

# Cambiamenti climatici in Emilia-Romagna

Gabriele Antolini

gantolini@arpae.it



Osservatorio clima  
<https://www.arpae.it/clima>

# Climatologia: chi la studia?

## Mondo



...tantissimi altri...

## Italia



ItaliaMeteo?

## Emilia-Romagna



Osservatorio sui cambiamenti climatici e relativi impatti in Emilia-Romagna



Strategia unitaria di mitigazione e adattamento per i cambiamenti climatici

# Climatologia storica in Italia



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

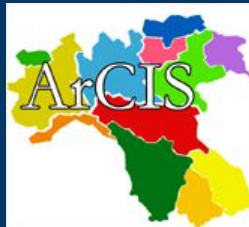
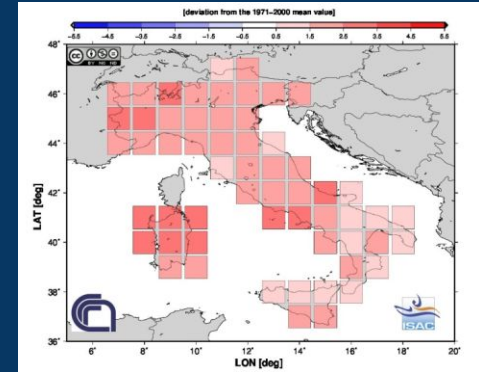
Desiato et al., 2019

Gli indicatori  
del CLIMA in Italia  
nel 2018

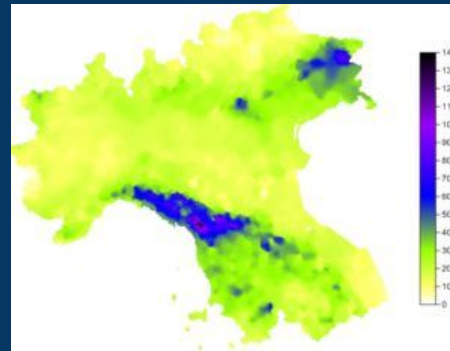
ANNO XIV



Brunetti et al., 2006

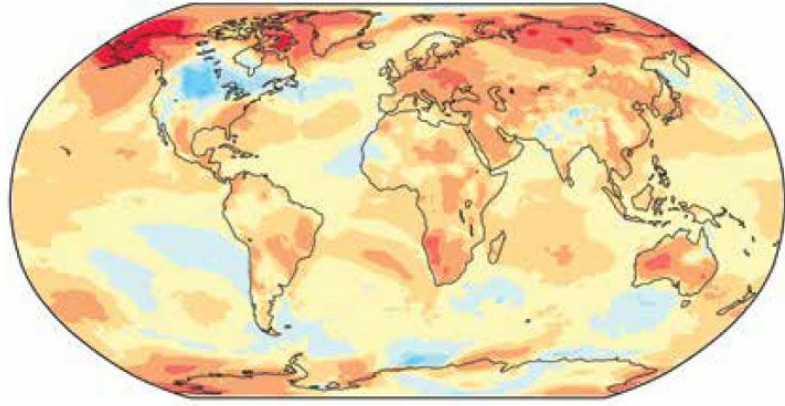


Pavan et al., 2006





# Anno 2019



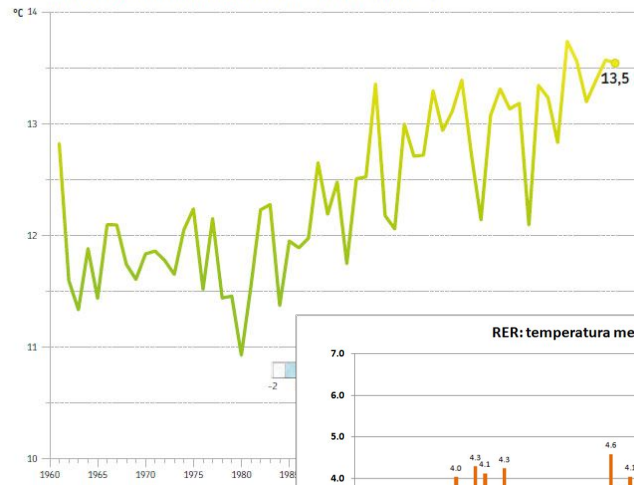
Data source: ERA5

-10 -5 -3 -2 -1 -0.5 0 0.5 1 2 3 5 10 °C

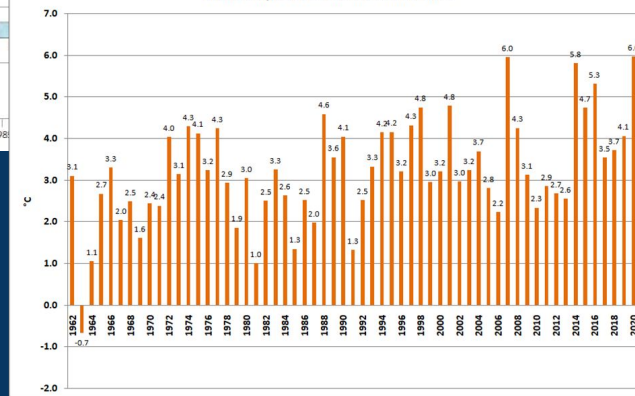
## Rapporto WMO

- il 2019 è stato il secondo anno più caldo dal 1850
- gli anni 2015-2019 sono i cinque anni più caldi registrati
- il periodo 2010-2019 è il decennio più caldo mai registrato
- dagli anni '80, ogni decennio successivo è stato più caldo di qualsiasi decennio precedente dal 1850

Andamento temporale della media regionale della temperatura media (1961-2019)



RER: temperatura media dell'inverno



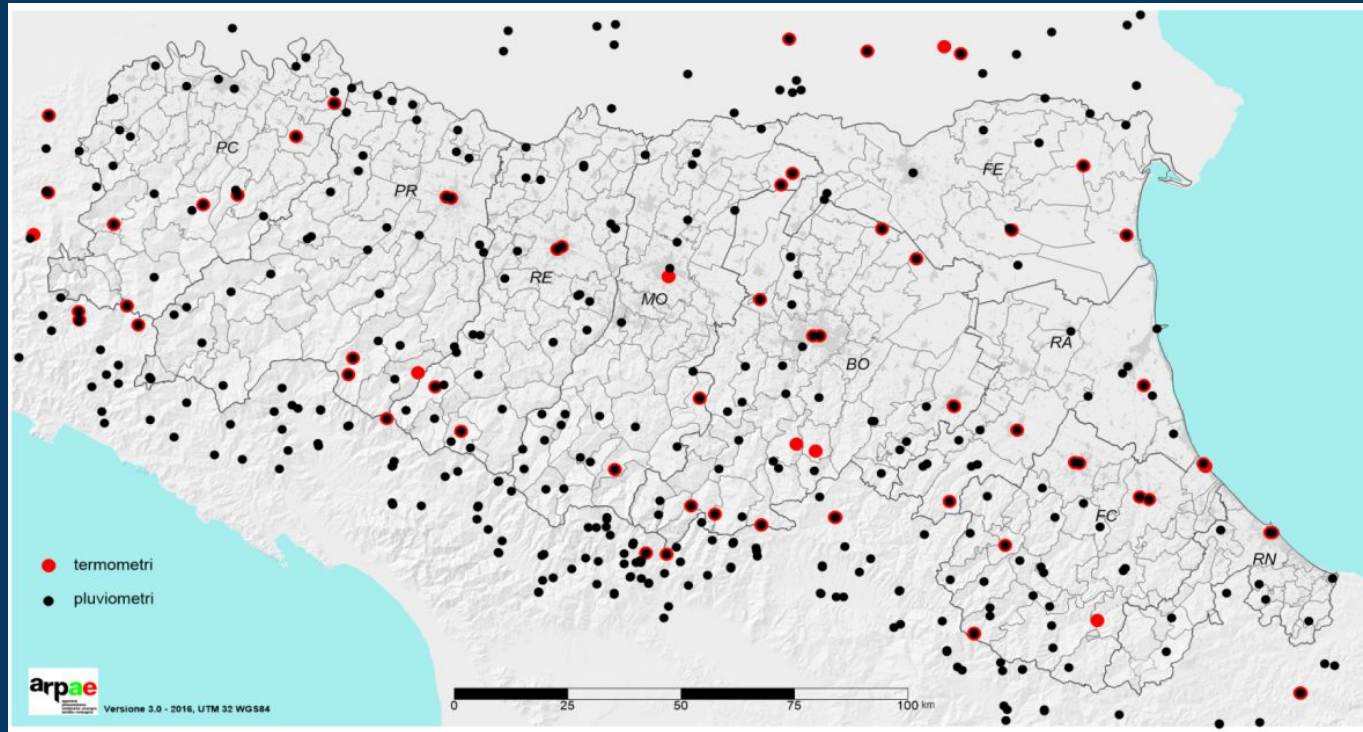
## In Emilia-Romagna

- quarto anno più caldo (dopo 2014, 2015 e 2018) dal 1961
- inverno più caldo dal 1961
- piogge record in maggio e novembre

# Serie storiche

Tmin e Tmax giornaliera (60 stazioni)

Prec giornaliera (254 stazioni)



# Controlli qualità

- Eliminazione delle persistenze
- Omogeneità temporale
- Sincronicità giornaliera
- Controllo valori annuali in “cross validation”
- Controlli “on the fly”
- Plausibilità
  - Consistenza interna
  - Controllo climatologico
  - Controllo temporale
  - Controllo spaziale

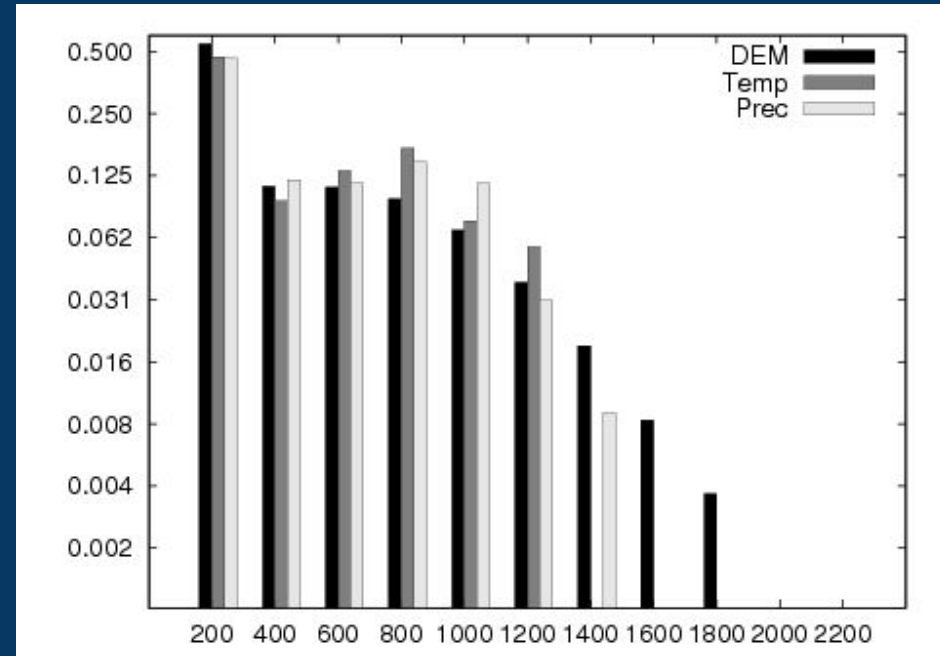
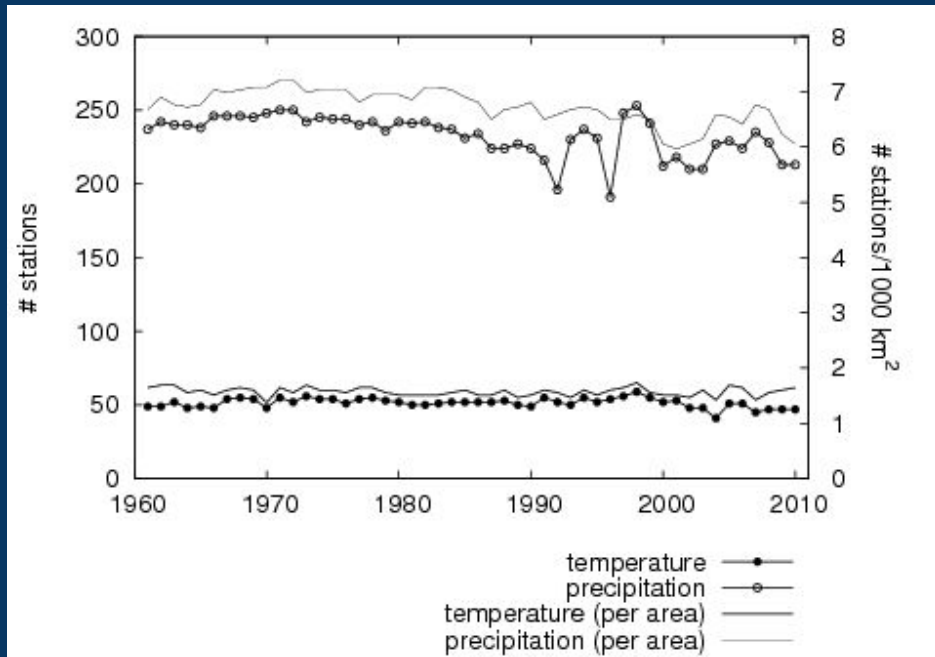
Precipitazione:

~500 stazioni → ~300 serie  
→ 254 serie omogenee

Temperatura:

~130 stazioni → ~100 serie  
→ 60 serie omogenee

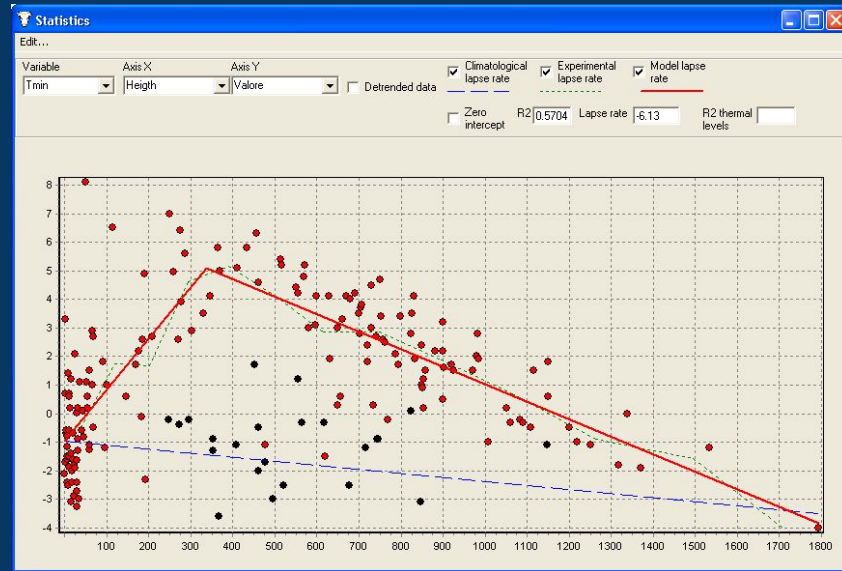
# Densità e rappresentatività stazioni



# Interpolazione spaziale

## Detrending e covariabili

La correlazione tra variabile meteo e variabile geografica viene usata per migliorare la stima

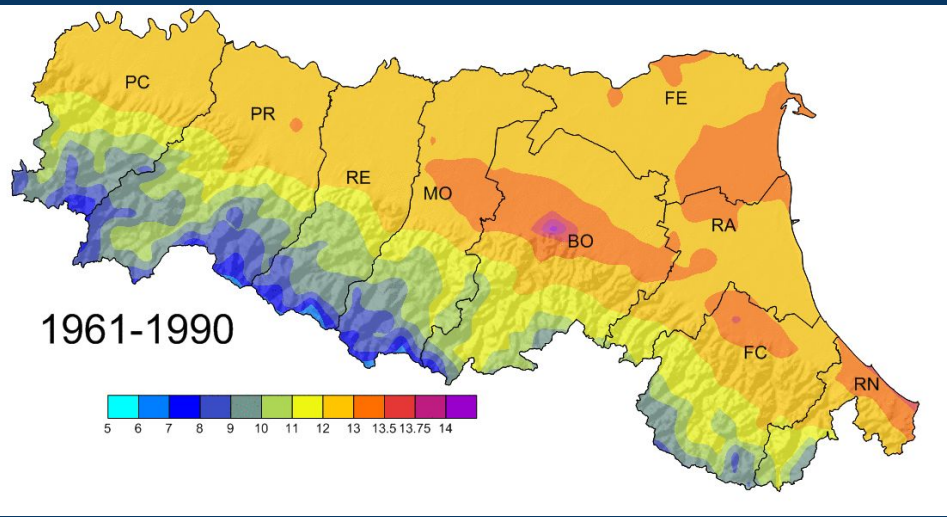


Quota

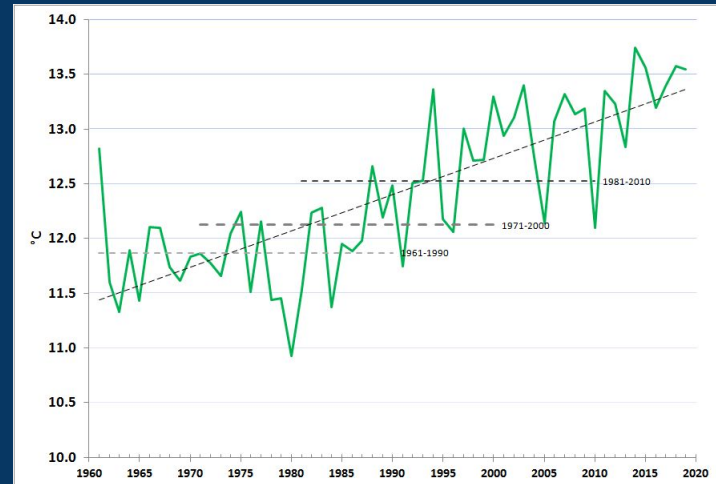
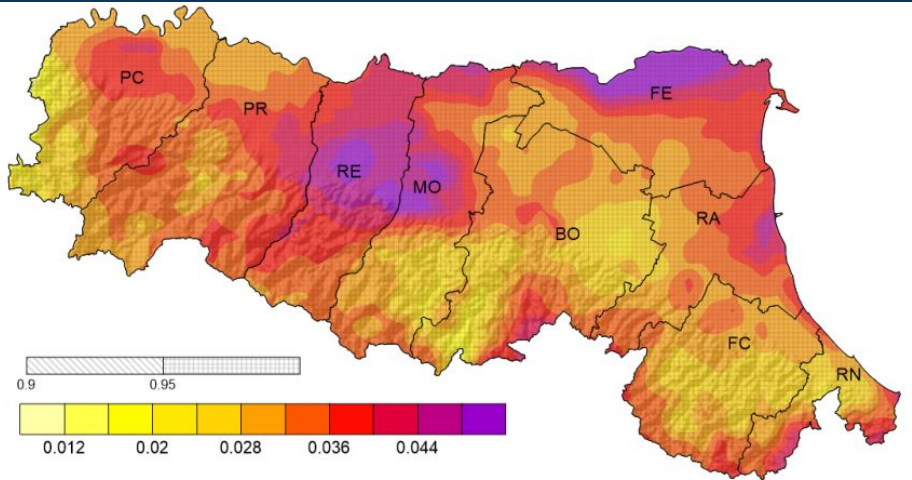
Frazione urbana

# Temperature medie

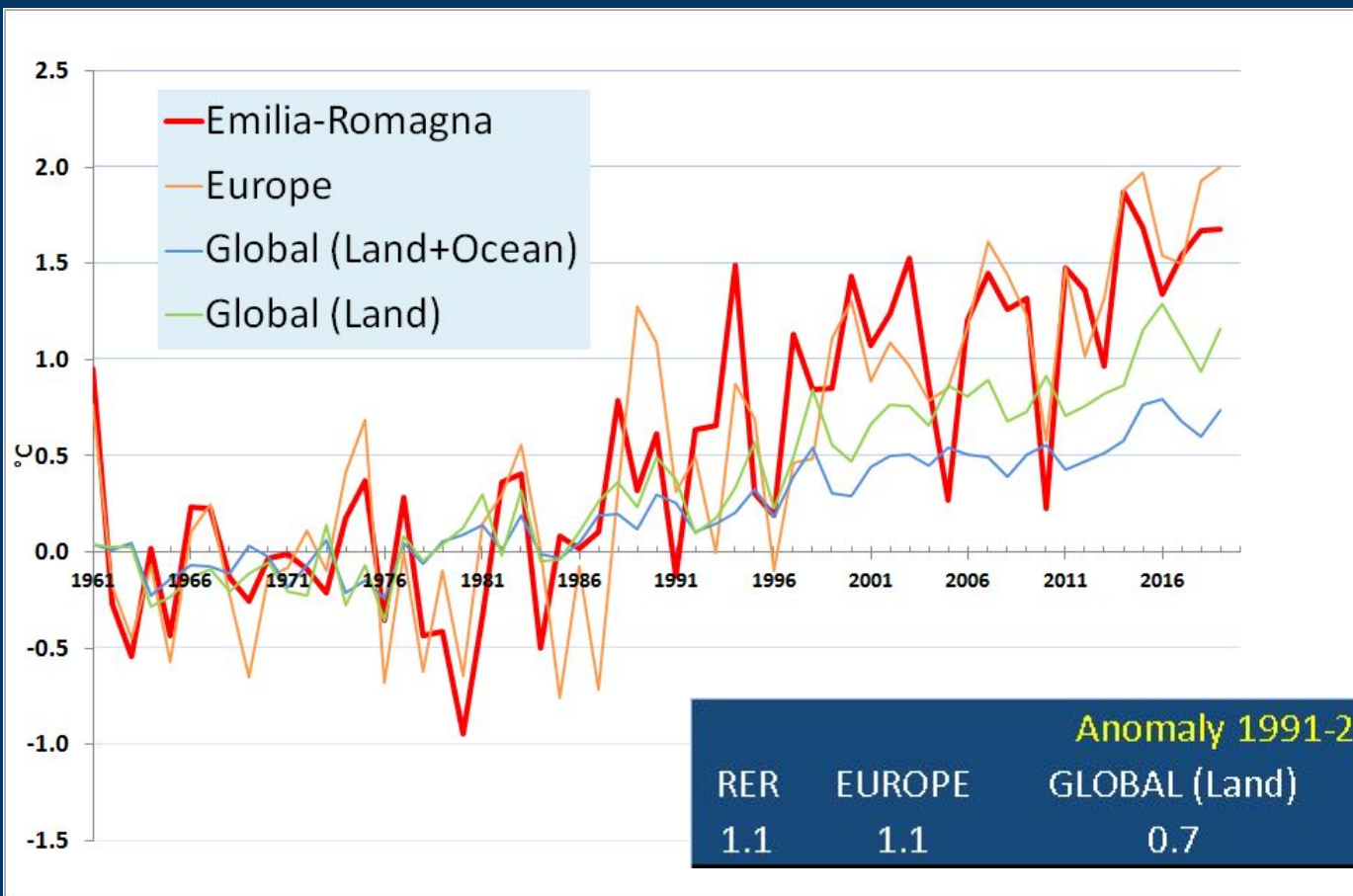
Temperatura media annua  
1961-1990 vs 1991-2015 (°C)



Tendenza 1961-2015 (°C/anno) e significatività

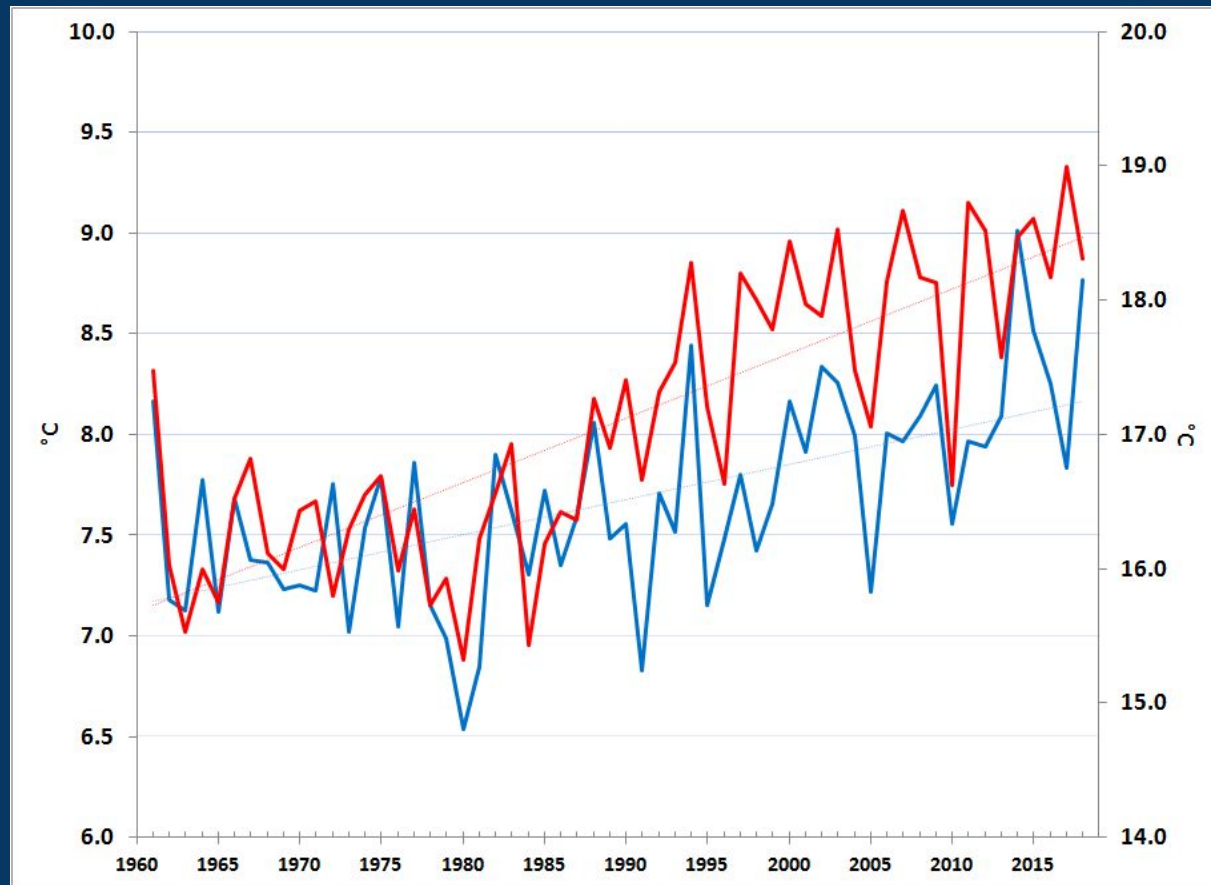


# Temperature globali e locali



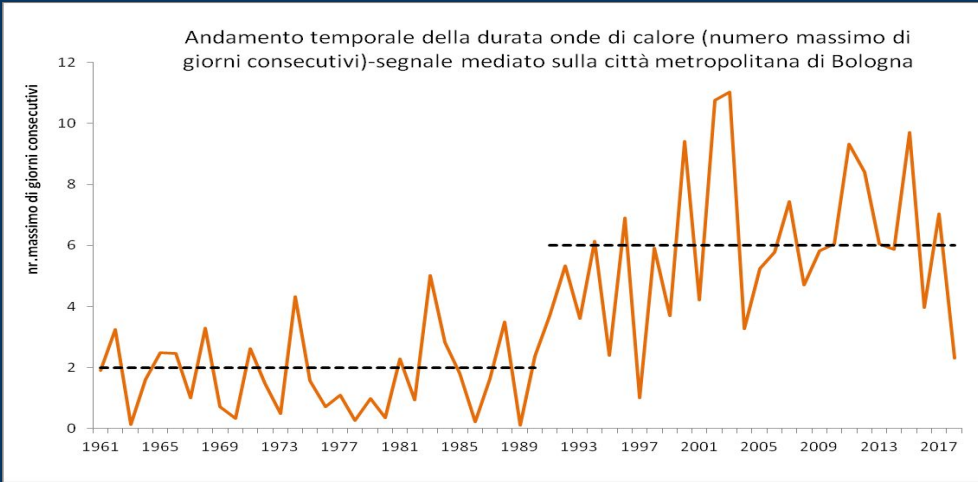
# Escursione termica

L'aumento maggiore delle massime rispetto alle minime può essere dovuto a una diversa ripartizione del bilancio energetico superficiale



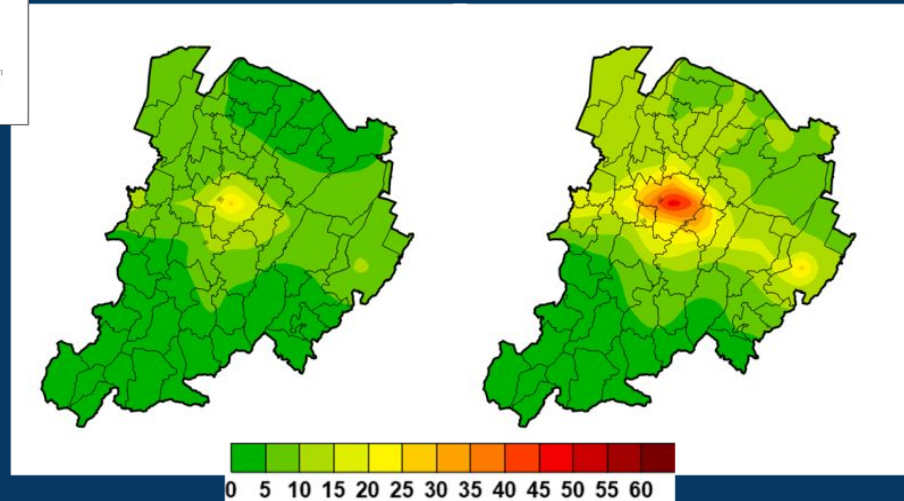
# Estremi di temperatura

## Ondate di calore



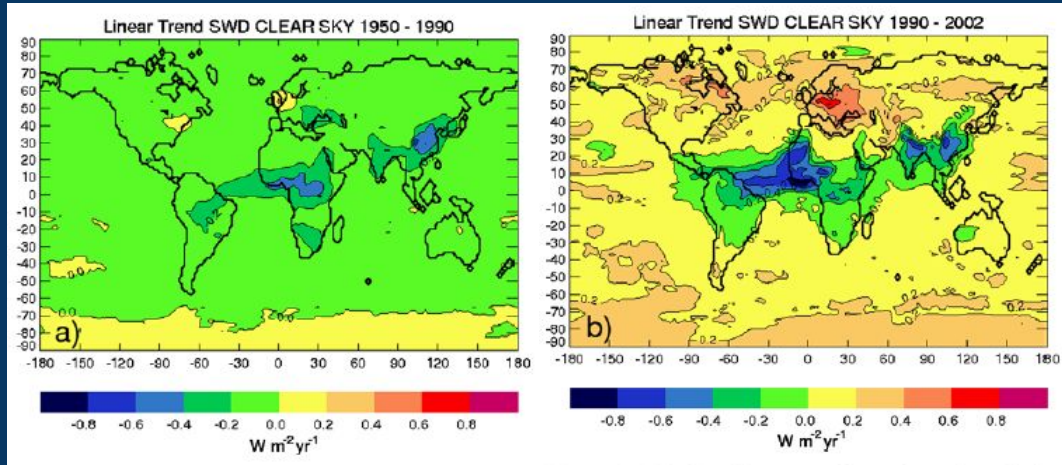
*Piano Territoriale  
Metropolitano di Bologna*

Notti tropicali



# Radiazione solare

Contributo all'accelerazione del global warming  
dato dal recente "brightening"?



Wild, 2009

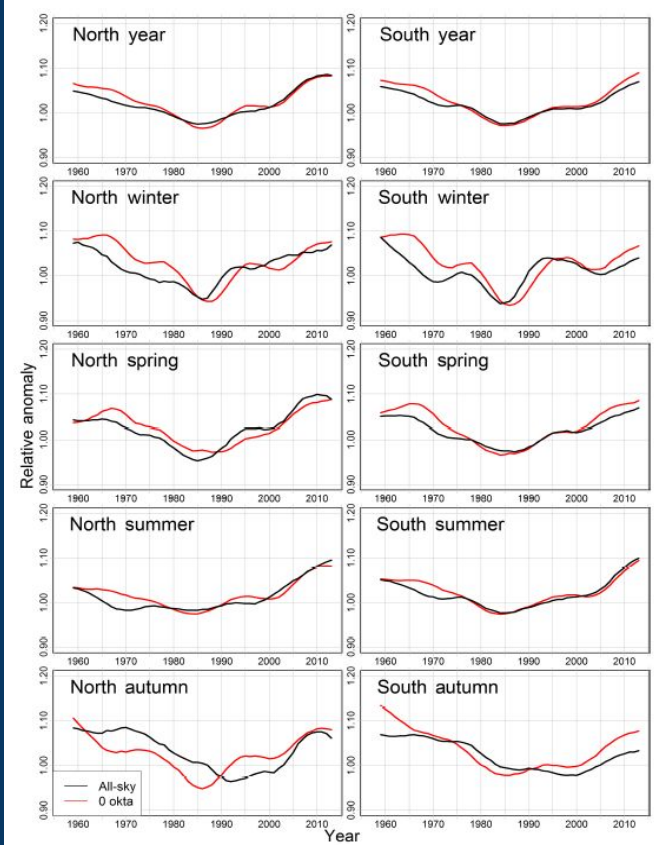
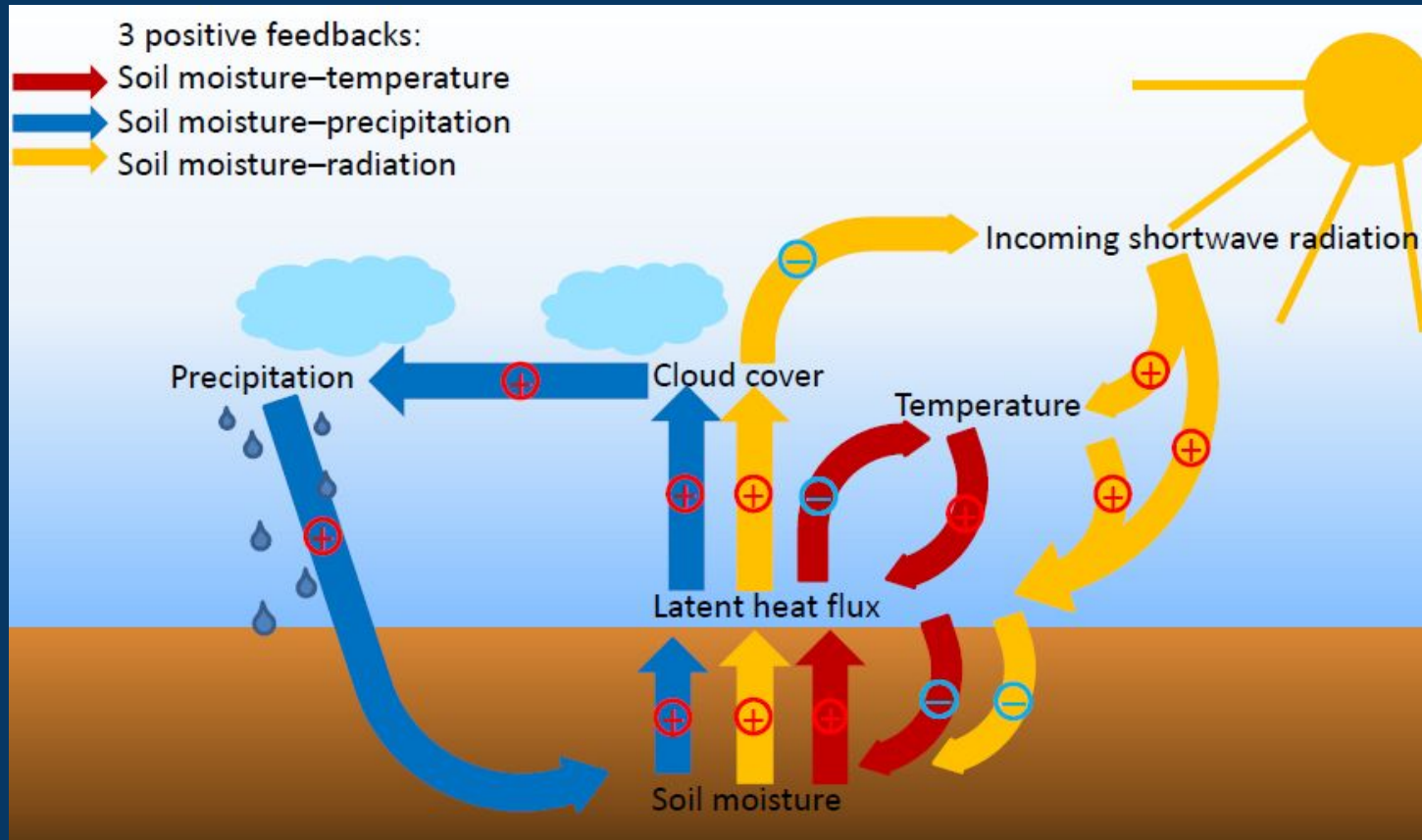


Figure 8. All-sky (black lines) and clear-sky 0 okta (red lines) SSR annual and seasonal low-pass filter for northern (left column) and southern (right column) Italy. The filters are the same as in Figs. 4 and 6.

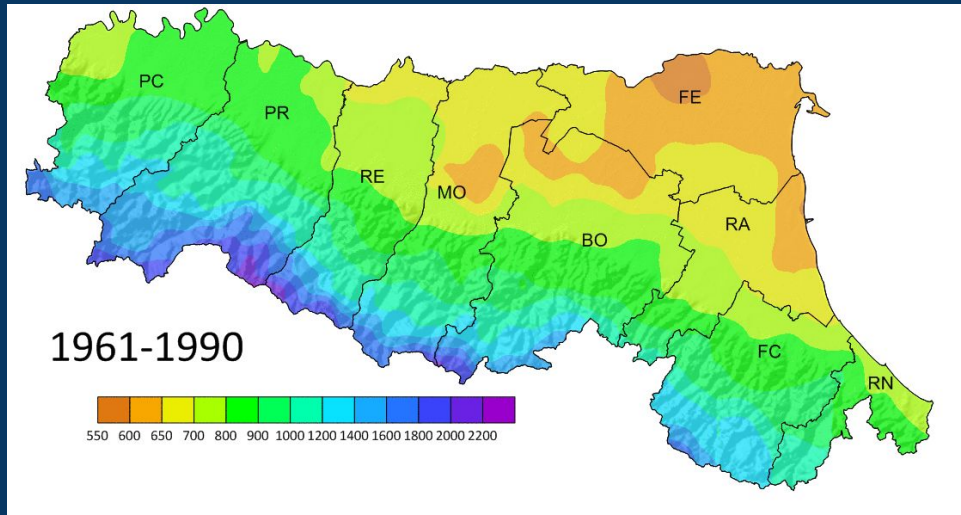
Manara et al., 2016

# Bilancio radiativo, energetico e idrico

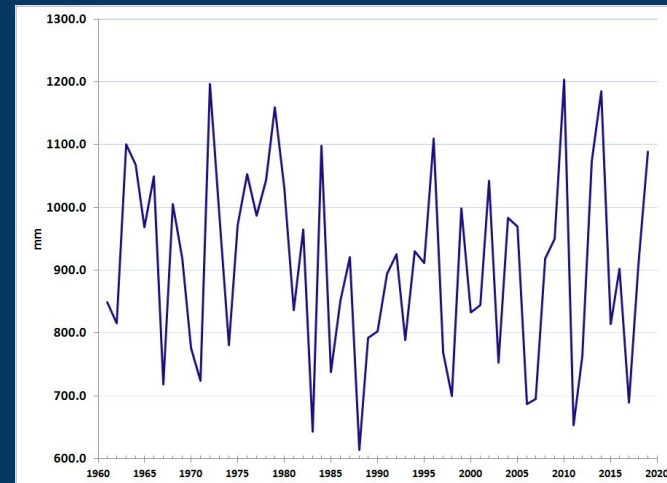
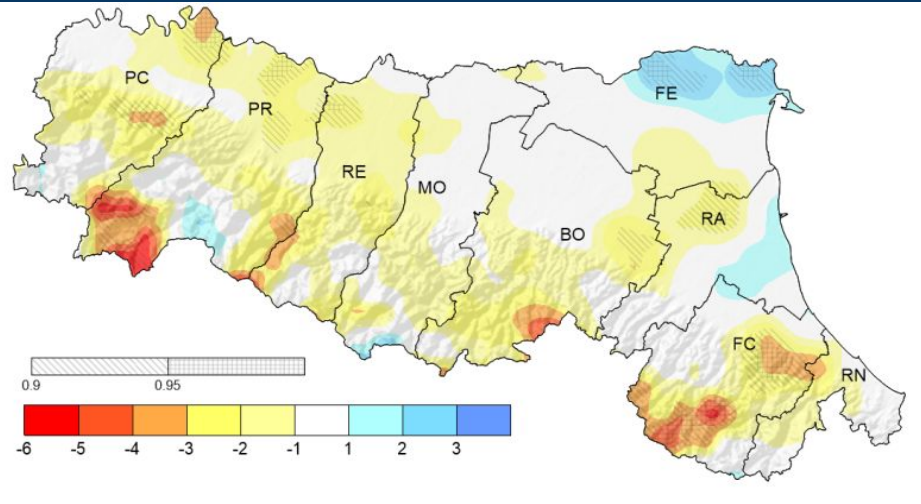


# Precipitazioni

Precipitazioni annue  
1961-1990 vs 1991-2015 (mm)



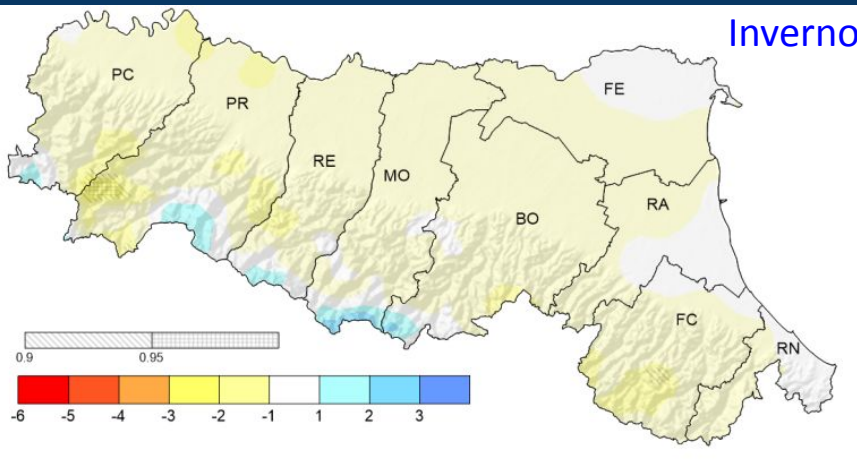
Tendenza 1961-2015 (mm/anno) e significatività



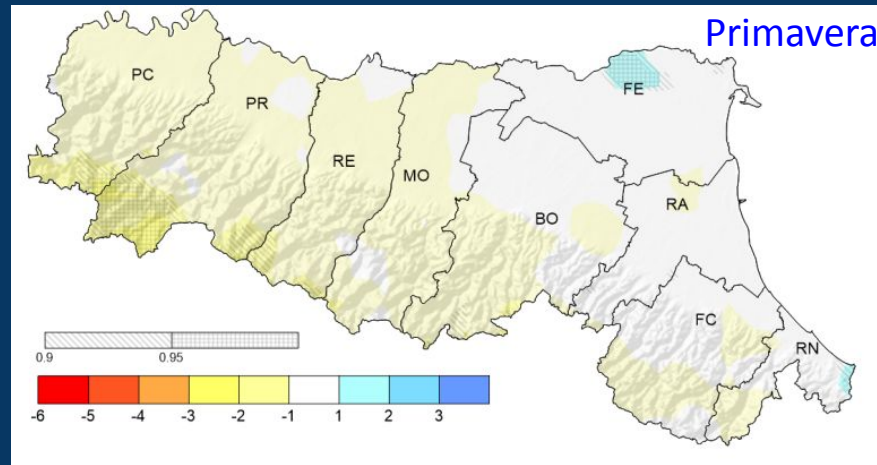
# Precipitazioni stagionali

Trend (mm/anno)

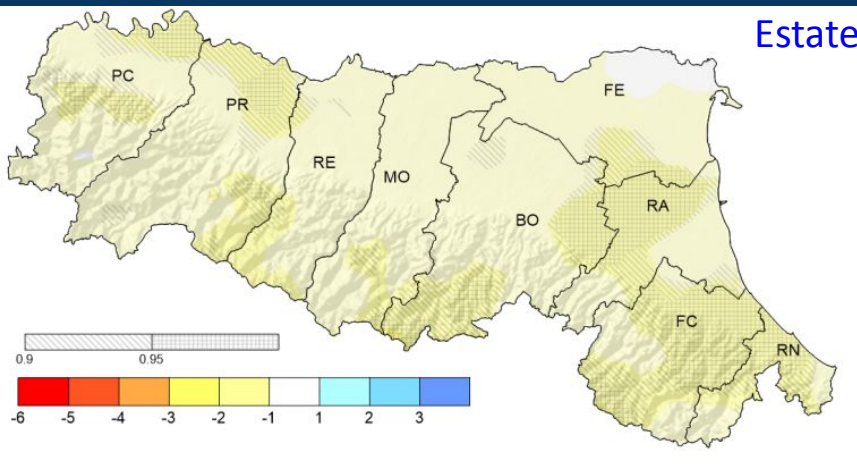
Inverno



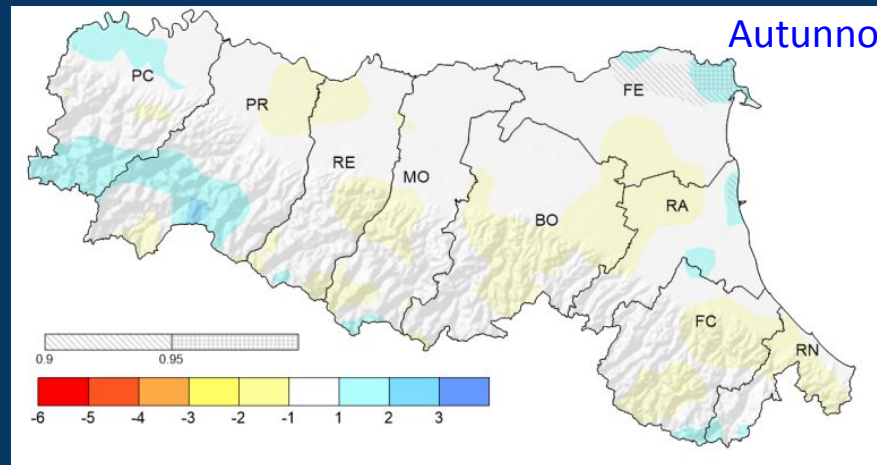
Primavera



Estate



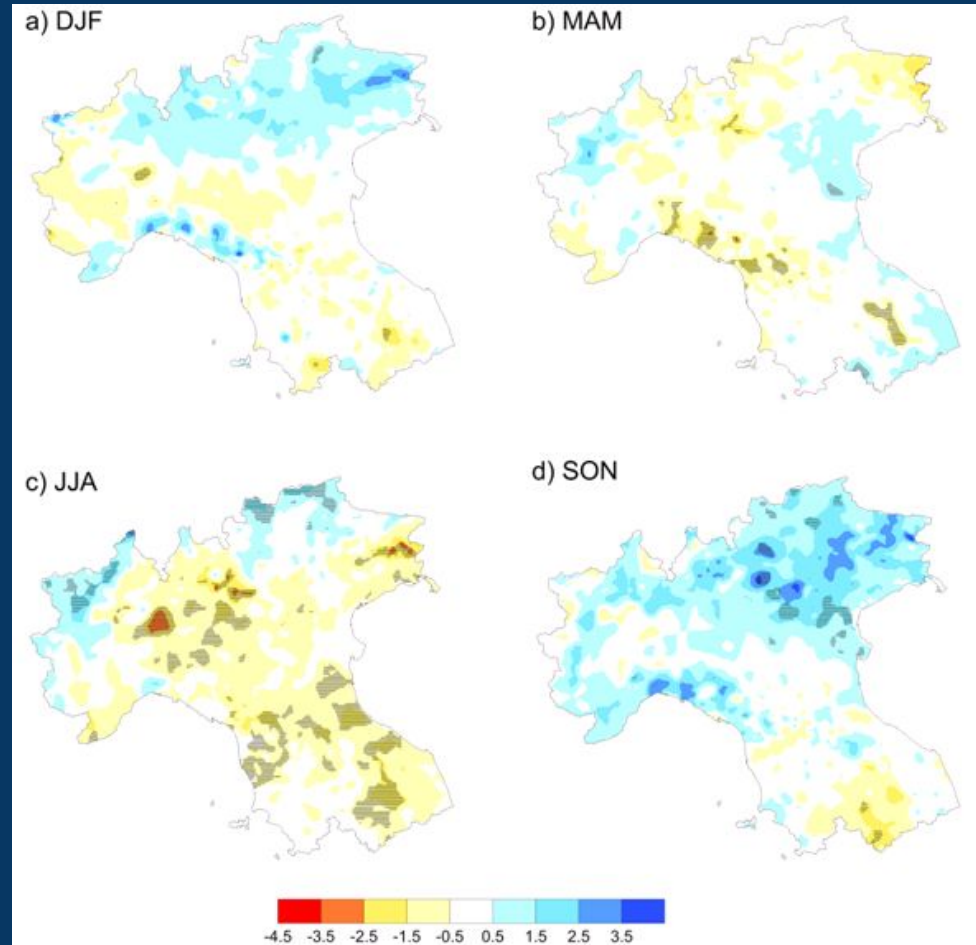
Autunno



# Precipitazioni

*Centro Nord Italia*

Tendenza alla  
diminuzione delle  
precipitazioni  
estive e  
all'aumento di  
quelle autunnali



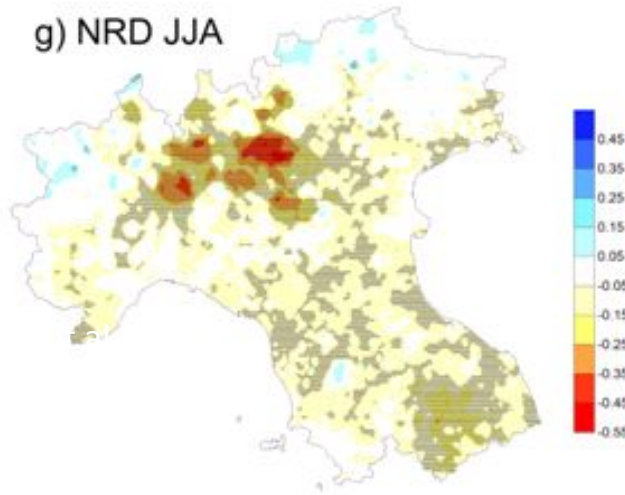
# Precipitazioni

*Centro Nord Italia*

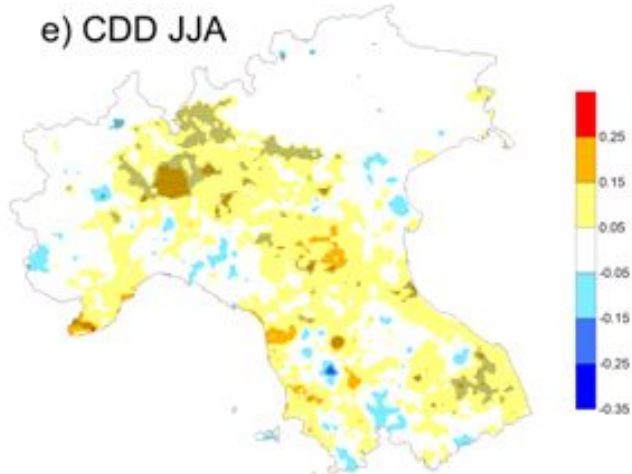
Pa

Tendenza  
all'aumento  
degli episodi di  
siccità estiva e  
aumento degli  
eventi estremi

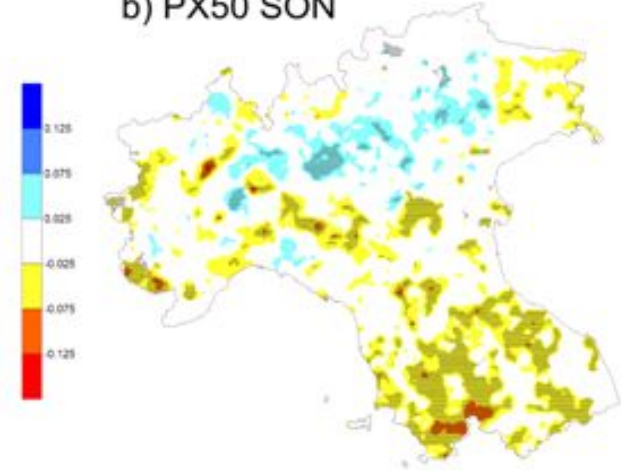
g) NRD JJA



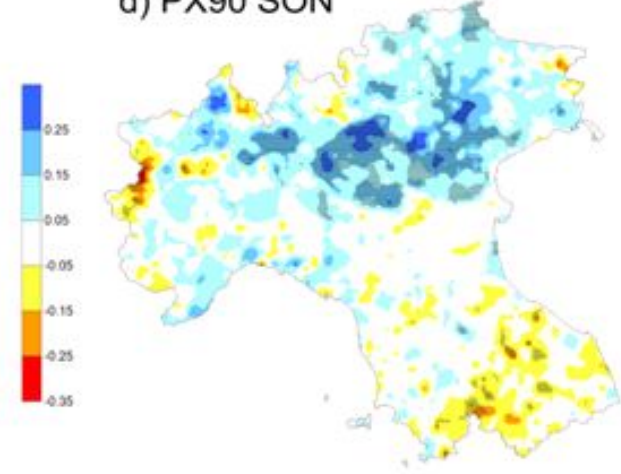
e) CDD JJA



b) PX50 SON

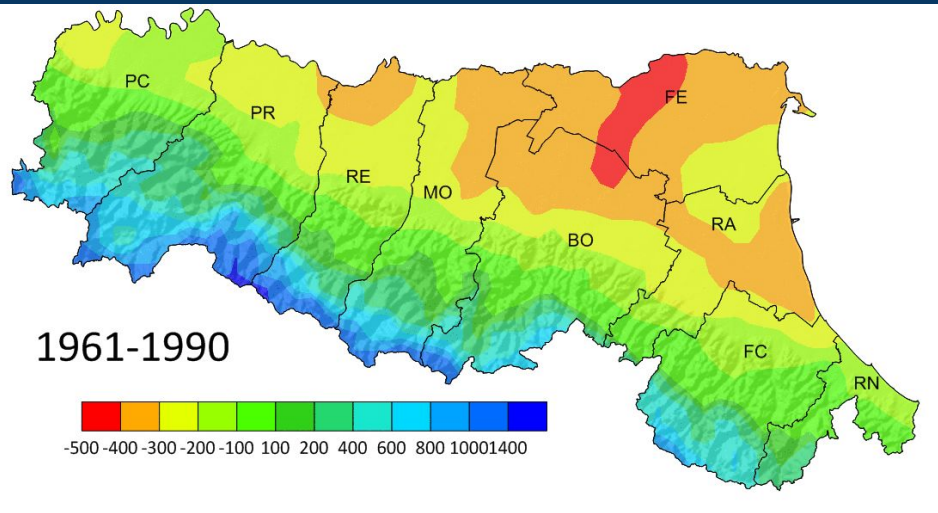


d) PX90 SON

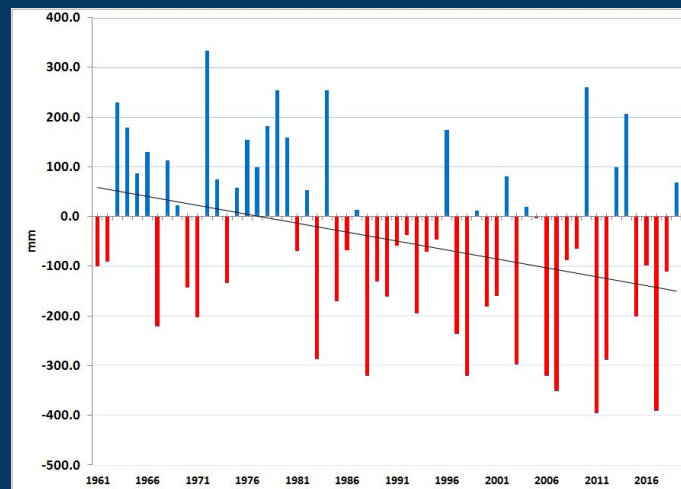
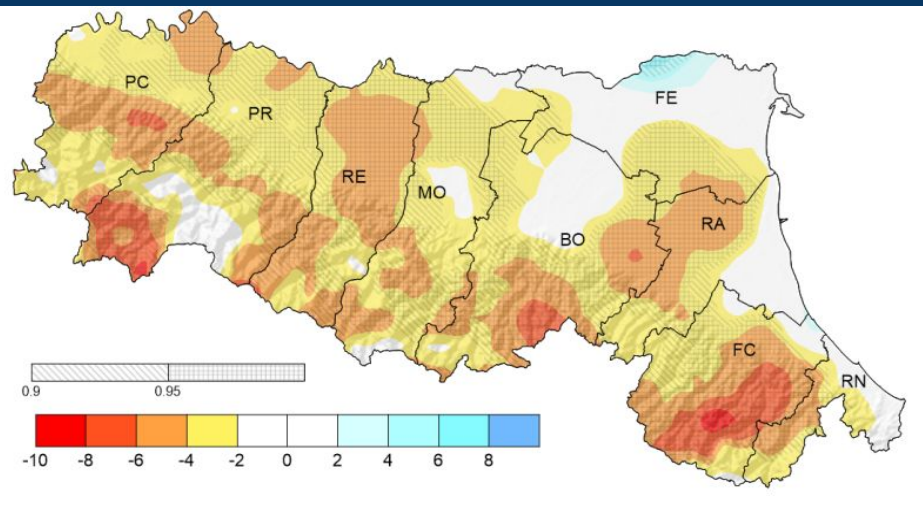


# Bilancio idroclimatico

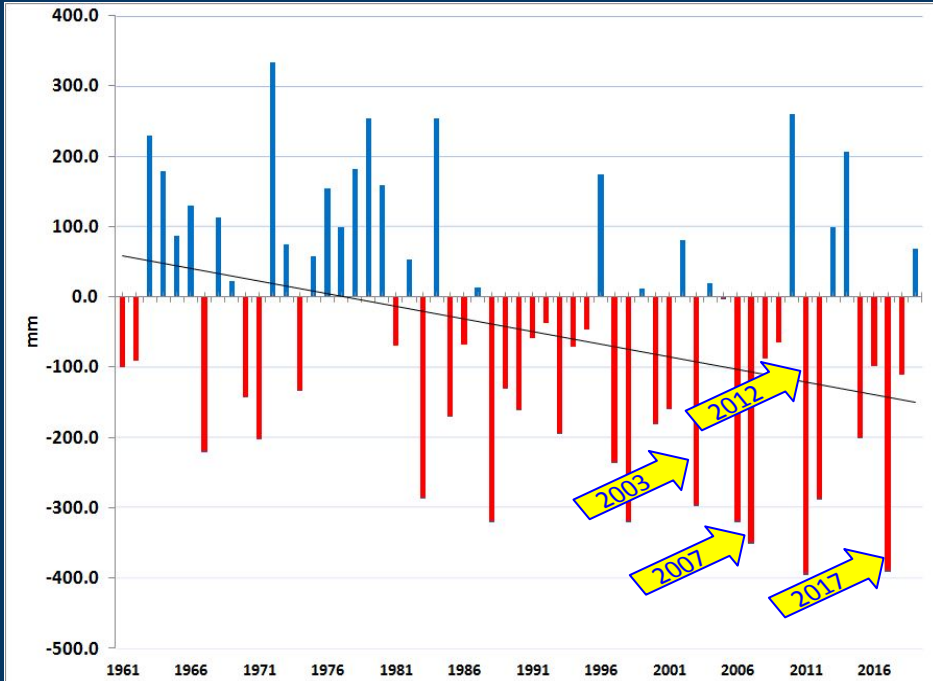
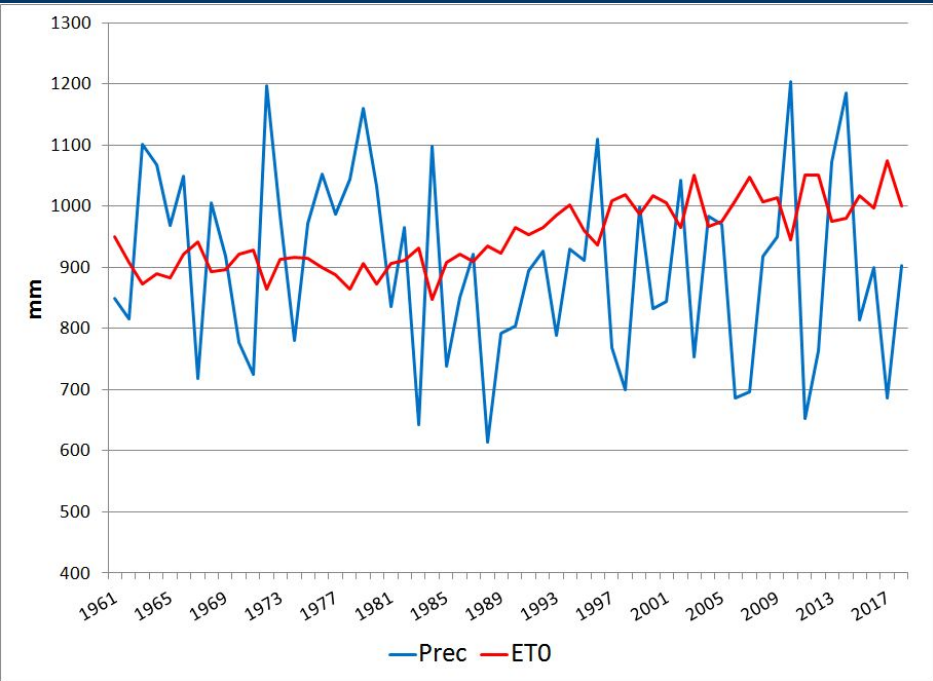
Bilancio idroclimatico annuo  
1961-1990 vs 1991-2015 (mm)



Tendenza 1961-2015 (mm/anno) e significatività



# Bilancio idroclimatico



# Scenari climatici futuri

Scenari di emissione

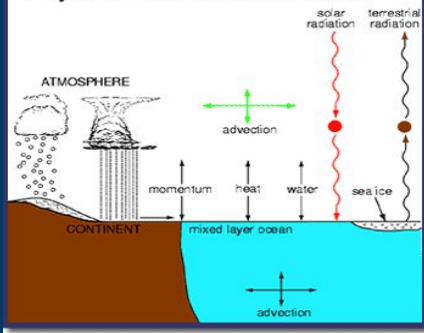
Modelli Climatici Globali (100 km)

## Schematic for Global Atmospheric Model

Horizontal Grid (latitude - longitude)

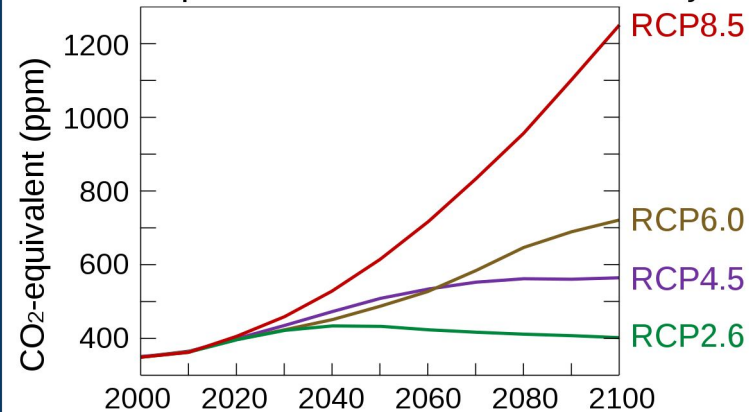
Vertical Grid (height or pressure)

## Physical Processes in a Model



- Modelli Climatici Regionali (RCMs) (10 km)
- Tecniche di regionalizzazione statistica

## IPCC Representative Concentration Pathways



Scenari climatici locali

# Proiezioni climatiche per l'Emilia-Romagna

2021-2050	Variazione Temp. minima (°C)	Variazione Temp. massima (°C)	Variazione Precipitazioni (%)
Inverno	+1,7 ↑	+1,4 ↑	-2 ↓
Primavera	+1,3 ↑	+2,1 ↑	-11 ↓
Estate	+1,8 ↑	+2,5 ↑	-7 ↓
Autunno	+1,7 ↑	+1,8 ↑	+19 ↑

Risultati della regionalizzazione statistica applicata al modello climatico globale CMCC-CM

## Temperature

- probabile aumento delle temperature minime e massime
- probabile aumento della frequenza delle onde di calore, specialmente in estate
- probabile diminuzione delle temperature estreme in inverno

## Precipitazioni

- verosimile calo delle precipitazioni durante la primavera e l'estate e aumento in autunno (segnale più intenso verso fine secolo)
- verosimile aumento degli eventi estremi di precipitazione

# Proiezioni climatiche

Generale spostamento delle curve di distribuzione verso valori più caldi. Valori più alti saranno sempre più probabili (ondate di calore).

Distribuzione della temperatura massima estiva in Emilia-Romagna

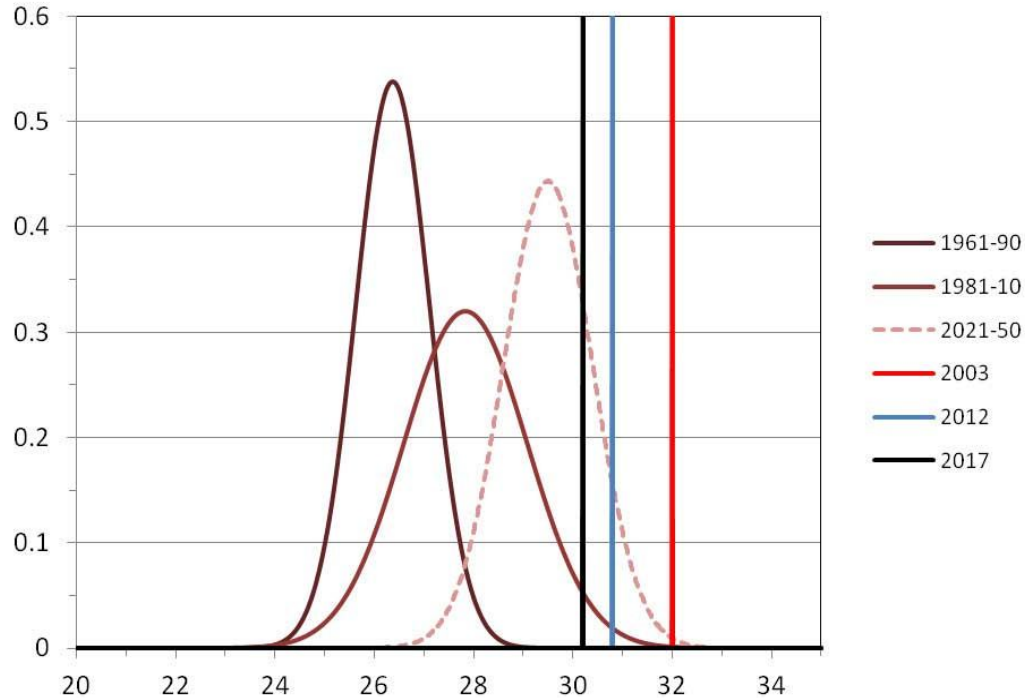


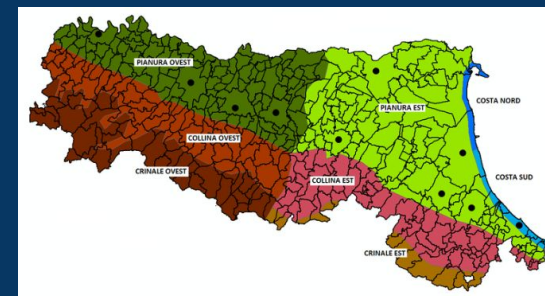
FIGURA 2: Distribuzione della temperatura massima estiva in Emilia-Romagna: presente e futuro

# Cambiamenti e proiezioni climatiche per Forlì

Ottenute tramite regionalizzazione statistica dei modelli climatici globali Cmp5, utilizzando lo scenario emissivo RCP 4.5

	1961-1990	2021-2050
Media delle temperature medie (°C)	13,6	15,1
Media delle temperature massime estive (°C)	27,9	30,4
Media delle temperature minime invernali (°C)	1,0	2,4
Notti tropicali <sup>1</sup>	24	41
Ondate di calore <sup>2</sup>	2	8
Precipitazioni annue (mm)	750	710
Giorni secchi estivi <sup>3</sup>	22	28

- 1) giorni con temperatura minima > 20 °C
- 2) numero massimo di giorni consecutivi con temperatura massima > 90° percentile
- 3) numero massimo di giorni consecutivi estivi con precipitazioni < 1 mm



<https://www.arpae.it/clima>  
<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/>



Prodotto collettivo dell'Osservatorio Clima, realizzato all'interno del Forum Regionale del Cambiamento Climatico

# Grazie per l'attenzione



Gabriele Antolini  
[gantolini@arpae.it](mailto:gantolini@arpae.it)

Contributi di:  
Rodica Tomozeiu  
Valentina Pavan  
Vittorio Marletto

Osservatorio clima  
<https://www.arpae.it/clima>