

Gli isotopi dello stronzio nello studio della interazione acqua-roccia e nella caratterizzazione di corpi idrici in acquiferi carbonatici.

Introduzione ed esempi

Riccardo Petrini

Università di Pisa

Dipartimento di Scienze della Terra

Franco Cucchi

Luca Zini

Francesca F. Slejko

DMG-Università di Trieste

La base del metodo

Lo Sr ha 4 isotopi naturali

Isotopo Abb. naturale (atom %)

^{84}Sr 0.56 (1)

^{86}Sr 9.86 (1)

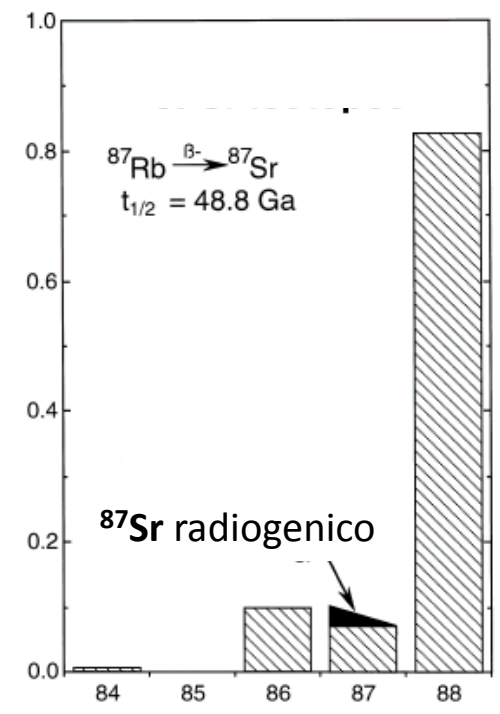
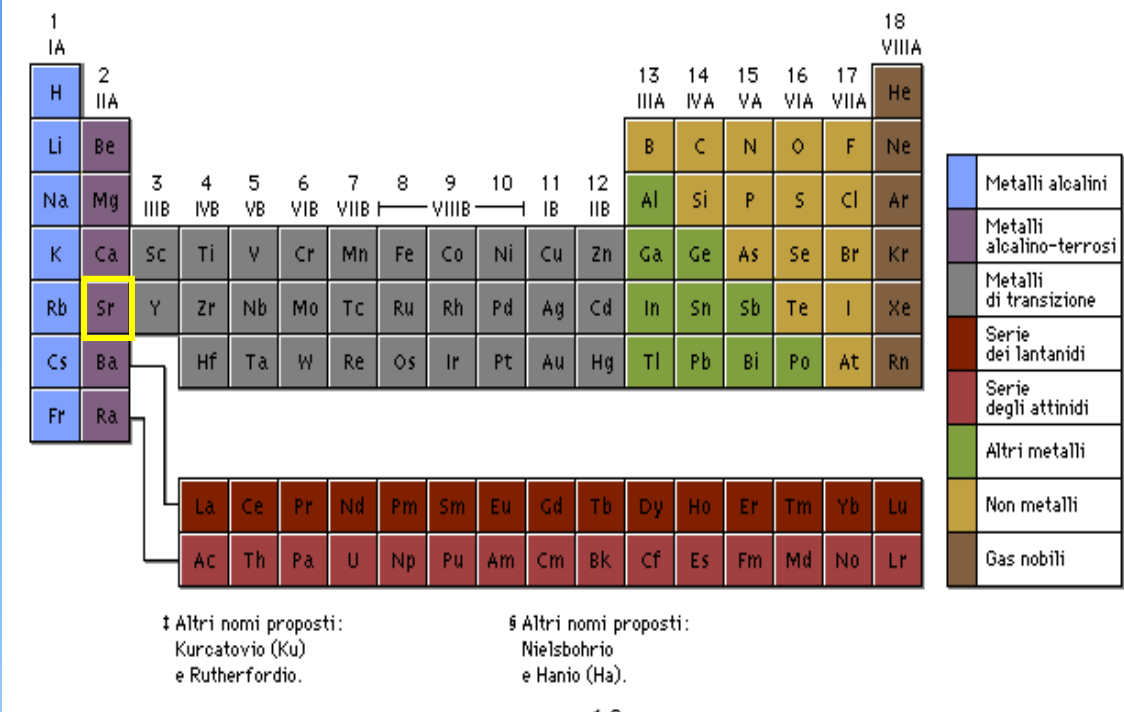
^{87}Sr **7.00 (1)**

^{88}Sr 82.58 (1)

L'isotopo ^{87}Sr radiogenico è prodotto dal decadimento spontaneo dell'isotopo ^{87}Rb

L'abbondanza relativa di ^{87}Sr è espressa dal rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, detto "composizione isotopica dello stronzio"

Nelle rocce il rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ è variabile e dipende dalla natura delle rocce stesse e dalla loro età geologica



Lo stronzio è un elemento chimicamente attivo nella interazione acqua-roccia ($N_D > 1$): la concentrazione e la composizione isotopica dello Sr disciolto in un'acqua cambiano in funzione della natura dell'acquifero e delle modalità di circolazione

Numero di Damköhler (N_D)

$$N_D = \frac{l M R_d C_s}{v C_f} = \frac{l}{v} \frac{J_{tot}}{C_f}$$

R_d = somma pesata delle cinetiche di dissoluzione delle singole fasi minerali

C_s = concentrazione dell'elemento nel solido totale

l = distanza percorsa dal flusso

C_f = concentrazione dell'elemento nel fluido

v = velocità del flusso

J_{tot} = totale delle reazioni di scambio per unità di volume di fluido

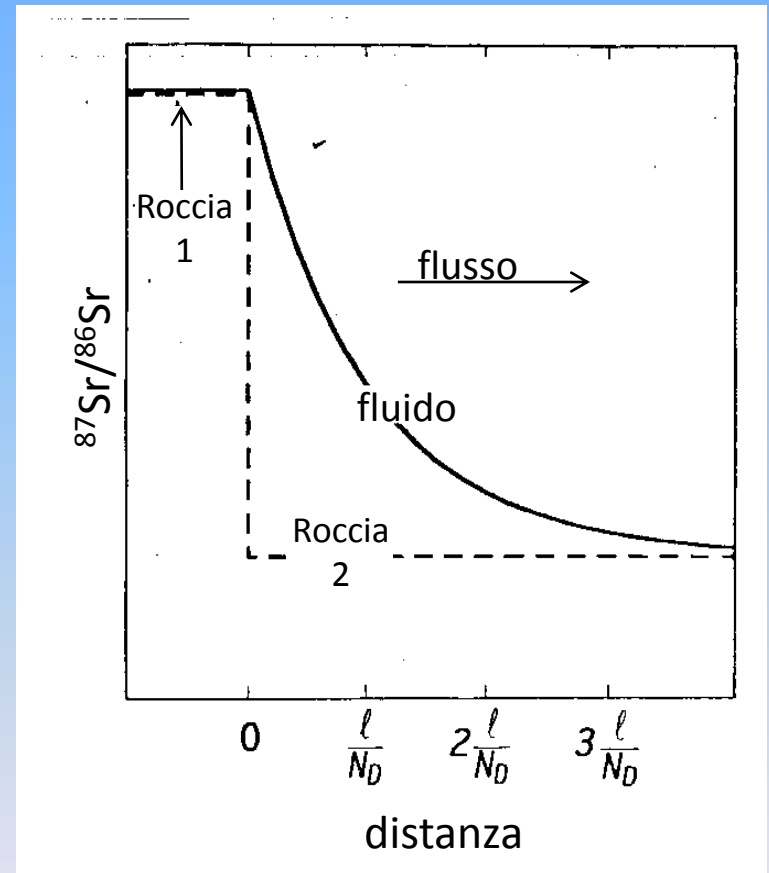
$$M = \frac{(1-\phi)\rho_s}{\phi\rho_f S_w}$$

ϕ = porosità

ρ_s = densità del solido

ρ_f = densità del fluido

S_w = rapporto di saturazione



Esempi

1-Risorse termali in acquiferi carbonatici

Le maggiori riserve geotermiche sono generalmente associate ad aree di vulcanismo attivo o recente, nelle quali il calore è trasferito direttamente dalla riserva magmatica ai fluidi.

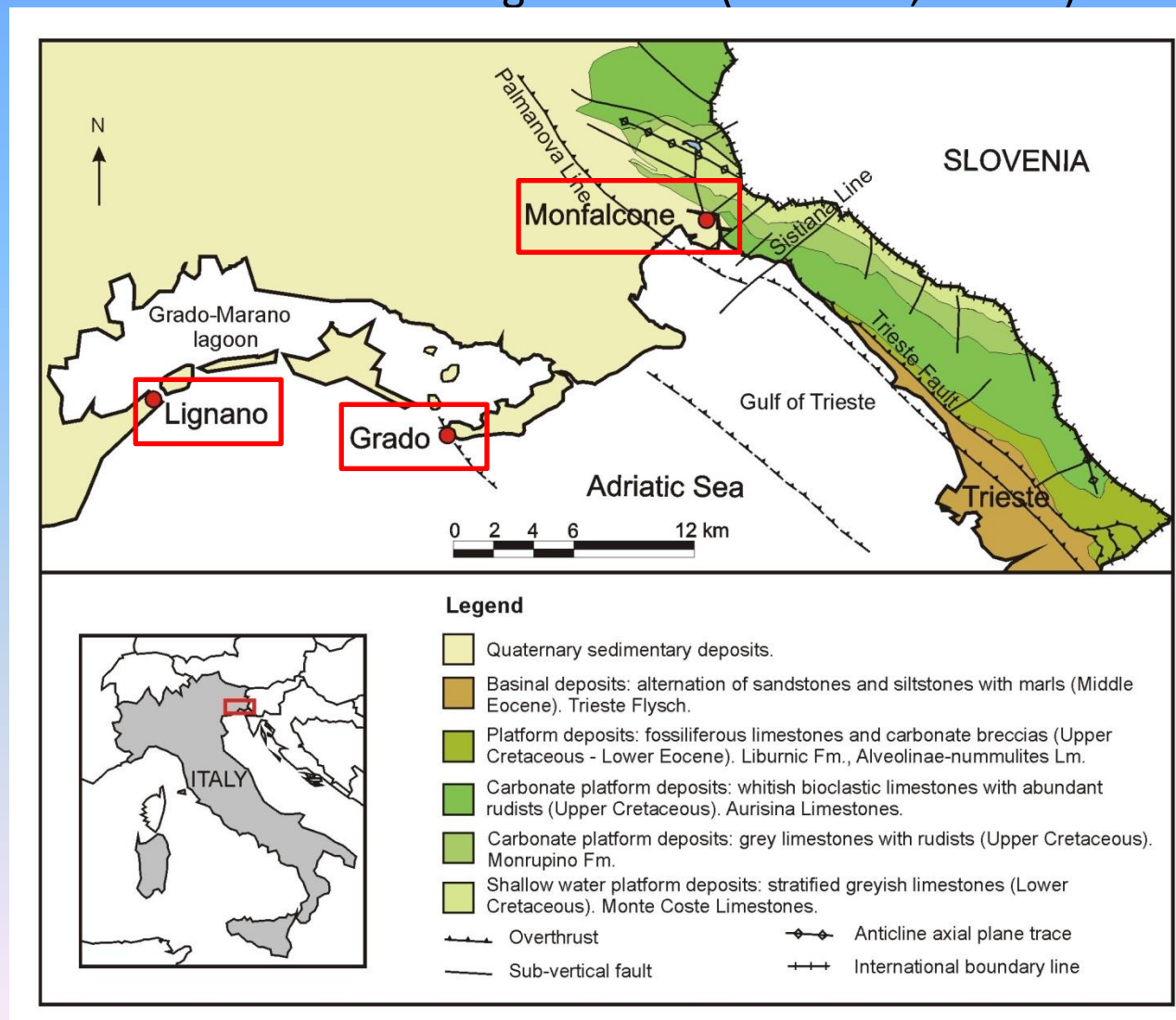
Tuttavia, le riserve termali in acquiferi carbonatici profondi sono oggetto di un crescente interesse, rappresentando le più importanti di risorse al di fuori delle aree vulcaniche.

Il termalismo nella Bassa Pianura della Regione FVG

Sorgenti termali di Monfalcone (34-40 °C)

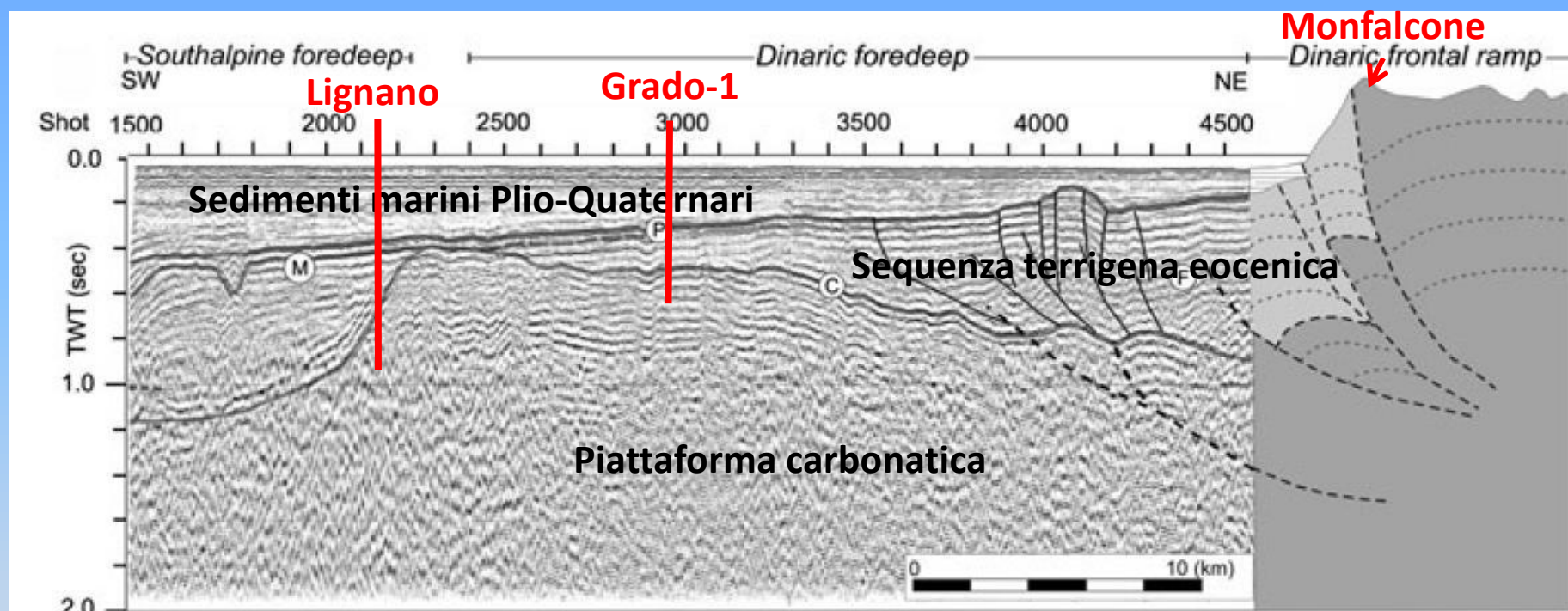
Pozzo Grado-1 (1100 m; 43 °C)

Pozzo Lignano: SIL (≈2000 m; ≈60 °C)



A

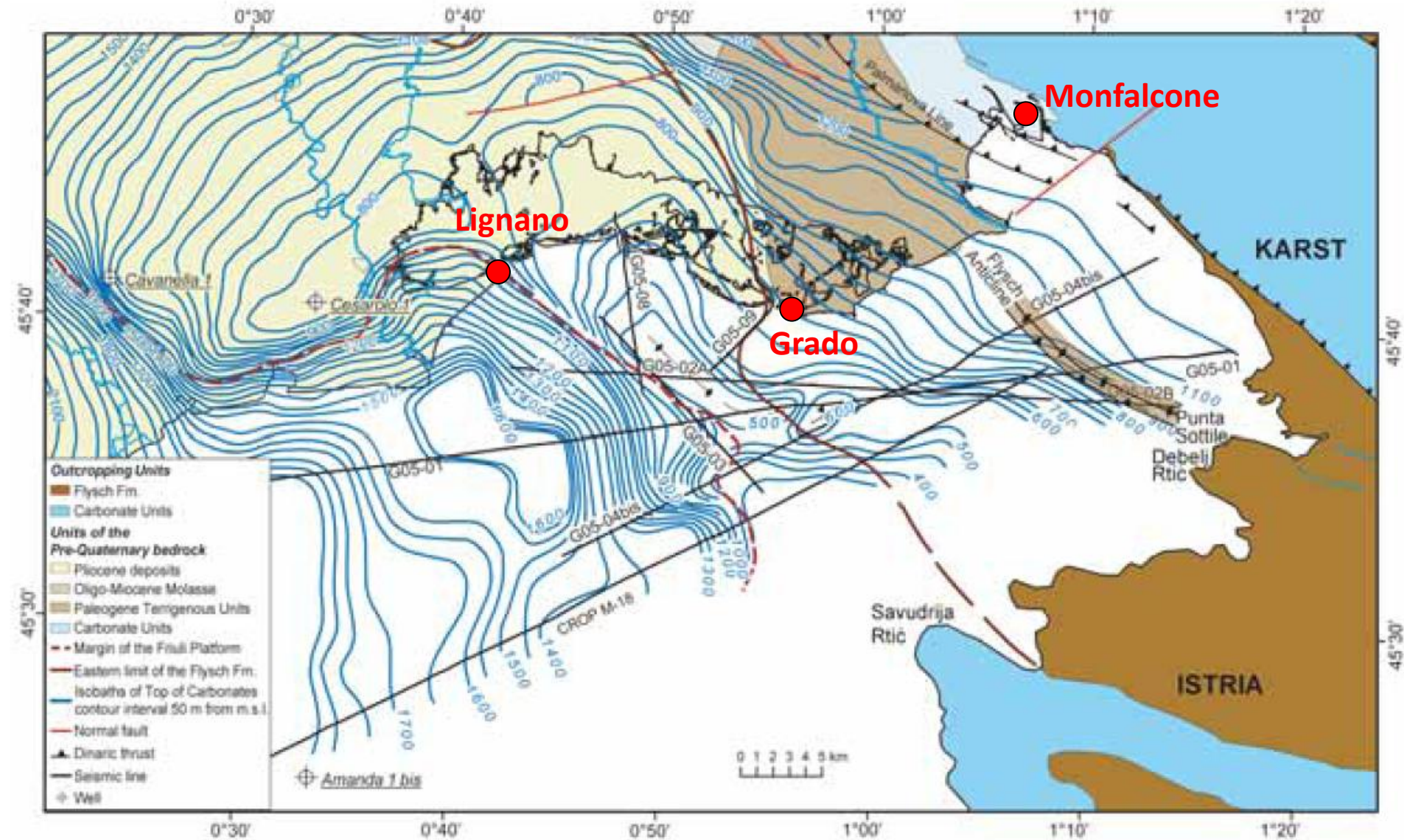
B



Buseti et al 2010

L'acquifero è costituito dai carbonati mesozoici

Tetto dei carbonati



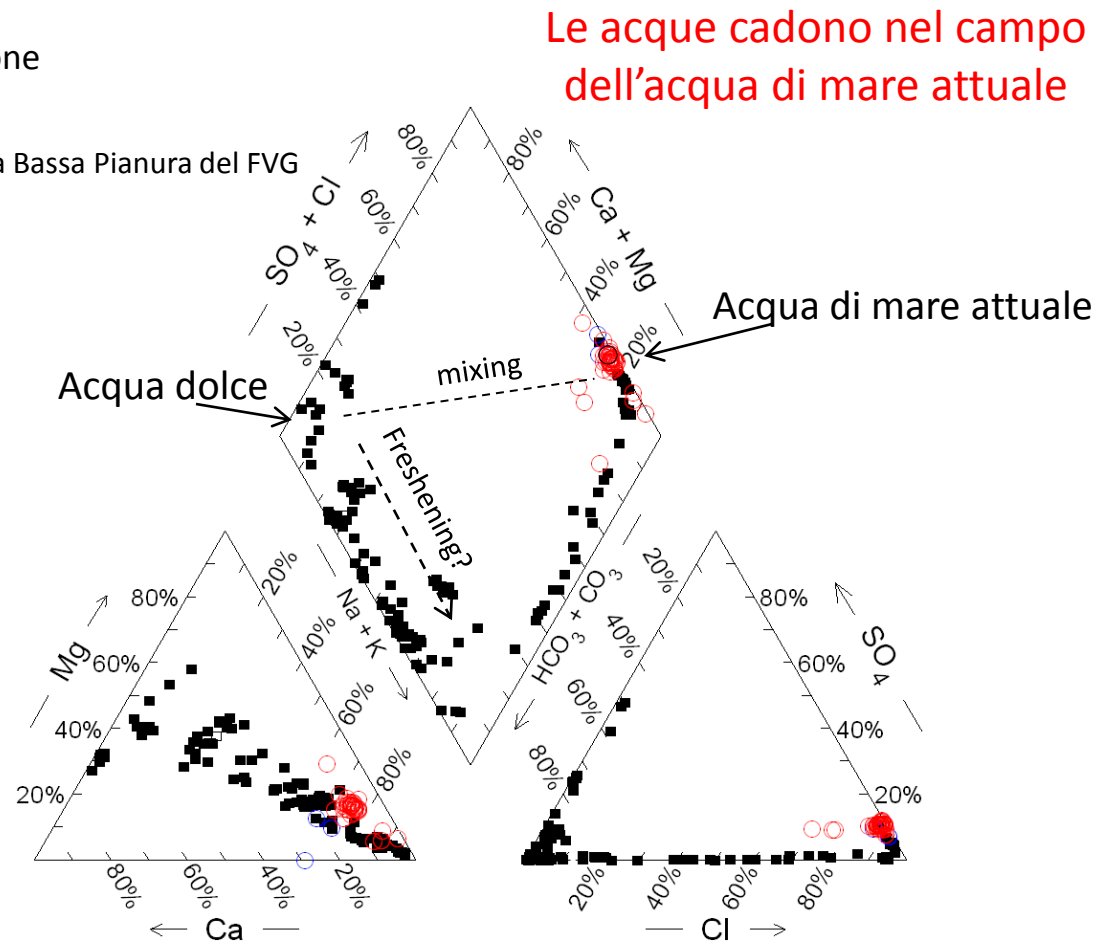
Le acque appartengono alla facies idrochimica cloruro-sodica

○ Lignano

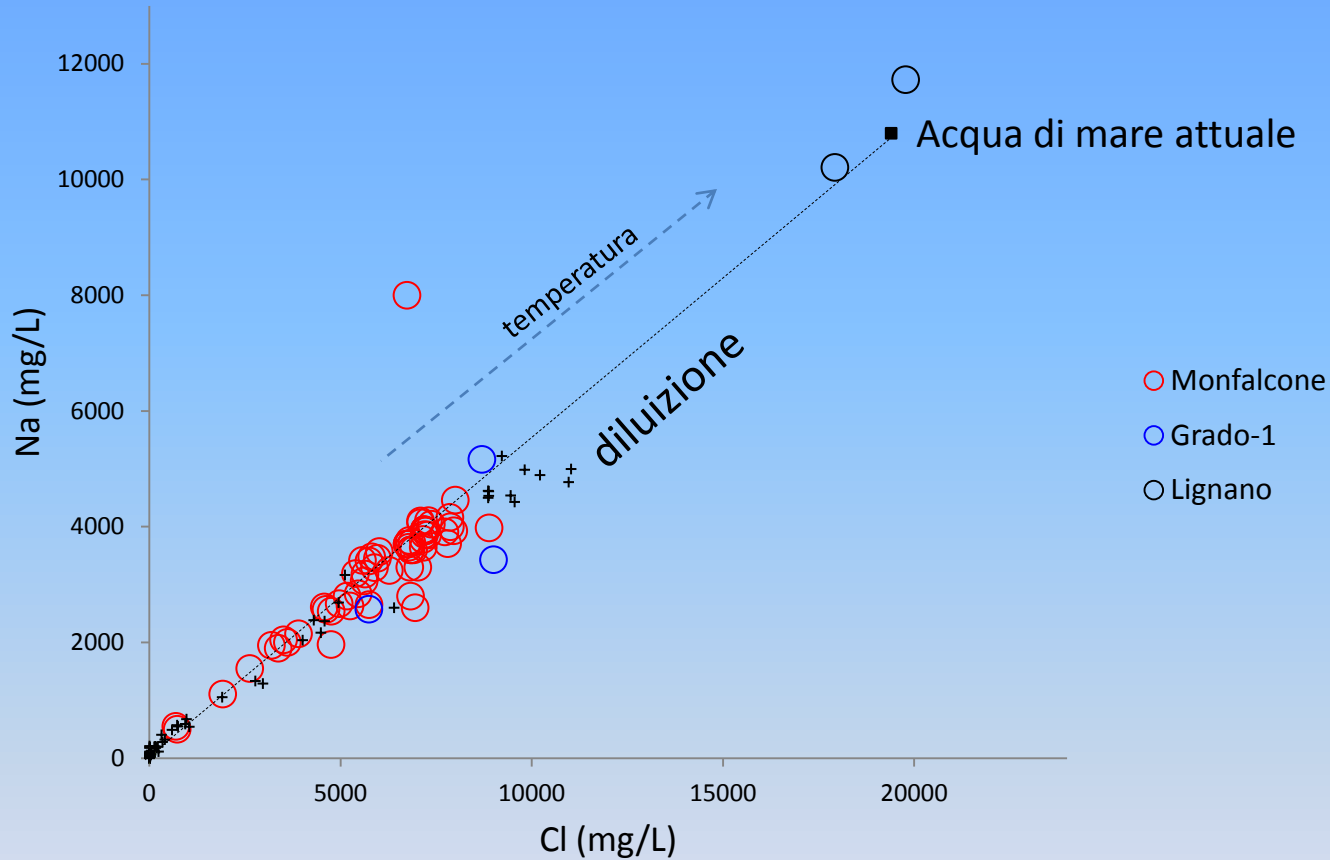
○ Monfalcone

○ Grado-1

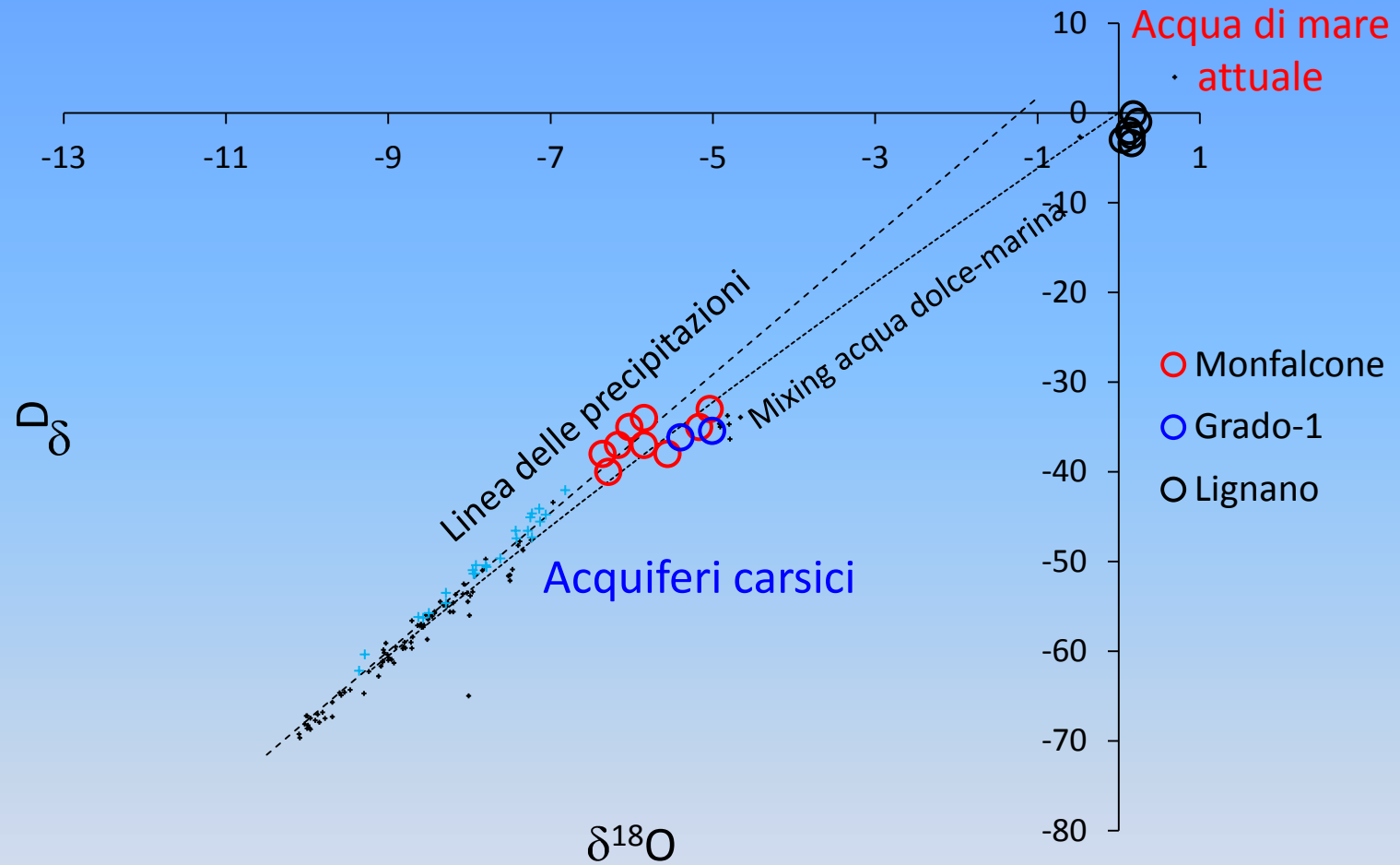
■ Pozzi nella Bassa Pianura del FVG



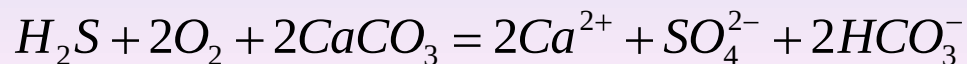
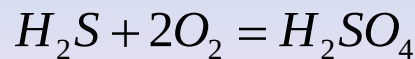
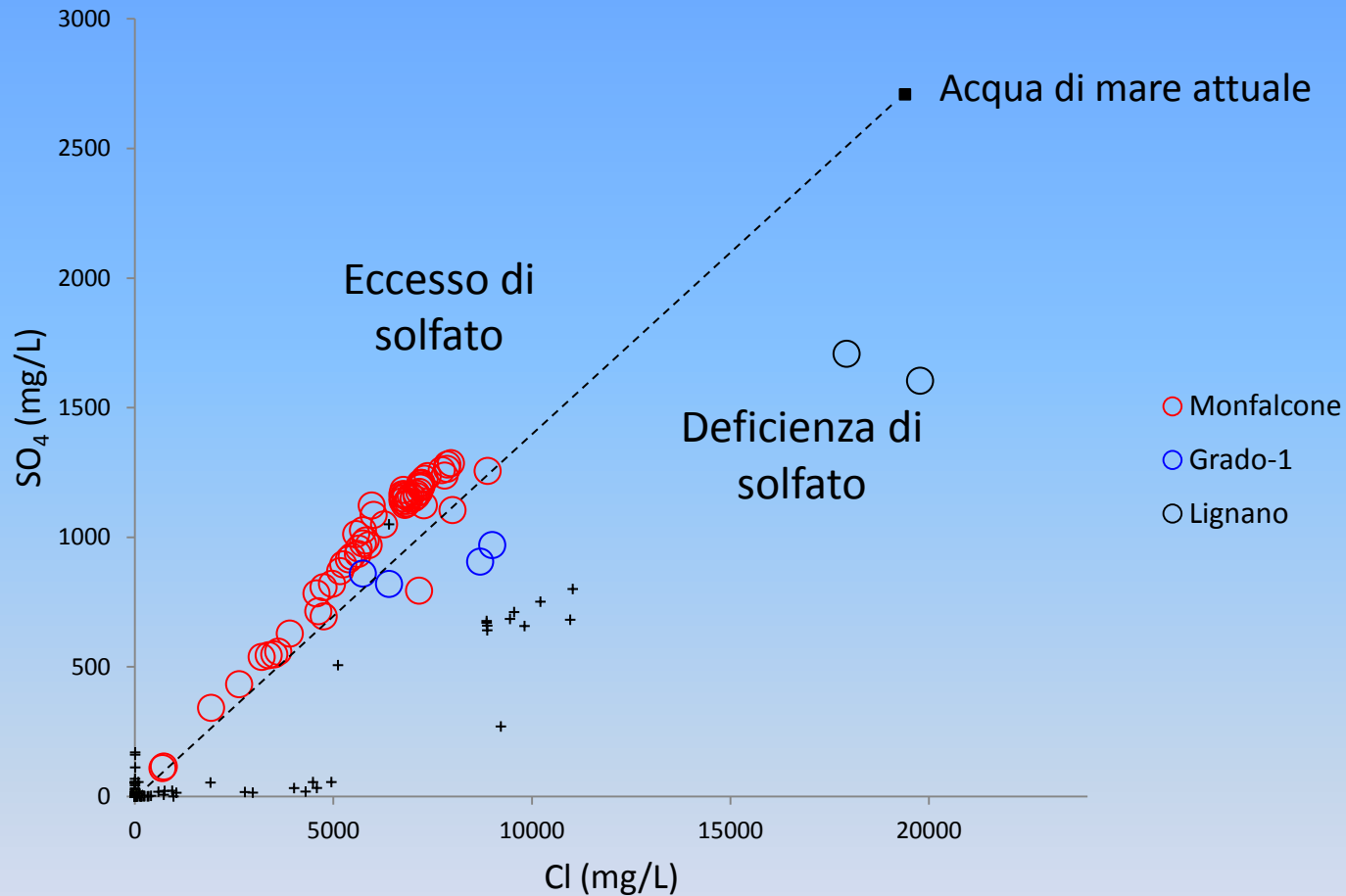
Processi aggiuntivi: evidenze di diluizione della componente salina



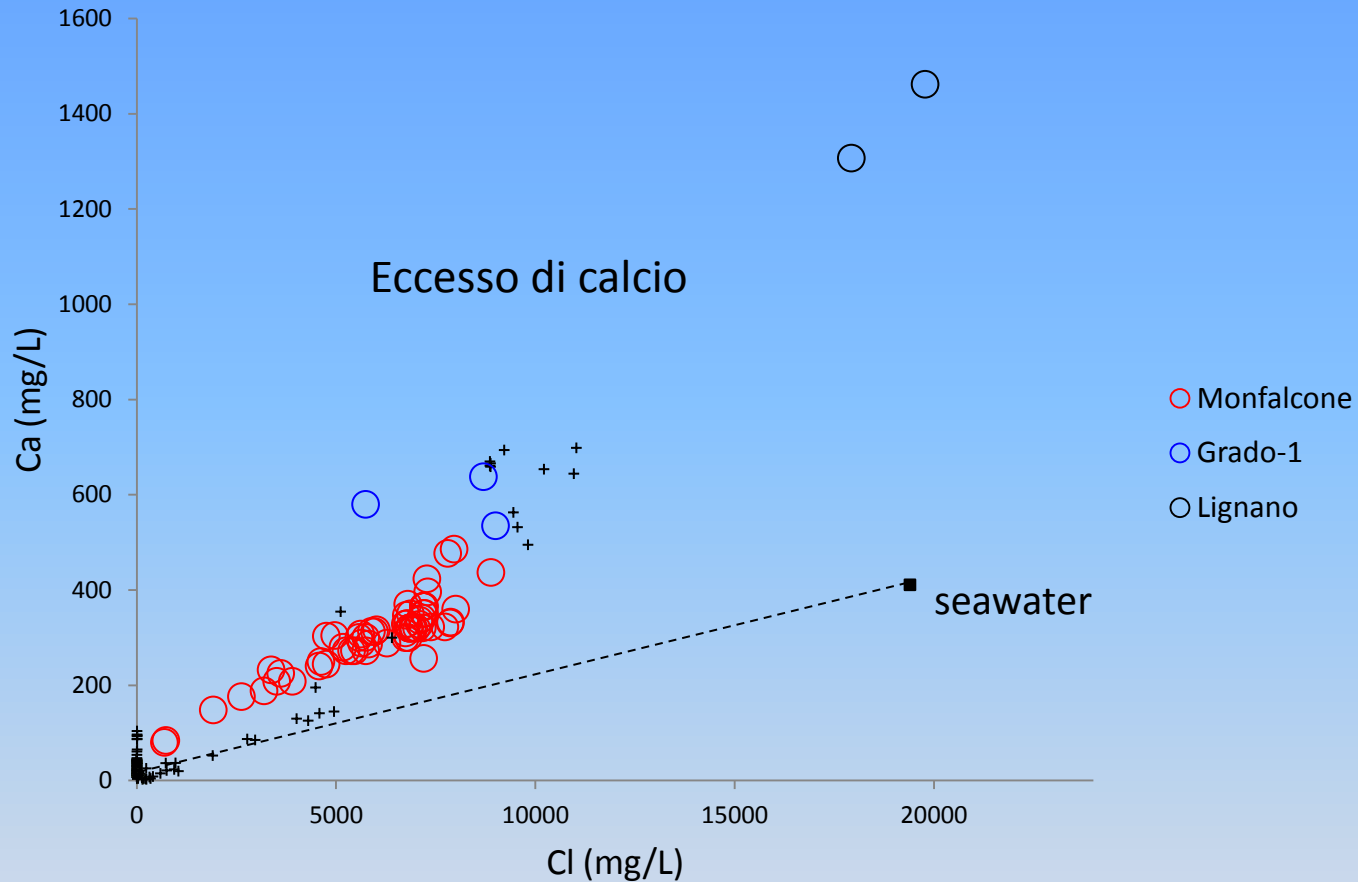
Natura del componente non salino



Acqua di mare attuale: deviazioni. **Solfato**

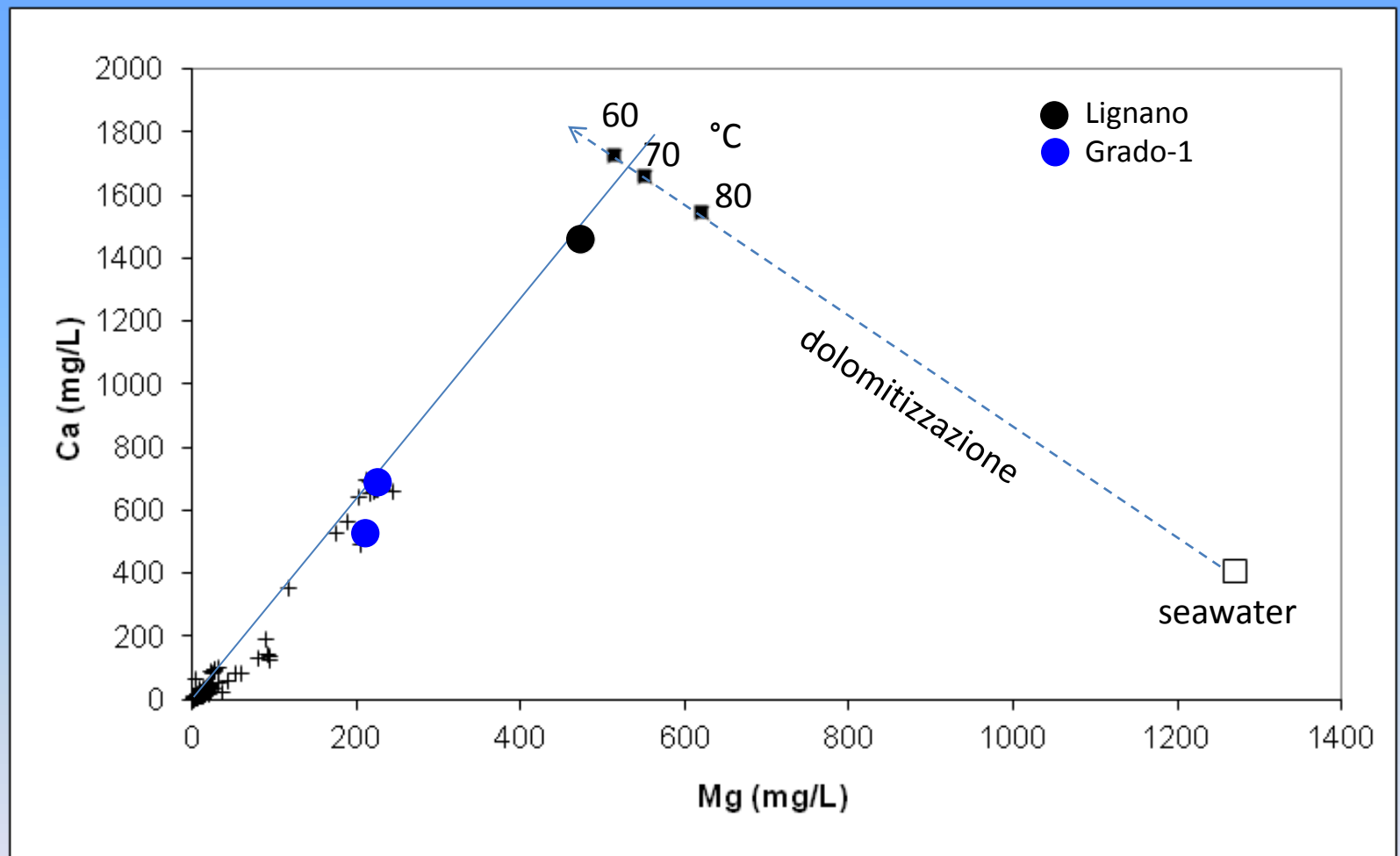


Acqua di mare attuale: deviazioni. Calcio

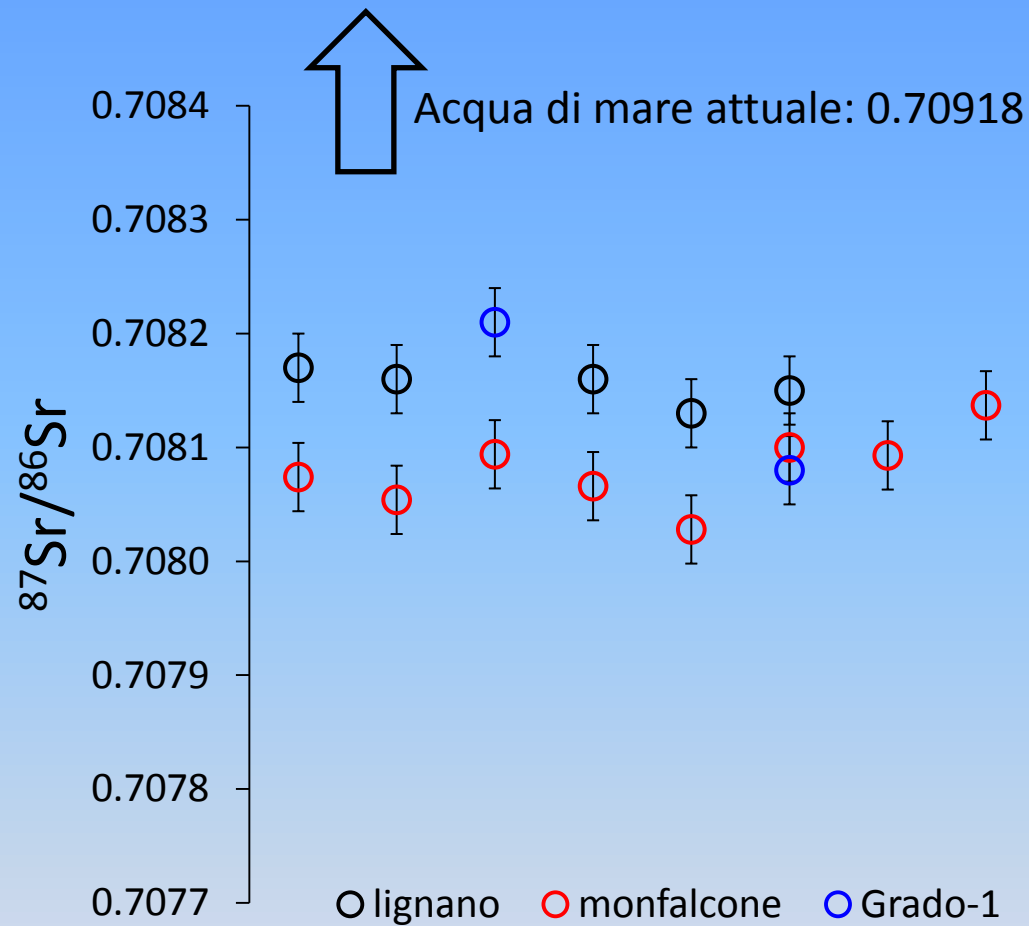


La riserva di acqua termale marina ha subito trasformazioni diagenetiche

Stima della temperatura della riserva



La natura del componente marino: isotopi dello stronzio

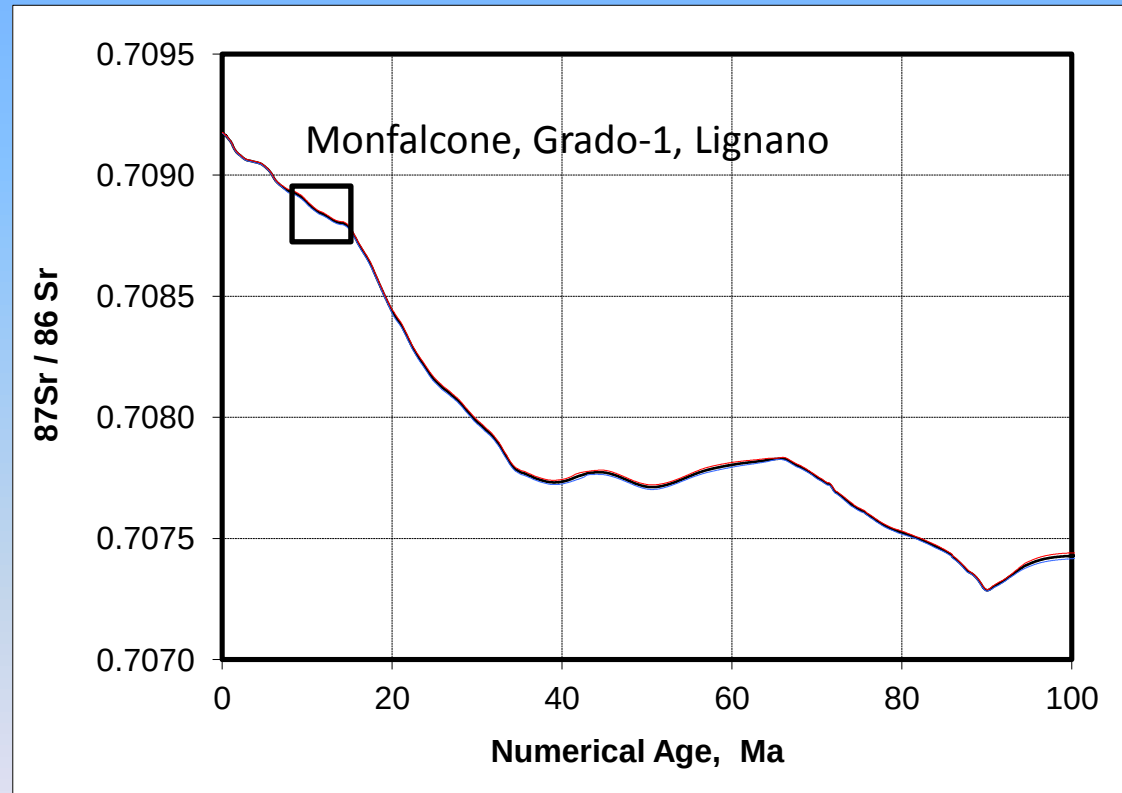


Le acque termali nei tre siti hanno una natura comune, ma non rappresentano acqua di mare attuale

Rimozione degli effetti di diagenesi: “età” della riserva termale marina

$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{reservoir}} = ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{measured}} \left(1 + \frac{\text{Sr}_{\text{excess}}}{\text{Sr}_{\text{reservoir}}} \right) - ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{excess}} \frac{\text{Sr}_{\text{excess}}}{\text{Sr}_{\text{reservoir}}}$$

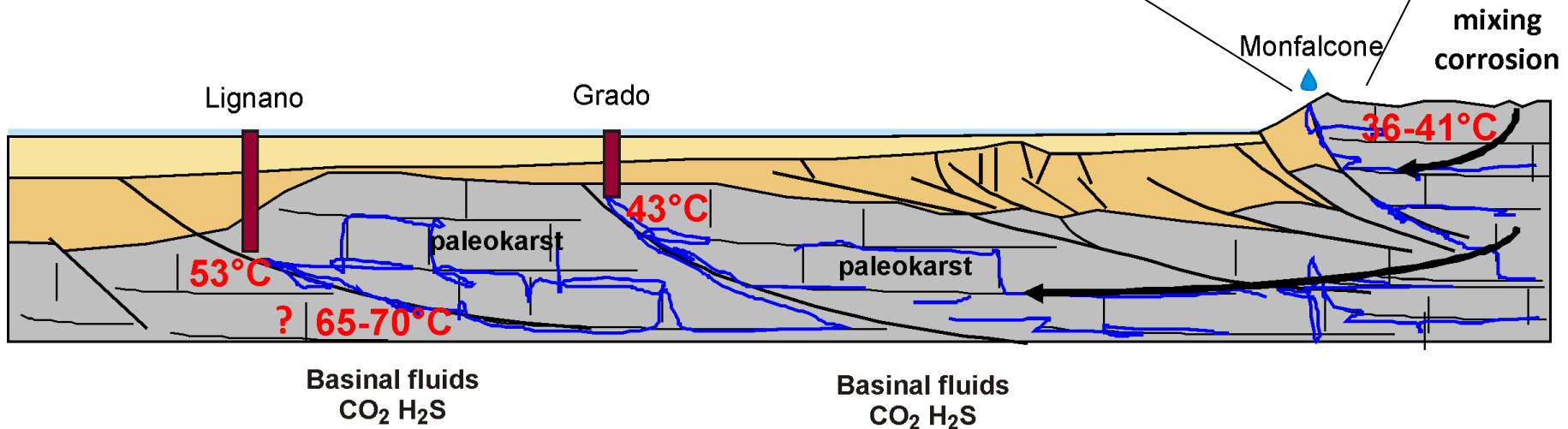
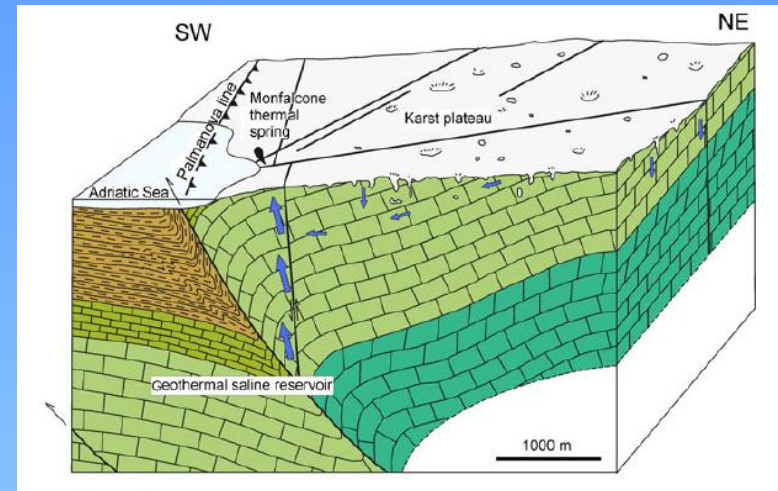
Variazioni della
composizione isotopica
dello Sr nell'acqua di mare



L'acqua di mare della riserva non è attuale, ma fossile (Miocene ?)

Il possibile scenario

La riserva salina potrebbe rappresentare paleo-acqua di mare intrappolata negli strati carbonatici carsificati durante la trasgressione marina dell'Oligocene-Miocene



Considerazioni -1

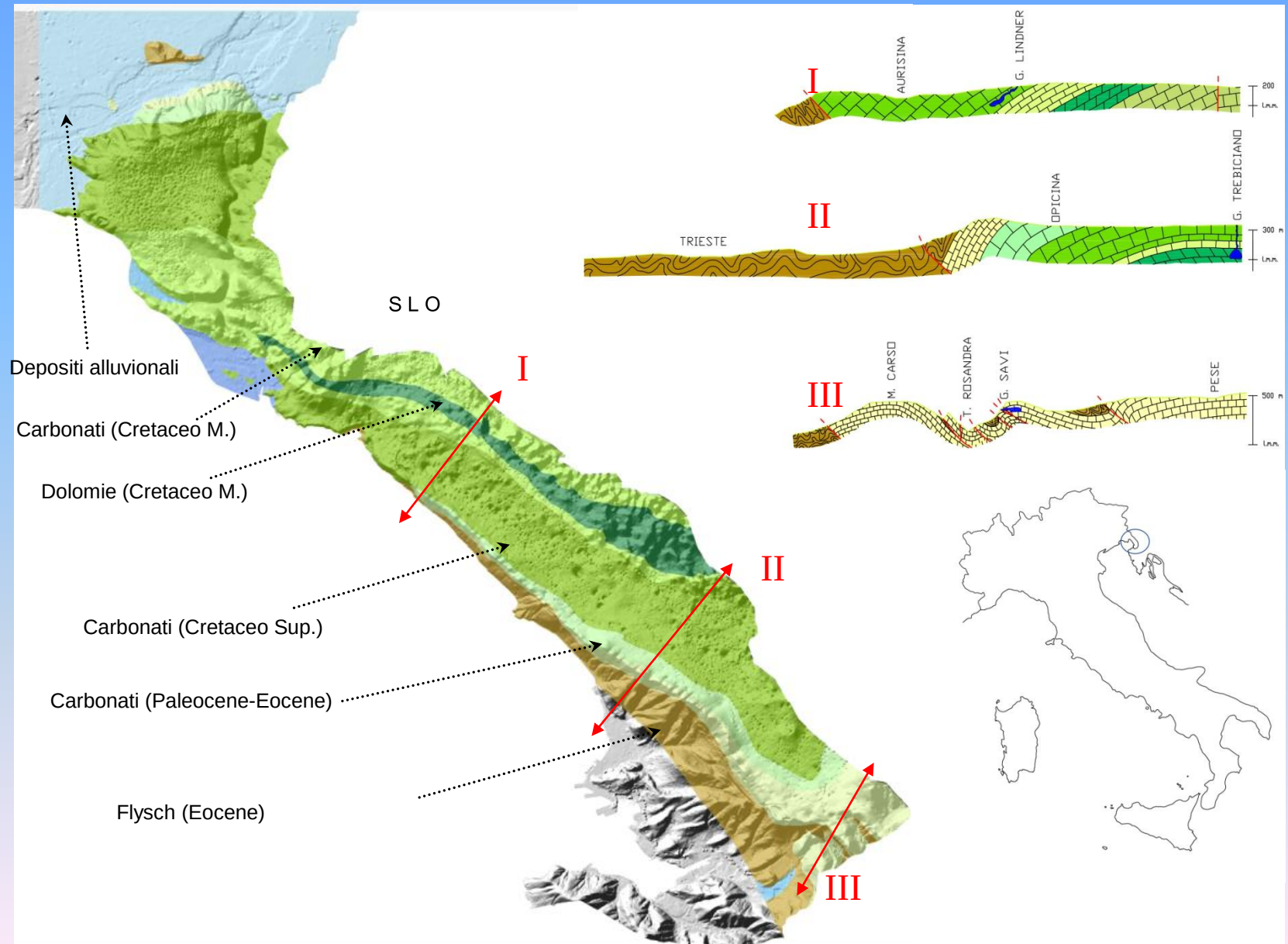
Le acque termali rappresentano paleo-acqua di mare, modificata per processi di interazione con i carbonati in un sistema geotermico di temperatura bassa-intermedia

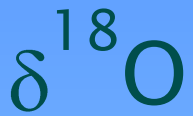
In alcuni settori, la riserva salina termale si mescola a scala variabile con acqua dolce, più fredda

L'utilizzo della riserva dovrebbe essere pianificato per evitare un sovrasfruttamento

I processi diagenetici in atto hanno probabili effetti sulla permeabilità del sistema

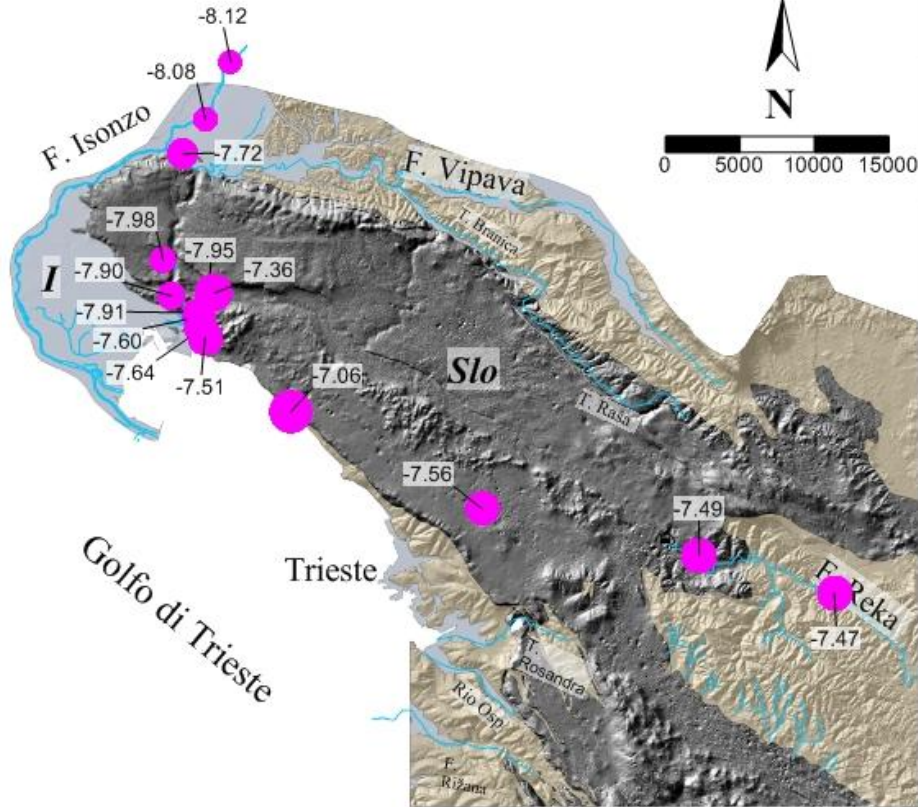
Sistemi carsici. Carso Classico



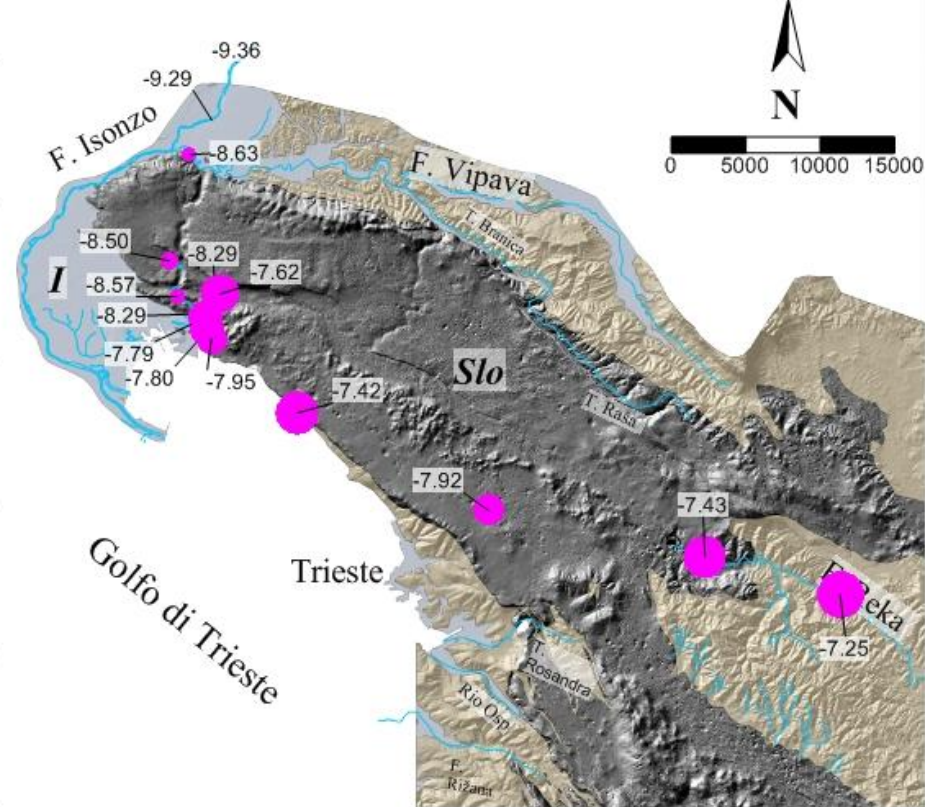


Evidenze degli apporti dai Fiumi Isonzo e Reka all'acquifero

Magra (febbraio)



Piena (maggio)

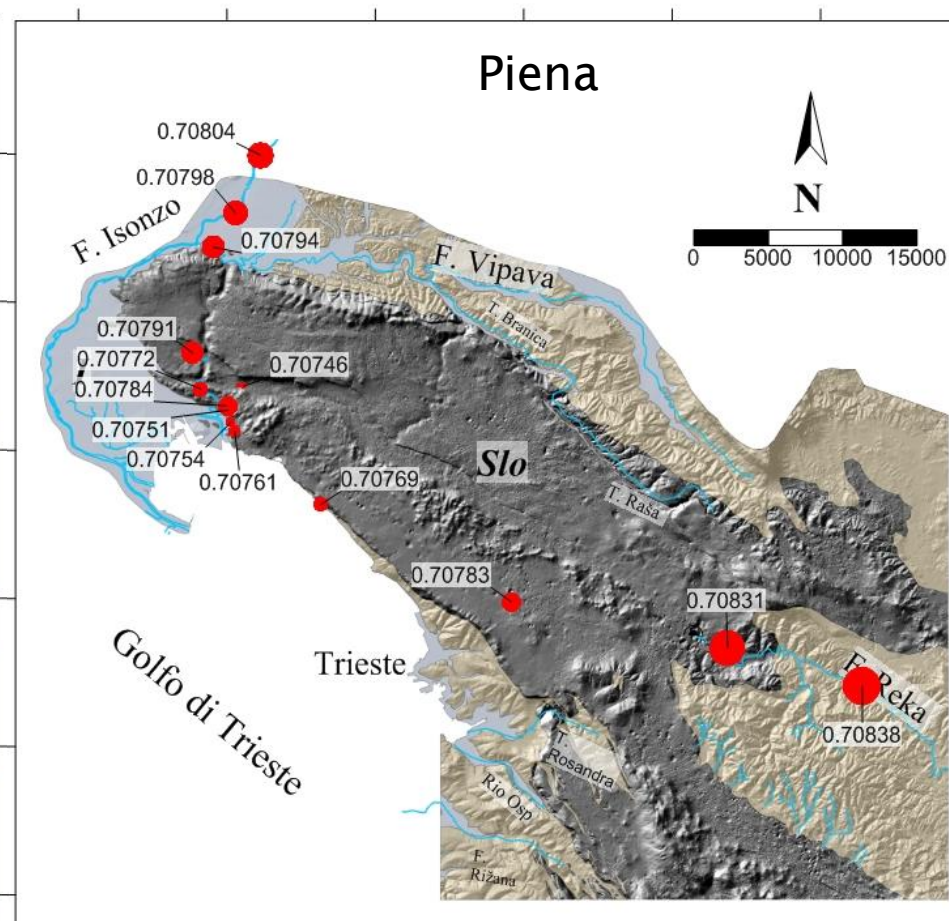
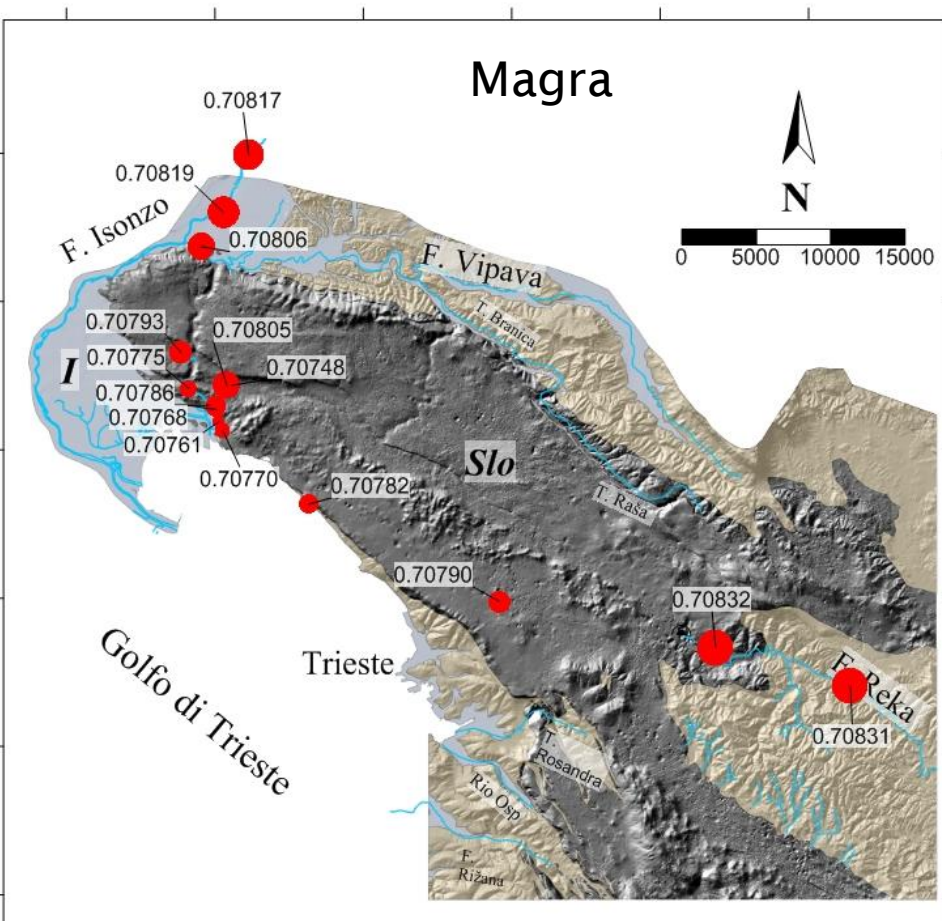


$\delta^{18}\text{O}$ media precipitazioni magra: -7.5 ‰

$\delta^{18}\text{O}$ media precipitazioni piena: -5.0 ‰

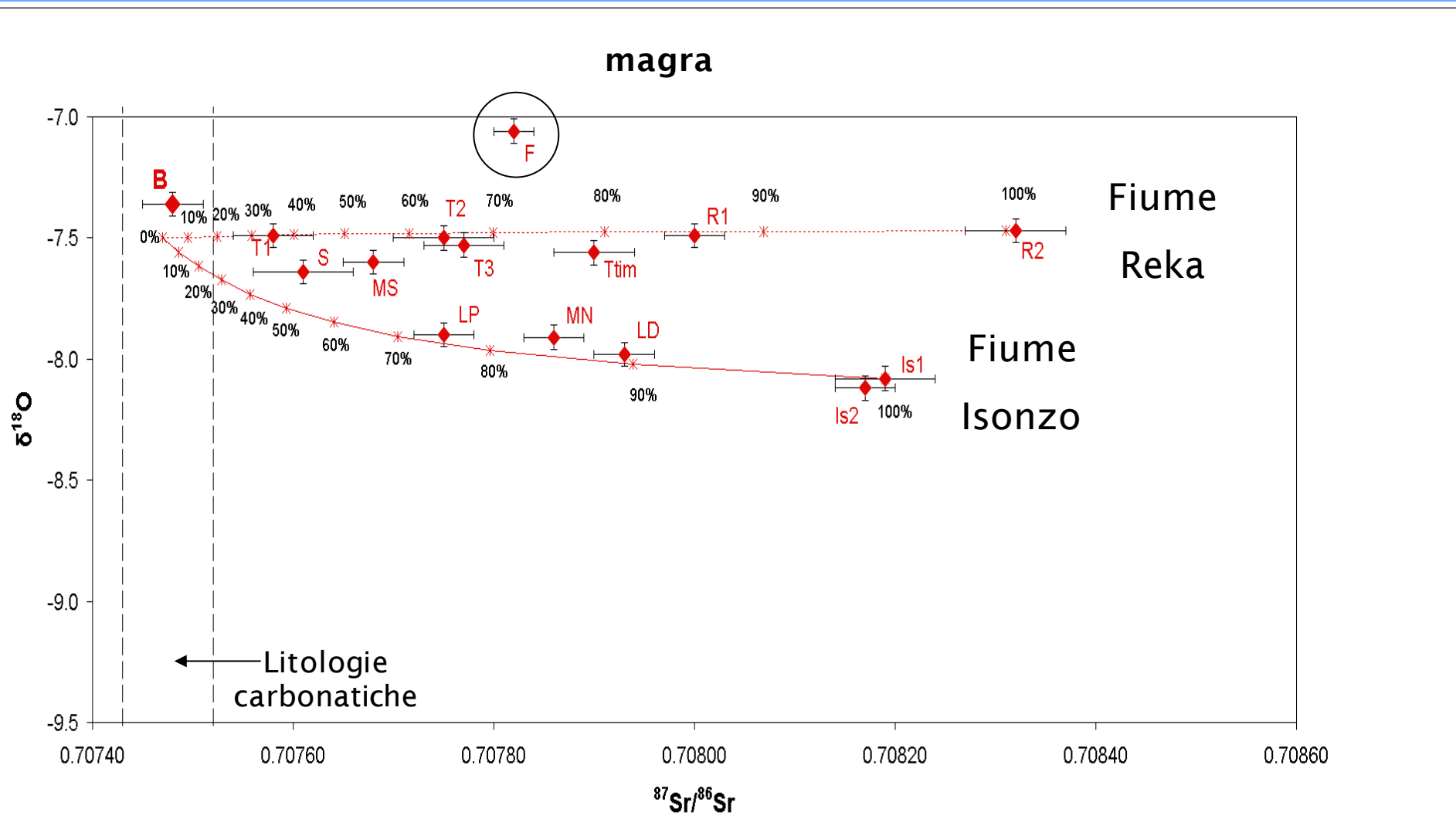
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Interazione acqua-carbonati

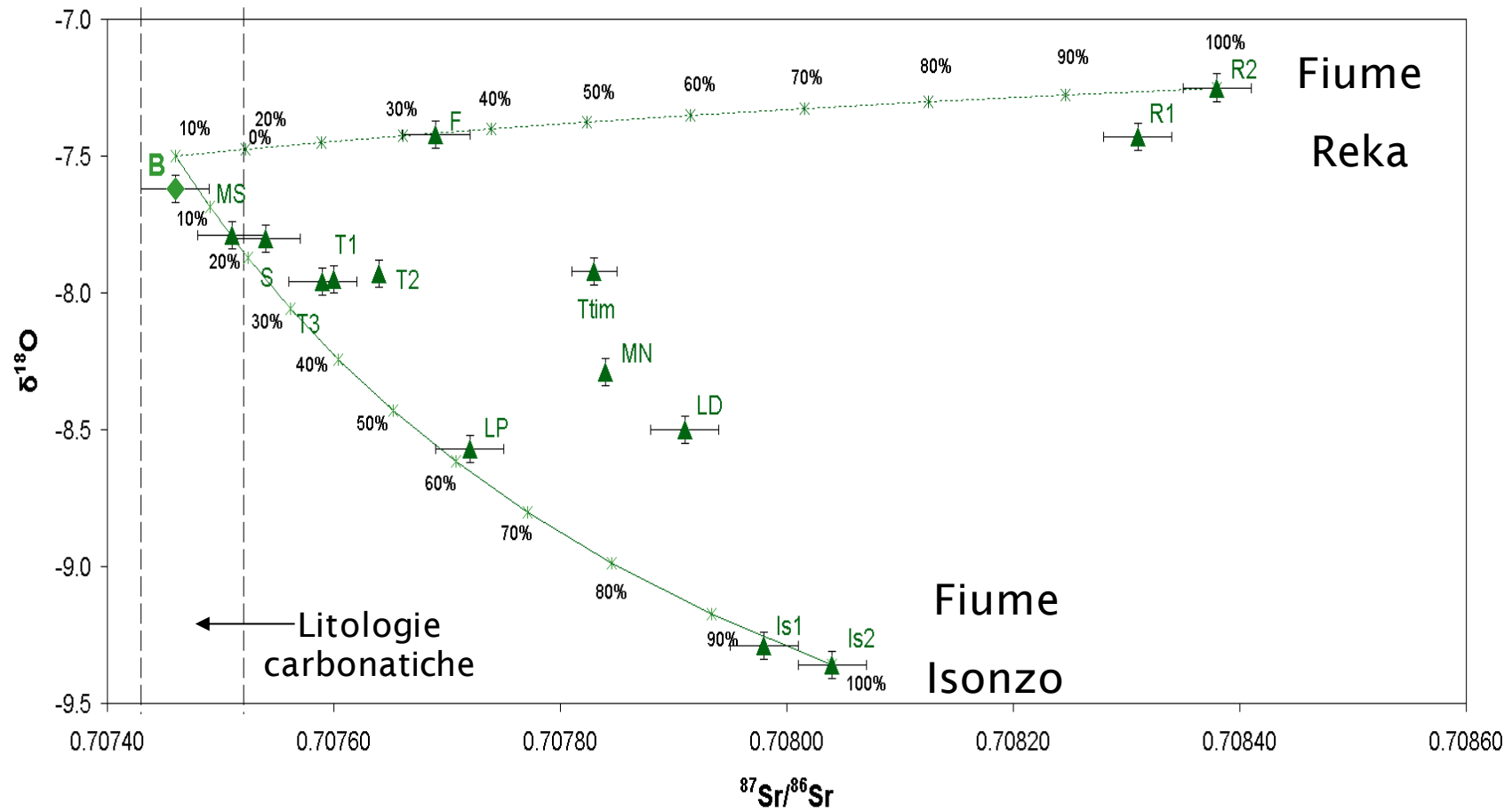


$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ carbonati = 0.70743-0.70752 .

Tendenze verso l'equilibrio acqua-carbonati



piena



Considerazioni -2

L'applicazione combinata di sistematiche isotopiche conservative e non conservative evidenzia i fenomeni di mescolamento tra acque di diversa origine che avvengono nell'acquifero carsico

Lungo il percorso dalle aree di infiltrazione alle sorgenti il rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ si avvicina progressivamente a quello caratteristico delle rocce carbonatiche

Le dinamiche del sistema variano nelle fasi di magra e piena. In particolare, nelle fasi di piena si attivano corpi idrici con interazione acqua-roccia prolungata, probabilmente stagnanti nelle fasi di magra

Nota conclusiva

La sistematica isotopica dello stronzio applicata allo studio della natura ed evoluzione di corpi idrici rappresenta uno strumento in parte innovativo ed in forte sviluppo

In particolare se associato alla analisi di altri isotopi stabili e chimiche di ioni maggiori e tracce

La corretta interpretazione dei dati isotopici richiede comunque la conoscenza del contesto idrogeologico, geologico e strutturale dell'area in studio.