

**Sapienza
Università di Roma**



**Associazione
Internazionale Idrogeologi
Sezione Italiana**



La risorsa idrica a rischio di esaurimento: il contributo delle acque sotterranee

Progetto Lauree Scientifiche, 23 febbraio 2017

Marco Petitta

Docente di Idrogeologia

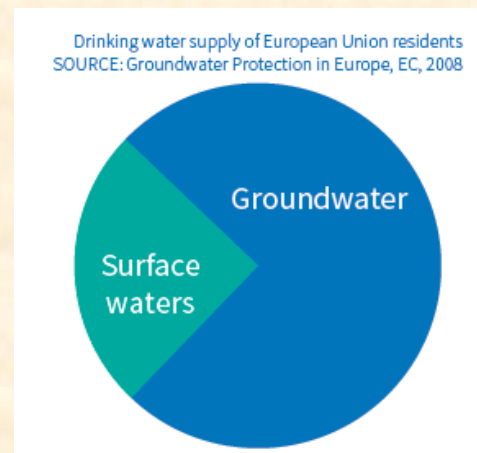
Dipartimento di Scienze della Terra

marco.petitta@uniroma1.it

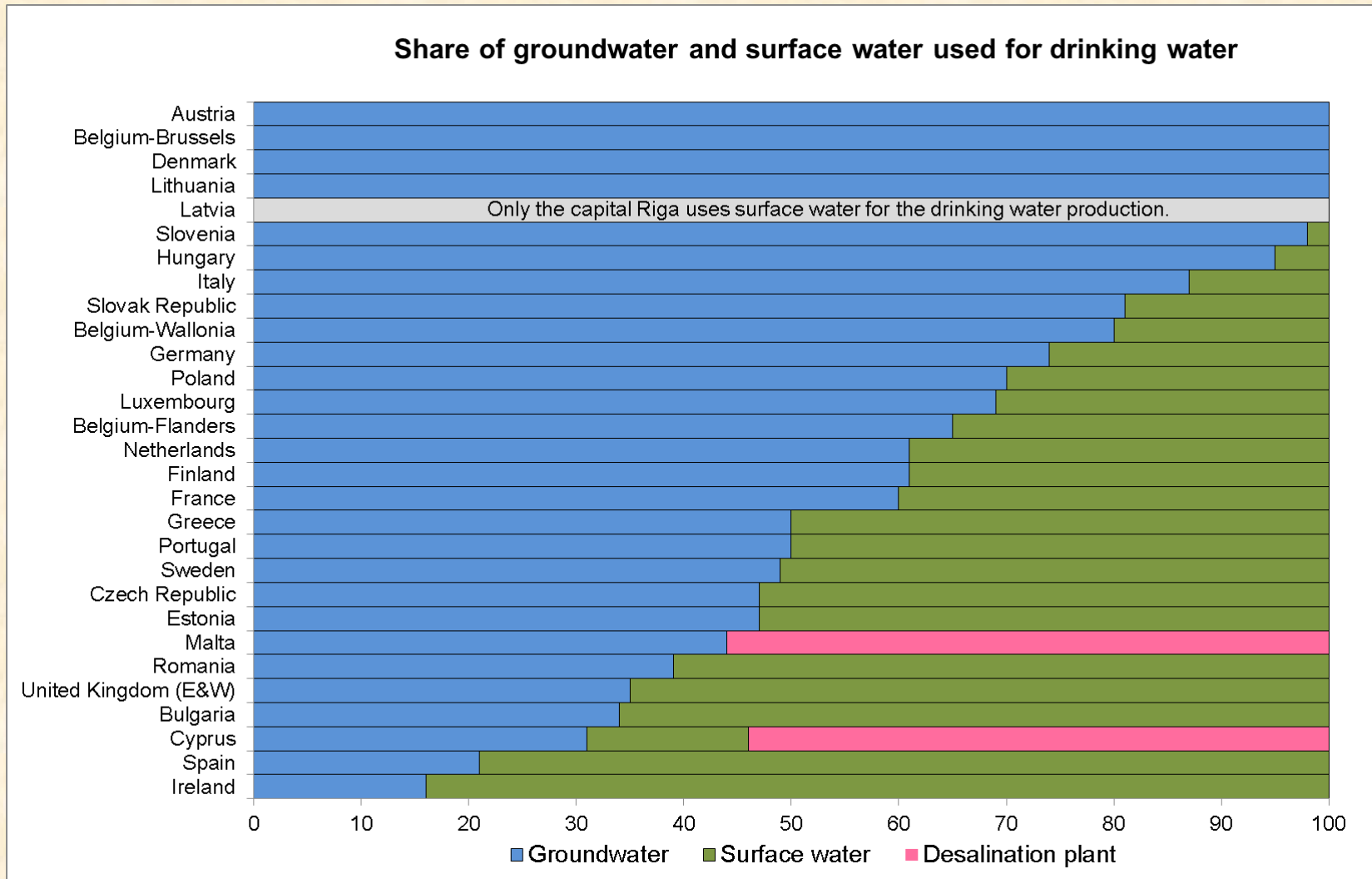
Sorgenti del Fiume Gari (Cassino)

Introduzione

- L'importanza delle acque sotterranee per l'uomo e l'ambiente è fondamentale
- La conoscenza del ciclo sotterraneo è fondamentale per capire le modalità di deflusso anche superficiale
- La necessità di preservare condizioni ambientali di pregio, ribadita anche dalla Commissione Europea in modo da garantire la conservazione di uno stato qualitativo ed ecologico dei corsi d'acqua "buono", è messa a rischio dai cambiamenti climatici
- Al contempo le richieste per approvvigionamento idropotabile, stante lo stato qualitativo scarso di molte risorse idriche sotterranee degli acquiferi alluvionali, si rivolgono ancora e sempre più alle aree montane, vista la protezione naturale garantita agli acquiferi
- Ciò determina la coesistenza delle diverse necessità antropiche e ambientali, difficilmente sovrapponibili se non attraverso una gestione consapevole e integrata
- Il rispetto del Deflusso Minimo Vitale obbliga a modulare gli eventuali prelievi idropotabili (ma anche di altra natura) in funzione dei deflussi naturali variabili nel tempo a scala stagionale e pluriennale, causando difficoltà gestionali degli acquedotti e comunque degli utenti



Uso potabile delle acque sotterranee in Europa



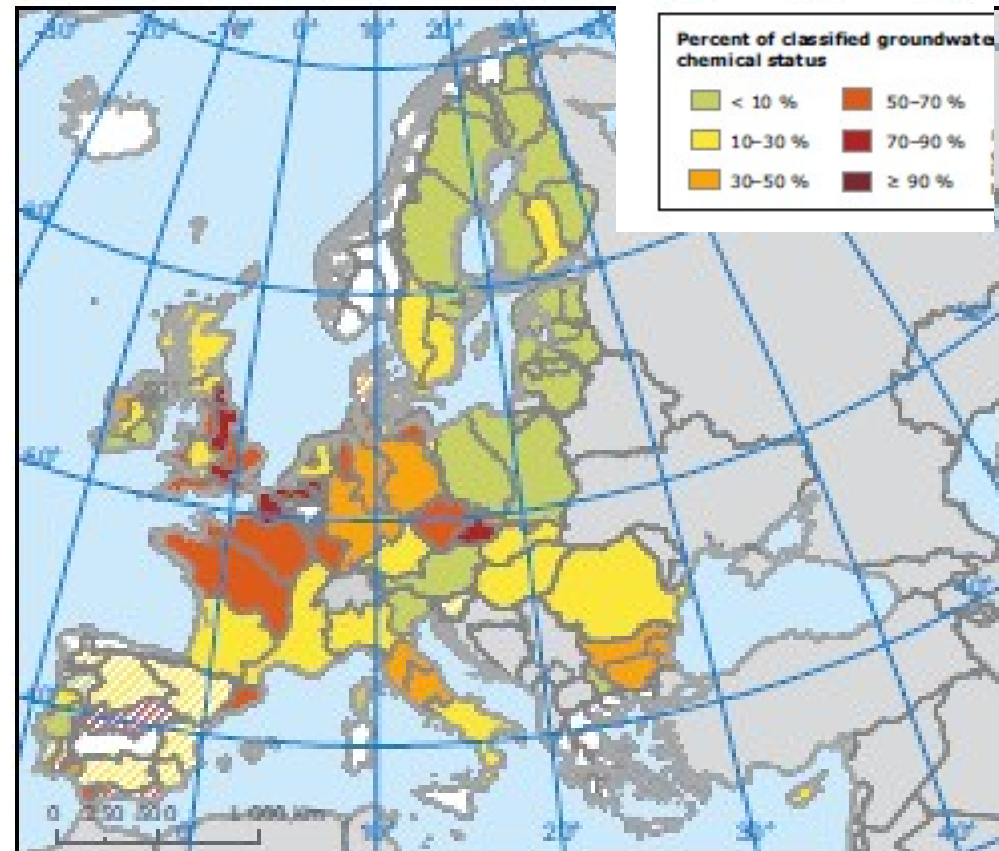
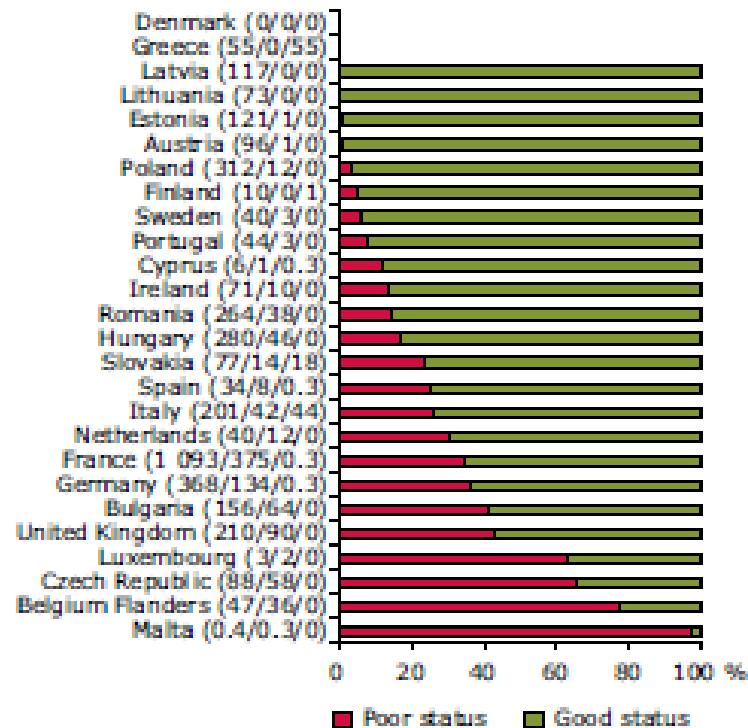
Parameter lists for qualitative (chemical) status

Annex I: Parameters to be monitored:

- Nitrates
- pesticides
- recently inserted: total phosphorus



Percentage of groundwater bodies in poor and good status, by area

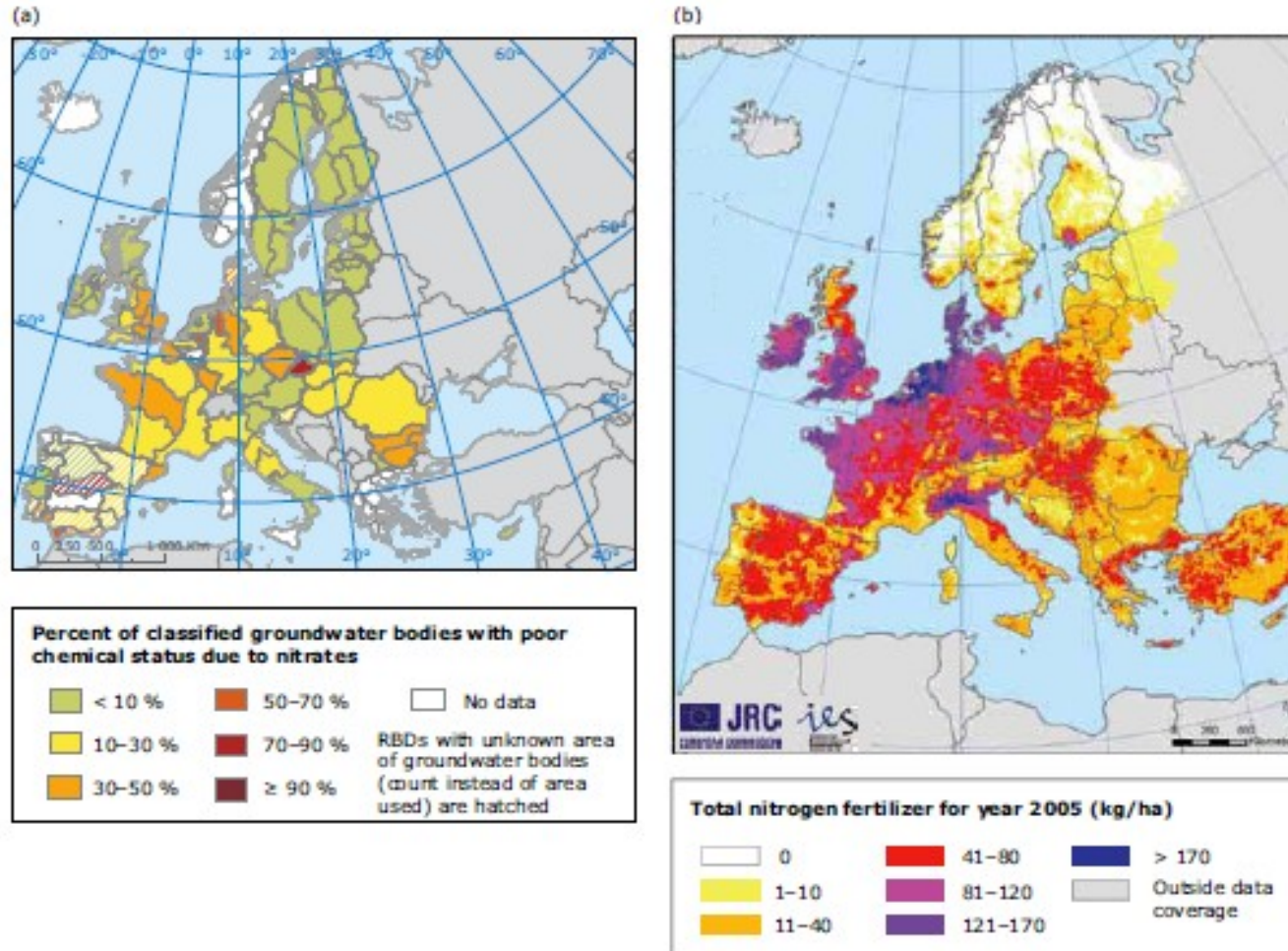


Source: WISE-WFD database, May 2012. Detailed data are available at http://discomap.eea.europa.eu/report/wfd/GWB_STATUS and http://discomap.eea.europa.eu/report/wfd/SWB_STATUS.

Annex II: threshold values to be fixed for at least

Arsenic	Cadmium	Lead	Mercury
Ammonium		Chloride	Sulphate
Trichloroethylene		Tetrachloroethylene	
Conductivity (for saline intrusion)			

Causes for poor chemical status: nitrates as diffuse source

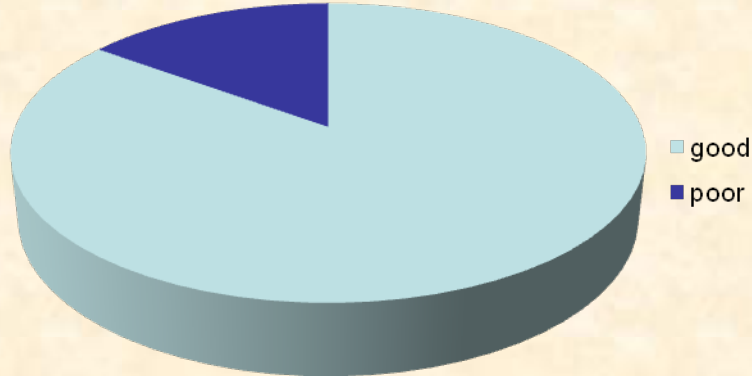


Note: Groundwater bodies of unknown status are not included in the calculation of the percentage of poor chemical status due to nitrate.

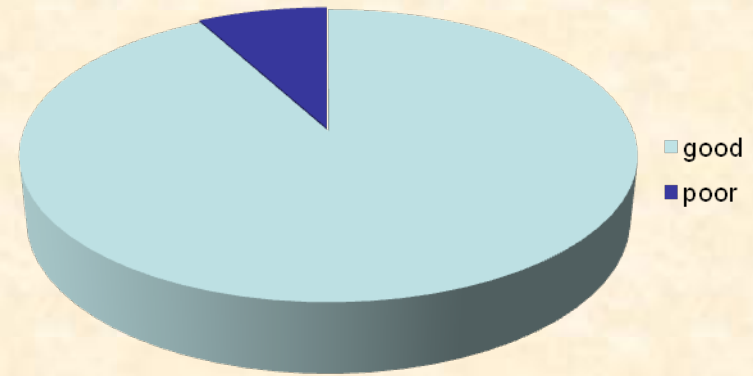
Source: Nitrate in groundwater map based on data available in WISE-WFD database, May 2012. Detailed data are available at http://discomap.eea.europa.eu/report/wfd/gwb_status. Map on organic and inorganic nitrogen fertilisers: Bouraoui et al., 2011.



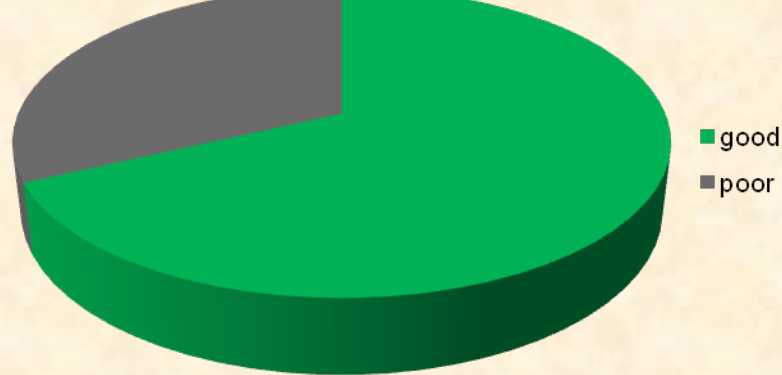
Quantitative status (GW): 2009



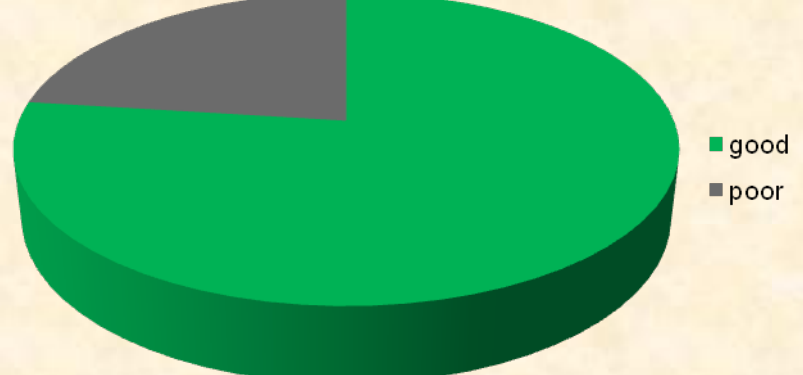
Quantitative status (GW): 2015



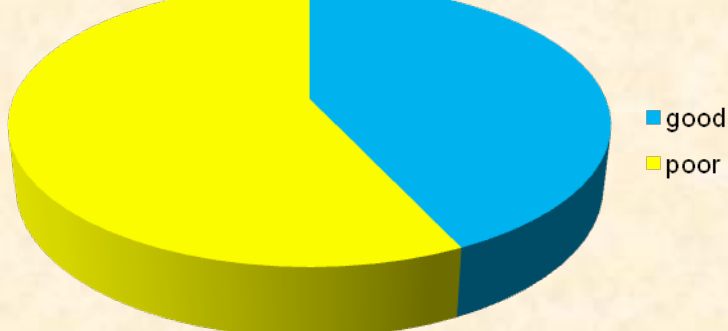
Qualitative (chemical) status (GW): 2009



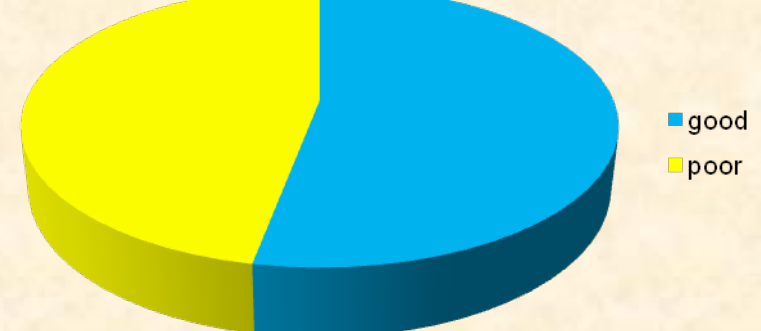
Qualitative (chemical) status (GW): 2015



Ecological status (SW): 2009

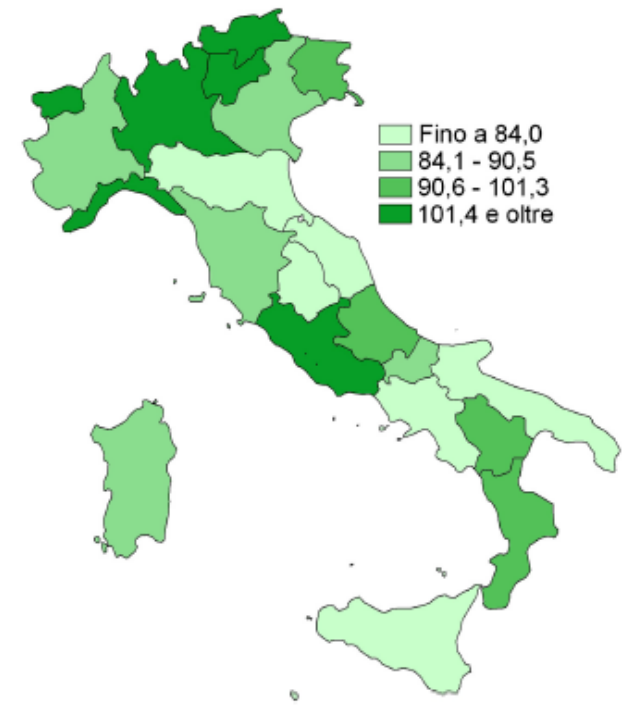


Ecological status (SW): 2015

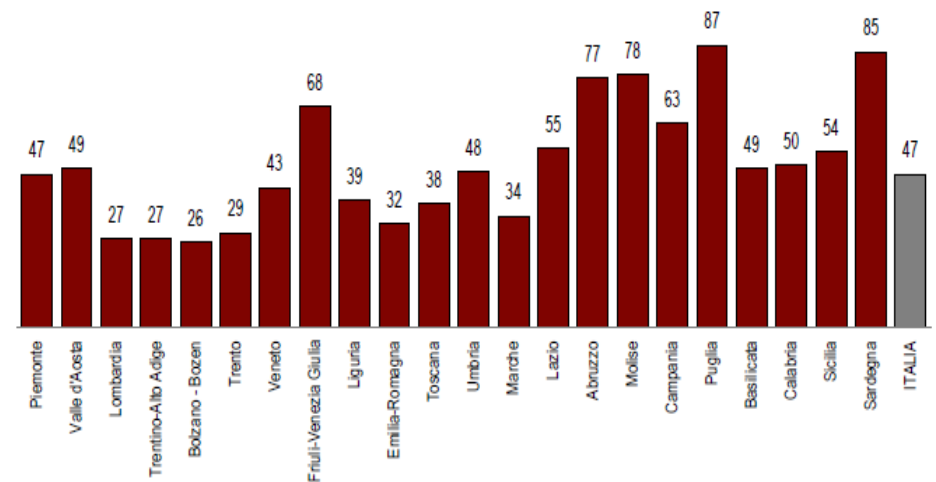




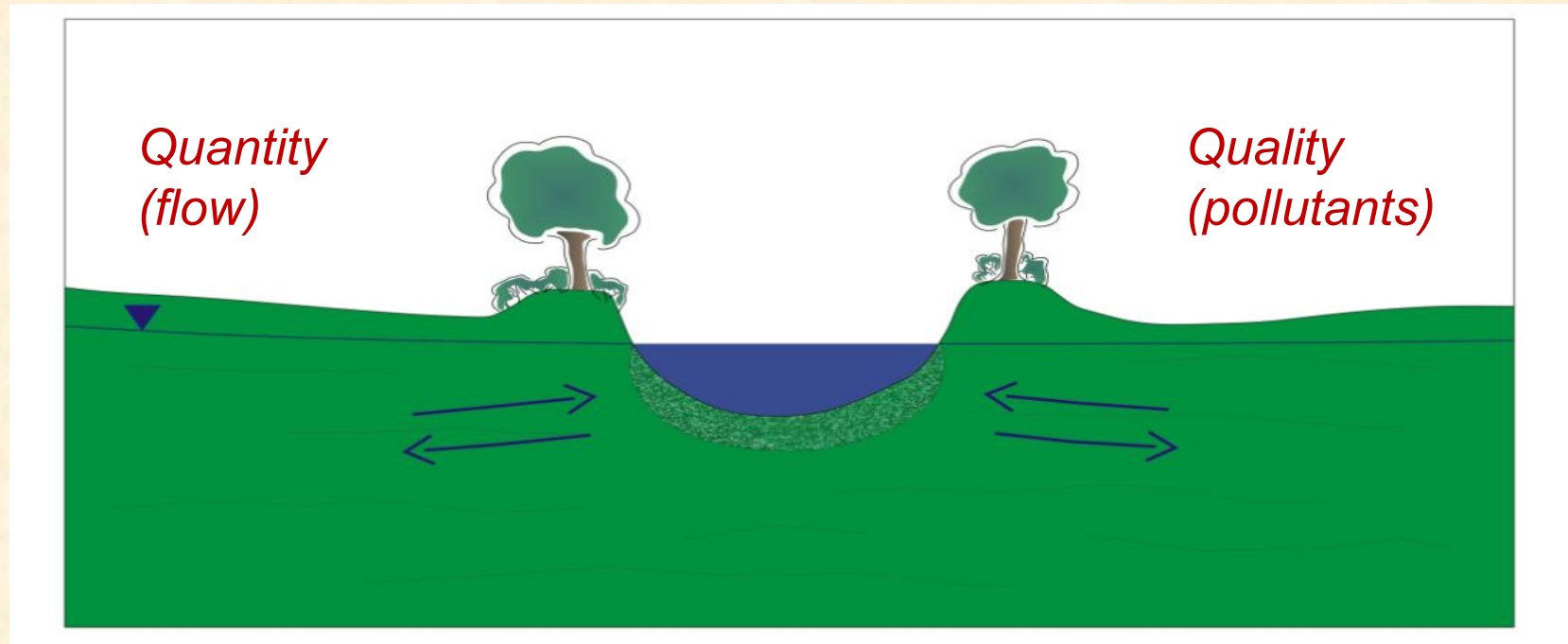
ACQUA EROGATA PER REGIONE. Anno 2008, m³ per abitante



DISPERSIONE DI RETE DI ACQUA POTABILE (ACQUA IMMESSA SU ACQUA EROGATA) PER REGIONE Anno 2008, valori percentuali



Acque superficiali e sotterranee sono strettamente connesse



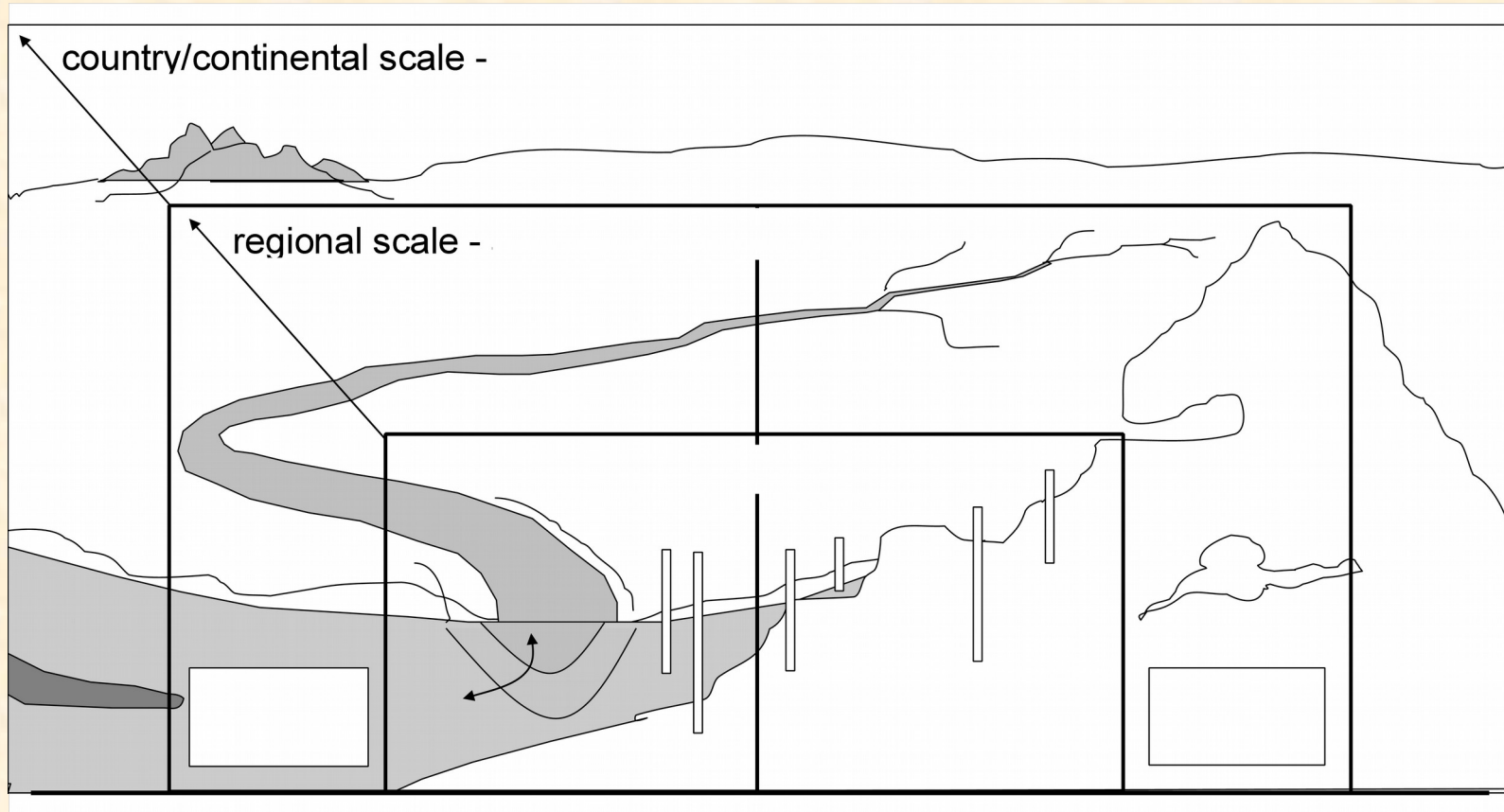
- ✓ River Basin Management Plans fundamental for analysis, planning and measures
 - ✓ Il flusso di base proveniente dal sottosuolo garantisce i deflussi in periodi siccitosi
- ✓ Le funzioni ecologiche di corsi d'acqua e aree umide sono sostenute dalle acque sotterranee
- ✓ I cicli dei principali inquinanti (es: nitrati) dipendono dal deflusso sotterraneo
- ✓ Le acque sotterranee con tempi di residenza e transito più lunghi, sono RESILIENTI

Problematiche da risolvere

- ✓ sovrasfruttamento, cambiamenti climatici e risorse strategiche (emergenza)
- ✓ Sorgenti puntuali e diffuse di contaminazione: come prevenire e come rimediare
- ✓ Uso integrato delle risorse idriche, riuso delle acque, water/food/energy nexus
- ✓ Deflusso minimo vitale e ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee
- ✓ Interazione acque superficiali/sotterranee
- ✓ impatto delle attività antropiche
- ✓ “governance” e ottimizzazione degli usi



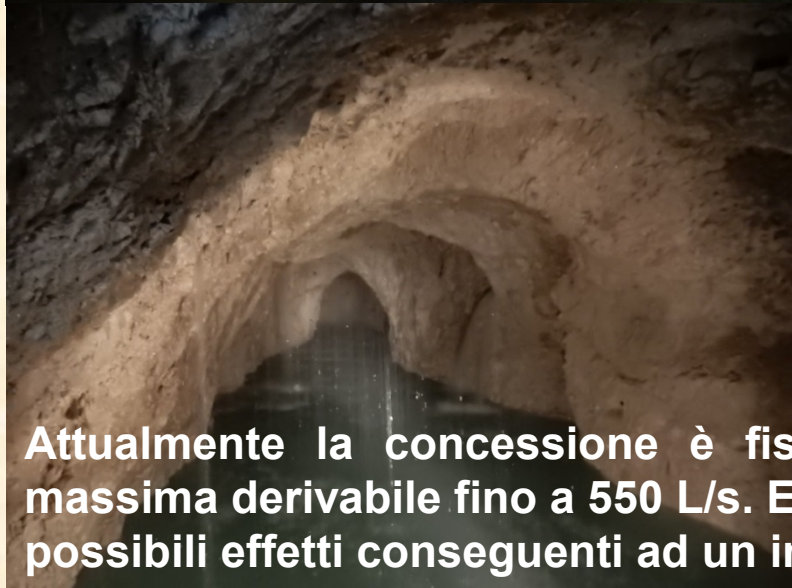
GDE: Groundwater dependent ecosystems



Where biotic and abiotic components are strictly related (river/groundwater interactions), chemical status of streams, wetlands and coastal areas is dependent from groundwater cycle; of course, natural or anthropic induced changes can affect surface water ecological values

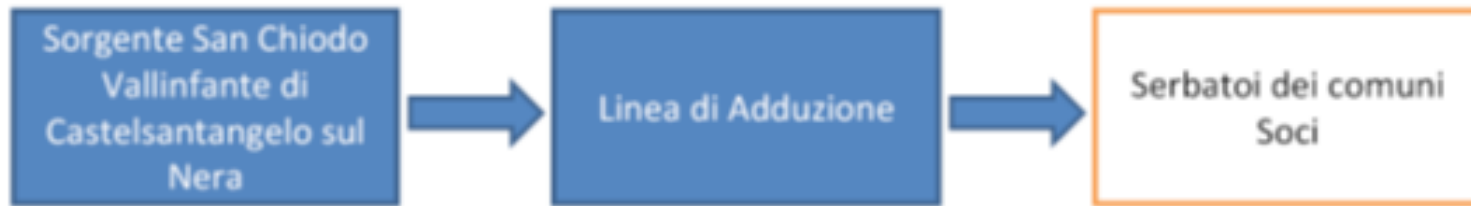
La sorgente San Chiodo e l'Acquedotto del Nera

La sorgente San Chiodo nell'alto bacino del fiume Nera, è captata mediante galleria drenante (8 dreni nel camerone finale) dalla Società per l'Acquedotto del Nera (S.A.N. S.p.a.)



Attualmente la concessione è fissata a 150 L/s, con una portata massima derivabile fino a 550 L/s. E' stato redatto il S.I.A. per valutare i possibili effetti conseguenti ad un incremento del prelievo

Acquedotto del Nera



San Giuseppe di Tolentino

Bacino di utenza: 280mila persone
Rete idrica: 172 km
Risorsa complessiva: 550 L/s.

La rete dell'acquedotto del Nera consiste nella realizzazione di una linea di adduzione a gravità, con consegna della risorsa idrica ai serbatoi dei comuni consorziati mediante specifiche reti di derivazione.



La sorgente San Chiodo

Ricade nel territorio del:

✓ *Bacino Idrografico del Tevere* confluito nel

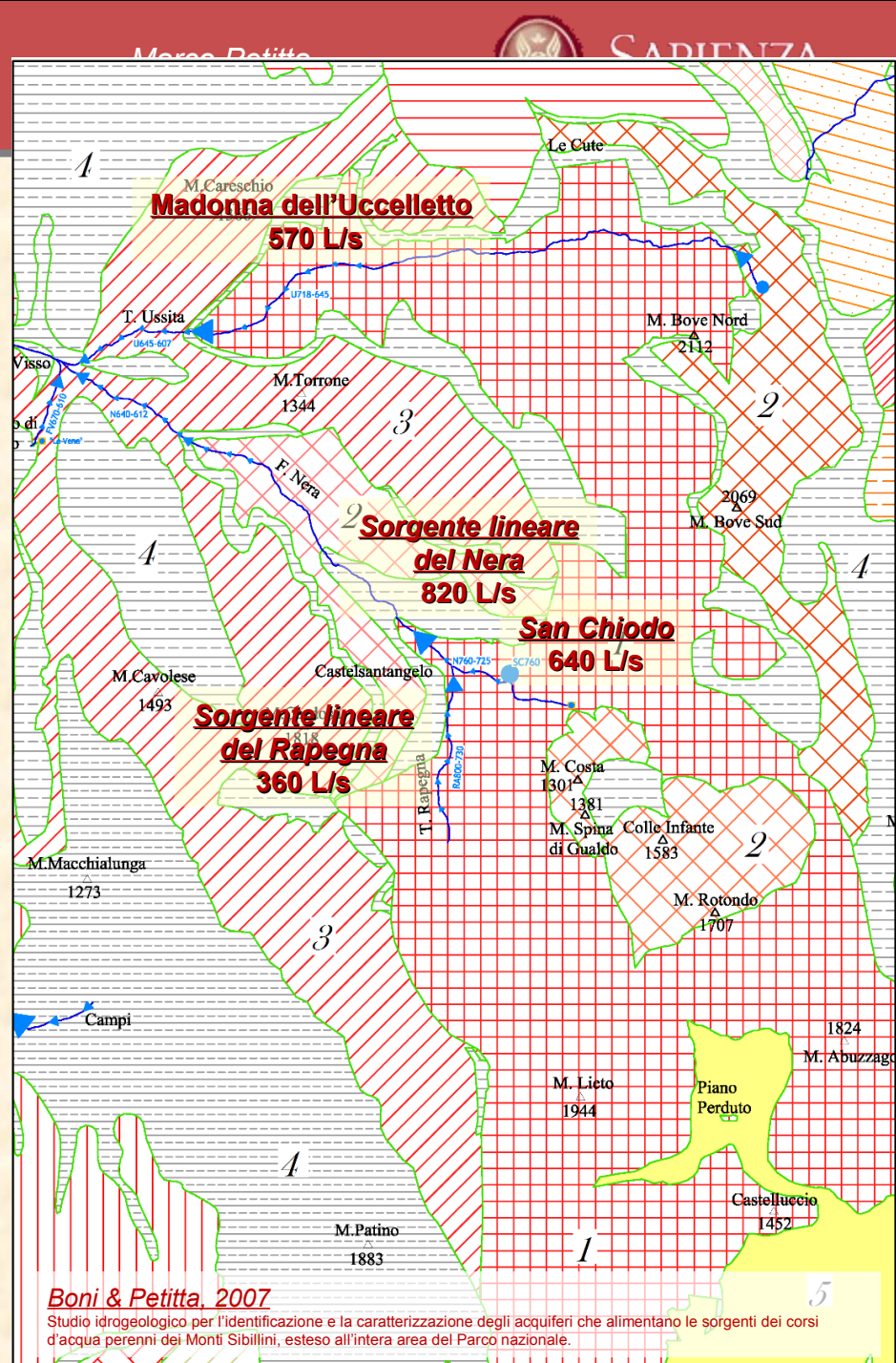
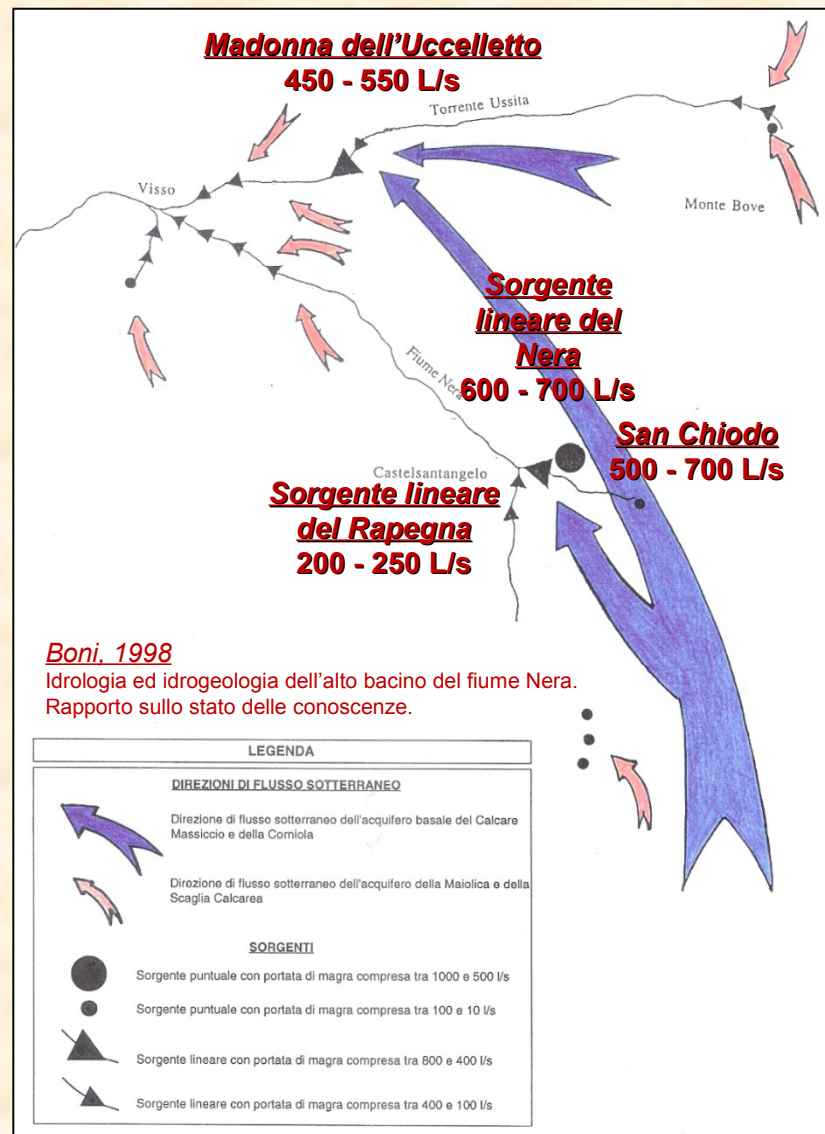
Distretto Idrografico dell'Appennino centrale / Sub-distretto Alto Tevere

✓ *Parco Nazionale dei Monti Sibillini*



La risorsa idrica a rischio di esaurimento:
il contributo delle acque sotterranee

Assetto idrogeologico



Misure di portata

- Misure di portata eseguite, con cadenza mensile sin dal 2011, dalla S.A.N. e dal Corpo Forestale dello Stato (C.F.S.), in 14 sezioni.
- ✓ 3 sezioni nel Torrente Ussita
- ✓ 3 sezioni nel Torrente Rapegna
- ✓ 8 sezioni nel Fiume Nera
- Monitoraggio in continuo dei livelli idrometrici, operato dalla regione Marche
- ✓ Nera a Castelsantangelo
- ✓ Nera a «Ponte Tavola»
- ✓ Nera a «San Placido»
- ✓ Nera a «Endesa»
- Misure di portata eseguite nel 2015 dal gruppo della Sapienza, in 18 sezioni (divenute 20 nel 2016). L'ubicazione delle sezioni è stata vincolata dalla presenza di prelievi di acque sotterranee e/o superficiali (ad uso idroelettrico, per ittocolture o idropotabile).



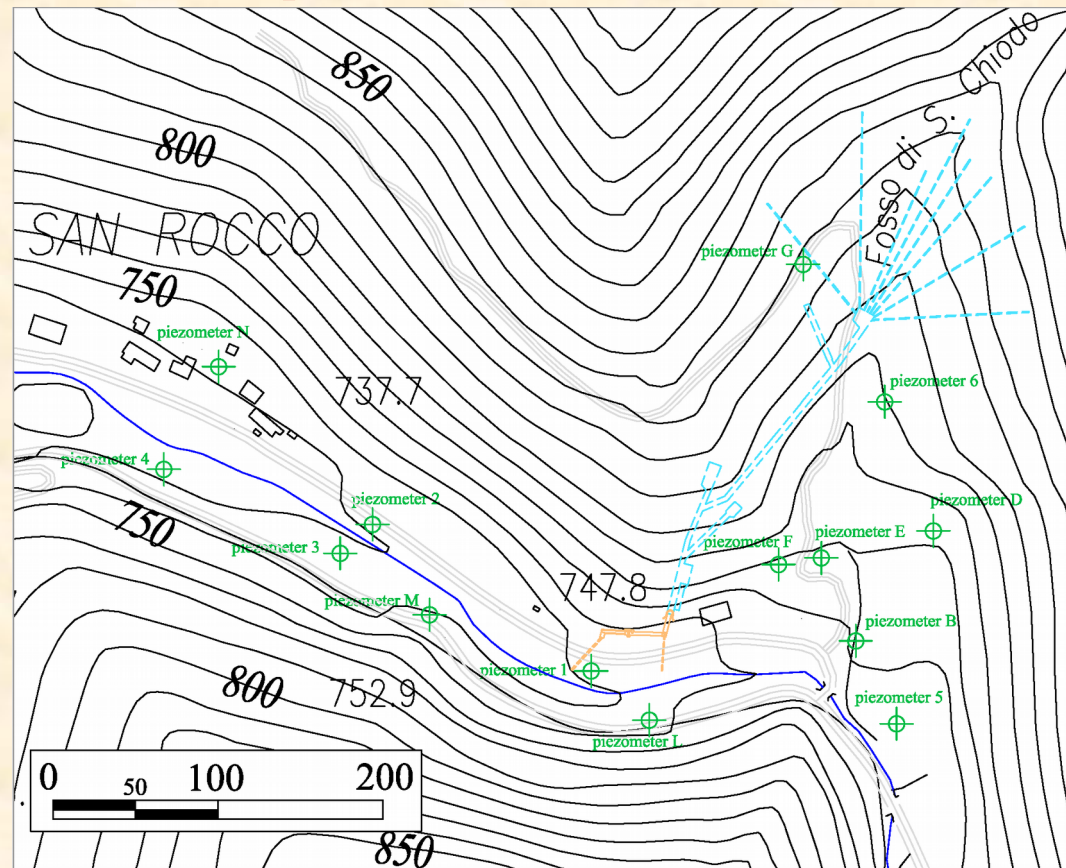
Livelli piezometrici dell'acquifero Basale

La falda dell'acquifero Basale è monitorata, mensilmente, nell'area della sorgente San Chiodo, attraverso una rete di 14 piezometri.

4 piezometri (anni '80)

4 piezometri (anni '90 e da Luglio 2014)

6 piezometri (da Ottobre 2014)



Da Giugno 2016 sono state installate nei piezometri delle sonde per il monitoraggio in continuo (ogni 12 ore) dei livelli piezometrici.



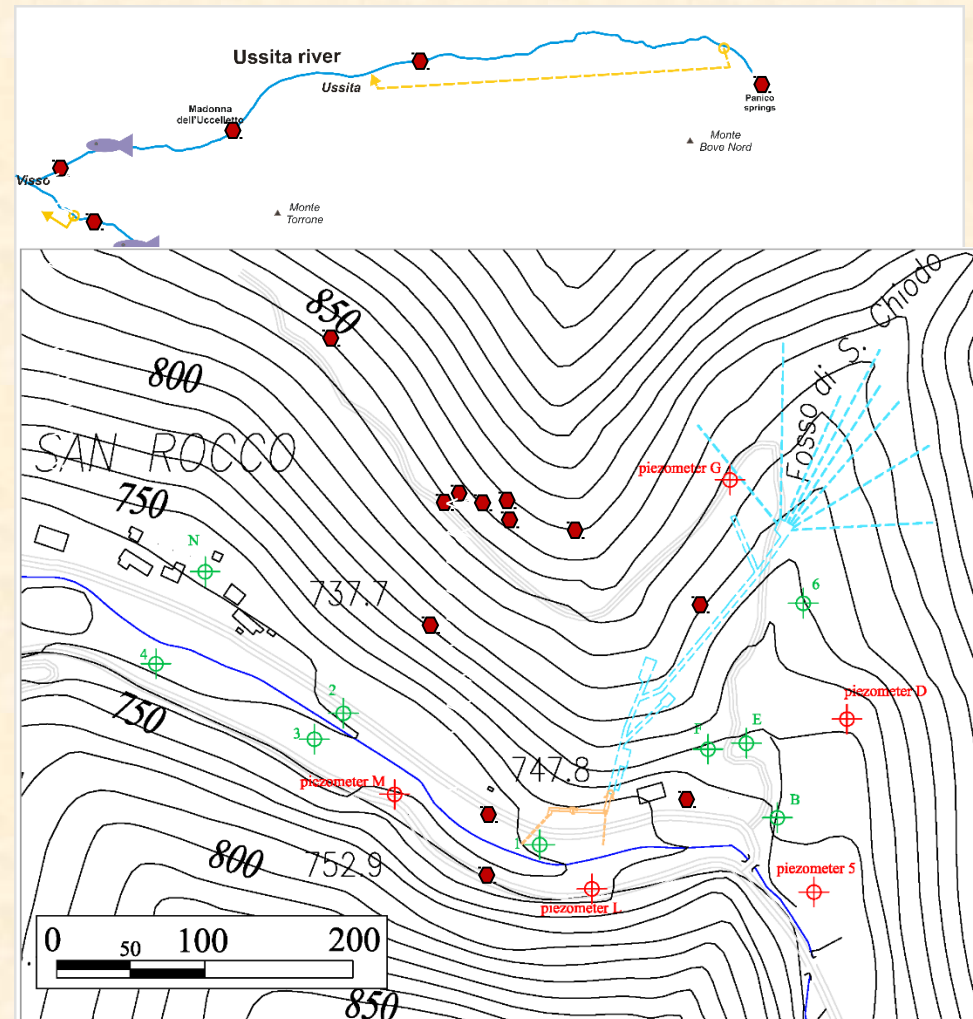
Analisi idrochimica e isotopica

19 punti di campionamento (Maggio e Ottobre 2015):

- sorgente San Chiodo;
- sorgente Madonna dell'Uccelletto e sorgenti del Nera;
- 5 sorgenti alimentate da acquiferi locali con circolazioni veloci;
- 2 sorgenti nella Piana di Castelluccio;
- 9 di acque superficiali (dai fiumi Nera, Ussita e Rapegna).

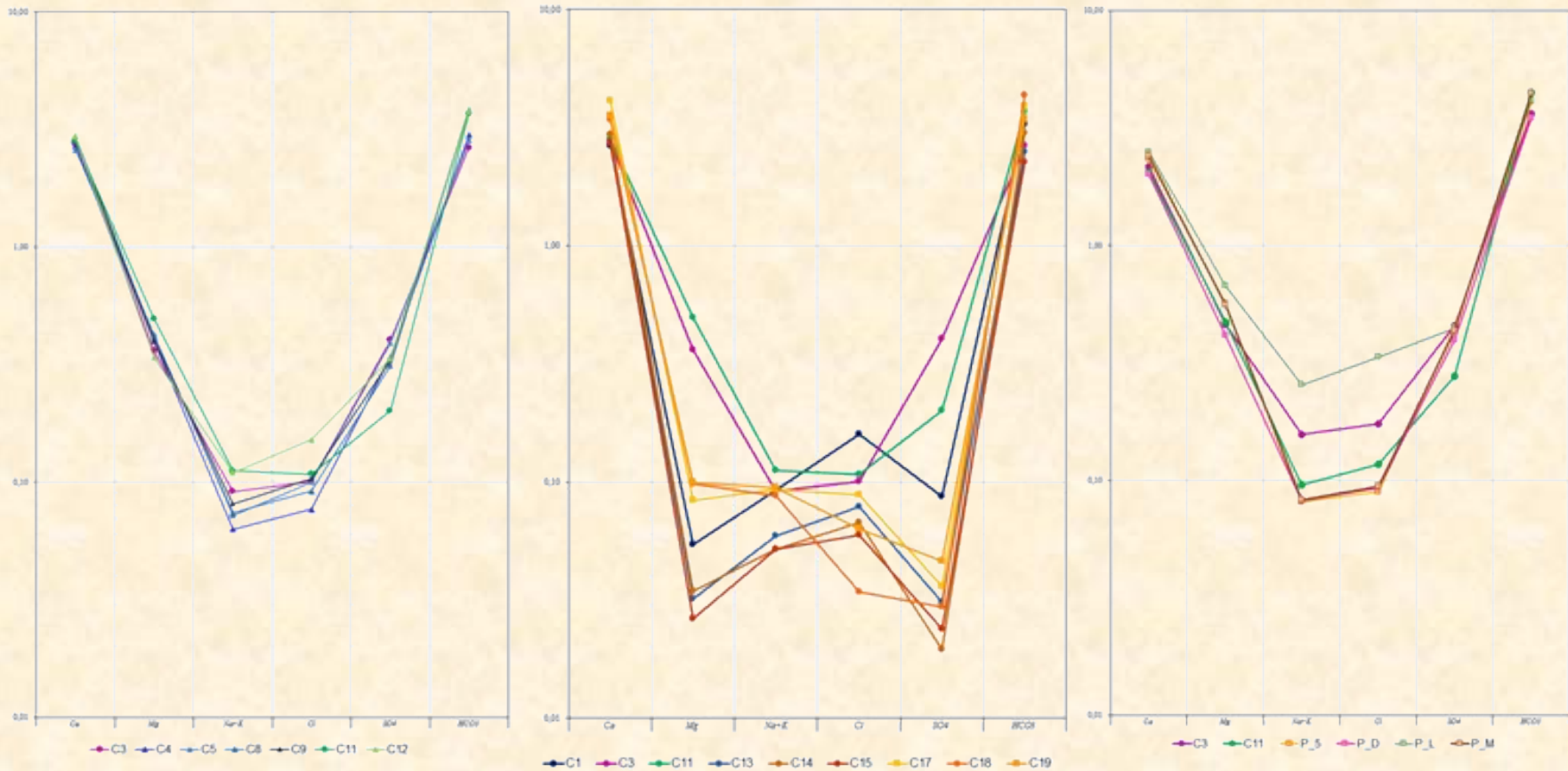
7 punti di campionamento (Novembre e Dicembre 2015):

- sorgente San Chiodo;
- sorgente Madonna dell'Uccelletto;
- 5 nei piezometri dall'acquifero Basale



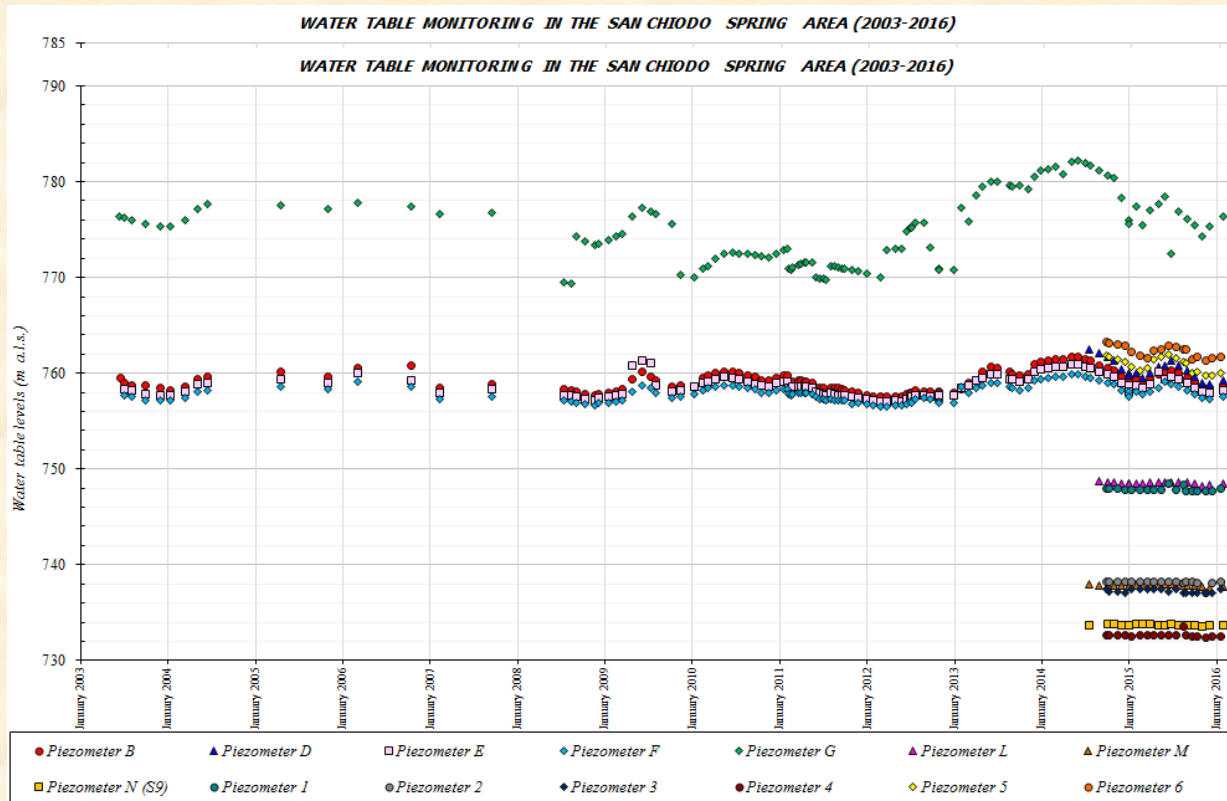
Castelluccio
Plain

Risultati - Analisi idrochimica



Concentrazioni maggiori in Mg e SO_4 sono state misurate per le sorgenti **San Chiodo (C3)** e **Madonna dell'Uccelletto (C11)**, rispetto ad una generale facies idrochimica Ca-HCO_3 delle sorgenti dei Monti Sibillini, dovute all'interazione con il basamento dolomitico-anidritico.

Risultati – Andamento livelli piezometrici



Periodo di morbida: da Aprile a Giugno.

Periodo di magra: da Luglio fino a Novembre-Dicembre.

Variazioni annuali dei livelli piezometrici sono correlate a cambiamenti, a scala regionale, negli apporti meteorici.

2009-2010 o 2014: anni piovosi;

2011-2012 e in parte 2015-16: anni siccitosi.

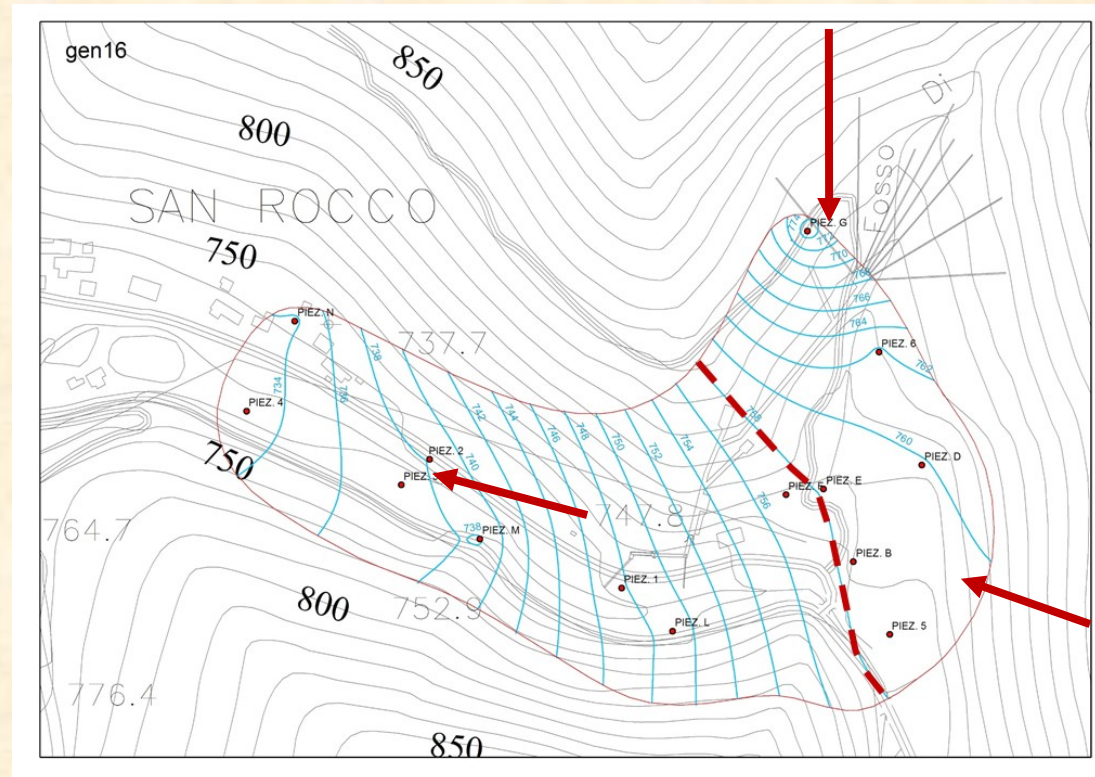
Oscillazioni medie nel corso dell'anno idrologico: comprese tra 1,5 e 2 metri

Variazioni stagionali più elevate nel Piezometro G (posizionato ad una quota più elevata ed in prossimità di un dreno): da 2,6 m nel 2010 fino a quasi 10 m nel 2013.

Risultati – Regime e direzioni di flusso

Variazioni significative della superficie piezometrica solo nel settore orientale ed esclusivamente sopra l'isopieza di 758 metri s.l.m.

Nel settore occidentale, le deboli oscillazioni non incidono direttamente sulla portata fluviale, in quanto la falda si trova a quota inferiore a quella della galleria.



Direzioni prevalenti del flusso:

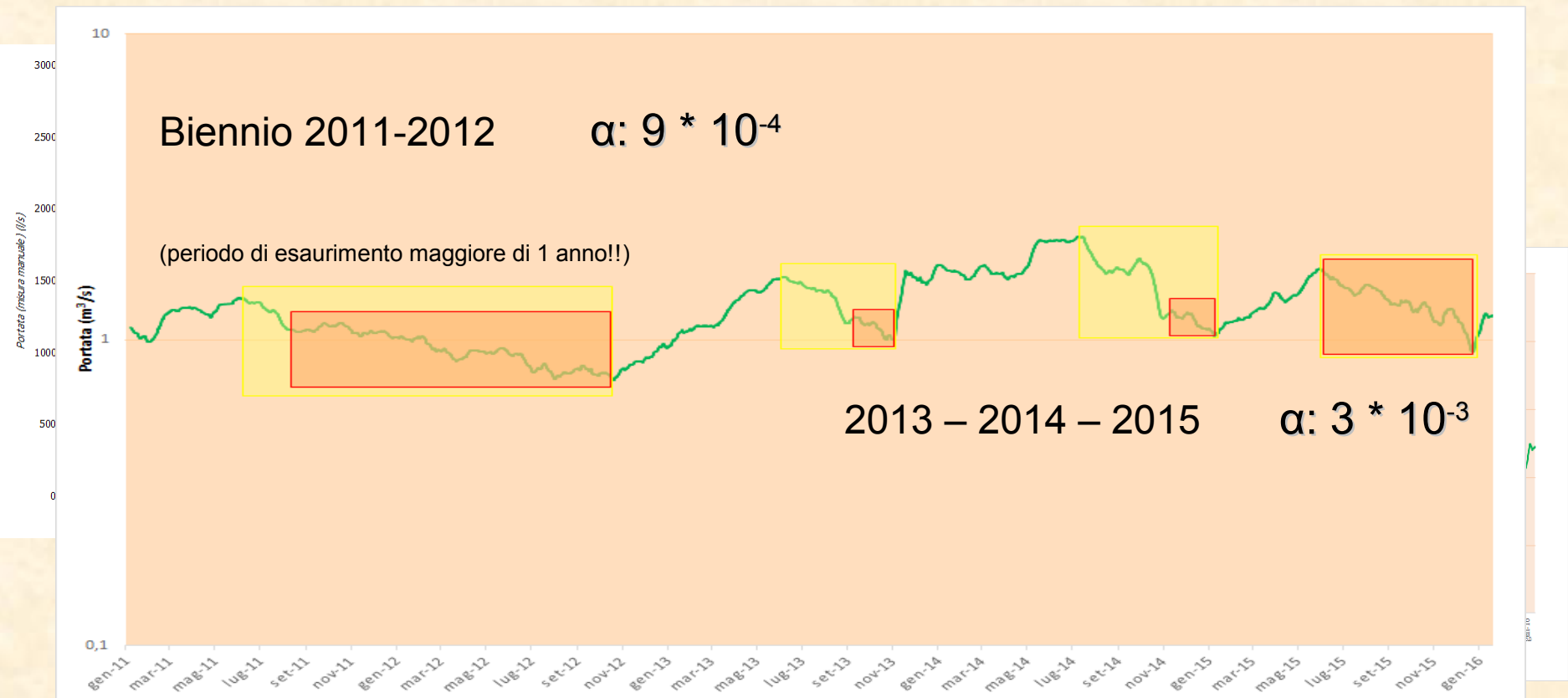
- da ESE a WNW;
- da N verso S.

che convergono nel settore centrale disponendosi parallelamente al fiume Nera.

Le sorgenti lineari del Nera rappresentano quindi, insieme alla sorgente San Chiodo, il recapito finale della circolazione idrica dell'acquifero Basale.

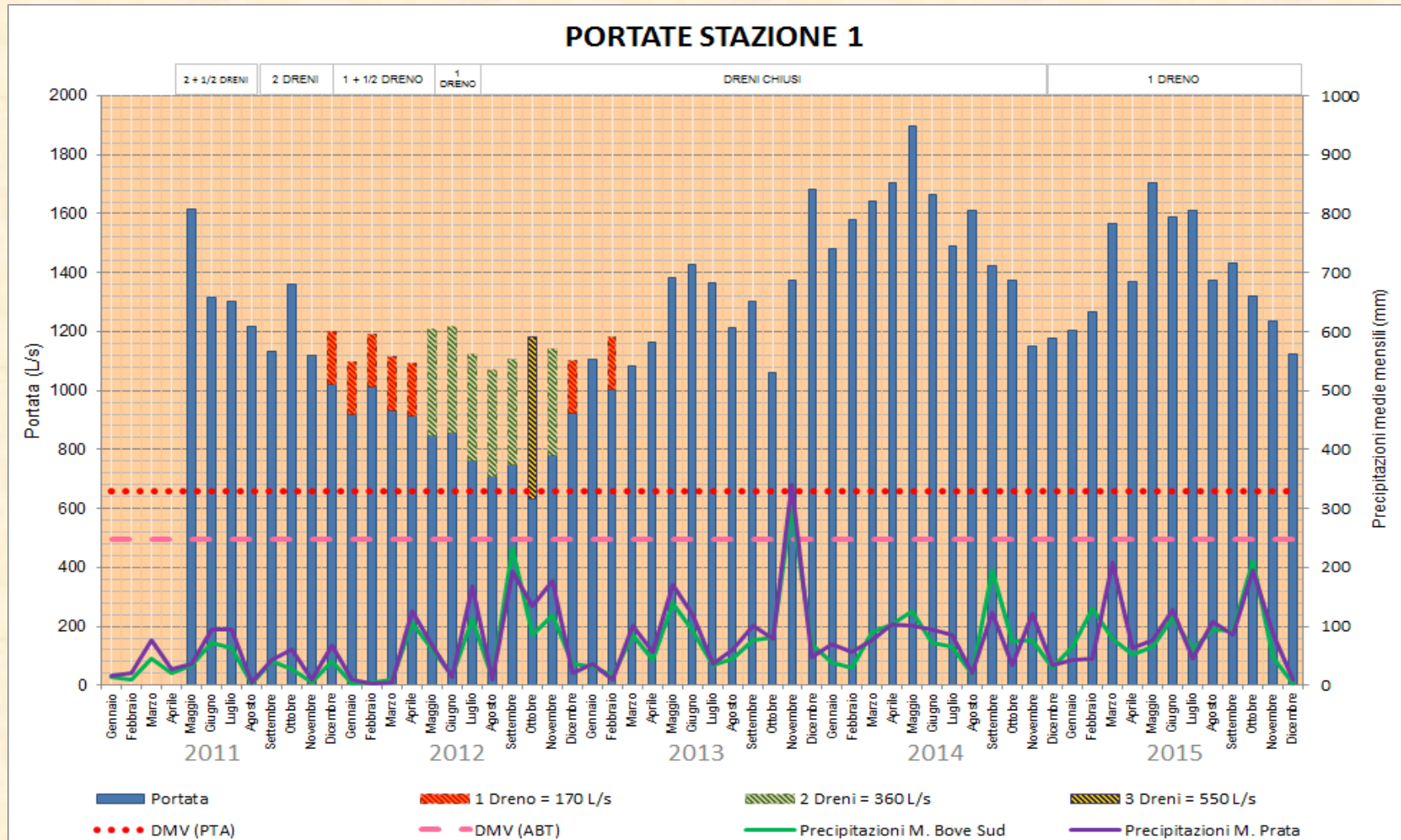
Portate ed Analisi delle Curve di Esaurimento

È stata costruita una curva di correlazione Portata – Livello Idrometrico relativa alla Stazione di monitoraggio «Nera a Castelsantangelo» (Stazione 1). Essendo il fiume assimilabile ad una sorgente, a partire dal 2011 è stato calcolato il *coefficiente di Esaurimento* (α), per ciascun periodo di recessione.



Il valore più basso di α (2011-2012) è relazionata all'uso differenziato del sistema di dreni del camerone finale della galleria

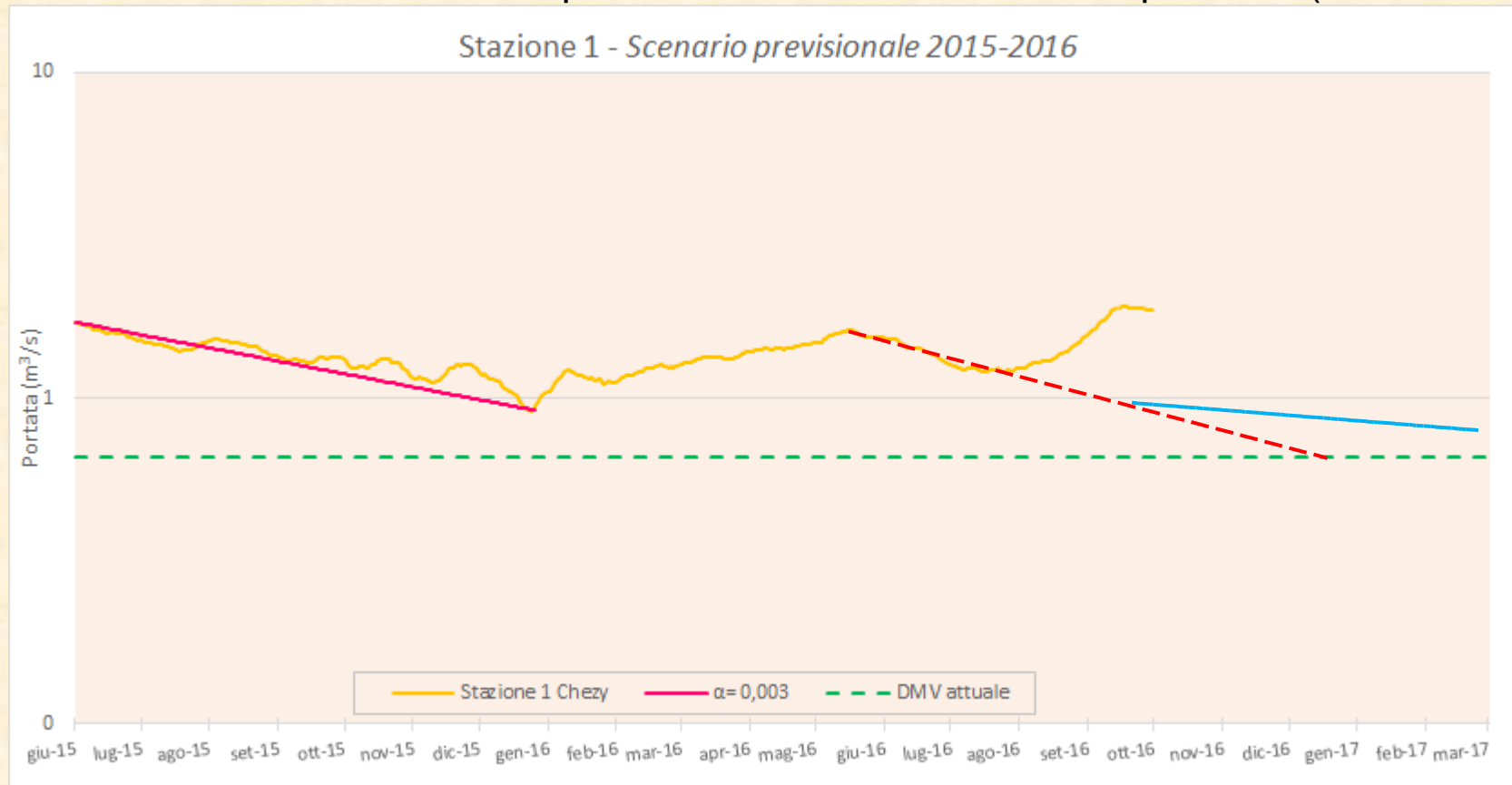
Deflusso Minimo Vitale vs Portata a stazione 1



Andamento della portata alla stazione di monitoraggio (2011-2015): nei periodi di magra (2011-12) la portata non sarebbe scesa sotto il DMV se fossero stati aperti dreni aggiuntivi 22

Scenario Previsionale e proposta gestionale

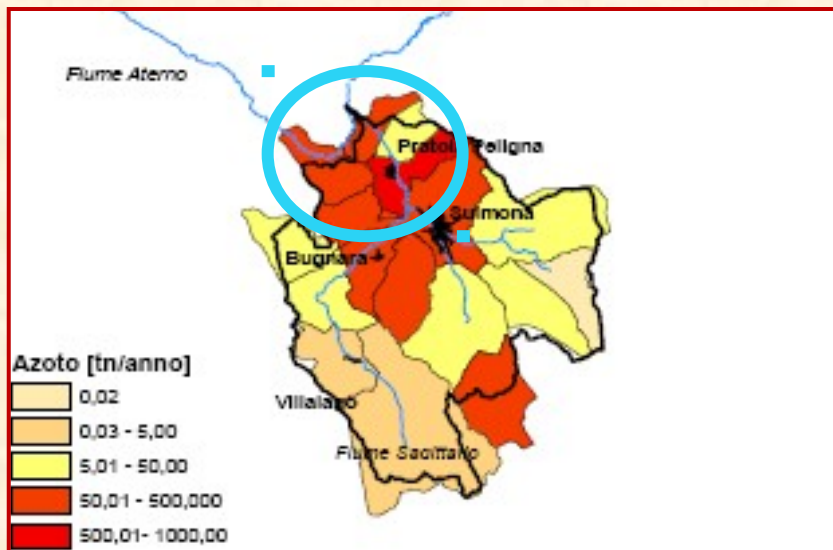
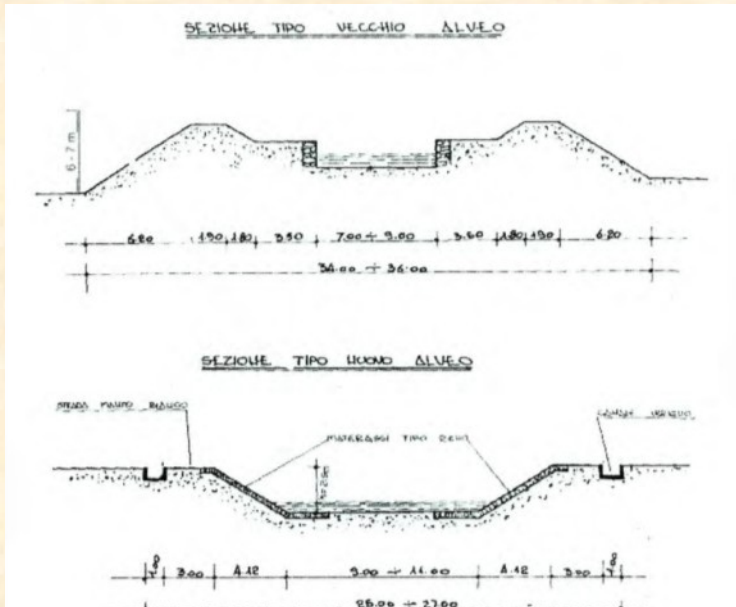
Dal coefficiente di esaurimento è possibile valutare le condizioni e i periodi entro cui il rilascio dell'esubero consente il rispetto del D.M.V. a valle della captazione (Stazione 1).



La possibilità di prevedere anno per anno la portata attesa durante la fase di esaurimento consente di poter aumentare la captazione acquedottistica, in aggiunta ai 150 L/s., modulando quando necessario la fase di esaurimento tramite i dreni in galleria

Changes at basin scale: hydrological and ecological implications in the **human impacted Sagittario River Basin (Central Italy)**





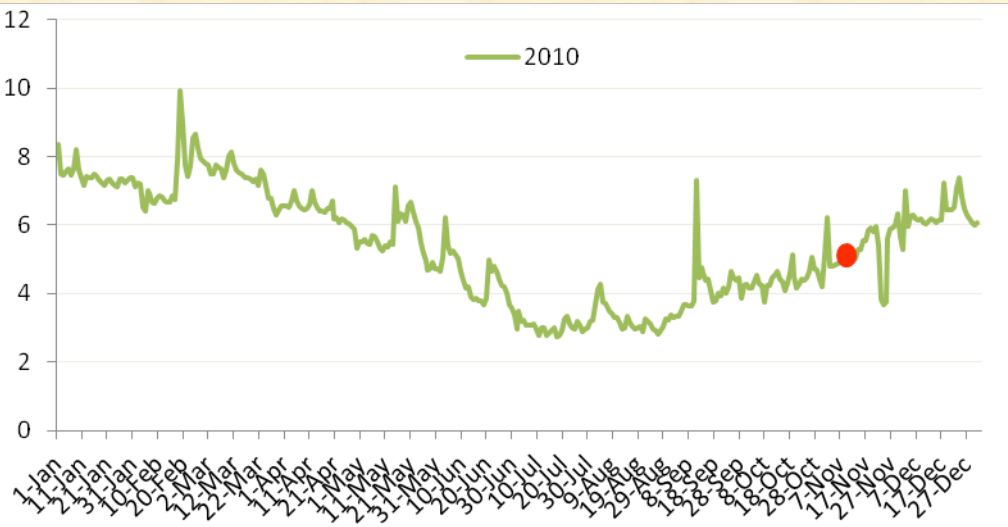
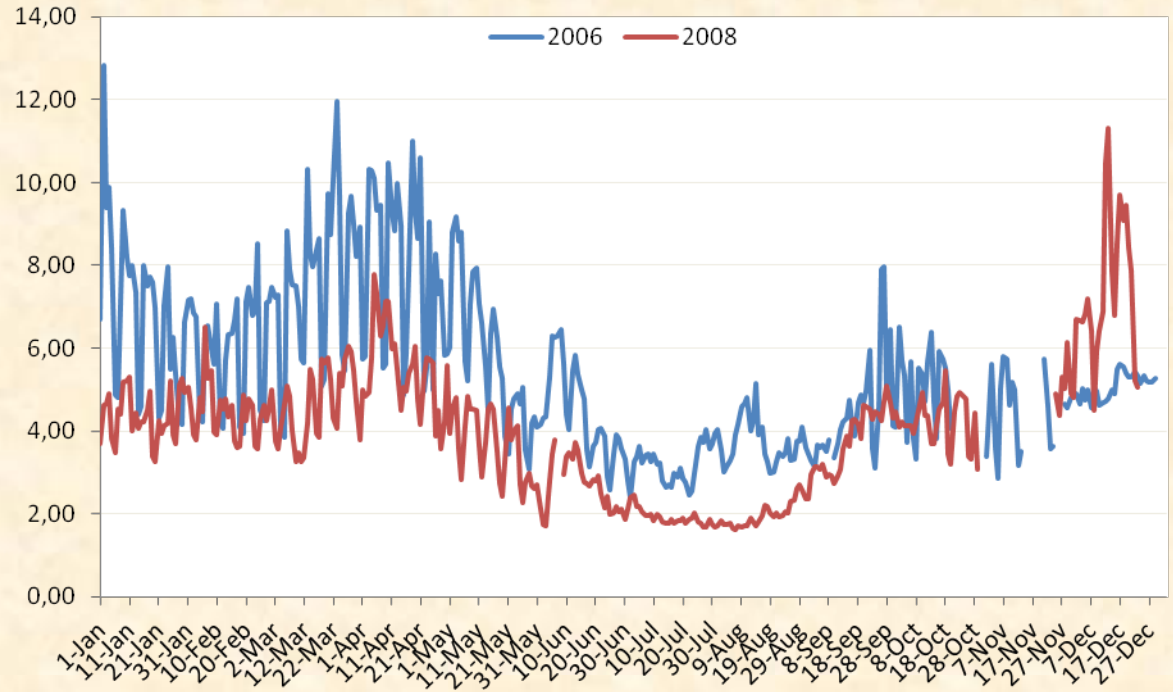
1- Artificial river bed

2- high-rate nitrogen compounds use for agricultural purposes

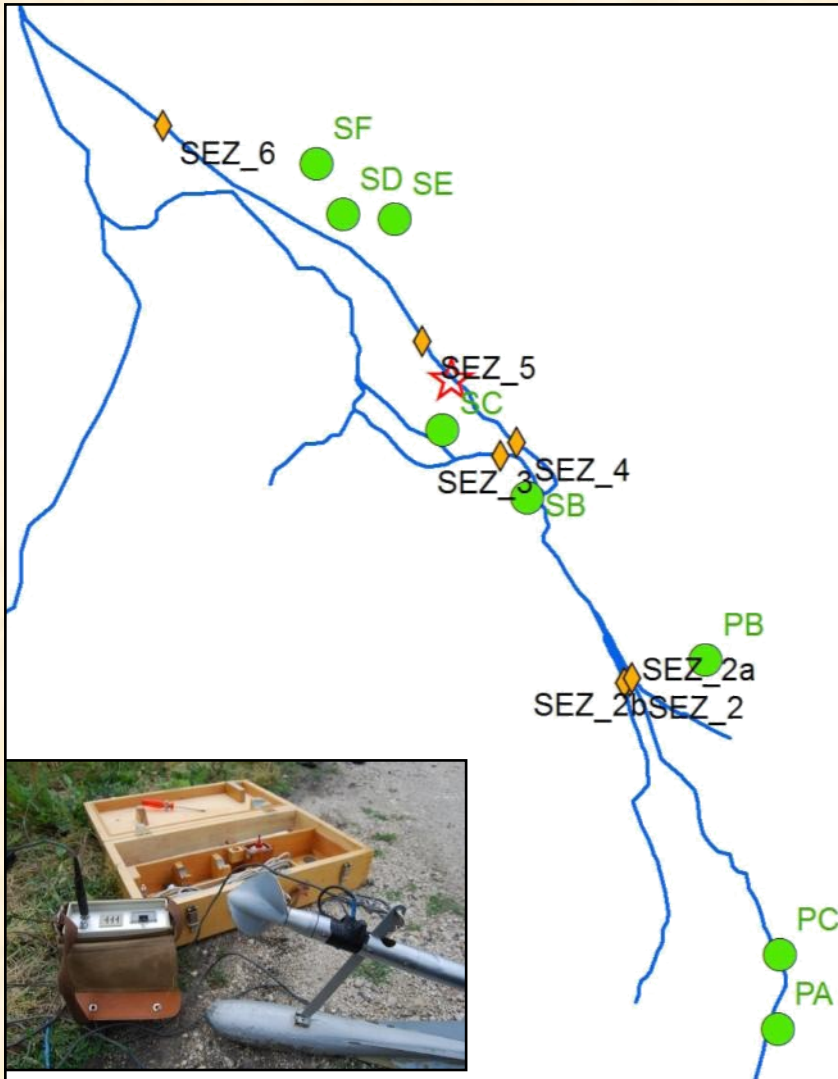
3- Limited diffusion of riparian zones for human interventions

4- Discharge regime strongly influenced by hydropower dams and by irrigation diversions

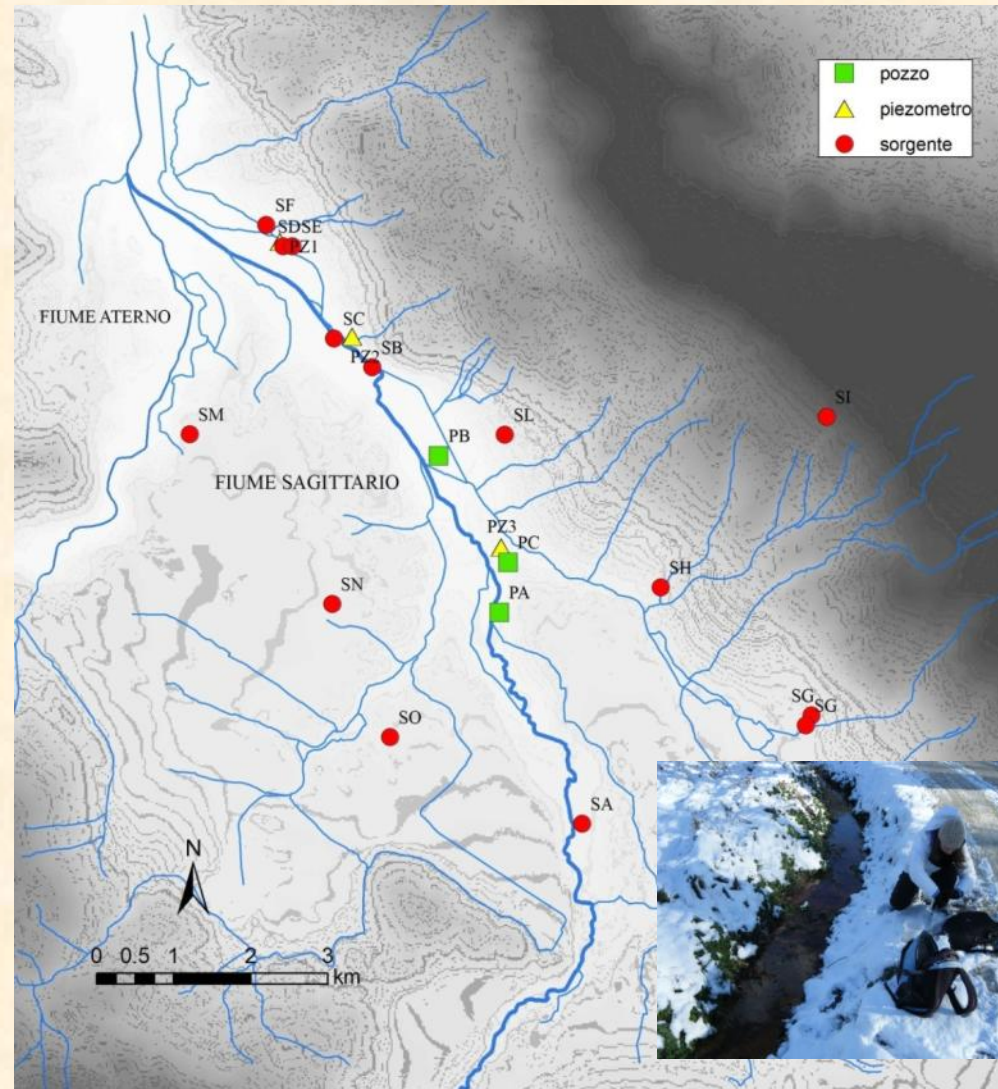
Human altered river discharge



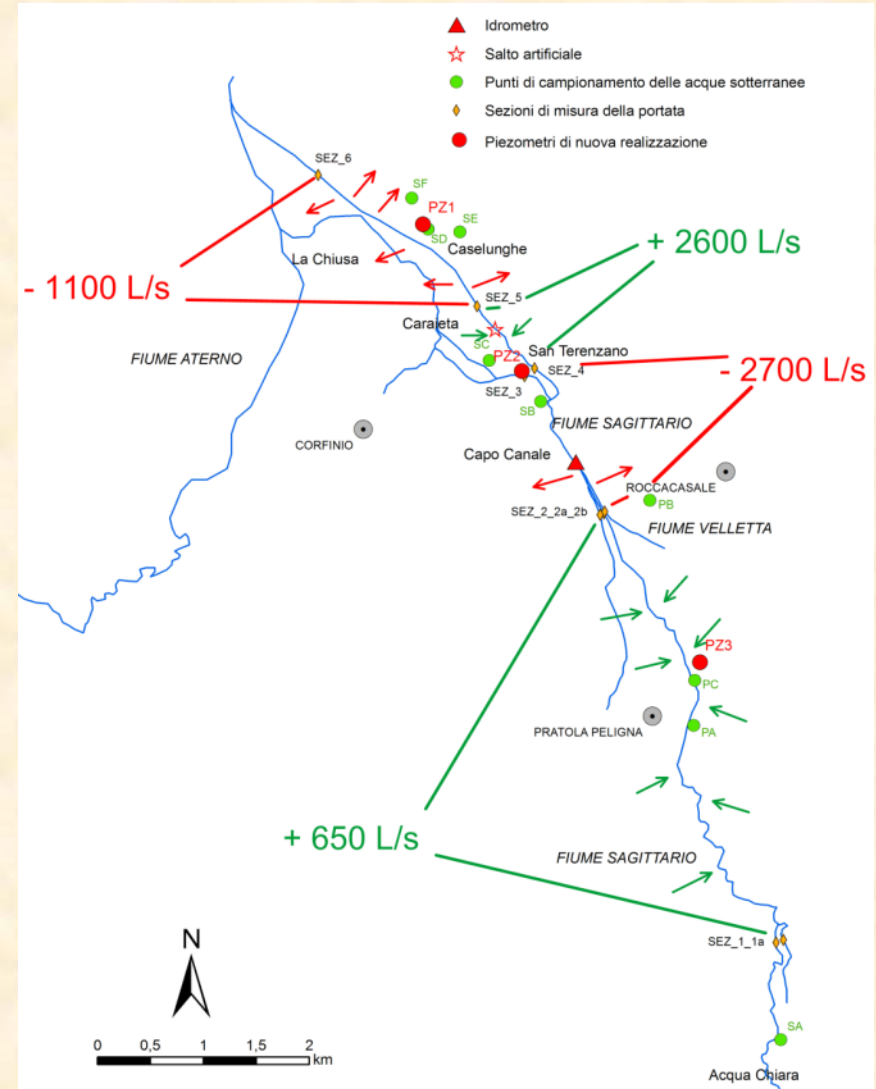
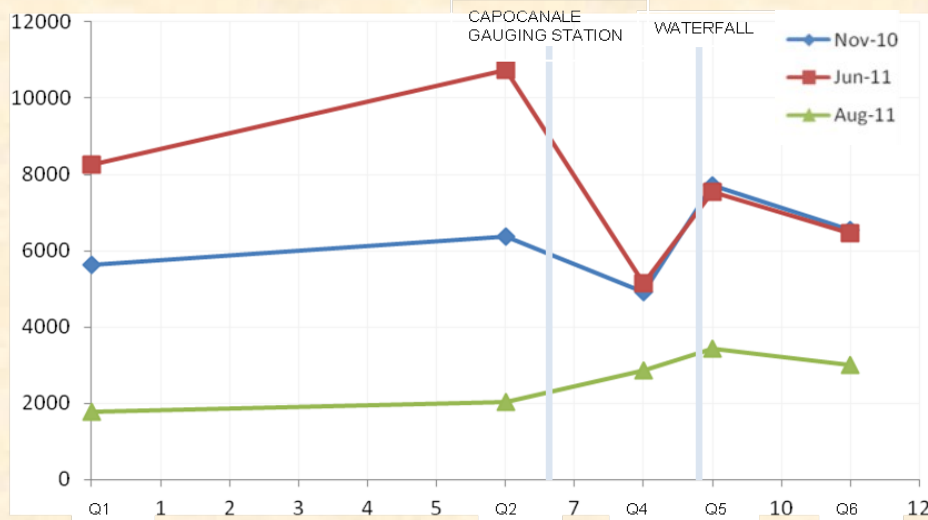
Hydrogeological study



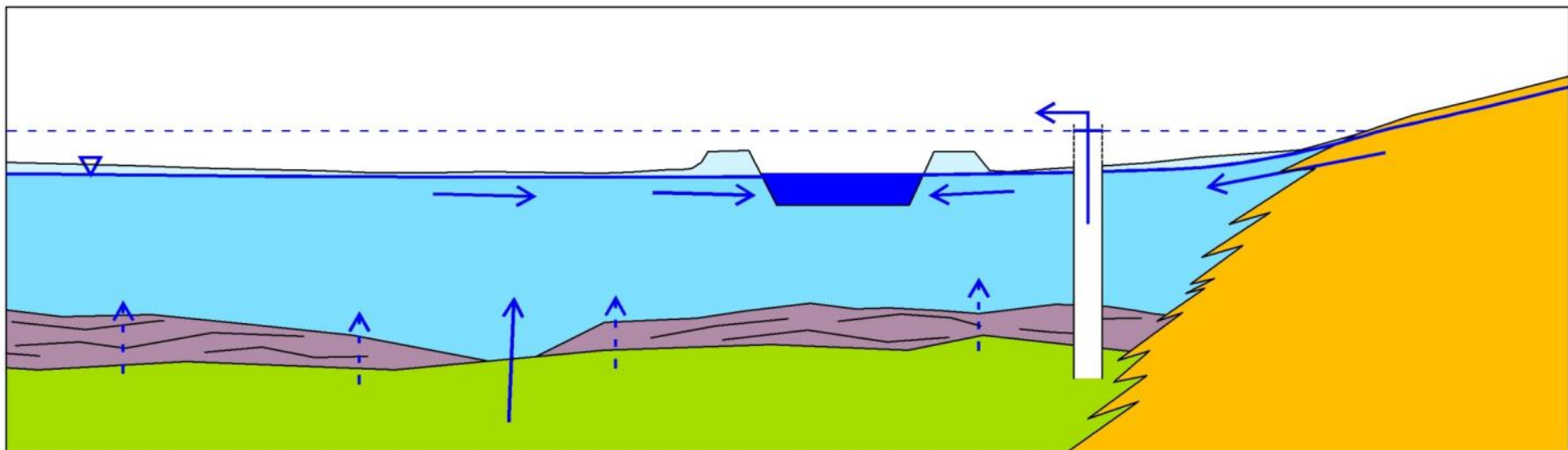
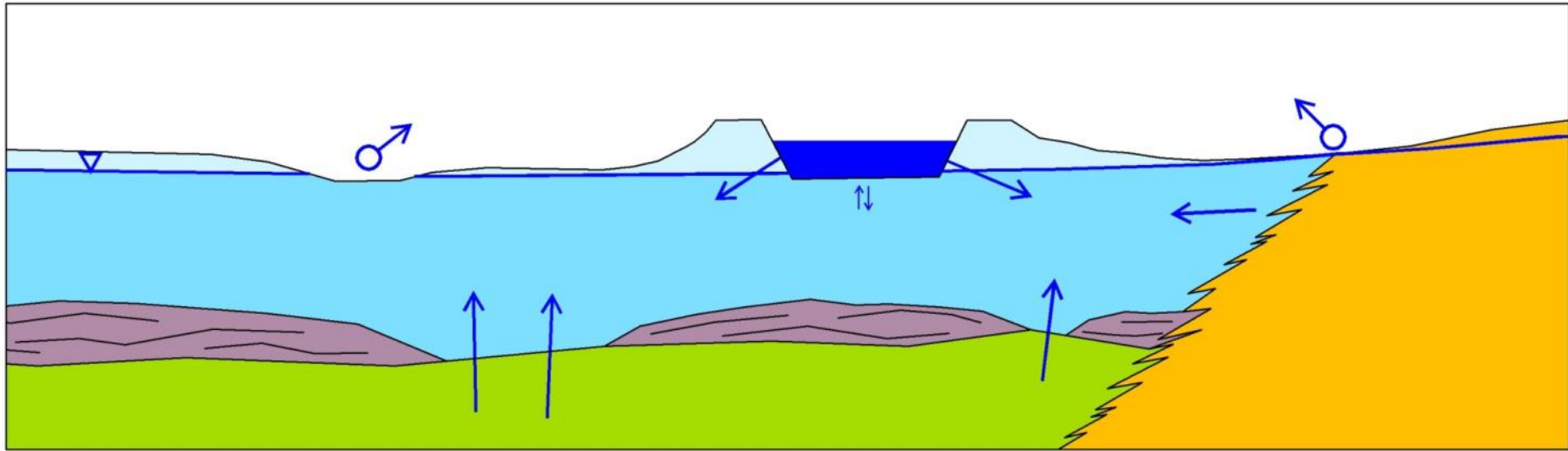
Hydrochemical and isotopic study



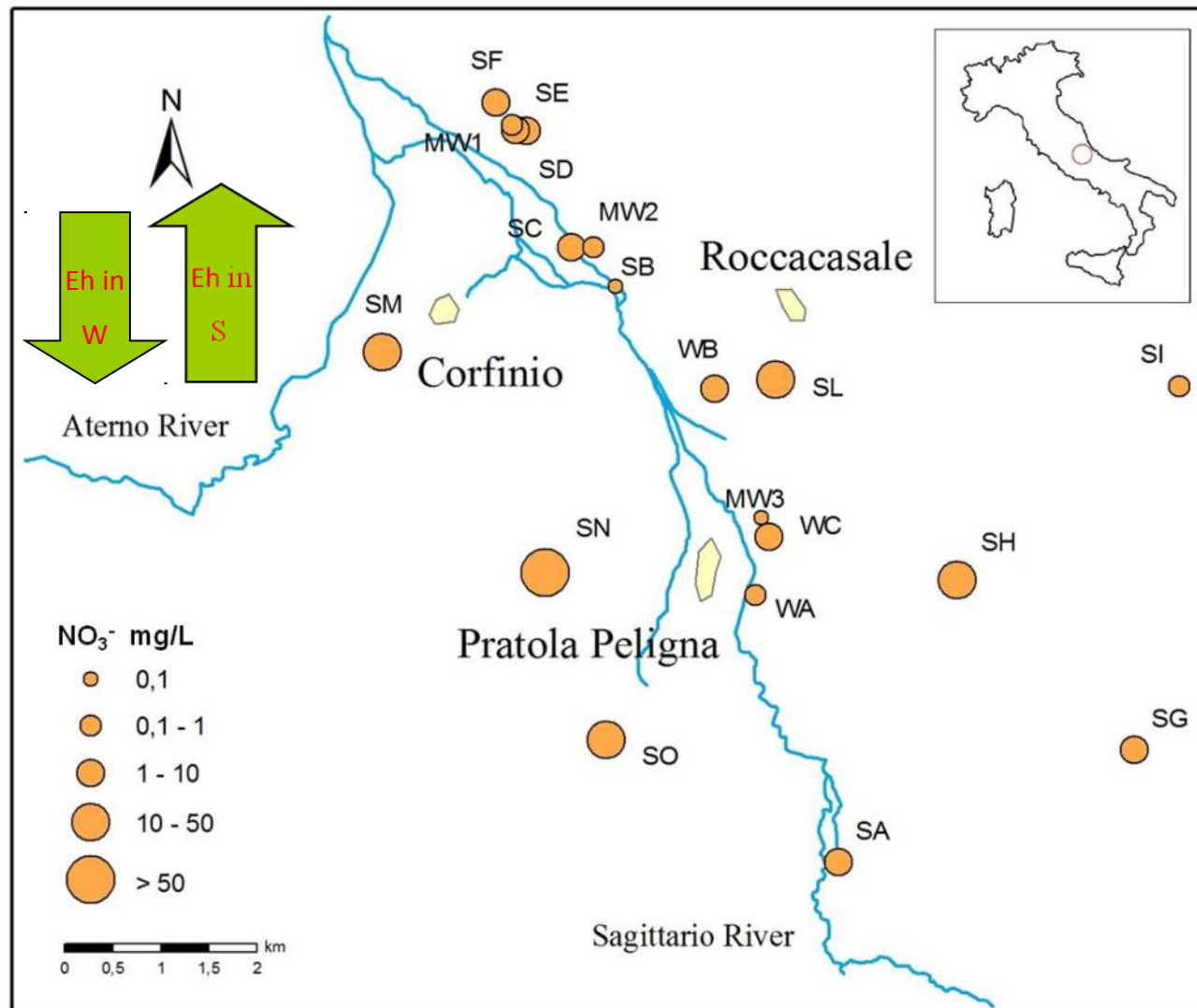
Discharge analysis: surface/groundwater interaction



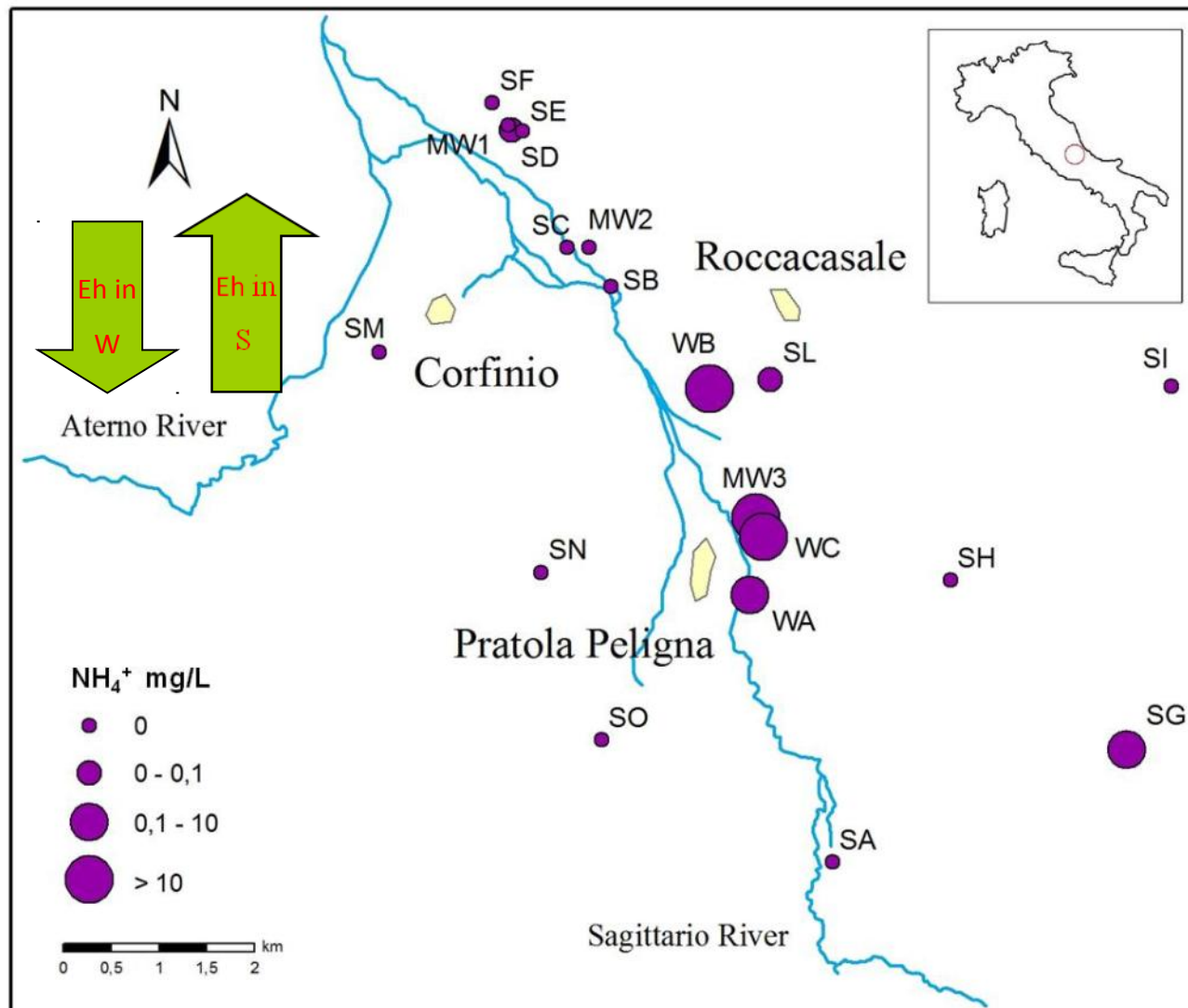
Groundwater flow conceptual model



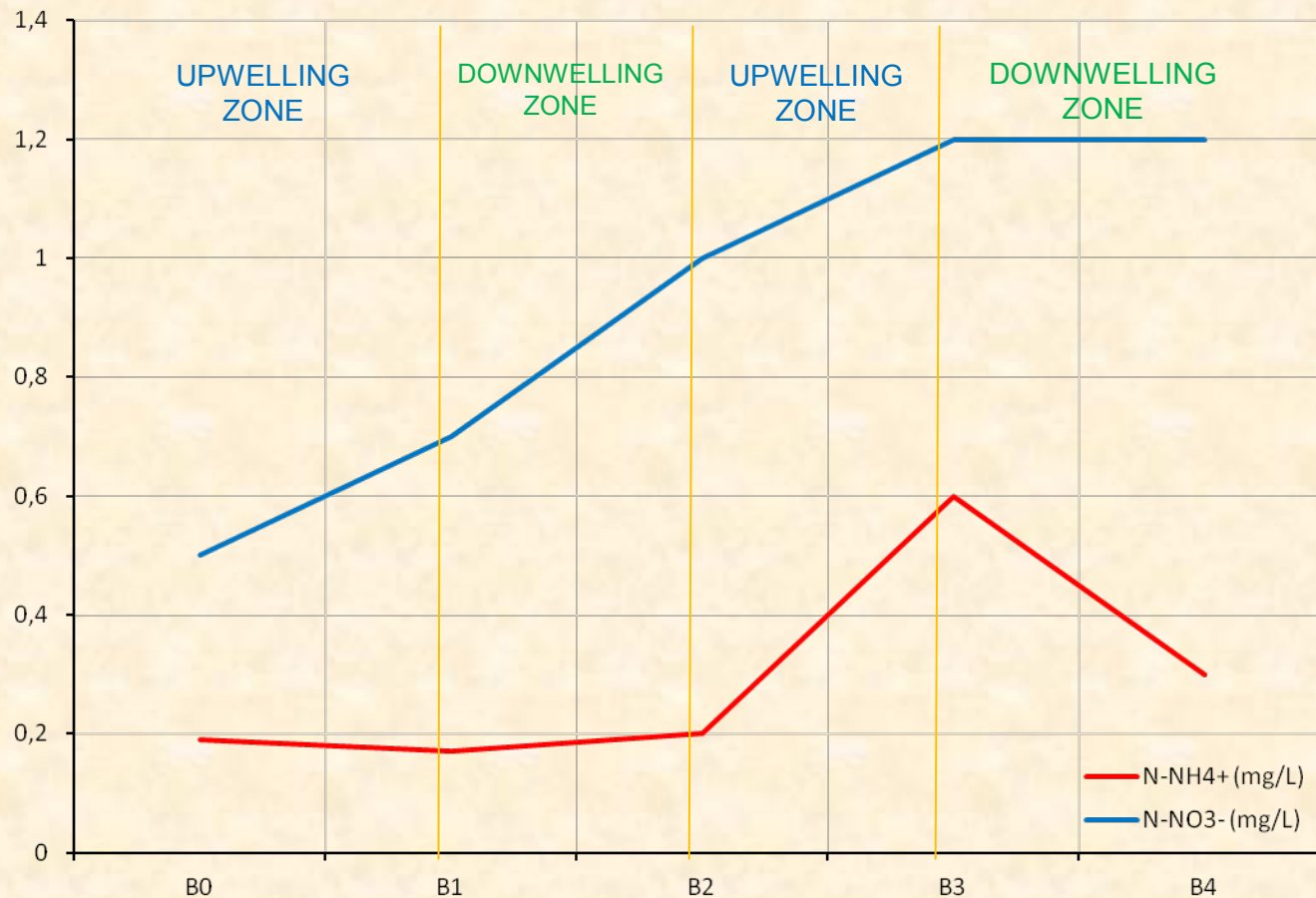
Nitrate distribution in groundwater and springs



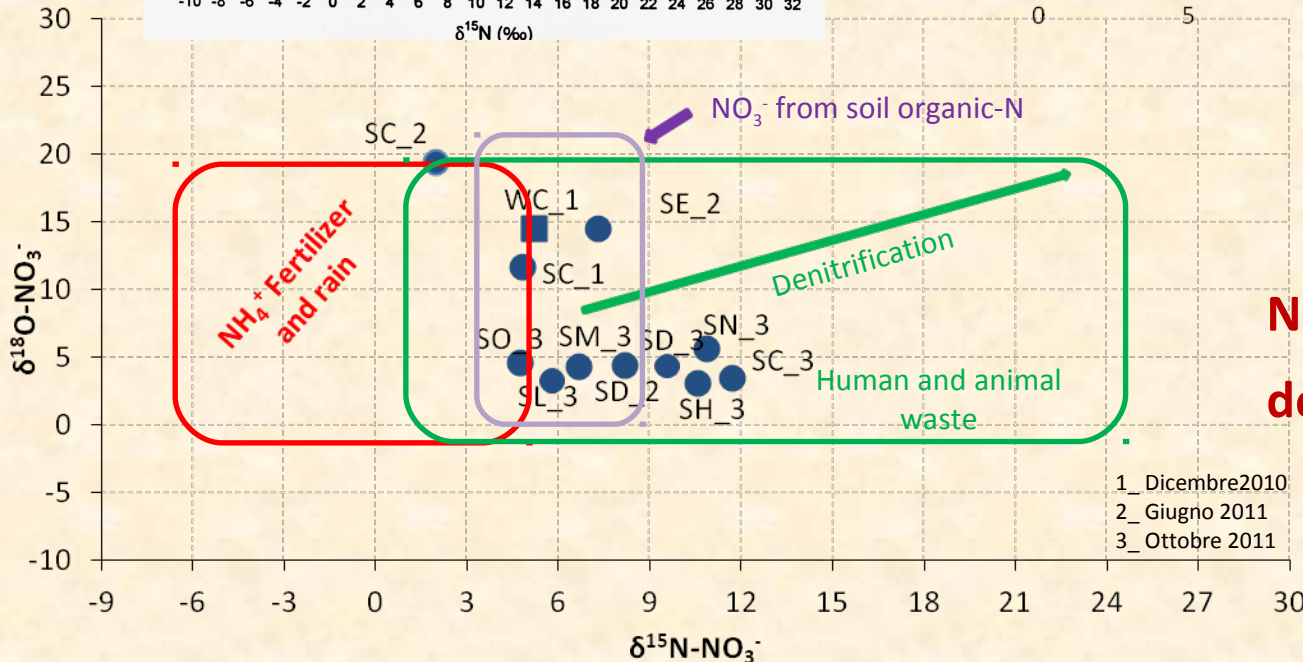
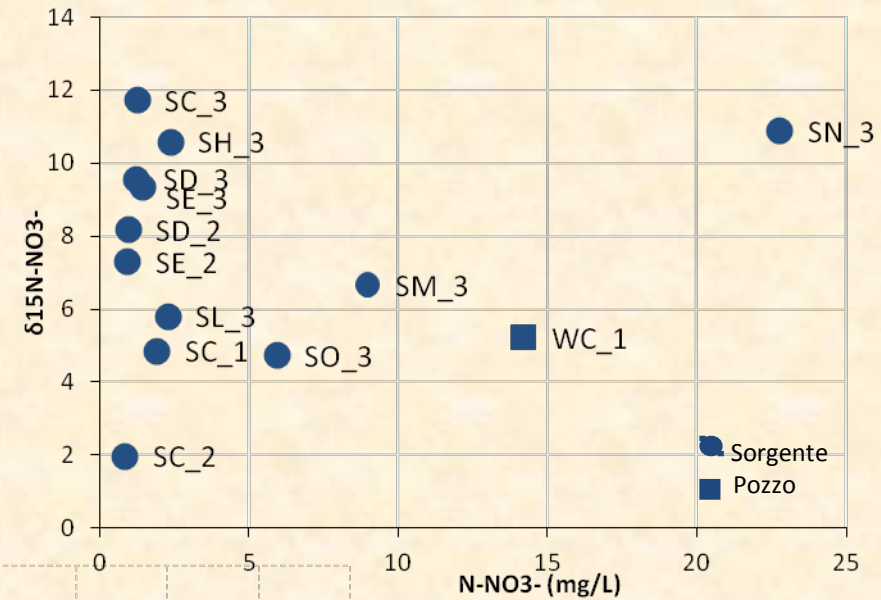
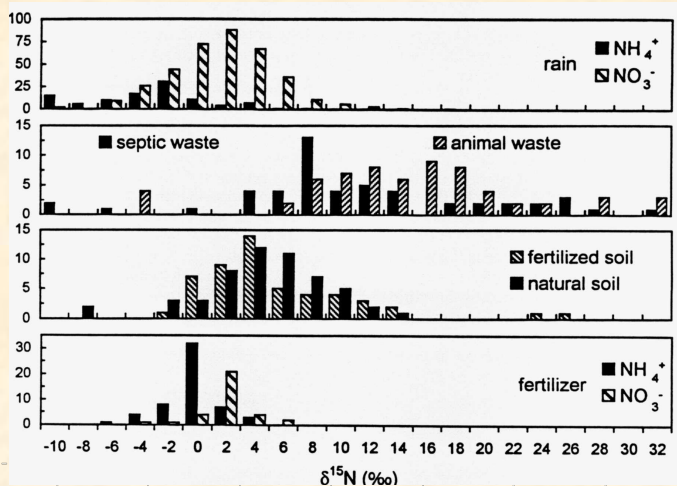
Ammonium distribution in groundwater and springs



Nitrogen compounds in stream waters: increase in upwelling zones (coming from groundwater?)

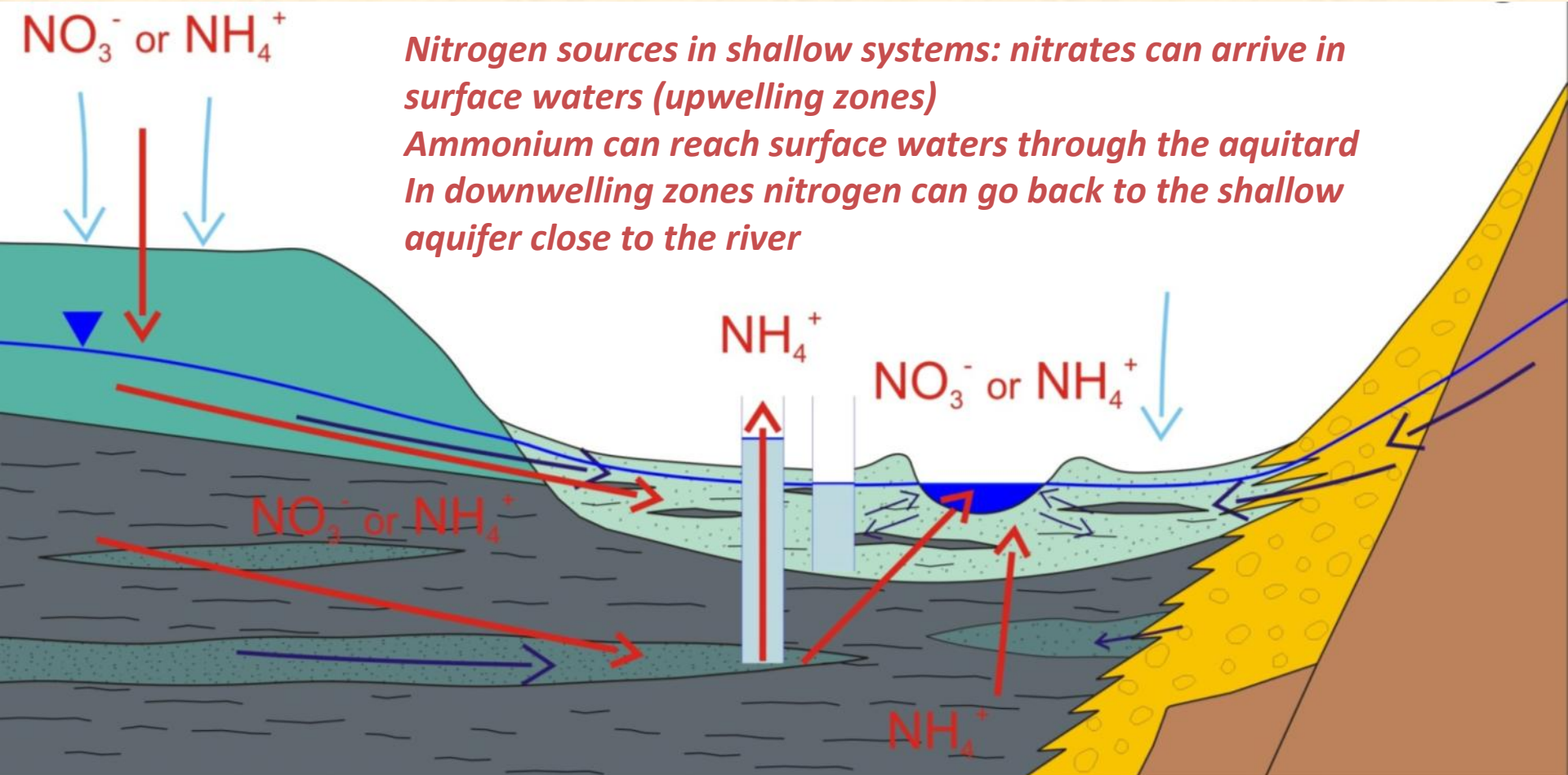


Nitrogen isotopes in GW

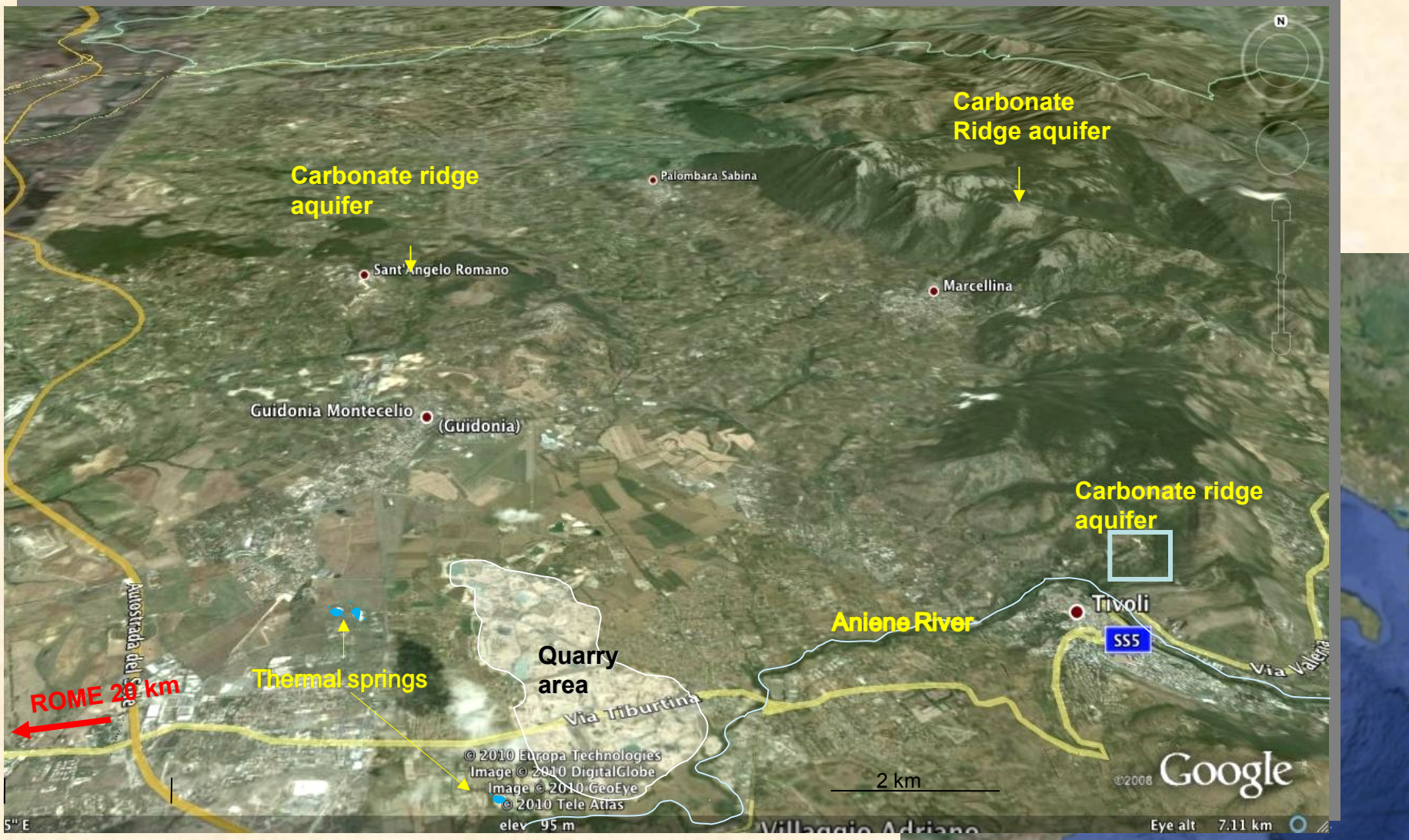


No evidences of denitrification processes

Nitrogen cycle at the GW/SW interaction



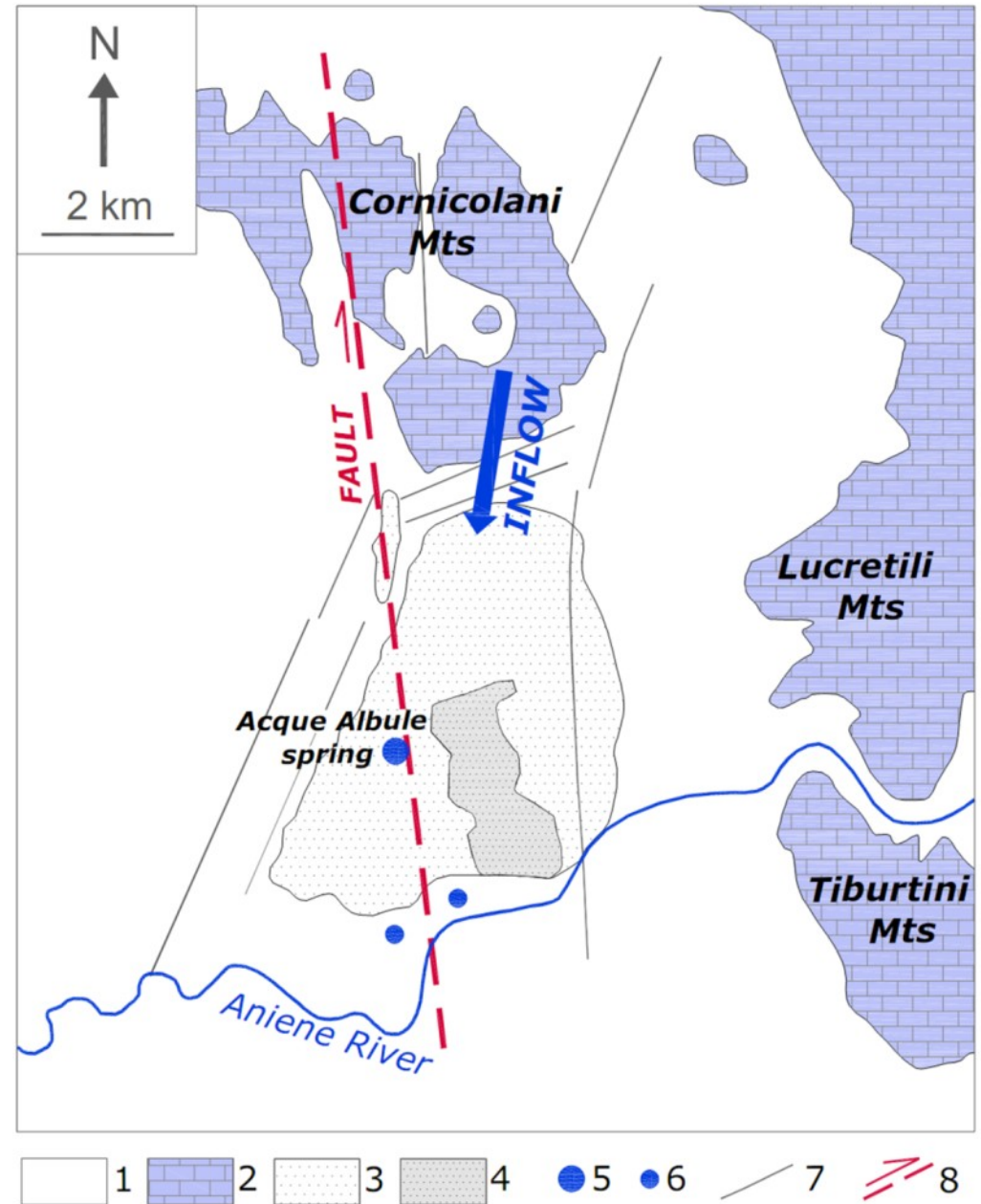
Urban areas affected by groundwater exploitation



Exploitation for quarry cultivation

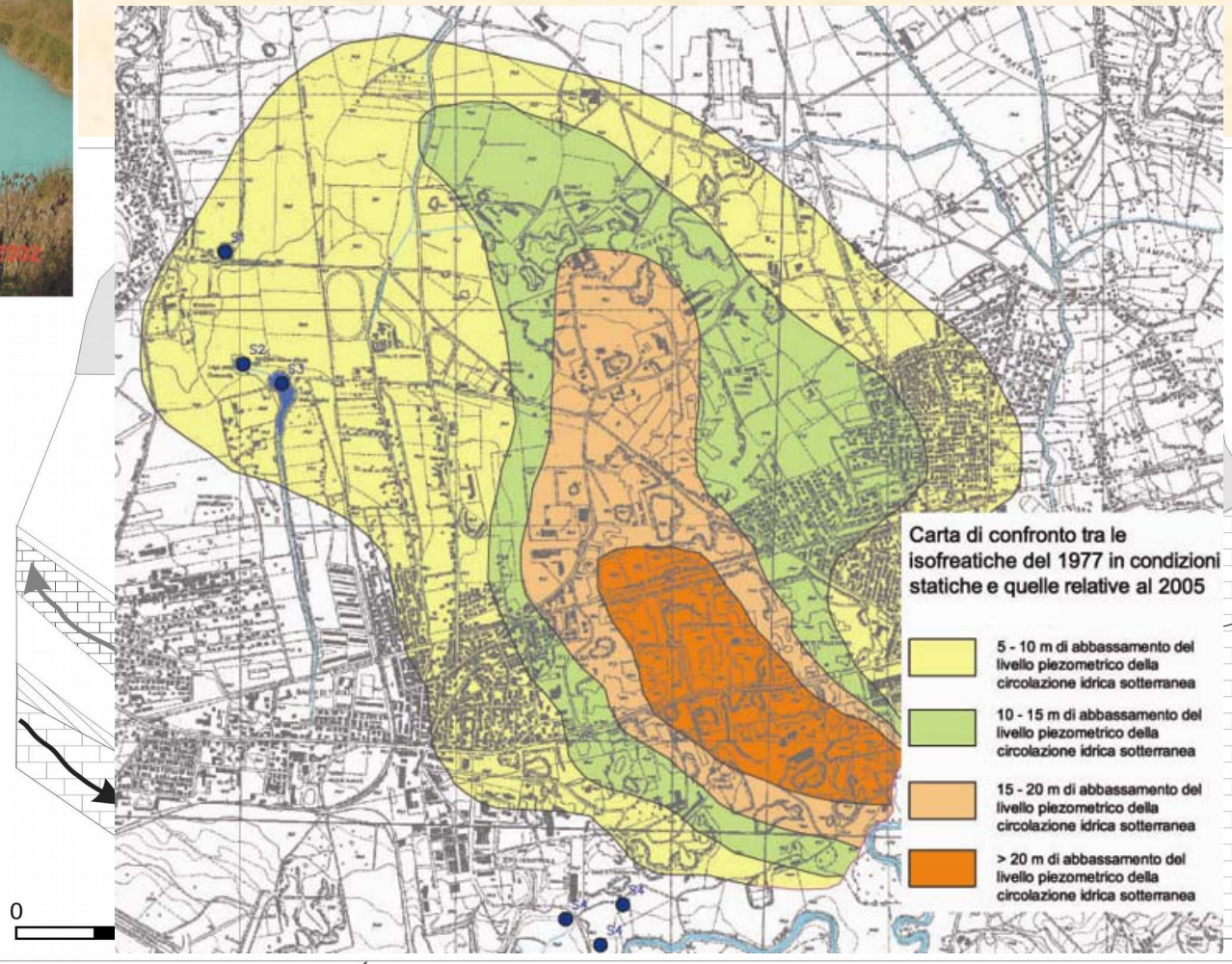
Neotectonic area with a basin filled by quaternary deposits and mainly by a travertine plateau (up to 80 m thick)

Surrounding carbonate ridge aquifers feed the travertine aquifer and main spring is located along the main fault





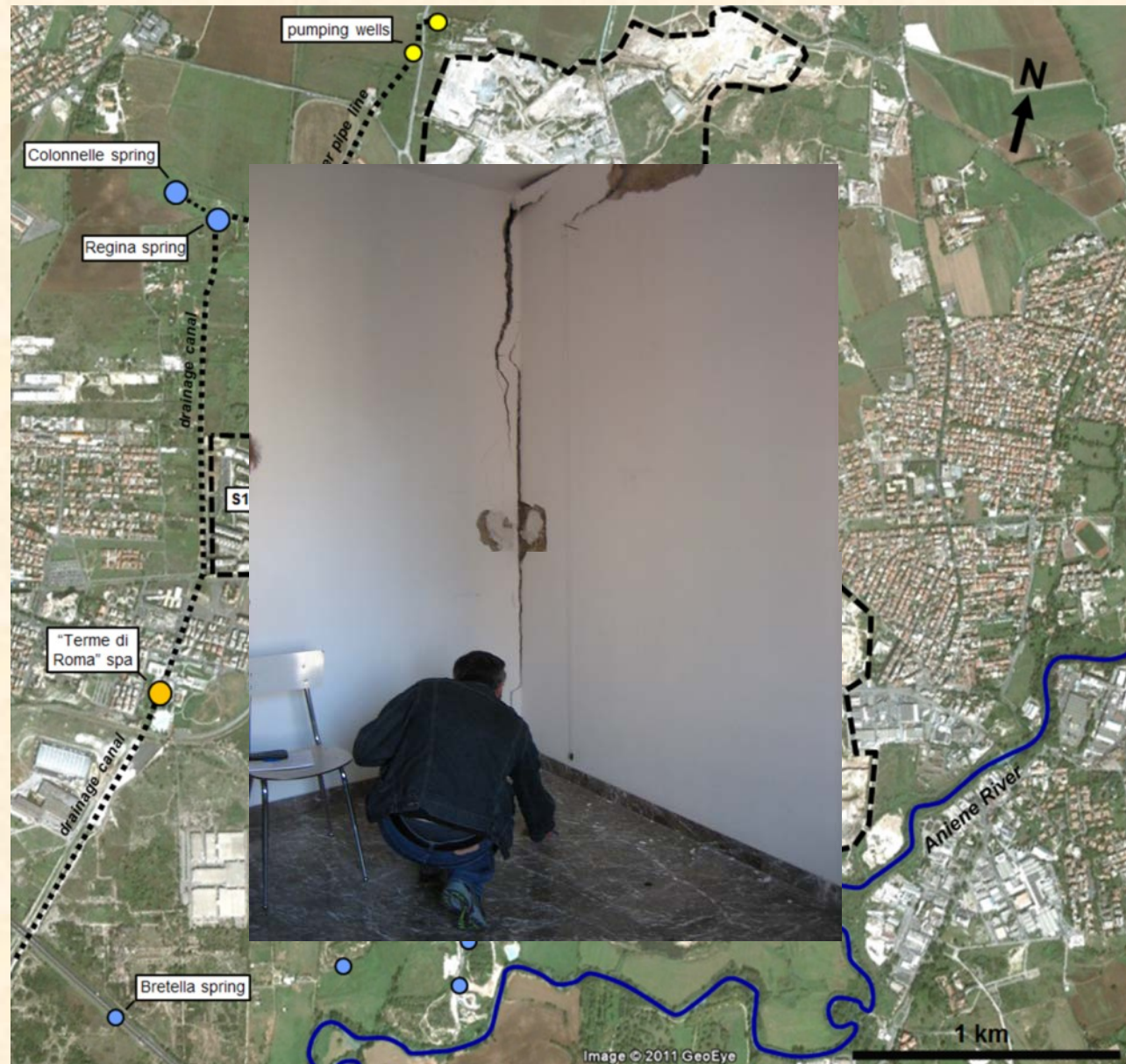
Hydrogeological setting



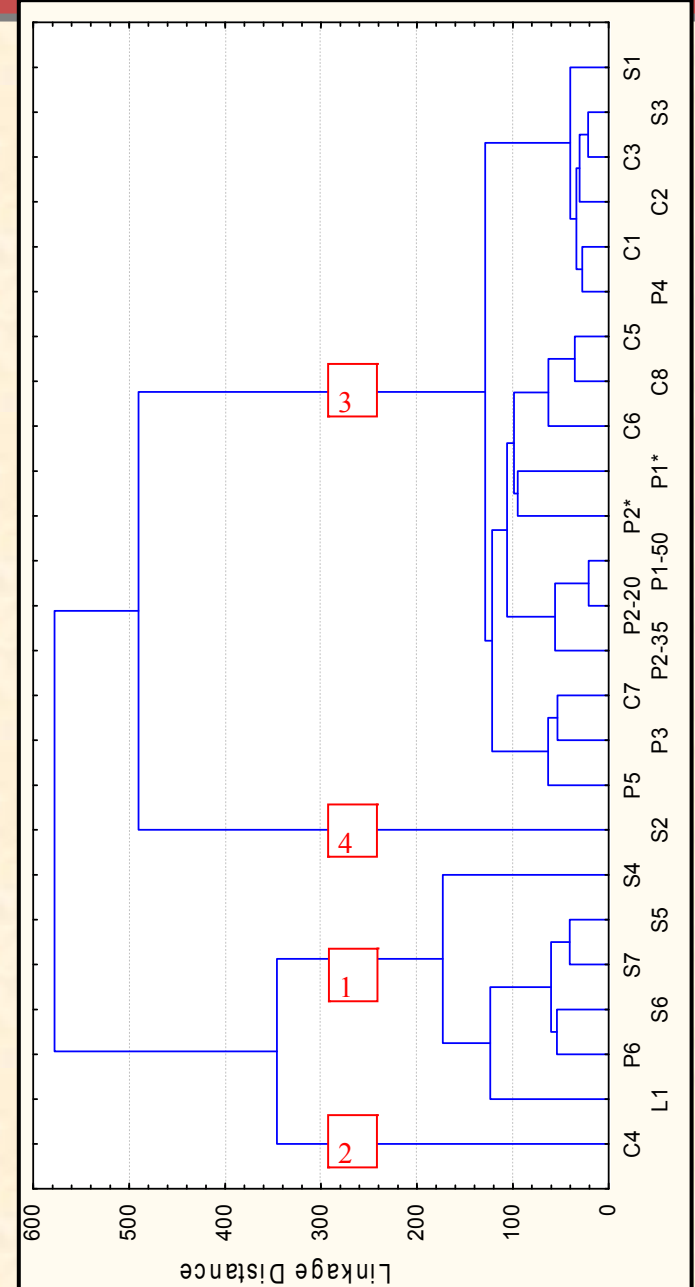
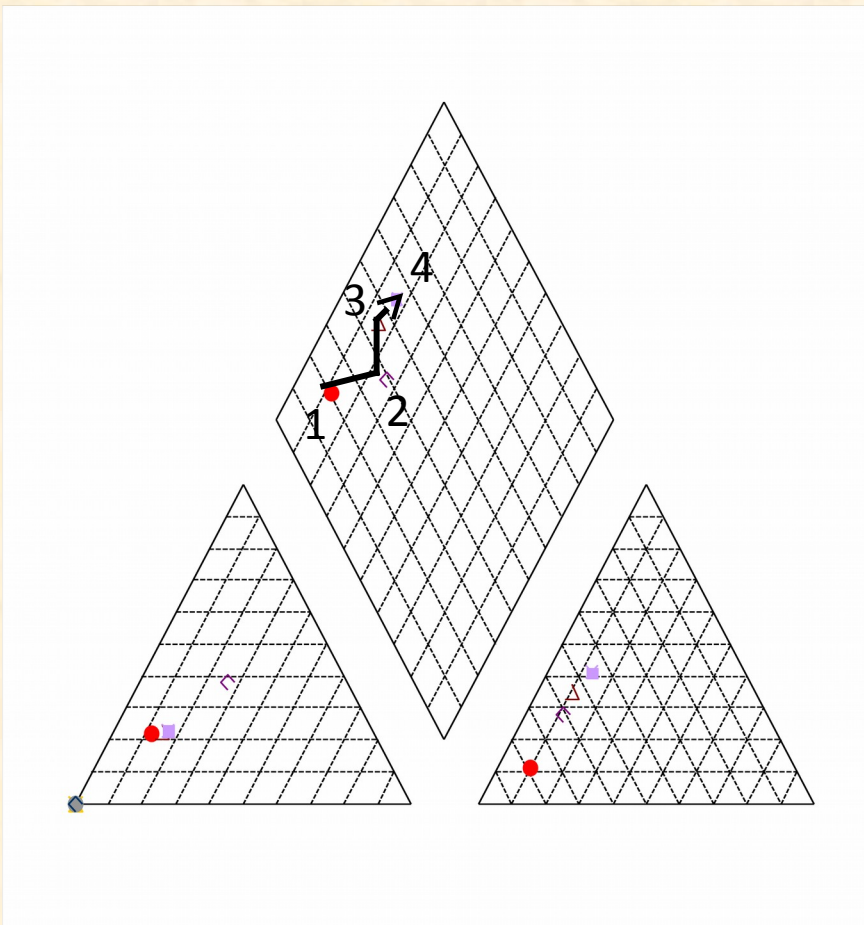
Different flowpaths
A, B and C are
related to different
aquifers, but have
probably the same
origin (from
outcropping
carbonate aquifers)

Interferences due to human activity

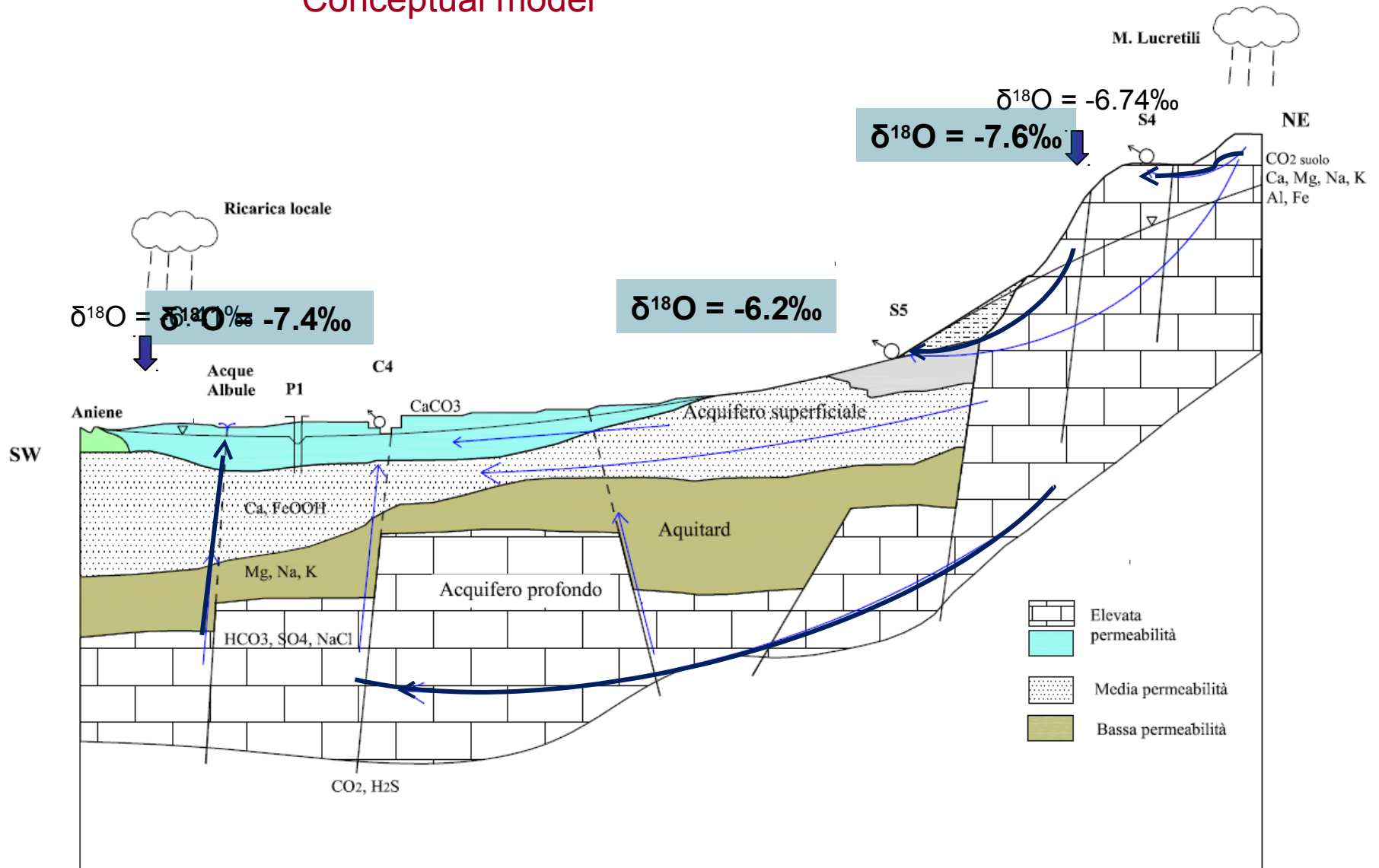
- Terme di Roma spa (up to 600 l/s only seasonally)
- Quarry area: up to 2500 L/s to allow travertine extraction
- Buildings realized in the '80, affected by damages due to land subsidence



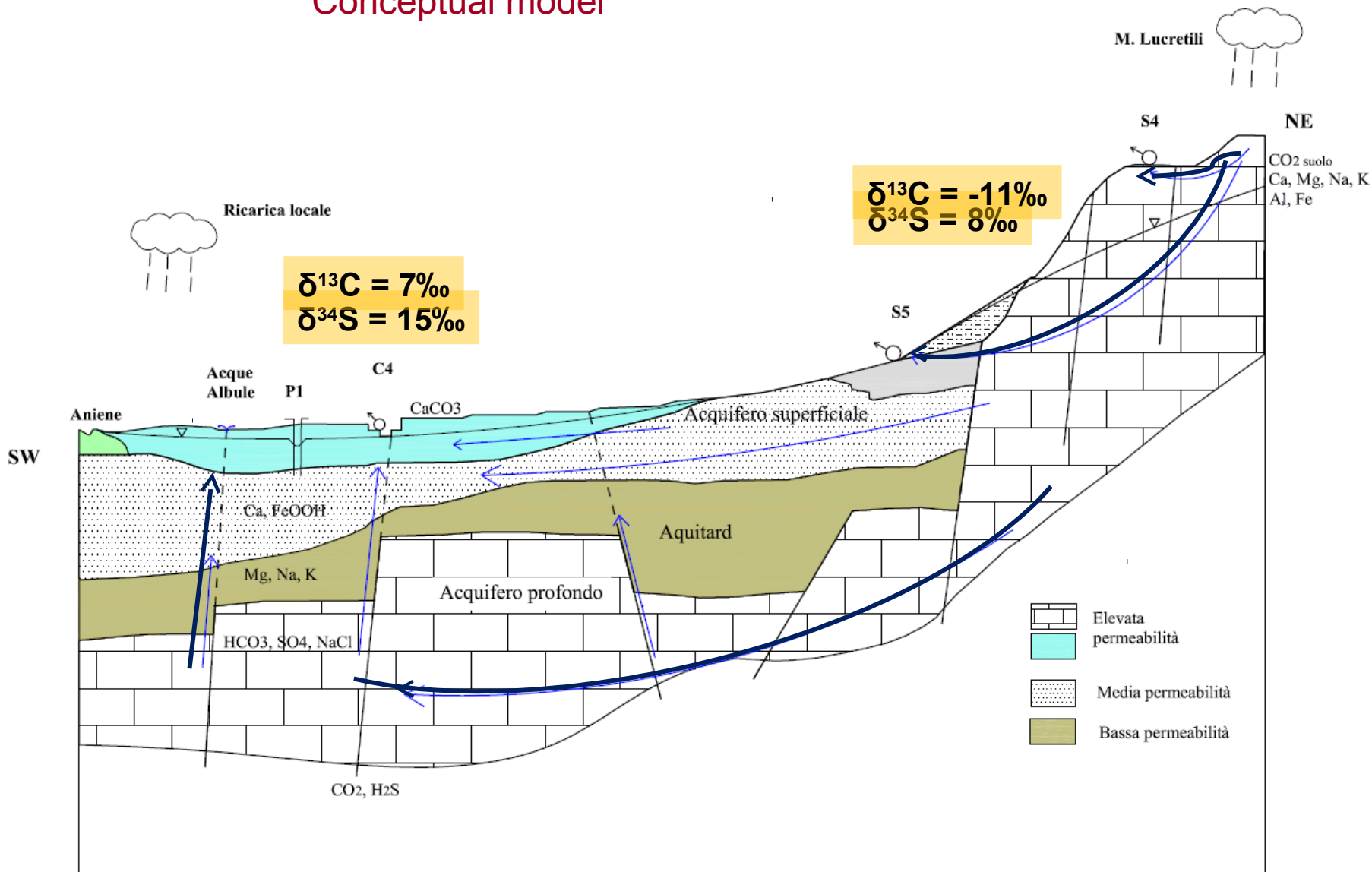
Geochemical and statistical analysis



Conceptual model

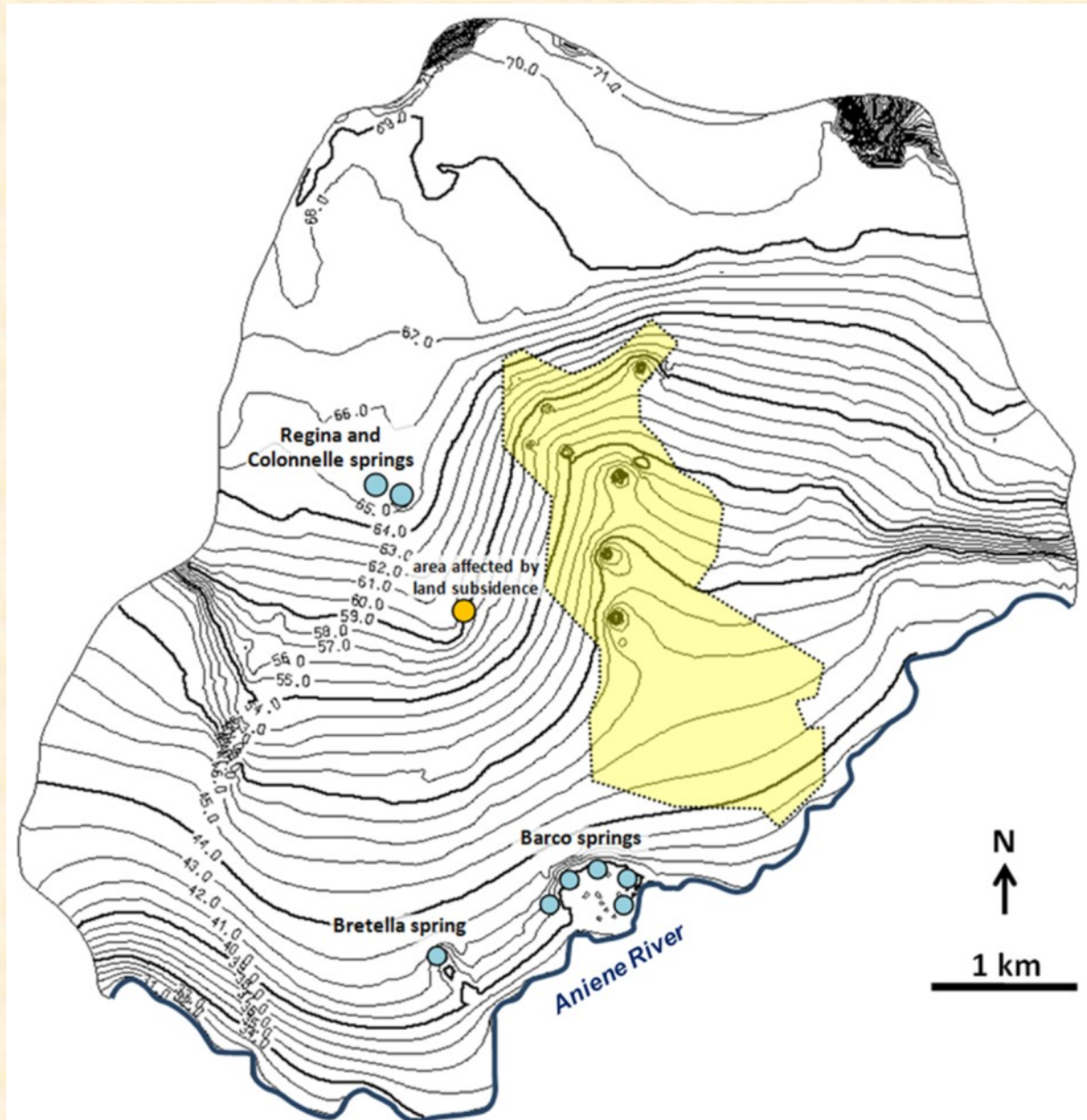


Conceptual model



Flow model calibration

- Good agreement between simulated and measured hydraulic heads
- Acque Albule spring discharge: mainly due to uplift contribution
- Piezometric lowering due to pumping in the quarries
- Original final destination of flow: Aniene River
- Due to the water table lowering, the Aniene River is currently losing water to the aquifer



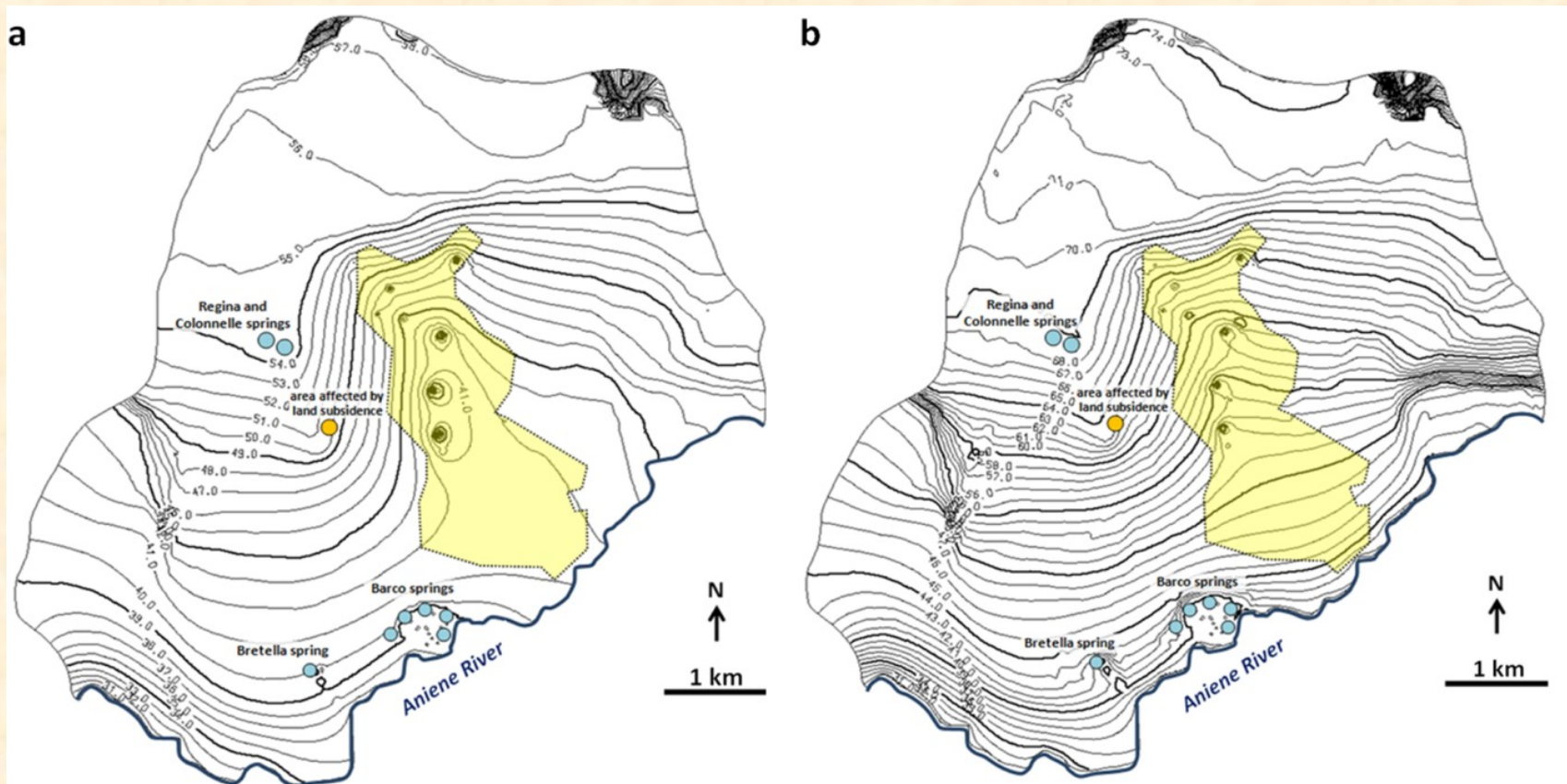
Flow model: future scenarios

a) impact of climate change (decreasing rainfall and recharge)

This scenario has direct consequences on surface/groundwater equilibrium:
the river is now feeding the aquifer!

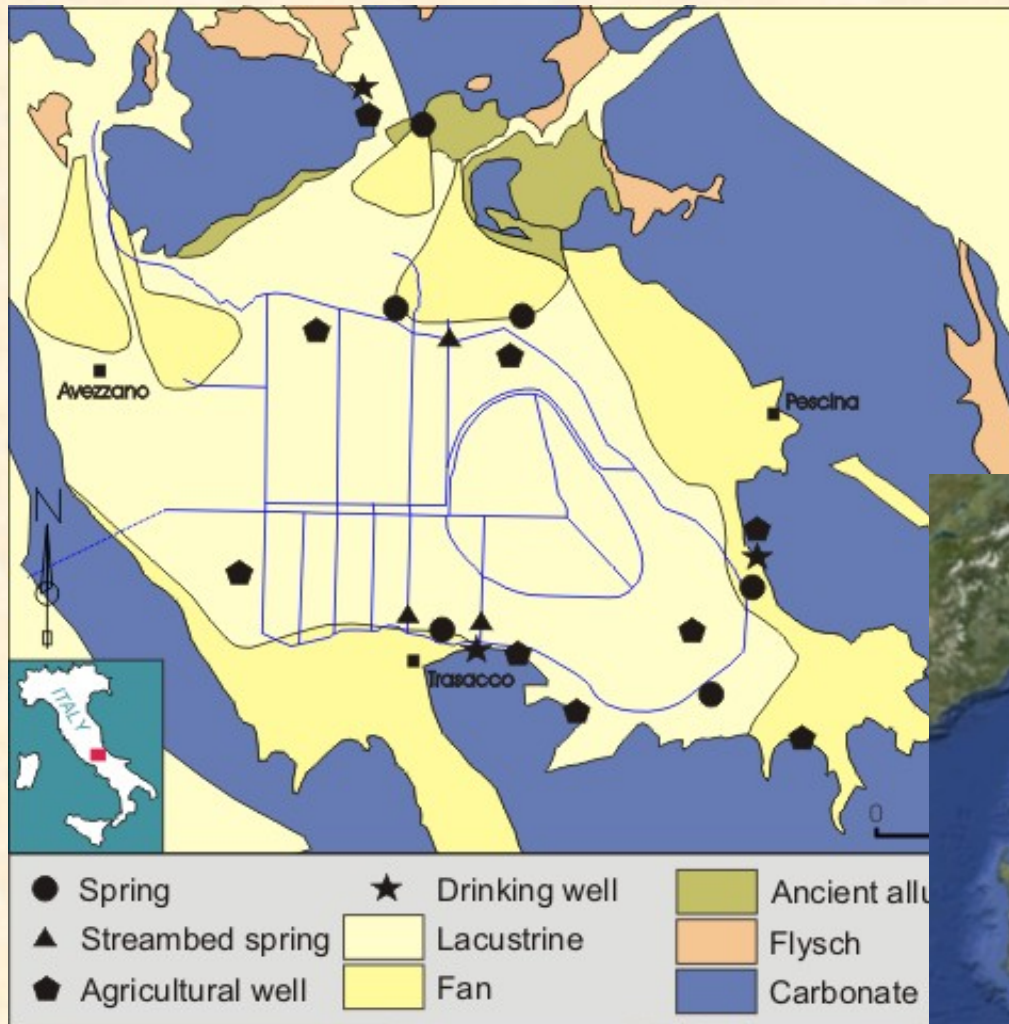
... and the hydrodynamic and geochemical system is rapidly changing

a) Reduced withdrawals from quarry area (limited impact): the best possible solution



INFLUENCES ON SW/GW INTERACTION IN AGRICULTURAL AREAS

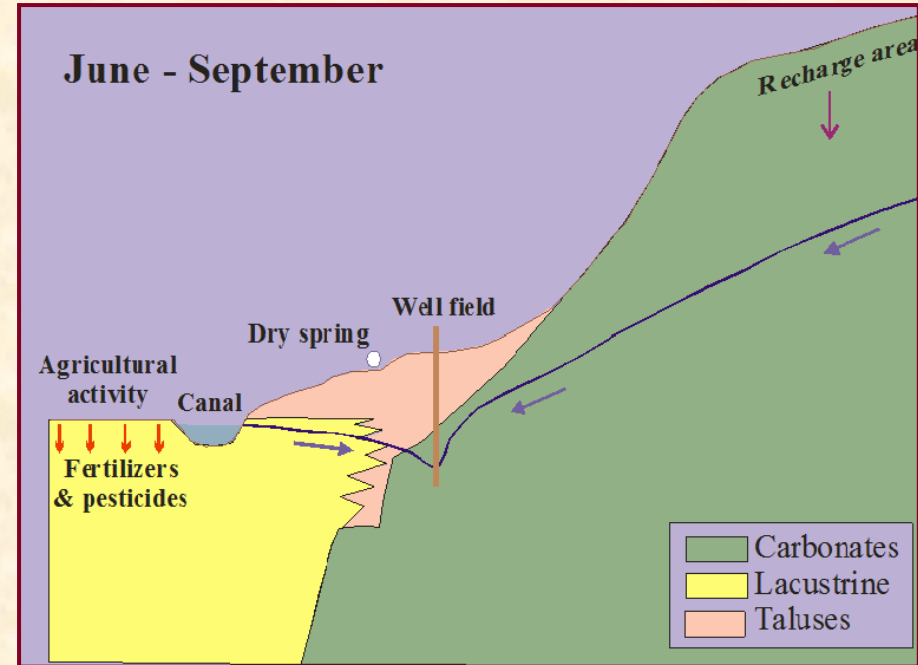
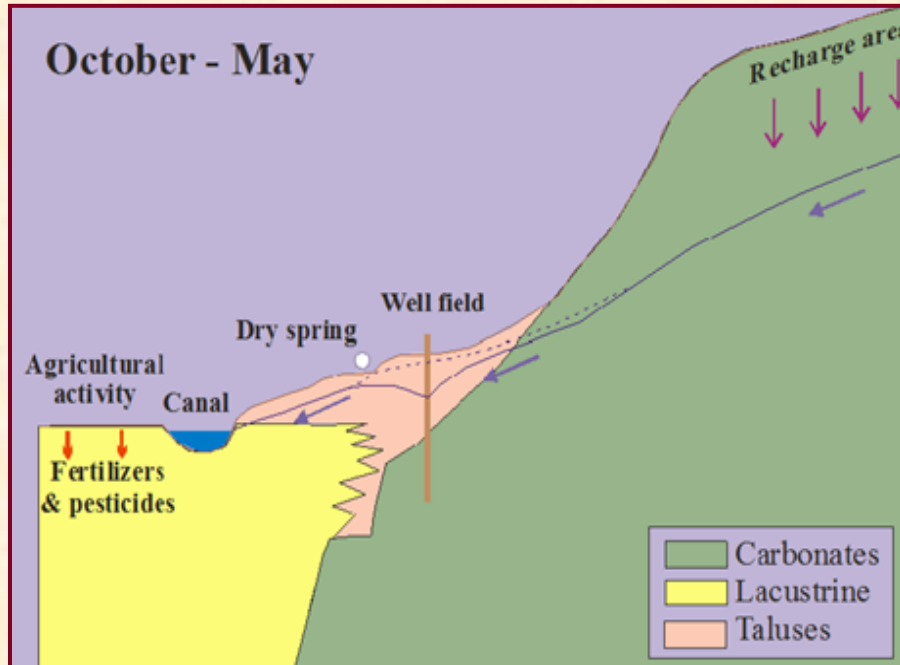
- ❑ Encircling carbonate ridges are the main aquifers
- ❑ Many springs fed the aquifers along the plain border
- ❑ Groundwater contribution into the canals
- ❑ Permeability variations into the Plain deposits
- ❑ Influent rivers show high discharge variability
- ❑ Main well-fields are located near springs
- ❑ Water uses are drinkable, industrial, agricultural and domestic



Historically occupied by Lake Fucino, after construction of a network of road and irrigation channels fed by runoff and spring waters, the Plain became one of the most important agricultural areas of central Italy



HYDROGEOLOGICAL CONCEPTUAL MODEL



Increasing water table depletion at the Plain border (lack of recharge/ increased pumping) could modify the groundwater flowpath



Could nitrates reach the capture zone of deep productive wells?

A seasonal-dependent conceptual model summarizes the nitrate cycle in the Fucino plain

