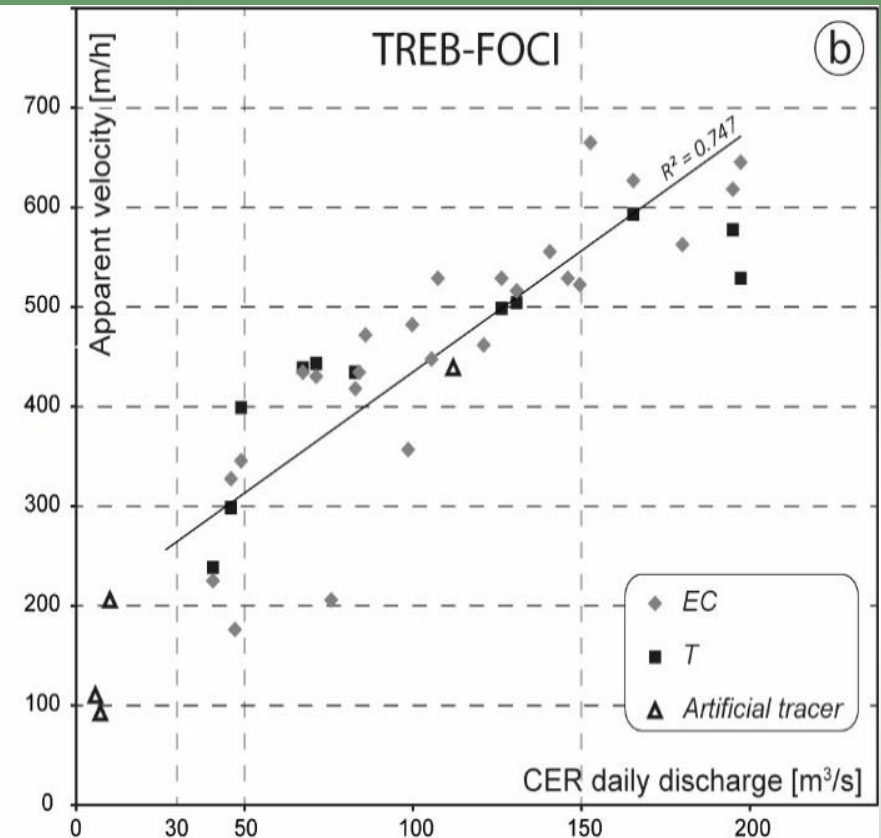
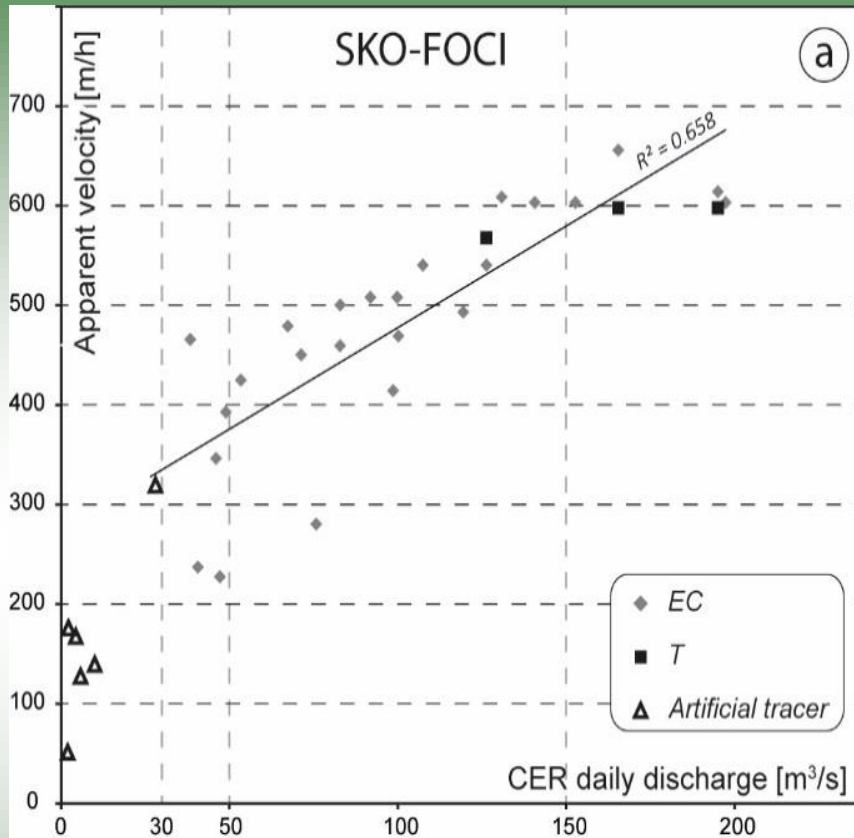
Acque di falda in pianura:
1 -10 metri al giorno

2022-2023

Carso F. GFGGeol - STAN

47

RELATIONSHIP BETWEEN REKA DISCHARGE AND APPARENT FLOW VELOCITIES



Discharge Reka/Timavo Superiore $< 30 \text{ m}^3/\text{s}$ $v=164 \text{ m/h}$.

Discharge Reka/Timavo Superiore $> 150 \text{ m}^3/\text{s}$ $v=612 \text{ m/h}$.

Acque di falda in pianura 1 -10 metri al giorno



Non usare le grotte come discariche !



- Le acque carsiche sono importanti: acquedotti a Trieste, Puglie, Roma
- Ma le acque carsiche sono molto vulnerabili, perché manca l'azione di filtro che hanno i sedimenti porosi (ghiaie, sabbie) . Manca il tempo....(
- Soprattutto la roccia fratturata rappresenta un acquifero molto irregolare. Fratture sottili e vani ampi. Gli inquinanti possono sia raggiungere velocemente la falda, e quindi rimanere poco tempo nell'acquifero quando passano attraverso dreni dominanti sia rimanere intrappolati nelle piccole tratture dei blocchi ed essere rilasciati poco a poco..
- Le grotte sono importanti siti archeologici, fanno parte della storia dell'uomo: abitazioni, ripari, difesa, luoghi di culto, chiese

Concetti base:

- I fenomeni carsici avvengono in rocce solubili da parte di acque piovane arricchite in CO_2
- Le rocce solubili devono presentare superfici di discontinuità (fratture faglie, piani di strato) che condizionano i fenomeni carsici, sia ipogei che ipogei
- La superficie di un'area carsica NON ha un reticolo di acque superficiali, ha una morfologia contraddistinta da doline, grotte, affioramenti di calcari con piccole forme di corrosione
- Le doline sono legate a processi di dissoluzione superficiali e da crolli. In corrispondenza del centro della dolina ci sono punti di assorbimento
- L'acqua penetra nelle fratture, verso il basso, le allarga e forme le grotte
- La forma delle grotte è legata al tipo di discontinuità e al loro orientamento spaziale, alla posizione delle grotta rispetto alla superficie della falda.
- All'interno delle grotte si formano concrezioni, di forma diversa a seconda di come si muove l'acqua
- All'interno delle grotte ci sono importanti riserve di acque sotterranee