

# **Ecoidrogeologia: studi interdisciplinari per i Servizi Ecosistemici legati alle acque dolci sotterranee e superficiali di montagna a sostegno della biodiversità.**

Gruppo di lavoro:

Marco Cantonati<sup>a</sup>, Lawrence E. Stevens<sup>b</sup>, Stefano Segadelli<sup>c</sup>, Abraham E. Springer<sup>d</sup>, Nico Goldscheider<sup>e</sup>, Fulvio Celico<sup>f</sup>, Maria Filippini<sup>g</sup>, Kei Ogata<sup>h</sup>, Alessandro Gargini<sup>g</sup>

<sup>a</sup> *MUSE – Museo delle Scienze, Limnology & Phycology Section, Corso del Lavoro e della Scienza 3, I-38123 Trento, Italy*

<sup>b</sup> *Springs Stewardship Institute, Museum of Northern Arizona, 3101 North Fort Valley Road, Flagstaff, AZ 86001, USA*

<sup>c</sup> *Emilia-Romagna Region, Geologic, Seismic and Soil Survey, viale della Fiera, 8, 40127 Bologna, Italy*

<sup>d</sup> *Northern Arizona University, School of Earth and Sustainability, 625 Knoles Dr., Flagstaff, AZ 86011, USA*

<sup>e</sup> *Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Applied Geosciences (AGW), Division of Hydrogeology, Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe, Germany*

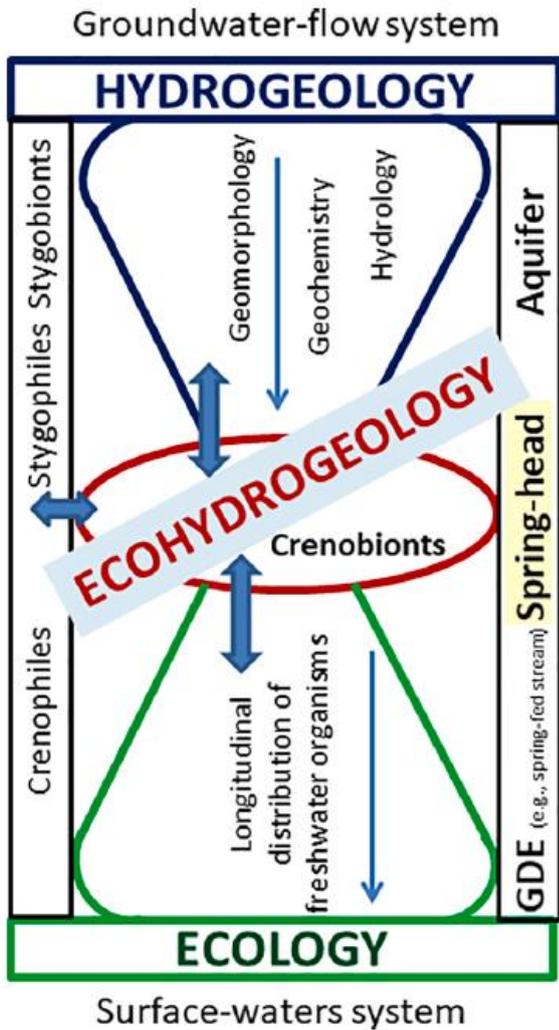
<sup>f</sup> *University of Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 11/a, 43124 Parma, Italy*

<sup>g</sup> *Alma Mater Studiorum University of Bologna, Department of Biological, Geological and Environmental Sciences, Via Zamboni, 67, 40126 Bologna, Italy*

<sup>h</sup> *Vrije Universiteit Amsterdam, Faculty of Science, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands*

Le sorgenti spesso funzionano come *hot spots* di biodiversità, per i quali il coordinamento interdisciplinare tra studi di Idrogeologia ed Ecologia è essenziale. Nel secolo scorso, l'ecologia delle sorgenti è stata ampiamente ignorata dagli idrogeologi e, analogamente, l'idrogeologia è stata sottovalutata dagli ecologisti.

Il recente riconoscimento, a livello mondiale, della straordinaria biodiversità e dell'importanza socio-culturale delle sorgenti, insieme alla loro conservazione (altamente minacciata dai cambiamenti climatici) ha stimolato l'integrazione dell'Idrogeologia con l'Ecologia delle sorgenti in Ecoidrogeologia (figura 1). E' intesa come un campo di studio unificante e sintetico, che integra gli approcci delle scienze Ecologiche e Idrogeologiche nello studio degli ecosistemi, degli habitat e degli organismi correlati alle acque sotterranee, al fine di migliorarne la loro gestione e conoscenza. Per questi motivi, gli ecosistemi sorgivi sono l'ambiente simbolo dell'Ecoidrogeologia.

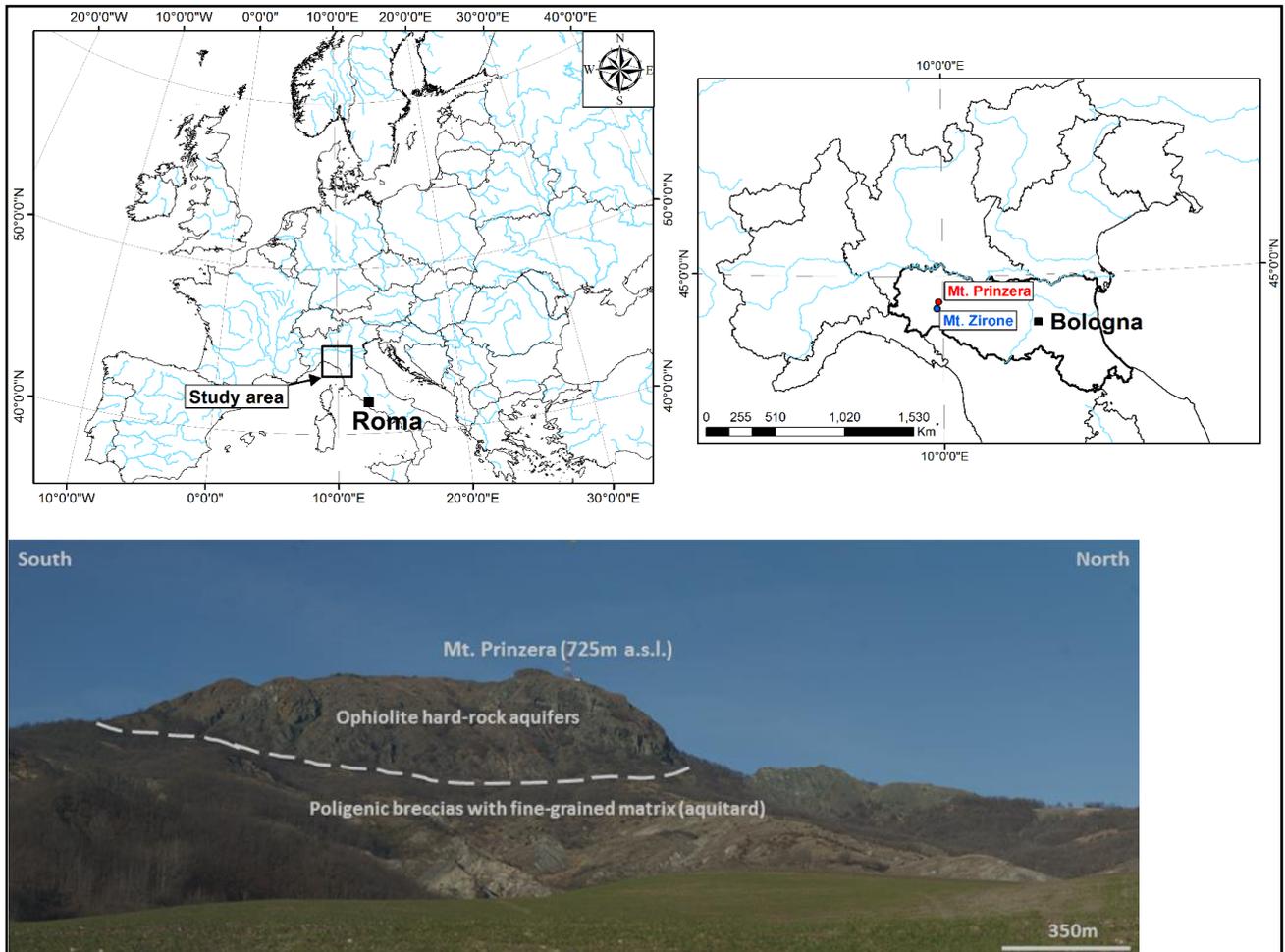


**Figura 1** - Modello a clessidra come esempio emblematico dei possibili approcci ecologici e idrogeologici, in sinergia. Gli ecosistemi sorgivi sono l'ambiente simbolo dell'Ecoidrogeologia (modificato da Cantonati *et al.*, 2012a,b).

Nell'ambito dell'accordo di collaborazione con la Vrije Universiteit di Amsterdam (NL), che ha partecipato allo studio, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli ha selezionato e fornito due casi di studio specifici (M. Prinzerà e M. Zirone in provincia di Parma, figura 2) per illustrare come:

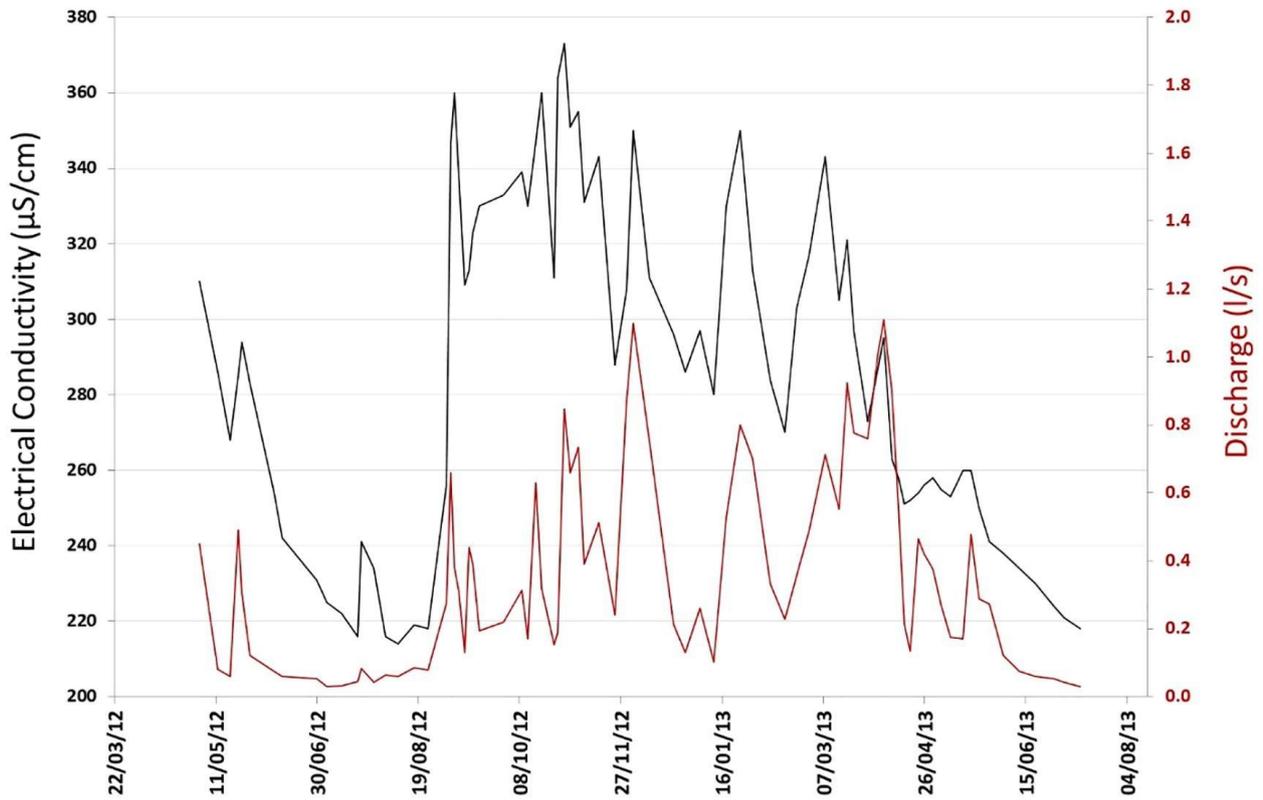
- 1) gli approcci idrogeologici possano favorire la comprensione approfondita, la modellizzazione delle sorgenti e la composizione, organizzazione e distribuzione delle specie crenobiontiche, in relazione alla sorgente stessa. Tali specie sono definite come organismi tipici (o meglio esclusivi) delle sorgenti;
- 2) i *taxa* biologici possono diventare indicatori ecosistemici, per dedurre alcuni aspetti idrogeologici della sorgente, così come fornire indicazioni (da un punto di vista quantitativo e qualitativo) sugli impatti legati al locale uso del suolo ed alla componente antropica in particolare.

Questo approccio integrato permetterà di definire al meglio il valore ecosistemico delle sorgenti stesse.

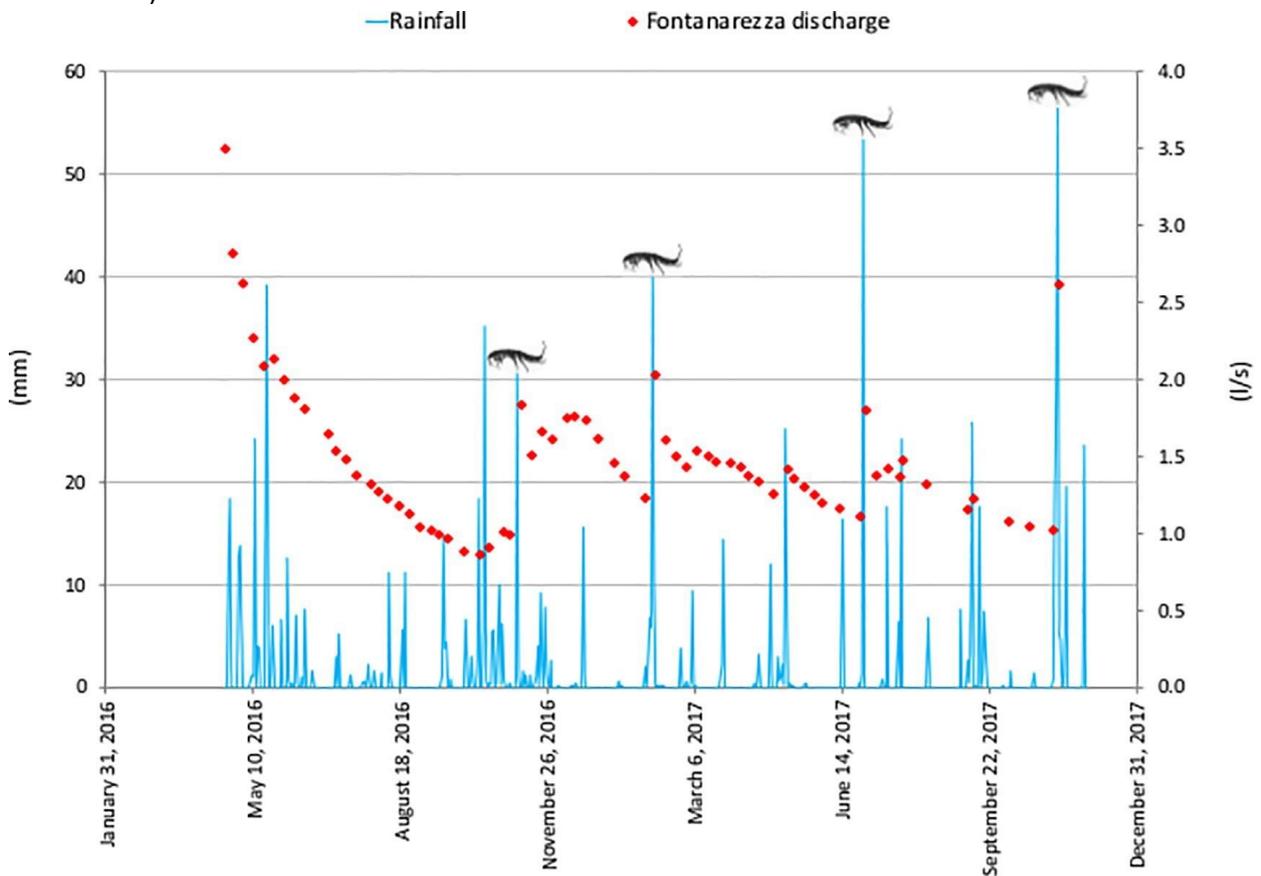


**Figura 2** - Panoramica da Est del M. Prinzerà. L'acquifero ofiolitico è circondato da breccie poligeniche a matrice argillosa (con funzione di *aquiclude*) risultando isolato da un punto di vista idrogeologico.

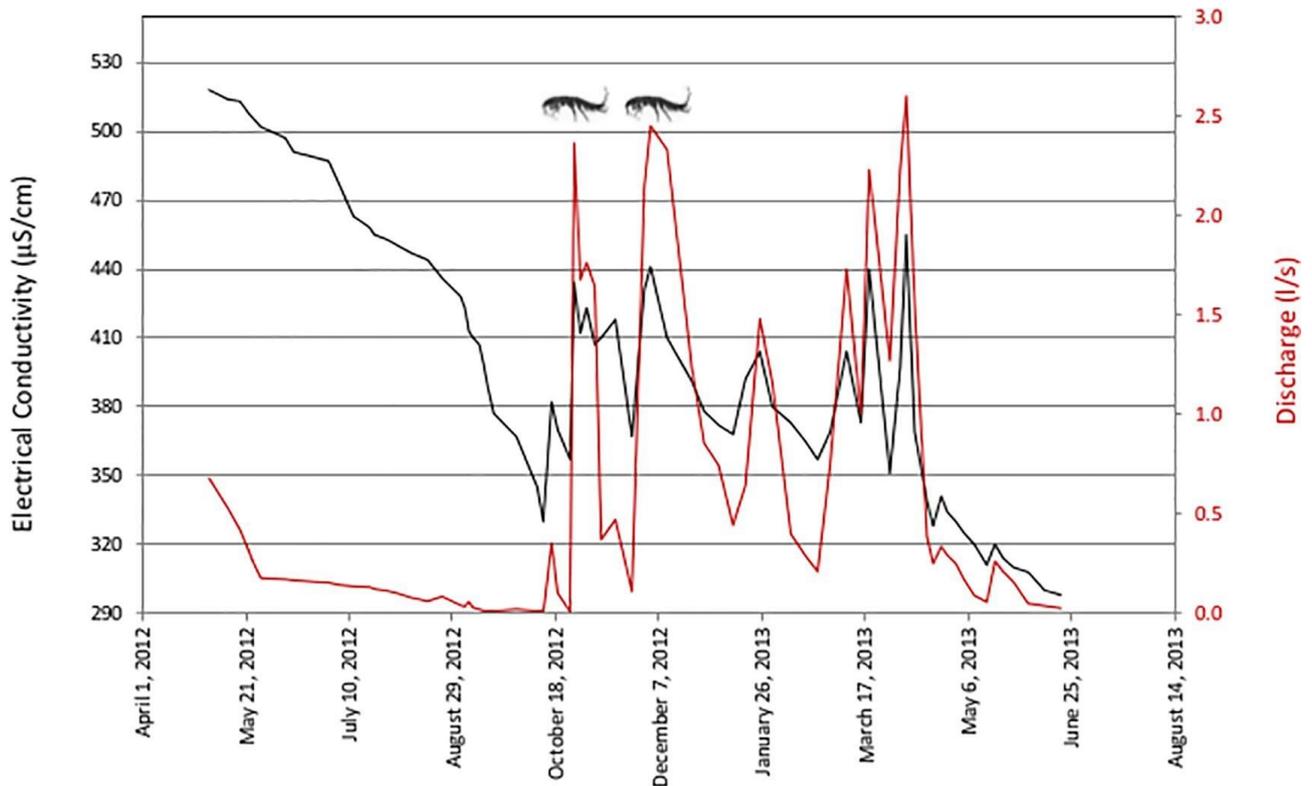
Le variazioni di portata delle sorgenti possono comportare cambiamenti nella conducibilità elettrica delle acque ed influenzare il biota di una sorgente. Nei due casi di studio proposti, la portata e la geochimica delle sorgenti sono stati monitorati giornalmente o settimanalmente per 16 mesi. La conducibilità elettrica a 25 °C (EC) è stata correlata alla portata di sorgenti basali perenni, situate lungo il contatto basale tra l'ofiolite e le argilliti geometricamente sottostanti, con funzione di *aquiclude*; si è osservato come EC aumenti all'aumentare della portata (figure 3 e 5).



**Figura 3** - Idrogramma di portata (Discharge in l/s, linea rossa) di una sorgente basale a regime perenne, in funzione delle variazioni temporali della conducibilità elettrica (Electrical Conductivity microS/cm, linea nera).



**Figura 4** - Idrogramma di portata (in l/s, punti rossi) di una sorgente basale a regime perenne, in funzione del regime pluviometrico (mm) e segnalazioni della comparsa di *Niphargus*.



**Figura 5** - Idrogramma di portata (Discharge, l/s, linea rossa) di una sorgente basale a regime perenne, in funzione delle variazioni temporali della conducibilità elettrica (Electrical Conductivity microS/cm, linea nera) e comparsa di *Niphargus*

Durante i picchi di innalzamento della portata sono stati osservati esemplari viventi stigobiontici (stabilmente legati all'ambiente sotterraneo), depigmentati, di anfipodi Niphargidi, identificati come *Niphargus* sp. aff. *Puteanus* (Bottazzi et al., 2011).

La correlazione tra i principali picchi delle precipitazioni, gli aumenti di portata e la presenza di Niphargidi è chiaramente riconoscibile nelle Figure 4, 5, 6a e 6b.

Dal modello idrogeologico sviluppato da Segadelli *et al.*, (2017a,b: figura 7) si ipotizza che i legami tra l'aumento dei *Niphargus* sp. aff. *puteanus* e i valori di conducibilità elettrica siano dovuti al brusco incremento della portata delle sorgenti.

Tali incrementi di portata sono legati prevalentemente all'arrivo in falda delle acque di neo-infiltrazione, quindi al conseguente incremento del carico idraulico. Il brusco incremento del carico idraulico provoca una "onda di pressione", in grado di favorire la mobilitazione di grandi volumi di acque più profonde e mineralizzate (figure 3 e 5), insieme allo spostamento degli organismi ipogei che vivono nelle immediate vicinanze della sorgente (figure 4, 5, 6a e 6b).



**Figura 6a** - Esempolari albinici di *Niphargus* sp. aff. *Puteanus*. La distanza tra le barre verticali è di 1mm.

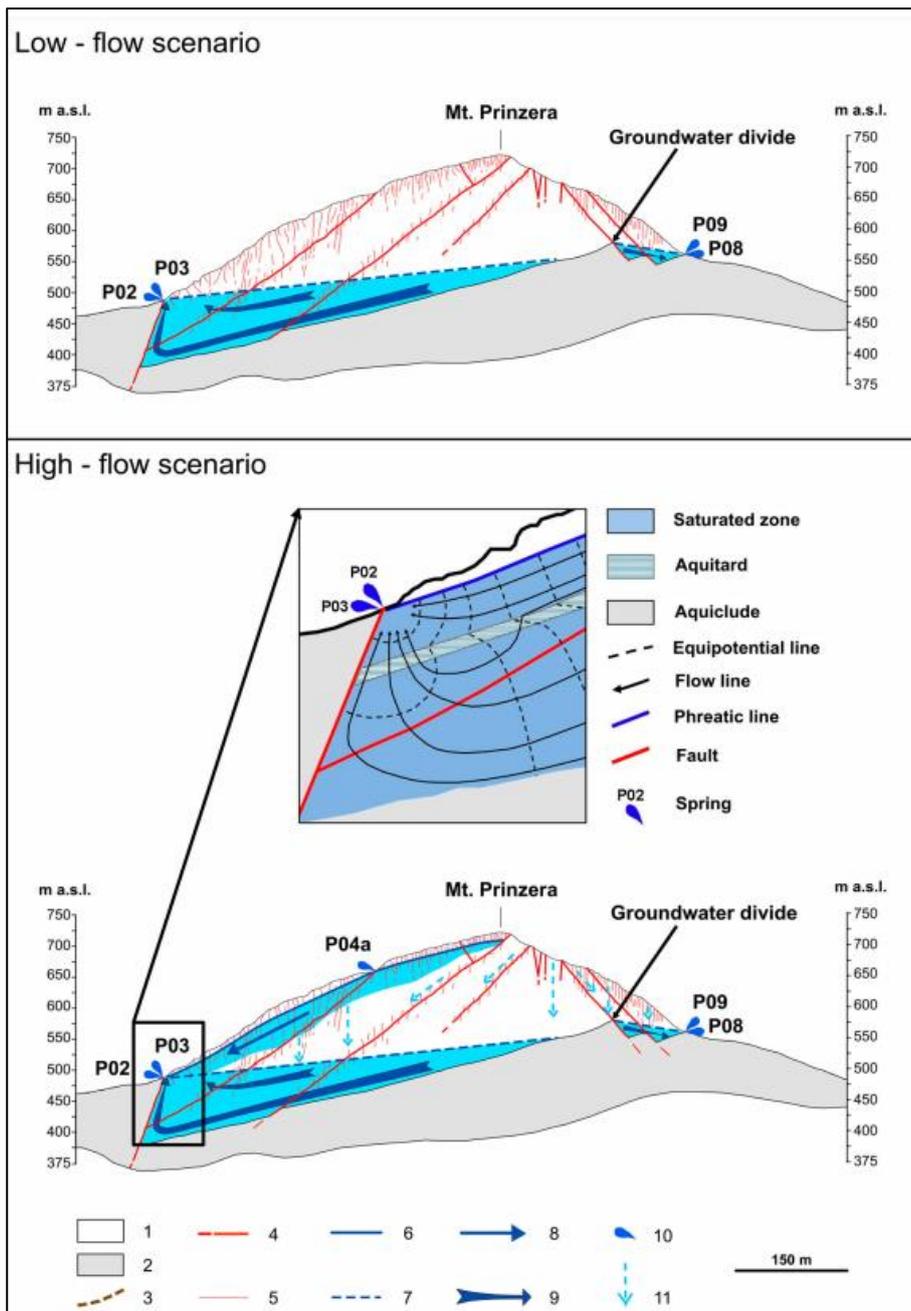


**Figura 6b** - La presenza abbondante di *Niphargus* nella foto è messa in relazione alla "onda di pressione" indotta dall'evento estremo di precipitazione del 5 novembre del 2016. L'osservazione è stata compiuta l'8 novembre del 2016. In data 31 ottobre 2016, prima del nubifragio, gli organismi non erano presenti.

Tra le possibili implicazioni pratiche, questo approccio interdisciplinare può fornire importanti benefici come:

- ottimizzare le attività di rilevamento, monitoraggio e campionamento della fauna ipogea;
- prevedere e tracciare gli impulsi di concentrazione della componente chimica e fisica delle acque di una sorgente, che possono avere anche un effetto significativo sul biota sorgivo.

Sulla base dello schema idrogeologico concettuale, descritto nelle Figure 7 e 8, è possibile ipotizzare che la circolazione profonda nel corso di un anno idrologico condizioni il comportamento stagionale degli organismi che vivono nella falda acquifera, nonché le eventuali concentrazioni di altri componenti chimici presenti nelle acque di sorgente.



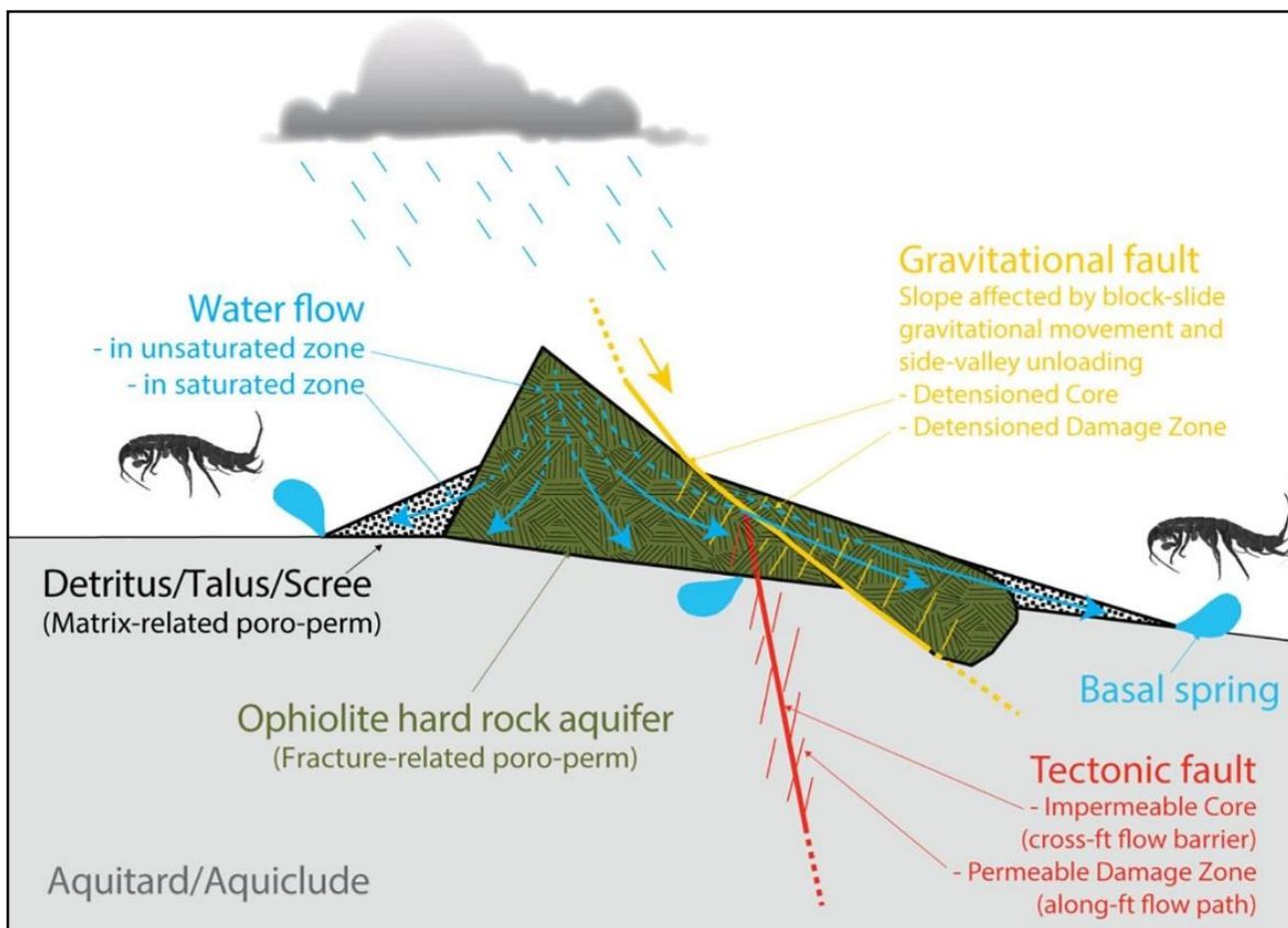
**Figura 7** - La circolazione idrica sotterranea nell'acquifero del Monte Prinzer si articola in due livelli:

- 1) sorgenti a regime perenne alimentate da una falda basale;
- 2) sorgenti stagionali alimentate da una falda sospesa.

Questi due livelli sono compartimentati da discontinuità strutturali e stratigrafiche, che in alcuni casi forniscono anche percorsi preferenziali per la comunicazione idraulica tra le falde.

*Legenda*

- 1: complessi idrogeologici ultramafici
- 2: complesso idrogeologico delle breccie a matrice argillosa (impermeabile relativo)
- 3: semi-permeabile discontinuo
- 4: faglia
- 5: frattura
- 6: superficie freatica della falda sospesa
- 7: superficie piezometrica della falda basale
- 8: linea di flusso della falda sospesa
- 9: linea di flusso della falda basale
- 10: sorgente
- 11: percolazione nel mezzo insaturo.



**Figura 8** - Le faglie tettoniche (linea in rosso), riattivate in diversi regimi tettonici nel tempo, rappresentano barriere per il flusso sotterraneo dell'acqua per effetto del nucleo della faglia (contenente il piano di scorrimento principale, *fault core*) composto da sedimento a prevalente grana fine e spesso polimineralizzato, mentre le zone di danneggiamento (parti esterne e fratturate della zona di faglia, *damage zone*) forniscono una conduttività idraulica significativa consentendo, ad esempio, la comunicazione tra la falda sospesa e la falda basale lungo il piano di scorrimento principale. Gli scivolamenti (linea in arancione), invece, sono strutture più recenti, legate ai movimenti gravitativi profondi del pendio e al detensionamento laterale vallivo delle masse ophiolitiche, durante il sollevamento regionale avvenuto nel corso del Quaternario. Queste strutture solitamente sfruttano e rielaborano le faglie tettoniche, interrompendo la continuità del *fault core* e, quindi, della sua capacità di fungere da barriera di permeabilità per il flusso sotterraneo dell'acqua, attraverso il piano di scorrimento principale. Questa forte anisotropia del *network* porosità-permeabilità dell'acquifero è riflessa in superficie dalla localizzazione preferenziale delle sorgenti.

## Bibliografia

Bottazzi, E., Bruno, M.C., Pieri, V., Di Sabatino, A., Silveri, L., Carolli, M., Rossetti, G., 2011. Spatial and seasonal distribution of invertebrates in Northern Apennine rheocene springs. In: Cantonati, M., Gerecke, R., I. Juttner, I., Cox, E.J. (Guest Editors), Springs: neglected key habitats for biodiversity conservation. J. Limnol. 70(Suppl. 1), 77–92. DOI: 10.3274/JL11-70-S1-06

Cantonati, M., Fureder, L., Gerecke, R., Juttner, I., Cox, E.J., 2012a. Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Sci.* 31, 463–480: <https://doi.org/10.1899/11-111.1>

Cantonati, M., Angeli, N., Bertuzzi, E., Spitale, D., Lange-Bertalot, H., 2012b. Diatoms in springs of the Alps: spring types, environmental determinants, and substratum. *Freshwater Sci.* 31 (2), 499–524.

Segadelli, S.; Vescovi, P.; Chelli, A.; Petrella, E.; De Nardo, M.T.; Gargini, A.; Celico, F., 2017a. Hydrogeological mapping of heterogeneous and multi-layered ophiolitic aquifers (Mountain Prinzerera, northern Apennines, Italy). *Journal of Maps*, 13, 737–746, doi: 10.1080/17445647.2017.1376228

Segadelli, S.; Vescovi, P.; Ogata, K.; Chelli, A.; Zanini, A.; Boschetti, T.; Petrella, E.; Toscani, L.; Gargini, A.; Celico, F., 2017b. A conceptual hydrogeological model of ophiolitic aquifers (serpentinised peridotite): The test example of Mt. Prinzerera (Northern Italy). [https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/pubblicazioni/articoli-su-riviste-specialistiche/2016\\_Segadellietal.pdf](https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/pubblicazioni/articoli-su-riviste-specialistiche/2016_Segadellietal.pdf)