

# Studi idrogeologici a supporto della valutazione e mitigazione degli effetti delle variazioni climatiche sui corpi idrici sotterranei e superficiali

Di Matteo Lucio



Valigi Daniela



Cambi Costanza

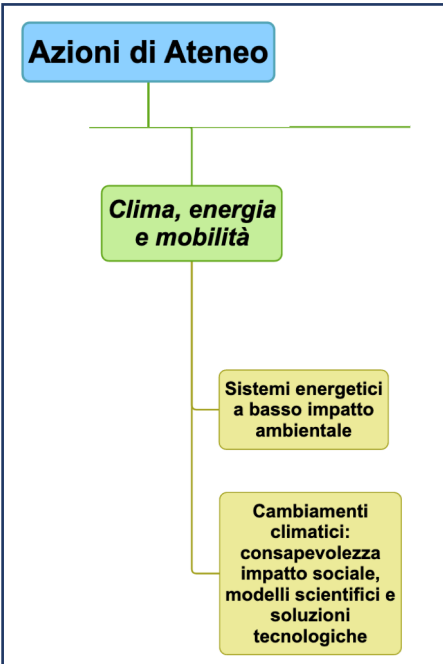


Cencetti Corrado



**Ambito del PTSR interessato:** Ambito di ricerca n. 1 - Earth System and Global Changes.

**Importanza nel contesto dell'ambito:** Il tema presentato è molto importante nell'ambito dell'Earth System and Global Changes che ha una tematica specifica sui cambiamenti climatici e i relativi impatti sull'ambiente e sulle risorse idriche.



**SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS**

**6 CLEAN WATER AND SANITATION**

**VOLUME**  
• Water Quantity  
• Volume of water used - extracted and released

**STRESS**  
• The Water Stress Index  
• Local hydrological context, freshwater scarcity

**QUALITY**  
• Water quality - extracted and released

**WATER IMPACT INDEX**

La tematica della **tutela della risorsa idrica** è una delle Mission del **PNRR**

**M2C4: TUTELA DEL TERRITORIO E DELLA RISORSA IDRICA**

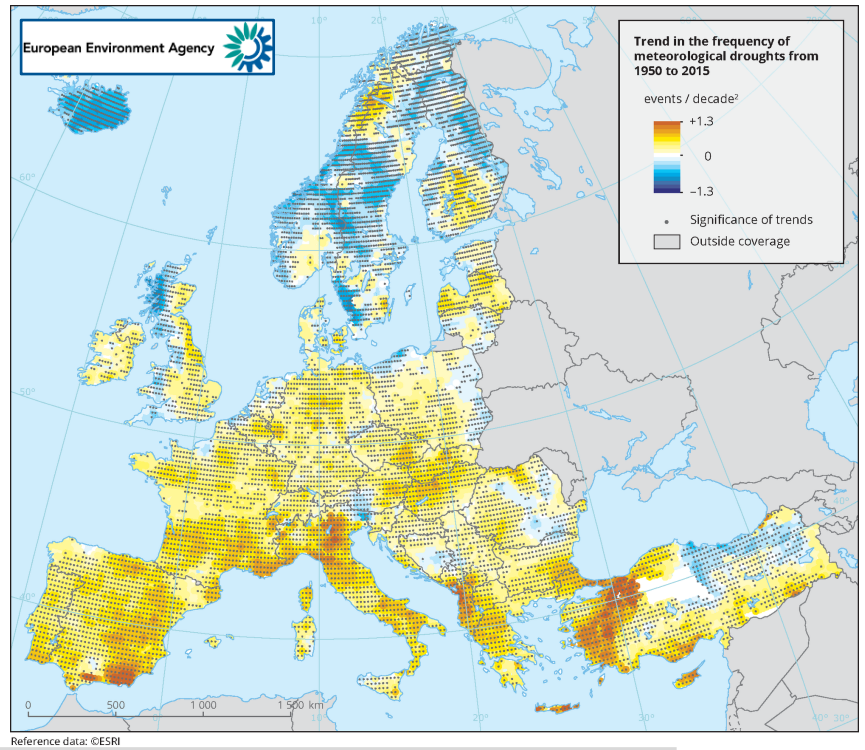
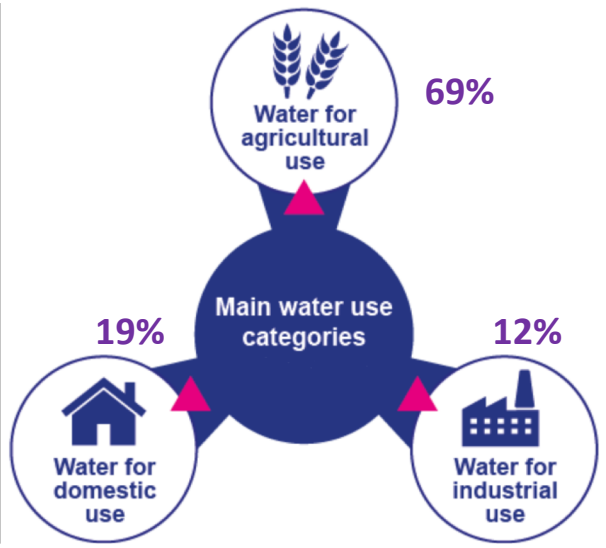
**M2C4.1 RAFFORZARE LA CAPACITÀ PREVISIONALE DEGLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO**

**M2C4.4 GARANTIRE LA SICUREZZA DELL'APPROVVIGIONAMENTO E LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE LUNGO L'INTERO CICLO**



# L'importanza delle risorse idriche e delle acque sotterranee nel contesto del cambiamento climatico

a scala globale (dati UNESCO)

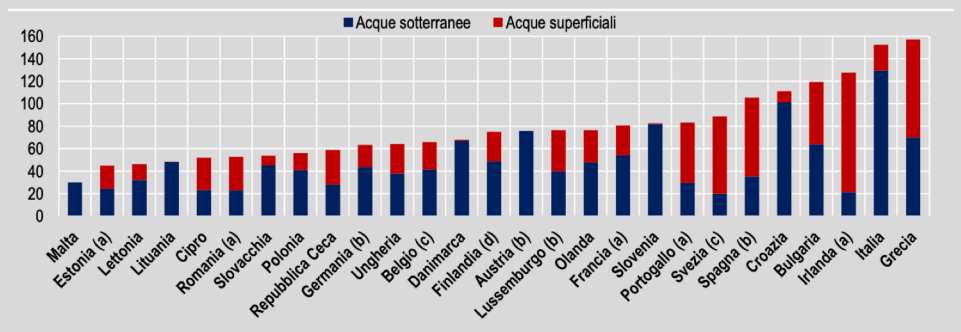


a scala nazionale (dati ISTAT)



		Appennino Centrale	ITALIA
Sorgente	m <sup>3</sup>	958.000.000	3.496.000.000
	%	72	37
Pozzo	m <sup>3</sup>	341.000.000	4.528.000.000
	%	26	48
Corso d'acqua	m <sup>3</sup>	13.000.000	447.000.000
	%	1	5
Lago naturale o bacino artificiale	m <sup>3</sup>	24.000.000	981.000.000
	%	2	10

**FIGURA 4. PRELIEVI DI ACQUA PER USO POTABILE NEI PAESI UE27. Anno 2018 o ultimo disponibile, metri cubi annui per abitante**



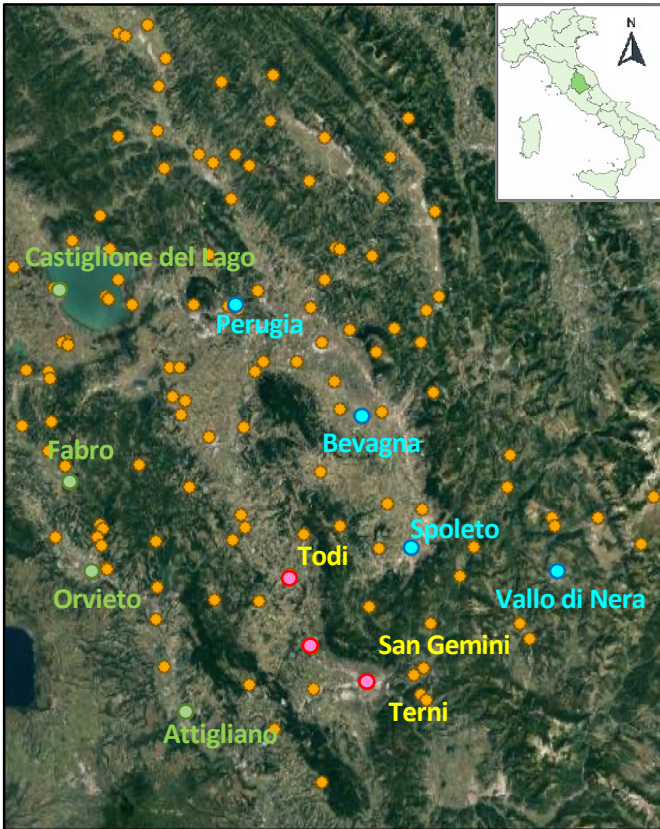
Fonte: Elaborazione Istat su dati Eurostat  
(a) Dato 2017; (b) Dato 2016; (c) Dato 2015; (d) Dato 2014

**Percentuale di perdite idriche totali, 42%**

# Situazione nell'Appennino centrale



Progetto SECLI: siccità e cambiamenti climatici (2009-2013)



<https://www.annali.regione.umbria.it>

Valori SPI	Legenda
SPI > 2	Umidità estrema
> 2 SPI > 1.5	Umidità severa
> 1.5 SPI > 1	Umidità moderata
> 1 SPI > -1	Nella norma
> -1 SPI > -1.5	Siccità moderata
> -1.5 SPI > -2	Siccità severa
SPI < -2	Siccità estrema

## Standardized Precipitation Index (SPI)

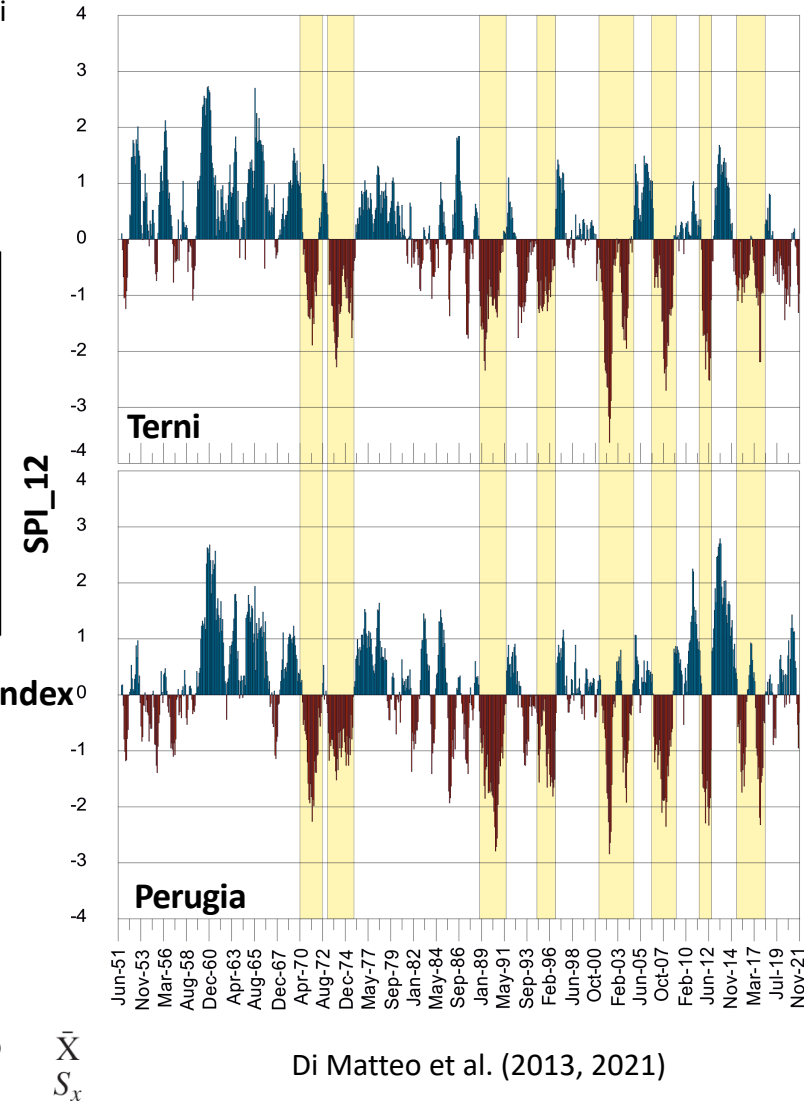
McKee et al. (1996)

$$SPI_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x}$$

Pioggia  $X_i$

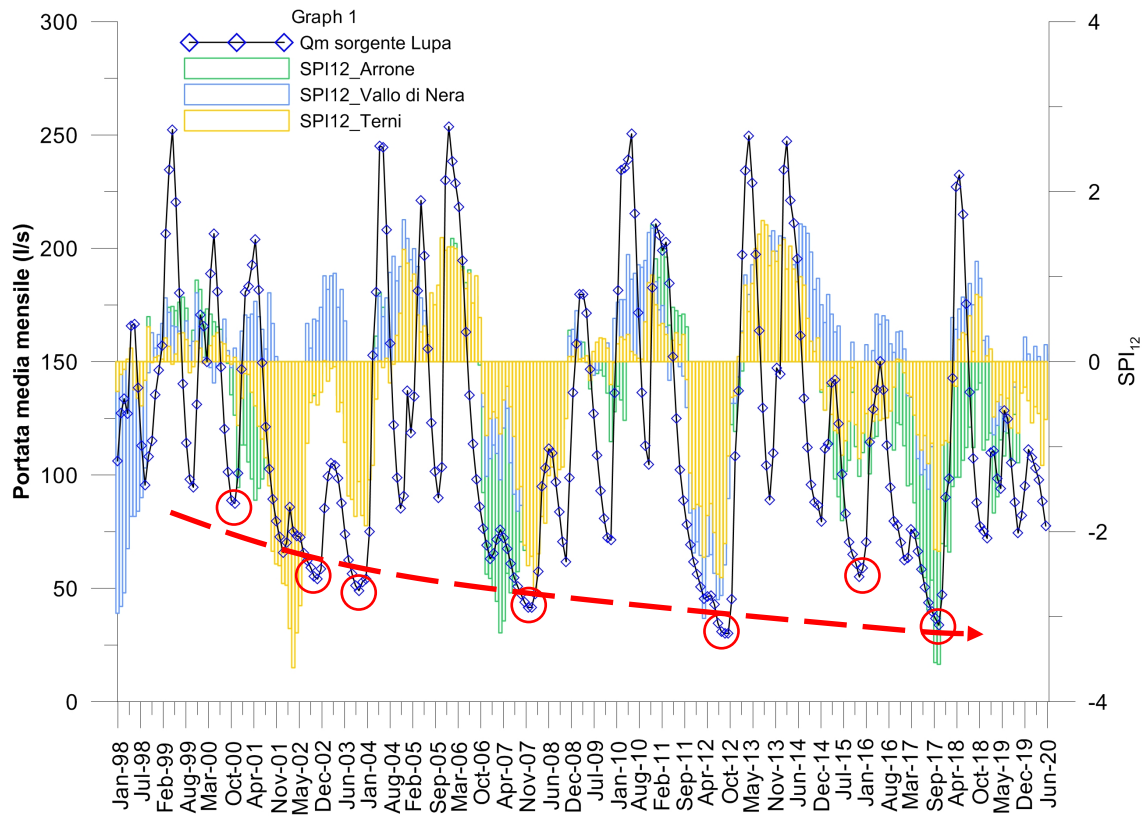
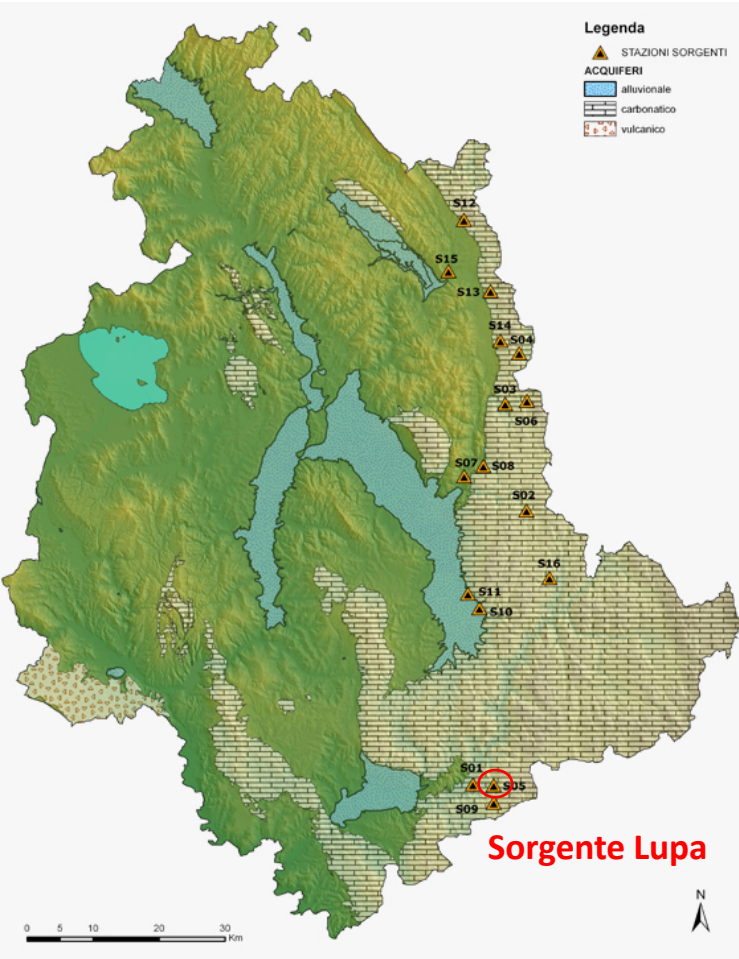
Pioggia media sul lungo periodo  $\bar{X}$

Deviazione standard della serie  $S_x$



Di Matteo et al. (2013, 2021)

# Quali sono le implicazioni per chi gestisce la risorsa idrica?

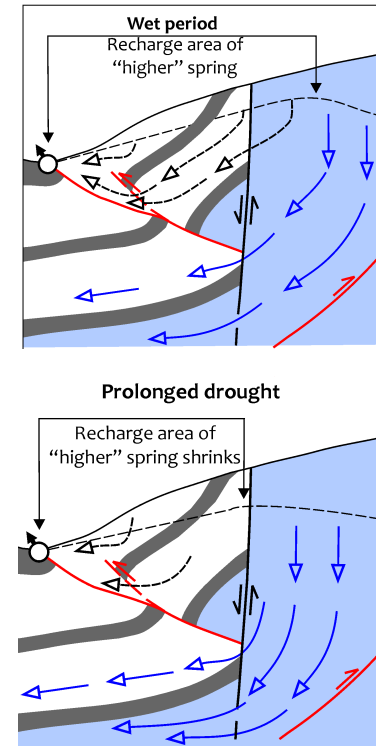
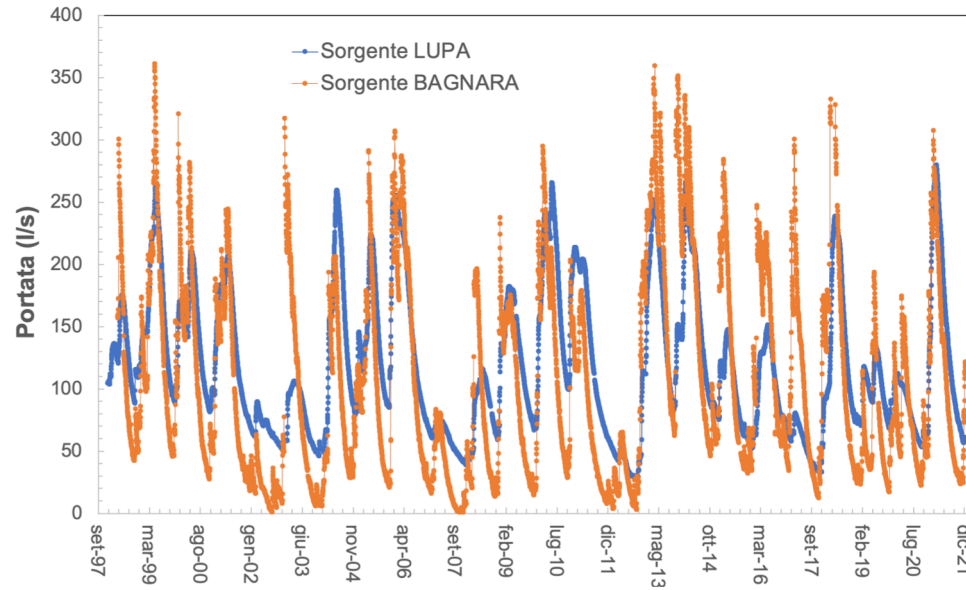
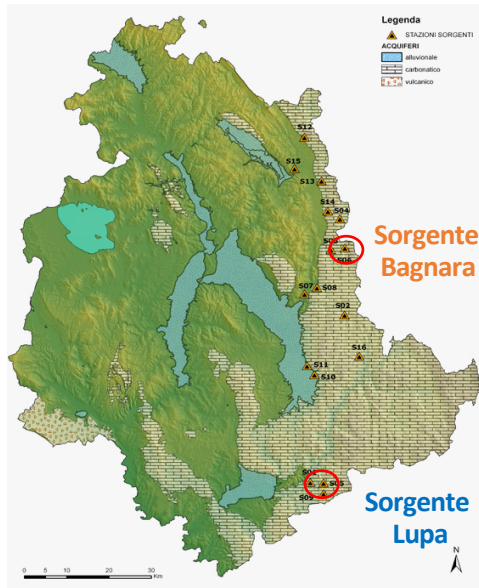


Di Matteo et al. (2021)

<https://apps.arpa.umbria.it/acqua/contenuto/portata-delle-Sorgenti>



# I sistemi idrogeologici reagiscono allo stesso modo al cambiamento climatico?



## Climatic Characterization and Response of Water Resources to Climate Change in Limestone Areas: Considerations on the Importance of Geological Setting

Lucio Di Matteo<sup>1</sup>; Daniela Valigi<sup>2</sup>; and Costanza Cambi<sup>3</sup>

JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING © ASCE / JULY 2013 / 773

Science of the Total Environment 598 (2017) 733–748

Contents lists available at ScienceDirect



Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



Climate change, water supply and environmental problems of headwaters: The paradigmatic case of the Tiber, Savio and Marecchia rivers (Central Italy)

Lucio Di Matteo<sup>a</sup>, Walter Dragoni<sup>b\*</sup>, David Maccari<sup>c</sup>, Simone Maria Piacentini<sup>d</sup>



Cambi e Dragoni (2000)

Di Matteo et al. (2013)

Di Matteo et al. (2017)

# Quali sono i problemi aperti e le collaborazioni/interazioni con altri gruppi?

**Appennino Italia centrale** – laboratorio naturale per la comprensione degli effetti delle variazioni climatiche sulle risorse idriche sotterranee.

- Rappresentatività delle piogge nelle aree montane (contributo dei dati satellitari e rianalisi, es: ERA5, IMERG).



- Revisione dei bilanci idrogeologici utili alla corretta gestione della risorsa idrica considerando gli scenari IPCC.

Potenziali collaborazioni



# Quali sono i problemi aperti e le collaborazioni/interazioni con altri gruppi?

- Certificazione dei volumi estratti delle acque sotterranee compatibilmente con le disponibilità (trasparenza dell'uso dell'acqua).

Potenziale  
collaborazione



**PNRR:** consultazione per la raccolta di proposte progettuali.

Proposta progettuale del DSA3 *“Sostenibilità di sistemi colturali e di allevamento in un contesto di transizione ecologica”*.



Potenziale apporto del gruppo del Dipartimento di Fisica e Geologia (FISGEO) *“Protocolli per uso sostenibile dell'acqua sotterranea e protezione dei corpi idrici”*.

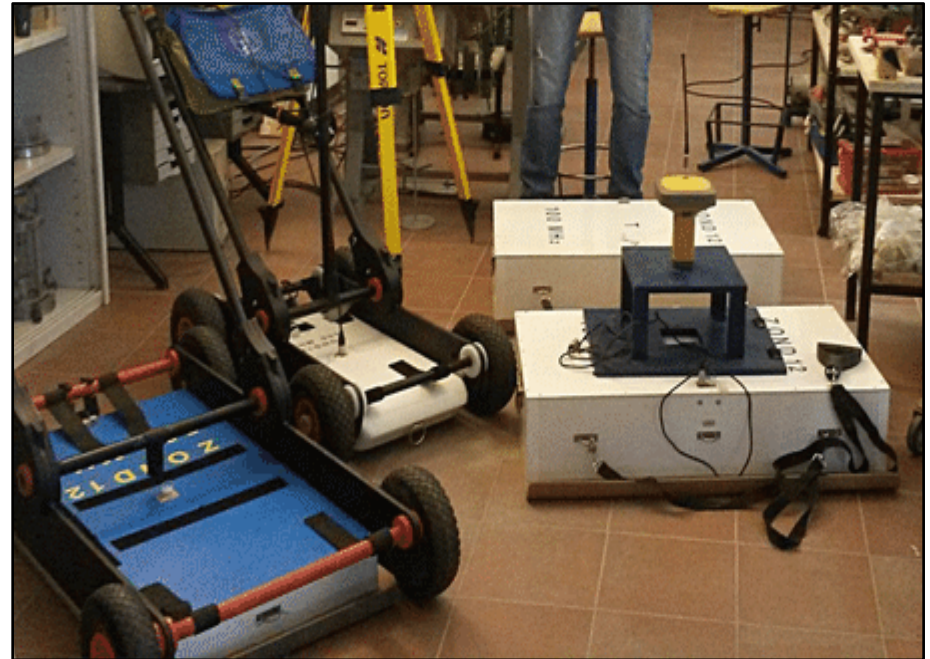


- VISTA “Vetrina Informatica per Sistemi di Trasparenza Agroalimentare” - Bando PSR 2014-2020 Regione (DICA, DSF, FISGEO, partners privati). **Responsabile di ricerca U.O. FISGEO: Prof. Lucio Di Matteo.**

# Manifestazione di interesse alla costituzione del C-Lab

## Protezione e Monitoraggio del Territorio

- Laboratorio di Geologia Applicata e Geofisica Applicata (FISGEO)
- Laboratorio di Geotecnica (DI e DICA)
- Laboratorio di Topografia e Fotogrammetria (DI)





An aerial photograph of a large, irregularly shaped lake with a vibrant turquoise-blue hue. The lake is surrounded by a patchwork of green and brown fields, with some small settlements visible along its shores. In the far distance, a range of blue mountains stretches across the horizon under a clear sky. The text is centered over the lake.

**STUDI DEI CORPI IDRICI SUPERFICIALI  
IN RELAZIONE ALLE VARIAZIONI CLIMATICHE**

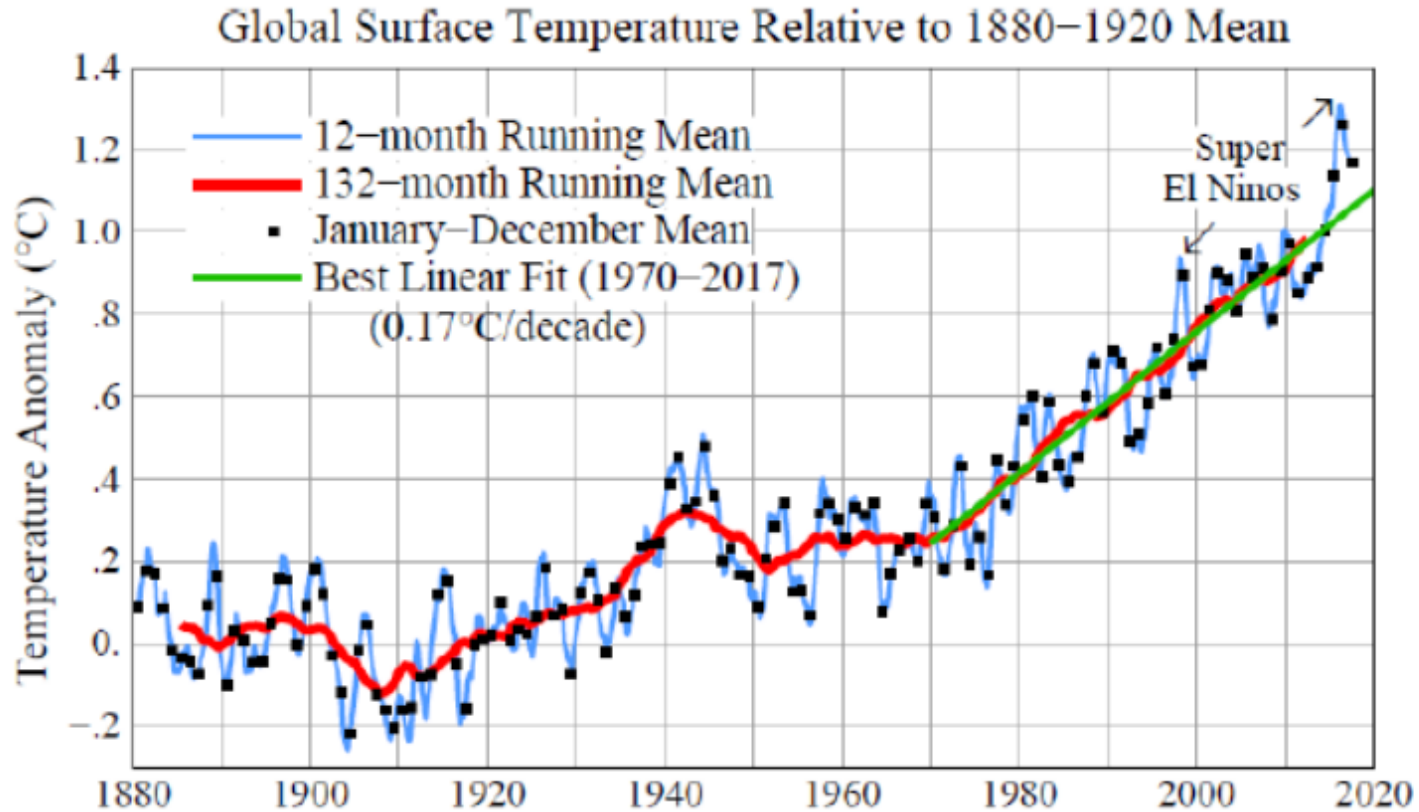
## Provenienza dell'acqua per uso irriguo nei distretti idrografici italiani

DISTRETTI IDROGRAFICI	ACQUE SOTTERRANEE (%)	ACQUE SUPERFICIALI (%)
	SORGENTE POZZO	CORSO D'ACQUA LAGO NATURALE BACINO ARTIFICIALE
FIUME PO	33	67
ALPI ORIENTALI	45	55
APPENNINO SETTENTRIONALE	31	69
SERCHIO	33	67
APPENNINO CENTRALE	35	65
APPENNINO MERIDIONALE	79	21
SICILIA	34	66
SARDEGNA	-	100

Modificato da Felici, 2018 Lo stato dell'irrigazione in Italia. Geologia dell'Ambiente, 1, 14-19.

Come sta cambiando il clima a livello globale?

## ANOMALIE DELLE TEMPERATURE GLOBALI DELL'ARIA DAL 1880 AL 2017

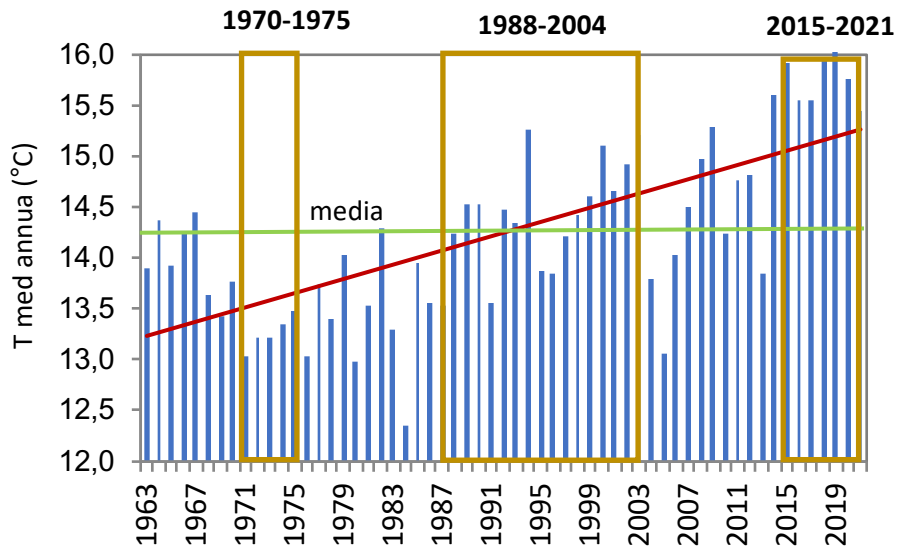


Source: Hansen et al., 2018, *Global Temperature in 2017*

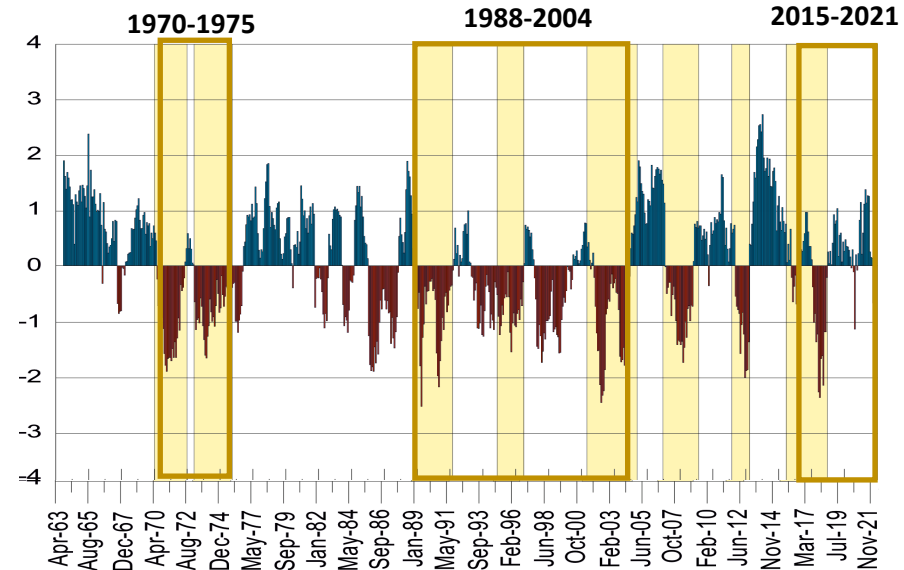
# Come sta cambiando il clima a livello locale?

## ESEMPIO: AREA DEL LAGO TRASIMENO

Temperatura media annua di Monte del Lago

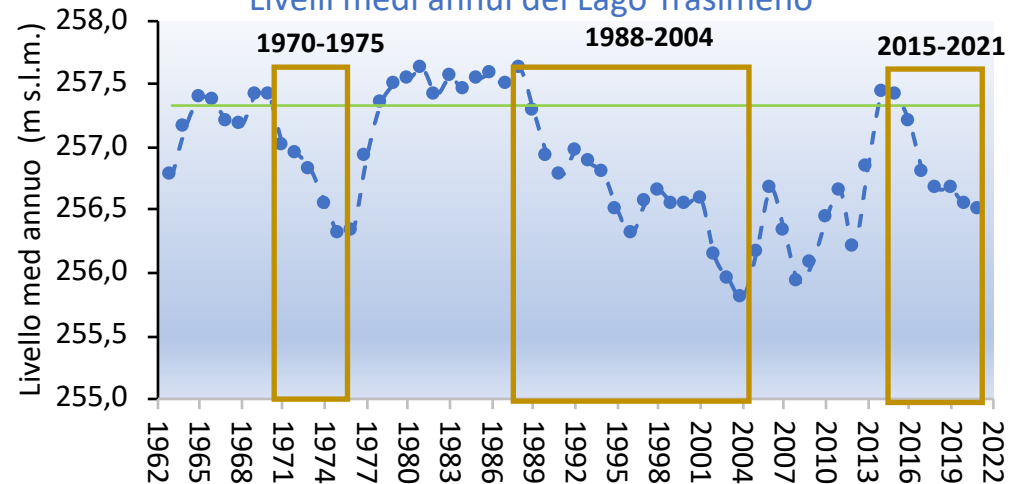


SPI-12 Pioggia Castiglione del Lago



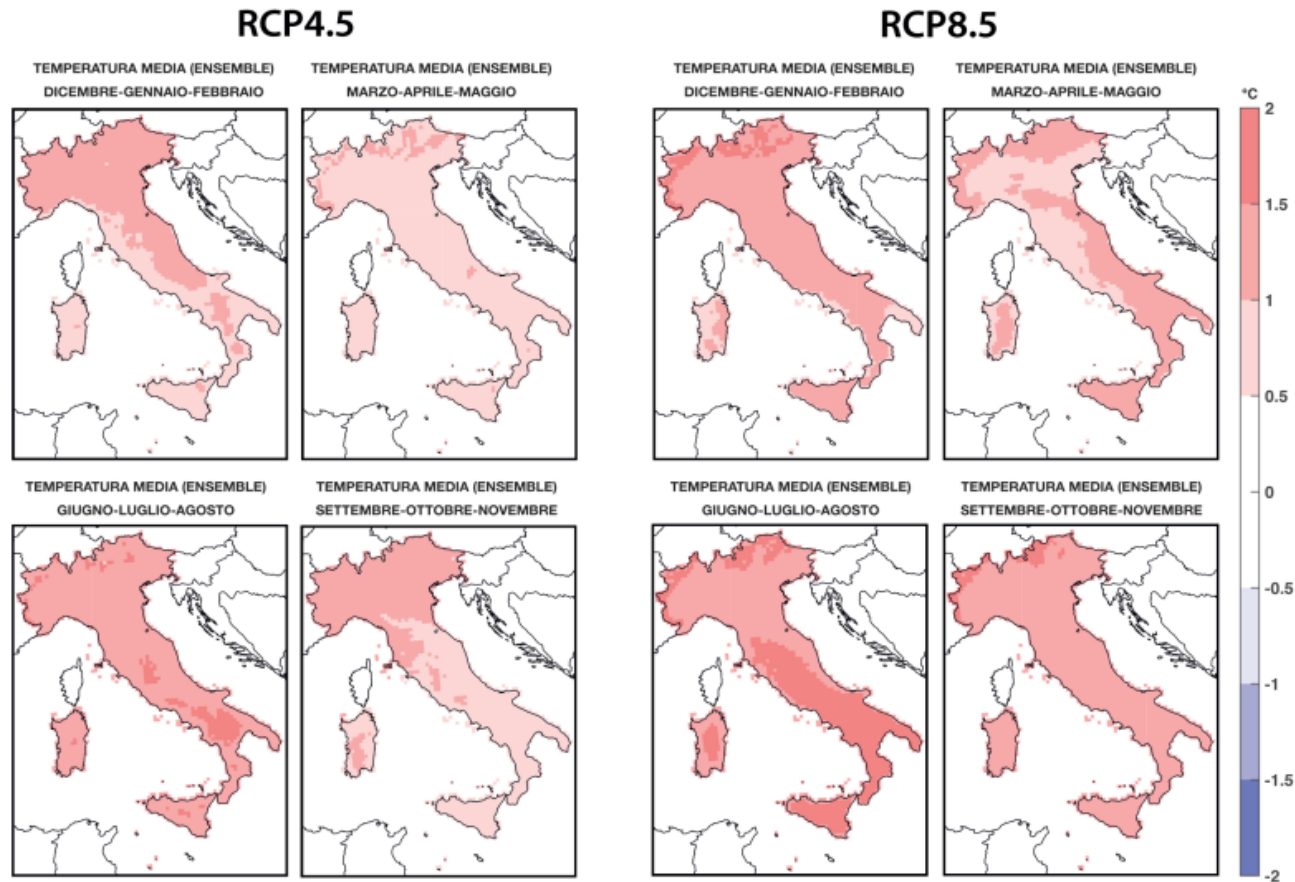
Valori SPI	Legenda
SPI > 2	Umidità estrema
> 2 SPI > 1.5	Umidità severa
> 1.5 SPI > 1	Umidità moderata
> 1 SPI > -1	Nella norma
> -1 SPI > -1.5	Siccità moderata
> -1.5 SPI > -2	Siccità severa
SPI < -2	Siccità estrema

Livelli medi annui del Lago Trasimeno



Come varierà la temperatura in Italia nei prossimi 30 anni rispetto al periodo 1981-2010?

*Simulazioni Regional Climate Model (RCM) Ensemble EURO-CORDEX*

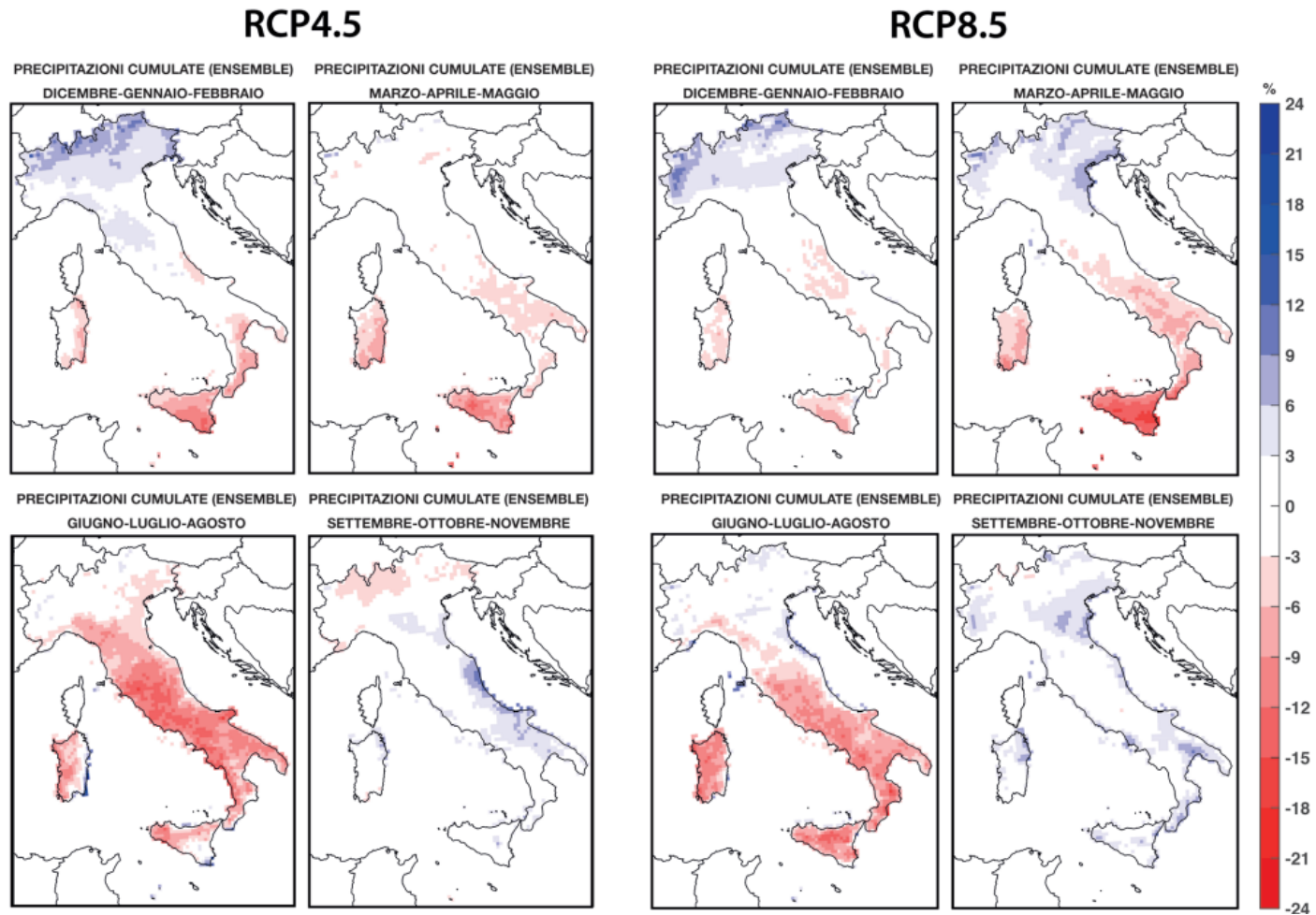


[https://files.cmcc.it/200916\\_REPORT\\_CMCC\\_RISCHIO\\_Clima\\_in\\_Italia.pdf](https://files.cmcc.it/200916_REPORT_CMCC_RISCHIO_Clima_in_Italia.pdf)



Come varierà la pioggia in Italia nei prossimi 30 anni rispetto al periodo 1981-2010?

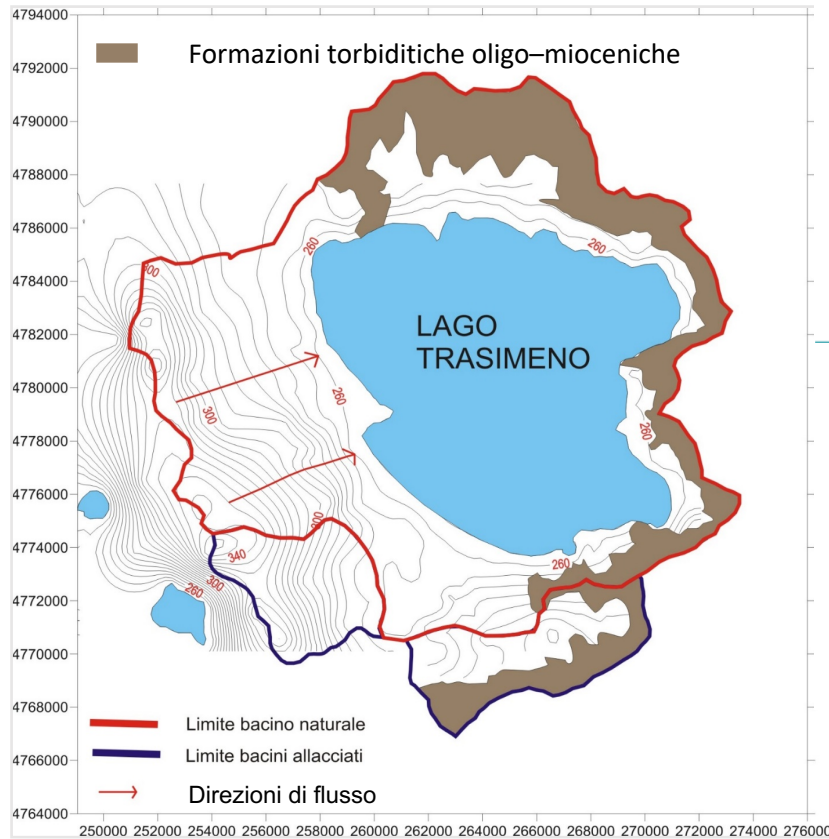
*Simulazioni Regional Climate Model (RCM) Ensemble EURO-CORDEX*



[https://files.cmcc.it/200916\\_REPORT\\_CMCC\\_RISCHIO\\_Clima\\_in\\_Italia.pdf](https://files.cmcc.it/200916_REPORT_CMCC_RISCHIO_Clima_in_Italia.pdf)

# Quali sono stati e quali saranno gli effetti delle variazioni climatiche sui bilanci idrici dei sistemi superficiali?

## LAGO TRASIMENO



The Lake Trasimeno and the climatic changes

Siccità nel 2003

Il Lago  
*Trasimeno*  
e le variazioni climatiche



Provincia di Perugia

Walter Dragoni

DOI: 10.7343/as-2016-215

Special Issue AQUA2015 - Paper



**Analysis of drought conditions and their effects on Lake Trasimeno (Central Italy) levels**

*Analisi delle siccità ed effetti sui livelli del lago Trasimeno (Italia centrale)*

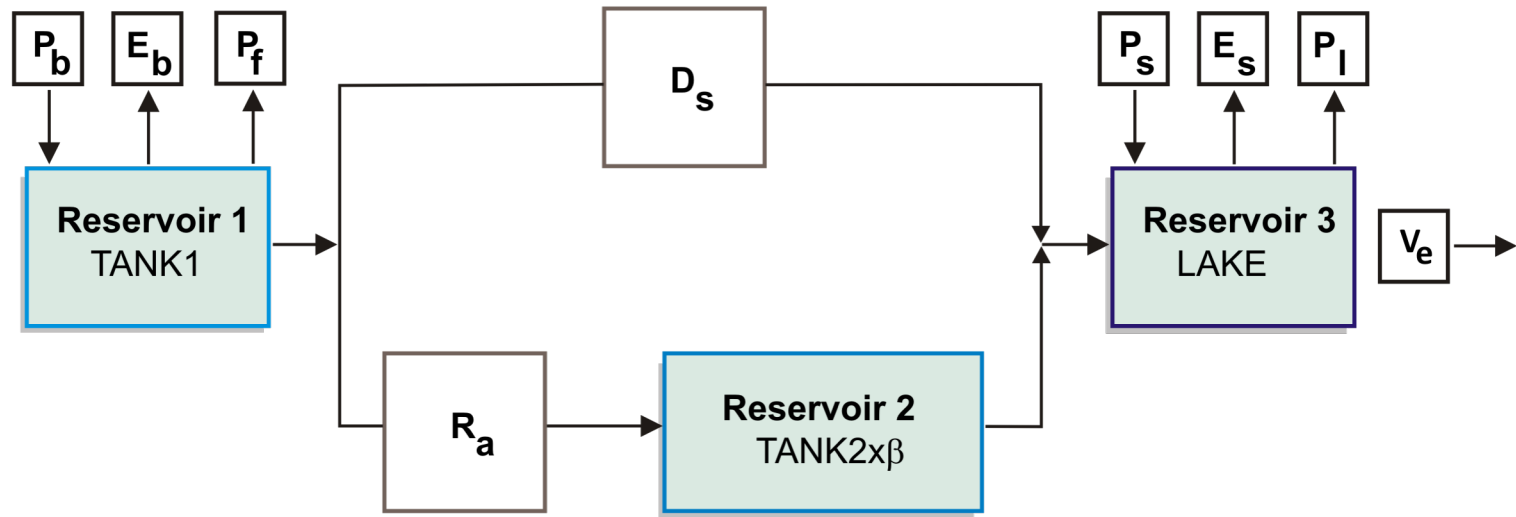
Daniela Valigi, Juan Antonio Luque-Espinar, Lucio Di Matteo, Costanza Cambi, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Mauro Rossi

Dragoni W (2004) *Il Lago Trasimeno e le Variazioni Climatiche. "Lake Trasimeno and Climatic Changes."* Progetto informativo dell'assessorato all'Ambiente della Provincia di Perugia, Servizio Gestione e Difesa Idraulica, pp. 60, Perugia.



# MODELLIZZAZIONE DEI LIVELLI DEL LAGO

## Schema concettuale del modello "lago"



$P_b$  = Rainfall on the basin

$P_s$  = Rainfall on the lake

$P_f$  = Withdrawals from the aquifer

$P_l$  = Withdrawals from the lake

$V_e$  = Outlet discharge

$E_b$  = Evapotranspiration from the basin

$E_s$  = Evaporation from the lake

$D_s$  = Surface runoff

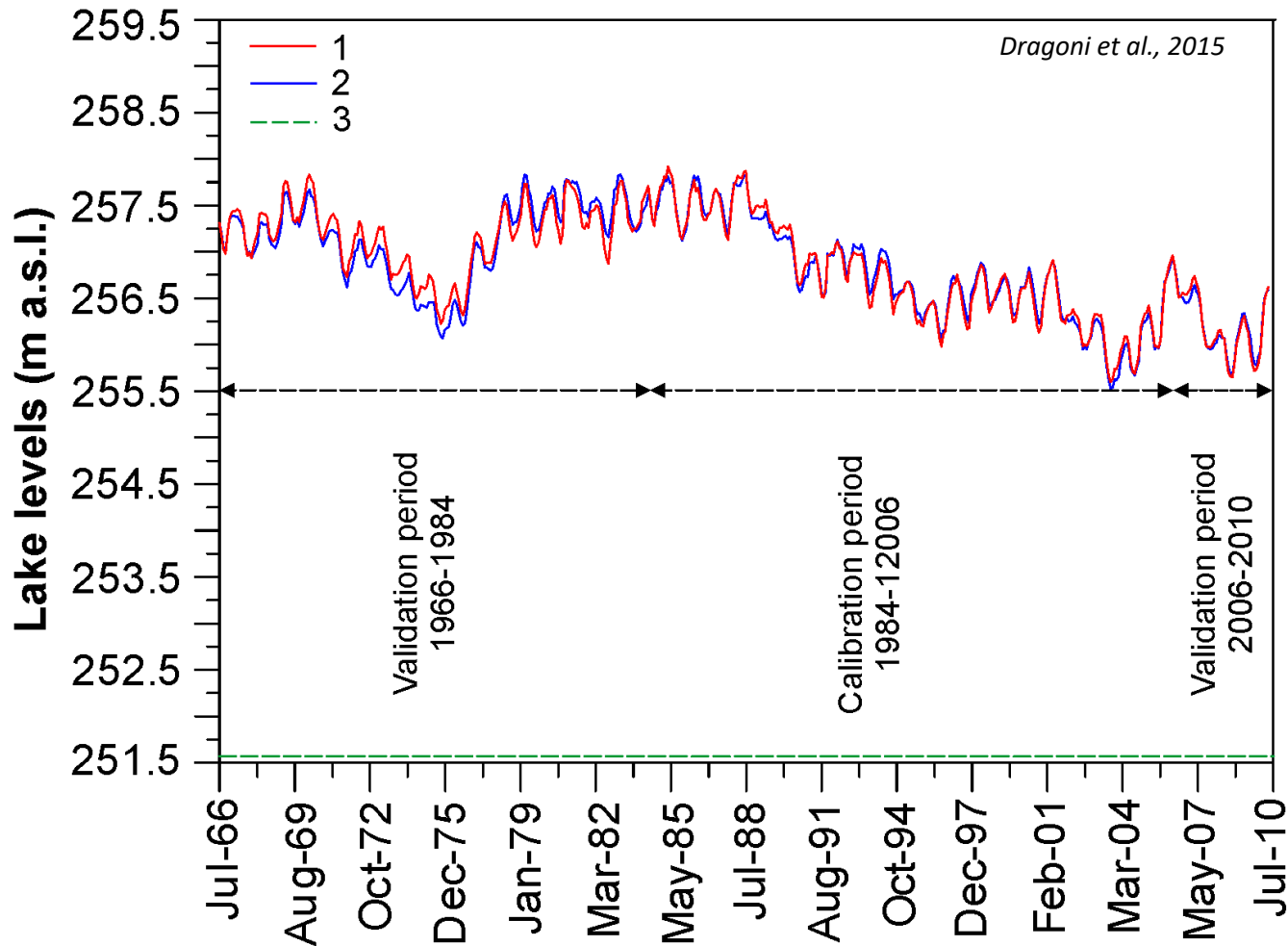
$P_l$  = Withdrawals from the lake

$R_a$  = Recharge

Dragoni et al. (2012)

- PRIN-MIUR 2003 e 2008: "Impatto dell'attività antropica e delle variazioni climatiche sul bilancio idrogeologico dei più importanti laghi dell'Italia Centrale". **Responsabile di ricerca: Prof. Walter Dragoni**

## CALIBRAZIONE E SIMULAZIONE DEI LIVELLI DEL LAGO TRASIMENO



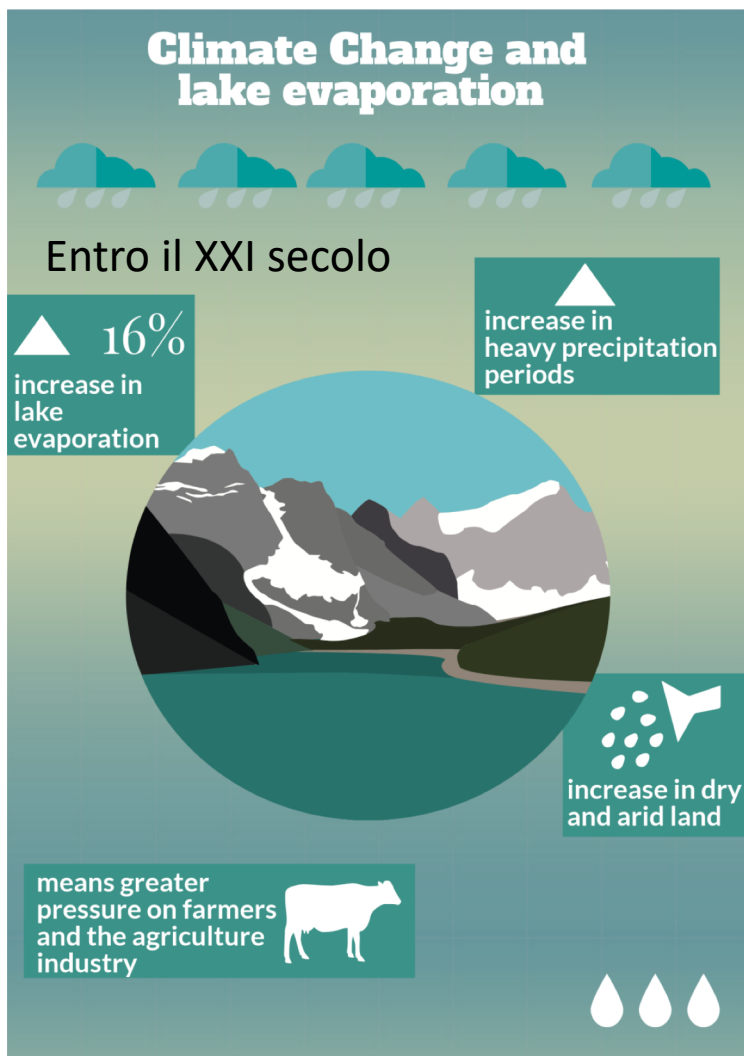
Dragonì W, Giontella C, Melillo M, Cambi C, Di Matteo L, Valigi D (2015). Possible response of two water system in Central Italy to climatic changes. *Advances in Watershed Hydrology*.

**Tabella 2 - Risultati modellizzazione del lago Trasimeno secondo LAGO\_04.****Risultati della calibrazione, periodo 1984 – 2006***Dragoni et al., 2012*

Temperatura media mensile (min: 1,0 max: 27,0)	14,3 (°C)	-----
Pioggia sullo specchio	700 (mm/anno)	84 (Mm <sup>3</sup> /anno)
Pioggia sul bacino	730 (mm/anno)	192 (Mm <sup>3</sup> /anno)
Area media specchio lacustre (simulato)	120 (km <sup>2</sup> )	-----
Area media del solo bacino (simulato)	263 (km <sup>2</sup> )	-----
Area max. specchio lacustre (simulato)	124 (km <sup>2</sup> )	-----
Area min. specchio lacustre (simulato)	116 (km <sup>2</sup> )	-----
Evapotraspirazione reale, secondo il modello	535 (mm/anno)	141 (Mm <sup>3</sup> /anno)
Evapotraspirazione reale, secondo Turc	555 (mm/anno)	146 (Mm <sup>3</sup> /anno)
Coeff. deflusso globale (sup. e sotterraneo), modello	0.25	----
Coeff. deflusso globale (sup. e sotterraneo), Turc	0.24	----
Evaporazione dallo specchio secondo il modello	1030 (mm/anno)	124 (Mm <sup>3</sup> /anno)
Prelievi dal lago	91 (mm/anno)	11 (Mm <sup>3</sup> /anno)
Prelievi dalla falda	--	0.4 (Mm <sup>3</sup> /anno)
Prelievi ed evaporazione	1121 (mm/anno)	135 (Mm <sup>3</sup> /anno)

Dragoni W, Melillo M, Giontella C (2012) Bilancio idrico del Lago Trasimeno. Tutela Ambientale del lago Trasimeno. "Water balance of Lake Trasimeno. Environmental protection of the lake Trasimeno." Martinelli A ed., Libri/Arpa Umbria, 69-85, ISBN:978-88-905920-03.


# Come varierà l'evaporazione dai laghi in relazione alle variazioni climatiche?



[nature](#) > [nature reviews earth & environment](#) > [review articles](#) > [article](#)

Review Article | [Published: 14 July 2020](#)

## Global lake responses to climate change

[R. Iestyn Woolway](#) , [Benjamin M. Kraemer](#), [John D. Lenters](#), [Christopher J. Merchant](#), [Catherine M. O'Reilly](#) & [Sapna Sharma](#)

*Nature Reviews Earth & Environment* **1**, 388–403 (2020) | [Cite this article](#)

**3395** Accesses | **102** Citations | **156** Altmetric | [Metrics](#)

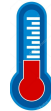
### Abstract

Climate change is one of the most severe threats to global lake ecosystems. Lake surface conditions, such as ice cover, surface temperature, evaporation and water level, respond dramatically to this threat, as observed in recent decades. In this Review, we discuss physical lake variables and their responses to climate change. Decreases in winter ice cover and increases in lake surface temperature modify lake mixing regimes and accelerate lake evaporation. Where not balanced by increased mean precipitation or inflow, higher evaporation rates will favour a decrease in lake level and surface water extent. Together with increases in extreme-precipitation events, these lake responses will impact lake ecosystems, changing water quantity and quality, food provisioning, recreational opportunities and transportation. Future research opportunities, including enhanced observation of lake variables from space (particularly for small water bodies), improved in situ lake monitoring and the development of advanced modelling techniques to predict lake processes, will improve our global understanding of lake responses to a changing climate.

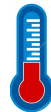
# STIMA DELL'EVAPORAZIONE A PARTIRE DAI DATI EVAPORIMETRICI MENSILI DA EVAPORIMETRI DI CLASSE A PAN

Equazioni Dragoni & Valigi, 1994

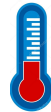
1)  $E_n = b * i_m^{a1} * t_n^{a2}$



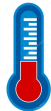
2)  $E_n = b * i_m^{a1} * t_n^{a2} * R_n^{a3}$



3)  $E_n = b * i_m^{a1} * t_n^{a2} * U_n^{a3}$



4)  $E_n = b * i_m^{a1} * t_n^{a2} * R_n^{a3} * U_n^{a4}$



$E_n$  = Evaporazione mensile (mm/mese)

$i_m$  = indice di insolazione mensile di Thornthwaite (da 1 a 12) che dipende dalla latitudine e dal mese

$t_n$  = temperatura media mensile (°C)

$R_n$  = radiazione globale media mensile ( $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{giorno}^{-1}$ )

$U_n$  = umidità relativa media mensile

$b, a1, a2, a3, a4$  = coefficienti

WALTER DRAGONI, DANIELA VALIGI

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi, Perugia

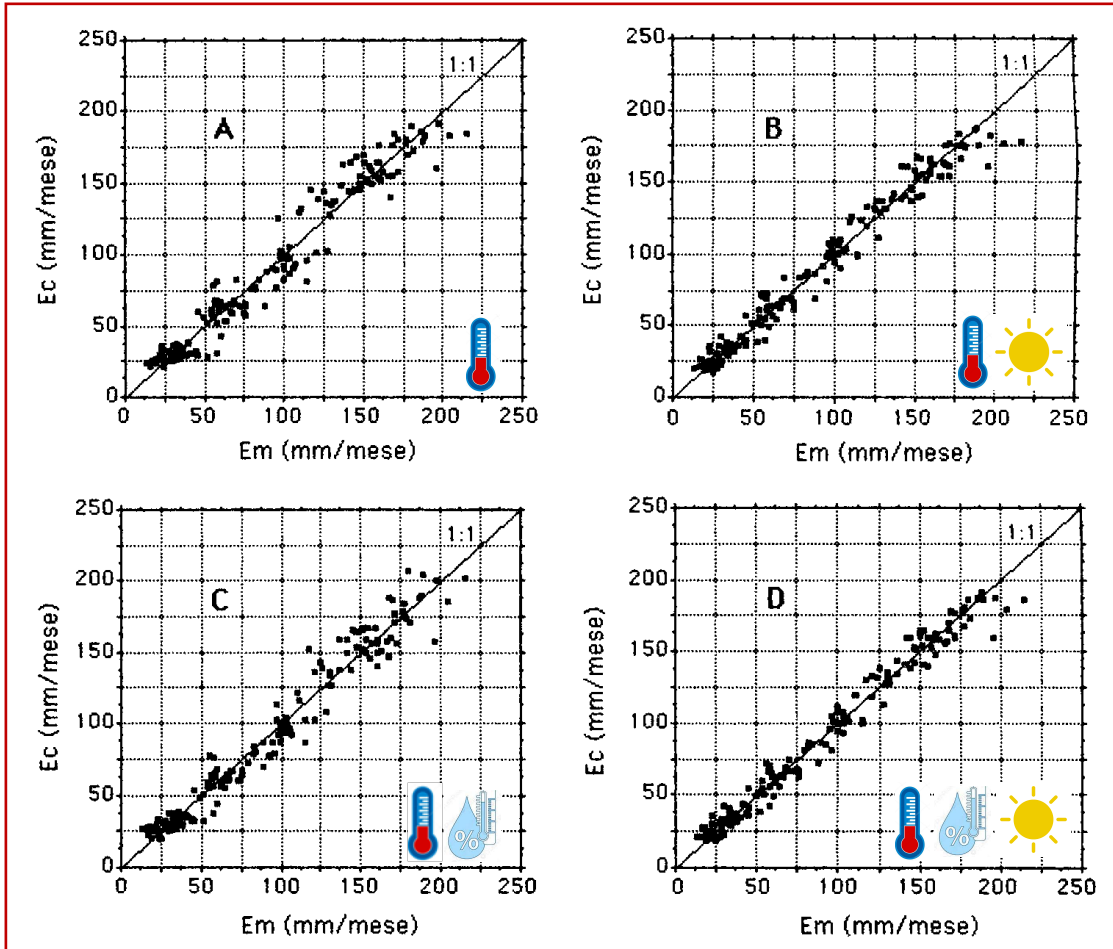
**CONTRIBUTO ALLA STIMA DELL'EVAPORAZIONE  
DALLE SUPERFICI LIQUIDE NELL'ITALIA CENTRALE**

GEOLOGICA ROMANA, 30: 151-158, 5 fig, 4 tab, Roma (1994).

EVAPORIMETRO CLASSE A PAN



# CORRELAZIONE TRA L'EVAPORAZIONE MENSILE MISURATA CON L'EVAPORIMETRO E QUELLA CALCOLATA CON LE EQUAZIONI DI DRAGONI & VALIGI (1994)



Dragoni e Valigi (1994)

A = eq.1 (t)  
B = eq.2 (t, R)  
C = eq.3 (t, U)  
D = eq.4 (t, R, U)

$E_m$  = Evaporazione mensile misurata

$E_c$  = Evaporazione mensile calcolata

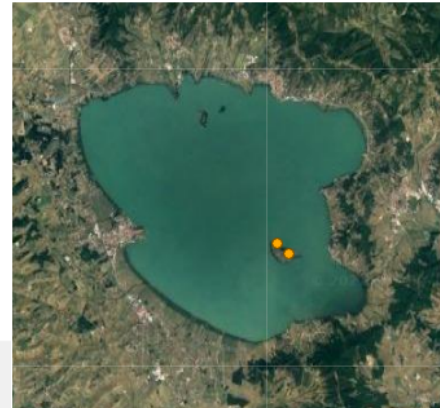
- ◆ Evaporazione dal lago Trasimeno stimata con eq.1 = **1100 mm/anno**



# ISOLA POLVESE COME LABORATORIO PER LO STUDIO DELL'EVAPORAZIONE

## STAZIONI METEO DEL SERVIZIO IDROGRAFICO DELLA REGIONE UMBRIA

Polvese 1



Polvese 2



### Stazione Polvese 1

Elenco sensori:

(13207) Idrometro	(13208) Termometro aria	(13209) Radiometro diretta
(13210) Evaporimetro	(39817) Pluviometro	(39819) Termometro acqua

### Stazione Polvese 2 La Villa

Elenco sensori:

(13212) Termometro aria	(13213) Direzione vento vett.	(13214) Velocita' vento vett.
(13215) Igrometro	(13216) Barometro	



# SVILUPPI FUTURI

## STIMA DELL'EVAPORAZIONE DA SUPERFICI LIQUIDE

In collaborazione con il CNR-IRPI, DICA e DSA3:



Test di verifica ed elaborazione dei dati con le tecniche di intelligenza artificiale  
(*Machine Learning e Deep Learning*)



Uso dei dati di rianalisi



Stima dell'evaporazione da laghetti collinari

# SVILUPPI FUTURI

## MODELLIZZAZIONE DEI LIVELLI DEL LAGO

Nell'ambito delle proposte progettuali a valle del brainstorming di Ateneo (Gestione-qualità del territorio e biodiversità del Lago Trasimeno) il gruppo di idrogeologia e geochimica del Dipartimento di Fisica e Geologia insieme al DICA ha proposto un progetto dal titolo:

**LAGO TRASIMENO: UTILIZZO DI MODELLI MATEMATICI E GLOBAL ATMOSPHERIC DATA SET PER MINIMIZZARE LE OSCILLAZIONI DI LIVELLO E CONTENERE L'AUMENTO DI SALINITÀ.**

Il progetto mira al confronto dei risultati della modellazione dei livelli idrometrici del lago Trasimeno tramite diversi approcci:



Uso dei modelli matematici afflussi – deflussi implementati da Dragoni et al. (2012) e Ludovisi et al. (2013).



Uso di un modello matematico che prevede l'utilizzo delle rianalisi globali prodotte con i modelli climatici accoppiati atmosfera-superficie.

## SVILUPPI FUTURI

- 1) Ricalibrazione e validazione del modello con i dati aggiornati utile al fine di simulare i livelli futuri del lago in funzione dei nuovi scenari climatici proposti dall'IPCC integrati con i piani di gestione del lago.
- 2) Si intende inoltre, integrare nel modello anche il contenuto isotopico delle acque del lago, ed eventualmente le concentrazioni chimiche di componenti conservativi, anche nell'ottica di valutare gli effetti degli eventuali apporti di acqua da bacini esterni.

# SVILUPPI FUTURI

Possibile sviluppo progettuale nell'ambito PRIN sul tema di ricerca:

**I LAGHETTI COLLINARI COME GREEN-BLU INFRASTRUTTURE PER LA RESILIENZA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI DEI TERRITORI RURALI**

in collaborazione con:

1. DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE, ALIMENTARI E AMBIENTALI (DSA3)-  
UNIPG
2. UNICUSANO Università degli Studi Niccolò Cusano -Telematica Roma
3. CNR-IRSA