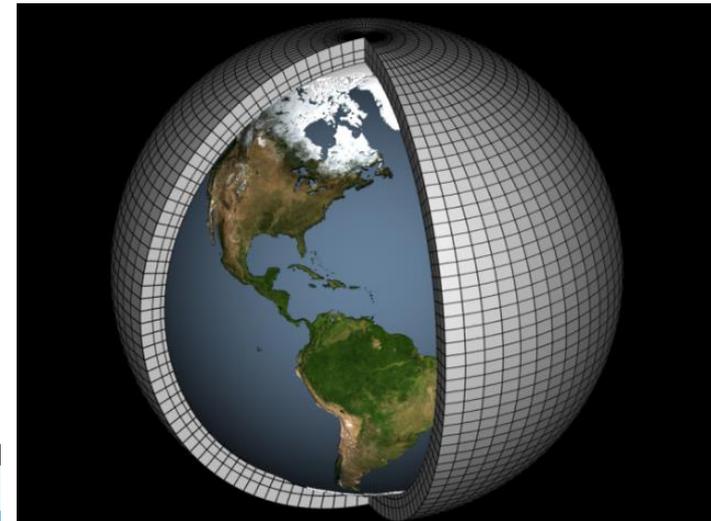
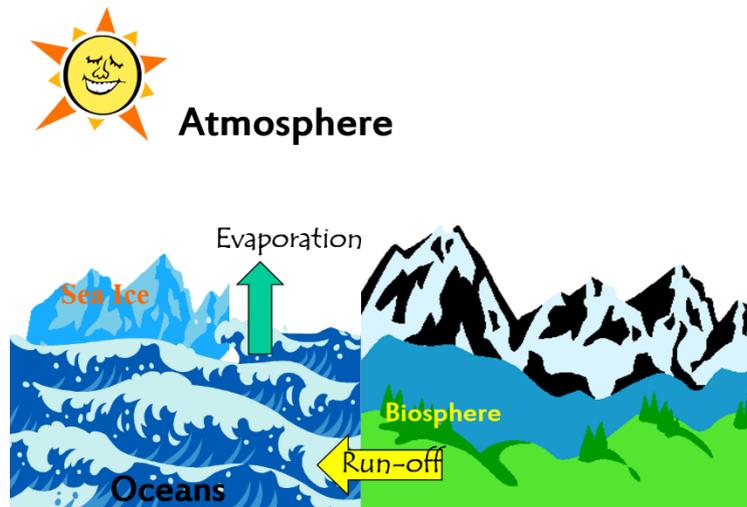


I modelli numerici per il clima

L'unica speranza che abbiamo per divenire capaci di capire e, possibilmente, di prevedere l'evoluzione del sistema climatico è di utilizzare i modelli numerici

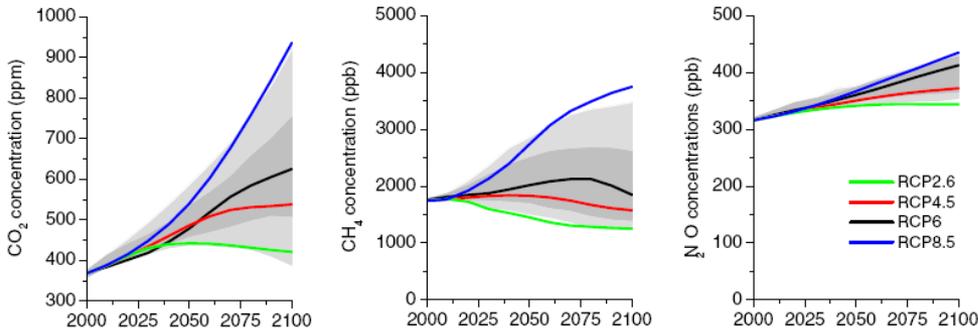
Cosa è un modello climatico? Un insieme di equazioni matematiche che rappresentano le leggi fisiche che descrivono l'evoluzione del sistema climatico. A seconda di cosa si decida di considerare in tali modelli, essi possono essere molto semplici fino a divenire molto complessi.

Nel mondo virtuale dei modelli l'atmosfera e la superficie terrestre sono rappresentati da cubetti. I processi fisici, chimici ect. che avvengono in atmosfera sono considerati in modo più o meno approssimato

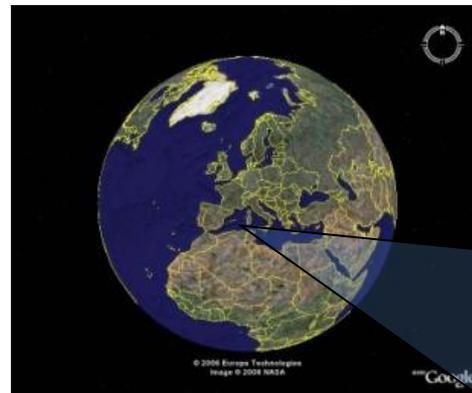
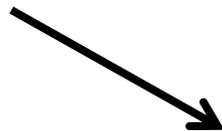


From L. Bengtsson, 2005

Come si costruisce uno scenario climatico su scala locale



SRES/RCP Scenari (per le concentrazioni di GHG)



Earth System Models/GCM



Regional Climate Models

Downscaling Dinamico

Accanto a tale metodo ne esistono altri, denominati metodi statistici che sono generalmente utilizzati in regioni dove sono disponibili dati osservati sufficienti e di buona qualità.



Stima delle incertezze associate

Attualmente, i modelli climatici utilizzati sono soggetti ad incertezze.

Seguendo Collins (2007), tali incertezze si possono dividere in 3 componenti:

- (1) L'incertezza dovuta alla normale variabilità atmosferica
- (2) L'incertezza presente negli scenari di GHG
- (3) L'incertezza dovuta alla imperfetta simulazione, da parte dei modelli, del sistema climatico

Variation in temperature and precipitation from year to year are a manifestation of naturally occurring climate variability. The atmosphere is a chaotic system in which small-scale atmospheric events may have large-scale consequences. This chaotic behavior has been aptly characterized by the infamous butterfly effect by which a butterfly flapping its wings in Asia can cause events affecting weather over the United States (Lorenz 1993).



Ecological Climatology: Concepts and Applications By Gordon Bonan



Stima delle incertezze

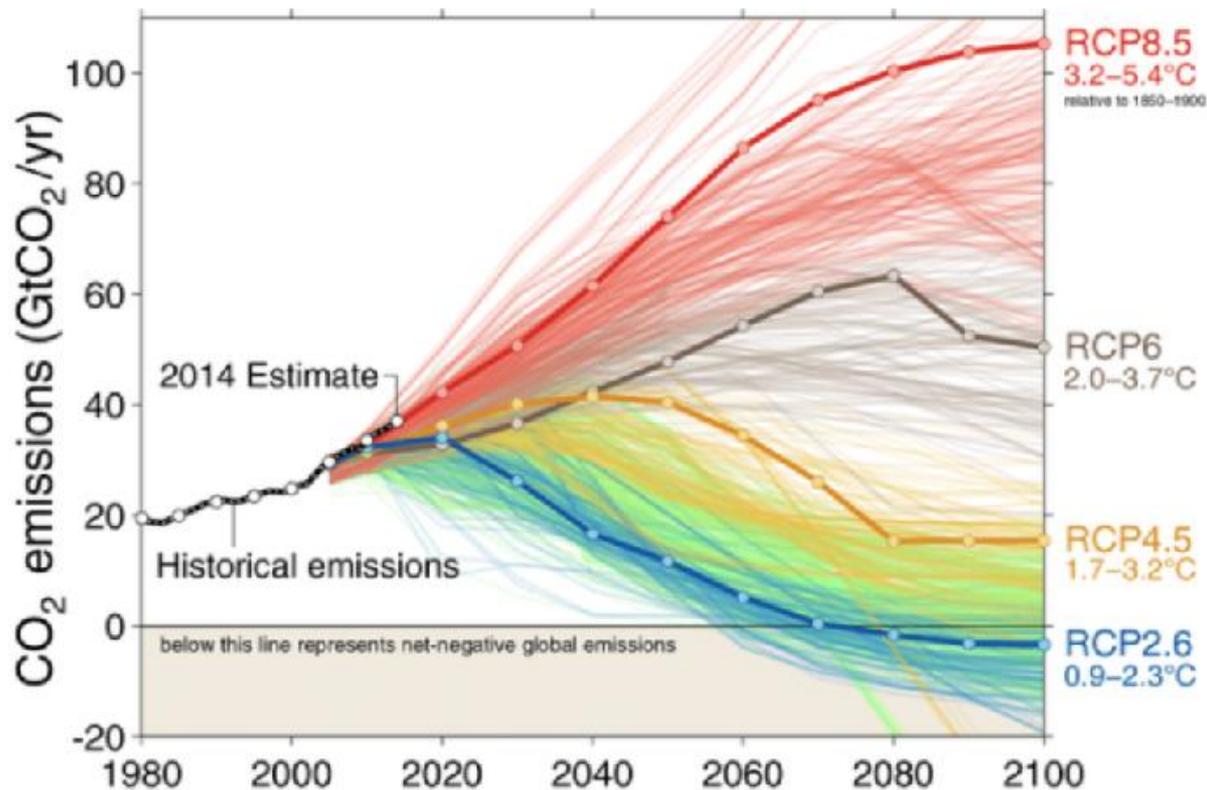
Attualmente, i modelli climatici utilizzati sono soggetti ad incertezze.

Seguendo Collins (2007), tali incertezze si possono dividere in 3 componenti:

(1) L'incertezza dovuta alla normale variabilità dell'atmosfera

(2) L'incertezza presente negli scenari di GHG

(3) L'incertezza dovuta alla imperfetta simulazione, da parte dei modelli, del sistema climatico



Andamento globale delle emissioni di CO₂ dovuti alle attività umane, osservati e previsti, confrontati con i 4 diversi scenari individuati dall' IPCC denominati RCP (radiative concentration pathway)

Il forzante radiativo totale antropogenico per il 2011, rispetto al 1750, risulta essere di 2,29 Watt per metro quadro



Stima delle incertezze

Attualmente, i modelli climatici utilizzati sono soggetti ad incertezze.

Seguendo Collins (2007), tali incertezze si possono dividere in 3 componenti:

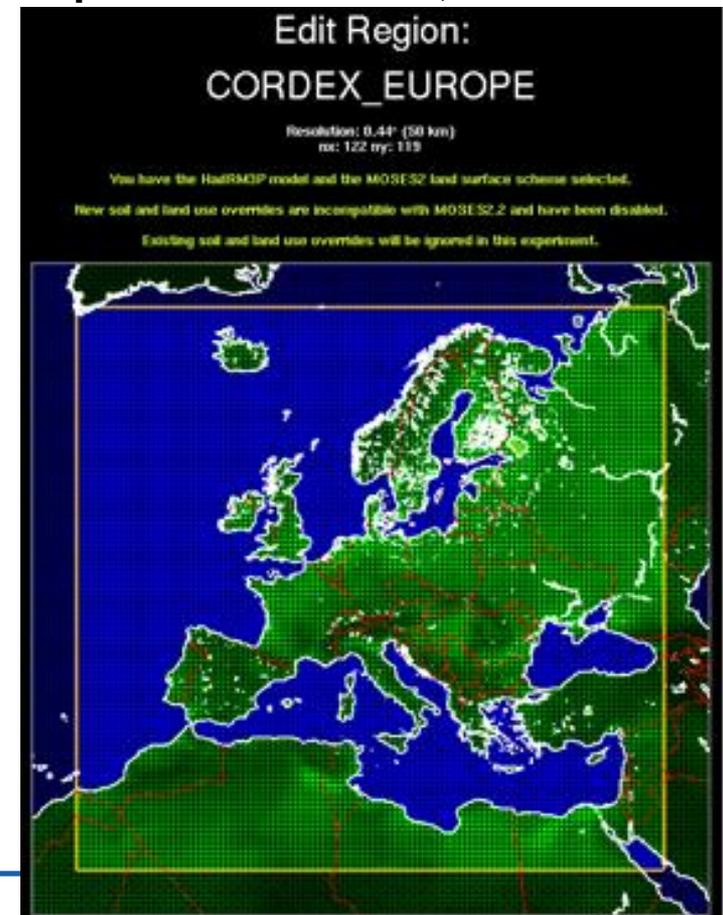
- (1) L'incertezza dovuta alla normale variabilità dell'atmosfera
- (2) L'incertezza presente negli scenari di GHG
- (3) L'incertezza dovuta alla imperfetta simulazione, da parte dei modelli, del sistema climatico**

Al fine di gestire quest'ultimo punto (quantomeno di quantificare l'incertezza), in Europa esistono dei progetti, come l'iniziativa CORDEX, che hanno lo scopo, in maniera coordinata di produrre proiezioni tramite modelli climatici regionali in diverse aree del globo.

Di seguito sono mostrati i risultati sull'Italia ottenuti utilizzando modelli ad una risoluzione di circa 12 km.

EURO-CORDEX ramo europeo programma CORDEX, sponsorizzata dal World Climate Research Program

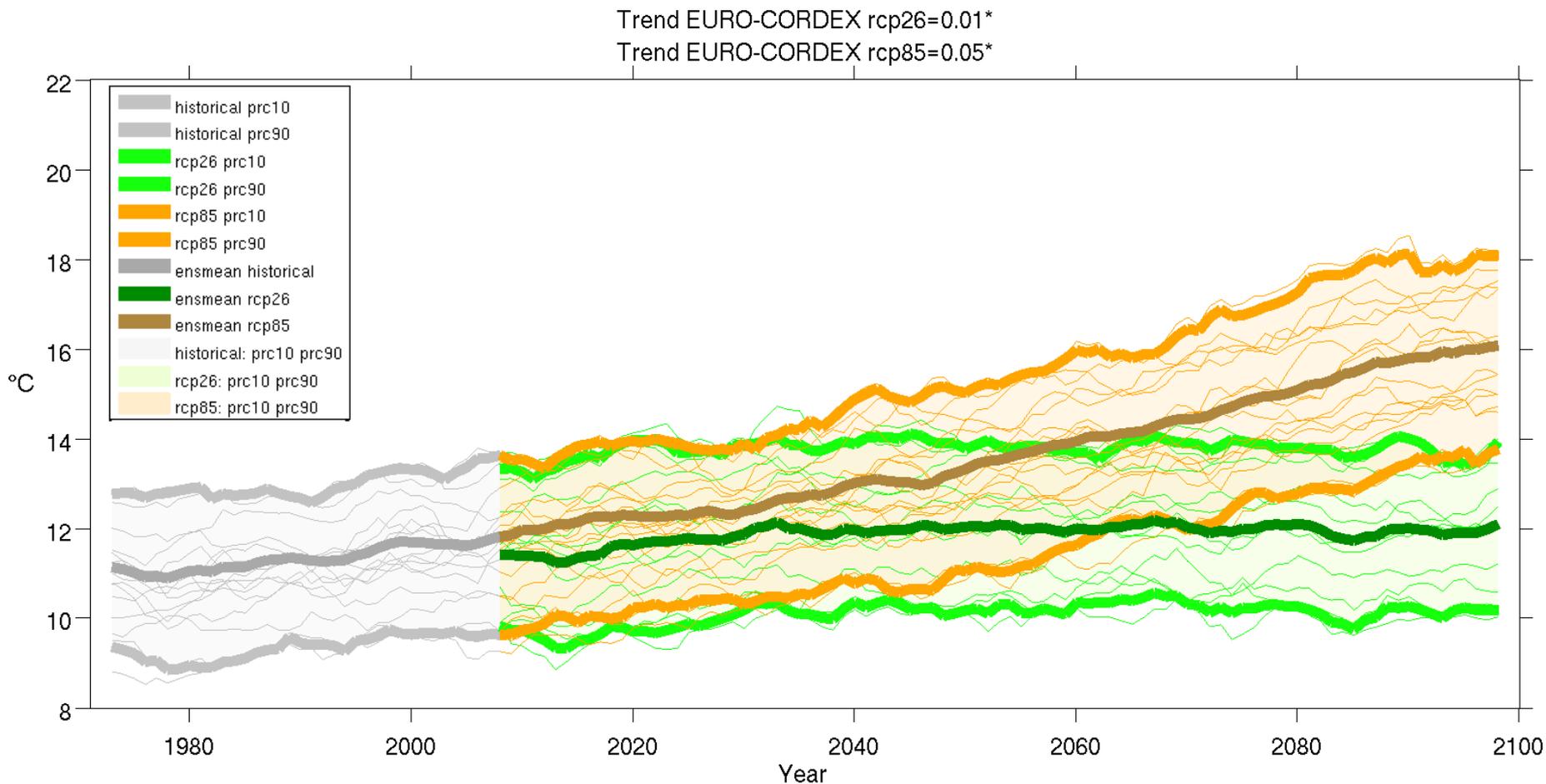
<http://wcrpcordex.ipsl.jussieu.fr/index.php/domain-euro-cordex>



Dati di proiezioni sull'Italia: temperatura media

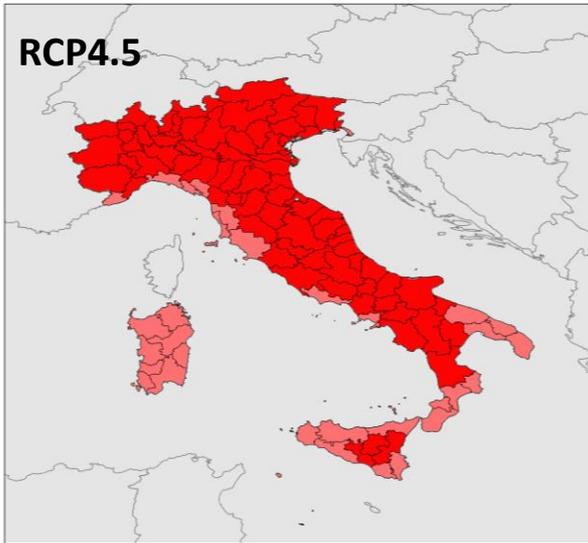
Crescita della temperatura media giornaliera in Italia

La crescita del valore medio dei modelli è sempre positiva: 1 °C in 100 anni per RCP2.6 e 5°C in 100 anni per RCP8.5. Il trend è statisticamente significativo.



Dati di proiezioni sull'Italia su NUTS3: temperatura media

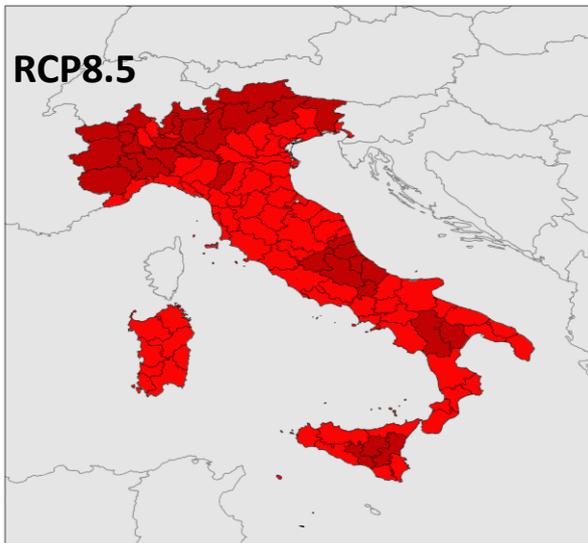
TMEAN
20362065 vs 19812010 (RCP4.5)



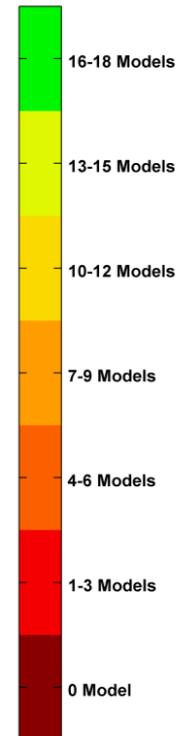
Model agreement (TMEAN)
20362065 vs 19812010



TMEAN
20362065 vs 19812010 (RCP8.5)



Model agreement (TMEAN)
20362065 vs 19812010

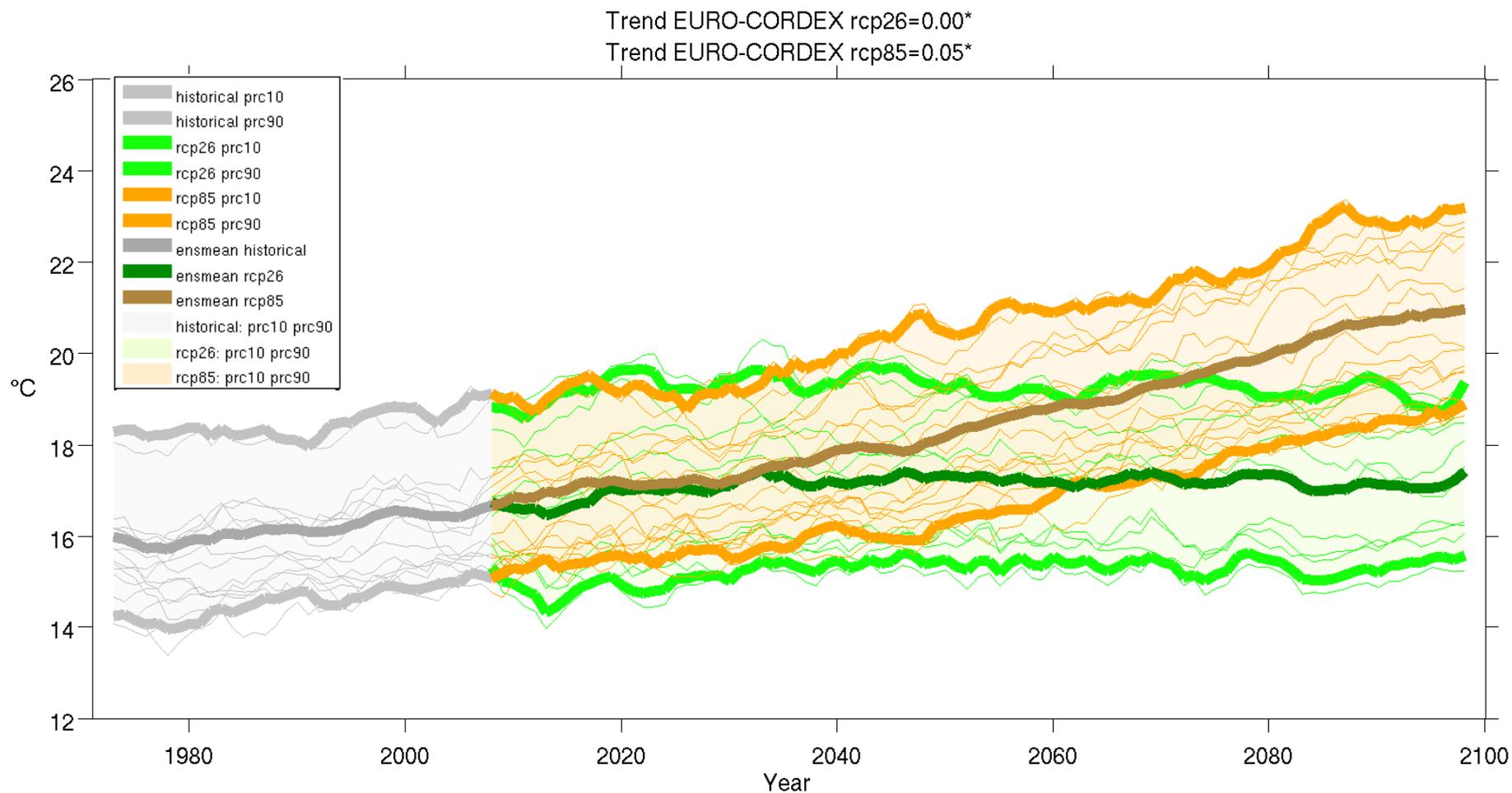


**Variazione
della
temperatura
media
giornaliera:
2036-2065 vs
1981-2010**

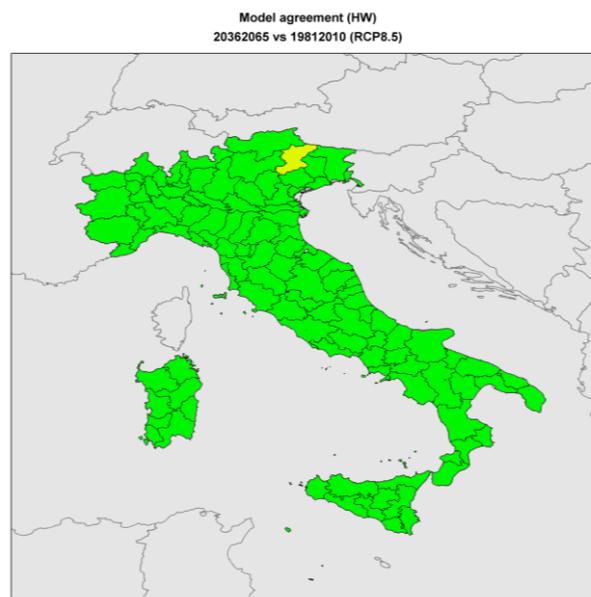
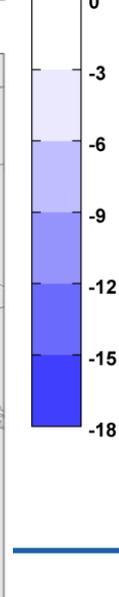
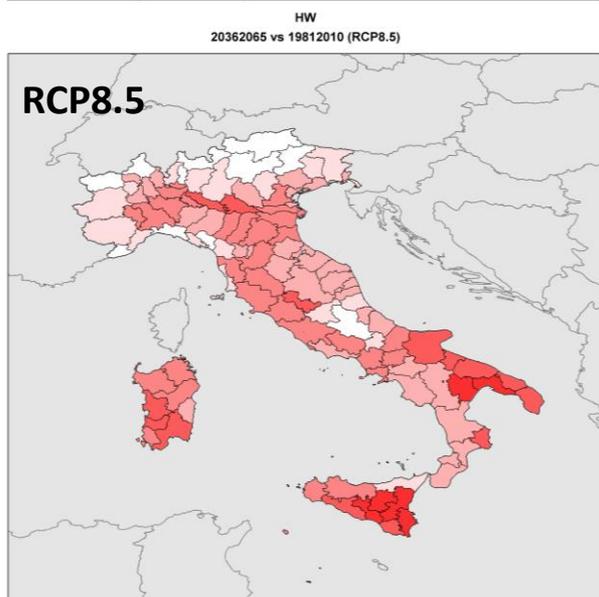
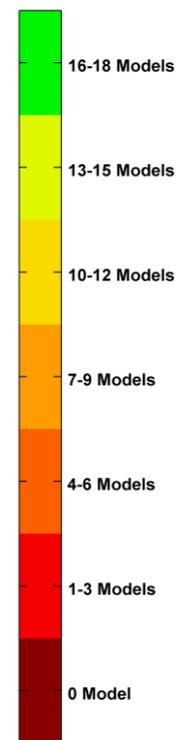
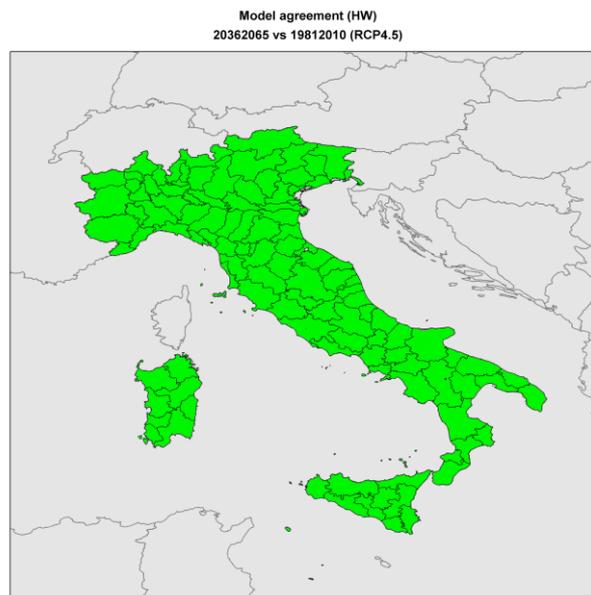
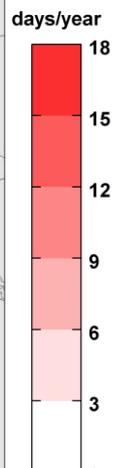
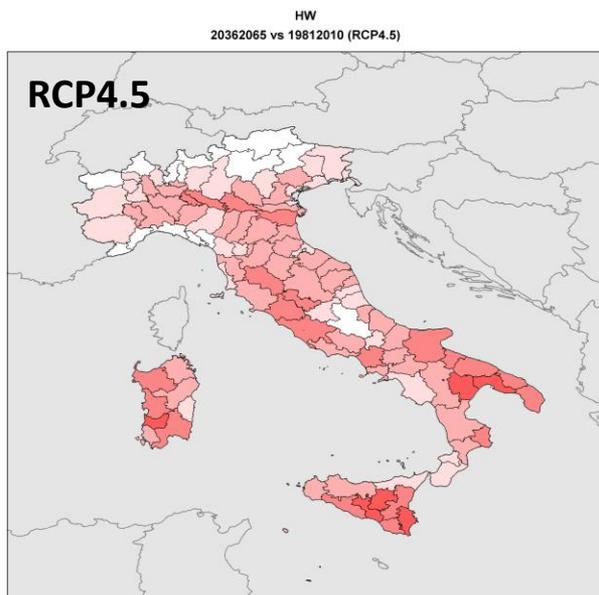


Dati di proiezioni sull'Italia: temperatura massima

Crescita della temperatura massima giornaliera in Italia



Dati di proiezioni sull'Italia su NUTS3: numero di giorni con temperatura massima superiore a 35°C

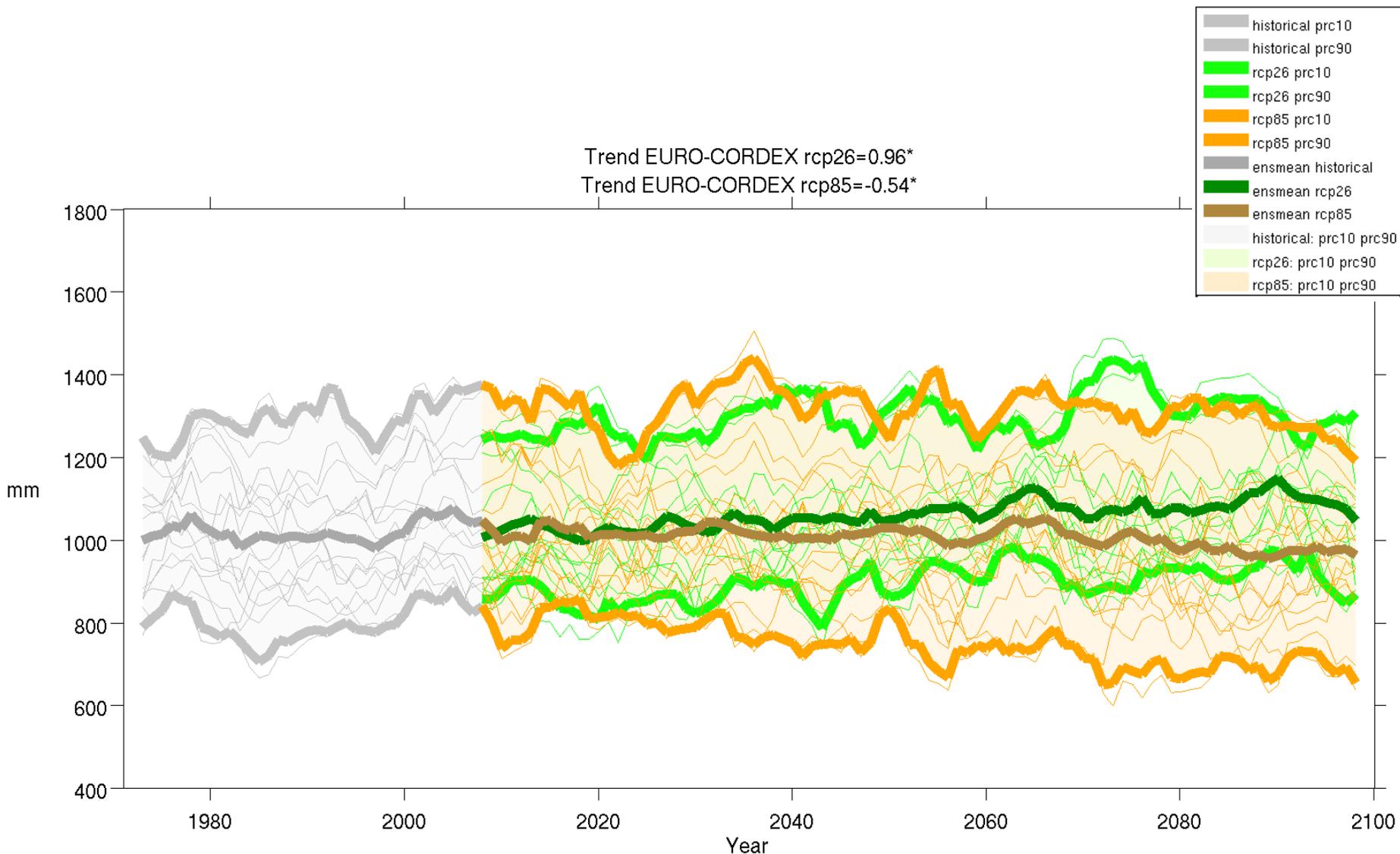


**Variazione
del numero
di giorni con
temperatura
massima
superiore a
35°C: 2036-
2065 vs 1981-
2010**



Dati di proiezioni sull'Italia: precipitazione annuale

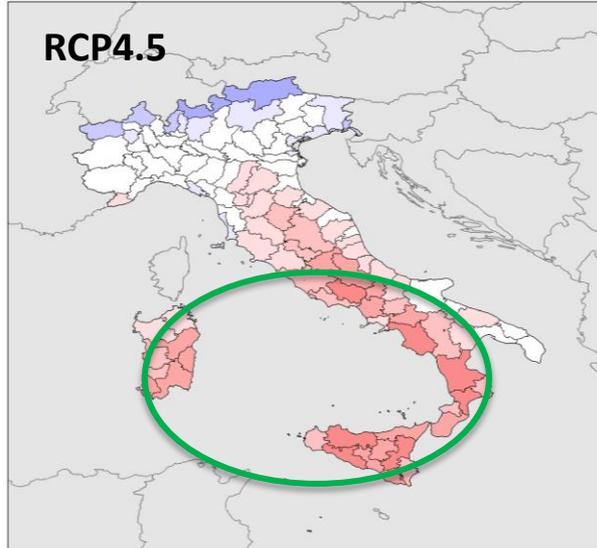
Andamento della precipitazione annuale in Italia



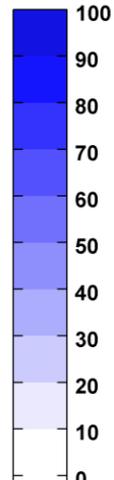
Dati di proiezioni sull'Italia su NUTS3: precipitazione annuale

PRCPTOT
20362065 vs 19812010 (RCP4.5)

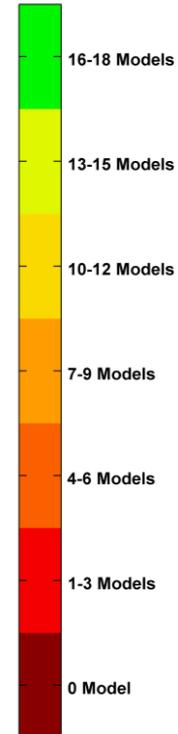
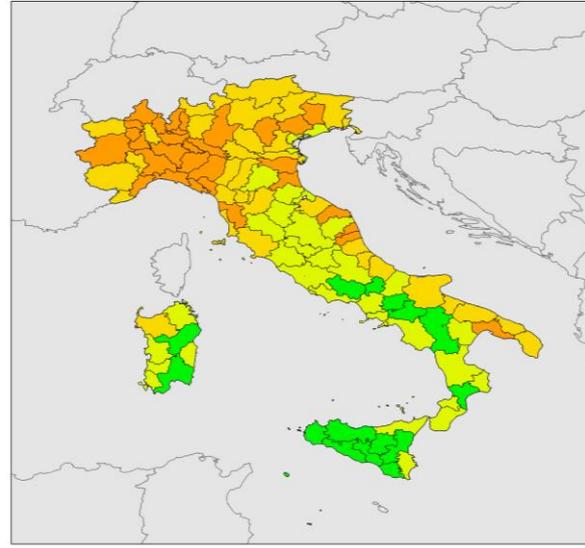
RCP4.5



mm/year

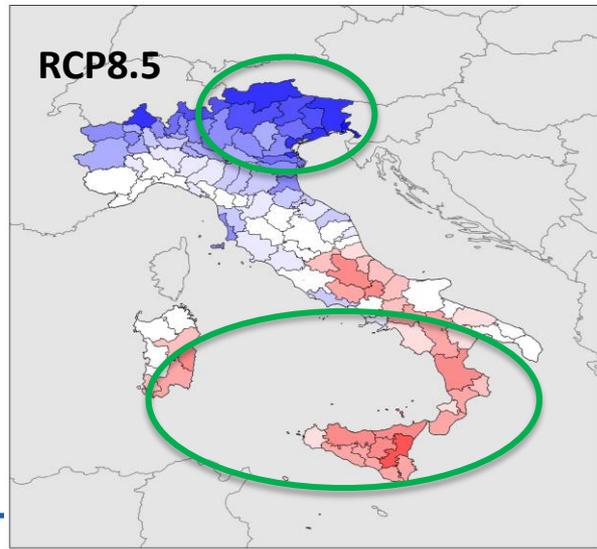


Model agreement (PRCPTOT)
20362065 vs 19812010 (RCP4.5)

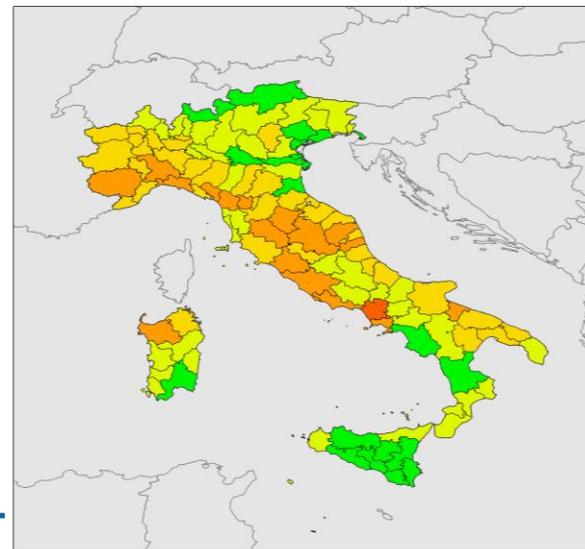


20362065 vs 19812010 (RCP8.5)

RCP8.5



Model agreement (PRCPTOT)
20362065 vs 19812010 (RCP8.5)



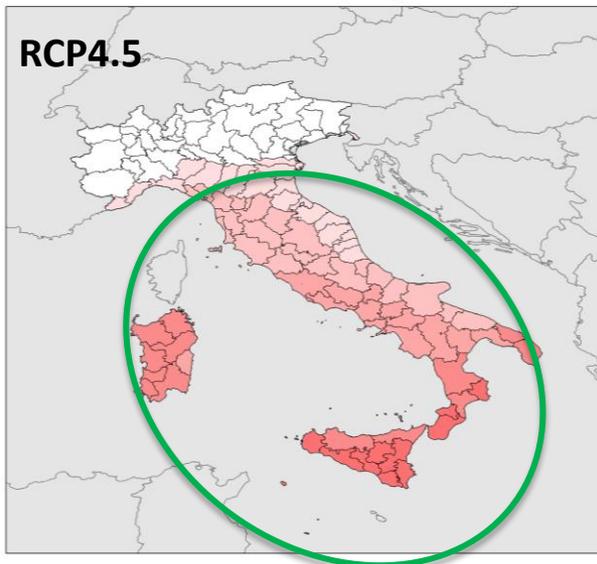
**Variazione
della
precipitazione
annuale: 2036-
2065 vs 1981-
2010**



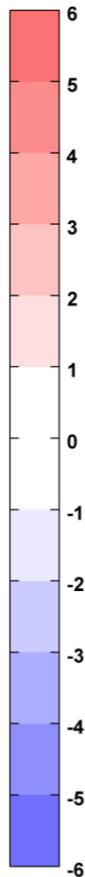
Dati di proiezioni sull'Italia su NUTS3: massimo numero di giorni secchi consecutivi

CDD
20362065 vs 19812010 (RCP4.5)

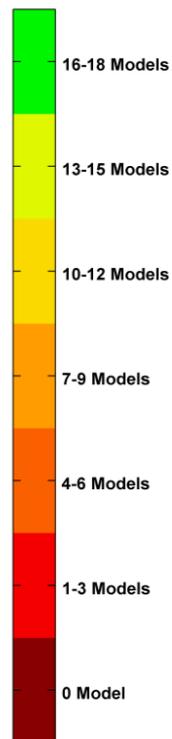
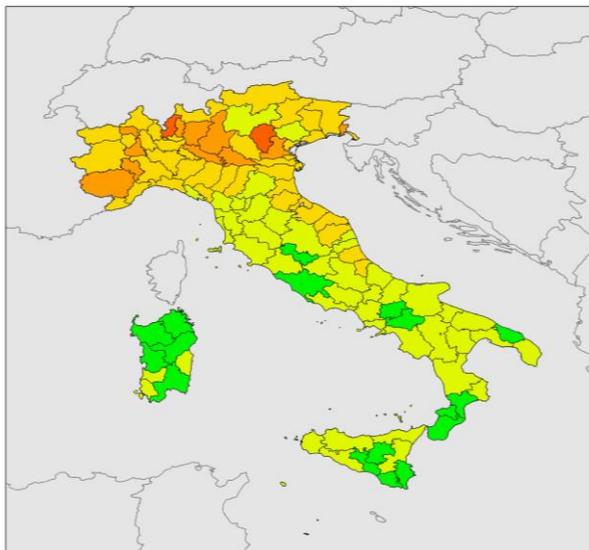
RCP4.5



days/year

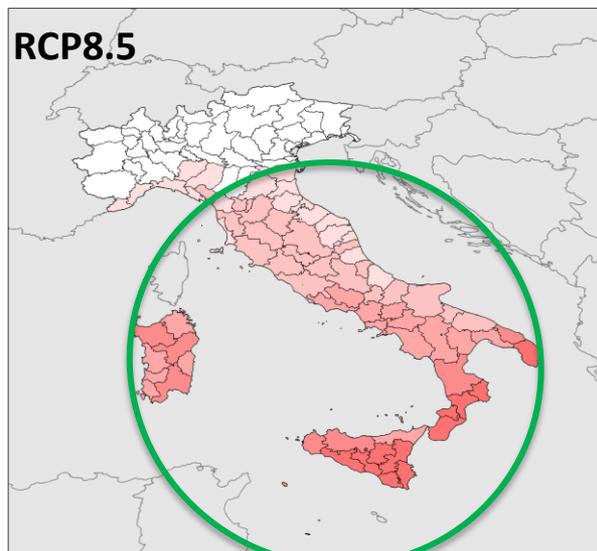


Model agreement (CDD)
20362065 vs 19812010 (RCP4.5)

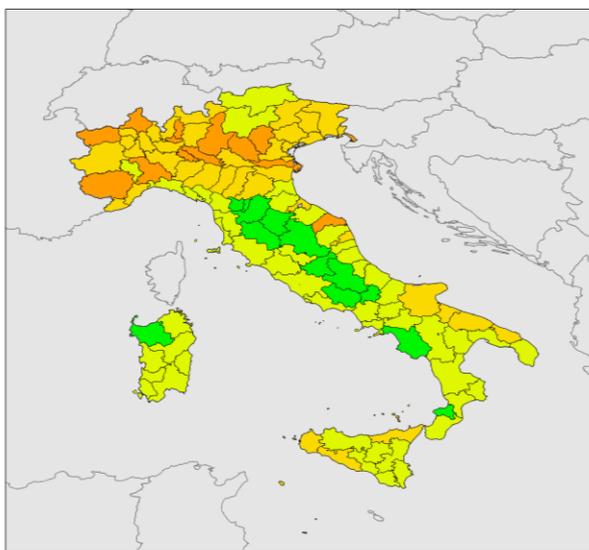


CDD
20362065 vs 19812010 (RCP8.5)

RCP8.5



Model agreement (CDD)
20362065 vs 19812010 (RCP8.5)



**Variazione del
massimo
numero di
giorni secchi
consecutivi:
2036-2065 vs
1981-2010**

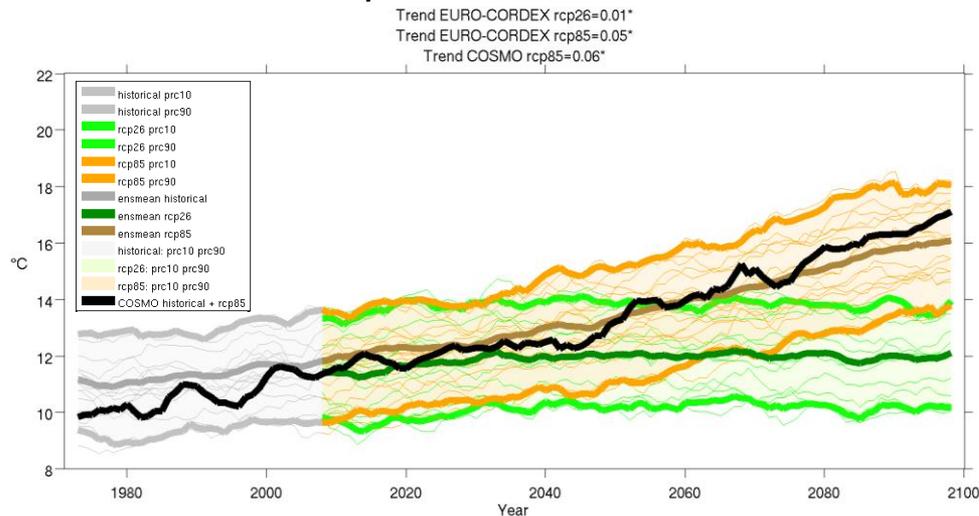


Riduzione dell'incertezza dovuta all'imperfetta simulazione del sistema climatico

La divisione REMHI del CMCC ha pubblicato, a partire dal 2015, delle proiezioni climatiche ad alta risoluzione sull'Italia, sia per i valori medi che per i valori estremi.

La configurazione del modello regionale COSMO-CLM, sviluppato dal consorzio europeo della CLM ASSEMBLY, è stata ottimizzata sull'Italia dalla divisione REMHI del CMCC.

Temperatura media annuale



		MAE COSMO-CLM	MAE ensemble mean CORDEX	Errore COSMO-errore ensemble mean CORDEX
EOBS	Tmean [°C]	2.1	2	0.1
	R20 [giorni/anno]	5	6	-1
	FD [giorni/anno]	18	24	-6
	SU95p giorni/anno]	10	14	-4
	Winter Precipitation [mm]	79	99	-20
	Summer Precipitation [mm]	50	87	-37
EURO4M	R20	5	6	-1
	Winter Precipitation [mm]	89	105	-16
	Summer Precipitation [mm]	76	103	-27

Essa ha mostrato una soddisfacente capacità di rappresentare il clima attuale, riportando, mediamente, un errore più basso rispetto a modelli analoghi.

I modelli regionali a scala urbana

Molto spesso i fenomeni caratterizzati da elevata risoluzione nello spazio e nel tempo sono quelli che determinano i maggiori impatti al suolo.

I modelli regionali sono utilizzati per fornire dati per analisi di impatto, ovvero per studiare come si modificheranno le caratteristiche degli impatti per effetto dei cambiamenti climatici.

I modelli climatici a scala urbana rappresentano i modelli di prossima generazione; essi sono in grado di studiare anche i fenomeni atmosferici su scala urbana (es. isola di calore)

Modello regionale



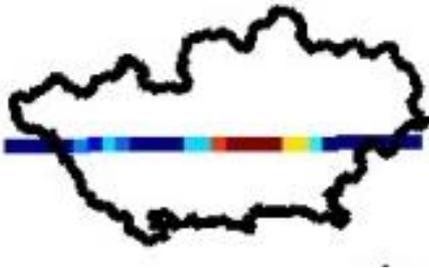
Modello climatico a scala urbana

Striscia di punti griglia che attraversano il centro della città di **MILANO**



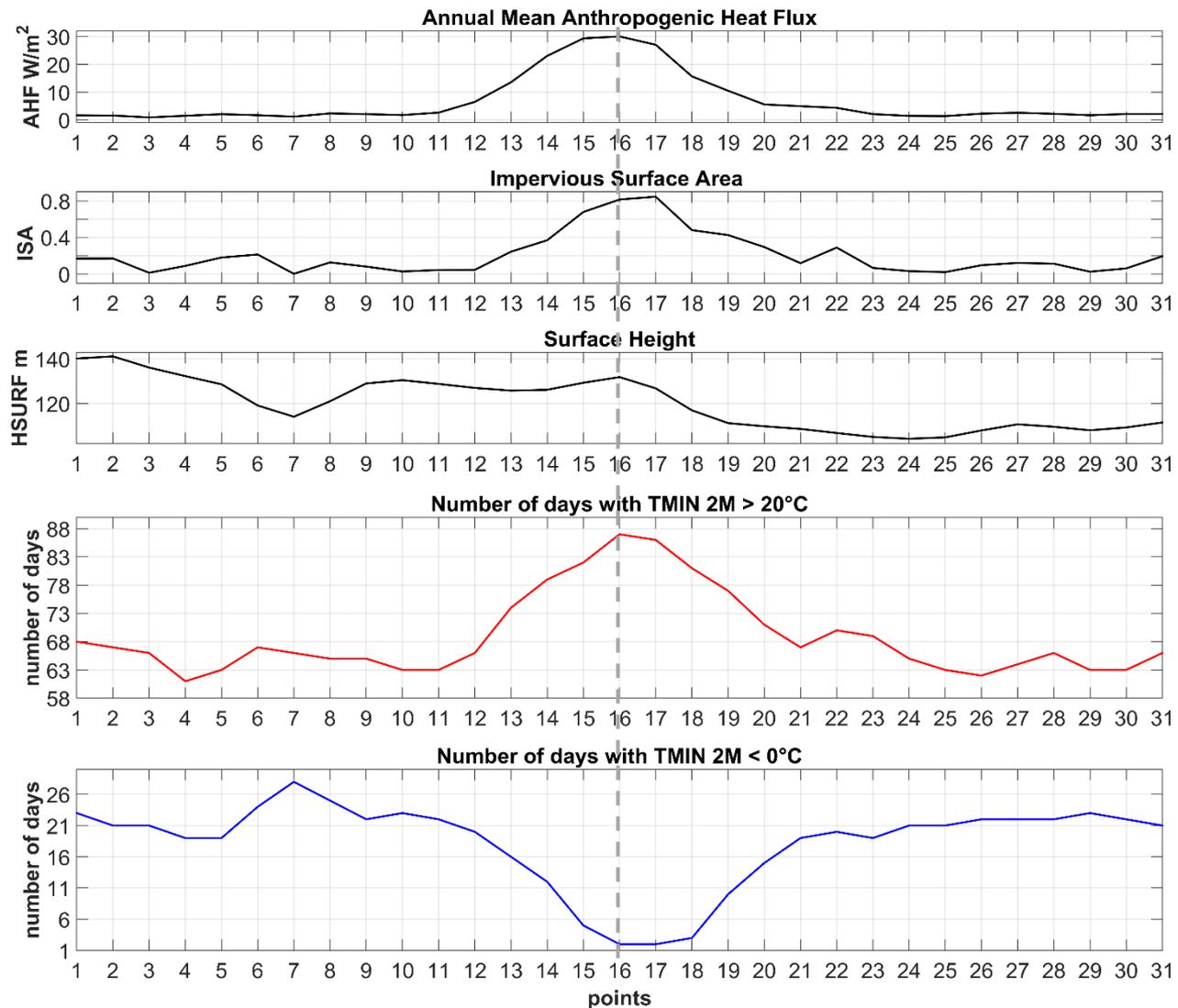
Risultati preliminari: Frost days e Tropical nights

Striscia di punti griglia che attraversano il centro della città di **Milano (Via Brera)**



Tropical nights: numero di giorni con $TMIN_{2M} > 20^{\circ}C$

Frost days: numero di giorni con $TMIN_{2M} < 0^{\circ}C$



Grazie per l'attenzione

paola.mercogliano@cmcc.it



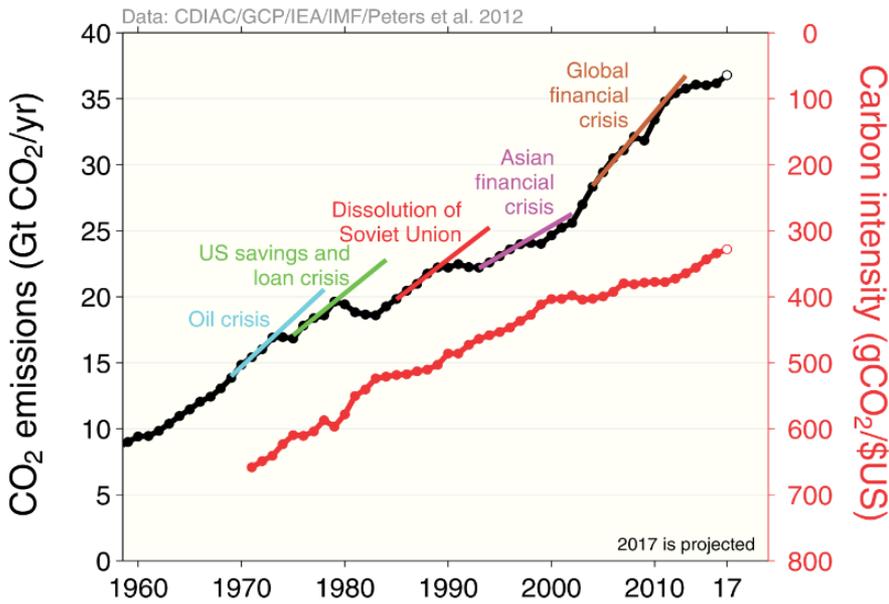
Stima delle incertezze

Attualmente, i modelli climatici utilizzati sono soggetti ad incertezze.

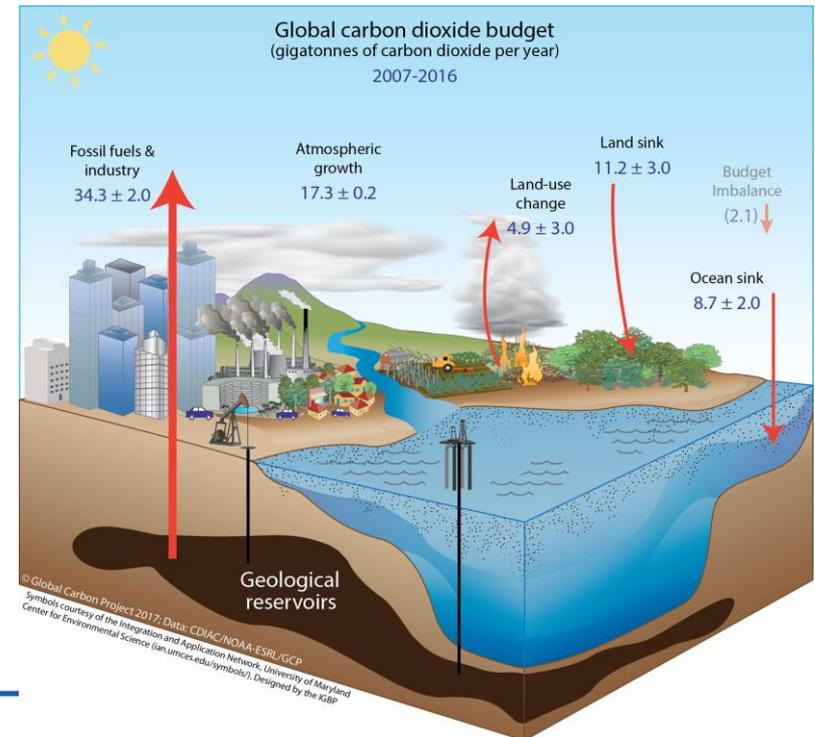
Seguendo Collins (2007), tali incertezze si possono dividere in 3 componenti:

- (1) L'incertezza dovuta alla normale variabilità dell'atmosfera
- (2) L'incertezza presente negli scenari di GHG**
- (3) L'incertezza dovuta alla imperfetta simulazione, da parte dei modelli, del sistema climatico

Emissioni di CO₂ dal 1960



Perturbazione del ciclo del carbonio per effetto delle azioni antropiche (2007-2016)



Gli indicatori del clima in Italia nel 2016 (ISPRA)

In Italia, dopo il record dello scorso anno, il 2016 è stato il sesto anno più caldo dall'inizio delle osservazioni, con un'anomalia media rispetto al trentennio 1961-1990 di $+1.35^{\circ}\text{C}$.

Dall'analisi della serie storica dell'ultimo mezzo secolo, all'inizio degli anni '80 prende avvio il periodo con rateo di riscaldamento più elevato. La stima aggiornata del rateo di variazione della temperatura media dal 1981 al 2016 è $+0.36 \pm 0.06^{\circ}\text{C} / 10$ anni; quello della temperatura minima $+0.35 \pm 0.05^{\circ}\text{C} / 10$ anni e quello della temperatura massima di $+0.36 \pm 0.08^{\circ}\text{C} / 10$ anni. Su base stagionale, i trend della temperatura media sono più forti in primavera ($+0.45 \pm 0.11^{\circ}\text{C} / 10$ anni) e in estate ($+0.42 \pm 0.11^{\circ}\text{C} / 10$ anni).

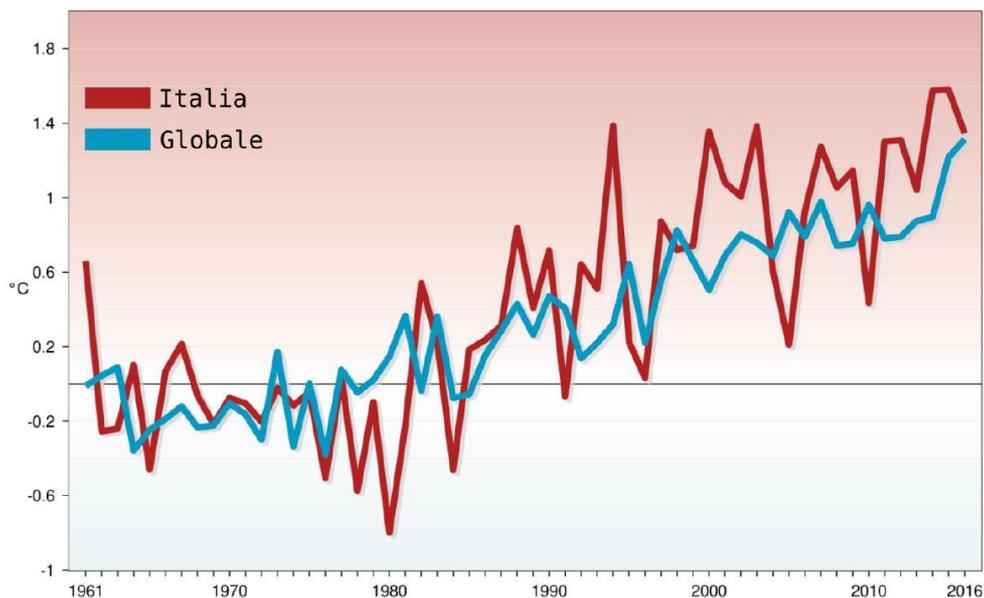


Figura 2.1: Serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990. Fonti: NCDC/NOAA e ISPRA. Elaborazione: ISPRA.

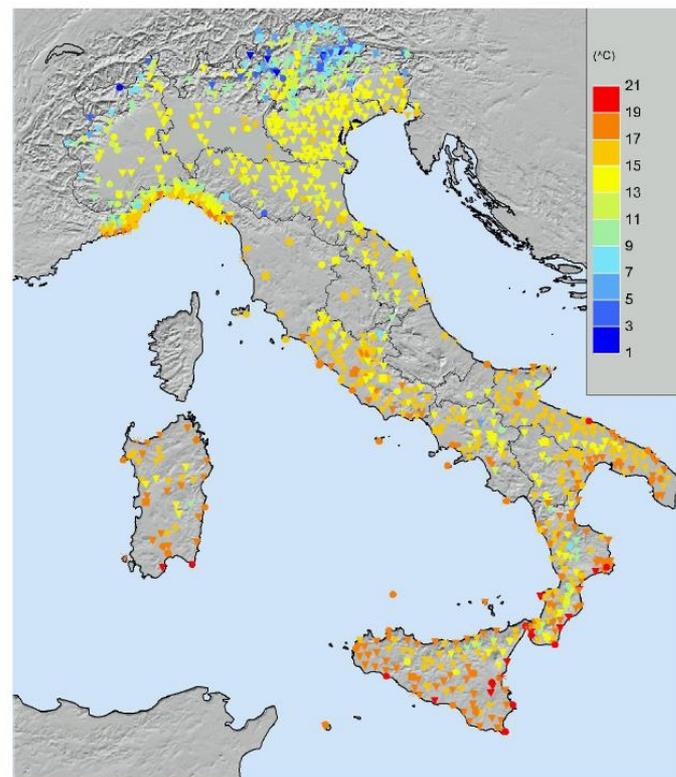


Figura 3.1: Temperatura media 2016.