

# Dal bilancio di «Turc» all'analisi statistica in acquiferi carbonatici appenninici: il caso di studio della Majella

Il problema del Bilancio nella modellazione idrogeologica

Sergio Rusi

Dipartimento di Ingegneria e Geologia – Università «G. d'Annunzio» Chieti-Pescara

Perugia – 7 novembre 2019



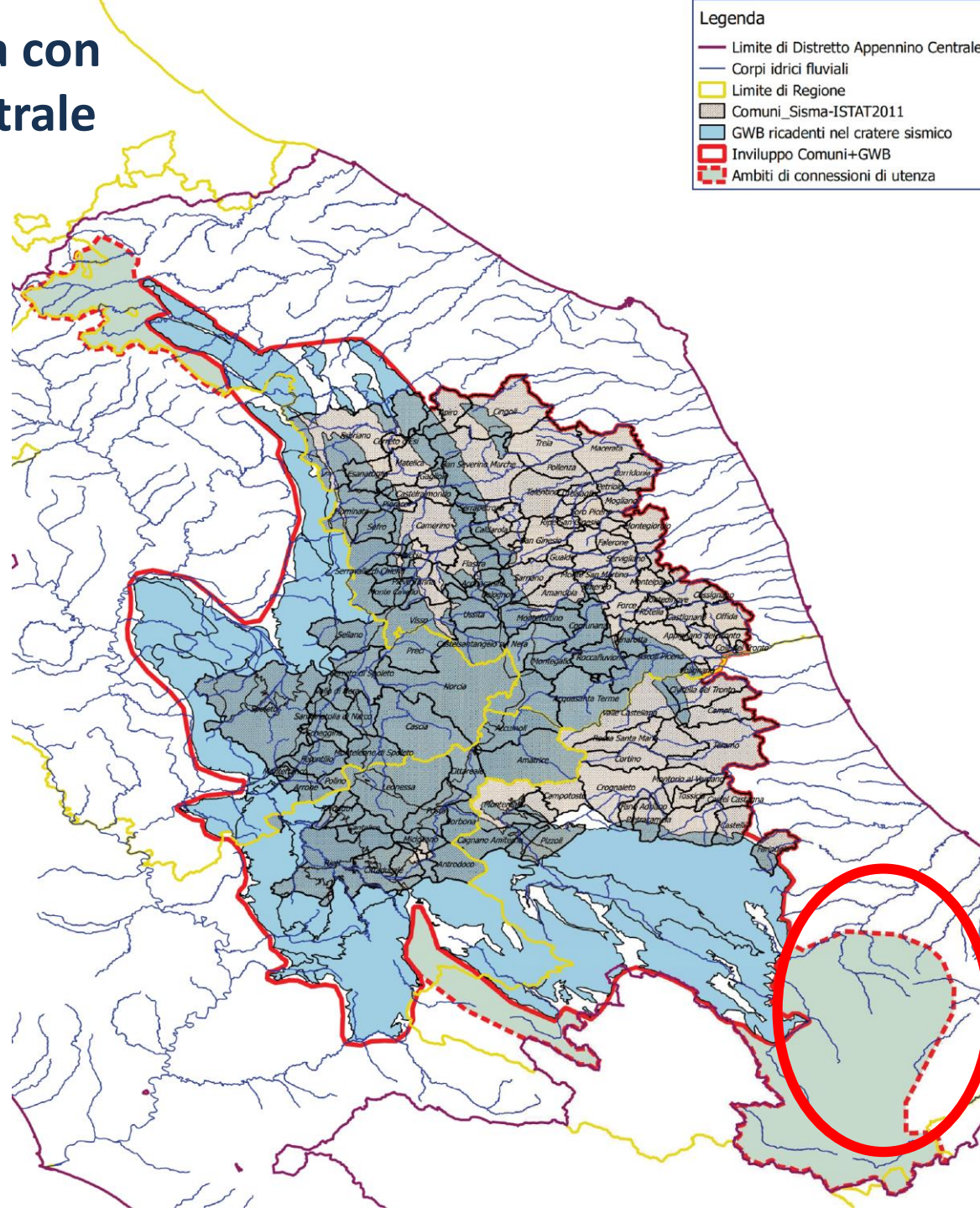
## CReIAMO PA

Per un cambiamento sostenibile



# Collaborazione scientifica con Distretto Appennino Centrale

- Legenda**
- Limite di Distretto Appennino Centrale
  - Corpi idrici fluviali
  - Limite di Regione
  - Comuni\_Sisma-ISTAT2011
  - GWB ricadenti nel cratere sismico
  - Inviluppo Comuni+GWB
  - Ambiti di connessioni di utenza



Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

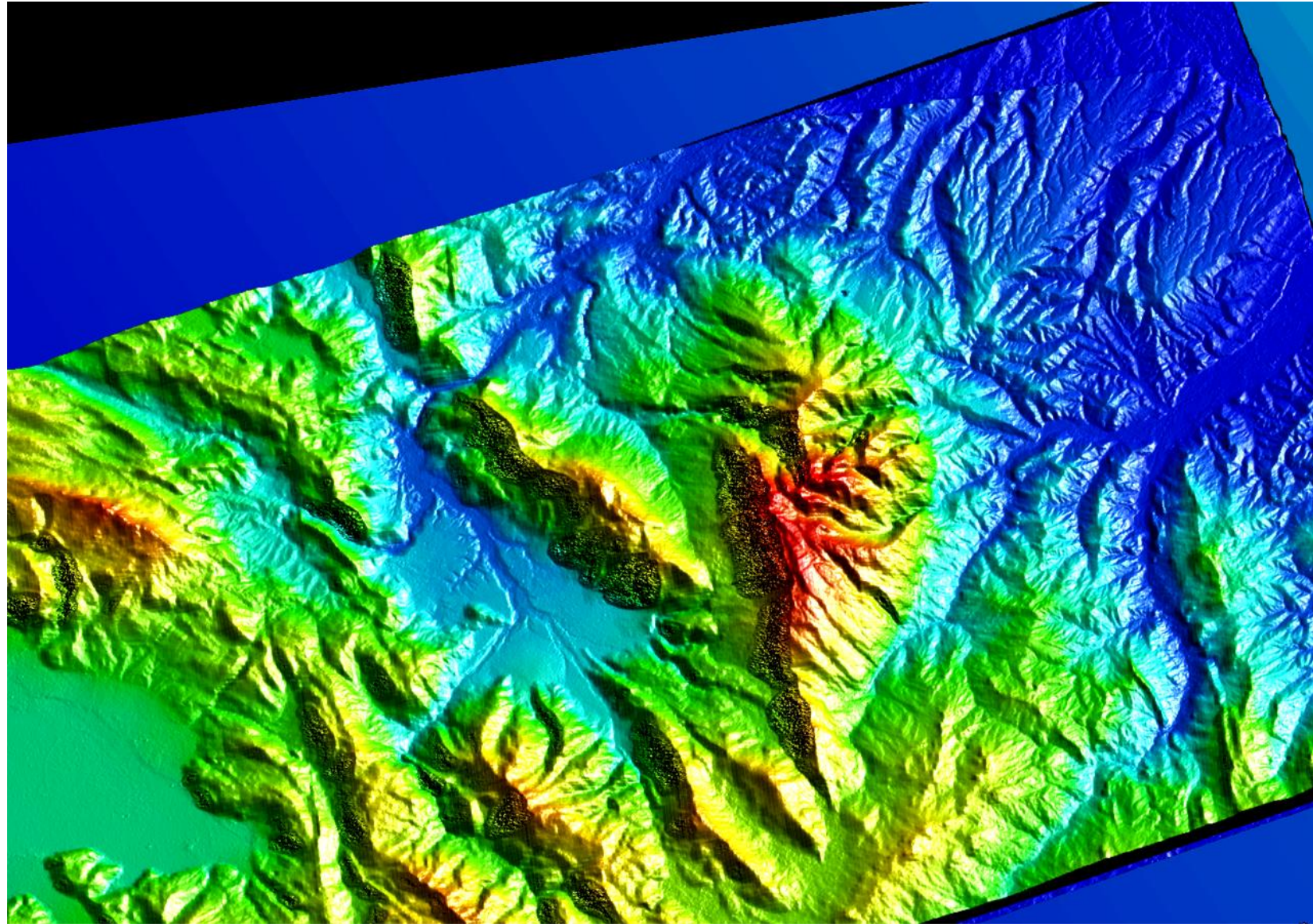
Conclusioni



**CREIAMO PA**



# Area di studio campione



Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

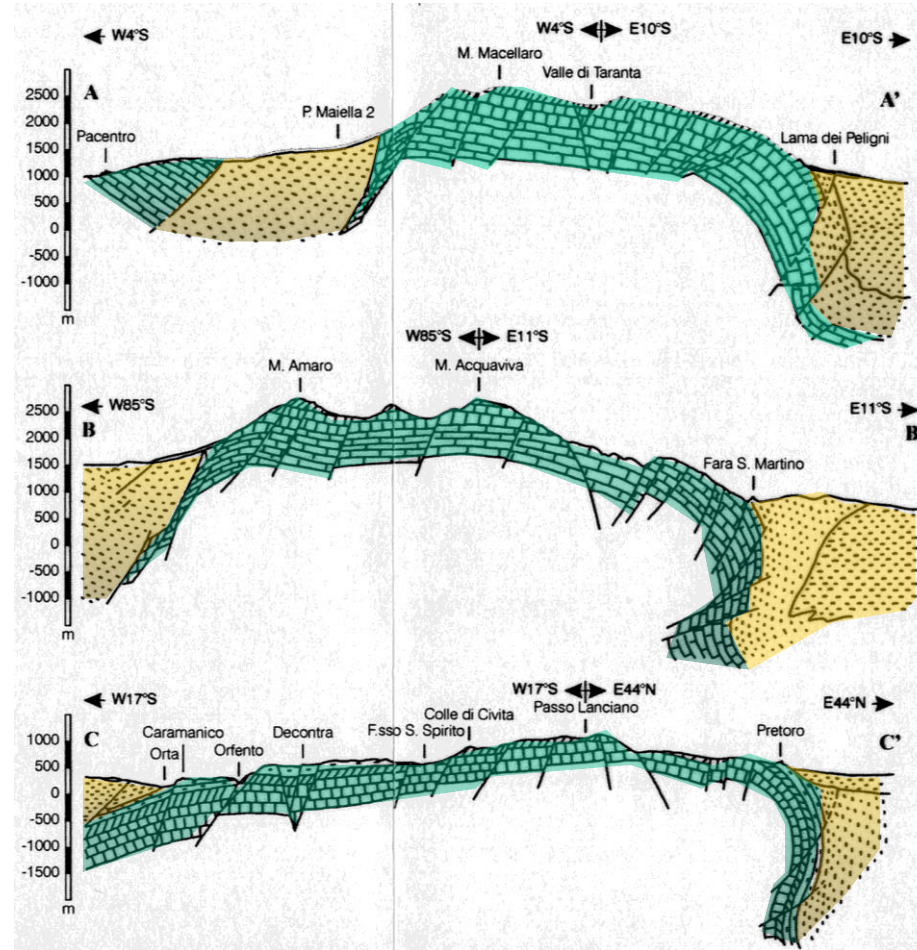
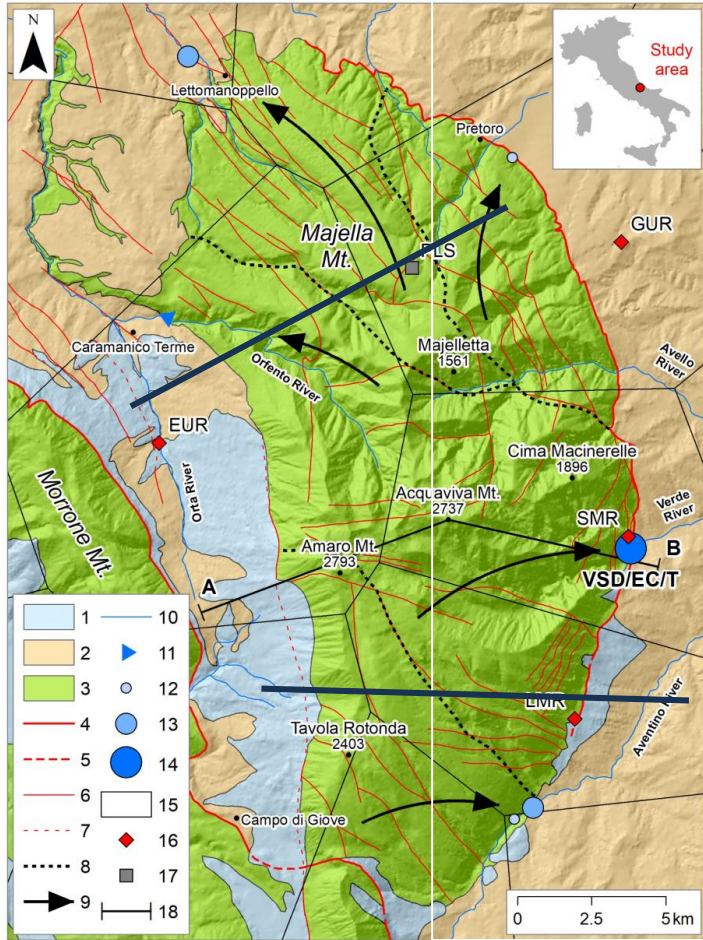
Caso studio

An. statistica

Conclusioni

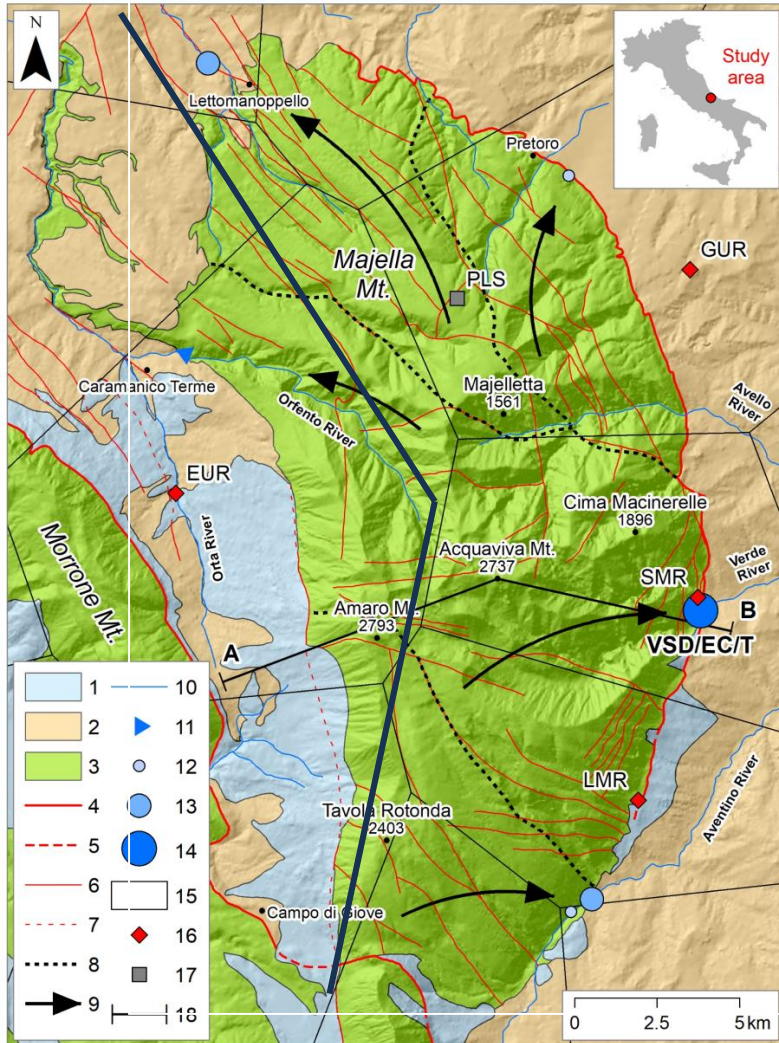


# Assetto geologico/idrogeologico (sez.)



- Introduz  
ione
- Idrogeol  
ogia
- Bil.  
Idrologico
- Probl.  
neve
- Bil.  
Idrogeol.
- Probl.sta  
zioni
- Mod.  
concet.
- Caso  
studio
- An.  
statistica
- Conclusi  
oni

# Assetto geologico/idrogeologico (sez. longitudinale)

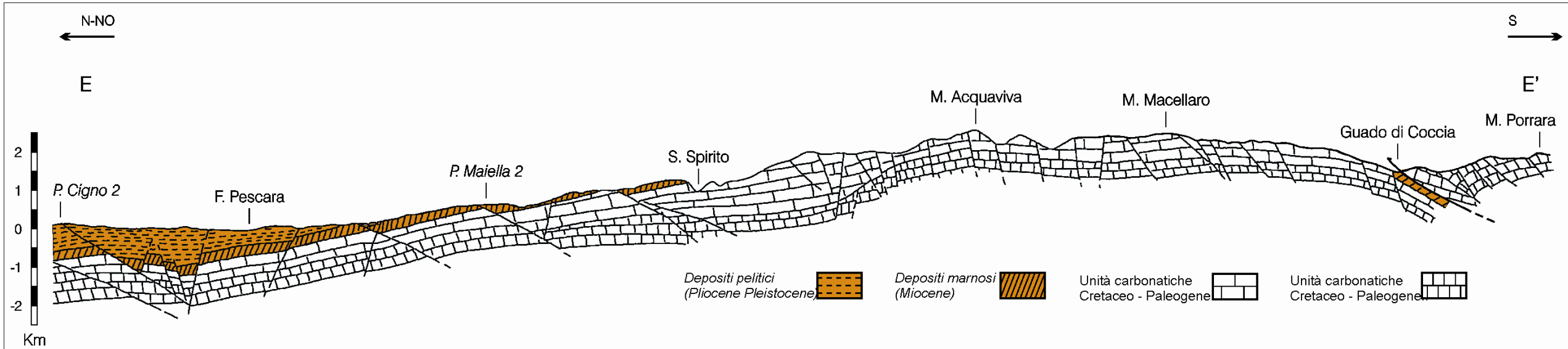


|                     |
|---------------------|
| Introduzione        |
| <b>Idrogeologia</b> |
| Bil. Idrologic.     |
| Probl. neve         |
| Bil. Idrogeol.      |
| Probl. stazioni     |
| Mod. concet.        |
| Caso studio         |
| An. statistica      |
| Conclusioni         |

# Assetto geologico/idrogeologico

Introduzione

Idrogeologia



Da: Nanni e Rusi (2003)

Caso studio

An. statistica

Conclusioni



# Bilancio idrologico

## Valutazione degli afflussi

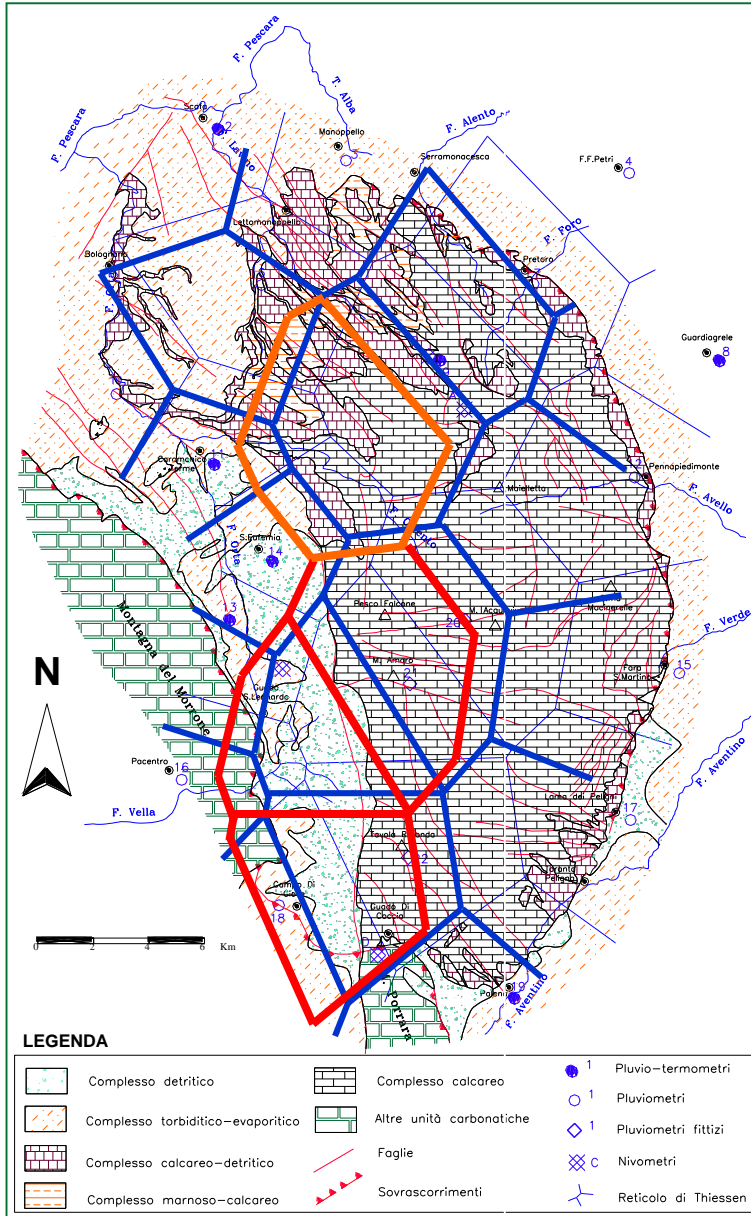
**PROBLEMA DELLA DISTRIBUZIONE DELLE STAZIONI**

**METEOROLOGICHE**

Evapotraspirazione (metodo di Turc o di Thornthwaite o altri...)

$$E = P/v[0,9+(P^2/L^2)]$$

Valutazione dell'Infiltrazione efficace ipotizzando un coefficiente di infiltrazione molto prossimo a 1



|                        |
|------------------------|
| Introduzione           |
| Idrogeologia           |
| <b>Bil. Idrologic.</b> |
| Probl. neve            |
| Bil. Idrogeol.         |
| Probl. stazioni        |
| Mod. concet.           |
| Caso studio            |
| An. statistica         |
| Conclusioni            |



# Ruolo del manto nevoso

Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

**Probl. neve**

Bil. Idrogeol.

Probl. stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

Conclusioni



**CReIAMO PA**



# Ruolo del manto nevoso



Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

Conclusioni

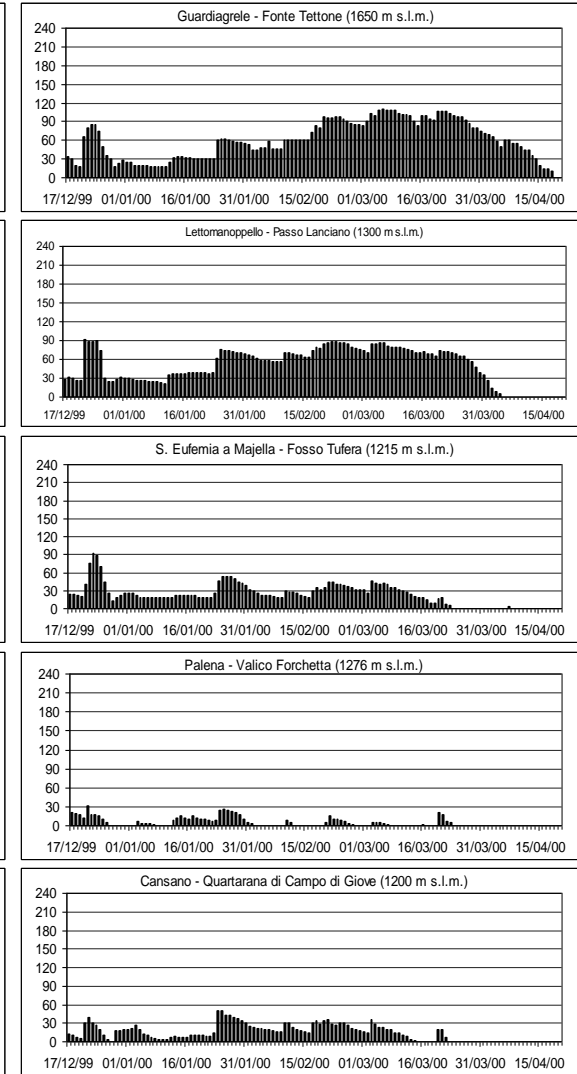


CReIAMO PA

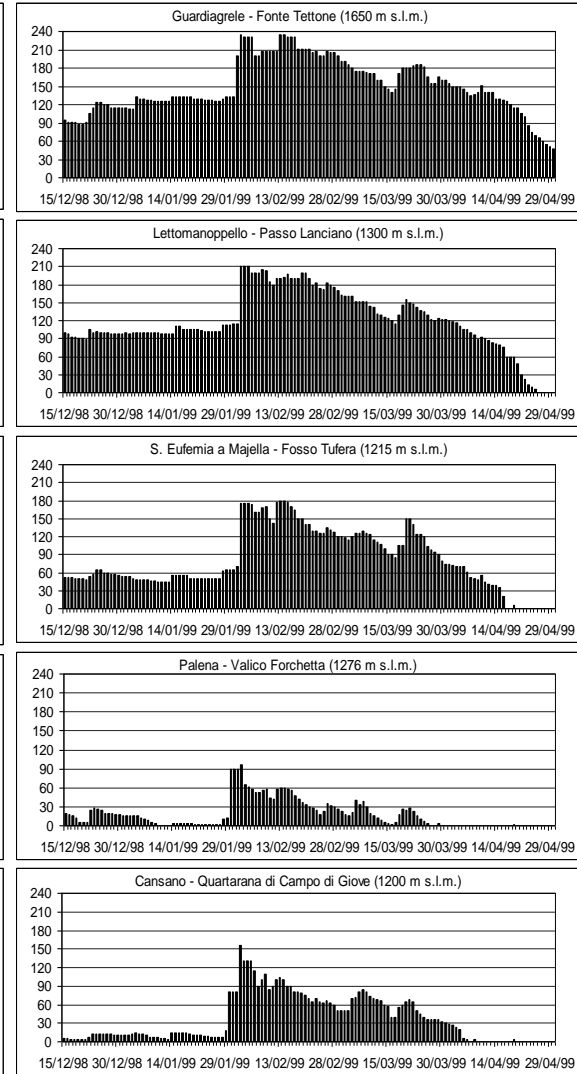
# Ruolo del manto nevoso

- Introduzione
- Idrogeologia
- Bil. Idrologic.
- Probl. neve**
- Bil. Idrogeol.
- Probl.stazioni
- Mod. concet.
- Caso studio
- An. statistica
- Conclusioni

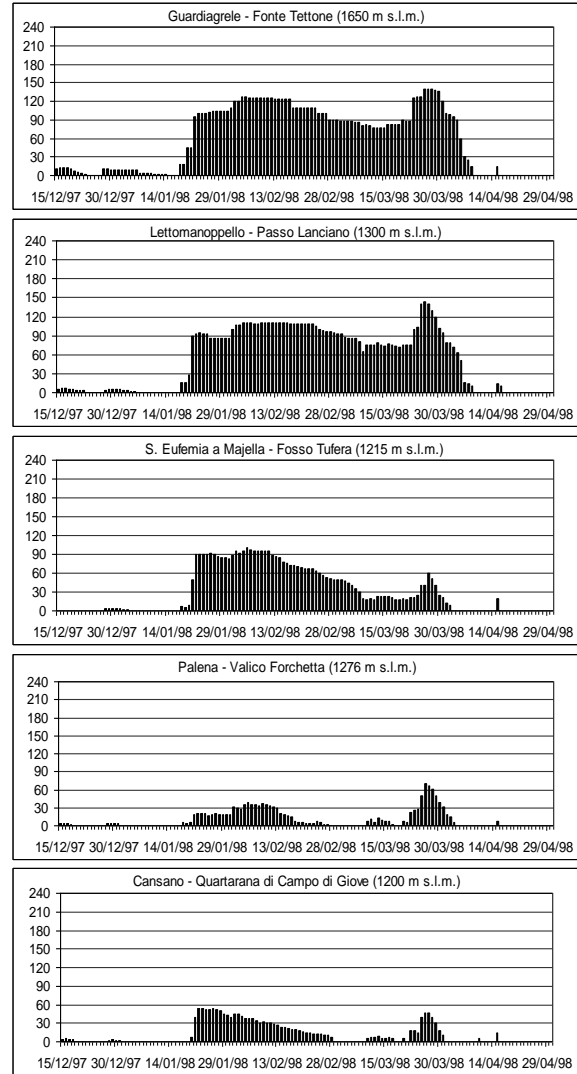
## 1999/2000



## 1998/99



## 1997/98



m s.l.m.

1650

1300

1215

1276

1200



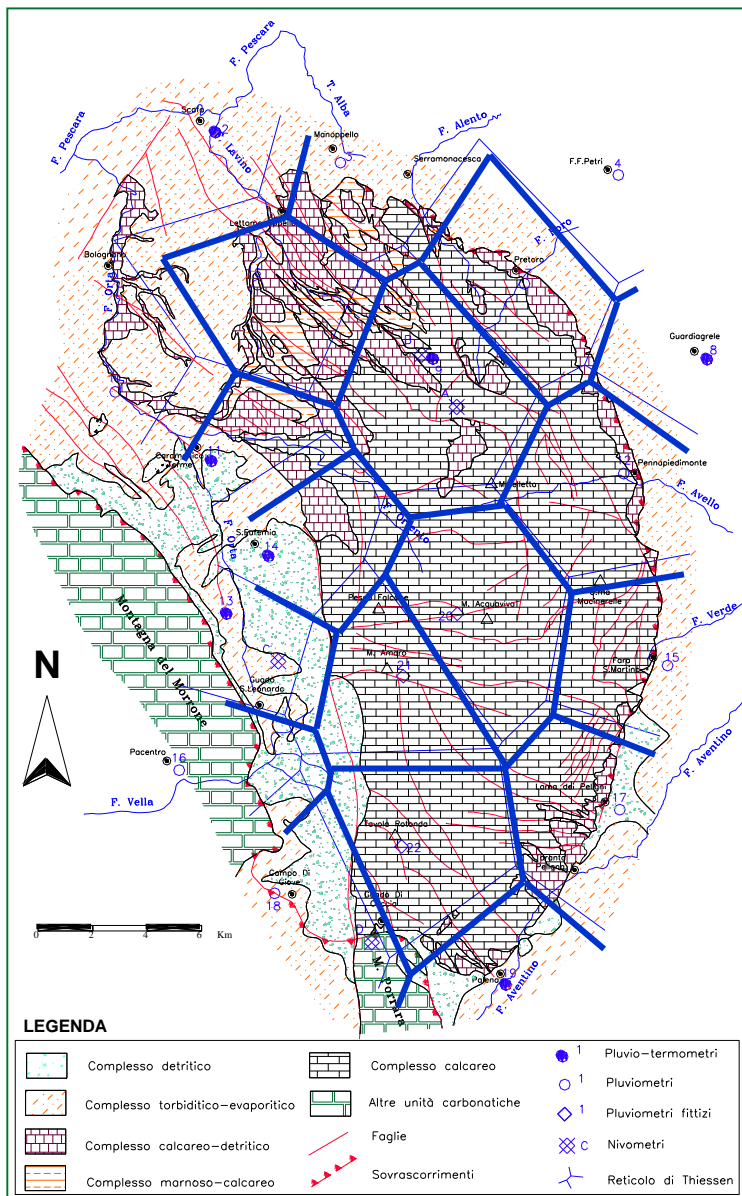
**CREIAMO PA**

Da: Nanni e Rusi (2003)



# Bilancio idrologico e idrogeologico

## Valutazione dell'infiltrazione (precipitazione efficace)

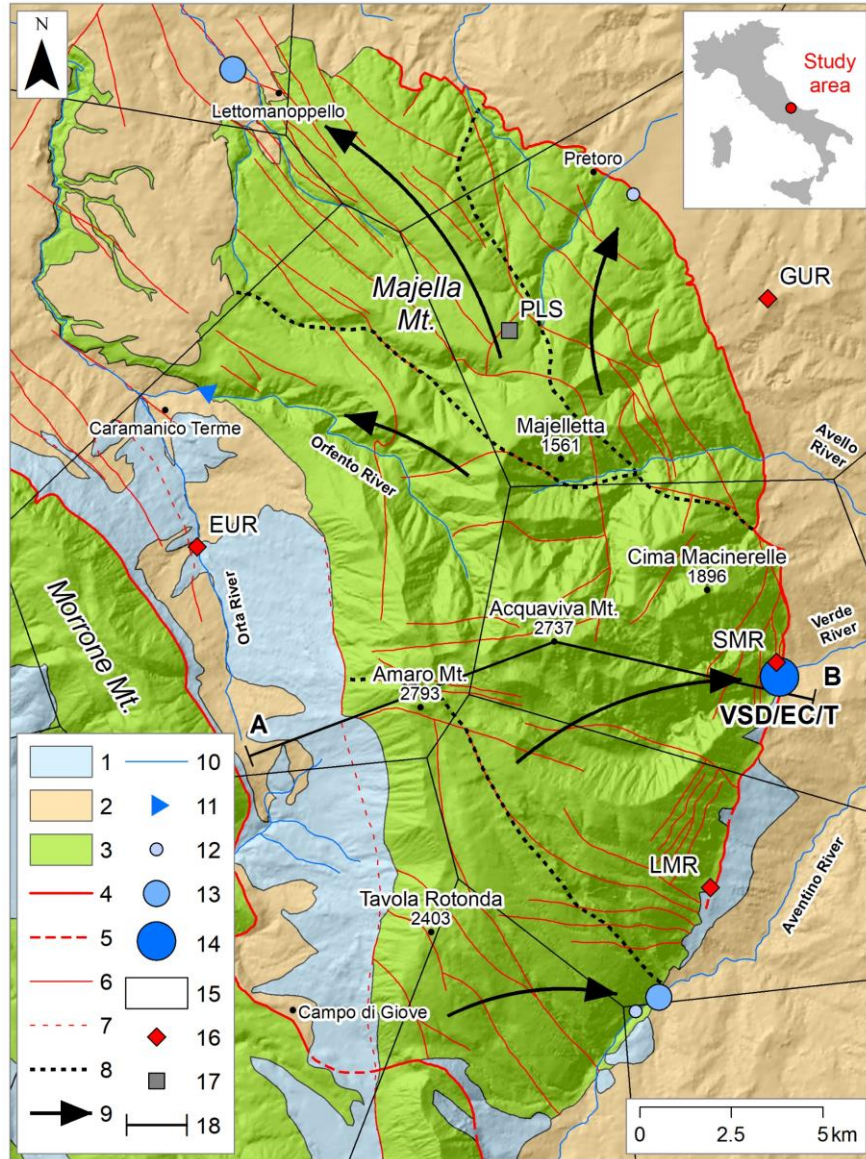


| Metodo di Turc | Metodo di Thornthwaite | Metodo delle portate                      |
|----------------|------------------------|---|
| 960 mm/a       | 890 mm/a               | <b>920 mm/a<br/>(7,5 m<sup>3</sup>/s)</b> |

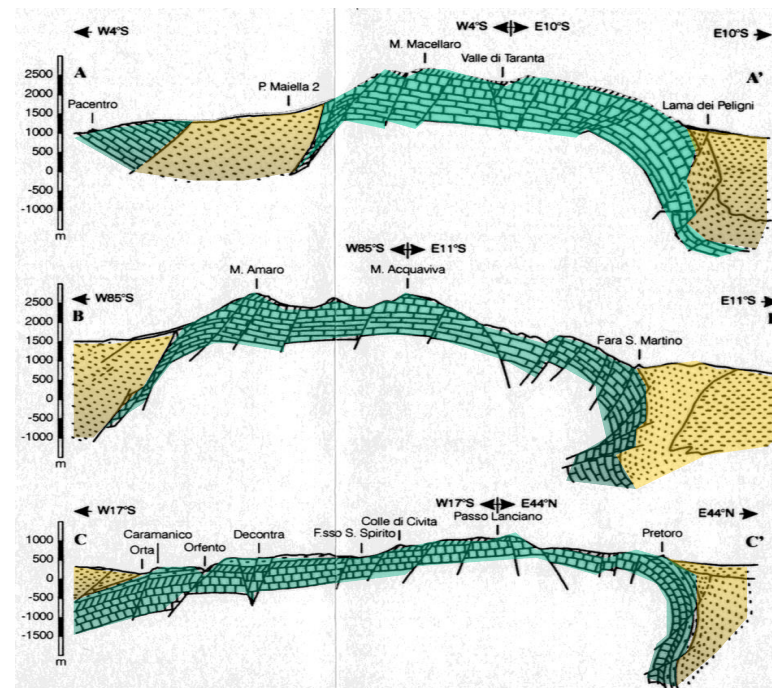
- Il bilancio evidenzia che la struttura è idrogeologicamente chiusa.
- Si possono escludere significativi apporti provenienti dalla struttura adiacente del monte Porrara a sud e fughe di acqua verso la continuazione sepolta della struttura a nord.

- Introduzione
- Idrogeologia
- Bil. Idrologic.
- Probl. neve
- Bil. Idrogeol.**
- Probl.stazioni
- Mod. concet.
- Caso studio
- An. statistica
- Conclusioni

# Bilancio idrogeologico



| Sorgente      | quota<br>m (s.l.m.) | Q media<br>m <sup>3</sup> /s | Q annua<br>m <sup>3</sup> /anno |
|---------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|
| S. Giustino   | 477                 | 0,7                          | 22 10 <sup>6</sup>              |
| AcqueV.       | 462-453             | 1,1                          | 35 10 <sup>6</sup>              |
| Verde         | 410                 | 3                            | 95 10 <sup>6</sup>              |
| Foro          | 420                 | 0,6                          | 19 10 <sup>6</sup>              |
| Lavino        | 150                 | 1,9                          | 60 10 <sup>6</sup>              |
| Orfento       | 480-405             | 0,15                         | 5 10 <sup>6</sup>               |
| <b>TOTALE</b> | --                  | <b>7,5</b>                   | <b>236 10<sup>6</sup></b>       |



**CREIAMO PA**

Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologico.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

Conclusioni



## Portate uscenti dalla idrostruttura

| <i>Sorgente</i>    | <i>Quota<br/>m (s.l.m.)</i> | <i>Q media<br/>m<sup>3</sup>/s</i> | <i>Q annua<br/>m<sup>3</sup>/anno</i> |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>S. Giustino</i> | 477                         | 0,7                                | 22 10 <sup>6</sup>                    |
| <i>Acque Vive</i>  | 462-453                     | 1,1                                | 35 10 <sup>6</sup>                    |
| <i>Verde</i>       | 410                         | 3                                  | 95 10 <sup>6</sup>                    |
| <i>Foro</i>        | 420                         | 0,6                                | 19 10 <sup>6</sup>                    |
| <i>Lavino</i>      | 150                         | 1,9                                | 60 10 <sup>6</sup>                    |
| <i>Orfento</i>     | 480-405                     | 0,15                               | 5 10 <sup>6</sup>                     |
| <b>TOTALE</b>      | --                          | 7,5                                | 236 10 <sup>6</sup>                   |

| <i>Uso</i>           | <i>%</i> |
|----------------------|----------|
| <i>Potabile</i>      | 24       |
| <i>Idroelettrico</i> | 41       |
| <i>Irriguo</i>       | 4        |
| <i>Non captate</i>   | 31       |

Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

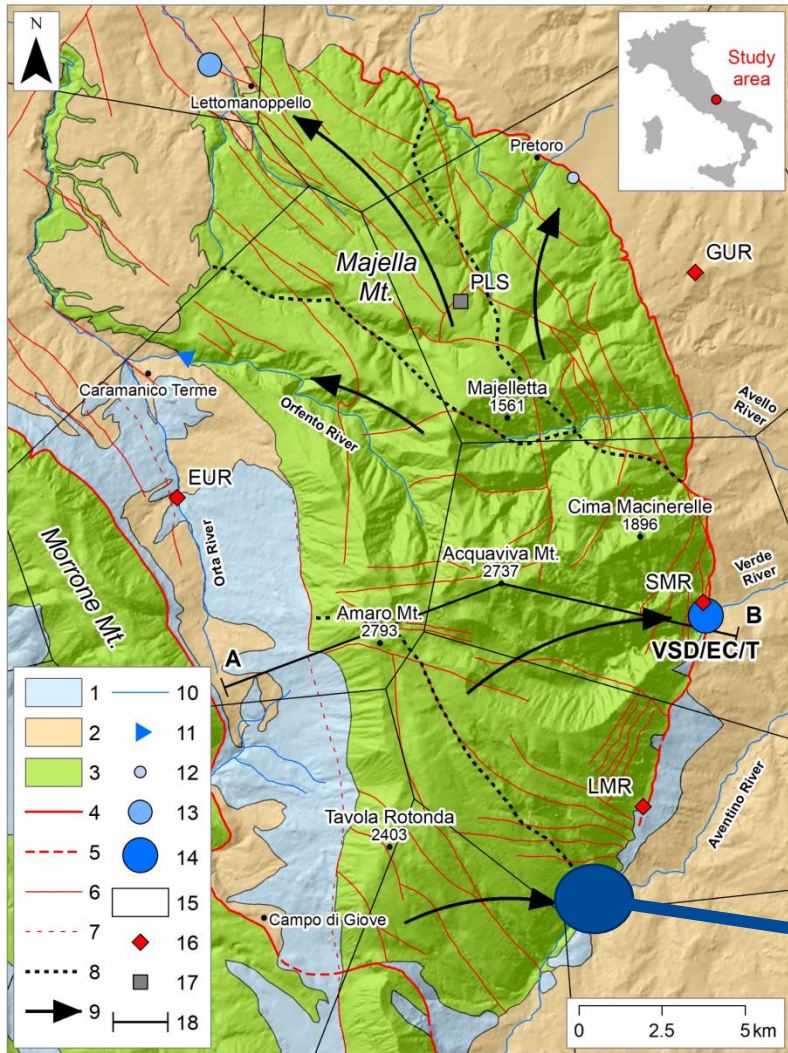
An. statistica

Conclusioni



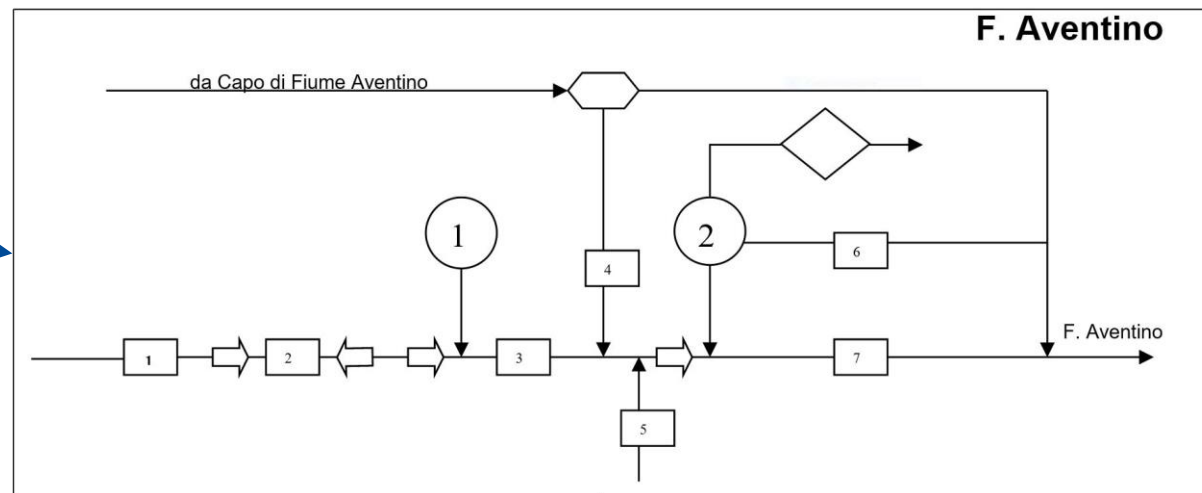
**CReIAMO PA**

# Assetto naturale vs assetto antropico



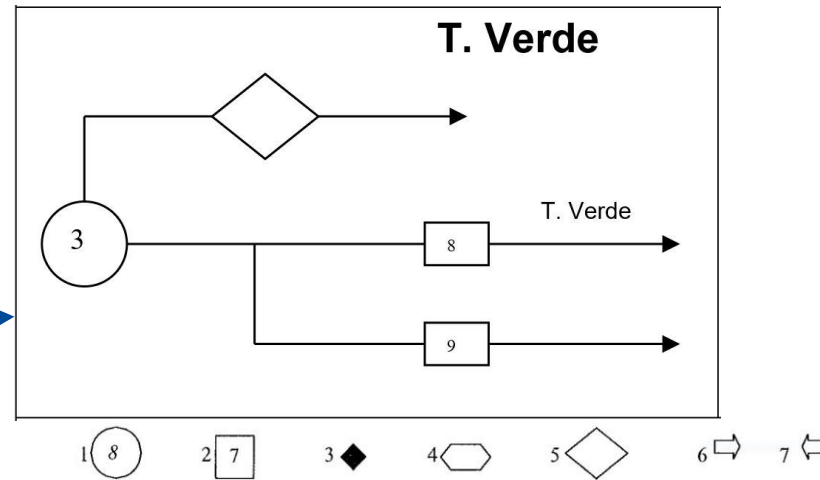
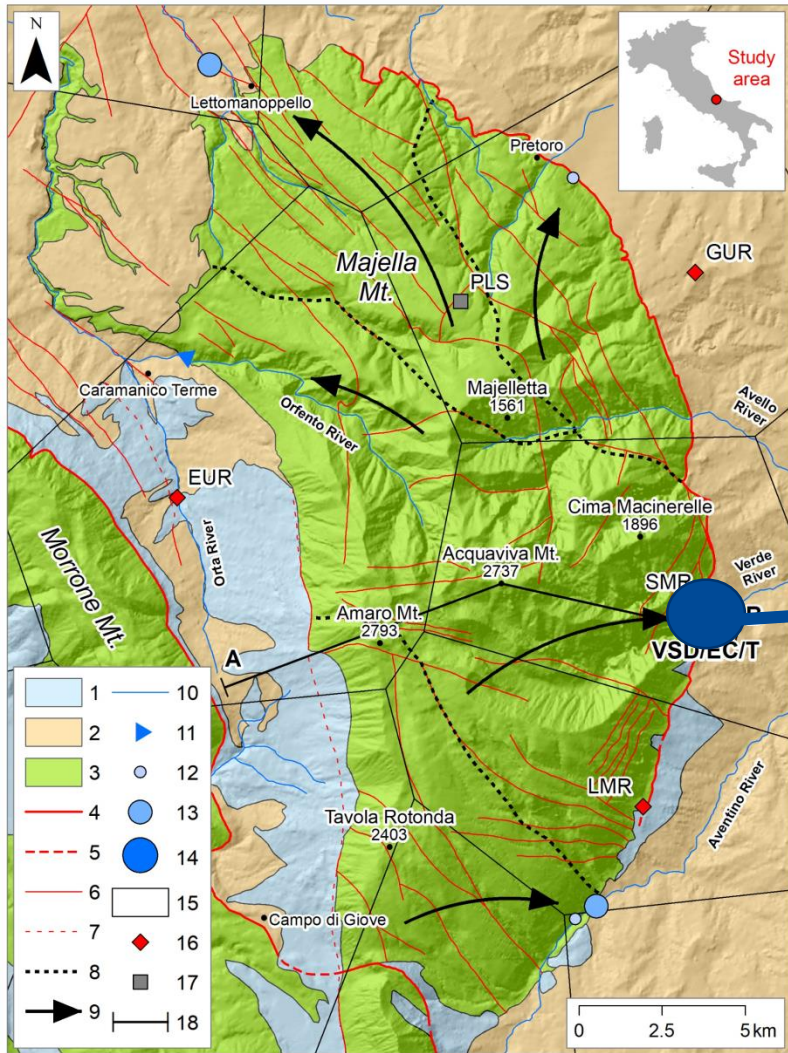
Schemi dei prelievi antropici e ubicazione delle sezioni di misura.

1) Sorgente puntuale. 2) Sezione di misura della portata in alveo. 3) Prelievi per usi fuori struttura. 4) Centrali idroelettriche. 5) Prelievi acquedottistici. 6) Incrementi in alveo. 7) Decrementi in alveo.





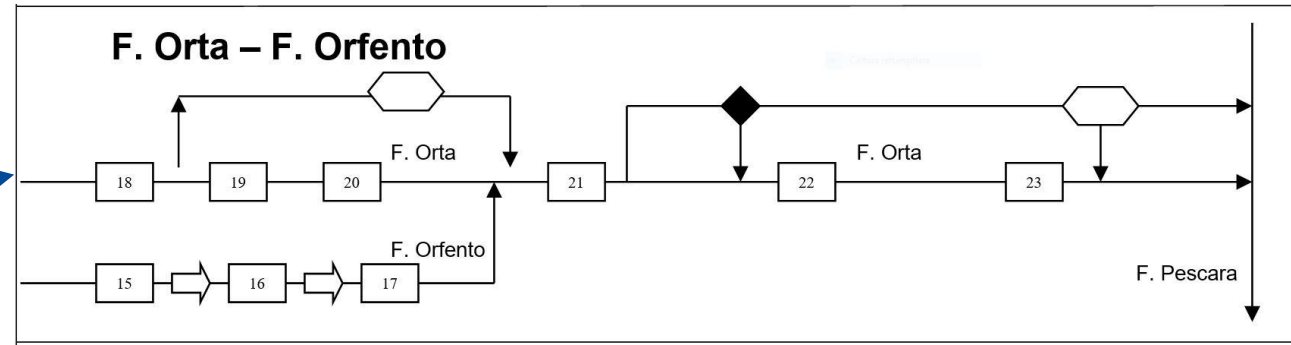
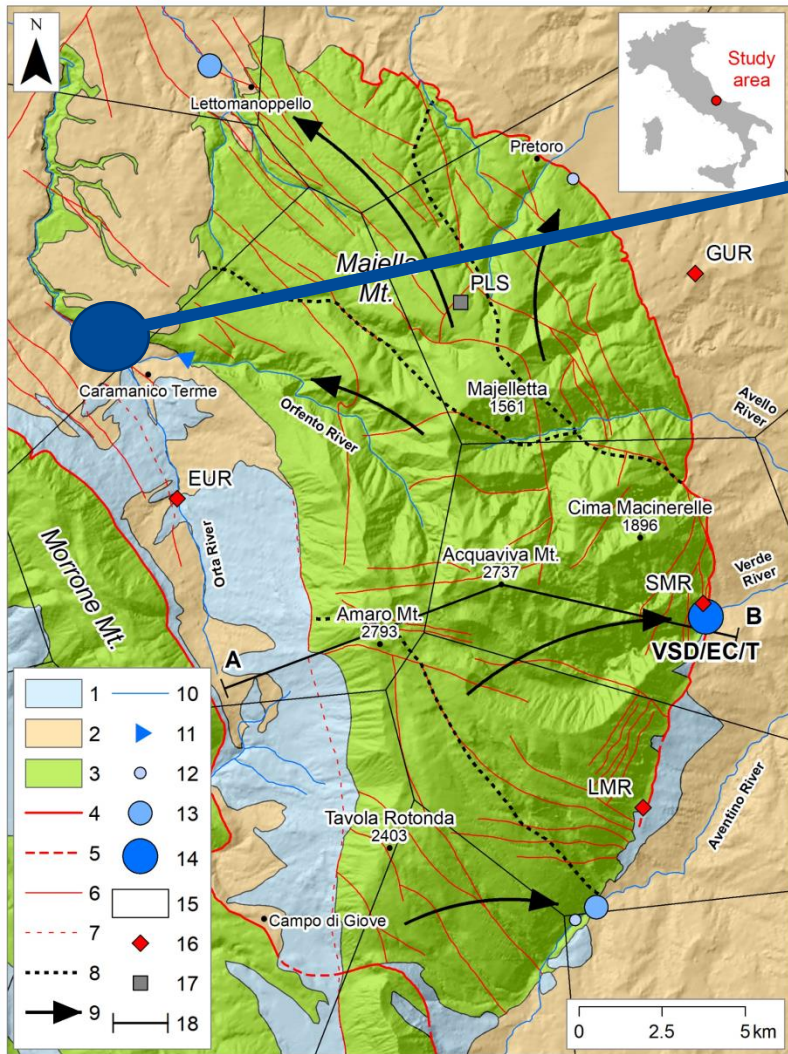
# Assetto naturale vs assetto antropico



Schemi dei prelievi antropici e ubicazione delle sezioni di misura.  
 1) Sorgente puntuale. 2) Sezione di misura della portata in alveo. 3) Prelievi per usi fuori struttura. 4) Centrali idroelettriche. 5) Prelievi acquedottistici. 6) Incrementi in alveo. 7) Decrementi in alveo.

- Introduzione
- Idrogeologia
- Bil. Idrologic.
- Probl. neve
- Bil. Idrogeol.
- Probl.stazioni
- Mod. concet.
- Caso studio
- An. statistica
- Conclusioni

# Assetto naturale vs assetto antropico



Schemi dei prelievi antropici e ubicazione delle sezioni di misura.

1) Sorgente puntuale. 2) Sezione di misura della portata in alveo. 3) Prelievi per usi fuori struttura. 4) Centrali idroelettriche. 5) Prelievi acquedottistici. 6) Incrementi in alveo. 7) Decrementi in alveo.

- Introduzione
- Idrogeologia
- Bil. Idrologic.
- Probl. neve
- Bil. Idrogeol.
- Probl.stazioni
- Mod. concet.
- Caso studio
- An. statistica
- Conclusioni



# Assetto naturale vs assetto antropico



Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

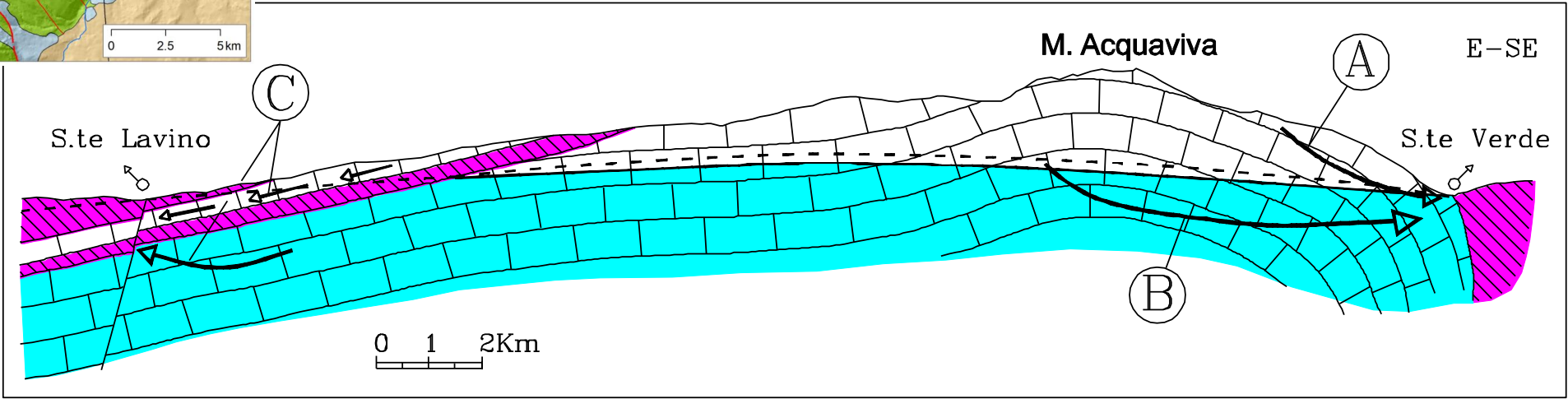
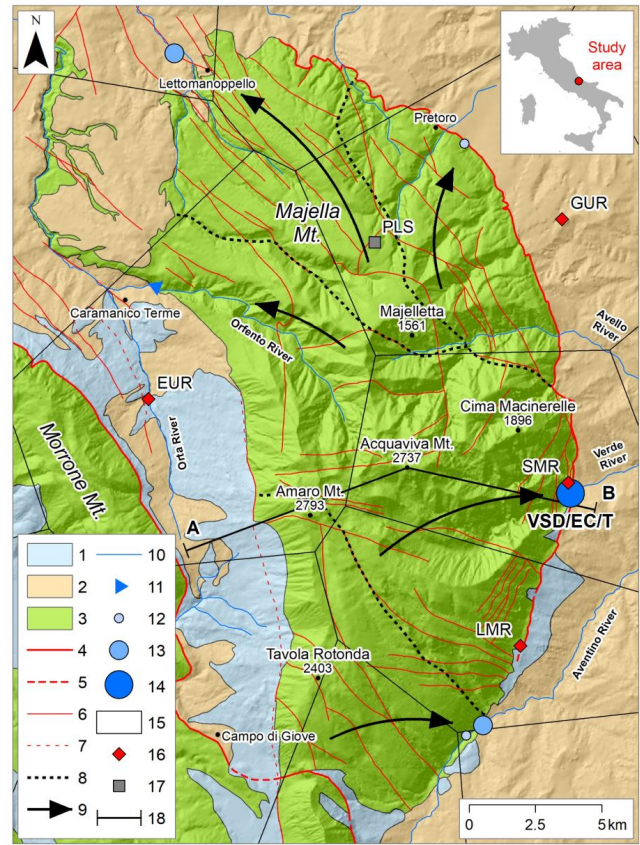
An. statistica

Conclusioni



# Bilancio idrologico e idrogeologico ➔ modello concettuale

| Metodo di Turc | Metodo di Thornthwaite | Metodo delle portate                            |
|----------------|------------------------|---|
| 960 mm/a       | 890 mm/a               | <b>920 mm/a</b><br><b>(7,5 m<sup>3</sup>/s)</b> |



Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologico.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

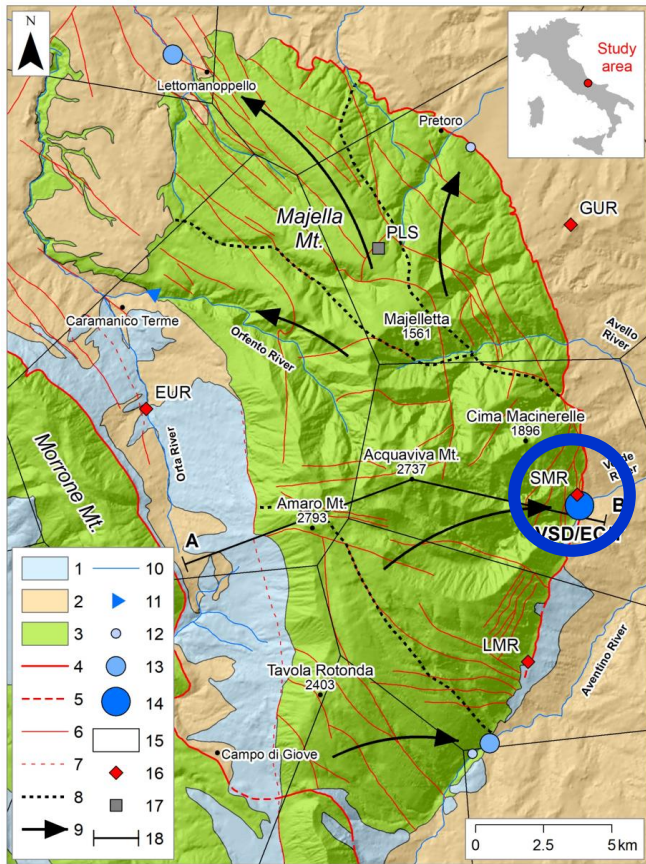
Caso studio

An. statistica

Conclusioni



# Sorgente del Verde



Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

Conclusioni



# Dati «grezzi»

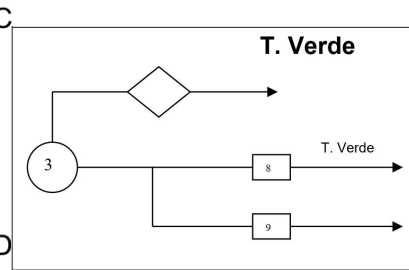
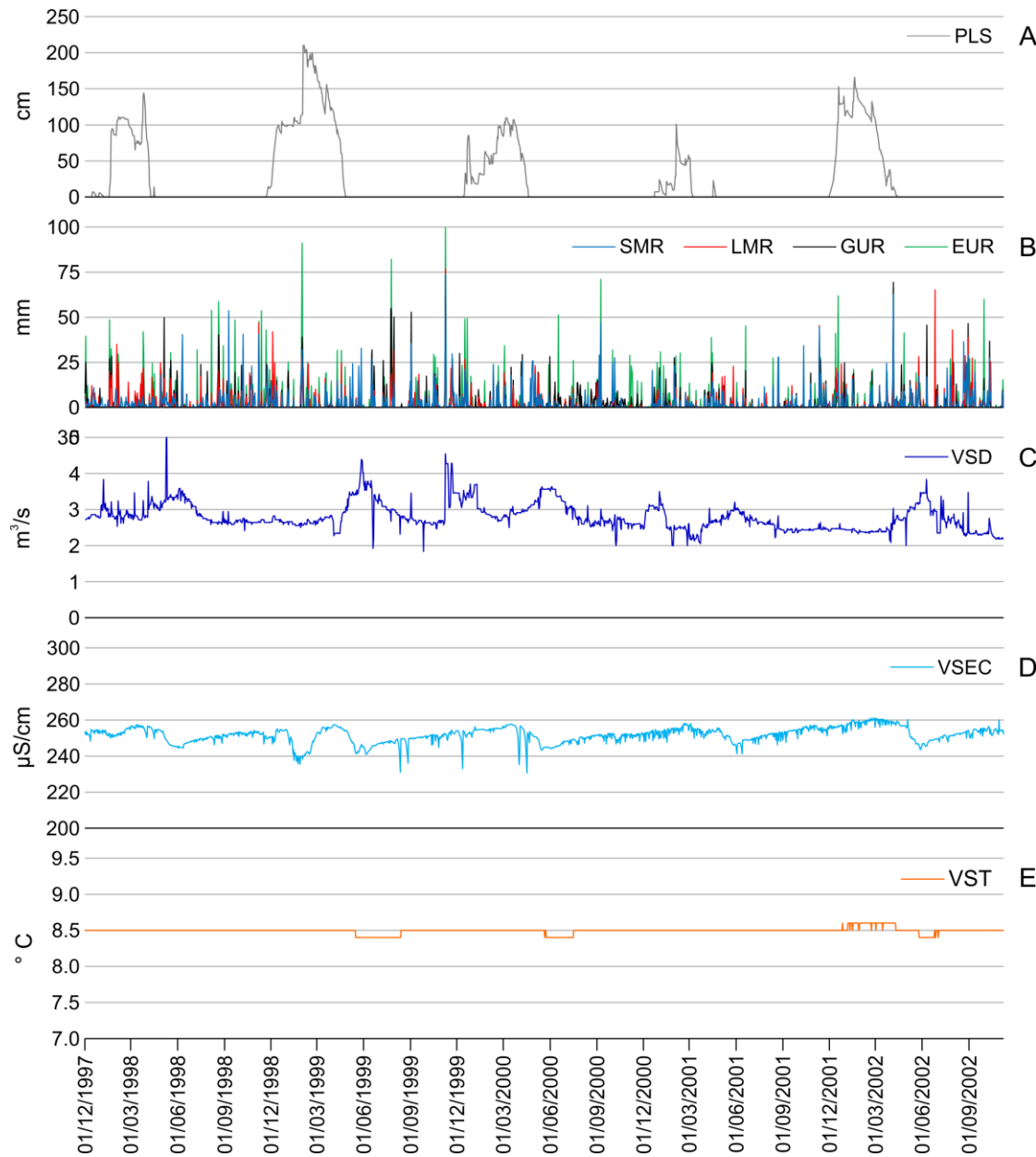
Spessore manto nevoso

Precipitazioni

Portata

Conducibilità elettrica

Temperatura



Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

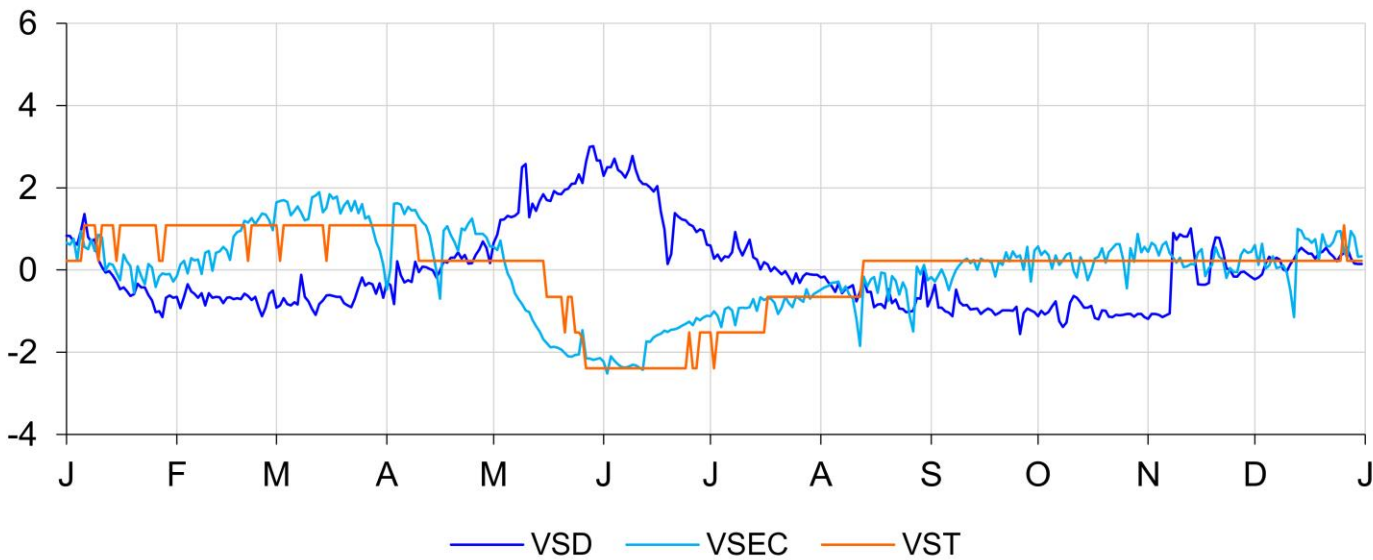
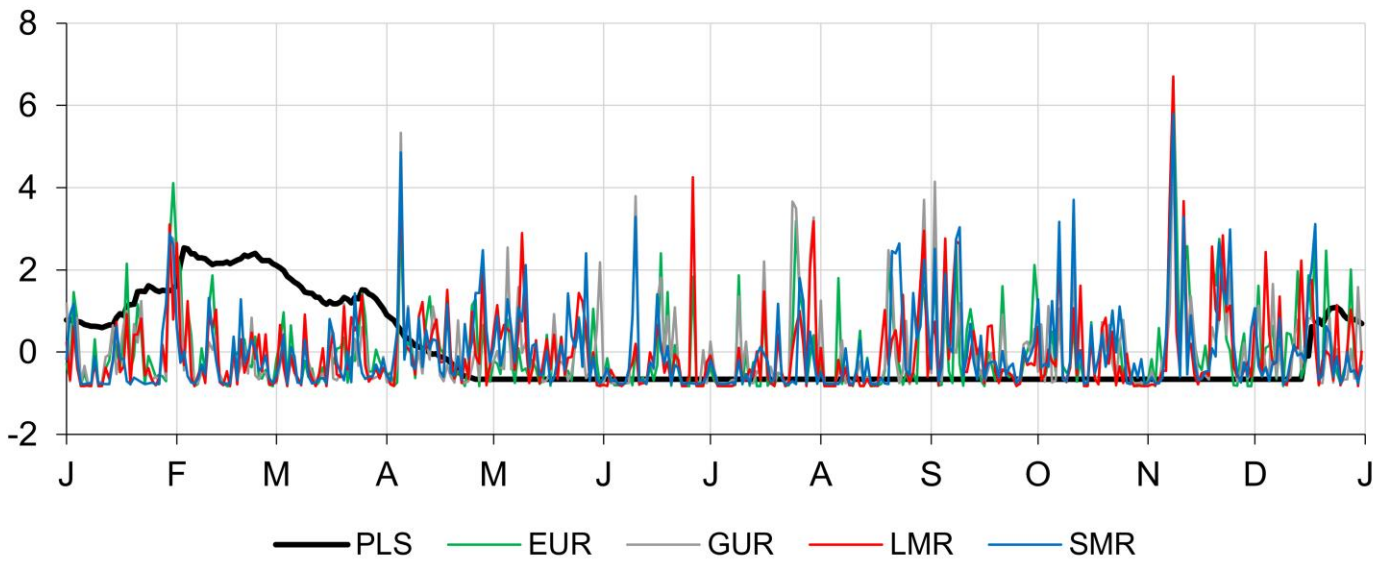
An. statistica

Conclusioni



**CReIAMO PA**





## Dati «normalizzati»

Dati di ingresso (**Input**): neve e pioggia in diverse stazioni meteo.

Dati di uscita (**Output**): portata della sorgente, caratteristiche chimico-fisiche ( $\chi$ , T)

Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

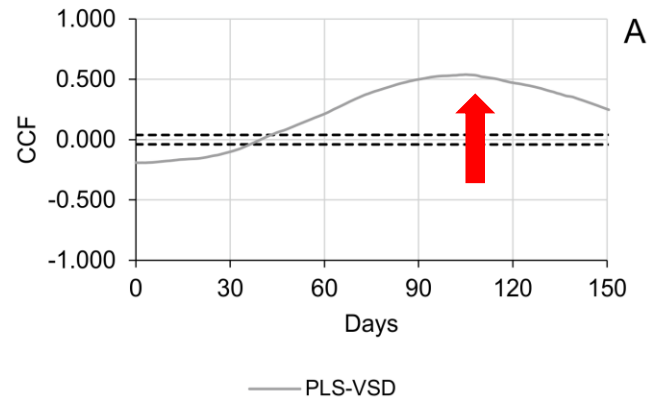
Conclusioni



**CREIAMO PA**

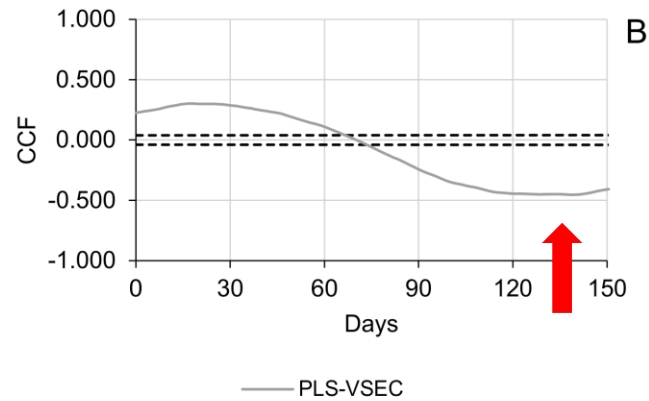
Da: Chiaudani et al. (2019)

# Cross Correlazione (CCF) manto nevoso



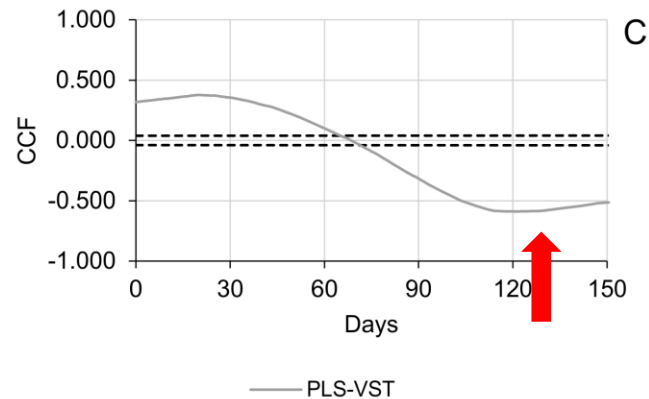
*Manto nevoso/portata  
sorgente*

A: max correlazione a 110 giorni



*Manto nevoso/Cond. Elettrica  
acqua*

B e C max correlazione a 135  
giorni circa



*Manto nevoso /  
temperatura acqua*

Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

Conclusioni



**CReIAMO PA**



# Cross Correlazione (CCF) precipitazioni

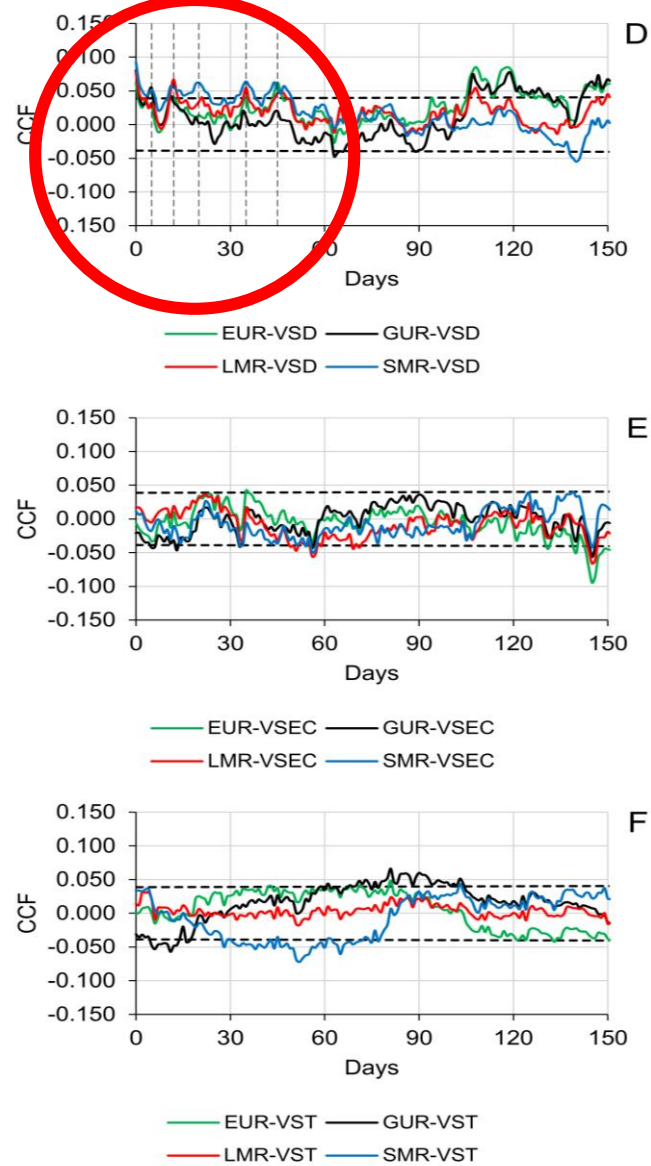
*Precipitazioni/portata sorgente*

In generale minori valori rispetto alla CCF neve

Buona correlazione a 0, 5, 13, 22, 35, 45 giorni a causa di differenti percorsi sotterranei

*Precipitazioni/Cond. Elettrica acqua*

*Precipitazioni/temperatura acqua*



Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

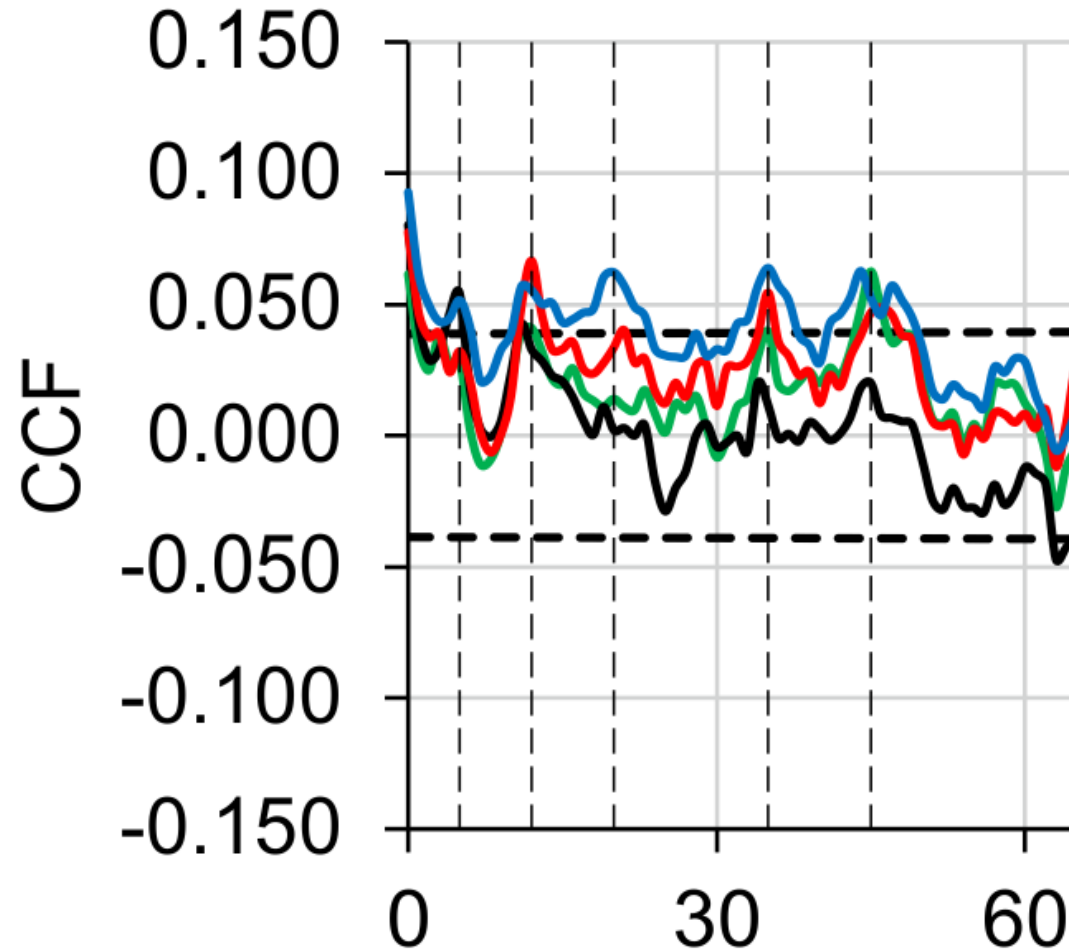
Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

Conclusioni

## Cross Correlazione (CCF) precipitazioni



La buona correlazione a 0 giorni (istantanea) è dovuta al runoff dell'area tra la sorgente e le sezioni di misura ubicata a 1800 m a valle (importanza della conoscenza locale) e non a circolazioni velocissime

Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

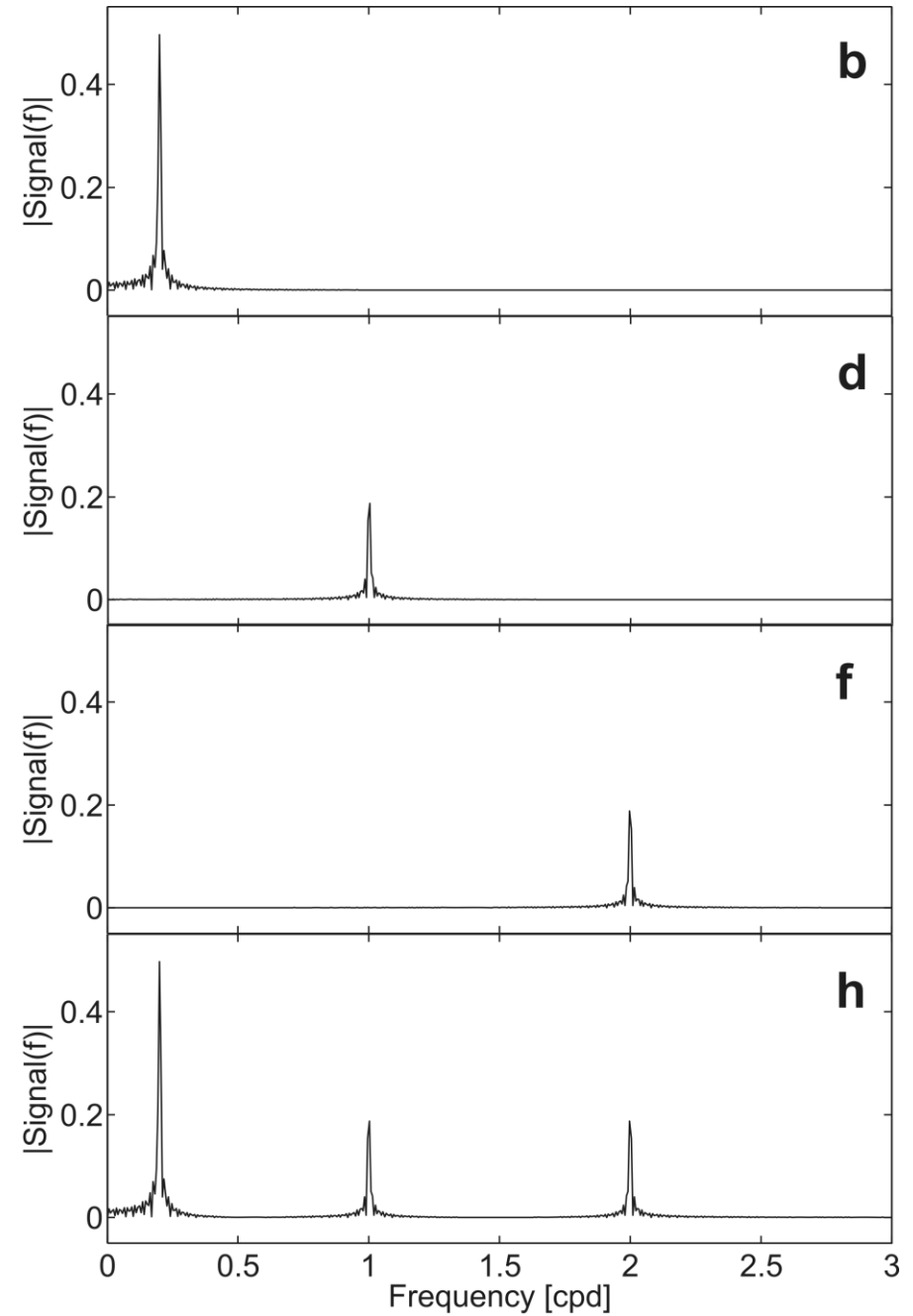
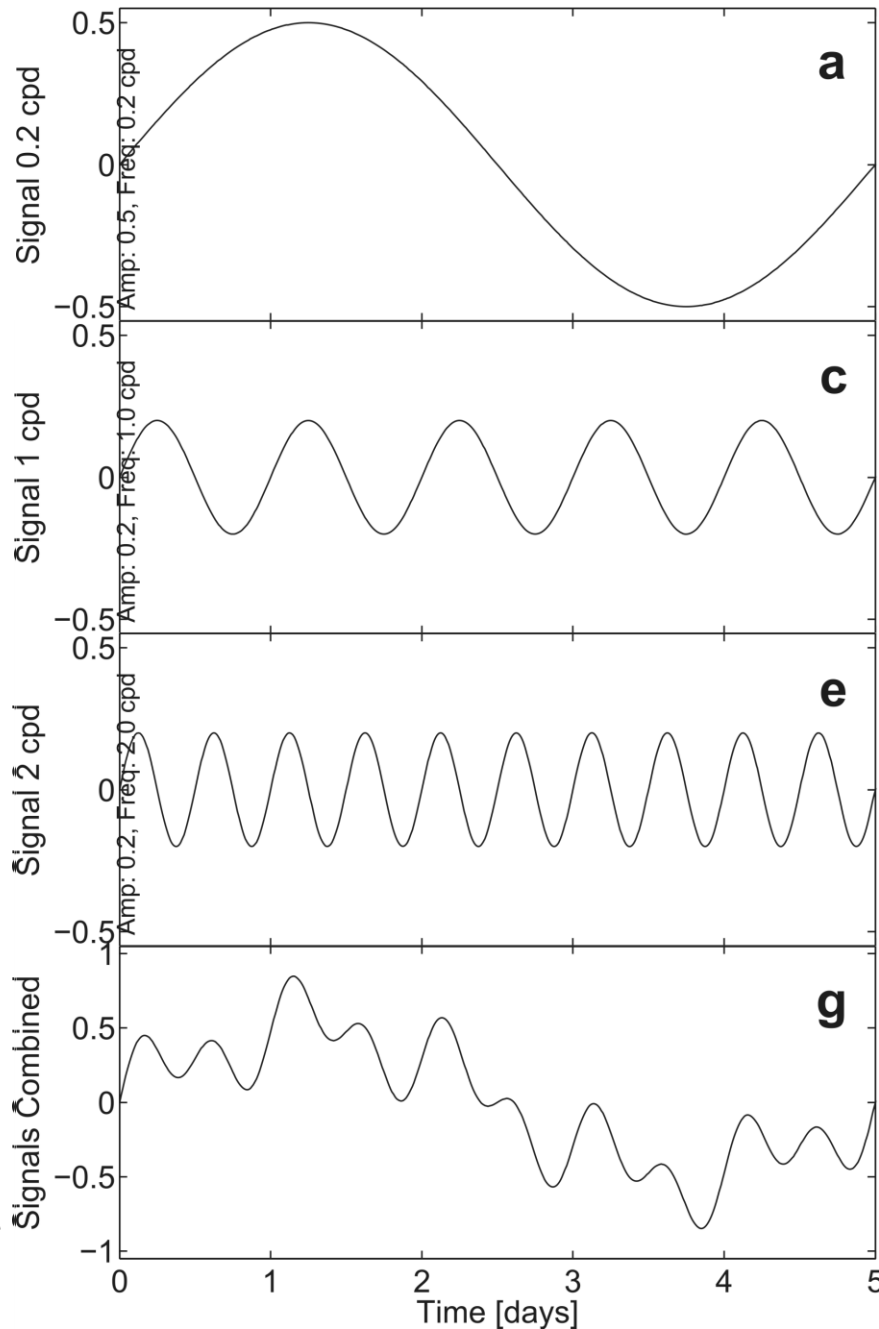
Conclusioni



CReIAMO PA



# Analisi degli spettri



CREIAMO PA

Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

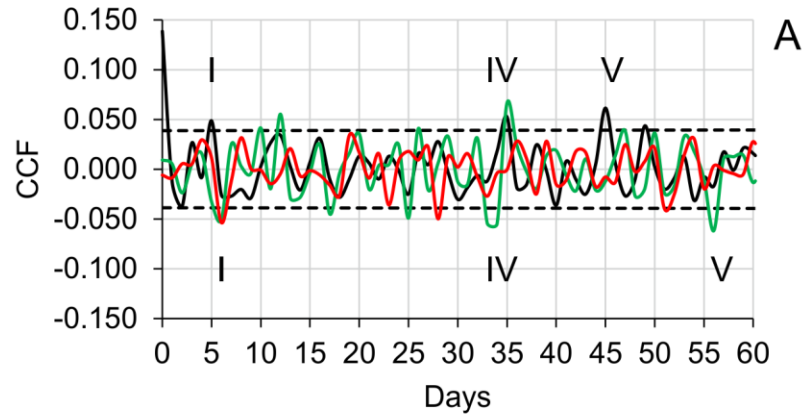
Mod. concet.

Caso studio

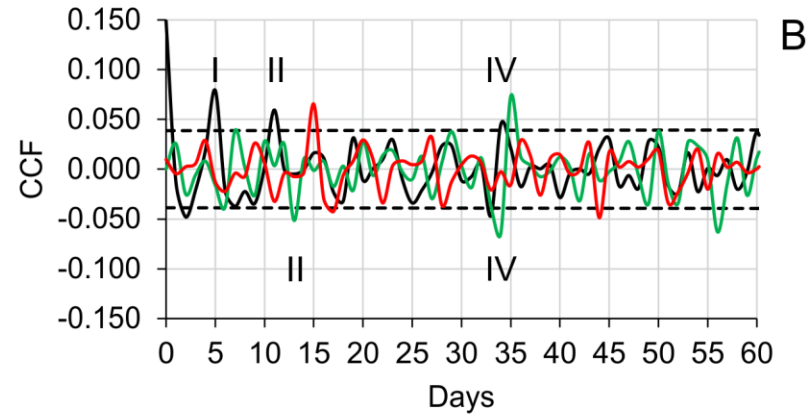
An. statistica

Conclusioni

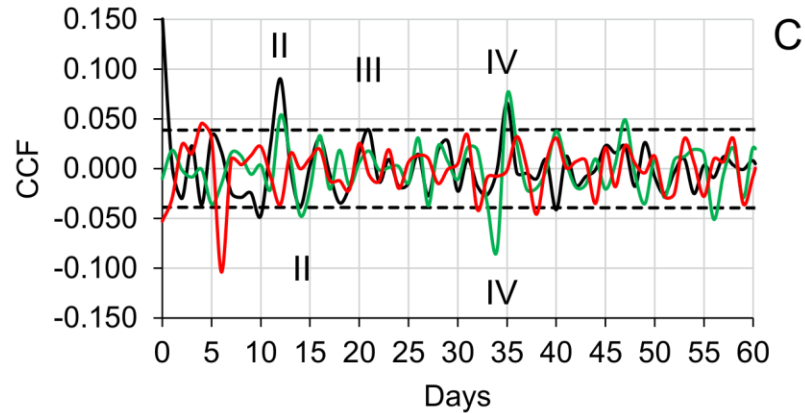
# Cross Correlazione (CCF) tra portata sorgiva detrendizzata e dati di precipitazioni



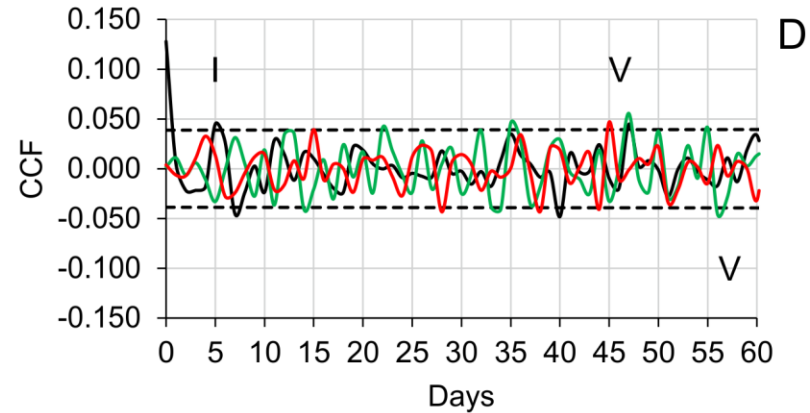
— EUR-rVSD — EUR-rVSEC — EUR-rVST



— GUR-rVSD — GUR-rVSEC — GUR-rVST



— LMR-rVSD — LMR-rVSEC — LMR-rVST



— SMR-rVSD — SMR-rVSEC — SMR-rVST

CCF tra le precipitazioni grezze e:

- la portata della sorgente detratta dell'effetto dello scioglimento della neve (detrendizzata)

- le caratteristiche chimico fisiche detrendizzate

**I risultati, analizzati per pluviometri a diverse distanze dalla sorgente, hanno consentito di definire diversi tipi e diverse estensioni di circolazione ATTIVATI a seconda della intensità e distanza delle precipitazioni.**

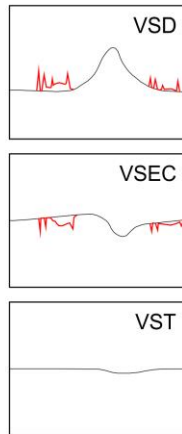
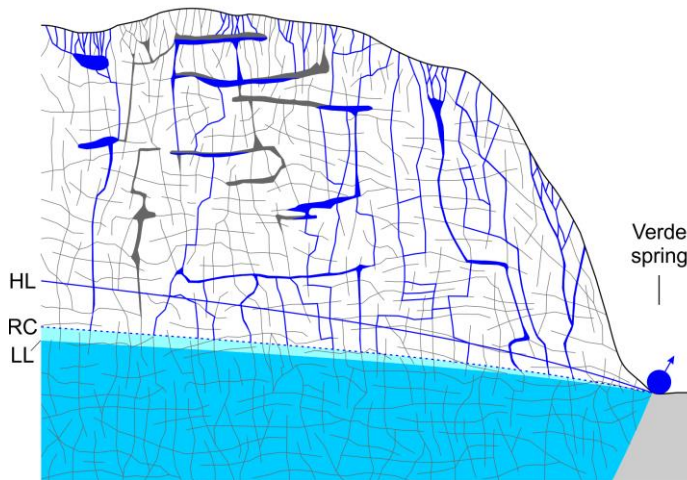
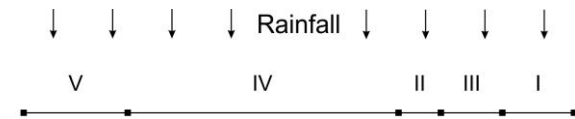
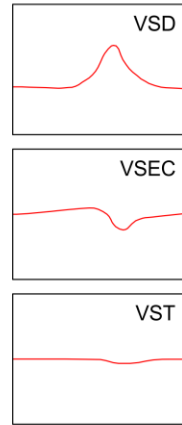
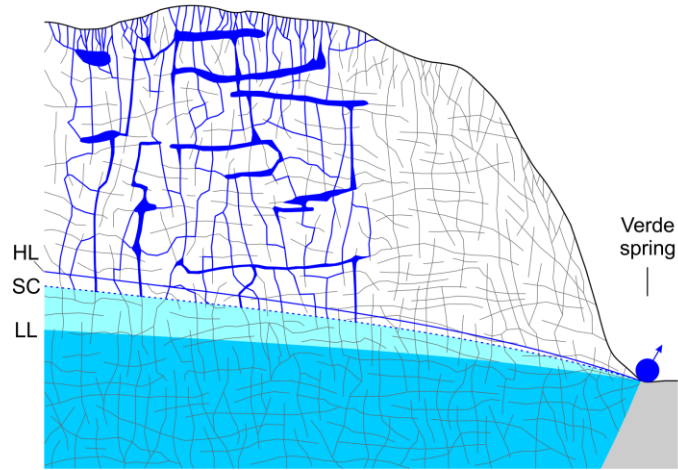


**CReIAMO PA**

Da: Chiaudani et al. (2019)



Snow melting



## Conclusioni

Il massimo spessore del manto nevoso è correlato alle massime portate con ritardo di circa 110 giorni e si manifesta con trasferimento di pressione. Il segnale chimico fisico (lieve) si trasmette dopo ulteriori 15 giorni circa

La ricarica meteorica si manifesta con più lievi aumenti di portata il cui ritardo dipende dalla distanza dalla sorgente, dalla intensità degli eventi e dalla tipologia di circuito attivato («Permeabilità»).

I ritardi più frequenti sono posti a circa 5, 13, 22, 35 e 45 giorni)

Introduzione

Idrogeologia

Bil. Idrologic.

Probl. neve

Bil. Idrogeol.

Probl.stazioni

Mod. concet.

Caso studio

An. statistica

Conclusioni



**CReIAMO PA**

## Citazioni bibliografiche

Nanni T., Rusi S. (2003): Idrogeologia del massiccio carbonatico della Majella (Abruzzo).  
Boll. Soc. Geol. It. 122 (2), 173-202.

Fiorillo F., Petitta M., Preziosi E., Rusi S., Esposito L., Tallini M. (2015): Long-term trend and fluctuations of karst spring discharge in a Mediterranean area (central-southern Italy).  
Environ. Earth. Sci., 74/1, 153-172, Doi 10.1007/s12665-014-3946-6

Chiaudani A., Di Curzio D., Rusi S. (2019) The snow and rainfall impact on the Verde spring behavior: A statistical approach on hydrodynamic and hydrochemical daily time-series.  
Science of the Total Environment, 689, 481-493. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.43





Grazie per l'attenzione



**CREIAMO PA**

*«La figlia di Iorio» Francesco Paolo Michetti - 1895*