

La modellistica matematica  
delle acque sotterranee  
a supporto della pianificazione e  
gestione della risorsa idrica.  
Esempi applicativi in Emilia-Romagna

**Ing. Andrea Chahoud**

Direzione Tecnica ARPAE Emilia-Romagna  
Centro Tematico Regionale Sistemi Idrici  
Unità Pianificazione Risorsa Idrica

Bologna, 25 novembre 2019



# La modellistica matematica delle acque sotterranee a supporto della pianificazione e gestione della risorsa idrica. Esempi applicativi in Emilia-Romagna

## *PARTE 3*

*Esame di specifici casi applicativi a scale diverse e per  
obiettivi diversi: il modello regionale ed i modelli locali*

## *CASO 4*

*Valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulle  
acque sotterranee*

**Ing. Andrea Chahoud**

Direzione Tecnica ARPAE Emilia-Romagna  
Centro Tematico Regionale Sistemi Idrici  
Unità Pianificazione Risorsa Idrica

**Bologna, 25 novembre 2019**

**arpae**  
agenzia  
prevenzione  
ambiente energia  
emilia-romagna

Estratto da:

# CAMBIAMENTI CLIMATICI e ACQUE SOTTERRANEE

lunedì 30 settembre 2019

**La ricarica in condizioni controllate delle falde in Emilia-**

**Romagna:**

**esperienze in atto e prospettive**

*Paolo Severi*

A cura di:

Luciana Bonzi, Paolo Severi (Regione Emilia-Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli)

Immacolata Pellegrino (Regione Emilia-Romagna - Servizio Tutela e Risanamento Acqua, Aria e Agenti Fisici)

Andrea Chahoud (ARPAE Direzione Tecnica CTR Sistemi Idrici.)

Vittorio Marletto, Fausto Tomei, Rodica Tomozeiu, Giulia Villani (ARPAE SIMC Osservatorio clima)



A cura di:

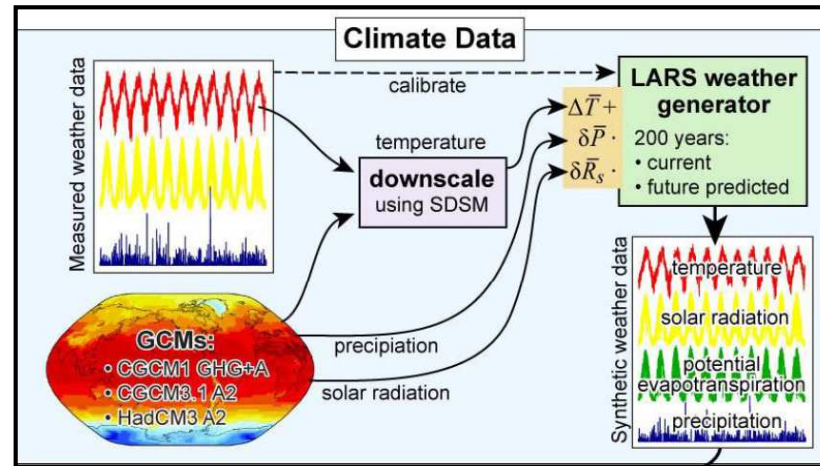
Luciana Bonzi, Paolo Severi (Regione Emilia-Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli)

Immacolata Pellegrino (Regione Emilia-Romagna - Servizio Tutela e Risanamento Acqua, Aria e Agenti Fisici)

Andrea Chahoud (ARPAE Direzione Tecnica CTR Sistemi Idrici.)

Vittorio Marletto, Fausto Tomei, Rodica Tomozeiu, Giulia Villani (ARPAE SIMC Osservatorio clima)

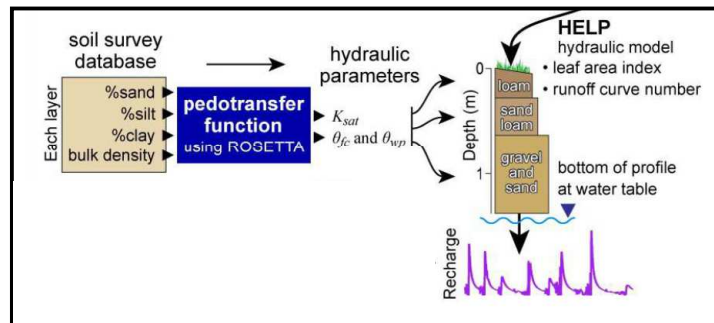
**COSTRUZIONE DI  
SCENARI PREVISIONALI  
DI LUNGO PERIODO**



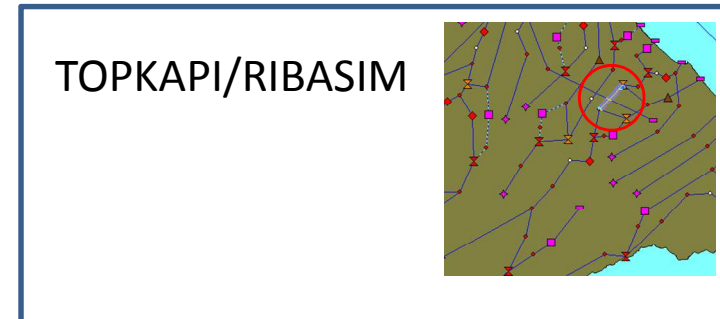
1

Scenari climatici  
+  
WG =  
**Prec, Temp 2020-2050**

2



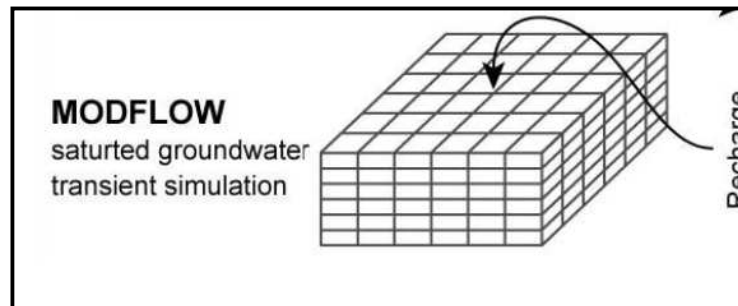
Modello di bilancio idrico del suolo  
**Recharge (x, y, t) 2020-2050**



3

Modellazione idrologica e di bilancio idrico  
**Portata Fiume Marecchia, q(t) 2020-2050**

4



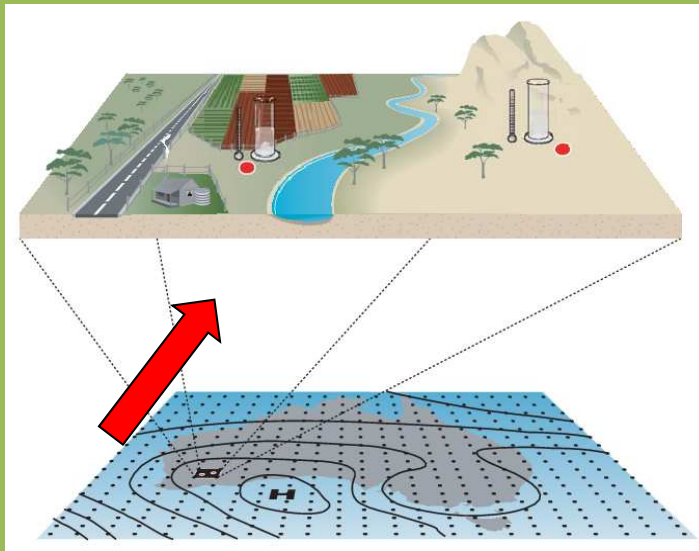
Modellistica acque sotterranee  
**Piezometria (x, y, z, t) 2020-2050**  
**Bilancio (x, y, z, t) 2020-2050**

# Catena modellistica di Arpae-SIMC per le analisi di impatto delle proiezioni climatiche

1

**Regionalizzazione statistica: regressione multivariata basata sulle correlazioni tra strutture a grande scala e a scala locale**

Sviluppato da ARPAE-SIMC (2002)



**Output stagionali**

```
YYYY/MM/DD, Tmin, Tmax, Prec
1001/01/01, 3.5, 14.8, 1.7
1001/01/02, 6.0, 11.3, 1.5
1001/01/03, 5.5, 8.6, 0.0
1001/01/04, 0.0, 10.7, 1.7
1001/01/05, -1.6, 4.1, 27.4
1001/01/06, -7.3, 8.2, 8.6
```

**Weather Generator**

**Output giornalieri**

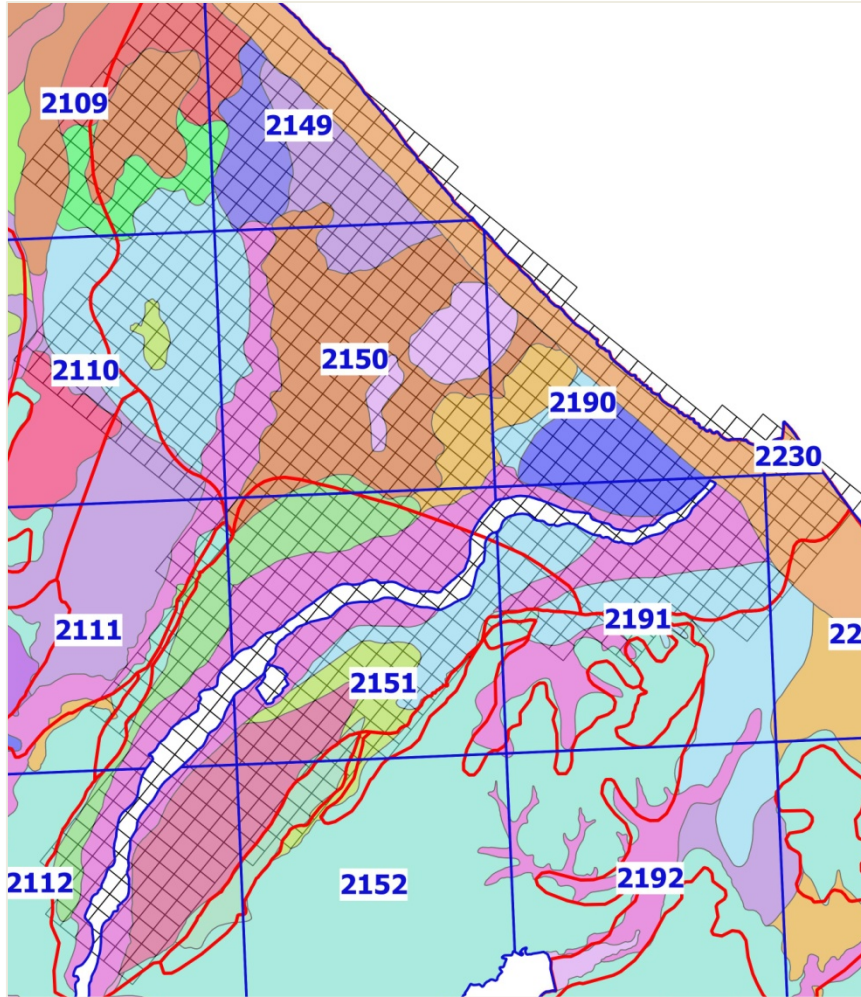


**Modello di impatto**

2

# 2

## ricarica delle falde: contributo delle piogge Modulo RCH di modflow



Cella Modflow RCH (x,y,t)

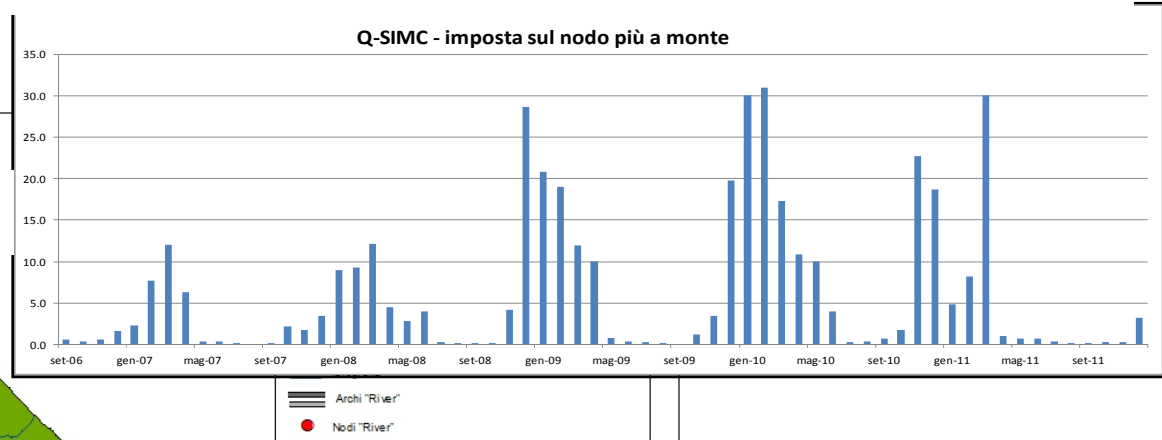
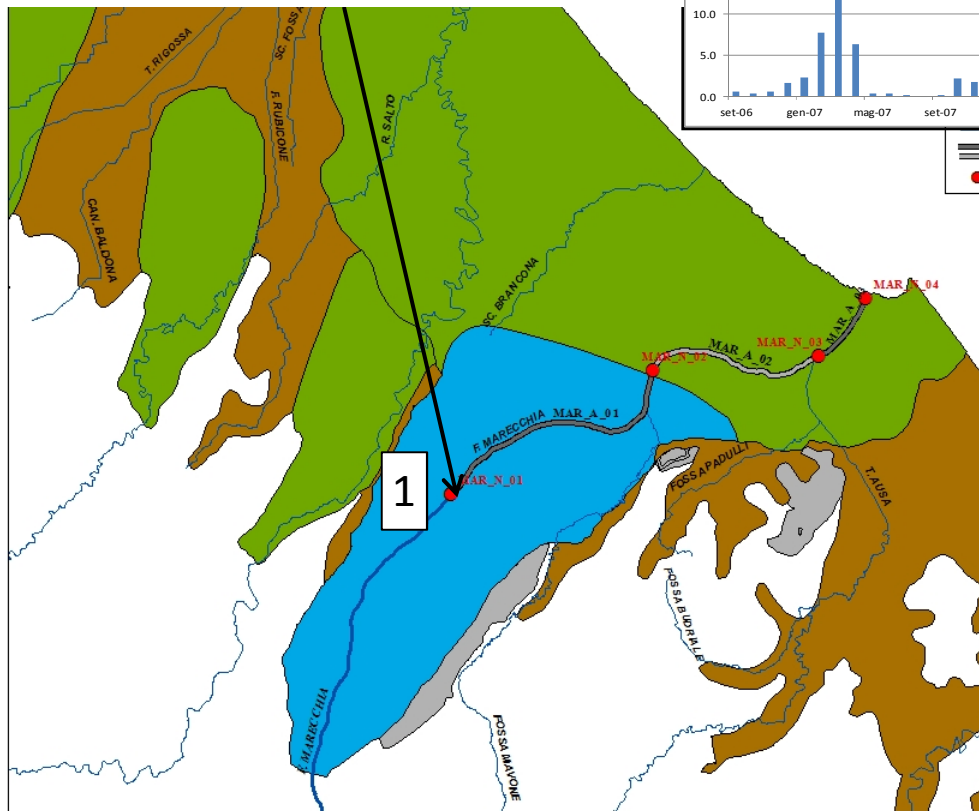
Dimensione 350x350 m

implementazione del  
modulo RCH di  
Modflow con i dati del  
bilancio idrico di  
Criteria derivanti dalle  
simulazioni di  
scenario sul CC

# 3 Contributo del fiume alla ricarica delle falde Modulo SFR2 di modflow



**Nodo SFR2 Modflow q(t)**



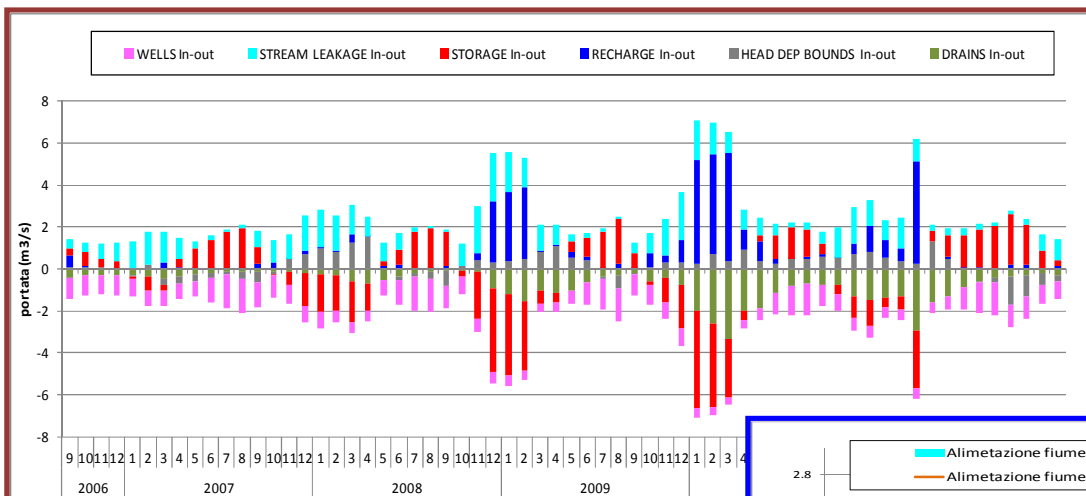
Implementazione della portata fluente in alveo nel tempo (fino al 2050, passo mensile) nel nodo di monte (punto 1). La portata sarà quella relativa allo scenario CC

# Analisi del bilancio del modello di flusso.

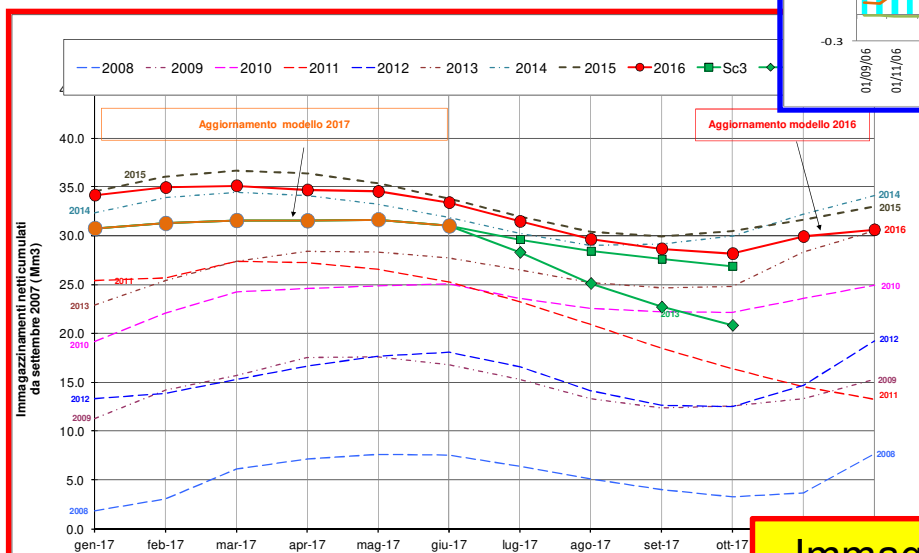
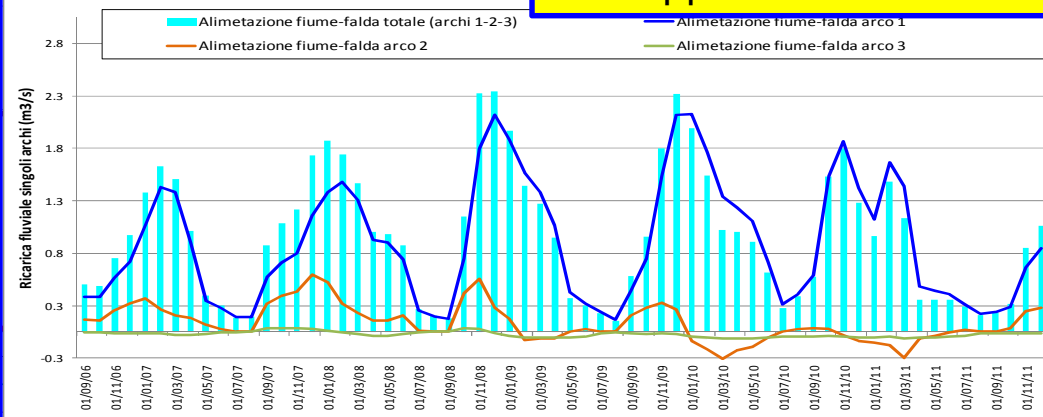
4

Analisi degli  
effetti sul bilancio  
al 2050

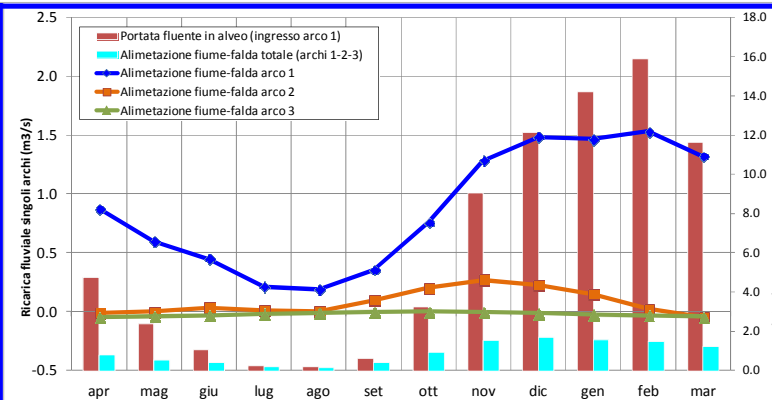
Rapporto falda-fiume



Intero modello



Immagazzinamenti e disponibilità della risorsa



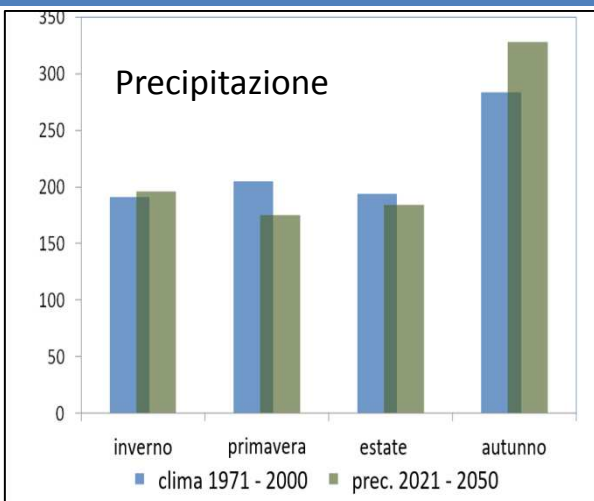
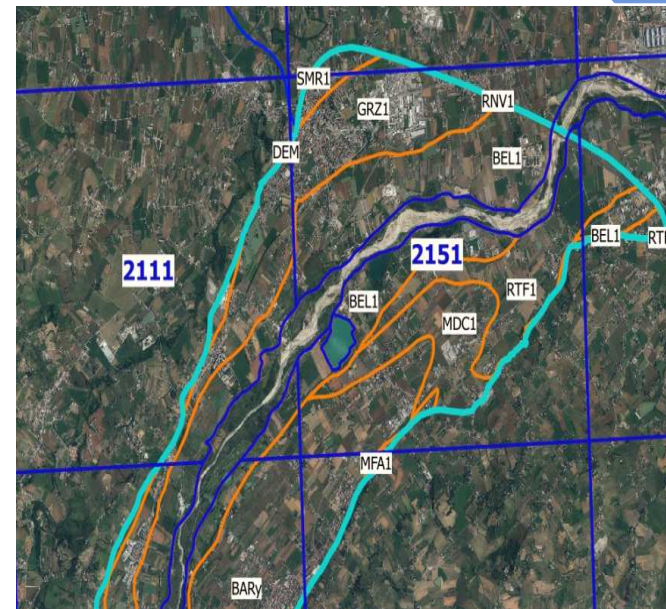
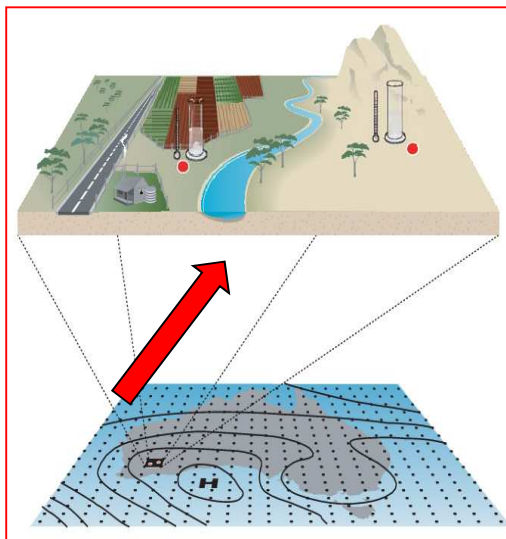


# CAMBIAMENTI CLIMATICI e ACQUE SOTTERRANEE

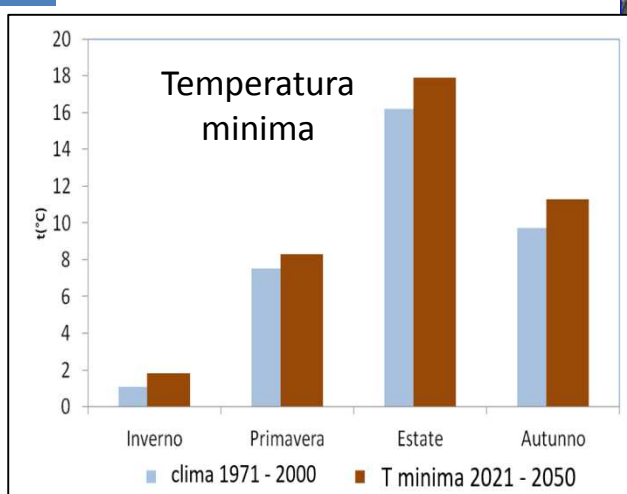
1

SIMULAZIONI CLIMATICHE  
dal modello climatico globale  
CMCC-CM (Cmcc) scenario  
emissivo CP4.5,  
downscaling statistico (ARPAE  
SIMC)

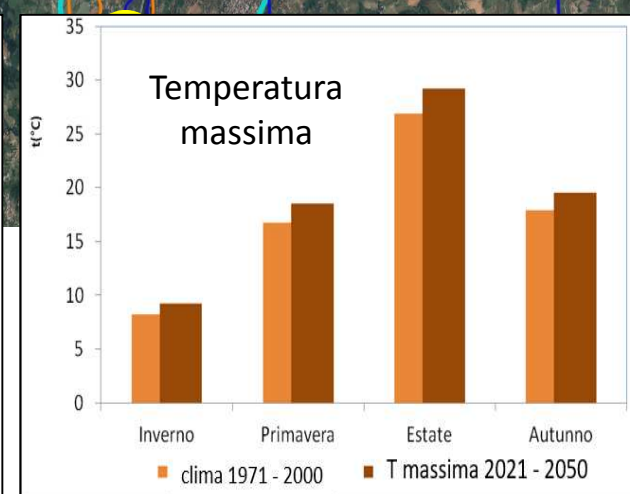
- periodo di simulazione 2021-2050
- confronto con clima di riferimento 1971-2000



Probabile diminuzione in primavera ed estate e probabile aumento in autunno



Probabile aumento stagionale compreso tra circa 1°C (inverno) e 1.5 °C (estate) rispetto al 1971-2000

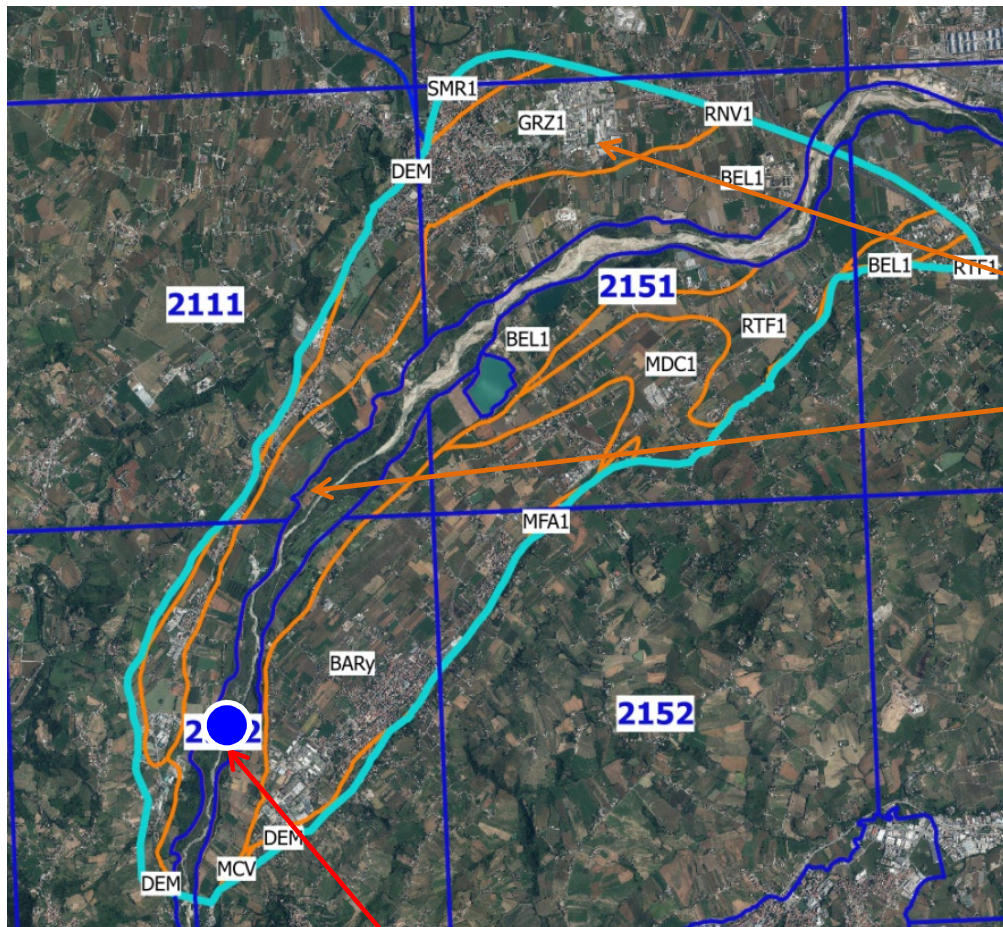


Probabile aumento stagionale compreso tra circa 1°C (inverno) e 2°C (estate) rispetto al 1971-2000

# Contributo meteorico alla ricarica delle falde

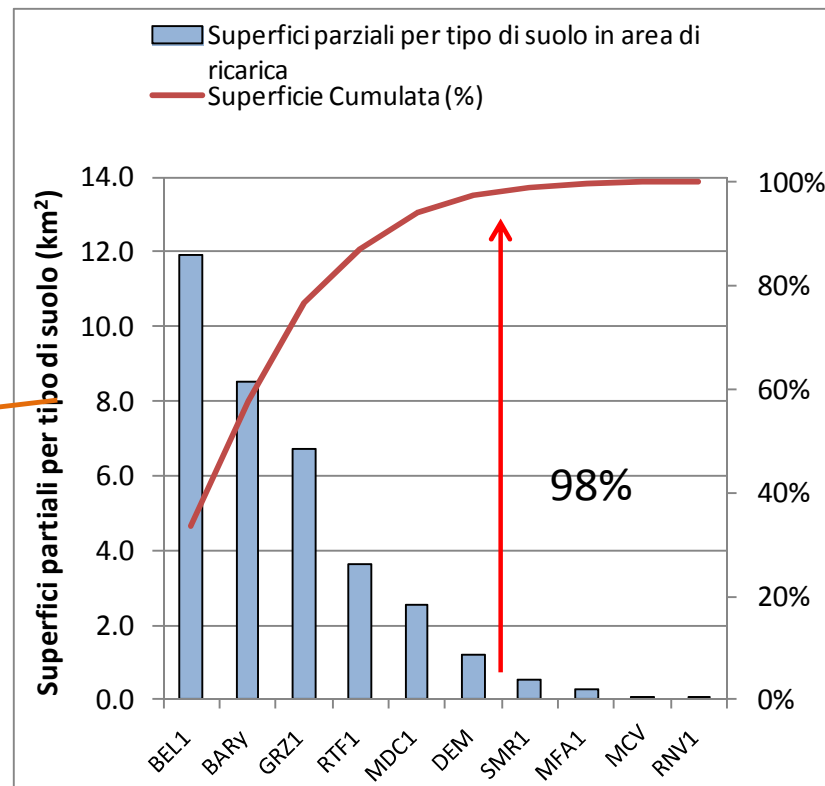
# 2

Zona di ricarica delle acque sotterranee della conoide del Marecchia



Cella meteo elaborata in funzione degli scenari sui cambiamenti climatici (fino al 2050)

Copertura suoli in area di ricarica

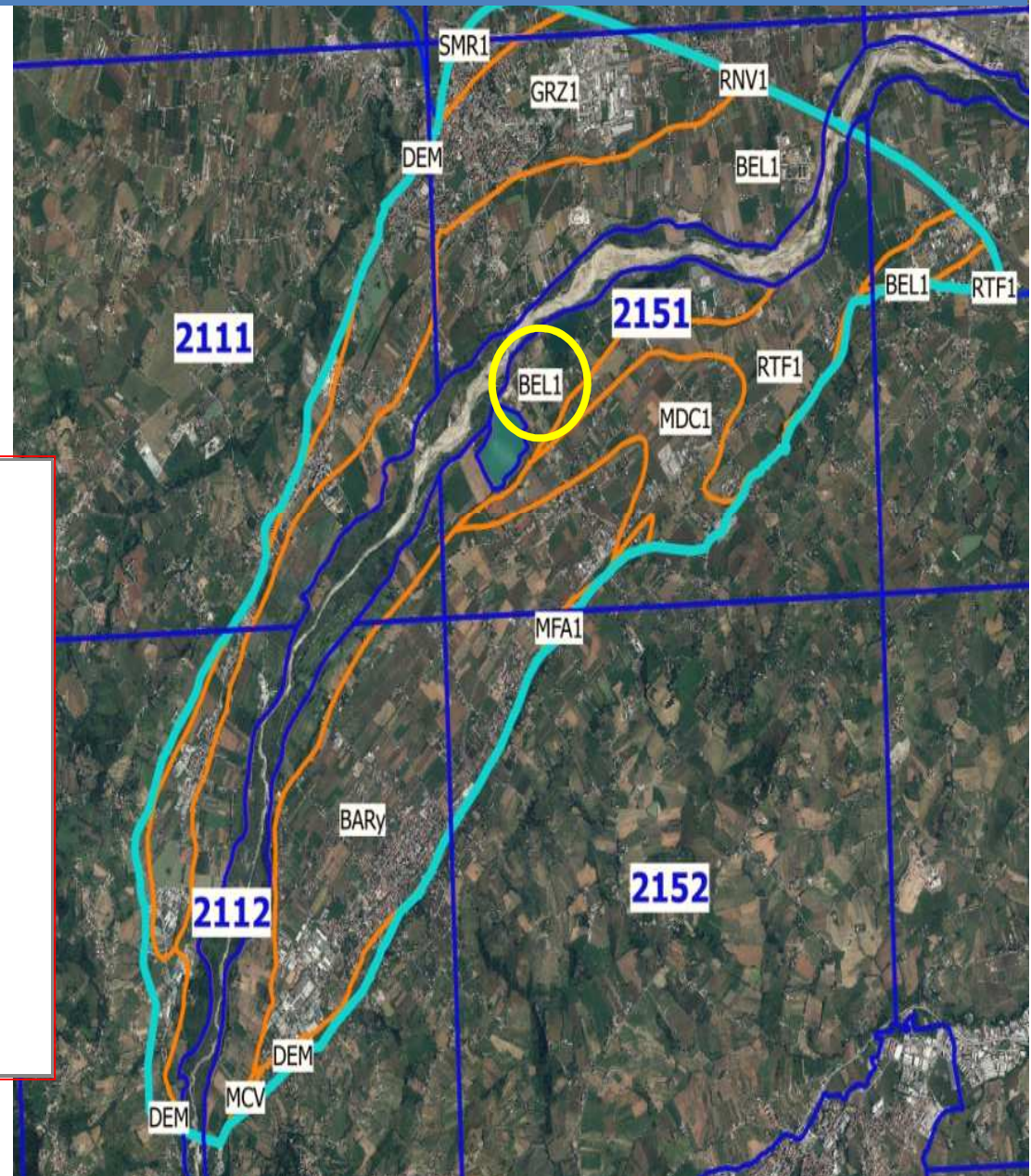
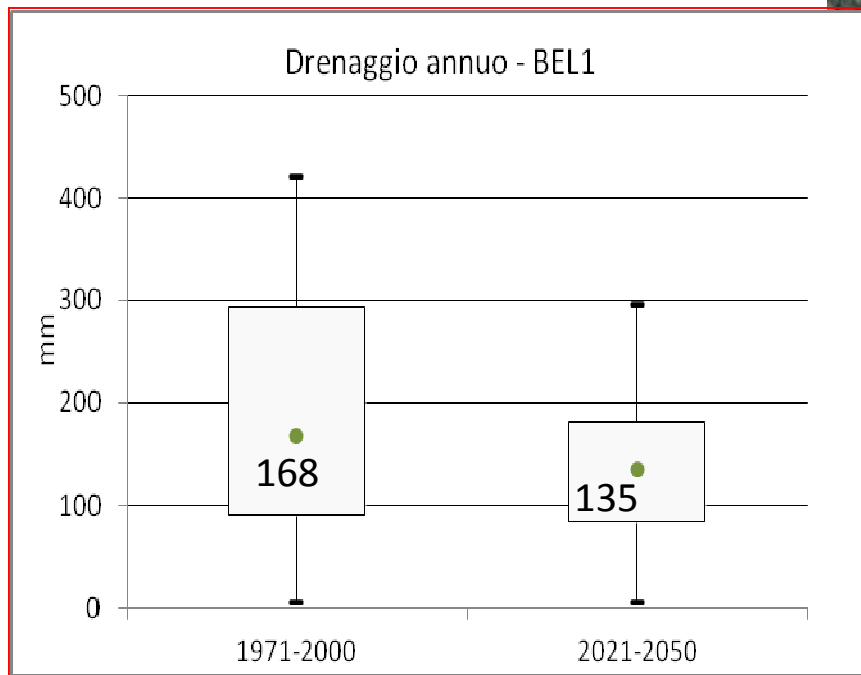


- Grandezza analizzata: **drenaggio**
- Suoli prevalenti: BEL1 (33%), BARY (21%), GRZ1 (18%), MDC1 (8%), RTF1 (7%), DEM (6%), ...
- Coltura simulata: prato di graminacee

# Confronto drenaggio nel periodo di simulazione 2021-2050 con clima di riferimento 1971-2000

BEL1 (suolo medio impasto)  
Superficie coperta in area di ricarica 12.4 km<sup>2</sup> (33%)

CRITERIA: calcolo del drenaggio verso la falda



# Conclusioni

- Il segnale generale è al calo del drenaggio complessivo annuo
- La diminuzione prevedibile non è molto grande (-10/-15%)
- Il prevedibile aumento delle precipitazioni autunnali non incrementa il drenaggio causa estati sempre più secche e calde