

# Scenari climatici globali e adattamento al territorio piemontese

**Simona Barbarino**

*Dip.to Rischi Naturali e Ambientali-meteorologia, clima e qualità dell'aria*

[simona.barbarino@arpa.piemonte.it](mailto:simona.barbarino@arpa.piemonte.it)

con il contributo di



Fondazione  
Compagnia  
di San Paolo

in collaborazione con



Piemonte

DISTRETTI  
DEL CIBO  
PINEROLESE  
E  
CANAVESE

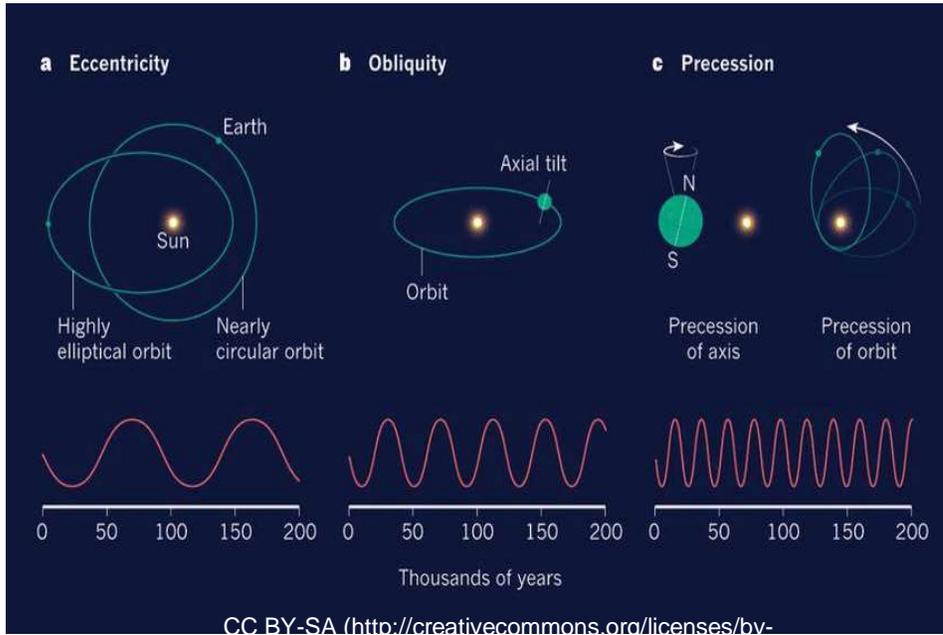


# *STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI*

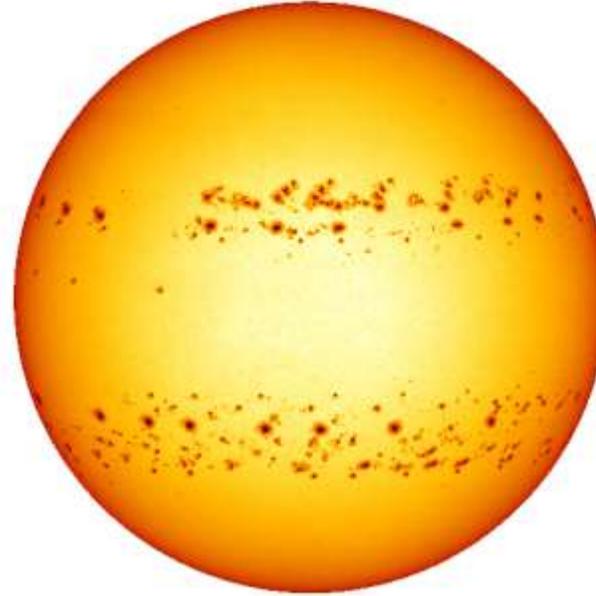
## Scenari climatici globali

## variabilità naturale

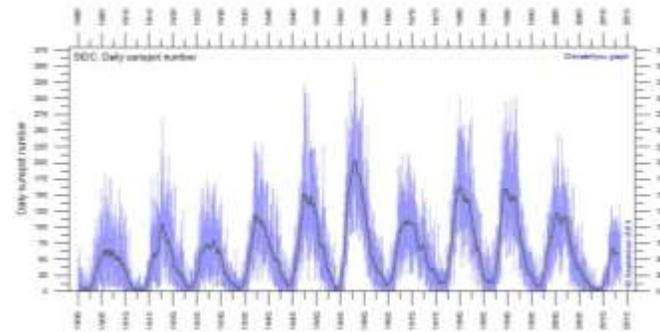
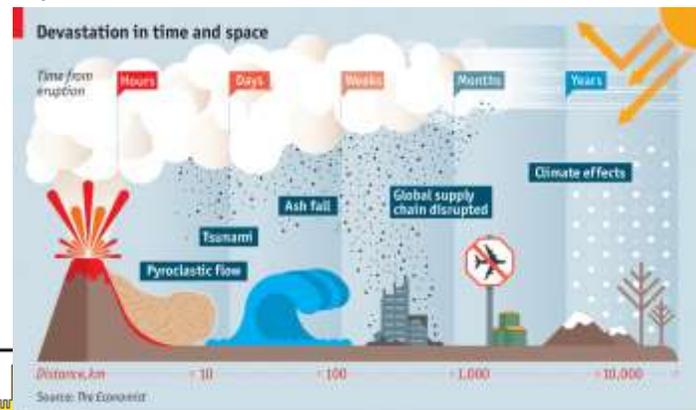
### 1) VARIABILI ASTRONOMICHE



### 2) ATTIVITA' SOLARE



### 3) EVENTI CATASTROFICI



## variabilità antropogenica

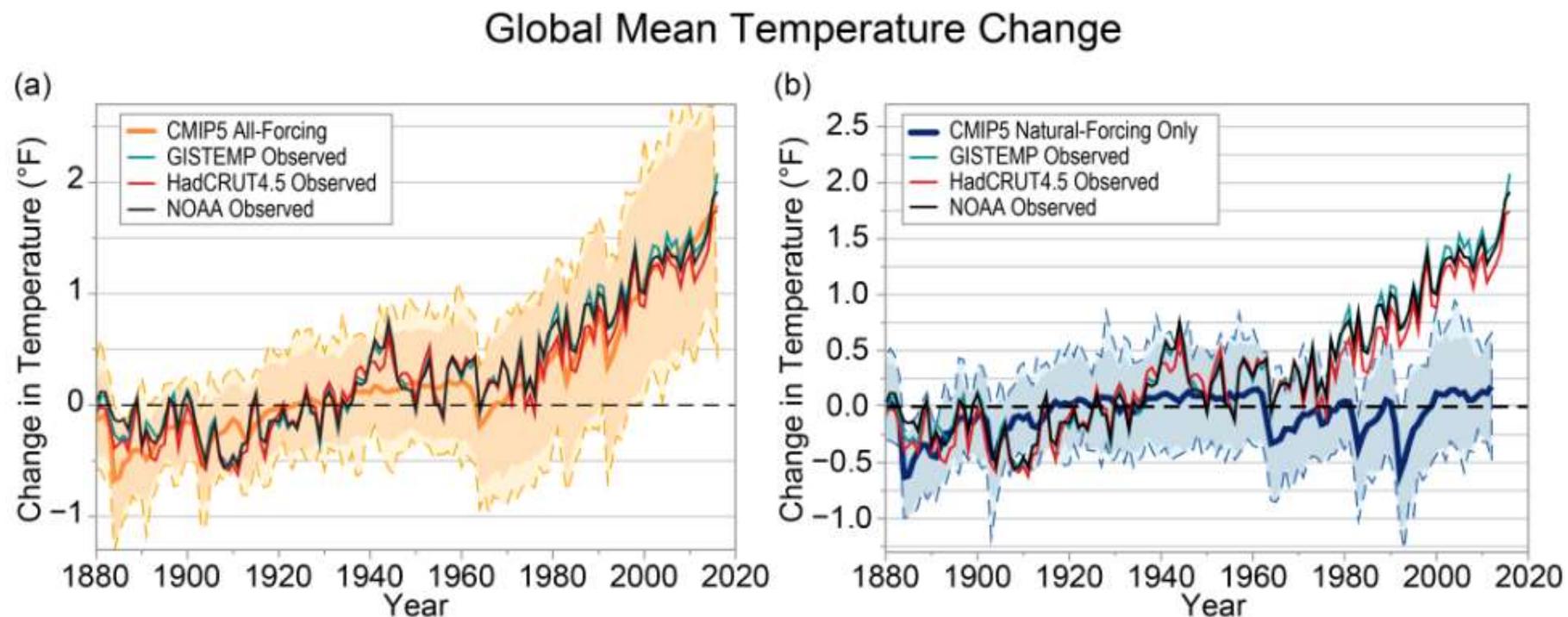
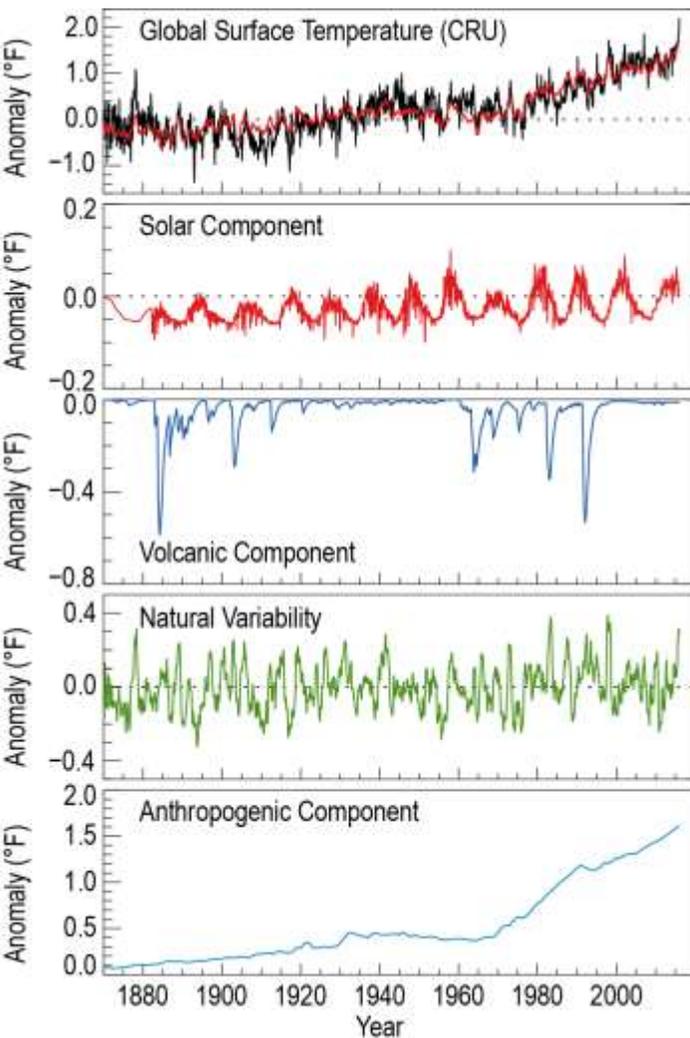
### 4) INFLUENZA UMANA



- **Generating power**
- **Manufacturing goods**
- **Cutting down forests**
- **Using transportation**
- **Producing food**
- **Powering buildings**
- **Consuming too much**

Source United Nations

# COMPONENTI CLIMATICHE E VERIFICA MODELLI



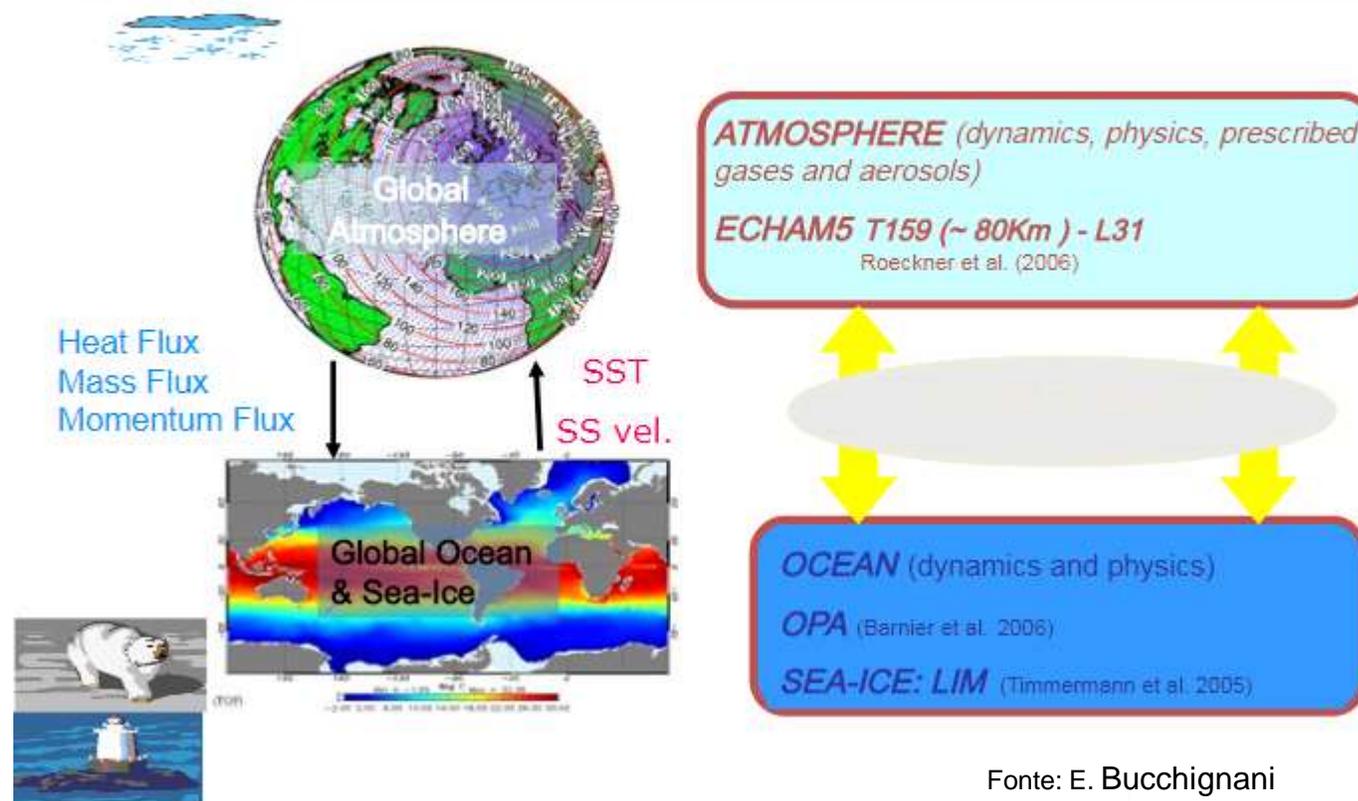
Fonte: USGCRP, 2017: *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I* [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, ashingto

# Modelli climatici

## Modelli climatici GCM

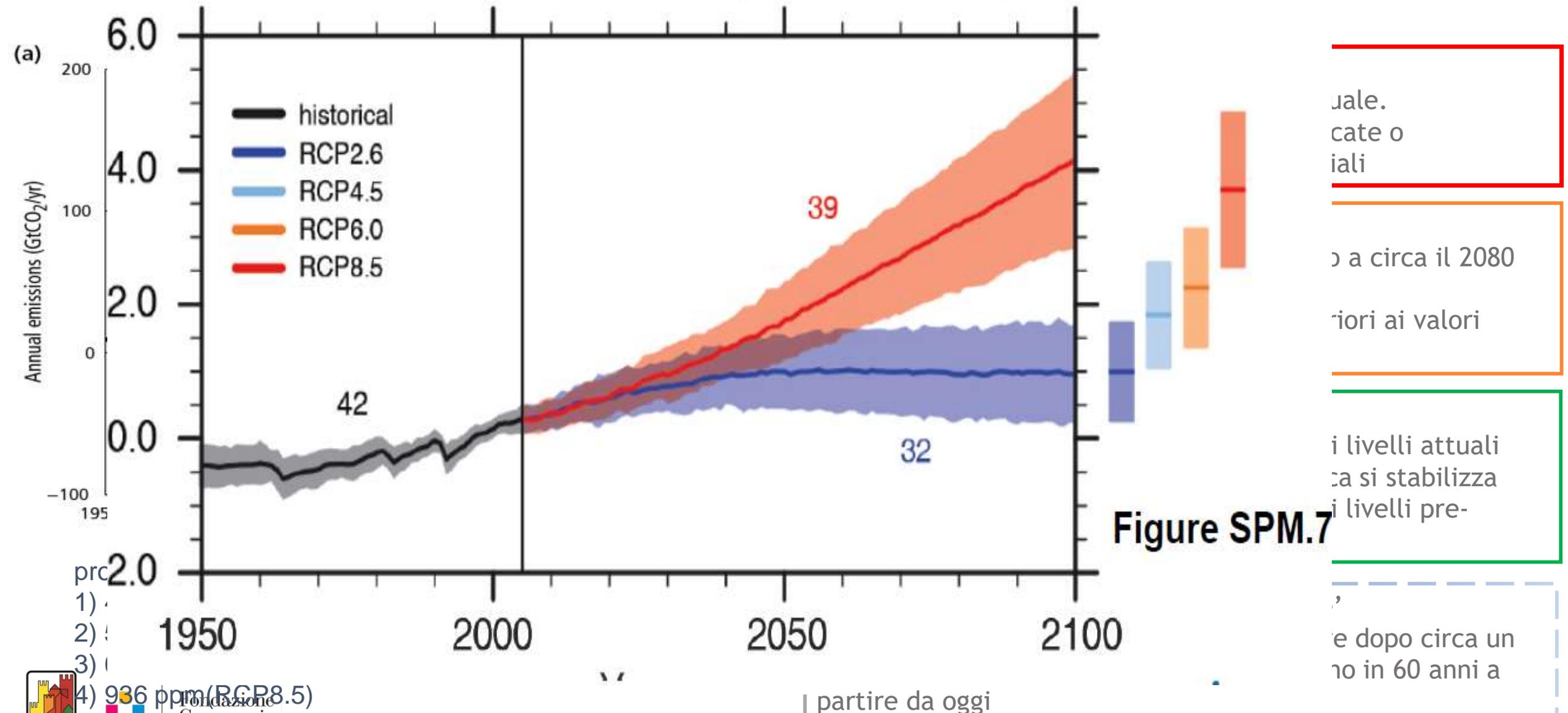
### Modelli climatici accoppiati oceano-atmosfera GCM

#### The CMCC coupled atmosphere-ocean GCM



Fonte: E. Bucchignani

# Global average surface temperature change



uale.  
cate o  
iali

o a circa il 2080  
riori ai valori

i livelli attuali  
ca si stabilizza  
i livelli pre-

e dopo circa un  
no in 60 anni a

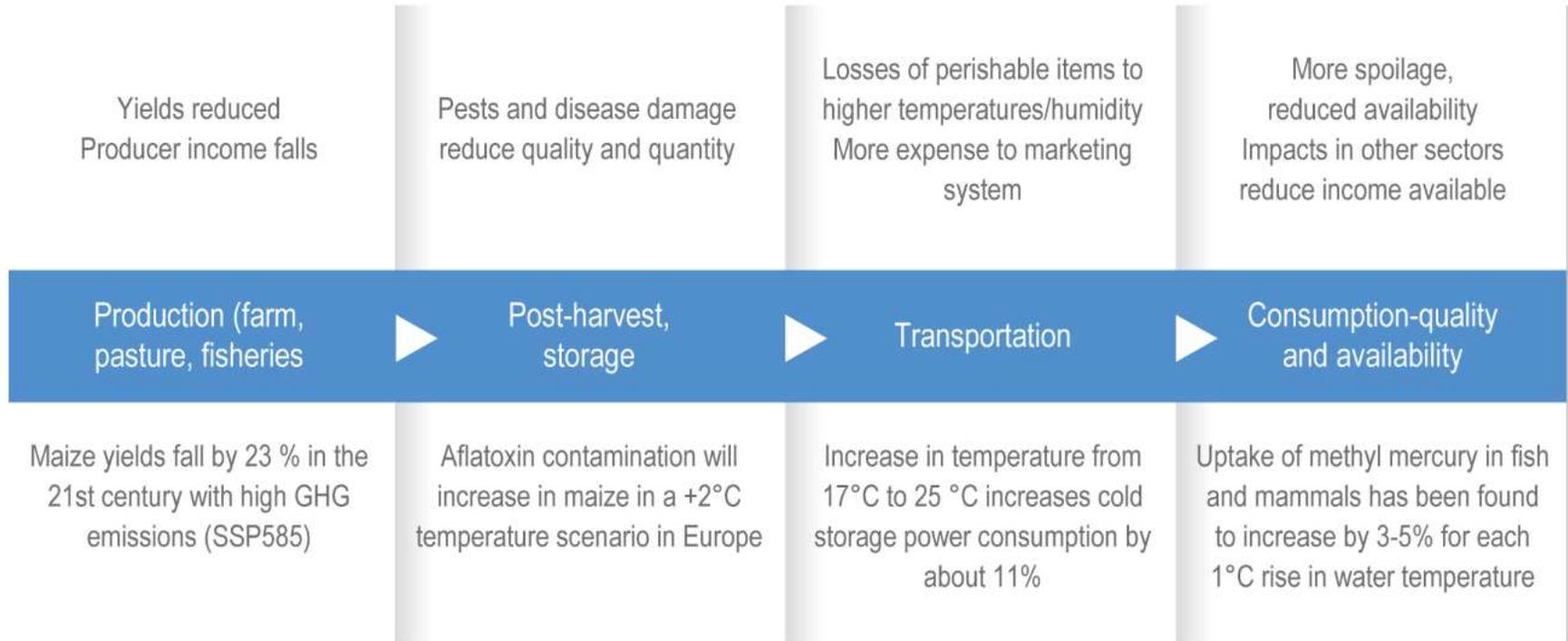
# Climate change affects food security all over the world.

The changes will affect all parts of the food production chain in a variety of ways.



Quantity and availability	Stability
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yields and productivity</li> <li>• Quality losses</li> <li>• Employee productivity</li> <li>• Pollination</li> <li>• Soil fertility and moisture</li> <li>• Plant pests and animal diseases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluctuations in</li> <li>• Pest and diseases</li> <li>• Disturbances in food transport</li> </ul>

## Impacts of climate change in the food system

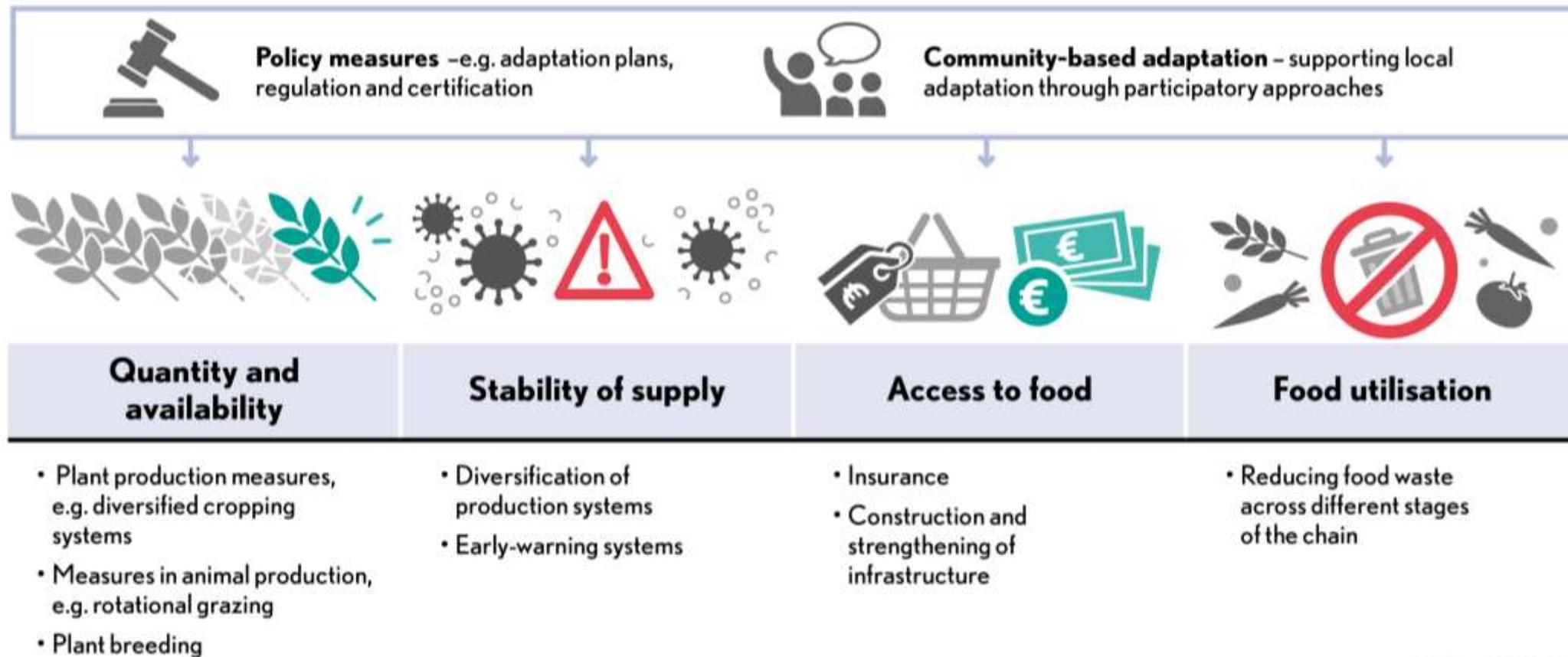


Based on the findings of the IPCC's 6th Assessment Report, Working Group II. © Minist

Examples (taken from individual sectors of chapter 5)

# Food security can be supported through various adaptive measures around the world.

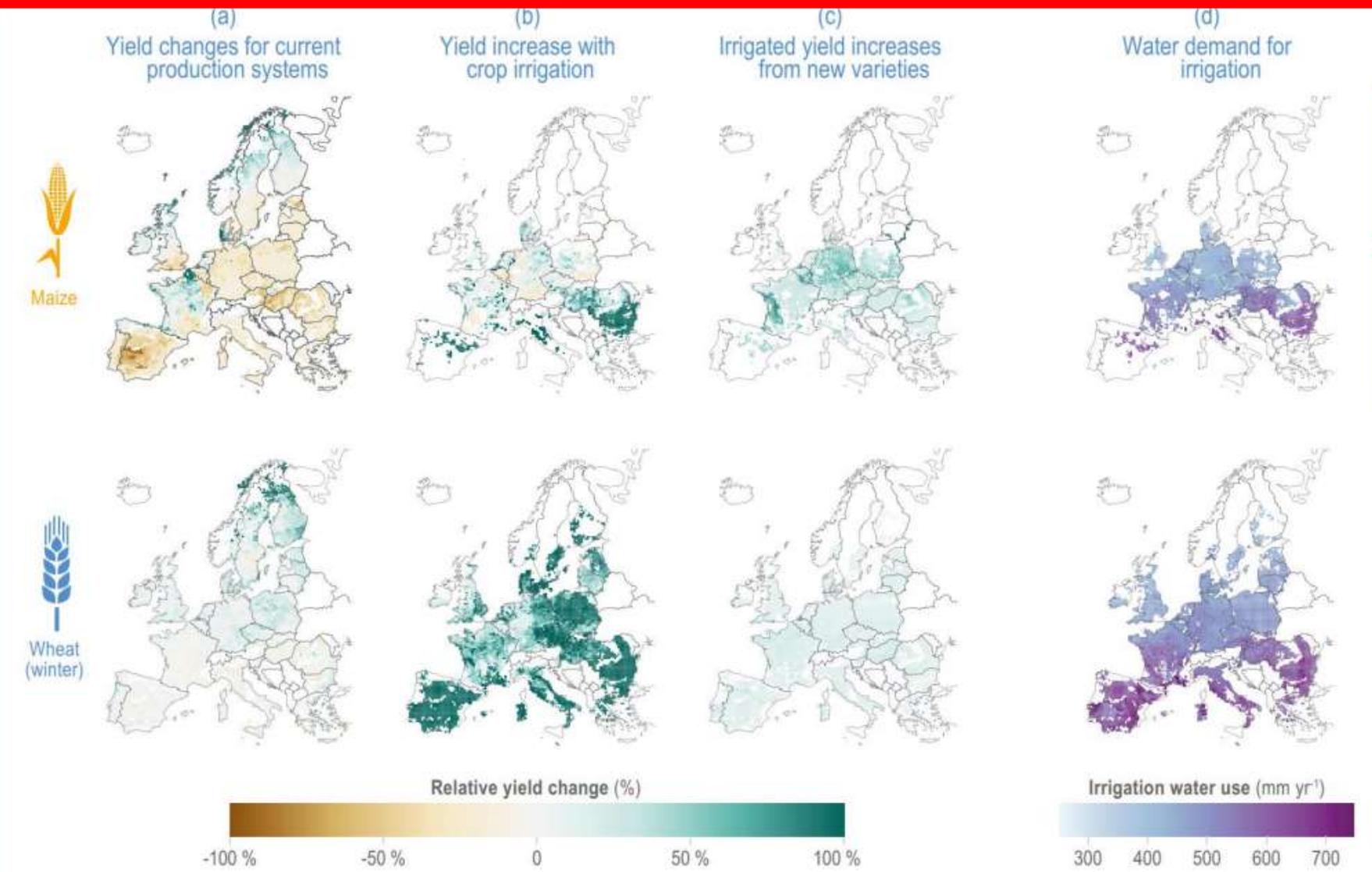
Many adaptation measures have synergies with climate change mitigation and sustainable development. However, the effectiveness of the adaptation measures will be limited if global warming exceeds 1.5 degrees Celsius.



Based on the findings of the IPCC's 6th Assessment Report, Working Group II. © Ministry of the Environment, Finnish Environment Institute and Natural Resources Institute Finland, 2022 Climateguide.fi

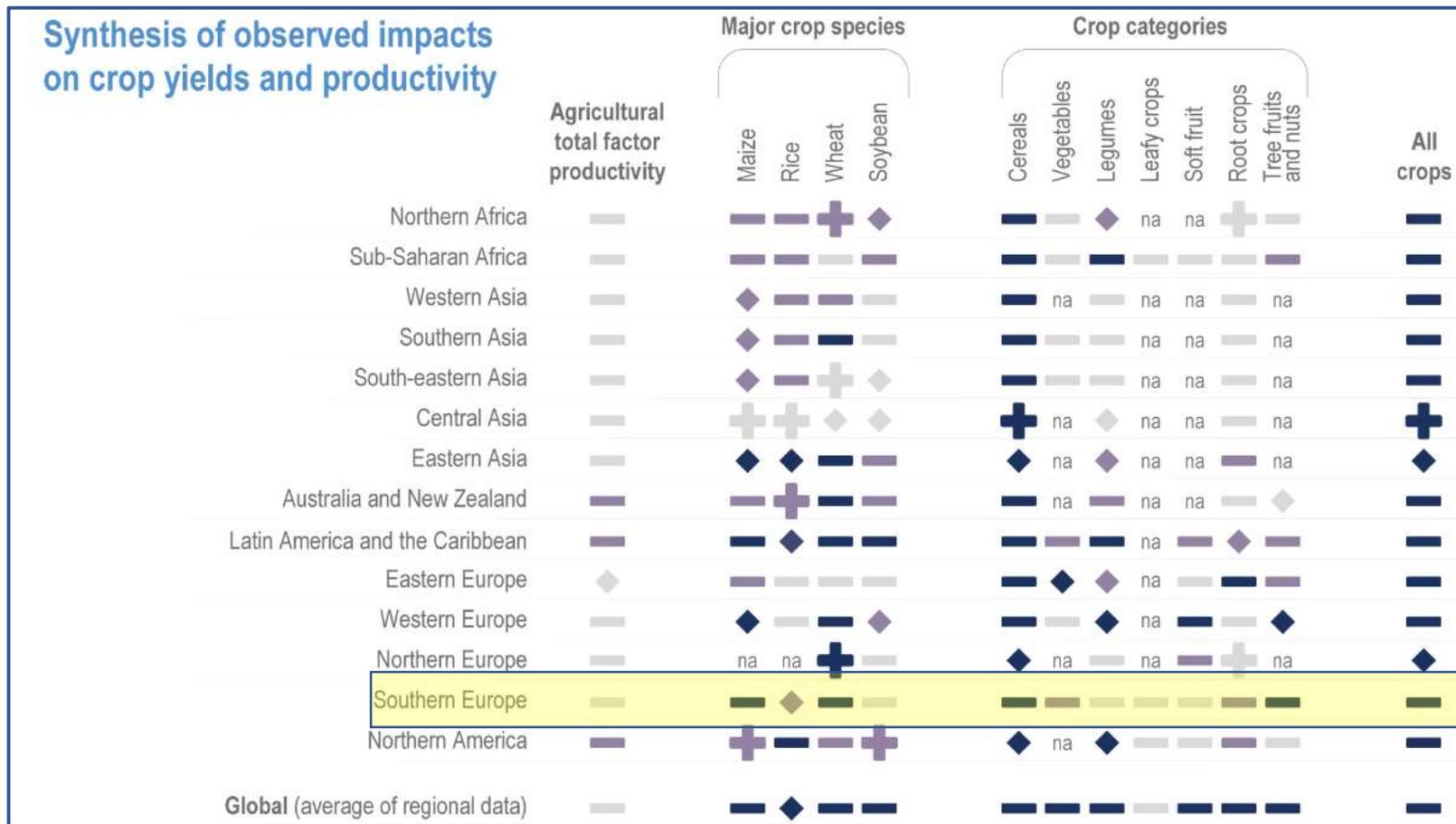


# I CAMBIAMENTI CLIMATICI CONDIZIONANO LA PRODUZIONE DI CEREALI



**Perdite e guadagni sono distribuiti in modo geograficamente disomogeneo**

**I guadagni sono subordinati alla disponibilità di grandi risorse idriche per l'irrigazione**



Impact level: + Positive    ◆ Mixed    — Negative      Confidence level: ● Low    ● Medium    ● High      na = not assessed

Figure 5.3 | Synthesis of literature on observed impacts of climate change on productivity by crop type and region. The figure draws on >150 articles categorized by: agriculture total factor productivity including literature estimating all agricultural outputs in a region; major crop species including literature assessing yield changes in the four major crops; crop categories including productivity changes (yield, quality and other perceived changes) in a range of crops with different growth habits. The assessment uses literature published since AR5, although the timespan often extends prior to 2014.

# Impatti sugli allevamenti



Journal of Dairy Science  
Volume 97, Issue 1, January 2014, Pages 471-486



## The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle

Bernabucci U., et al., Journal of Dairy Science, 2014

U. Bernabucci \*, S. Biffani †, L. Buggiotti \*, A. Vitali \*, N. Lacetera \*, A. Nardone \*  

This study represents the first comprehensive research about the effect of THI in Holstein cattle raised in the Mediterranean Basin. Our results confirm the negative effect of heat stress on dairy cattle performance reported in previous studies and demonstrate that the negative effects of high THI are more prolonged than the generally reported 2 to 4 d. The extent to which milk production is affected varies among traits and parities. Multiparous cows are more susceptible to heat stress, and the decrease in milk yield can reach as much as 1 kg/d. These results might contribute to improved management (grouping strategies, fan-cooling systems, feeding and nutrition, and so on) of the dairy cattle herd in alleviating the negative effects of a hot environment. Selecting for heat tolerance is hampered by the negative (i.e., unfavorable) genetic correlation with milk production. However, the results of the present study demonstrate that the inclusion of THI covariate effects in the estimation of sire EBV changes the sire ranking; sires with the same genetic value (EBV) for milk production responded differently as the THI increased. Therefore, the inclusion of THI as a selection criterion in a selection index is recommended, especially for dairy cattle raised in hot environments in which profitability may continue to deteriorate over time.

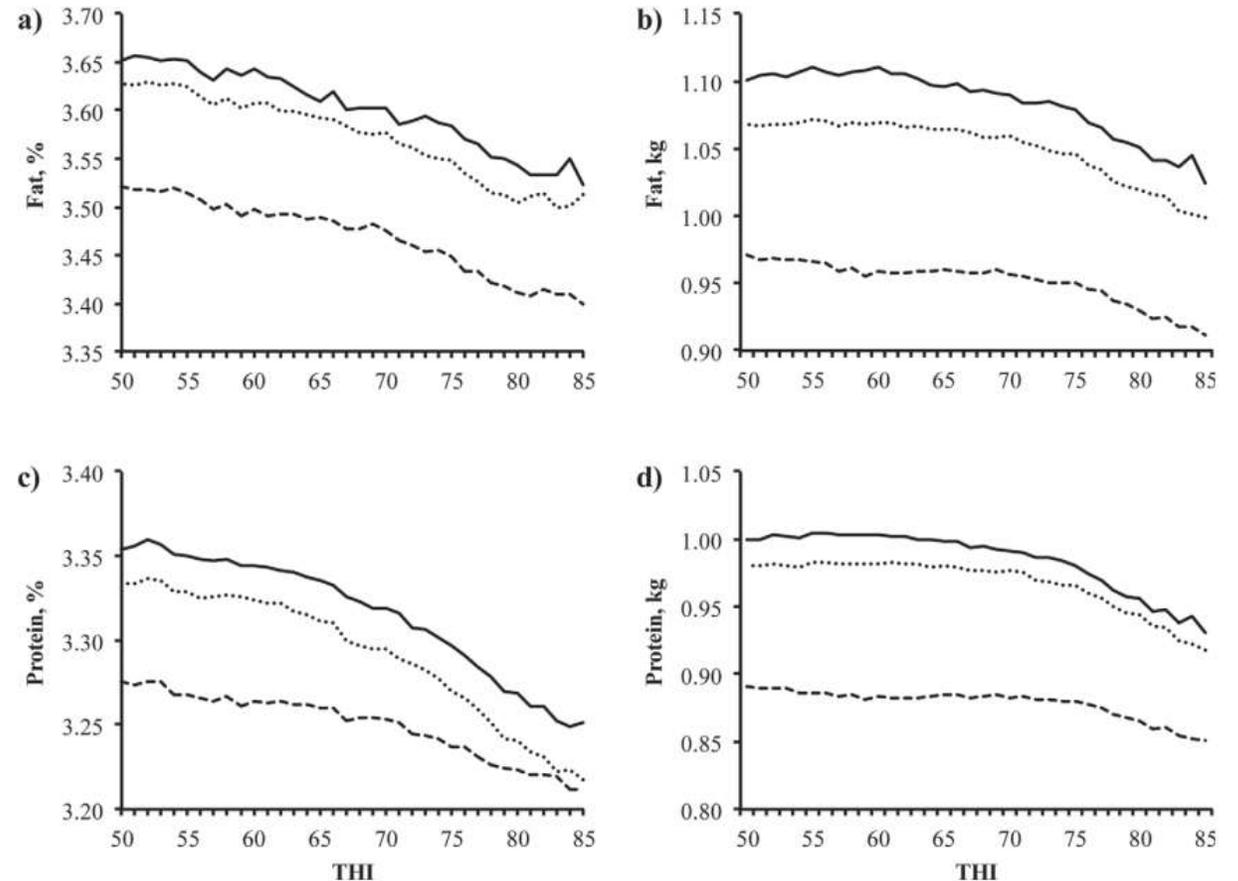
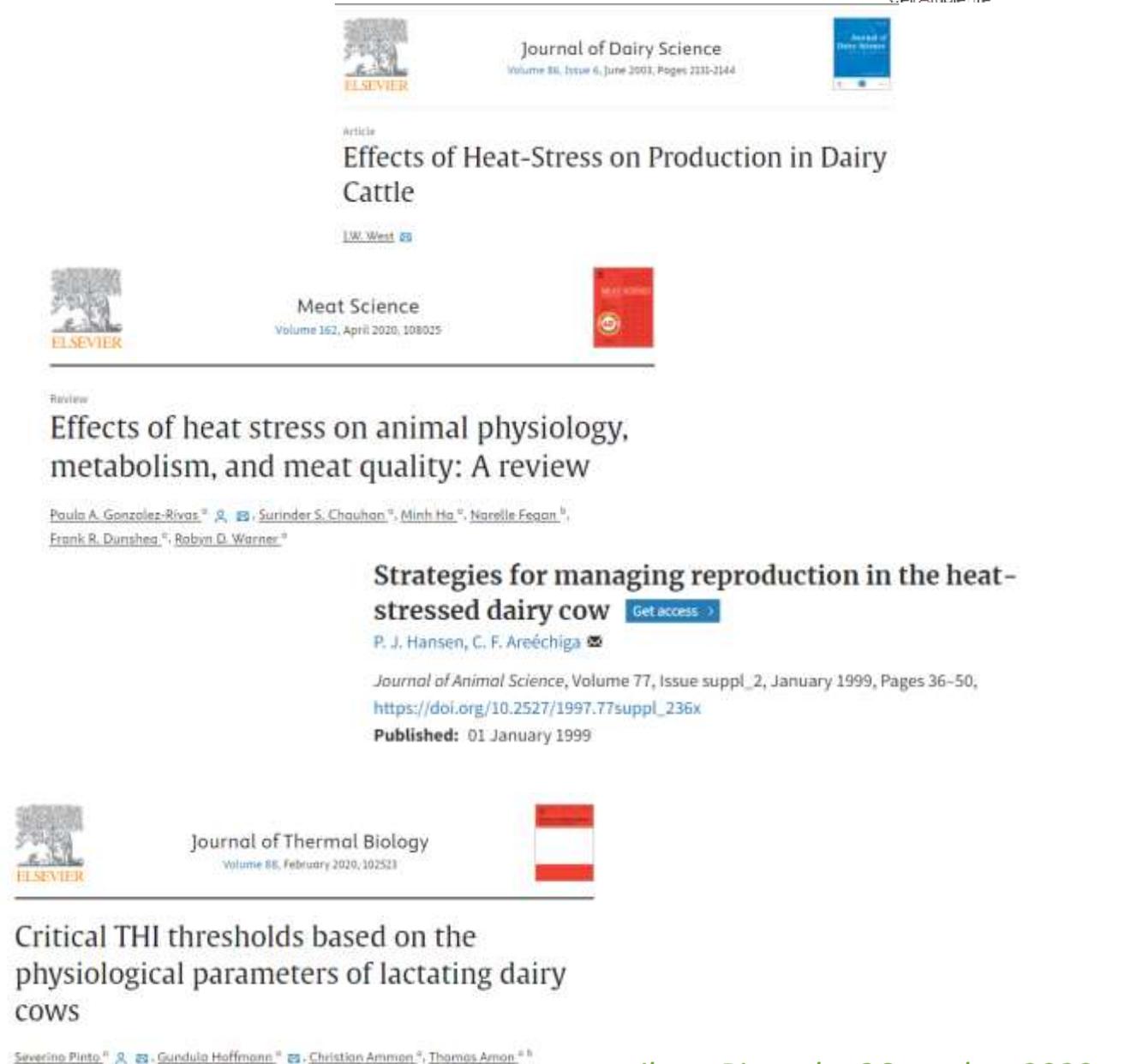


Figure 6. Least squared means adjusted for the effect of the temperature-humidity index (THI) for daily (a) fat percentage, (b) fat yield, (c) protein percentage, and (d) protein yield in the 3 parities.

## Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—a review

Herbut, P. et al., Int J Biometeorol 62, (2018)

Early forecasting of heat stress risk makes it possible to limit its negative impact on cow welfare. Therefore, welfare measurements should be based on environmental indices of heat stress, the animal's response in coping with difficulties, and on signs that coping effects to maintain homoeothermic conditions are failing. Recognition of heat stress may be generally based on observable clinical symptoms among cows that appear together with high air temperature and defined levels of relative humidity. In order to maintain dairy cattle's healthiness and performance, it is more important to keep the air temperature at a constant level, or to provide adequately long rest periods in lower temperatures with an efficiently functioning ventilation system placed above the cows to cool them, using the increased velocity of the ventilation air or wind speed than the air temperature itself. The THI value and that of other indexes is usually the main determinant for heat stress management decisions by the breeder. Moreover, the categorical THI values described above can act as a rough indicator for the effects of heat stress on production measures. THI formulas that determine the environmental risk factors for cows are unfortunately still imperfect because they take into account only factors that shape the microclimate of the air. Other indicators of cow response do not include, for example, the role of the floor (ground) in animal cooling. Since cows spend 8–16 h a day in a lying position, at which time 20–30% of their body surface comes into contact with the ground, it will be necessary to develop a THI of the surface on which the cow is lying. In relation to this, it would also seem advisable to extend the scope of research on ground and floors with regard to their heat exchange properties and role in the cooling of cows.



The screenshot displays three Elsevier article pages. The first page is for the article "Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle" by I.W. West, published in the Journal of Dairy Science, Volume 81, Issue 6, June 2001, Pages 2111-2144. The second page is a review article titled "Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review" by Paula A. Gonzalez-Rivas, Surinder S. Chauhan, Minh Ha, Narelle Fegan, Frank R. Dunshea, and Robyn D. Warner, published in Meat Science, Volume 162, April 2020, 108025. The third page is for the article "Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow" by P. J. Hansen and C. F. Arechiga, published in the Journal of Animal Science, Volume 77, Issue suppl\_2, January 1999, Pages 36-50. The fourth page is for the article "Critical THI thresholds based on the physiological parameters of lactating dairy cows" by Severino Pinto, Gundula Hoffmann, Christian Amman, and Thomas Amon, published in the Journal of Thermal Biology, Volume 88, February 2020, 102521.

# Azioni di adattamento!

## ACQUA

### Adaptation options to address water shortages at the national scale

- transboundary resource management (*Escriva-Bou et al., 2017; Pulido-Velazquez et al., 2018*)
- promoting fair, equitable and sustainable water trade in international markets (*Johansson et al., 2016; Lee et al., 2019*)
- regional, national and basin-scale management plans for water resources (*Wilhite et al., 2014; Paneque, 2015; Estrela and Sancho, 2016; Vargas and Paneque, 2019*)
- improved groundwater monitoring and strategic management (*Pulido-Velazquez et al., 2020*)
- economic instruments to manage water demand (prices policies, markets and subsidies)

### Technical options

- reduction of losses in water distribution networks for drinking water and irrigation (*Burak and Margat, 2016; Fader et al., 2016*)
- waste water reuse (*Kalavrouziotis et al., 2015; Barba-Suñol et al., 2018; 10 Cherfouh et al., 2018*).

### On the demand side

- changing diet and water consumption patterns (*Blas et al., 2016; Gul et al., 2017; Blas et al., 2018*)
- enhancing water use efficiency in the tourism and food sector (*Hadjikakou et al., 2013; Moresi, 2014*).

## ALLEVAMENTI

### adaptation options for heat wave-induced mortality of animals

- choice of more resistant genetic provenances (*Rojas-Downing et al., 2017*)



## AGRICOLTURA

### Agriculture sector

- improved efficiency of irrigation practices can be achieved by changing surface water irrigation for other techniques and shifting to more sustainable practices (*Mrabet et al., 2012; 16 Benhabib et al., 2014; Boari et al., 2015; Ćosić et al., 2015; Guilherme et al., 2015; Iglesias and Garrote, 17 2015; Cantore et al., 2016; Triberti et al., 2016; AbdAllah et al., 2018; Billen et al., 2018; Iglesias et al., 18 2018; Malek and Verburg, 2018; Vargas and Paneque, 2019*).
- save water resources by improved irrigation techniques (*Fader et al., 2016*).
- However, maladaptive drip irrigation subsidies and developments can also result in the unsustainable use of groundwater resources and excessive agriculture intensification, indicating the need for careful strategic planning, regulation and monitoring of these options (*Venot et al., 2017*)
- agroecological techniques that increase the water retention capacity of soils (mulching, zero tillage, reduced tillage etc.) (*Aguilera et al., 2013a; Aguilera et al., 27 2013b; Almagro et al., 2016; Sanz-Cobena et al., 2017; Tomaz et al., 2017; Bhakta et al., 2019; García28 Tejero et al., 2020*)
- promoting crop diversification, adapting the crop calendar, and the use of new varieties adapted to evolving conditions.
- Many of these strategies for more sustainable production are also intended to address the food security risks and import dependence. Other options are to manage nitrogen resources, food demand, change diets and reduce food waste (*Billen et al., 2018; Schils et al., 2018; 32 Billen et al., 2019; Garnier et al., 2019; Aguilera et al., 2020; Lassaletta et al., 2021*).



# Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production

COSTI - BENEFICI →

- selezione genetica
- stalle con aria condizionata

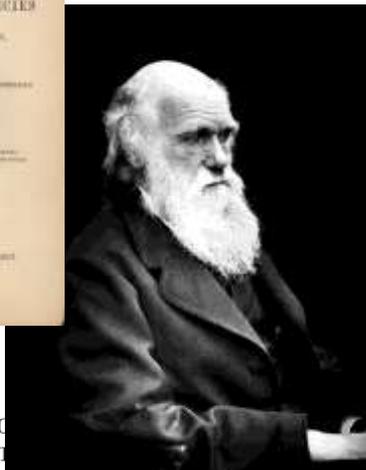
D. Renaudeau<sup>1</sup>, A. Collin<sup>2</sup>, S. Yahav<sup>3</sup>, V. de Basilio<sup>4</sup>, J.L. Gourdine<sup>1</sup>, R.J. Collier<sup>5</sup>

Major advances in environmental management including **improved housing and cooling systems and changes in feeding strategy** can attenuate the effect of thermal stress on performances. The efficiency of these solutions depends on many factors related to the animal (species, physiological stage and breed) and the livestock production system (confined systems v. Extensive systems). **Practically, the decision on the degree to modify animal environment depends on the cost of providing improved environment with the value of improved performance.**

- spostamento a quote più elevate / pascoli estivi ?

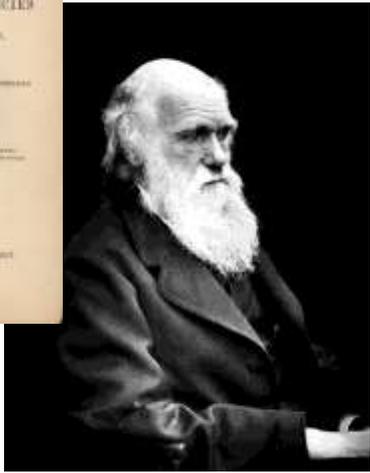


(forte siccità estiva incide sul foraggio)



*“Non è la più forte delle specie che sopravvive, né la più intelligente, ma quella più reattiva ai cambiamenti.”*  
 Charles Darwin





→ Piani di adattamento

La costruzione di un piano di adattamento

Visione e prospettiva back-forecast



- processo **iterativo**
- approccio **anticipatorio**
- efficace a **breve termine**, all'aumentare dell'entità del cambiamento le opzioni per un adattamento efficace diminuiscono e i costi associati aumentano
- opzioni profondamente **dipendenti da fattori specifici**, geografici, di esposizione della popolazione e dei beni, di resilienza socio-economica
- approccio **multidisciplinare** integrato, multiscala e multigovernance
- le misure inserite nei **processi decisionali e valutate** nell'efficacia
- l'applicazione dell'adattamento dipende fortemente dal **grado di accettazione del contesto esterno**

# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI

Scenari climatici globali

adattati al territorio piemontese

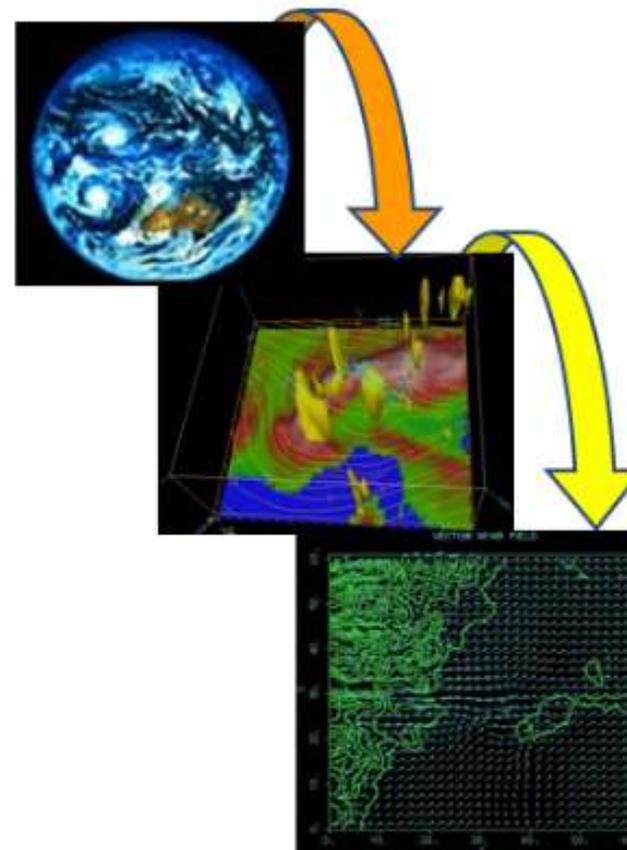
***LE ALPI SONO UN "HOTSPOT" DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO, ovvero zone in cui il trend di aumento di temperatura registrato nell'ultimo trentennio è stato superiore a quello globale***

## Modelli climatici GCM

### The simulation cascade

#### *Cascade Forecasts*

- **Global Models (GCM)**
  - Require initial conditions
  - Low horizontal and vertical resolution
- **Regional Climate Models (RCM)**
  - Require Boundary conditions (by GCM)
  - High resolution and nesting
- **Specific high resolution models**  
*Example: specific models for the reconstruction of a wind field on complex orographic areas*



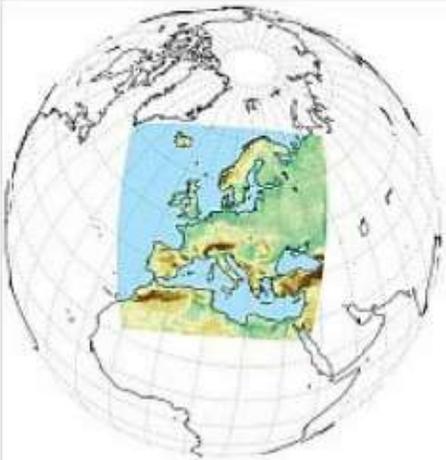
Fonte: E. Bucchignani

# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

## Metodologia

Modelli CMIP5 - EUROCORDEX  
Scenari emissivi RCP 4.5 - RCP 8.5

- Selezione di **10 modelli climatici regionali** ad alta risoluzione (0.11°~12 km) dal progetto **EUROCORDEX** (<https://www.euro-cordex.net/>)  
**EURO-CORDEX - Coordinated Downscaling Experiment - European Domain**



EURO-CORDEX is the European branch of the international CORDEX initiative, which is a program sponsored by the World Climate Research Program (WRC) to organize an internationally coordinated framework to produce improved regional climate change projections for all land regions world-wide. The CORDEX-results will serve as input for climate change impact and adaptation studies within the timeline of the Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and beyond.

**Modello climatico regionale** ad alta risoluzione (~8 km risol. orizz)  
**COSMO-CLM** [1,2] (<http://www.clm-community.eu/>)  
innestato su modello globale CMCC-CM, a sua volta forzato da  
> IPCC 20C3M protocol (periodo 1971-2005)  
➤ IPCC RCPs (periodo 2006-2100) (Non ci sono simulazioni forzate da Era-Interim)



COSMO-CLM modello utilizzato nel Piano Nazionale Adattamento ai CC (PNAC)

Rimozione bias (errori sistematici))

**10 +1=11 modelli >>> Ensemble**

[1] Rockel et al, Meteorol Z 2008  
[2] Buchignani et al, (2016)

# Proiezioni future Piemonte Rapporto climatico regionale

Il documento del rapporto sul clima regionale è disponibile online



[https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2020-07/analisi\\_clima\\_regionale\\_1981-2010.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2020-07/analisi_clima_regionale_1981-2010.pdf)

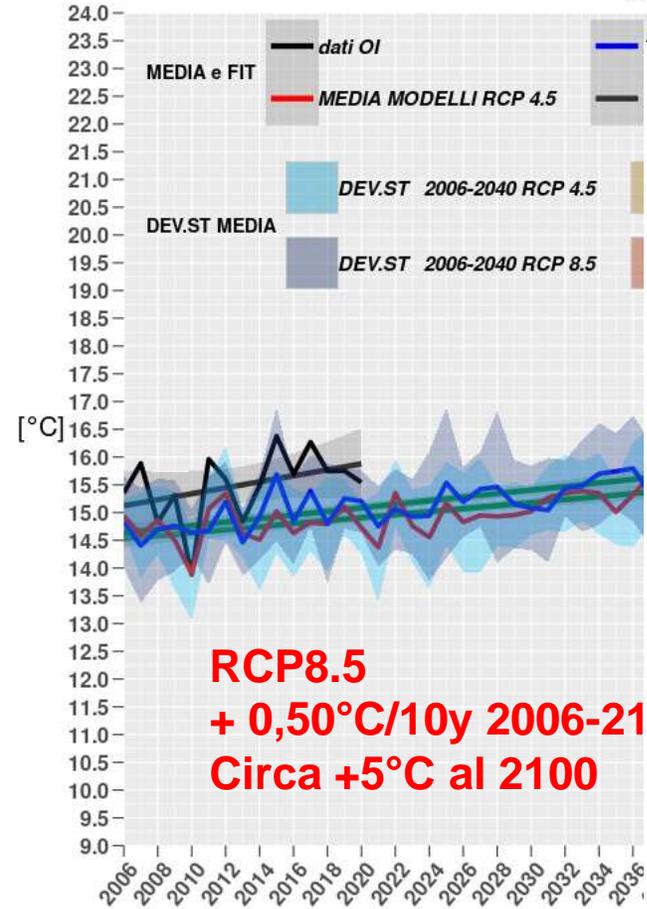
[https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2020-06/analisi\\_scenari\\_clima\\_regionale\\_periodo\\_2011-\\_2100.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2020-06/analisi_scenari_clima_regionale_periodo_2011-_2100.pdf)

# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

## Tendenze temperature e confronto con dati osservati

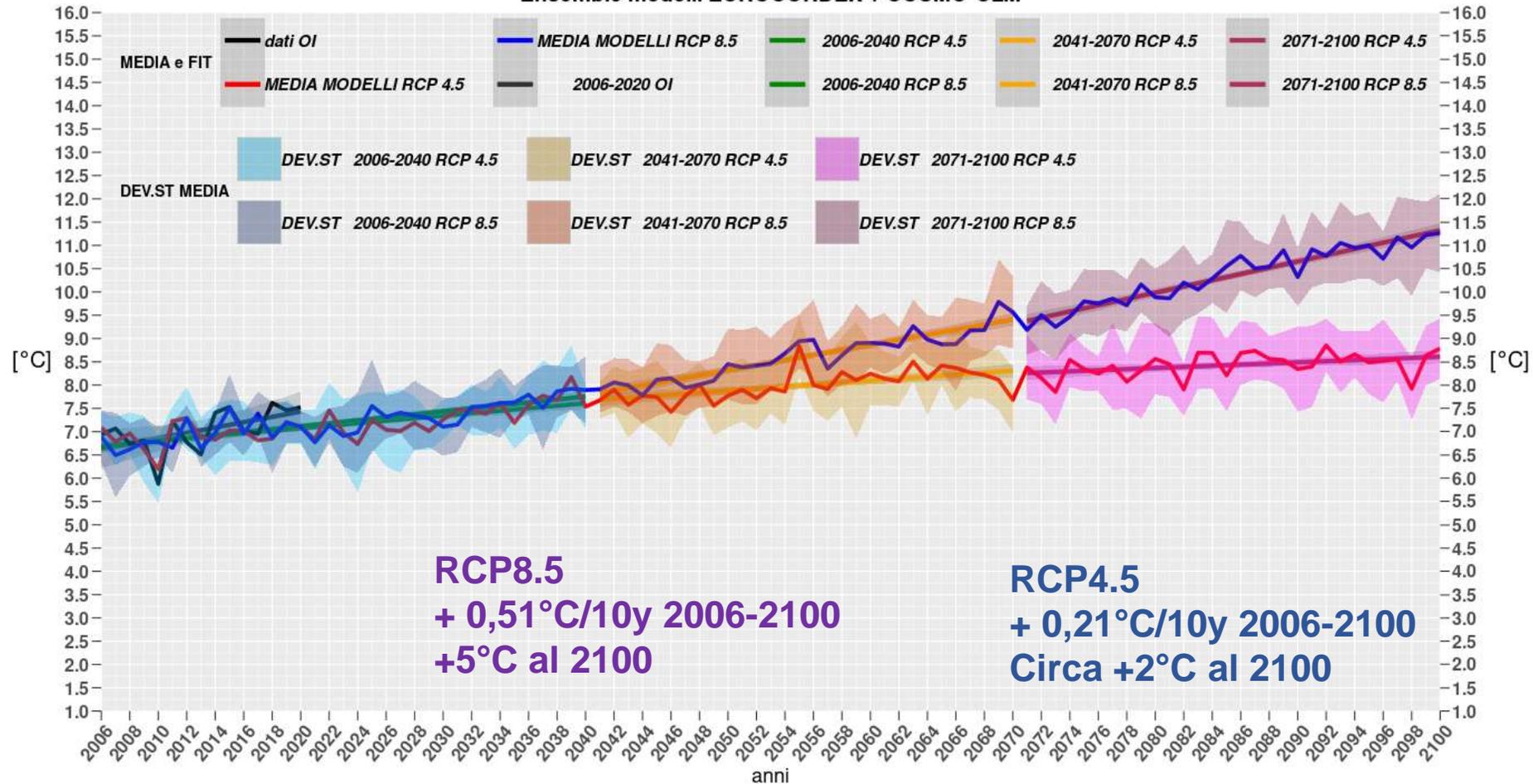
Temperatura massima Piemonte periodo 2006-2100

Ensemble modelli EUROCORDEX + COSMO-CLM



Temperatura minima Piemonte periodo 2006-2100

Ensemble modelli EUROCORDEX + COSMO-CLM



# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

Variazione temperatura media rispetto al periodo di riferimento (1976-2005)

aumento >0 in tutti i periodi, stagioni e scenari

incrementi maggiori su fascia montana e pedemontana alpina

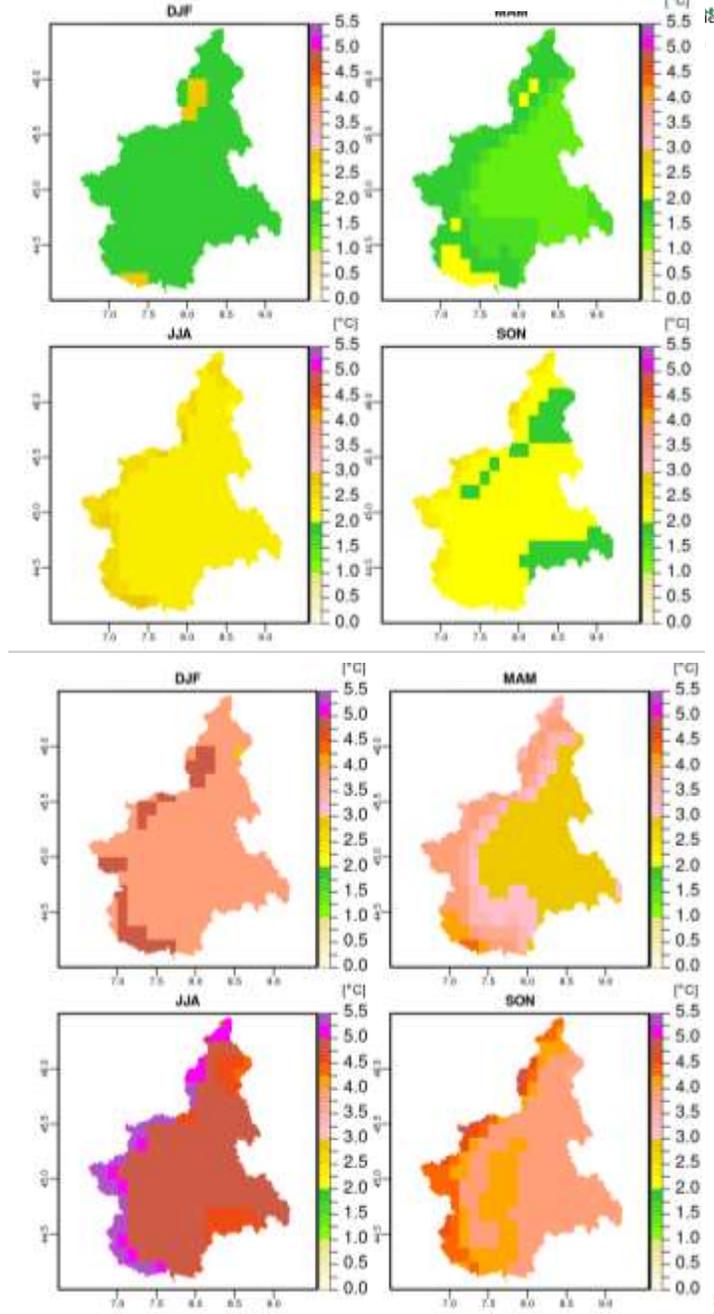
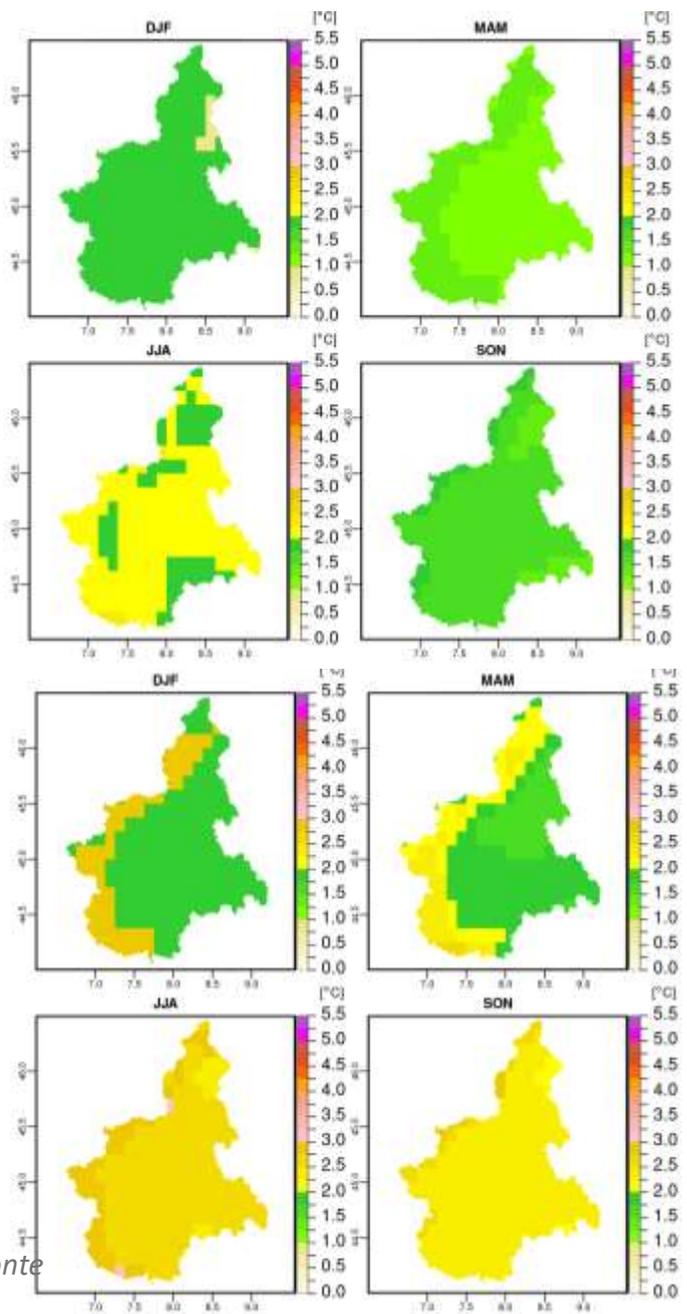
Tutti i pixel rappresentano variazioni statisticamente significative\*

## 2041-2070

## 2071-2100

scenario RCP4.5

scenario RCP8.5



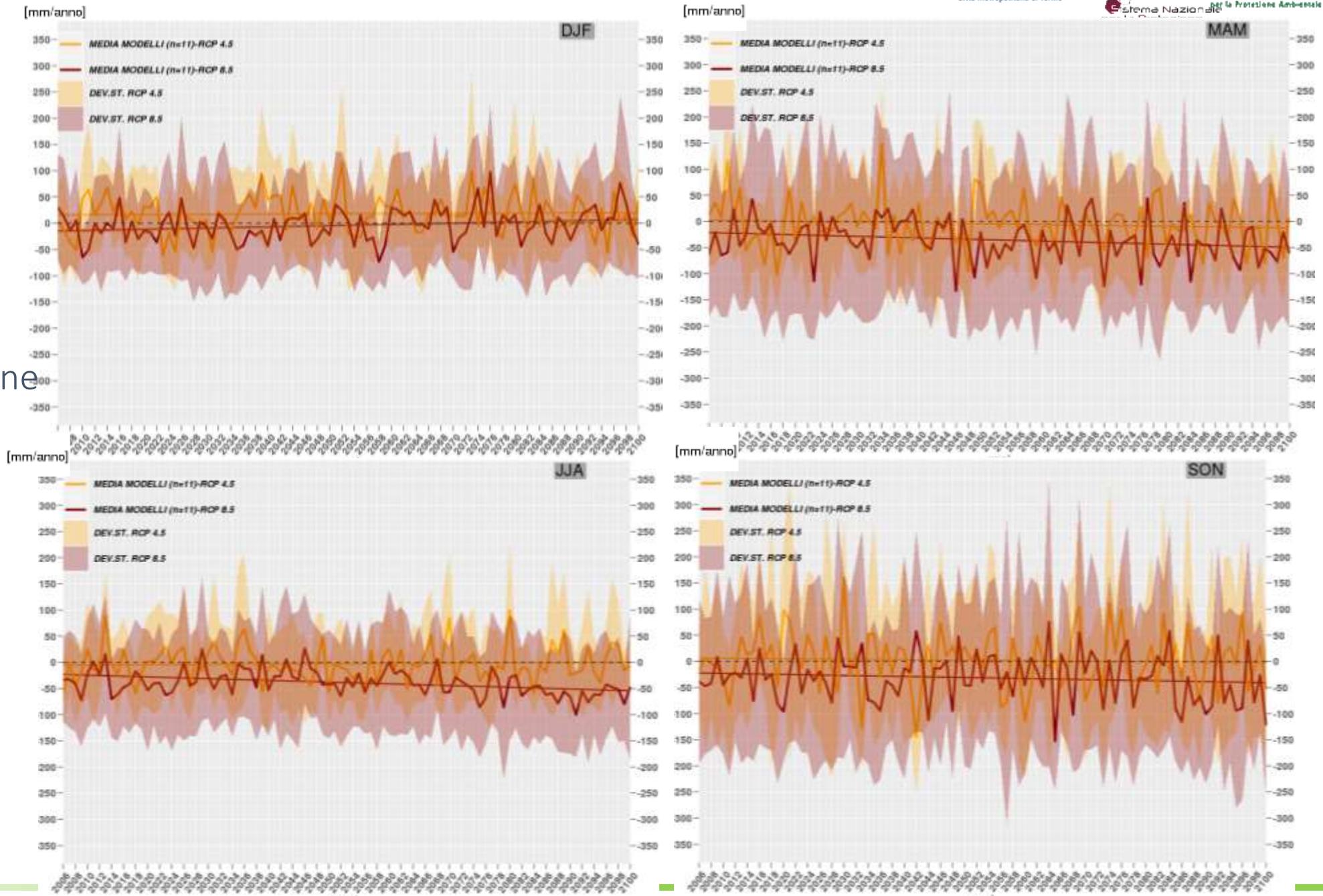
Fondazione Compagnia di San Paolo  
\*(0.95) (tecnica bootstrap)

Fonte Arpa Piemonte

# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

## PRECIPITAZIONE

Anomalia precipitazione cumulata media (rif. 1976-2005)



## PRECIPITAZIONE

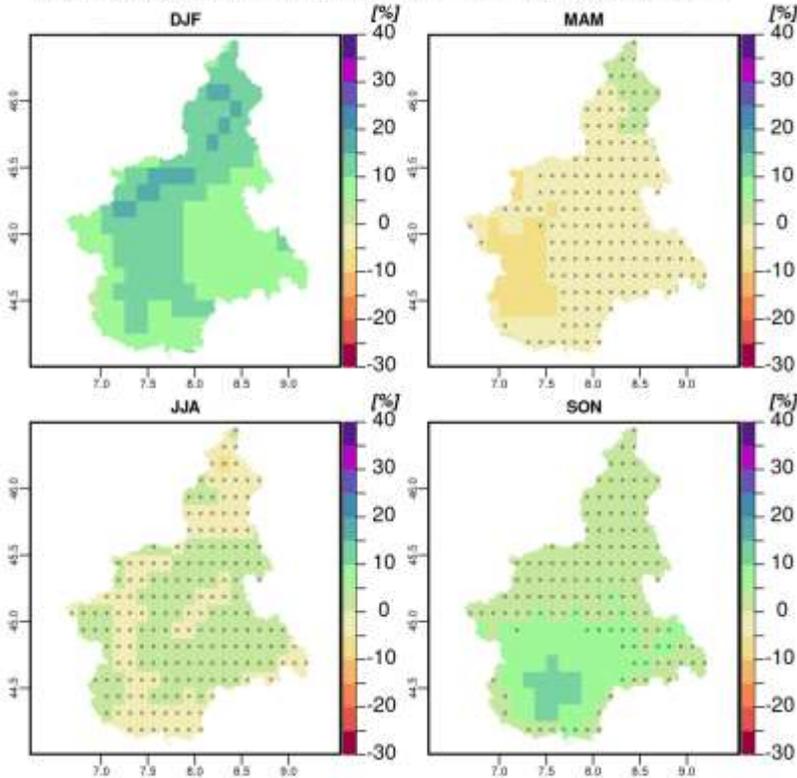
Variazione % precipitazione cumulata media (periodo rif. 1976-2005)

2011-2040

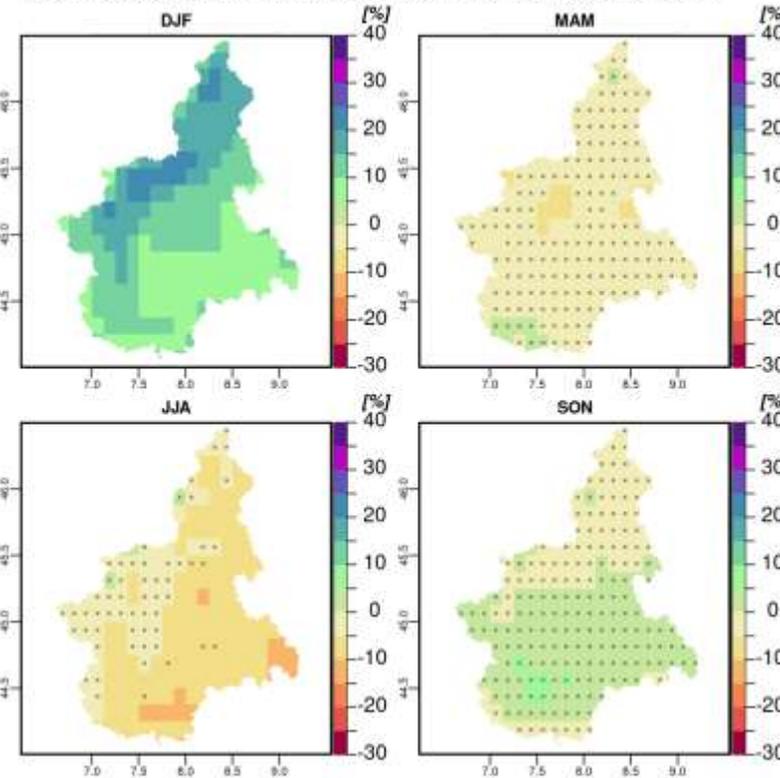
2041-2070

2071-2100

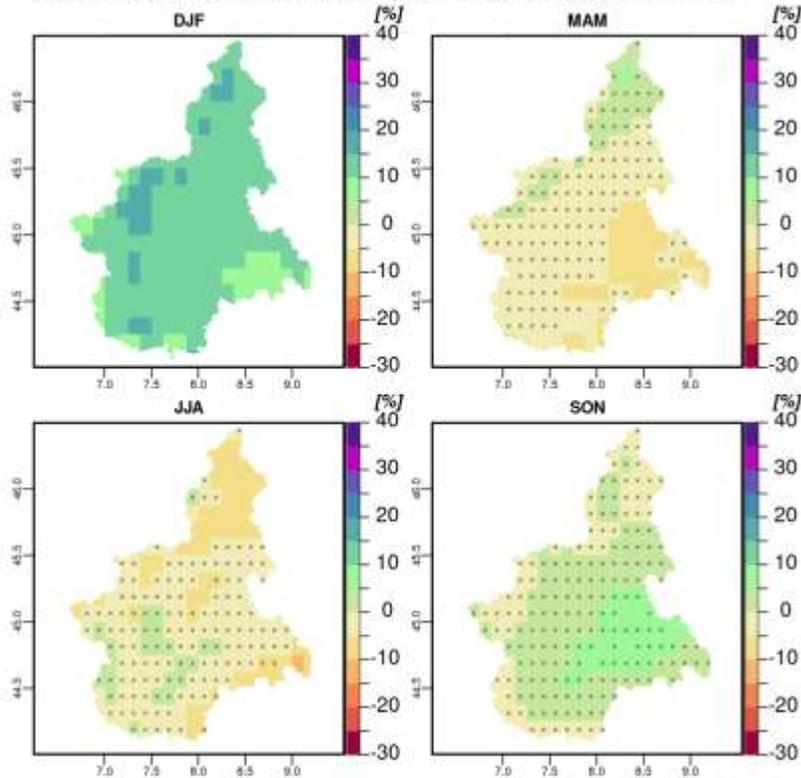
Variazione % precipitazione cumulata media : 2011-2040 VS 1976-2005 - RCP4.5



Variazione % precipitazione cumulata media : 2041-2070 VS 1976-2005 - RCP4.5



Variazione % precipitazione cumulata media : 2071-2100 VS 1976-2005 - RCP4.5



**Scenario RCP 4.5**

I pixel con asterisco grigio rappresentano variazioni non significative (0.95) (tecnica bootstrap)

Fonte: Arpa Piemonte

## PRECIPITAZIONE

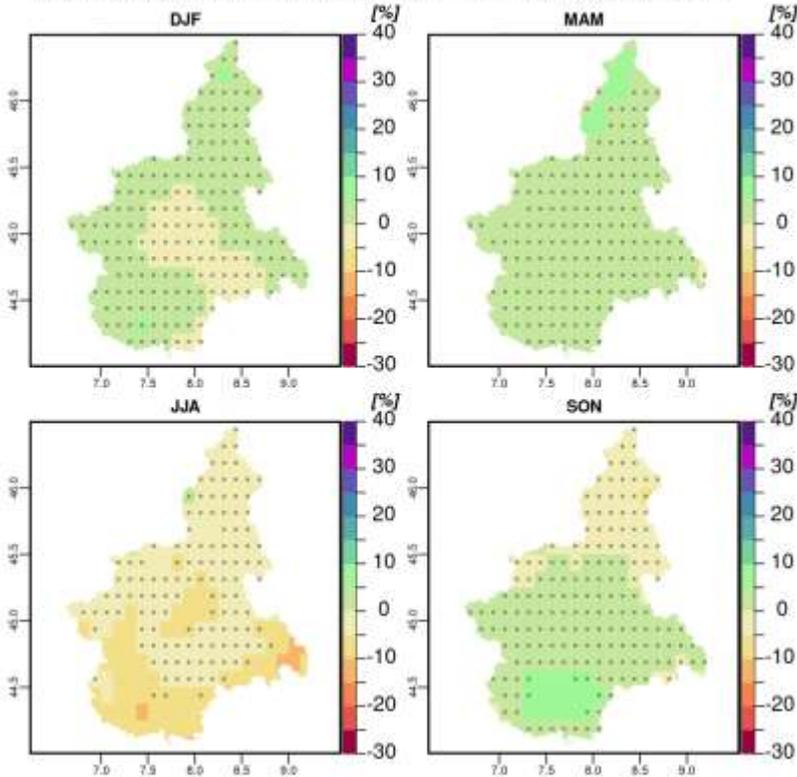
Variazione % precipitazione cumulata media (periodo rifer. 1976-2005)

2011-2040

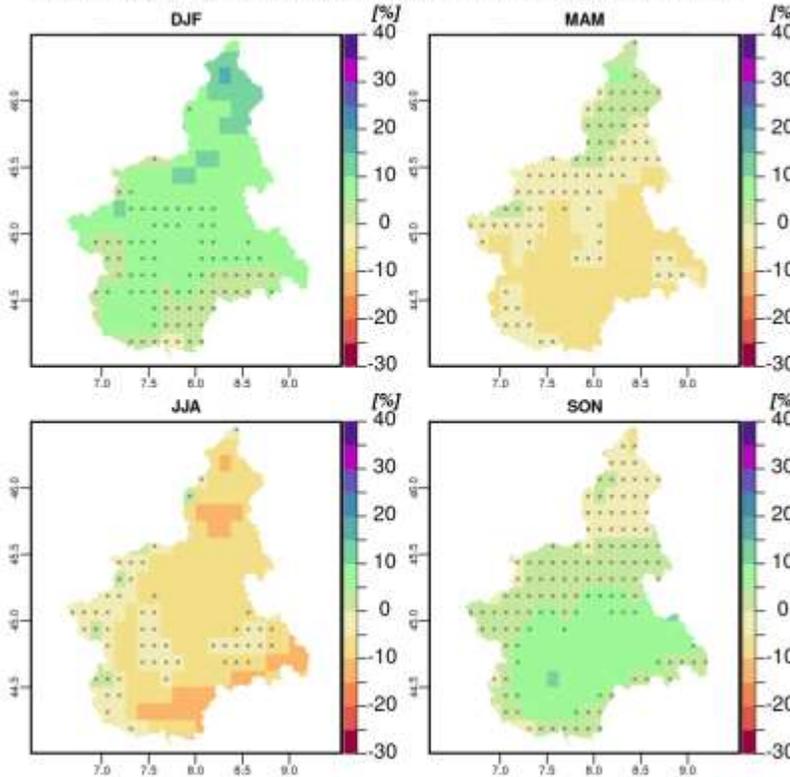
2041-2070

2071-2100

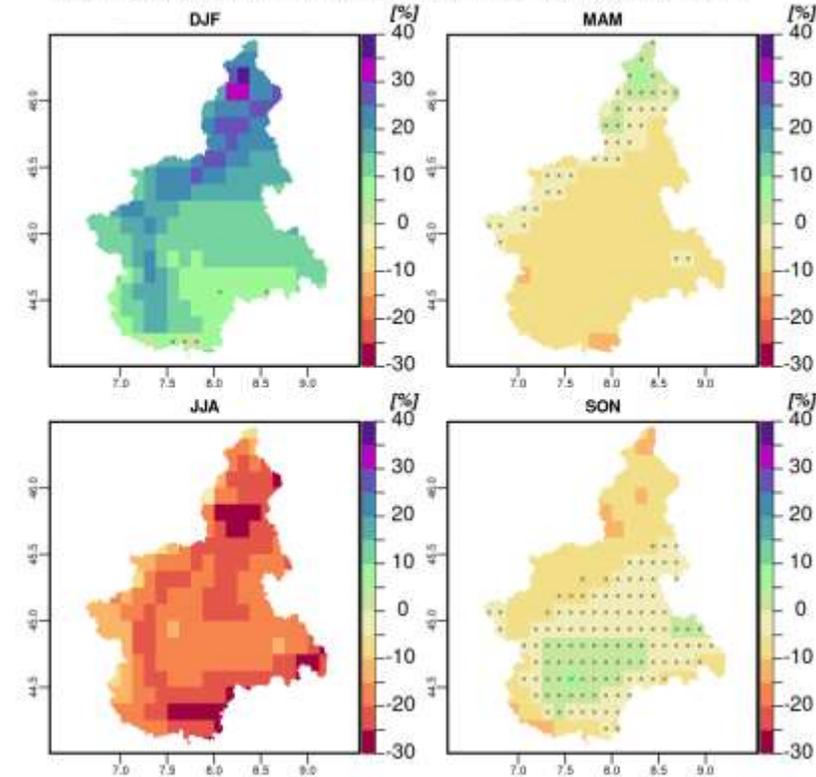
Variazione % precipitazione cumulata media : 2011-2040 VS 1976-2005 - RCP8.5



Variazione % precipitazione cumulata media : 2041-2070 VS 1976-2005 - RCP8.5



Variazione % precipitazione cumulata media : 2071-2100 VS 1976-2005 - RCP8.5



**Scenario RCP 8.5**

I pixel con asterisco grigio rappresentano variazioni non significative (0.95) (tecnica bootstrap)

Fonte: Arpa Piemonte

# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI

## Indicatori climatici

- Cosa sono?
- A cosa servono?

Oltre alla temperatura e alla precipitazione, per descrivere il clima di una regione sono necessarie anche altre grandezze che aiutino a spiegare in modo più ampio e completo le caratteristiche climatiche e gli impatti dei cambiamenti climatici.

Rappresentano uno strumento chiave nei piani di adattamento

Spesso sono messe in relazione con percezioni più dirette da parte dell'uomo

## Indicatori climatici

- OSSERVAZIONI (dati OI)
- PROIEZIONI FUTURE (Ensemble modelli climatici)

## SETTORI DI INTERESSE a livello regionale

- SALUTE
- RISORSE IDRICHE
- FORESTE
- AGRICOLTURA
- ENERGIA E TRASPORTI
- CLIMA

Riferimento nazionale: indicatori climatici ISPRA

Riferimento WMO: (ETCCDI climate indices)

[https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/rapporto\\_clima\\_2020-1.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/rapporto_clima_2020-1.pdf)  
<https://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>

Fondazione  
Compagnia  
di San Paolo

### Dataset OI

#### **TEMPERATURA** (minima, media, massima)

- N. giorni gelo
- Growing degree days
- Thermal growing season length
- Frost free season length
- Giorni/notti tropicali
- Warm spell duration index (WSDI)
- Frost free season length
- Fire weather index (FWI)
- Heating degree days HDD
- Cooling degree days CDD

1981-2010

Mappe valori medi ANN/STAG

1958-2019

- ✓ Mappe trend [regressione lineare] ANN/STAG
- ✓ Serie temporali [valori medi] ANN/STAG

#### **PRECIPITAZIONE**

- N. massimo annuale giorni secchi consecutivi
- Standardized precipitation index SPI
- Standardized precipitation evapotranspiration index SPEI
- Frazione neve/precipitazione totale
- Warm spell duration index (WSDI)
- N.giorni piovosi (>1,5,20,40,50 mm)
- Innevamento: n.giorni con  $T_{max} < 0$  °C dicembre-marzo, dicembre-aprile
- Innevamento: data inizio 6 gg consecutivi  $T_{media} > 1$  °C

## Indicatori climatici

*Ensemble 11 modelli:  
EUROCORDEX+COSMO-CLM*

2011-2040

Breve termine

2041-2070

Medio termine

2071-2100

Lungo termine

### TEMPERATURA (minima,media,massima)

- N. giorni gelo
- Growing degree days
- Thermal growing season length
- Frost free season length
- Giorni/notti tropicali
- Warm spell duration index (WSDI)
- Frost free season length
- Fire weather index (FWI)
- Heating degree days HDD
- Cooling degree days CDD

Mappe valor medio MEDIE/ANOMALIE\* ANN/STAG

Mappe trend (regressione lineare) ANOMALIE\* ANN/STAG

Serie temporali medie/anomalie ANN/STAG

*\*periodo rif. 1976-2005*

### PRECIPITAZIONE

- N. massimo annuale giorni secchi consecutivi
- Standardized precipitation index SPI
- Standardized precipitation evapotranspiration index SPEI
- Frazione neve/precipitazione totale
- Warm spell duration index (WSDI)
- N.giorni piovosi (>1,5,20,40,50 mm)
- Innevamento: n.giorni con Tmax<0 °C dicembre-marzo, dicembre-aprile
- Innevamento: data inizio 6 gg consecutivi Tmedia >1 °C

## Impatti attesi

- 
- aumento degli **eventi connessi agli estremi climatici** (ondate di caldo con associati episodi acuti di inquinamento da ozono, precipitazioni intense)
  - aumento della **variabilità meteorologica** (eventi fuori stagione....)
  - aumento lunghezza e frequenza dei periodi di **siccità**
  - diminuzione dello spessore e della durata della **copertura nevosa**
  - modifiche nel **ciclo idrologico** con un aumento dell'esposizione alle piene primaverili e alterazioni della disponibilità idrica
  - degradazione dello stato superficiale del **permafrost**
  - aumento dei fenomeni di **instabilità di versante** e delle **piene improvvise**
  - aumento del potenziale di **incendi boschivi**
  - effetti sulla **salute** (diffusione piante allergeniche e aumento del periodo allergenico, incremento malattie da vettori climate-dependent)
  - impatti sugli **ecosistemi**



+/- probabili  
+/- diffusi  
+/- estesi  
+/- intensi  
iniquamente distribuiti  
sinergici fra loro  
sinergici con altri fattori

*Nuovi scenari di rischio ...*

# PROIEZIONI FUTURE PIEMONTE - SPEI

## STANDARDIZED PRECIPITATION EVAPOTRANSPIRATION INDEX - SPEI

Standardized Precipitation Index [SPI] [1]

- Indicatore tra i più diffusi per monitorare la siccità a diverse scale temporali.
- Fornisce una anomalia standardizzata di precipitazione (aggregata su diverse scale temporali) rispetto ad un periodo temporale di riferimento.
- Fornisce il numero di deviazioni standard da cui si discosta una serie temporale di precipitazione rispetto ad una media climatologica (riportata a media nulla e deviazione standard pari a 1), aggregando i dati su diverse scale temporali (da 3 mesi per analisi di variabilità stagionale fino a 24-48 mesi per variabilità interannuale).

I valori dell'indice sono suddivisi in classi:

■	≥ 2.00	piovosità estrema
■	1.50 – 1.99	piovosità severa
■	1.00 – 1.49	piovosità moderata
■	- 0.99 – 0.99	piovosità normale
■	- 1.49 – - 1.00	siccità moderata
■	- 1.99 – - 1.50	siccità severa
■	≤ - 2.00	siccità estrema

# PROIEZIONI FUTURE PIEMONTE - SPEI

## STANDARDIZED PRECIPITATION EVAPOTRANSPIRATION INDEX - SPEI

Standardized Precipitation Evapotranspiration Index [SPEI] [2]

- Nasce come estensione di SPI.
- Si considera l'evapotraspirazione potenziale di riferimento (ET0) come secondo elemento del bilancio idroclimatico.
- Contempla anche l'effetto della componente evapotraspirativa nel monitoraggio degli eventi siccitosi.

I valori dell'indice sono suddivisi in classi:

■	≥ 2.00	piovosità estrema
■	1.50 – 1.99	piovosità severa
■	1.00 – 1.49	piovosità moderata
■	- 0.99 – 0.99	piovosità normale
■	- 1.49 – - 1.00	siccità moderata
■	- 1.99 – - 1.50	siccità severa
■	≤ - 2.00	siccità estrema

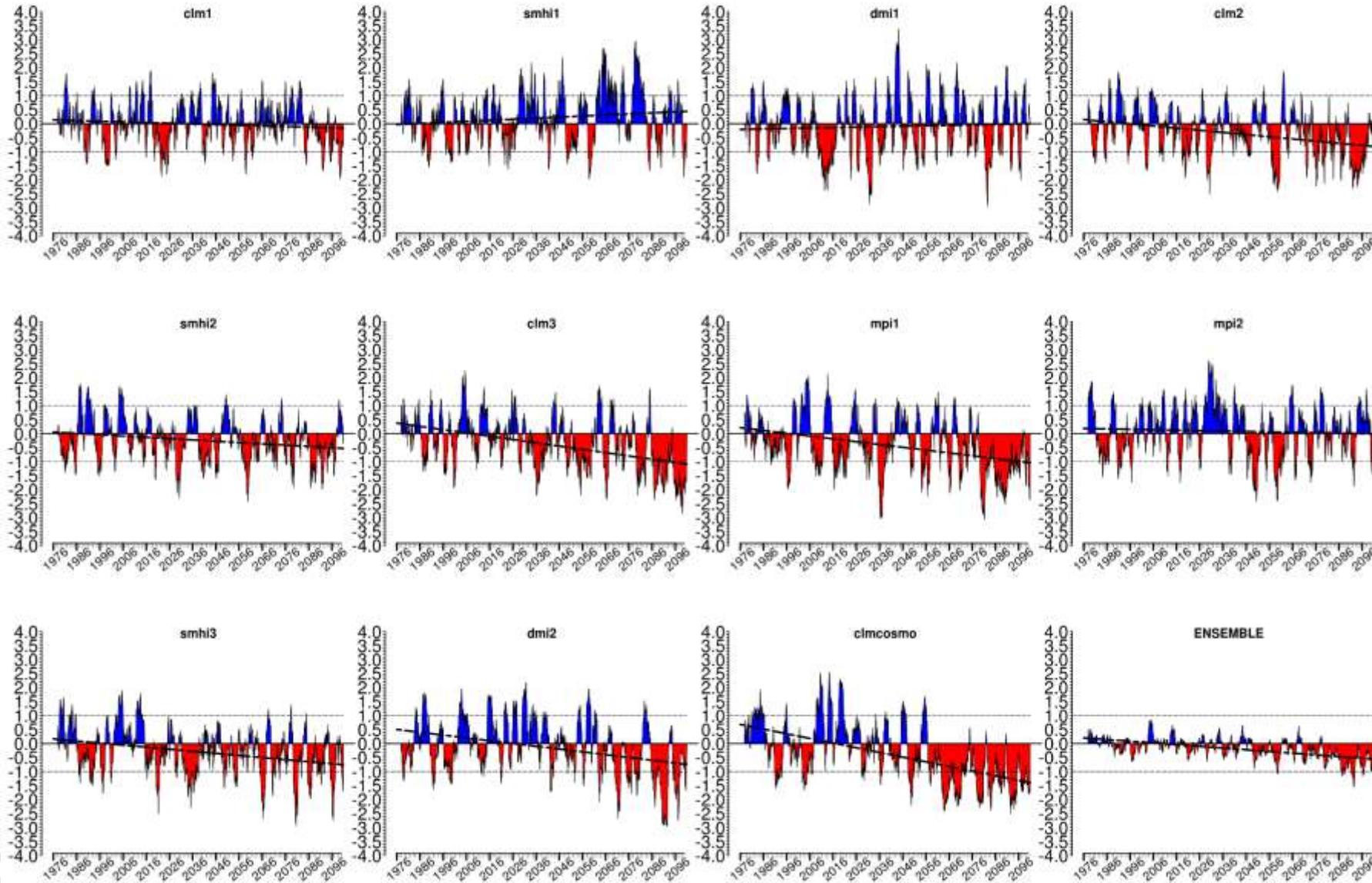
# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

## SPEI

### SPEI 24 mesi 1976-2100 (rif. 1976-2005) - valori mensili mediati sul Piemonte Modelli EUROCORDEX + COSMO-CLM - SCENARIO RCP 8.5

## 24 MESI

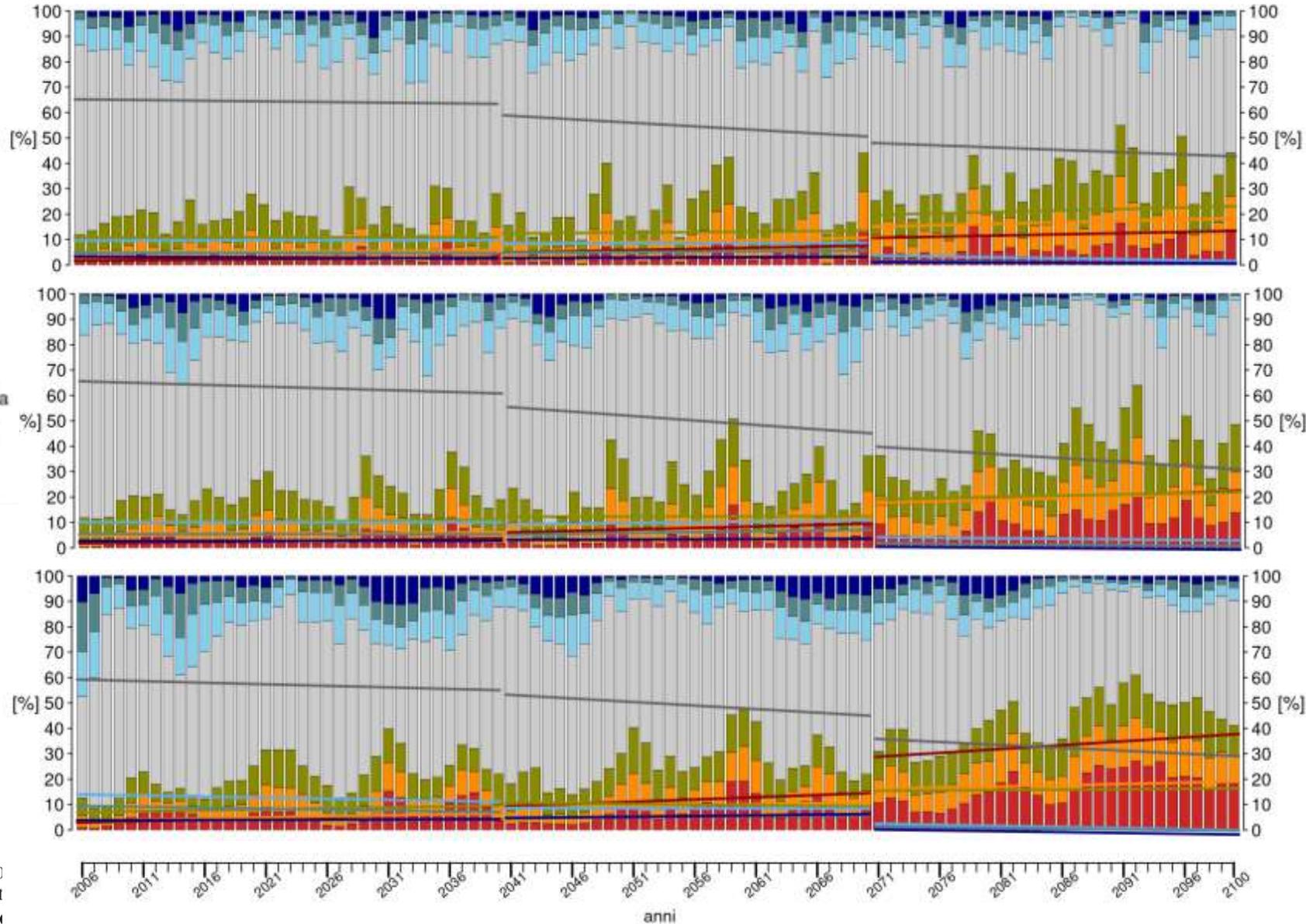
24 mesi accumulati  
e scarichi nei  
bacini idrici nel  
corso medio dei  
fiumi



# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

**SPEI** Percentuale annuale territorio Piemonte valori classi SPEI periodo rif.1976-2005

*scenario RCP 8.5*



**12 mesi**  
 contenuto idrico  
 suolo /scarico  
 fiumi zone di  
 sorgente

**24 mesi**  
 accumuli e  
 scarichi nei  
 bacini idrici nel  
 corso medio dei  
 fiumi

**48 mesi**  
 variazioni  
 stoccaggio  
 a.sotterranee



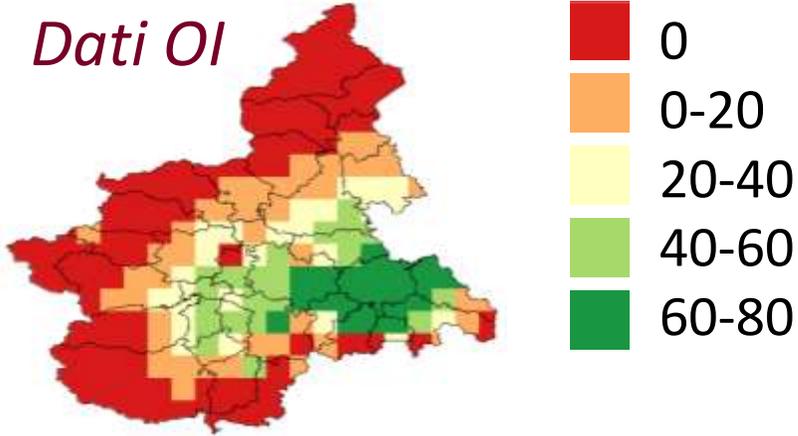
# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

## WARM COMPOSITE INDEX (COMPI) – INDICE VOCAZIONALITÀ VITIVINICOLA % ANNATE OTTIMALI – ensemble EUROCORDEX

- forte riduzione % di annate ottimali
- forte diminuzione delle aree a vocazionalità vitivinicola

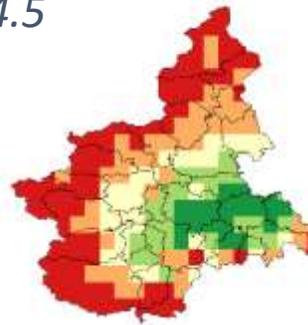
1981-2010

*Dati OI*

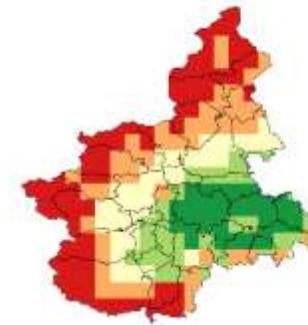


2011-2040

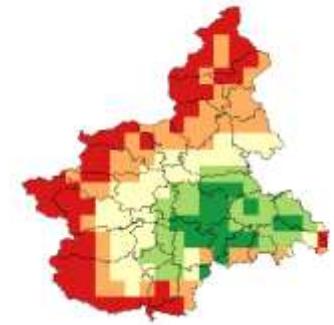
RCP4.5



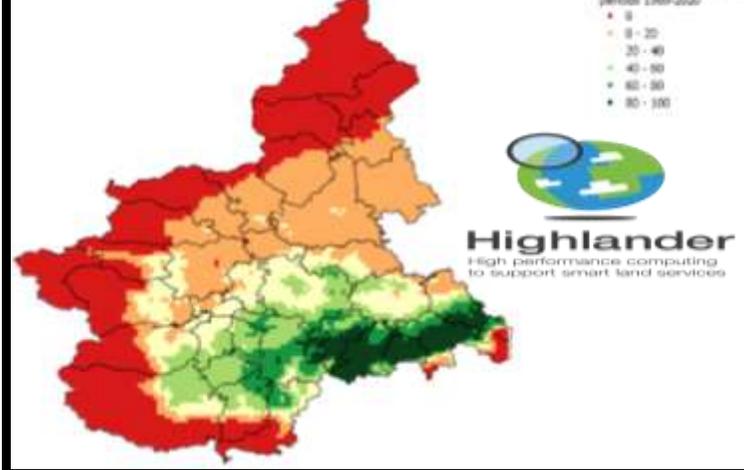
2041-2070



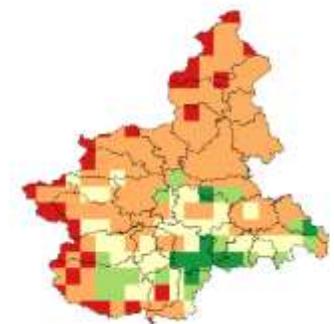
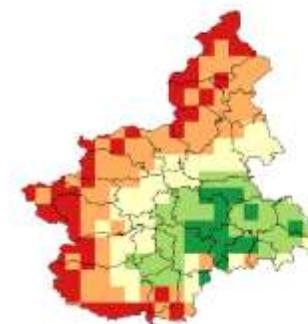
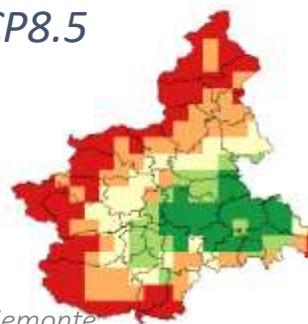
2071-2100



*Dati COSMO-CLM*



RCP8.5



Fonte: Arpa Piemonte

# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

Numero giorni di gelo – giorni in cui la temperatura minima rimane  $<0^{\circ}\text{C}$

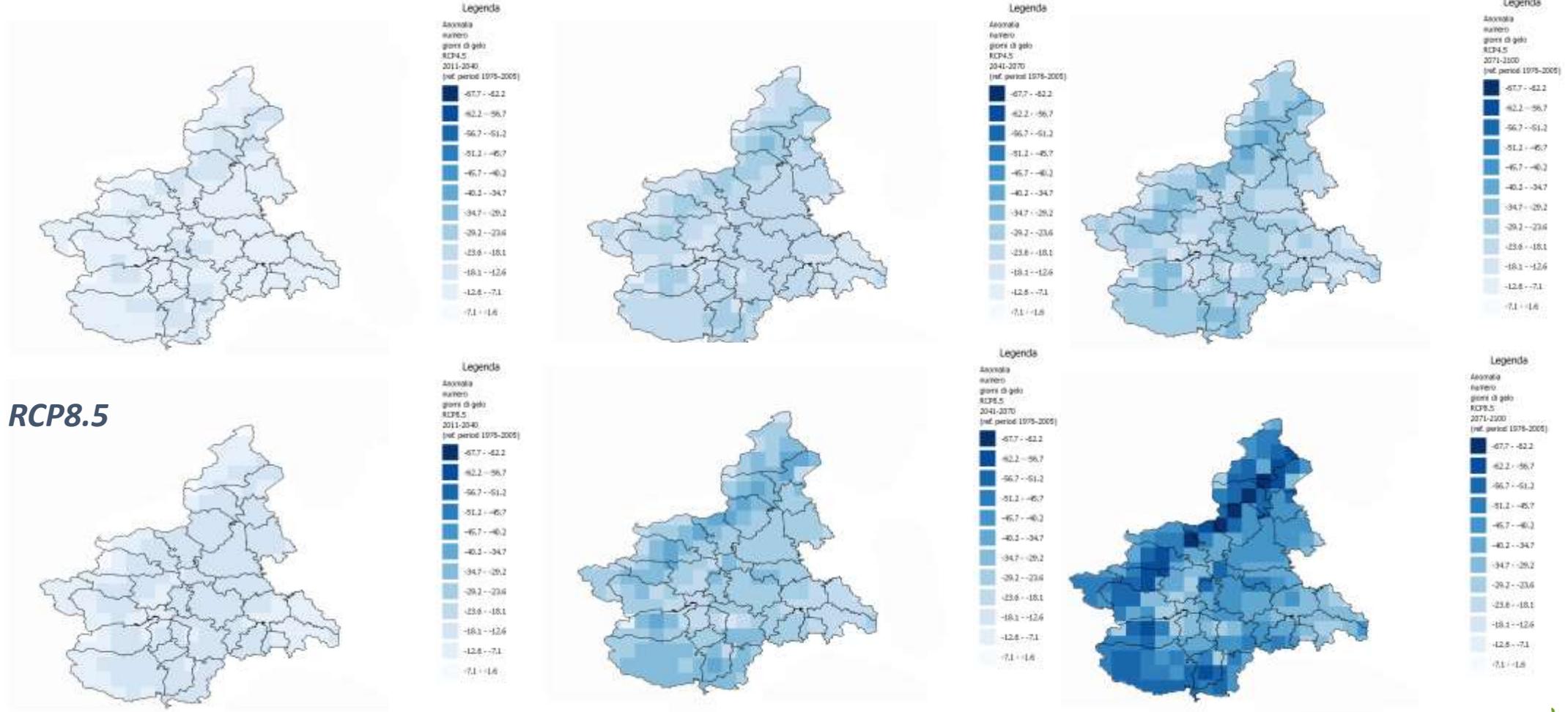
2011-2040

2041-2070

2071-2100

RCP4.5

RCP8.5



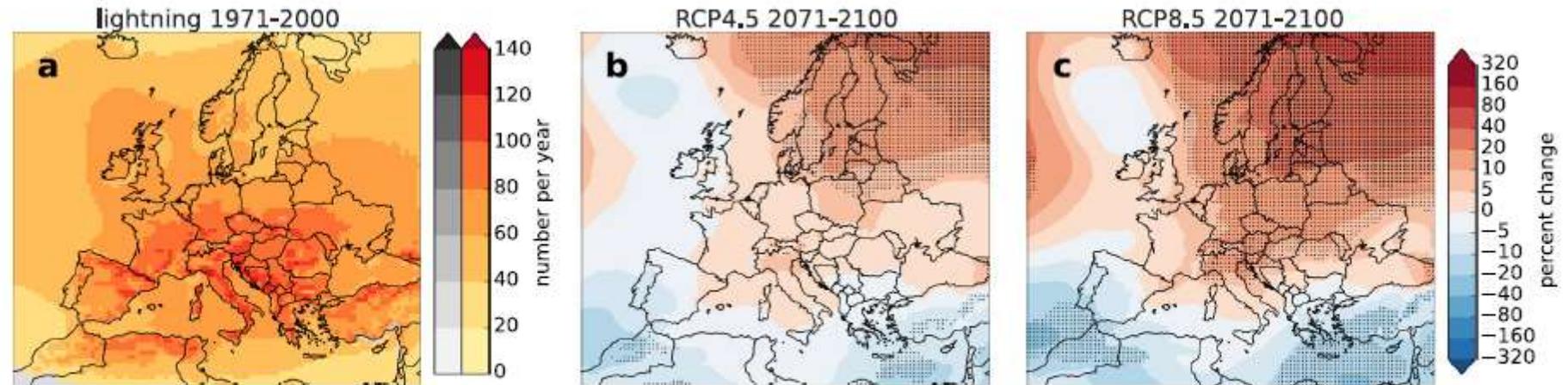
anomalia sempre negativa marcata diminuzione, in tutti i periodi e con tutti gli scenari

## Temporali intensi

### Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21st century due to rising instability

[Anja T. Rädler](#) , [Pieter H. Groenemeijer](#) , [Eberhard Faust](#), [Robert Sausen](#) & [Tomáš Púčik](#)

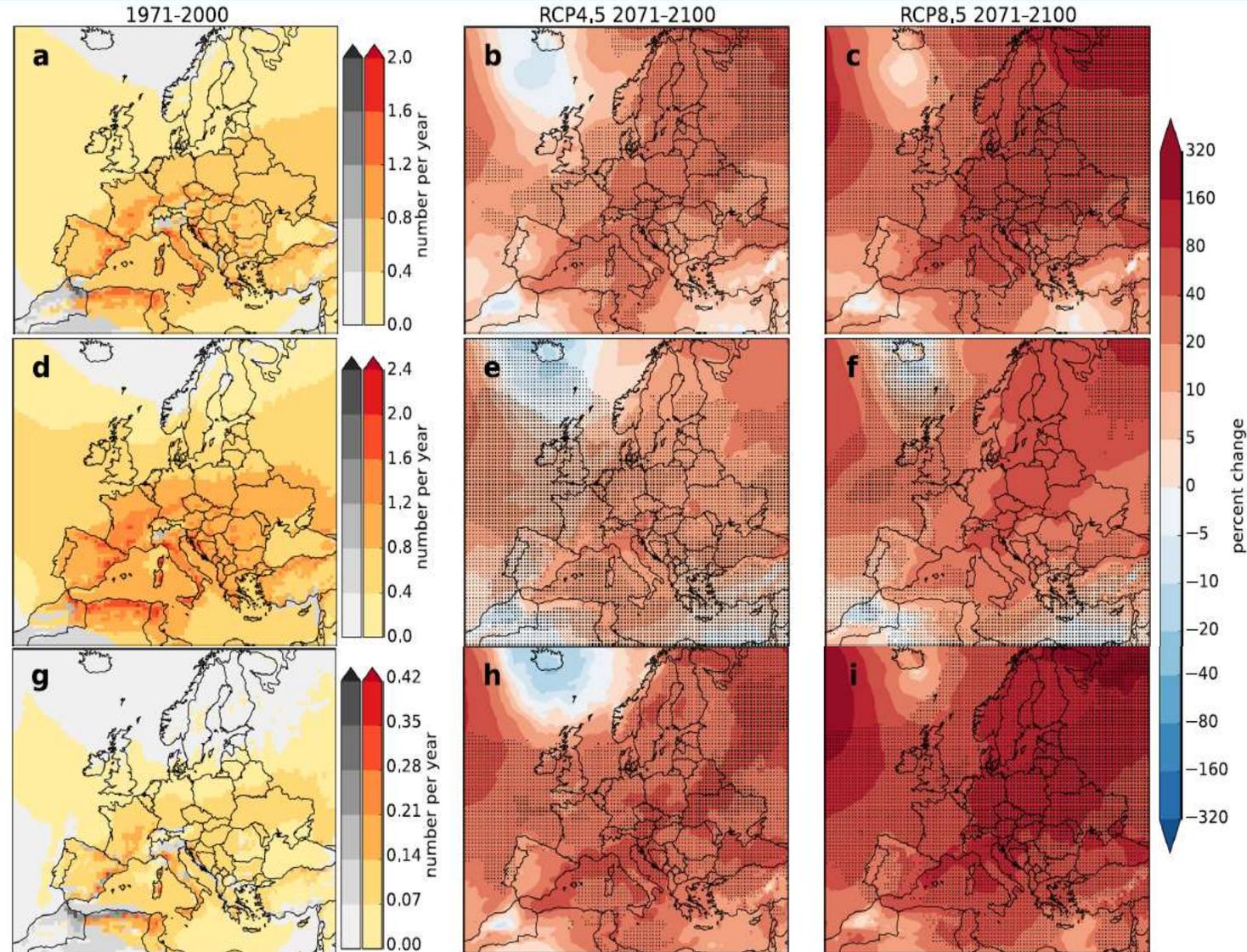
[npj Climate and Atmospheric Science](#) 2. Article number: 30 (2019) | [Cite this article](#)



**Fig. 1** Simulated annual 6-hourly periods with lightning in **a** the historical period (1971–2000) and percentage of change at the end of the century (2071–2100) in the **b** RCP4.5 and **c** RCP8.5 scenarios. Trends in **b**, **c** are called (very) robust where the change is larger than (twice) the initial standard deviation of the model ensemble. (Very) robust changes are indicated by (large) black dots. Areas where models already diverge greatly for the historical period are displayed in gray (see the “Methods” section for details)

# STIMARE I CAMBIAMENTI FUTURI - PIEMONTE

## Temporali intensi



2 As in Fig. 1, but for **a-c** hail  $\geq 2$  cm, **d-f** wind gusts  $\geq 25$  m/s, and **g-i** hail  $\geq 5$  cm

## Temporali intensi

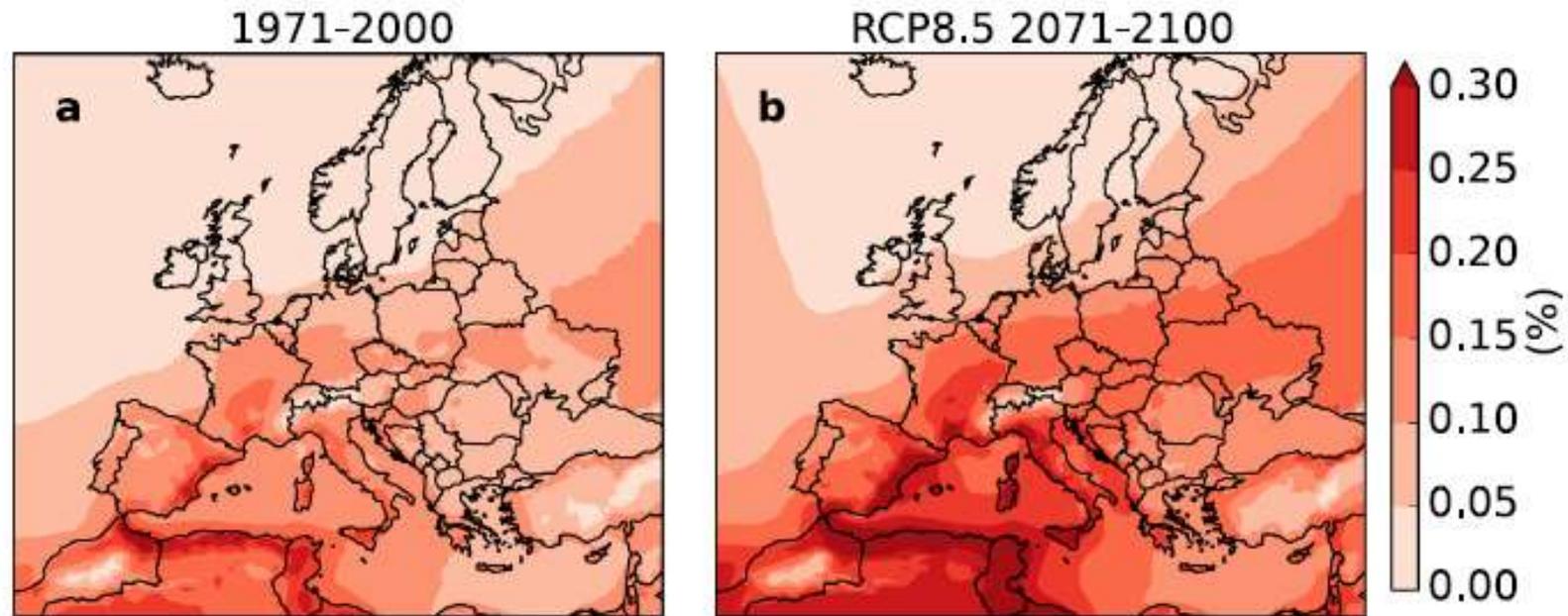


Fig. 3 Percentage of lightning cases with hail  $\geq 5$  cm for a 1971-2000 and b RCP8.5 2071-2100

## Eventi estremi

Per valutare indicatori più strettamente legati ad eventi estremi

precipitazioni intense  
eventi convettivi  
indici di instabilità  
ondate di calore

>>> modelli climatici ad altissima risoluzione  
«convection permitting models»  
processi fisici della convezione NON parametrizzati,  
ma risolti esplicitamente

Simulazioni già in fase di elaborazione:  
Modello COSMO-CLM (CMCC)  
(Mini ?) Ensemble >>> incertezza associata alle stime fornite dalle simulazioni

modello ad altissima risoluzione COSMO-CLM5.0 (0.02°) [1,2] forzato da ERA5

- ERA5 dynamically downscaled at the convection permitting scale (0.02°, ~ 2.2 km) over Italy
- 1989 – 2020/RCP 8.5 2021-2050
- Downscaling performed with the regional climate model COSMO-CLM [1] switching on the module **TERRA-URB** [2] for accounting the urban parameterizations.

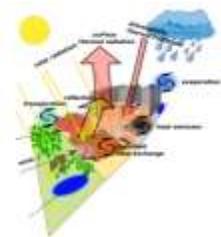


Figure 1: The urban-atmosphere interactions modelled by TERRA

[1] Rockel et al., A. The regional climate model COSMO-CLM (CCLM). Meteorol Z 2008, 17, 347–348, doi: 10.1127/0941-2948/2008/0309

[2] Wouters et al., N.P.M. The efficient urban canopy dependency parametrization (SURY) v1.0 for atmospheric modelling: description and application with the COSMO-CLM model for a Belsun summer. Geoscientific Modelling 2016, 9

[2] User guide for TERRA-URB v2.2: The urban-canopy land-surface scheme of the COSMO model

# Scenari climatici

Modellistica CLIMATICA

## EFFETTI CAMBIAMENTO CLIMATICO

ALTERAZIONE CONVEZIONE

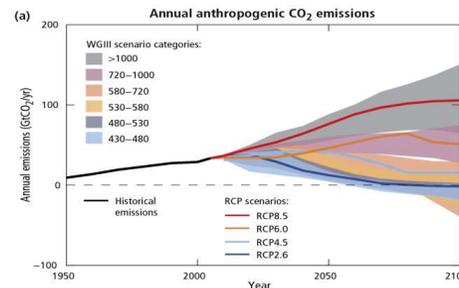
MODIFICA CONDIZIONI A GRANDE SCALA (circolazione atmosferica)

meno favorevole

## VARIAZIONI TEMPI DI RITORNO DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME

NECESSITA' DI SIMULAZIONI CLIMATICHE AD ALTISSIMA RISOLUZIONE (1-5 km)

per descrivere in modo esplicito la CONVEZIONE, processo fisico che causa una grande varietà di gravi impatti come inondazioni, flash floods e temporali intensi - con associate fenomeni di grandine, fulminazioni, raffiche di vento.



**RCP 8.5** - (emissioni elevate) entro il 2100, le concentrazioni di CO<sub>2</sub> sono triplicate o quadruplicate rispetto ai livelli preindustriali

**RCP4.5** (stabilizzazione medio-basso) entro il 2070 le emissioni di CO<sub>2</sub> scendono al di sotto dei livelli attuali e la concentrazione atmosferica si stabilizza entro la fine del secolo a circa il doppio dei livelli pre-industriali.

precipitazioni intense ancora più intense

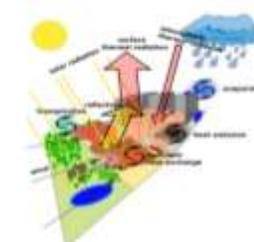
sviluppo dei processi legati alla convezione più o

### modello COSMO-CLM5.0 (0.02°) 2.2km convection permitting model

Rockel et al, 2008; Wouters et al,;



**Highlander**  
High performance computing  
to support smart land services



2

<https://highlanderproject.eu/>

Figure 1: The urban-atmosphere interaction model by TEB

Europe + Mediterranean: Convective phenomena at high resolution over Europe and the Mediterranean

11 convection permitting models



<https://www.hymex.org/cordexfps-convection/wiki/doku.php>



Fondazione  
Compagnia  
di San Paolo

# Portale climatico ARPA

## PORTALE SUL CLIMA IN PIEMONTE

Gli andamenti climatici del passato, gli scenari futuri, gli indicatori

Home | Introduzione | Infografiche | Metodologia | Come consultare le mappe | **Consulta mappe** | Inventario emissioni climalteranti IREA

### PORTALE SUL CLIMA IN PIEMONTE

Gli andamenti climatici del passato, gli scenari futuri, gli indicatori

Home | Introduzione | Infografiche | Metodologia | Come consultare le mappe | **Consulta mappe** | Inventario emissioni climalteranti IREA

Scenari futuri | Agricoltura | RCP4.5 - Anomalia massimo numero di giorni consecutivi senza pioggia (2041-2070) | Strambino



Anomalia media del numero dei giorni consecutivi in cui non è prevista precipitazione, calcolato su base annuale, sull'intero periodo 2041-2070

Punto ricadente nel territorio comunale di Strambino (001269)



Periodo	Anomalia media [giorni]
2011 - 2040	-1.1
2041 - 2070	-0.2
2071 - 2100	0.3

Visualizza tutti gli indicatori per il comune selezionato



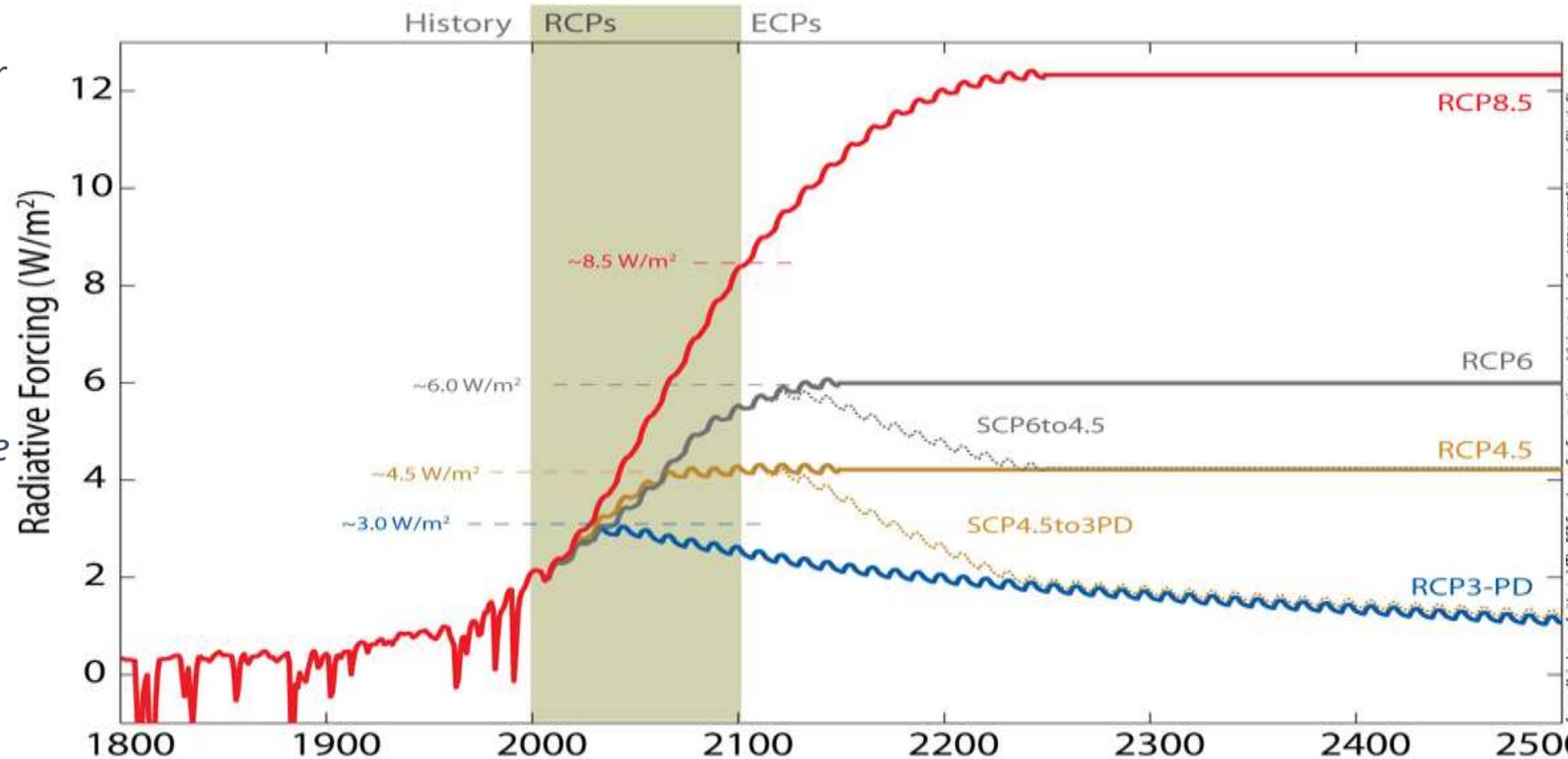
## Scenari climatici **RCP** - Representative Concentration Pathways

• *Representative Concentration Pathway (RCP) : traiettoria (pathway) della concentrazione di gas serra adottata dall' IPCC nel V Assessment Report (AR5). Sostituisce le proiezioni Special Report on Emissions Scenarios (SRES) pubblicate nel 2000*

• *Selezione di quattro pathways (RCPs) per climate modeling e ricerca*

• *Descrizione di possibili differenti tipi di clima futuro considerati tutti possibili, a seconda della quantità di gas serra emessa negli anni a venire*

• *RCP2.6, RCP4.5, RCP6 e RCP8.5 denominati così in funzione di un possibile range di valori del **forcing radiativo** nell'anno 2100 rispetto all'era pre-industriale (+2.6, +4.5, +6.0, +8.5 W/m<sup>2</sup>)*



Fonte AR5, IPCC

# Scenari futuri

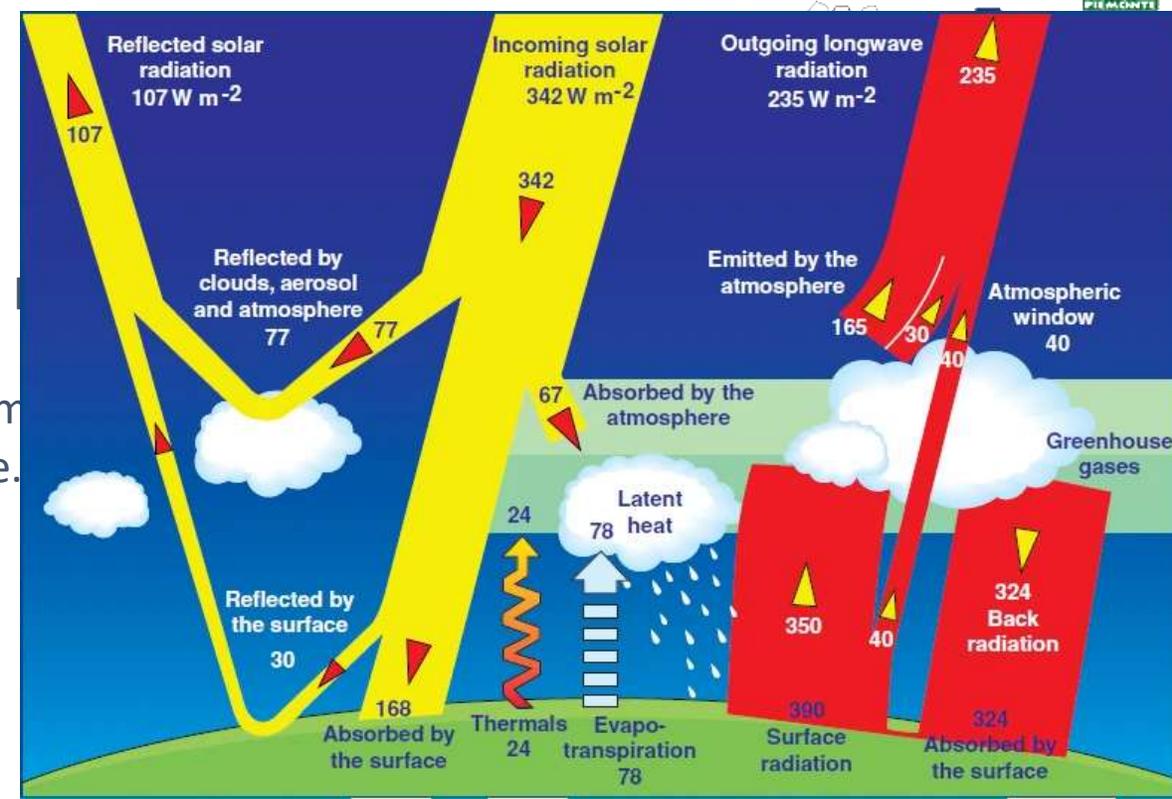
## Radiative forcing



Si definisce forcing radiativo la differenza netta, espressa in  $W/m^2$ , tra radiazione entrante ed uscente all'altezza della tropopausa dovuta a modifiche di forzanti esterne del cambiamento climatico quali ad esempio un cambiamento della concentrazione di  $CO_2$  o della radiazione solare.

Nel contesto del cambiamento climatico, una definizione più specifica di forcing radiativo è la misura in cui un fattore altera l'equilibrio energetico nella troposfera.

Secondo l'IPCC, utilizzando l'anno 1750 come rappresentativo della data di riferimento del periodo pre-industriale, il valore di forzante radiativo complessivo si stima essere  $1.6 W/m^2$  a partire dal 2007.



Kiehl, Trenberth, 1997, "Earth's Annual Global Mean Energy Budget"

**Un forzante positivo è associato ad un riscaldamento della superficie terrestre, un forzante negativo è associato ad un raffreddamento.**

**Quattro nuovi scenari RCP identificati dal loro forzante radiativo totale nel 2100 rispetto al 1750**

Fonte: AR5, IPCC

RCP2.6 (scenario di forte mitigazione - il RF raggiunge un picco e poi cala)

$RF = +2.6 W/m^2$

RCP4.5 (scenario di stabilizzazione di emissioni di gas serra)

$RF = +4.5 W/m^2$

RCP6.0 (scenario di stabilizzazione di emissioni di gas serra)

$RF = +6.0 W/m^2$

RCP8.5 (scenario con emissioni alte)

$RF = +8.5 W/m^2$