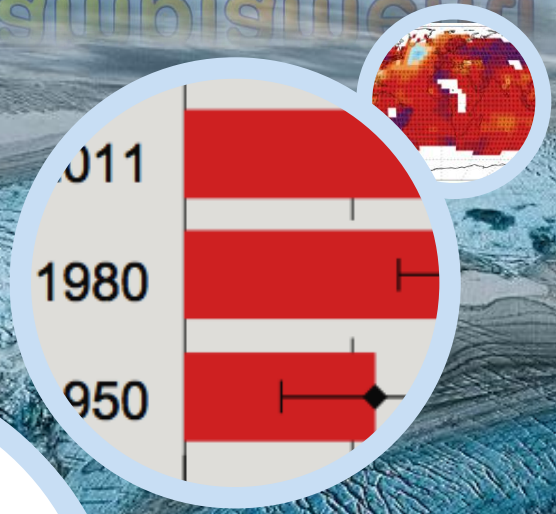
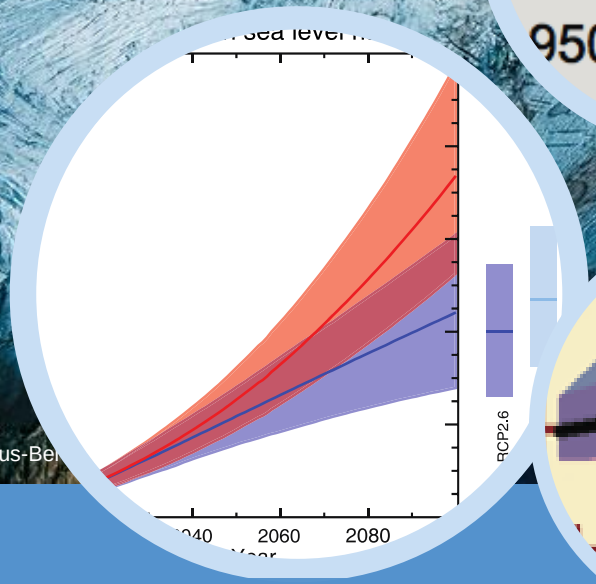
Climate Change 2013: The Physical Science Basis

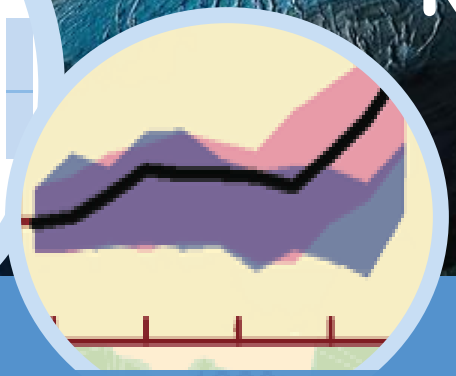
Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report

Modelli previsionali dei cambiamenti climatici

Scenari e incertezze







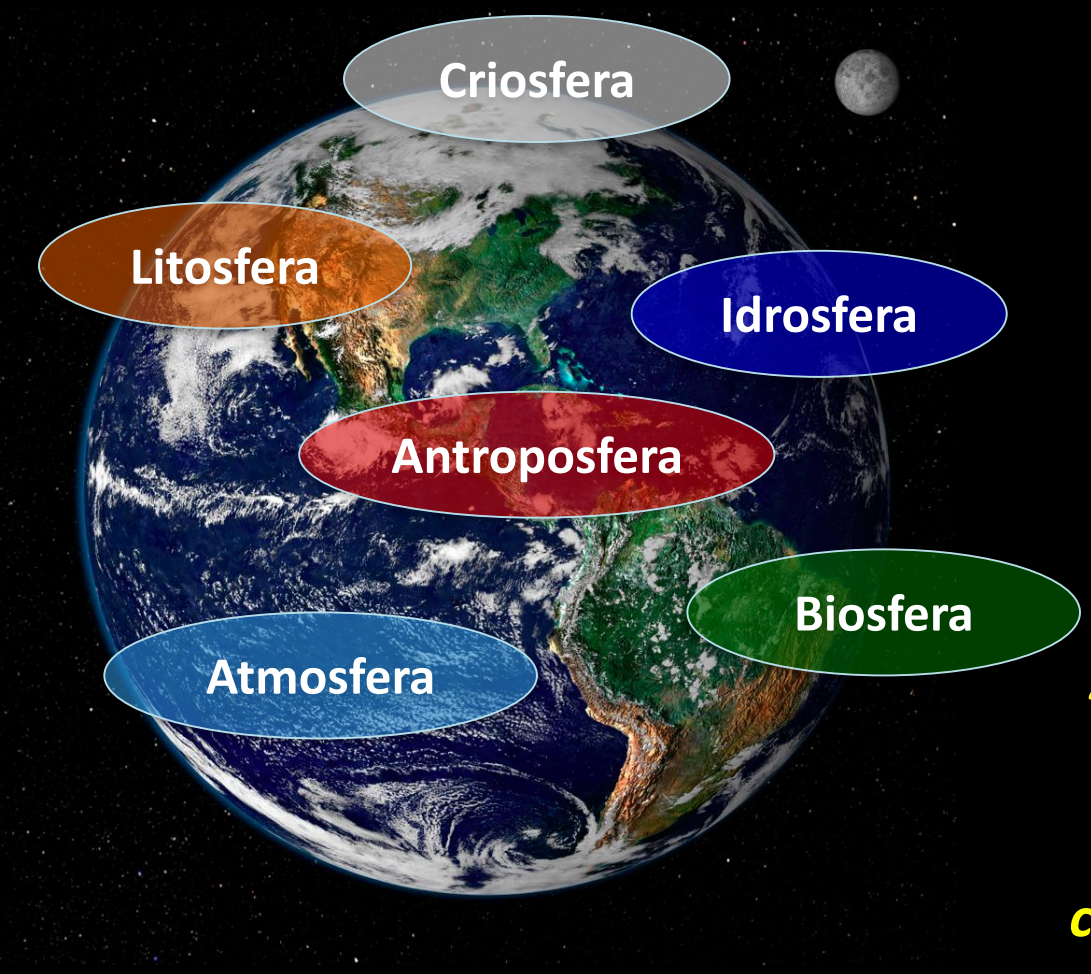
Nelle previsioni per il prossimo futuro

© Yann Arthus-Be

Susanna Corti

Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima – CNR, Bologna

Il clima è un sistema complesso



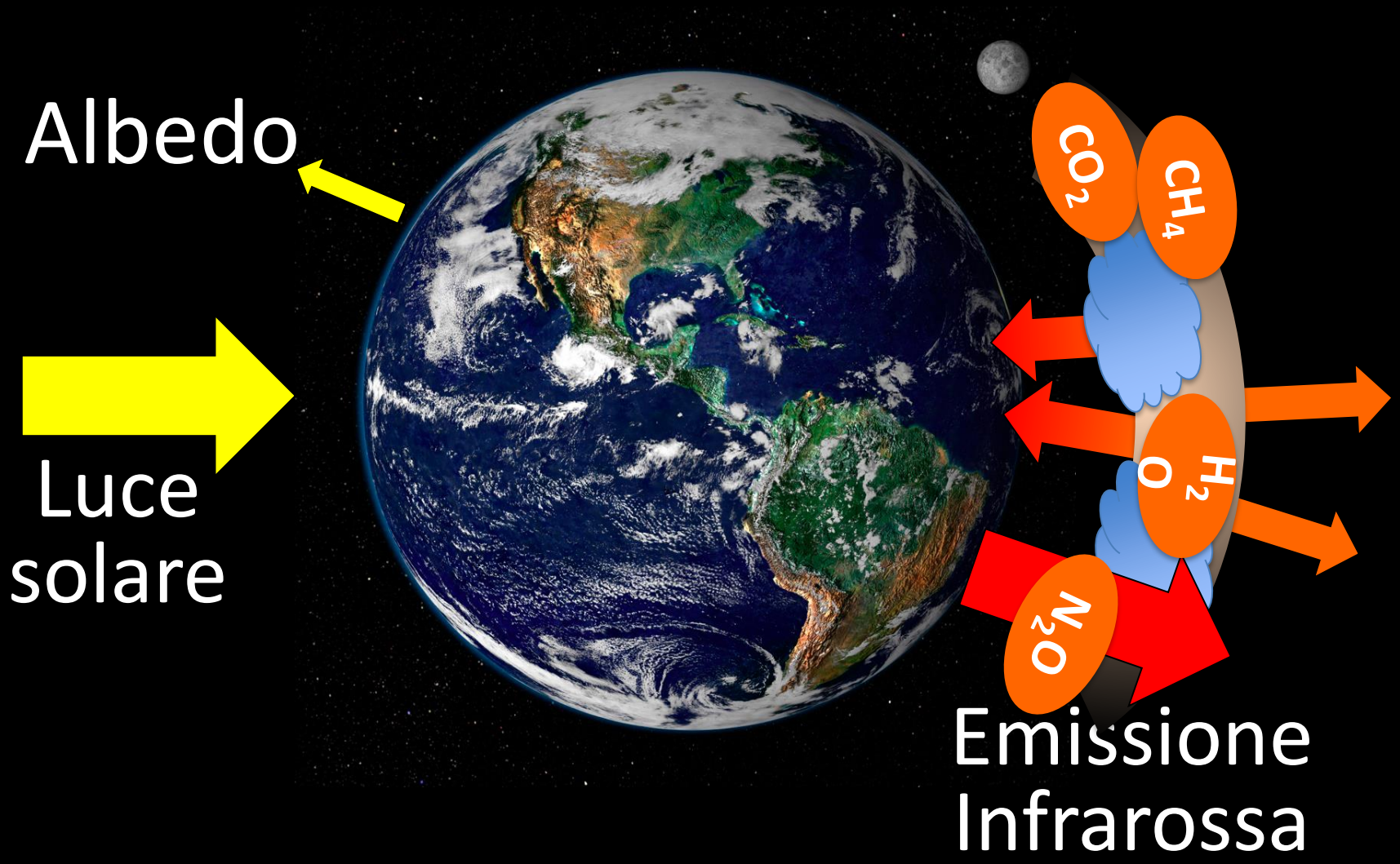
Caratterizzato da molte componenti che interagiscono tra loro in modo non lineare

IPCC AR5 2013

*"The climate system is the **highly complex dynamical system** consisting of five major **components**: the atmosphere, the hydrosphere, the cryosphere, the lithosphere and the biosphere, and the **interactions** between them".*

"La realtà è interazione"

Effetto serra



Il clima della terra varia …

Forzanti **ESTERNE**

NATURALI

- eruzioni vulcaniche
- cambiamenti orbitali
- input solare

ANTROPICHE

- gas serra
- ozono
- aerosol
- uso del suolo

Perché?

Dinamica INTERNA del sistema climatico

- **Teleconnessioni atmosferiche**
- **Instabilità delle correnti oceaniche**
- **Dinamica interna al sistema accoppiato oceano-atmosfera**
- **Processi di retroazione fra le varie componenti del sistema.**

Il clima nell'**Antropocene**

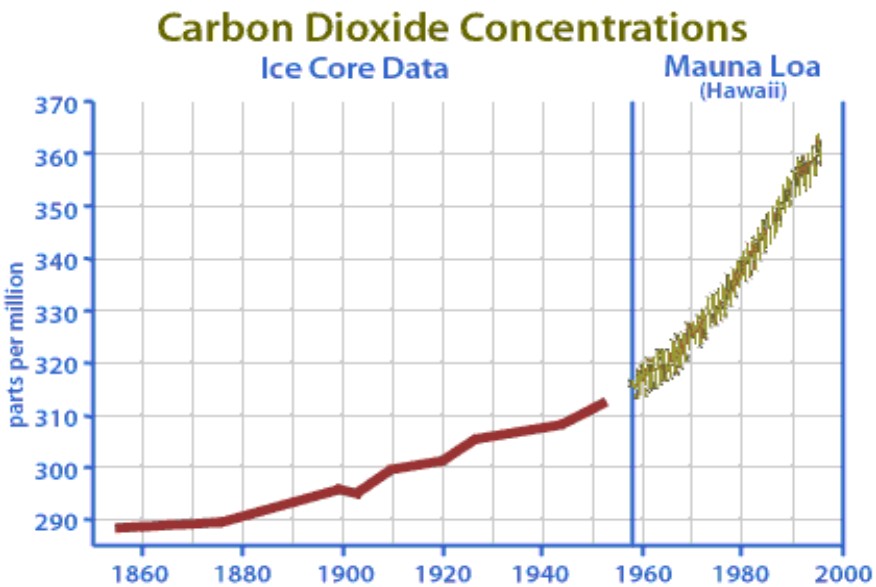
Dal 1950 sono stati osservati cambiamenti in tutti i comparti del sistema climatico terrestre:

- **le concentrazioni di CO2 e altri gas serra sono aumentate**
- **l'atmosfera e l'oceano si sono riscaldati**
- **l'estensione ed il volume dei ghiacci si sono ridotti**
- **il livello del mare si è innalzato**
- **ciclo idrologico intensificato e più eventi estremi**

• Molti di questi cambiamenti non trovano riscontro nei due millenni precedenti

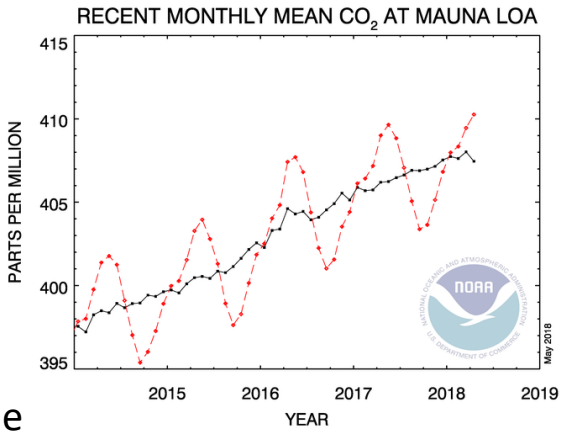
• Per questo il riscaldamento globale viene definito nell'ultimo rapporto dell'IPCC "virtualmente certo" (probabilità > 99%)

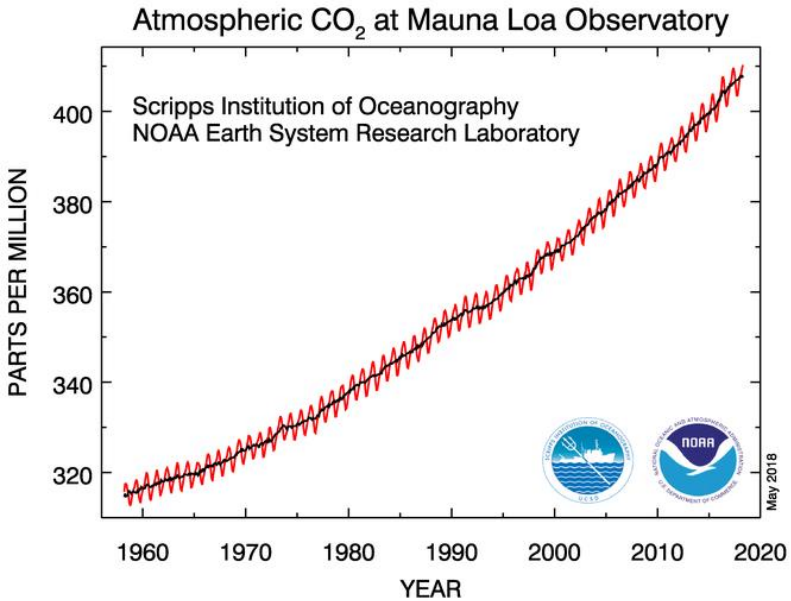
Concentrazione CO2



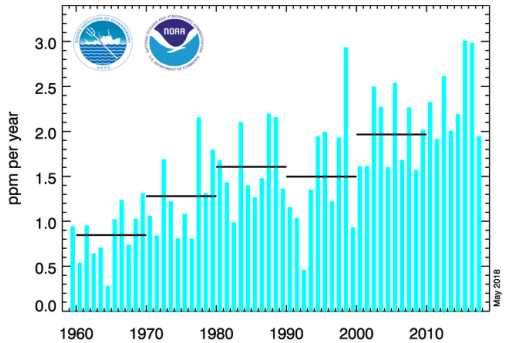
Le concentrazioni di CO2, CH4 ed N2O sono aumentate dal 1750 ad oggi del 45%, 150% e 20%, raggiungendo i valori più elevati degli ultimi 800.000 anni

- **La concentrazione di CO2 è aumentata dai 278 ppm del 1750 ai 405 ppm del 2017**



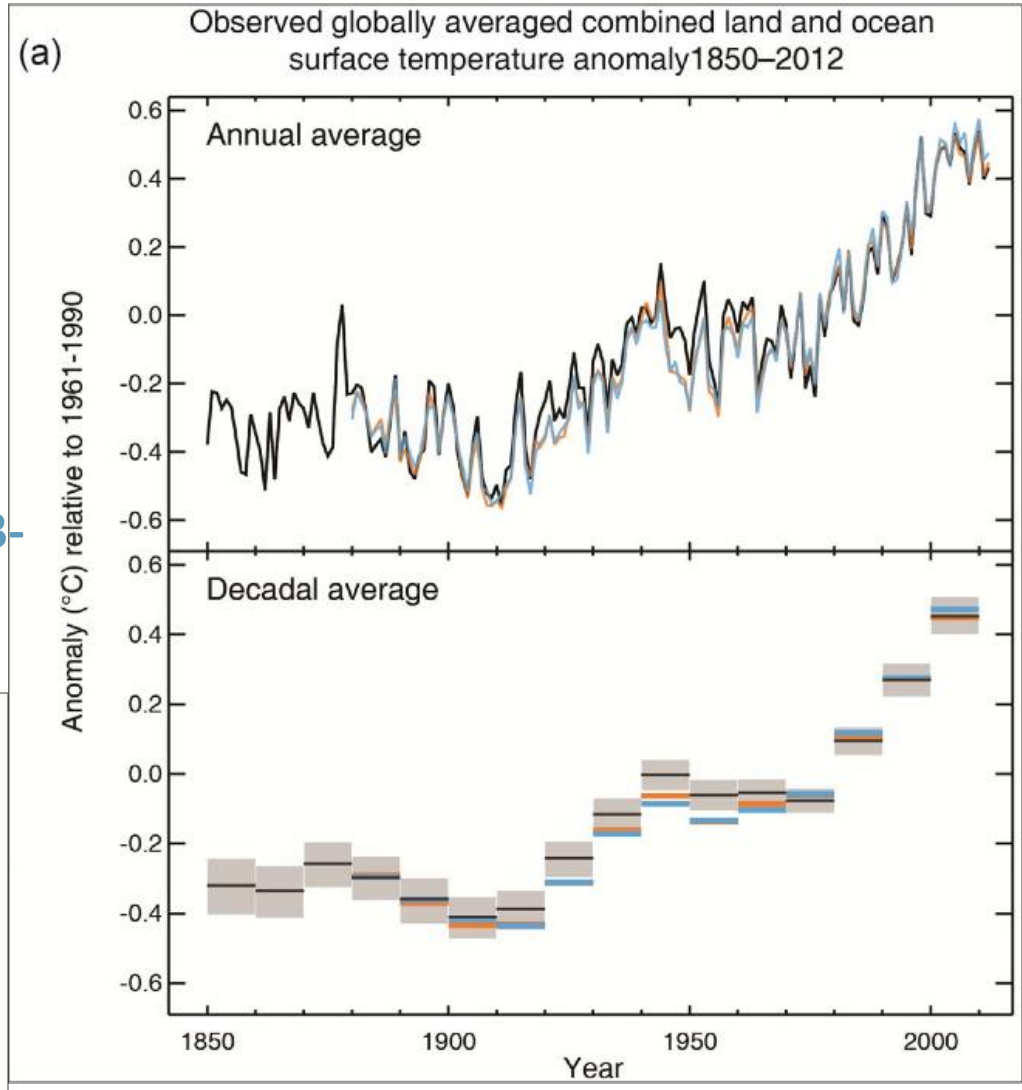


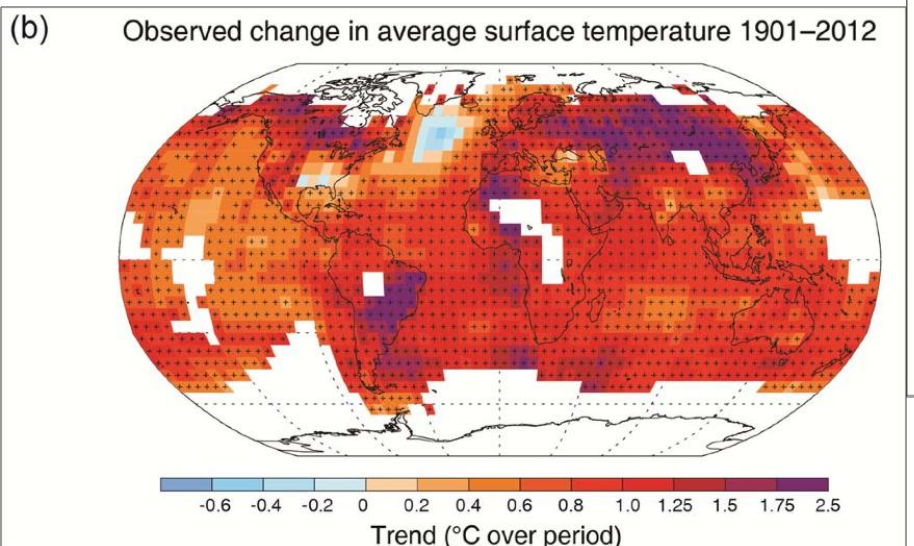
CO2: Tasso di crescita annuale



Riscaldamento atmosfera e oceano

- **Il primo decennio del XXI secolo è stato il più caldo dal 1850 e ciascuna decade dell'ultimo trentennio è risultata più calda della decade precedente**
- **La temperatura media globale nel periodo 1880-2012 è aumentata di 0.85 °C**
- **Nell'emisfero nord il trentennio 1983-2012 è stato il più caldo degli ultimi 1400 anni**



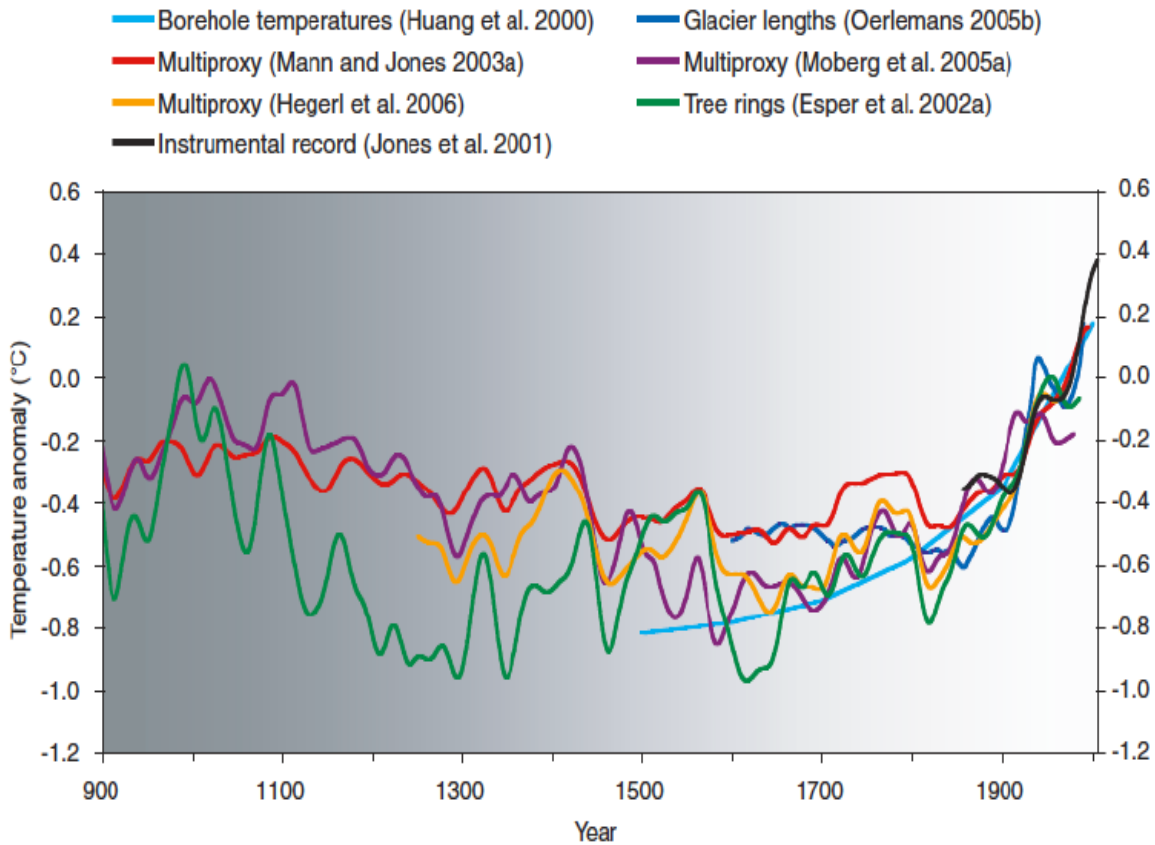


IPCC 2013

Dal 1950 il cambiamento corre

1	2016
2	2015
3	2017
4	2014
5	2010
6	2013
7	2005
8	2009
8	1998
10	2012
11	2003
12	2006
13	2007
13	2002
15	2004
16	2011
16	2001
18	2008

I diciotto anni più caldi (1880–2015)

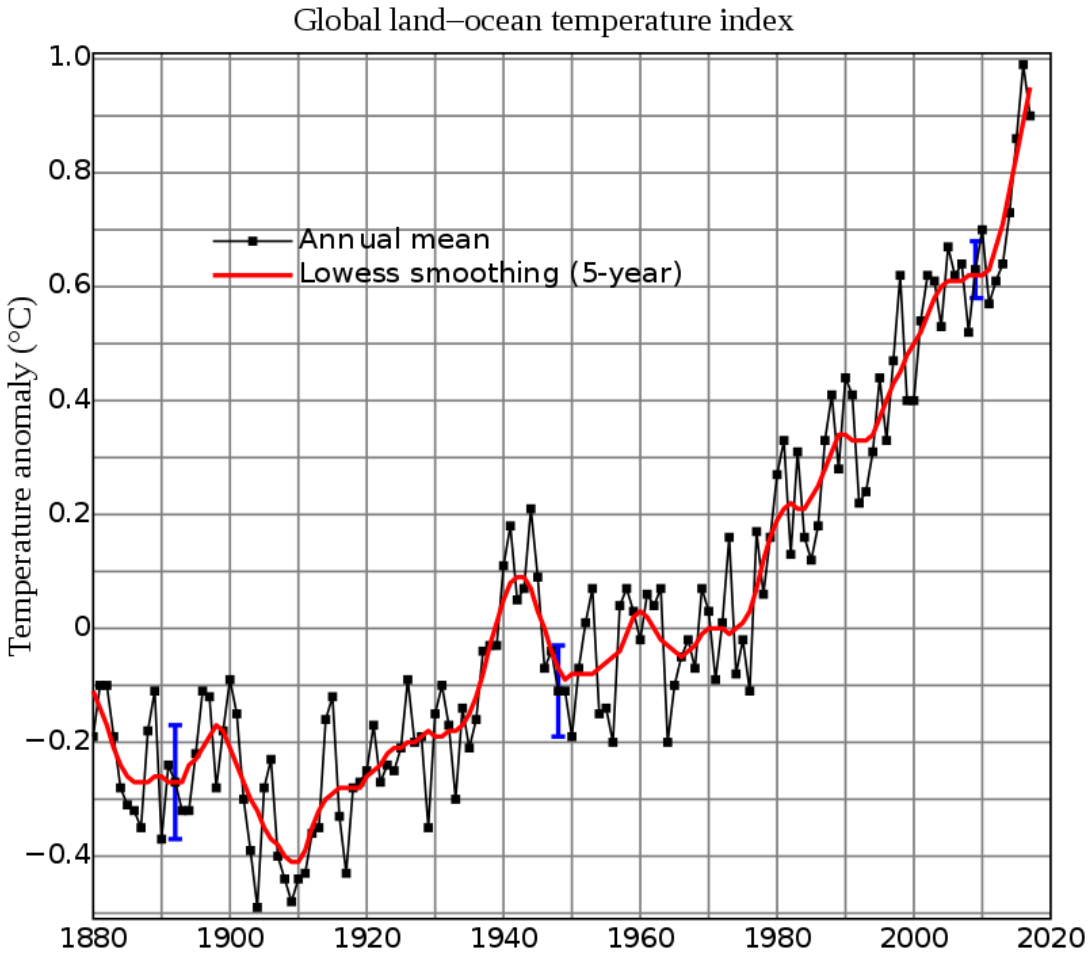


Anomalie delle temperatura media globale (rispetto al 1981-2010)

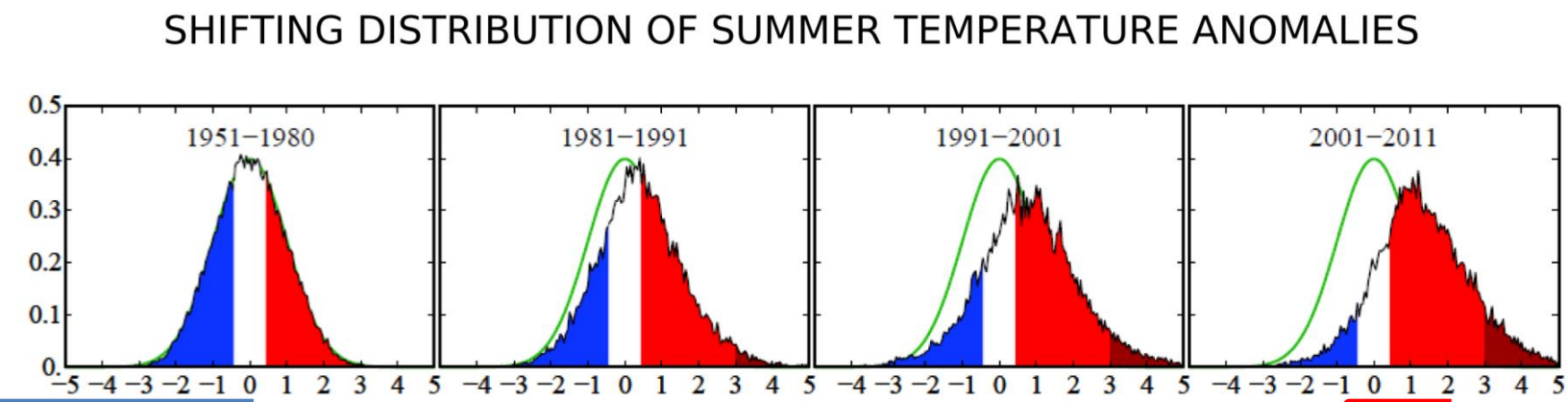
2006	0.28
2007	0.29
2008	0.16
2009	0.27
2010	0.33
2011	0.19
2012	0.26
2013	0.30
2014	0.32
2015	0.46

3. Ricostruzioni delle anomalie della temperatura globale e di quella dell'emisfero nord nel peric
l 2000 (curve colorate, come indicato nella legenda) e dati strumentali (curva nera che inizia ne
). Le curve sono state filtrate con una media mobile a 40 anni. Le anomalie di temperatura sono
edia della serie di dati strumentali nel periodo 1961-1990. (Tratta da *Surface Temperature Reconstructions*
e Last 2,000 Years, National Academy of Sciences, Washington DC, USA, 2006.) (Reprinted with
ssion from the National Academies Press, Copyright 2006, National Academy of Sciences.)

Temperatura media superficiale terrestre (variazioni rispetto alla media del periodo 1951-1980)



Variazione nella distribuzione delle Temperature medie estive sulle terre emerse nell'Emisfero Nord:



Credit: James Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies

Riferimento:
Statistica Estati 1951-1980
Estati Normali: 1 su 3
Estati Fresche: 1 su 3
Estati Calde: 1 su 3

Decennio 2001-2011
Estati Normali: 1 su 6
Estati Fresche: 1 su 12
Estati Calde: 3 su 4
Estati record rispetto alla statistica 1951-1980: 1 su 12

Le tre condizioni essenziali per fare buone previsioni:

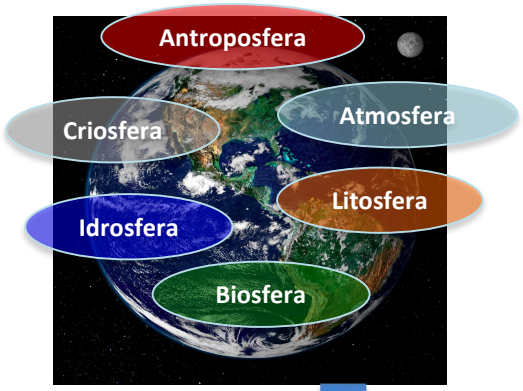
$$\rho \mathbf{g} - \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} = \rho \left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u}.\nabla \right) \mathbf{u}$$

Leggi della Fisica

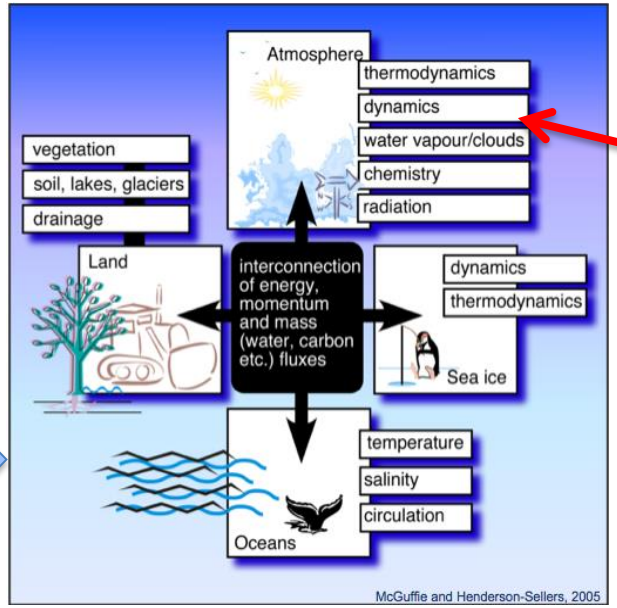
Buona rete osservativa

Enorme capacità di calcolo

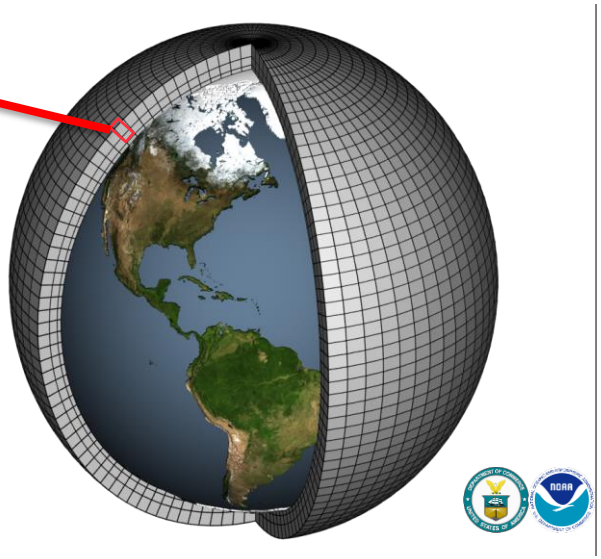
Modelli climatici



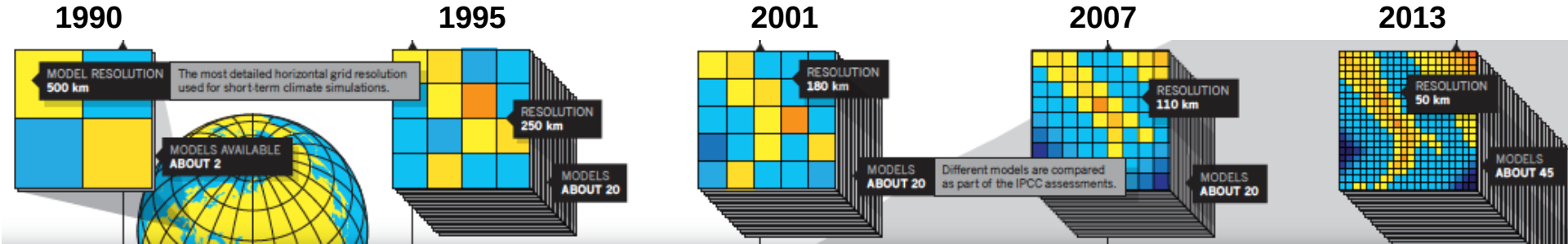
Equazioni



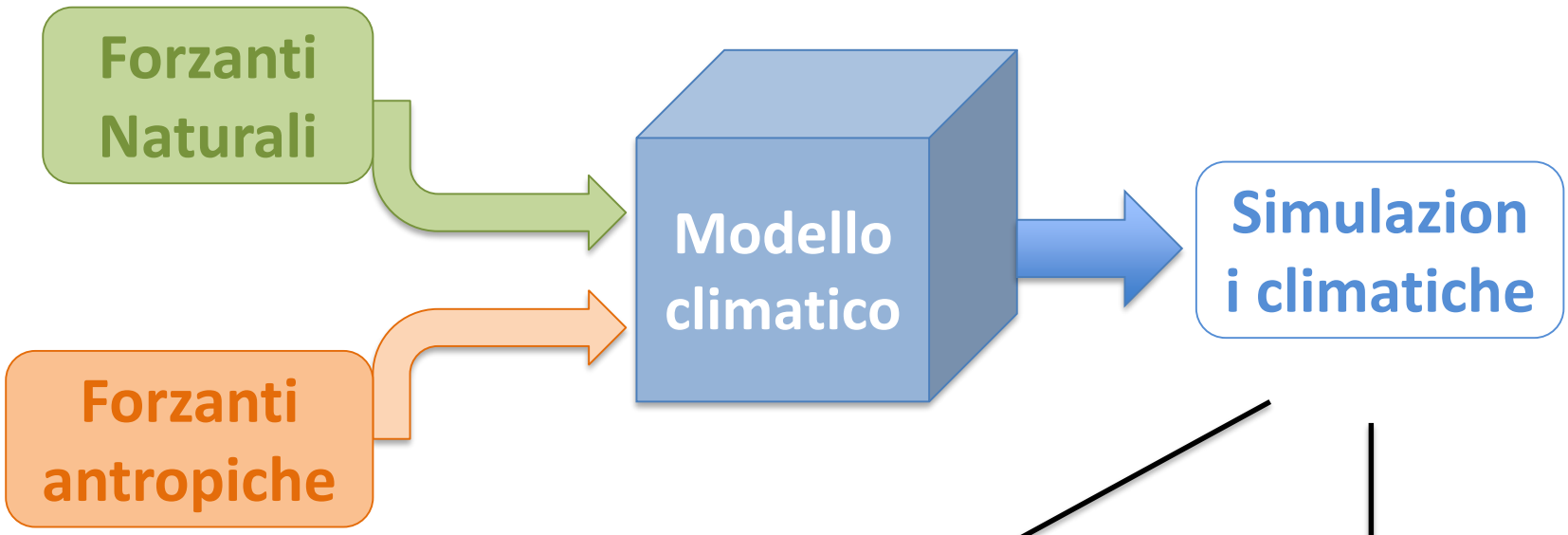
Risoluzione



L'avanzamento della ricerca e l'aumento delle capacità e velocità dei nuovi sistemi di calcolo hanno permesso lo sviluppo di modelli più sofisticati che descrivono in modo dettagliato i processi fisici, chimici e biologici nel sistema climatico ed hanno inoltre una risoluzione spaziale molto più elevata

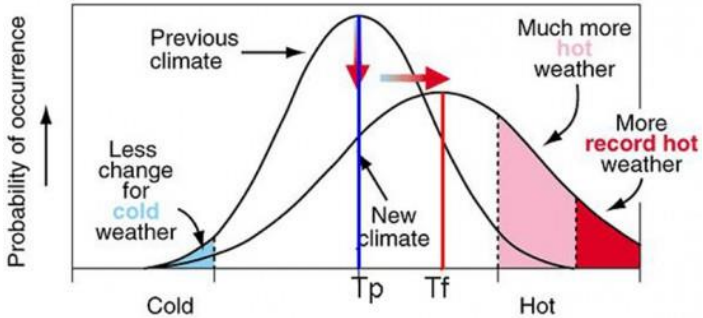


Modelli climatici



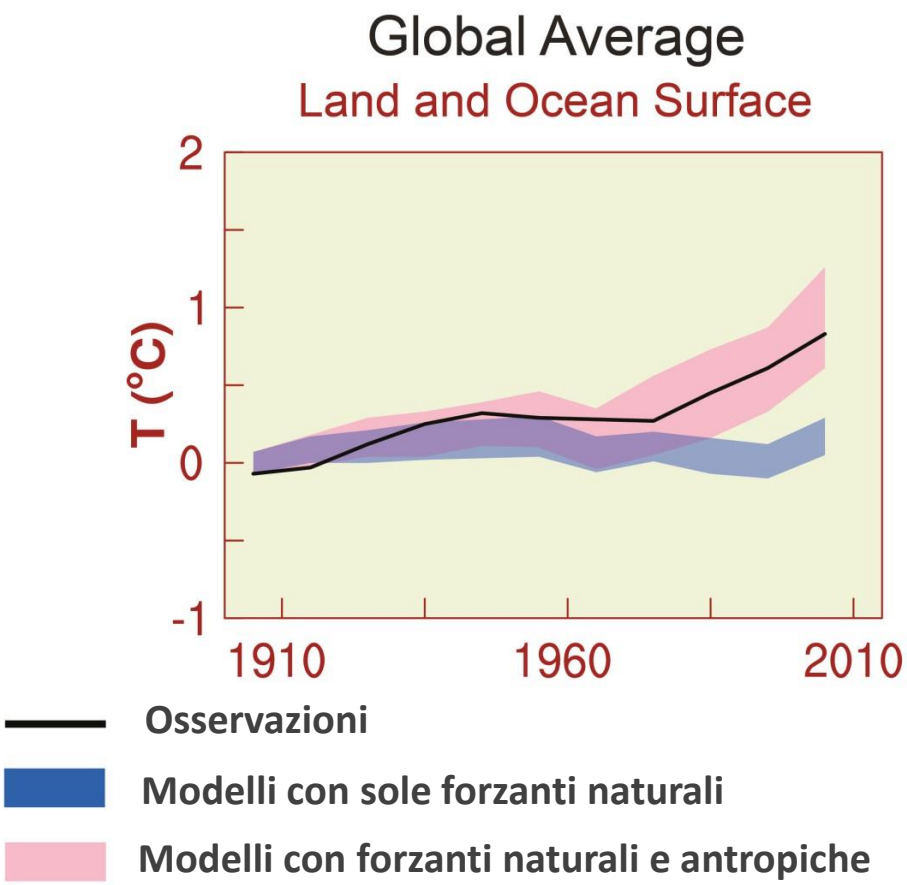
Proiezioni del clima futuro

Riproduzione del clima del passato ed attribuzione

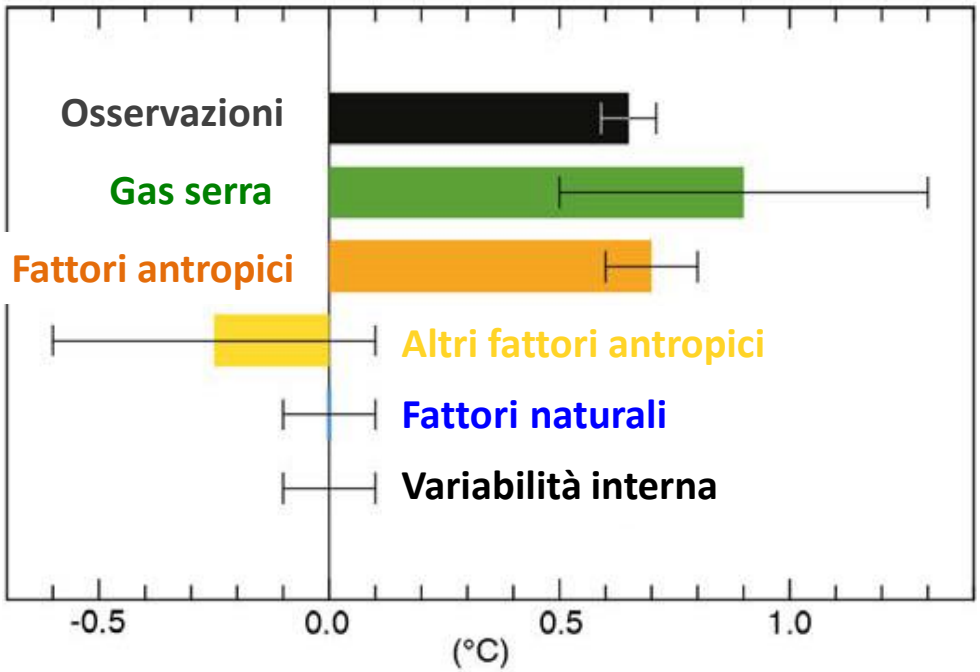


Cause del riscaldamento globale osservato negli ultimi 150 anni

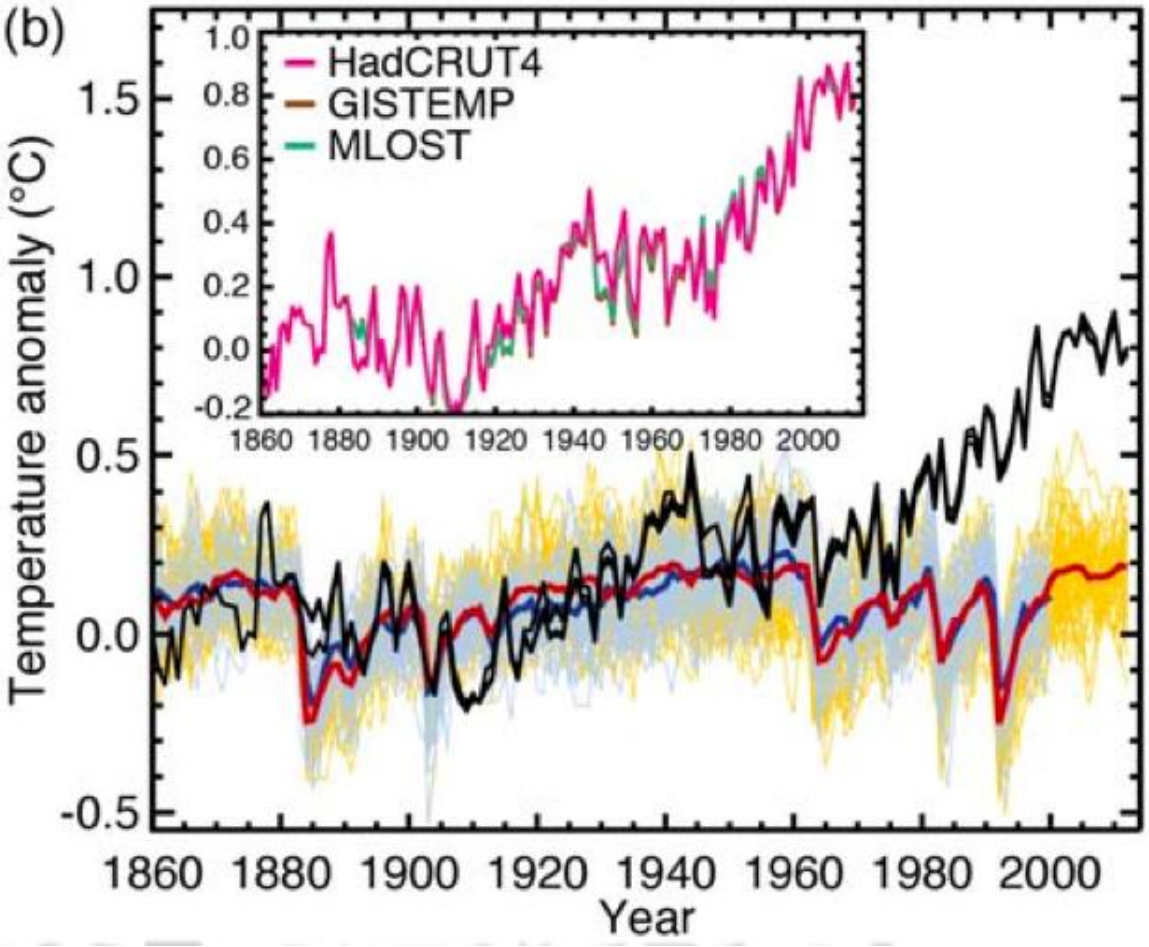
Il riscaldamento climatico è consistente con le simulazioni dei modelli che includono fattori naturali ed antropici



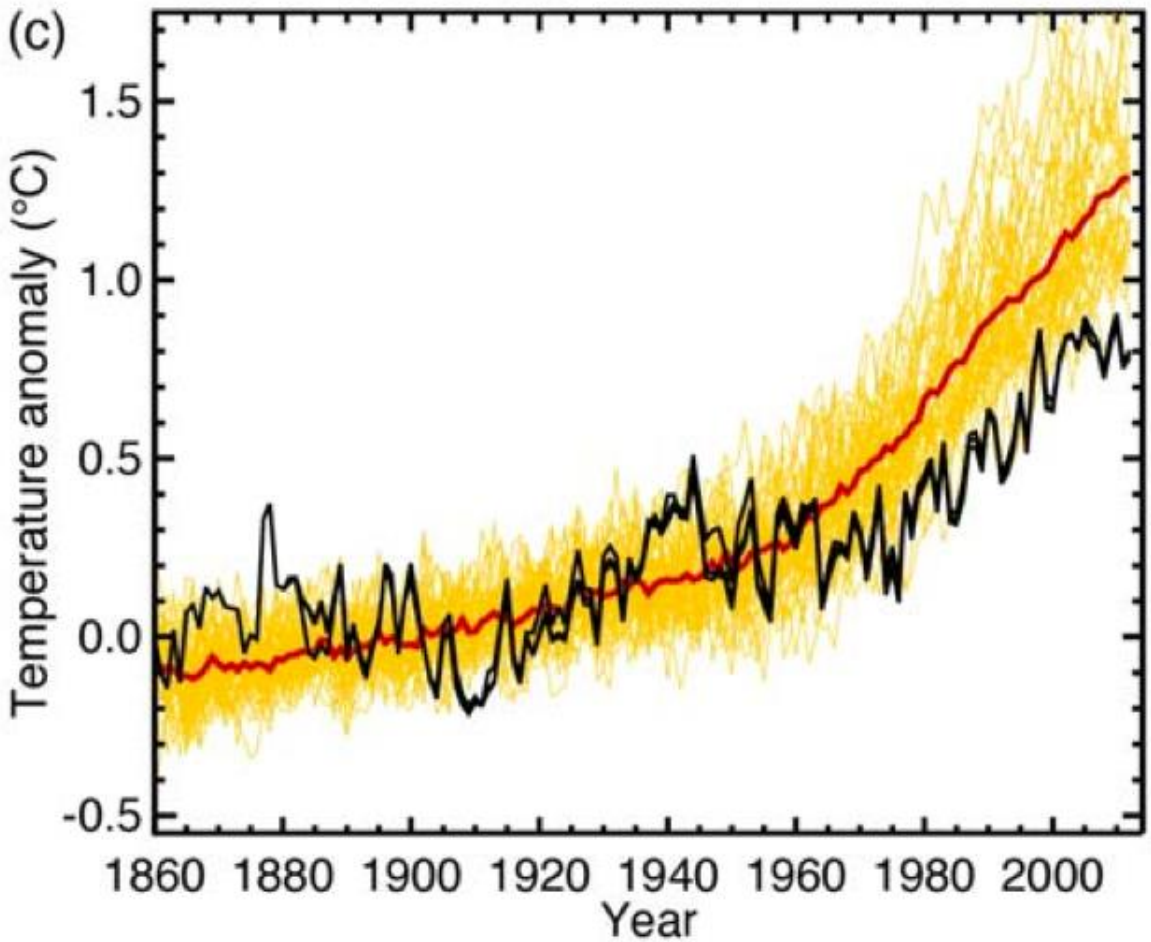
Entità del riscaldamento imputabile ai diversi fattori nel periodo 1951–2010



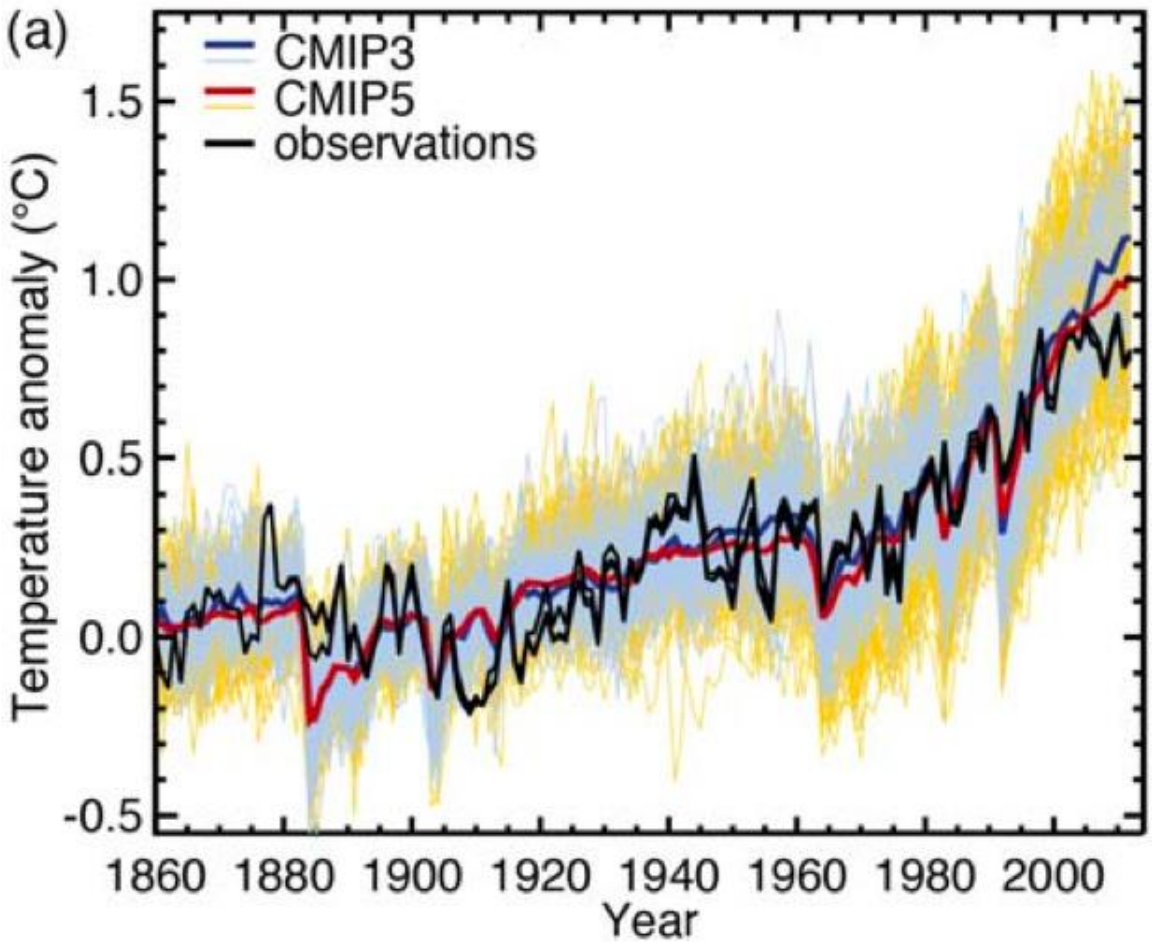
IPCC 2013 – Simulazioni Climatiche
Media globale della temperatura supeficiale
Forzanti naturali



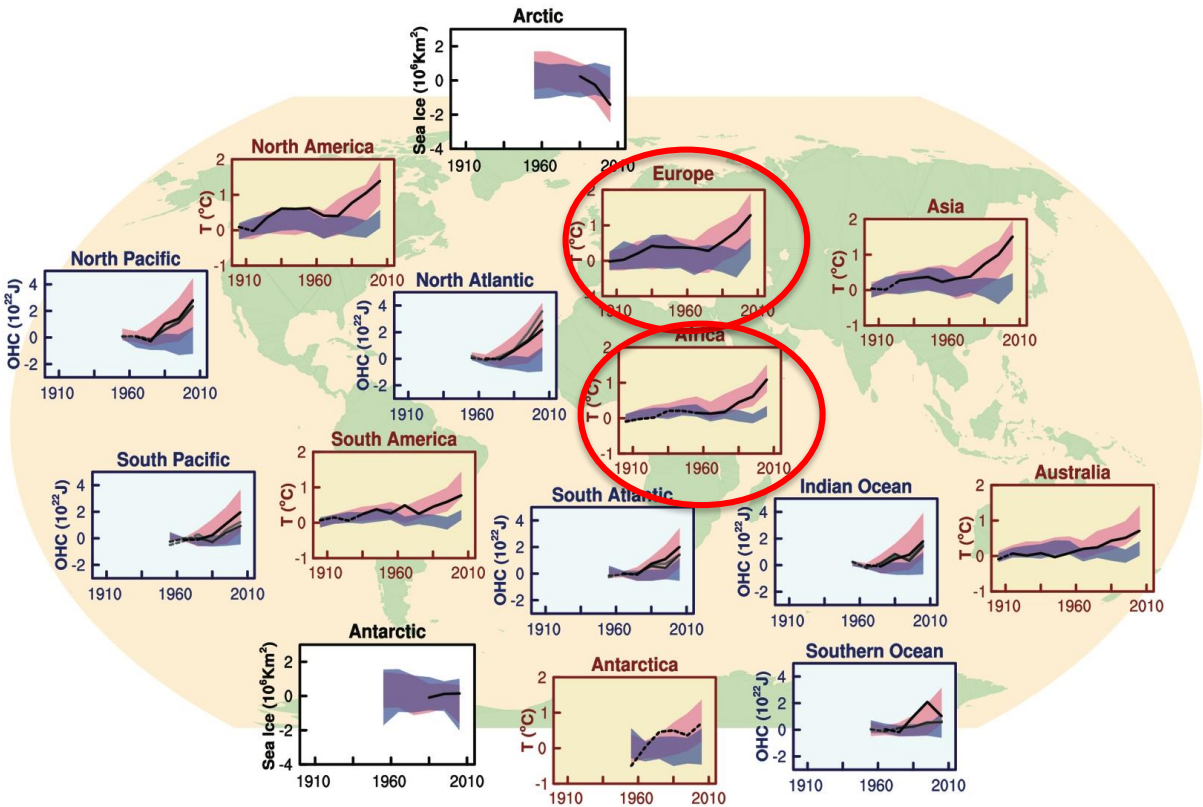
IPCC 2013 – Simulazioni climatiche
Media globale della temperatura superficiale
Forzanti antropiche

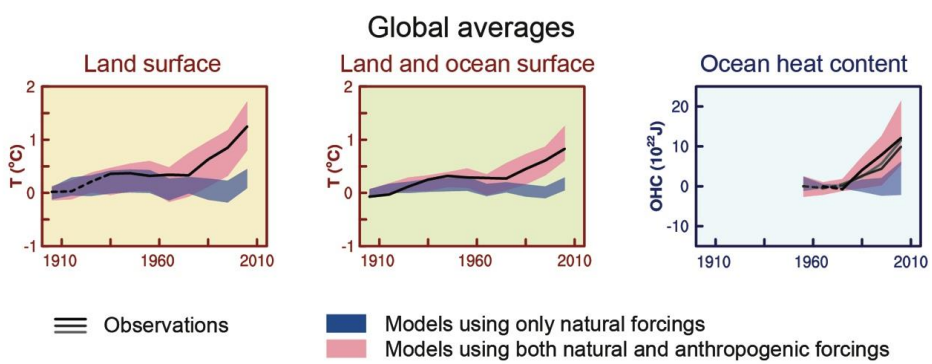


IPCC 2013 – Simulazioni Climatiche
Media globale della temperatura superficiale
Tutte le forzanti

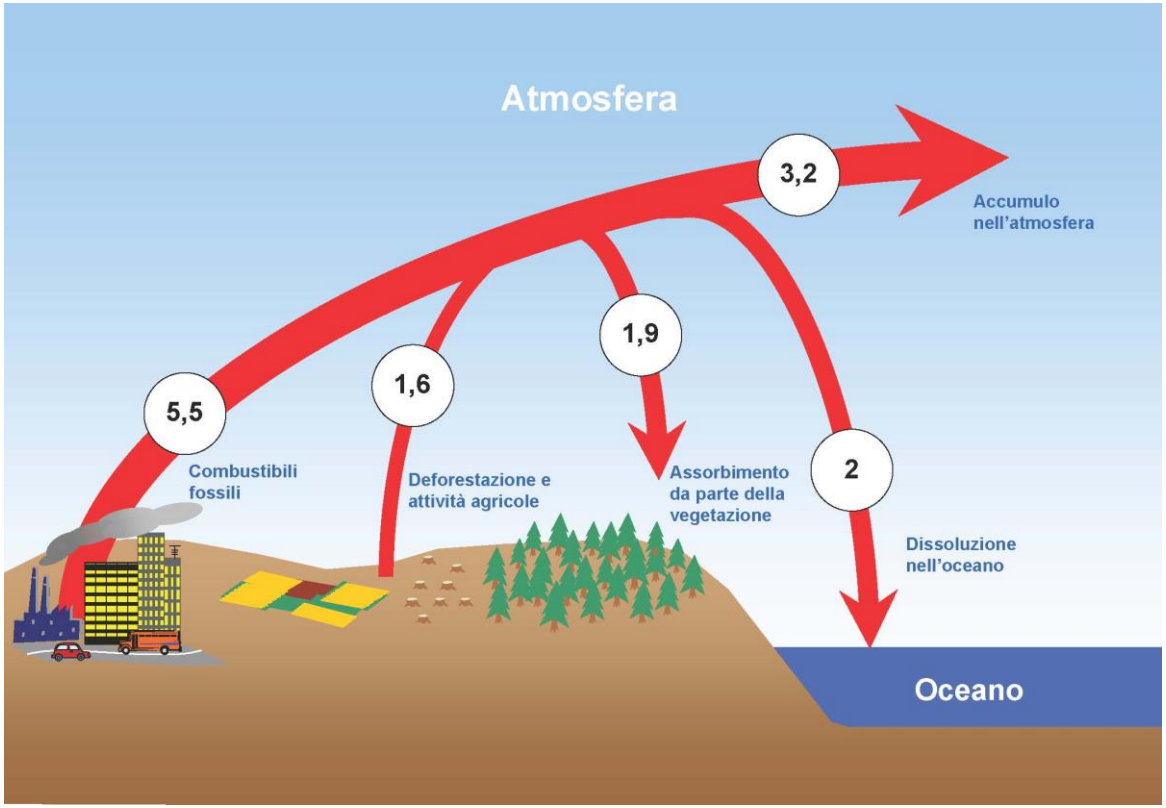


Il segnale di cambiamento climatico e la variabilità naturale variano nelle diverse regioni del globo.





Emissioni antropiche e processi di rimozione di CO_2 (Gt/anno)



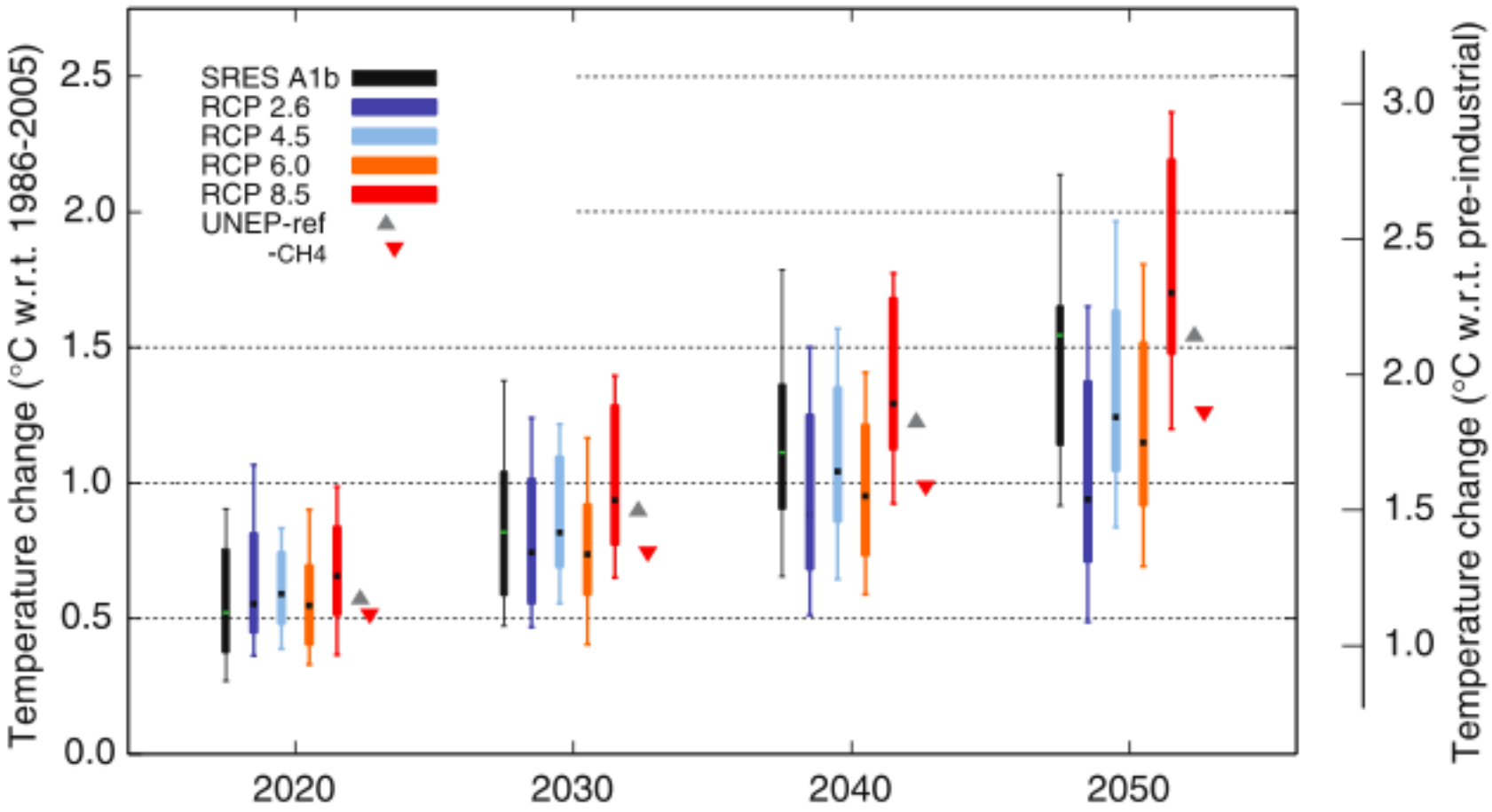
- Le emissioni future di gas serra causeranno indubbiamente ulteriore riscaldamento e cambiamenti in tutte le componenti del sistema climatico
- Limitare i cambiamenti climatici richiede riduzioni significative e continuative delle emissioni di gas serra

Proiezioni future

Le proiezioni future sui cambiamenti del sistema climatico terrestre sono effettuate utilizzando un insieme di modelli climatici, basandosi su un insieme di possibili scenari futuri che corrispondono a diversi percorsi di emissione di gas serra, chiamati RCP (*Representative Concentration Pathways*)

RCP	Concentrazione di gas serra espresse come CO_2 equivalenti al 2100
2.6	475 ppm
4.5	630 ppm
6.0	800 ppm
8.5	1313 ppm

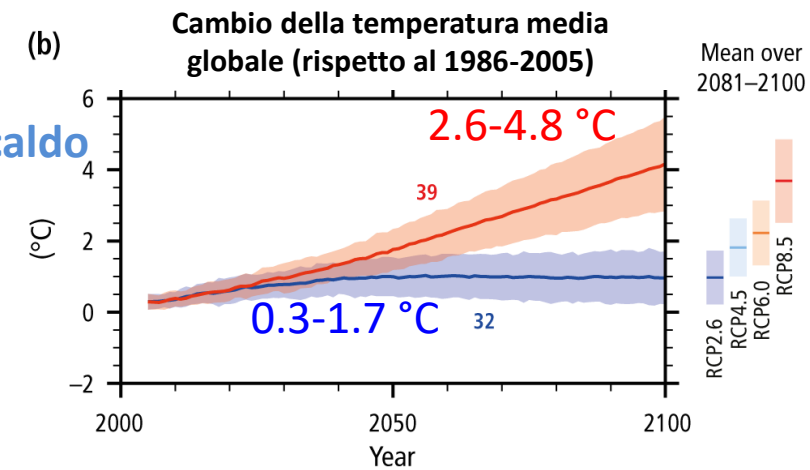
Variazioni di temperatura per diverse concentrazioni di CO2 e diverse scale temporali

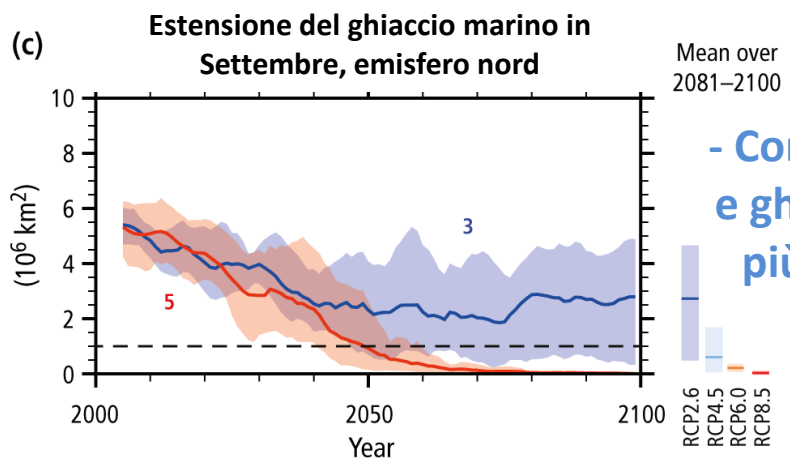


Proiezioni per il XXI secolo

A livello globale, i modelli climatici prevedono per la fine del 21° secolo un mondo:

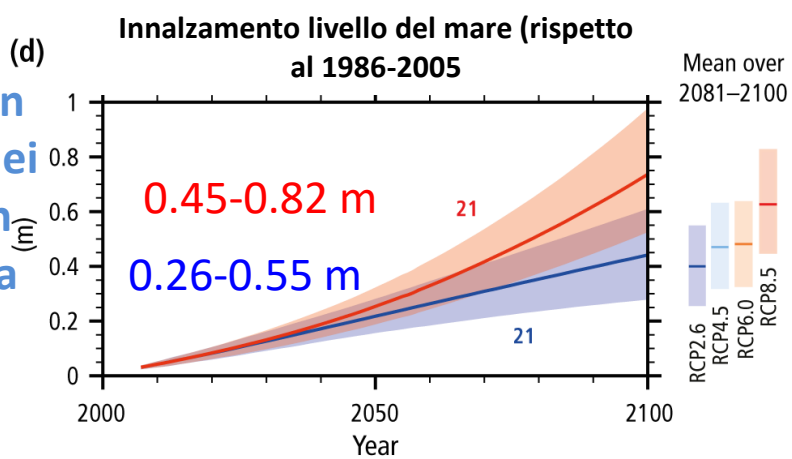
- Più caldo

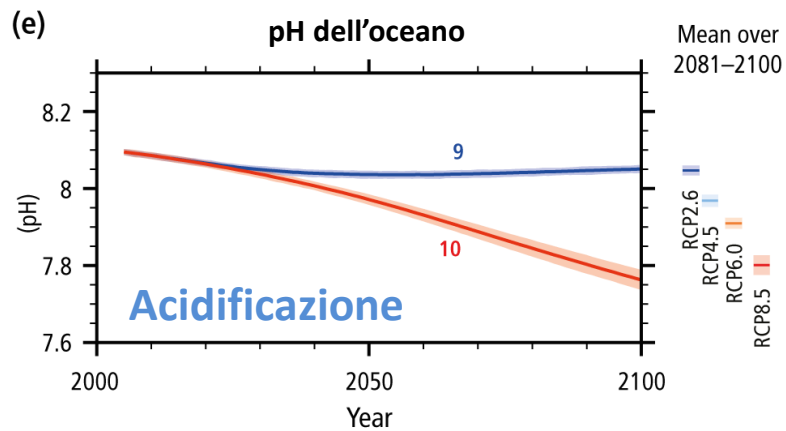




- Con neve e ghiaccio più rari

- Con un livello dei mari in crescita

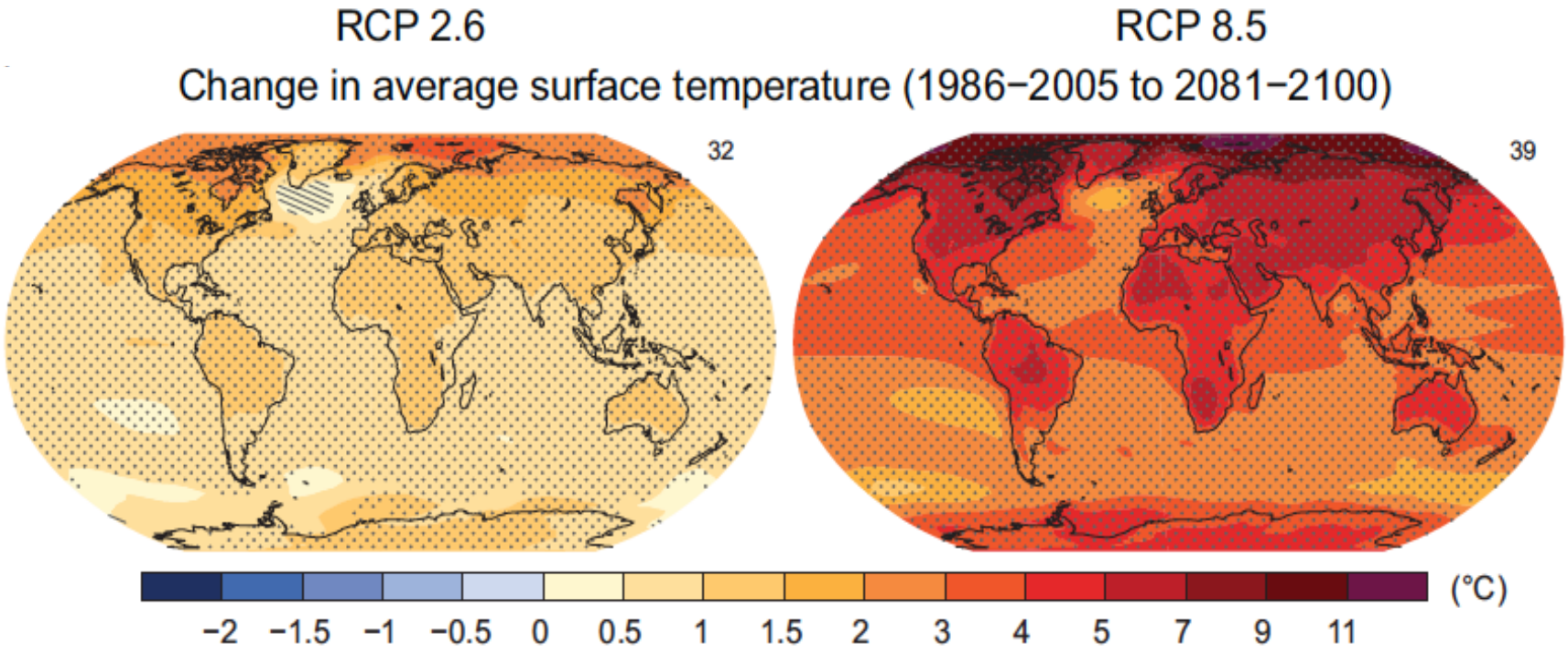




- Più piovoso in alcune regioni (oltre 60° latitudine), più secco in altre (inaridimento delle regioni tra 15°-40°, ad esempio il Mediterraneo)
- Con un ciclo idrologico intensificato ➞ più eventi estremi

IPCC 2013

Distribuzione geografica del riscaldamento climatico



ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Categorie di “incertezza” nel rapporto IPCC

Termine usato	Probabilità associata
Virtualmente certo	99-100%
Molto probabile	90-100%
Probabile	66-100%
Tanto probabile quanto no	33-66%
Improbabile	0-33%
Molto improbabile	0-10%
Estremamente improbabile	0-1%

Ad ogni affermazione contenuta nel rapporto IPCC è associata una probabilità (che l’affermazione sia corretta).

Tre principali fonti di incertezza per le proiezioni future:

1) Scenari di emissione

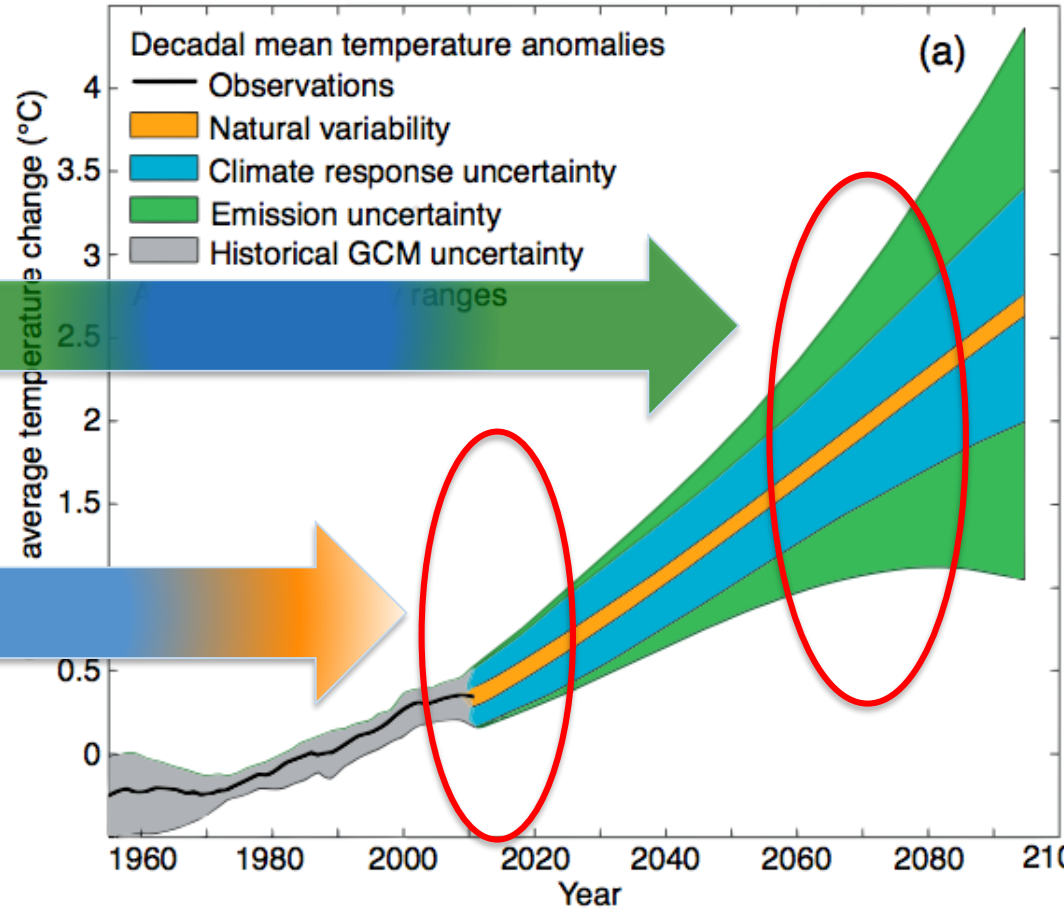
2) modelli/risposta climatica

3) Variabilità climatica naturale

Medie su 10 anni – Temperatura globale

1) e 2) importanti nel lungo periodo

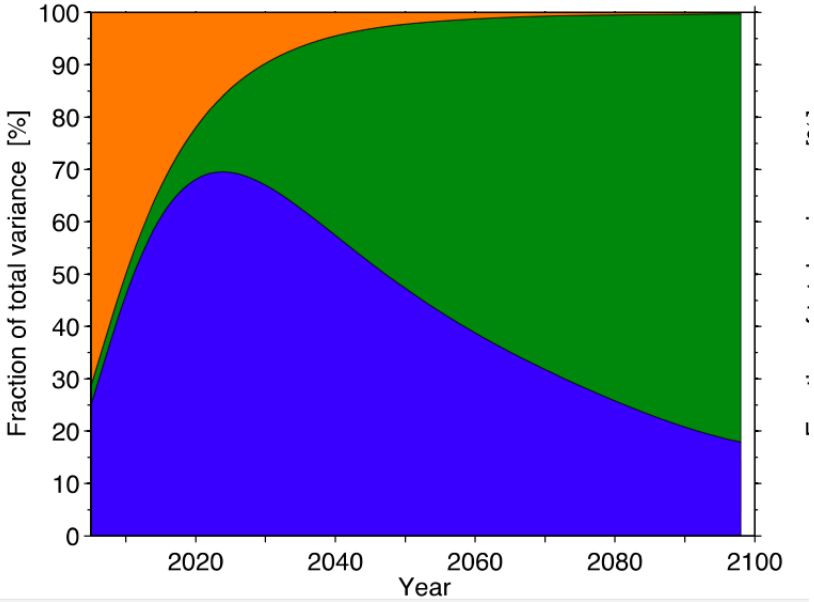
2) E 3) importanti nel breve periodo



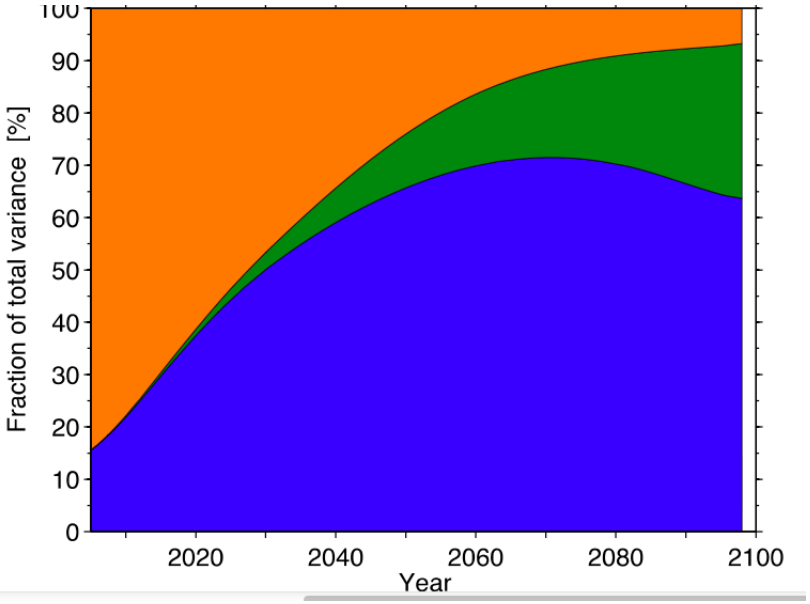
Come si suddividono le tre fonti di incertezza rispetto all'incertezza totale: due casi temperatura e precipitazione

1) Scenari di emissione
2) Modelli/risposta climatica
3) Variabilità climatica naturale

Incertezza sulla temperatura. Medie di 10 anni sul globo

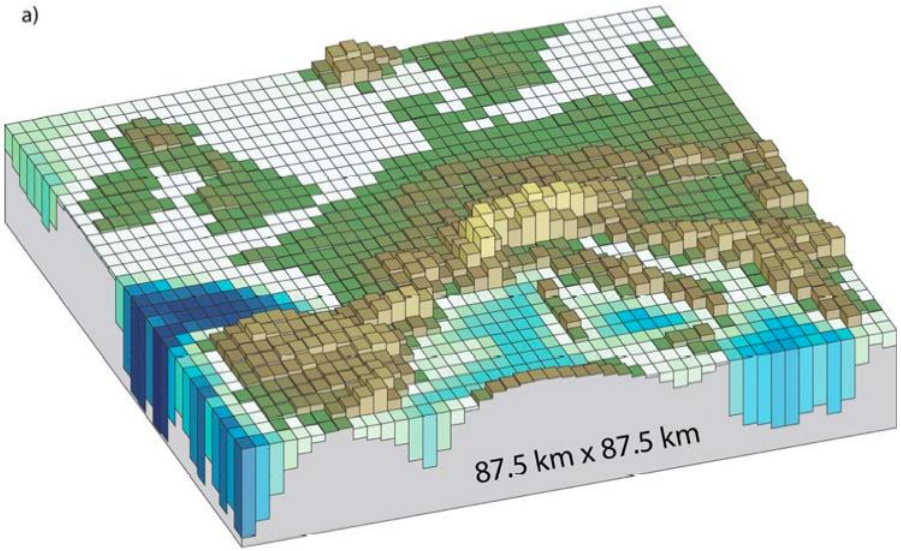


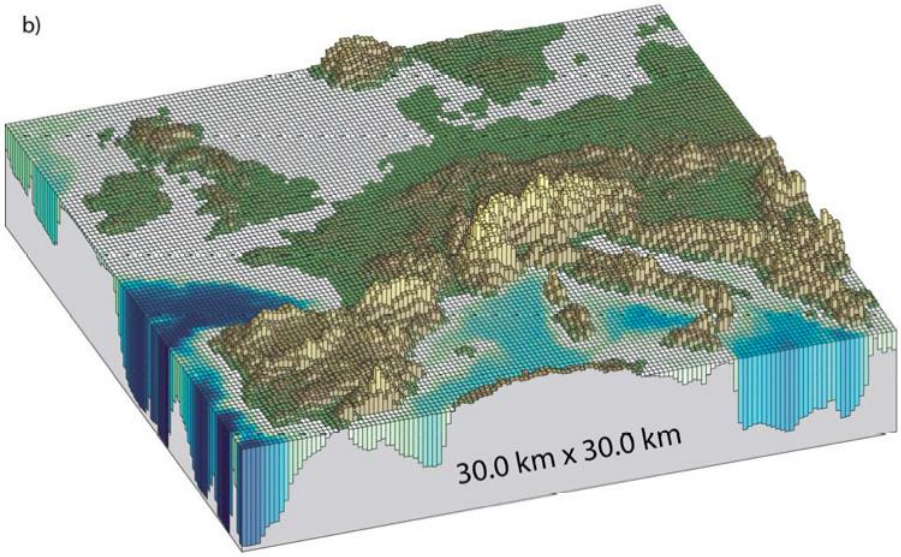
Incertezza sulla precipitazione. Medie di 10 anni per l'estate nell'Asia Sud-Orientale (Monsone Asiatico)



ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Strategie per ridurre l'incertezza: miglioramento nella risoluzione dei modelli del Sistema Terra (Earth-System Models)





Earth-System ad alta risoluzione oggi

Earth-System ad alta risoluzione domani

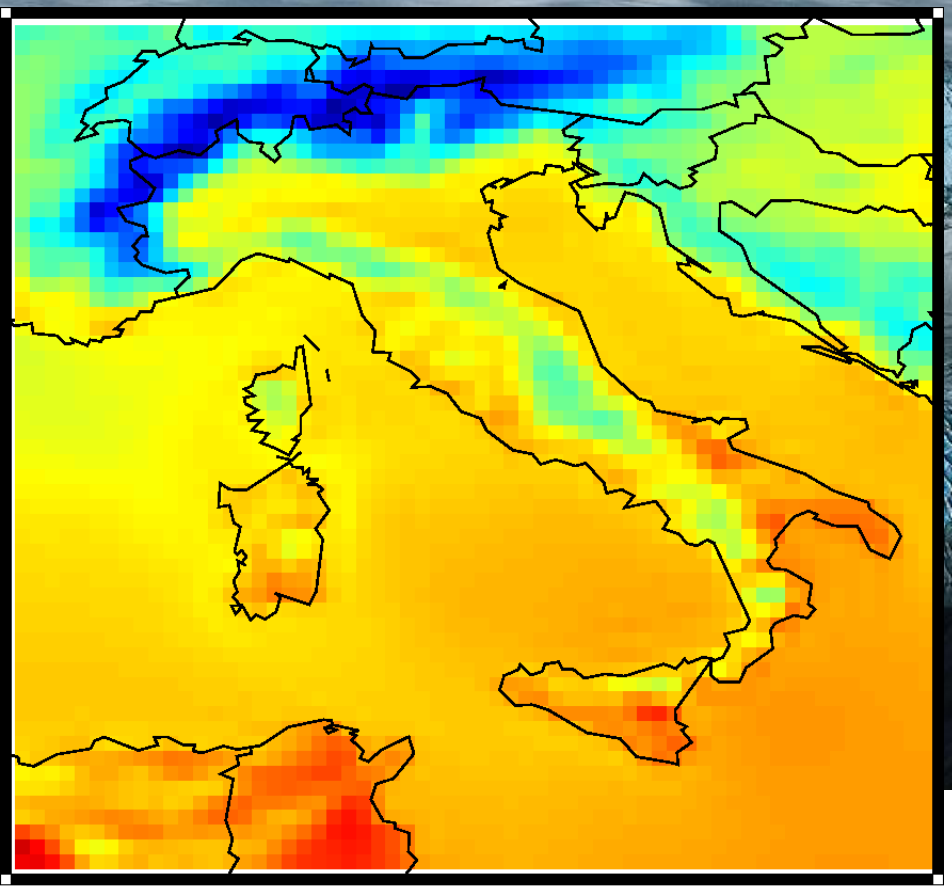
Climate Change 2013: The Physical Science Basis

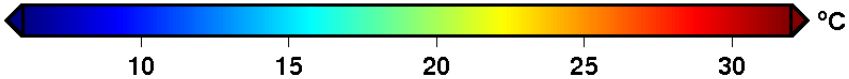
Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report

PRESENTE

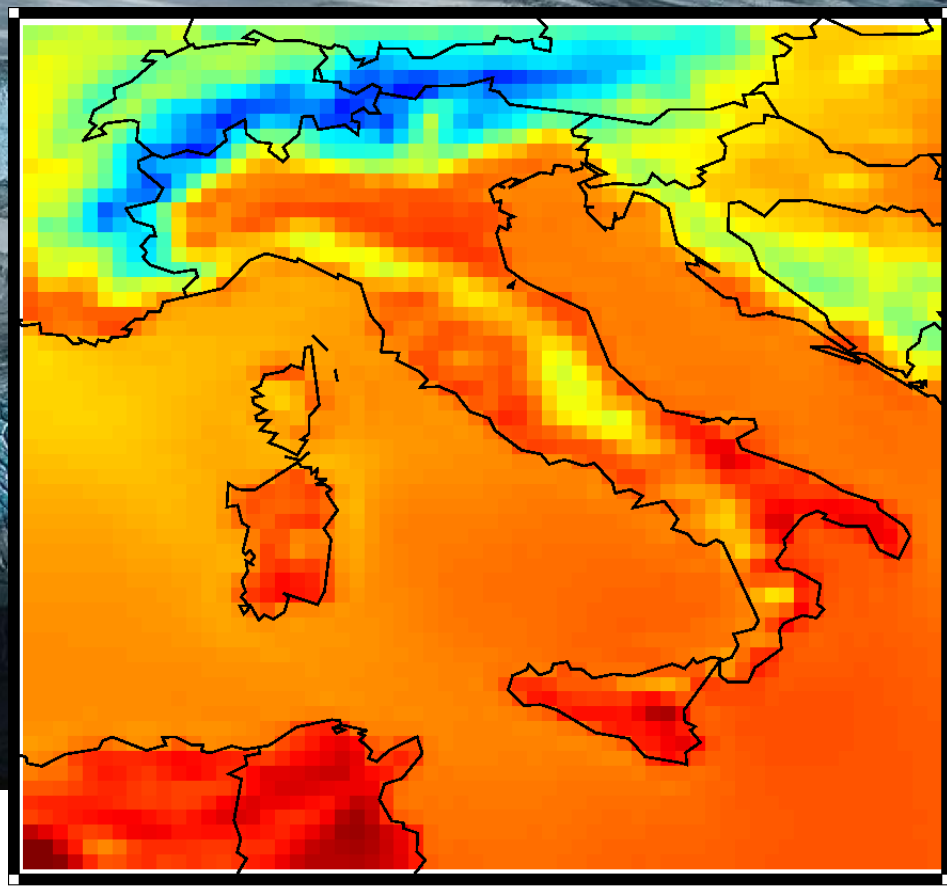
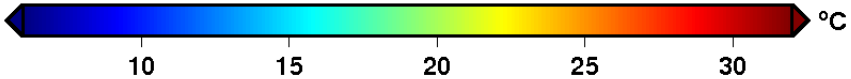
Temperatura media in estate <1979-2008>

Simulazione EC-Earth a 25 Km





SCENARIO FUTURO RCP8.5

Temperatura media in estate <1979-2008>

Simulazione EC-Earth a 25 Km