

## ZANICHELLI *Chiavi di lettura*

**Il clima del 2050 dipende dalle scelte di oggi. Per questa data, la temperatura media globale avrà superato la soglia di 1,5 gradi in più rispetto alla seconda metà dell'Ottocento. Quali conseguenze ci aspettano? I modelli climatici ci aiutano a costruire proiezioni di possibili scenari futuri e a prendere decisioni consapevoli.**

Le leggi che descrivono il clima, dalla meccanica alla termodinamica, sono note da secoli. Ma il clima, come il meteo, è un sistema complesso, in cui le variabili interagiscono tra loro e si influenzano a vicenda. Per studiare i cambiamenti climatici, oggi la scienza usa computer sempre più potenti, capaci di elaborare grandi quantità di dati e creare simulazioni sempre più realistiche.

Dalla fisica e dalla matematica del clima, agli strumenti per prevedere gli impatti globali e locali, questo libro è una guida per capire il lavoro di chi fa ricerca dietro ai grafici e alle sigle che rimbalzano sui media, compresa la «missione» più difficile: comunicare i dati ai decisori politici.



EXTENDED BOOK

Gli **Extended Book** offrono la possibilità di accedere a nuovi contenuti, trasformando il libro in un punto di partenza per approfondire un tema, soddisfare una curiosità, nutrire una passione.

Per scoprire le risorse di questo libro controlla il frontespizio.



58

Cherchi Corti

CLIMA 2050

Annalisa Cherchi Susanna Corti

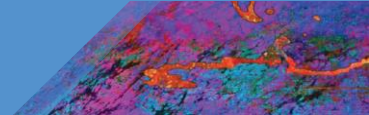
# CLIMA 2050

La matematica e la fisica  
per il futuro del sistema Terra



ZANICHELLI

ZANICHELLI



## QUALCHE CIFRA...

### Gli autori

**234** autori da **65** paesi

**28%** donne, **72%** uomini

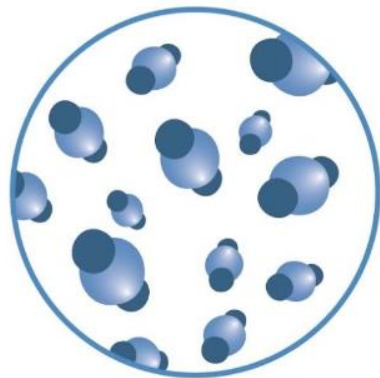
**30%** nuovi all' **IPCC**

### Processo di revisione

**14,000** pubblicazioni scientifiche  
sono state valutate

**78,000+** commenti durante le tre  
fasi di revisione

## CO<sub>2</sub> concentration



**Highest**

in at least

**2 million years**

## Sea level rise



**Fastest rates**

in at least

**3000 years**

## Arctic sea ice area



**Lowest level**

in at least

**1000 years**

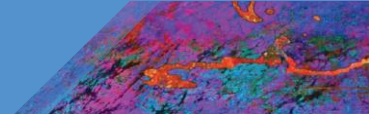
## Glaciers retreat



**Unprecedented**

in at least

**2000 years**



## Extreme heat

More frequent

More intense



## Heavy rainfall

More frequent

More intense



## Drought

Increase in some  
regions



## Fire weather

More frequent

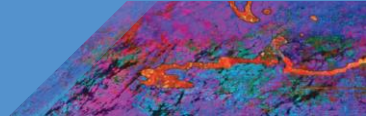


## Ocean

Warming

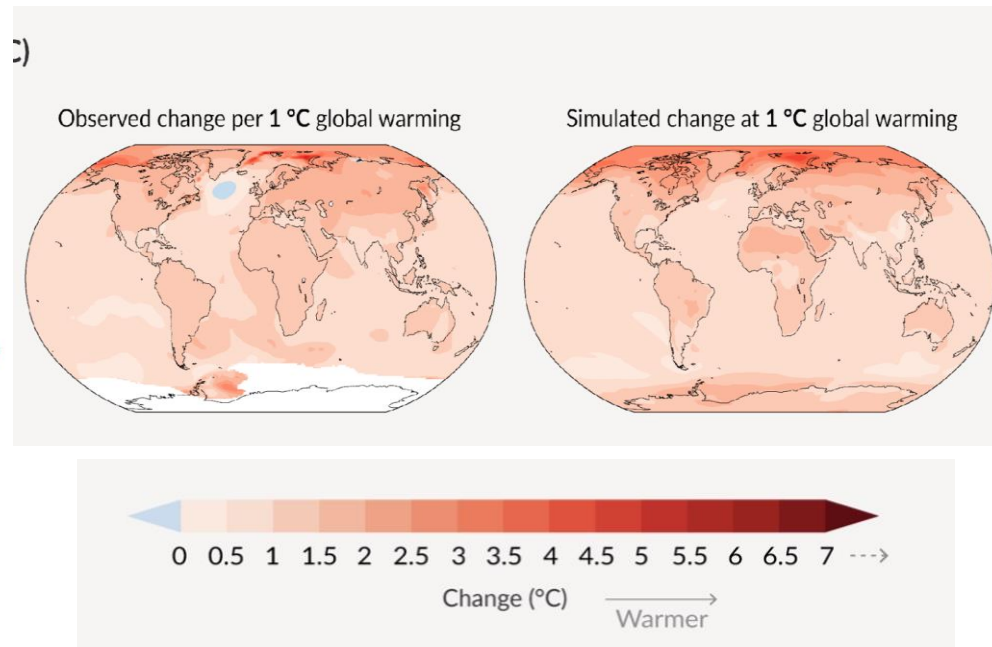
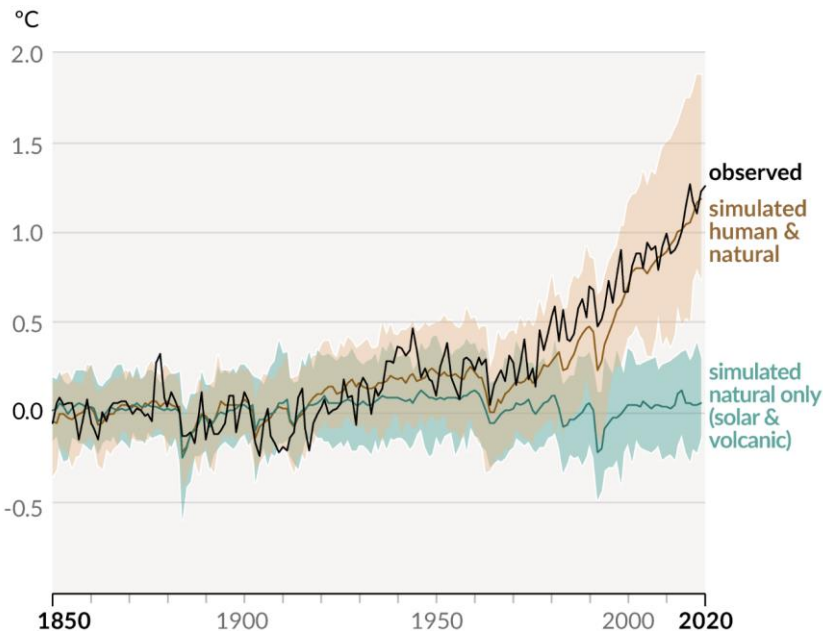
Acidifying

Losing oxygen



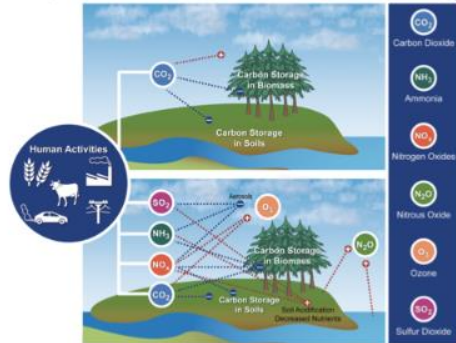
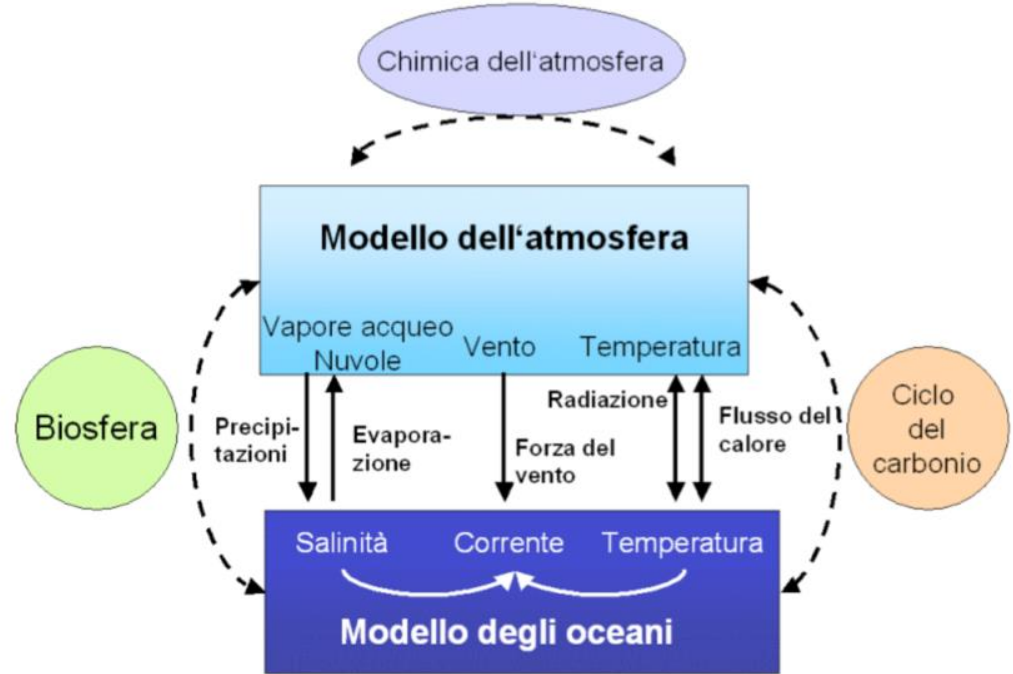
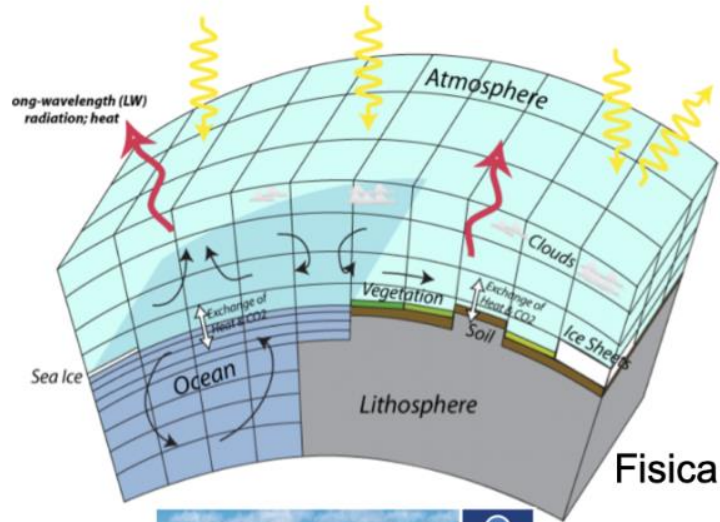
## L'influenza umana ha riscaldato il clima a un ritmo che non ha precedenti negli ultimi 2000 anni (almeno).

b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850-2020)



# Importanza dei modelli numerici per lo studio del clima

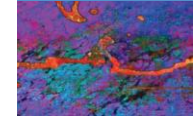
## Modelli globali del clima



**Biogeochimica**

Sistema di equazioni non lineare, integrazioni numeriche, risoluzione griglia orizzontale, parametrizzazioni

# Global greenhouse gas emissions and warming scenarios



- Each pathway comes with uncertainty, marked by the shading from low to high emissions under each scenario.
- Warming refers to the expected global temperature rise by 2100, relative to pre-industrial temperatures.

## Annual global greenhouse gas emissions in gigatonnes of carbon dioxide-equivalents

150 Gt

100 Gt

50 Gt

Greenhouse gas emissions  
up to the present

0

1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100

### No climate policies

4.1 – 4.8 °C

→ expected emissions in a baseline scenario if countries had not implemented climate reduction policies.

### Current policies

2.5 – 2.9 °C

→ emissions with current climate policies in place result in warming of 2.5 to 2.9°C by 2100.

### Pledges & targets (2.1 °C)

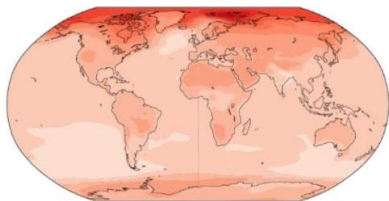
→ emissions if all countries delivered on reduction pledges result in warming of 2.1°C by 2100.

2°C pathways

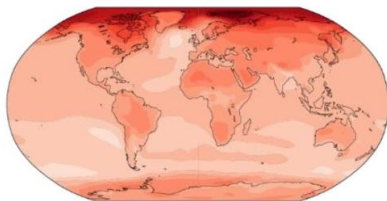
1.5°C pathways

Simulated changes...

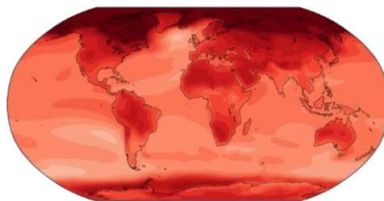
...at 1.5°C



...at 2°C



...at 4°C



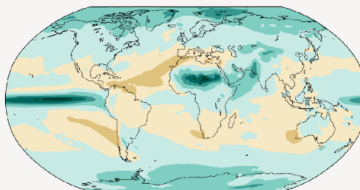
**Ogni incremento del riscaldamento globale comporta ulteriori variazioni nella temperatura**

**... e nelle precipitazioni.**

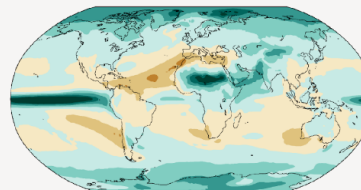
**c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900**

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

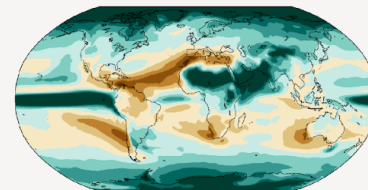
Simulated change at 1.5 °C global warming



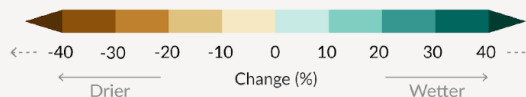
Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming

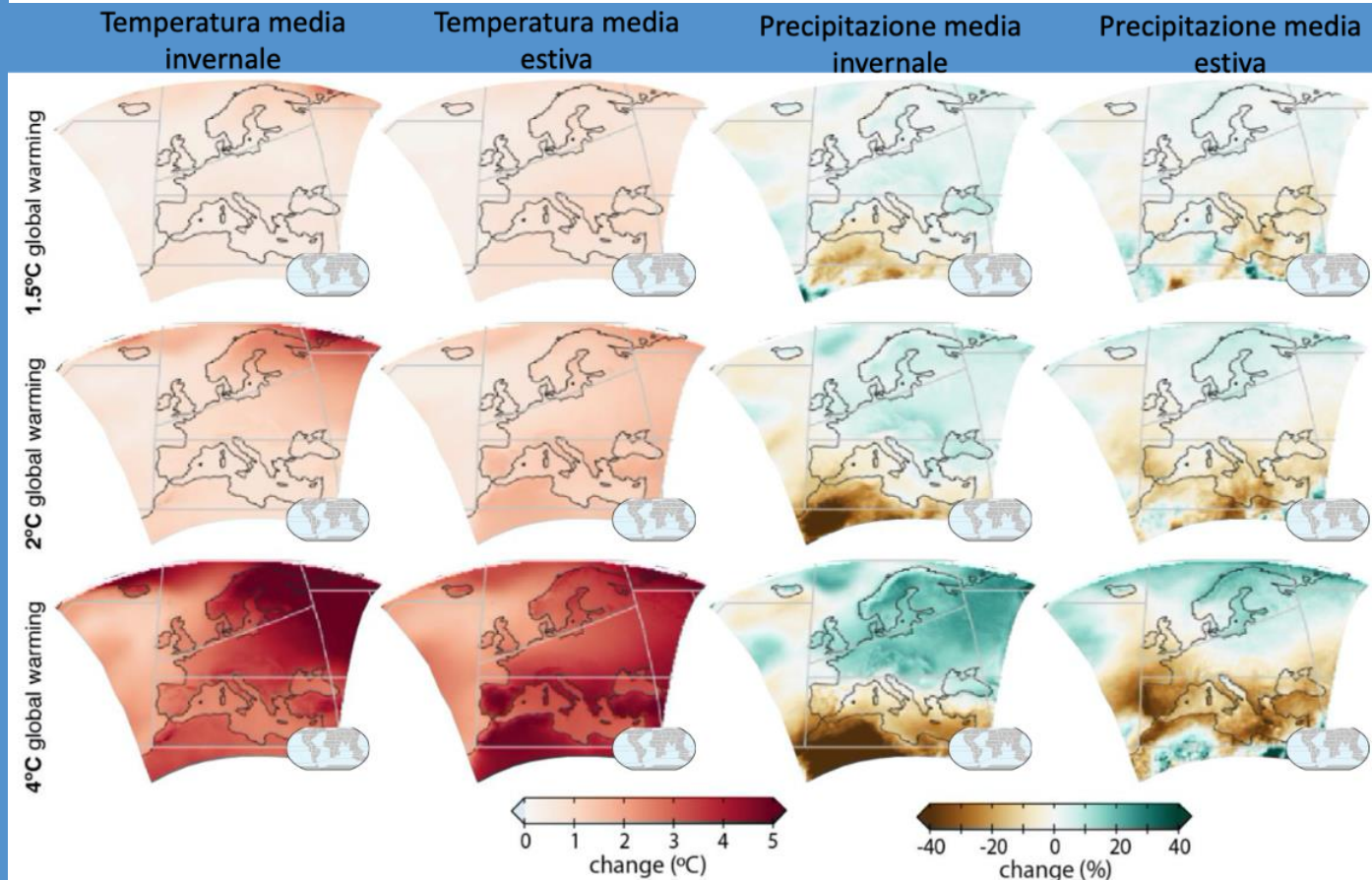


Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions





## Il Clima del futuro



## Il cambiamento climatico sta già interessando ogni regione abitata del mondo. L'influenza umana contribuisce a molte variazioni osservate nelle condizioni meteorologiche e negli estremi climatici.

### Estremi caldi

a) Synthesis of assessment of observed change in **hot extremes** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions

Type of observed change in hot extremes

Increase (41)

Decrease (0)

Low agreement in the type of change (2)

Limited data and/or literature (2)

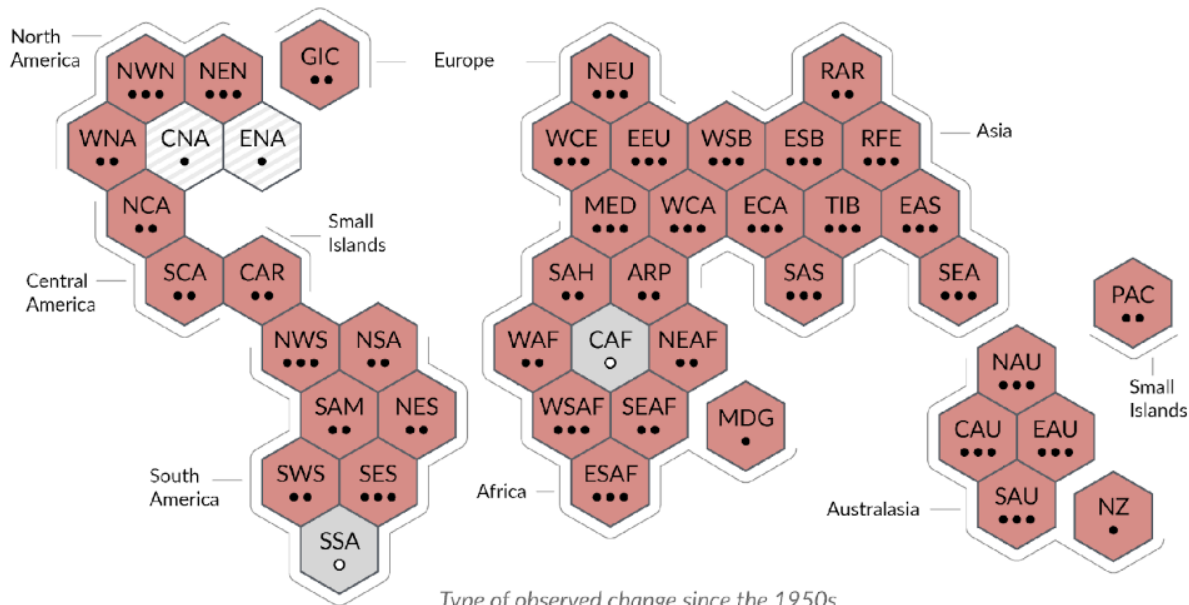
Confidence in human contribution to the observed change

●●● High

●● Medium

● Low due to limited agreement

○ Low due to limited evidence



# Ad ogni incremento del riscaldamento globale i cambiamenti previsti negli estremi saranno maggiori in frequenza e intensità

## Estremi caldi sulle terre emerse

### Hot temperature extremes over land

#### 10-year event

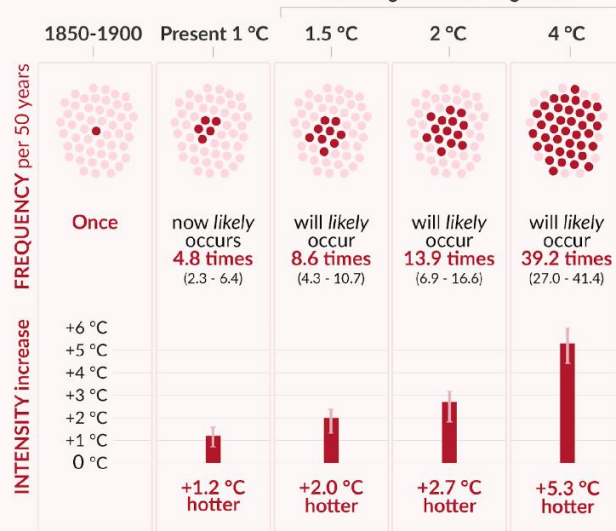
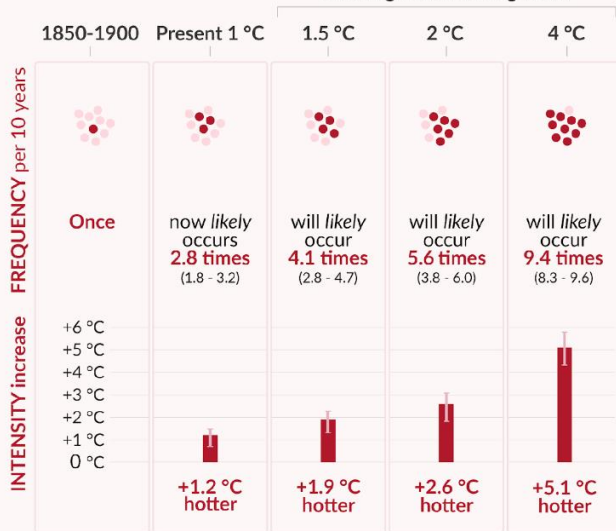
Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred **once in 10 years** on average in a climate without human influence

#### 50-year event

Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred **once in 50 years** on average in a climate without human influence

#### Future global warming levels

#### Future global warming levels



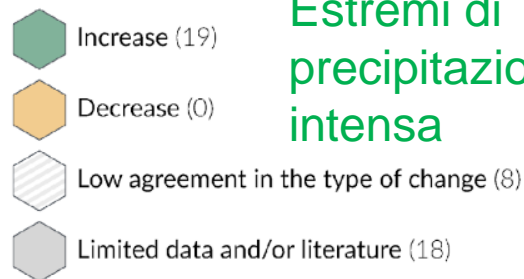
Una volta in 50 anni nel 1850-1900

Una volta in 10 anni nel 1850-1900

## Il cambiamento climatico sta già interessando ogni regione abitata del mondo. L'influenza umana contribuisce a molte variazioni osservate nelle condizioni meteorologiche e negli estremi climatici.

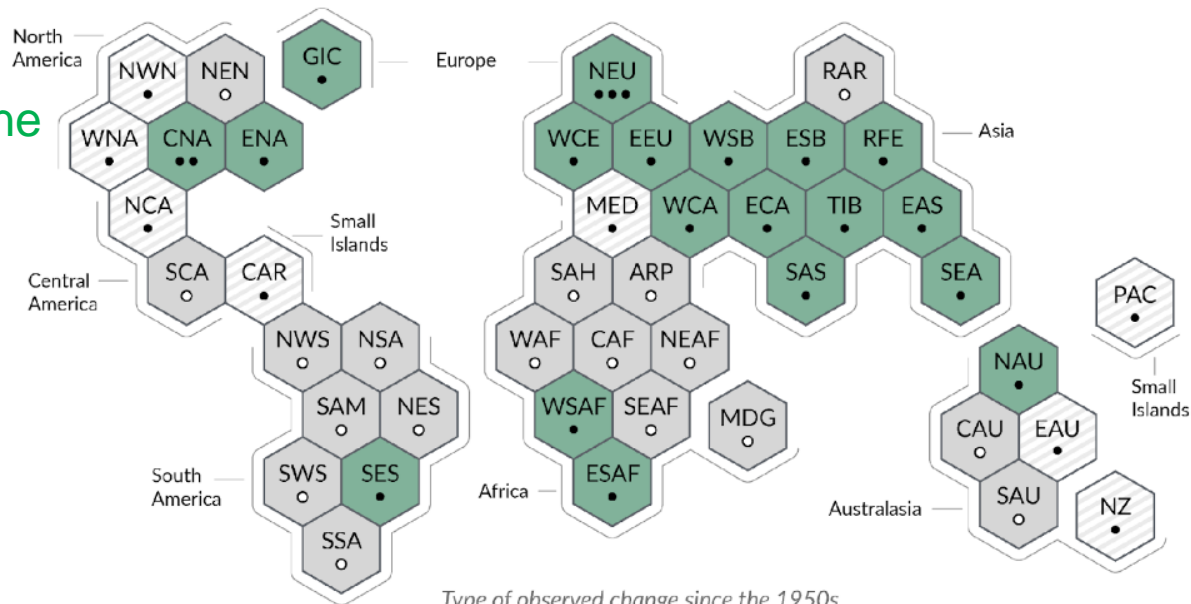
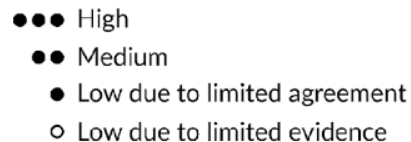
b) Synthesis of assessment of observed change in **heavy precipitation** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions

Type of observed change in heavy precipitation



Estremi di precipitazione intensa

Confidence in human contribution to the observed change



Type of observed change since the 1950s

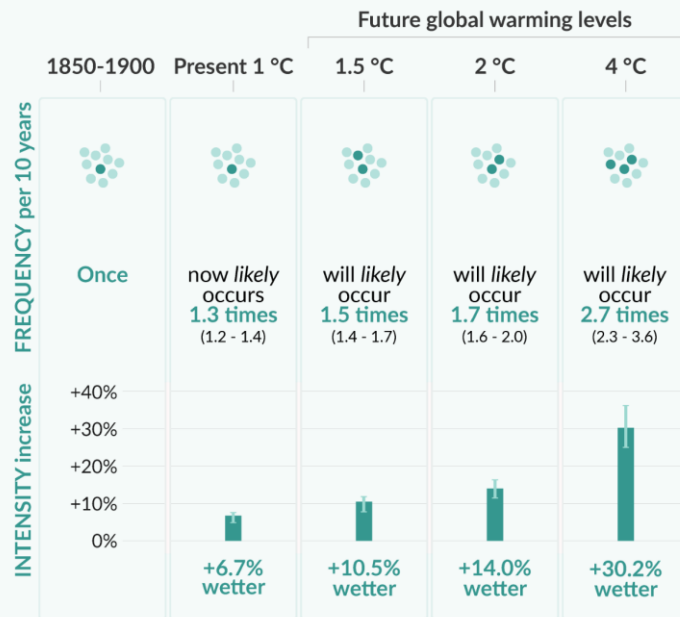
# Ad ogni incremento del riscaldamento globale i cambiamenti previsti negli estremi saranno maggiori in frequenza e intensità

## Heavy precipitation over land

### 10-year event

Frequency and increase in intensity of heavy 1-day precipitation event that occurred **once in 10 years** on average in a climate without human influence

Una volta  
in 10 anni  
nel 1850-1900



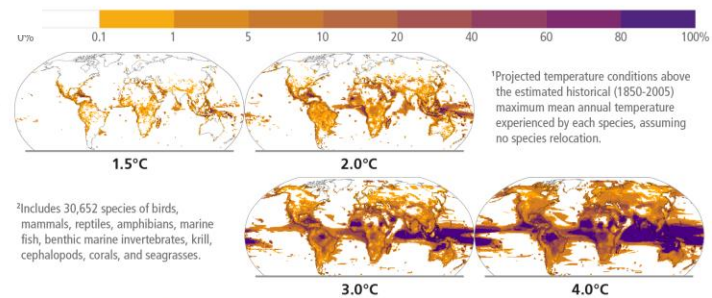
Estremi di  
precipitazione  
sulle terre emerse

# Si prevede che i futuri cambiamenti climatici aumenteranno la gravità degli impatti sui sistemi naturali e umani e aumenteranno le differenze tra le diverse regioni del mondo.

From IPCC AR6  
Synthesis Report 20-  
03-2023

## Rischio per le specie

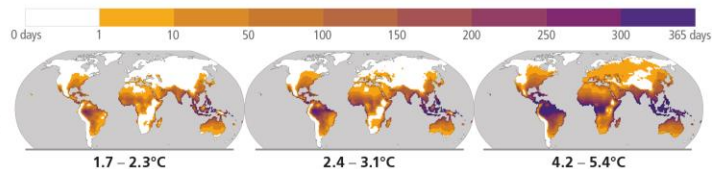
**d) Risk of species losses**  
Percentage of animal species and seagrasses exposed to potentially dangerous temperature conditions<sup>1,2</sup>



## Rischio per la salute umana causato da umidità e calore



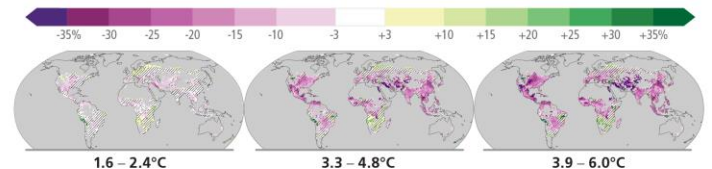
**Days per year** where combined temperature and humidity conditions pose a risk of mortality to individuals<sup>3</sup>



## Impatto sulla produzione di cibo



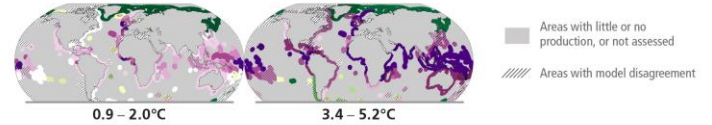
### Resa del mais (variazione %)



### Resa della pesca (variazione %)

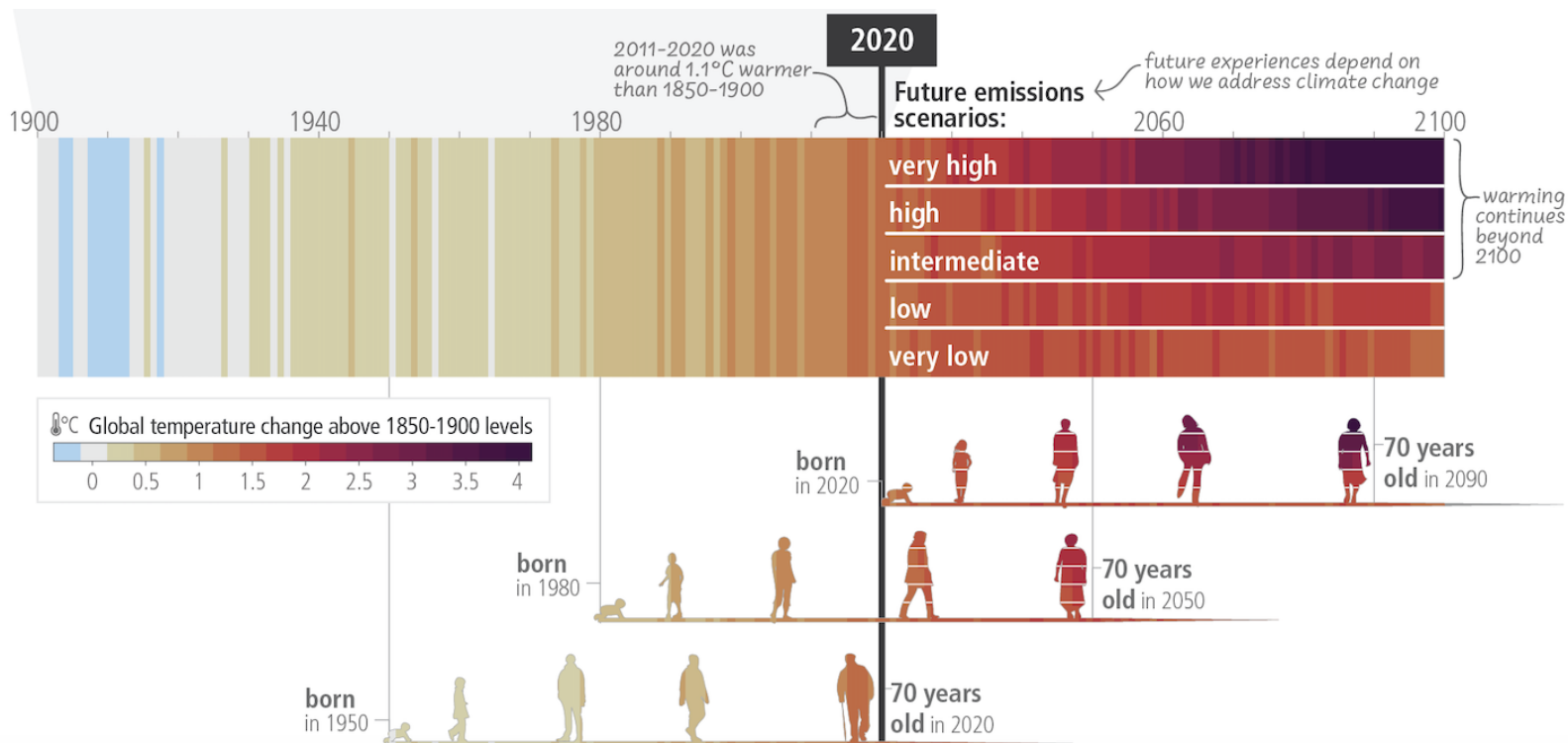


potential



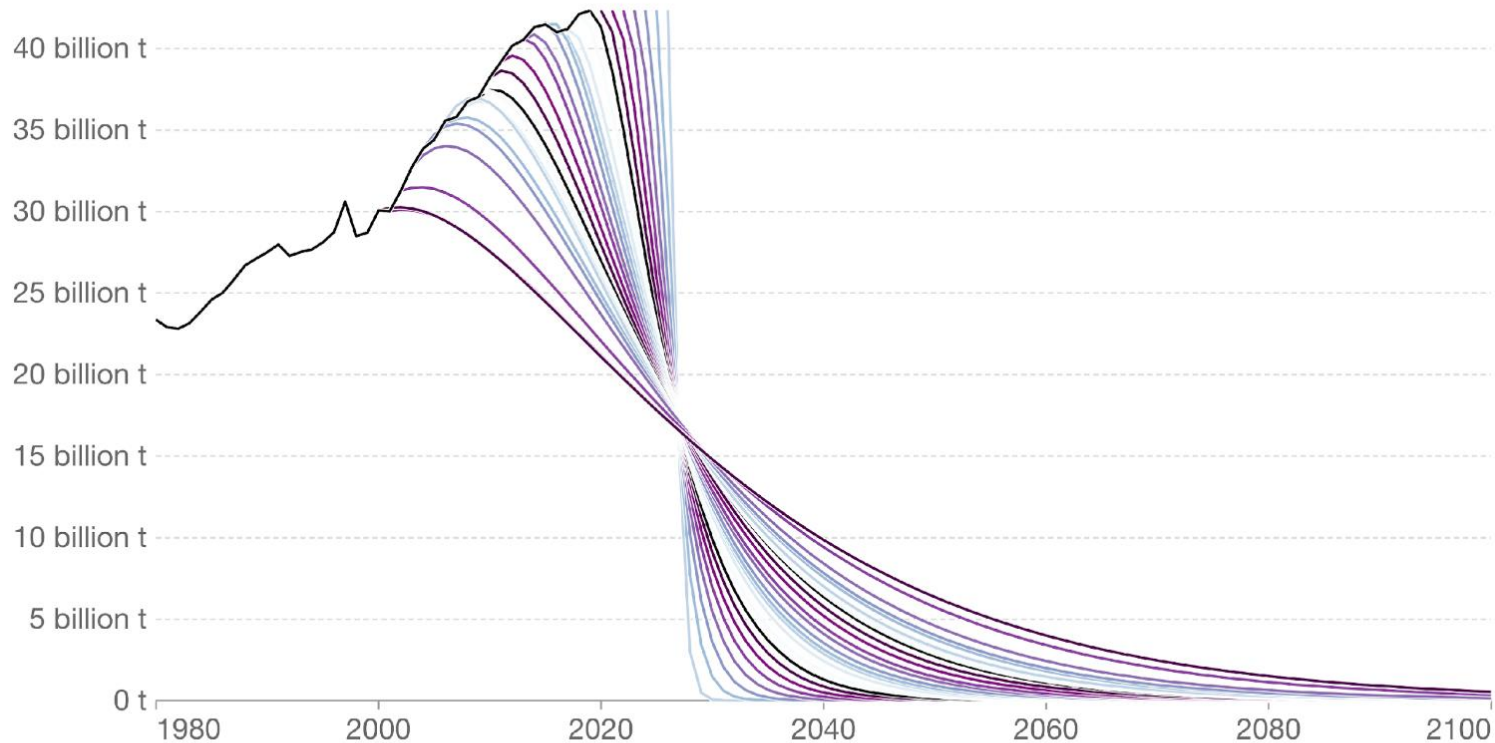
Dal rapporto di Sintesi IPCC AR6 20-03-2023

Il mondo in cui vivranno i bambini e i giovani di oggi dipende dalle nostre scelte di adesso



# CO<sub>2</sub> reductions needed to keep global temperature rise below 1.5°C

Annual emissions of carbon dioxide under various mitigation scenarios to keep global average temperature rise below 1.5°C. Scenarios are based on the CO<sub>2</sub> reductions necessary if mitigation had started – with global emissions peaking and quickly reducing – in the given year.



Source: Robbie Andrews (2019); based on Global Carbon Project & IPCC SR15

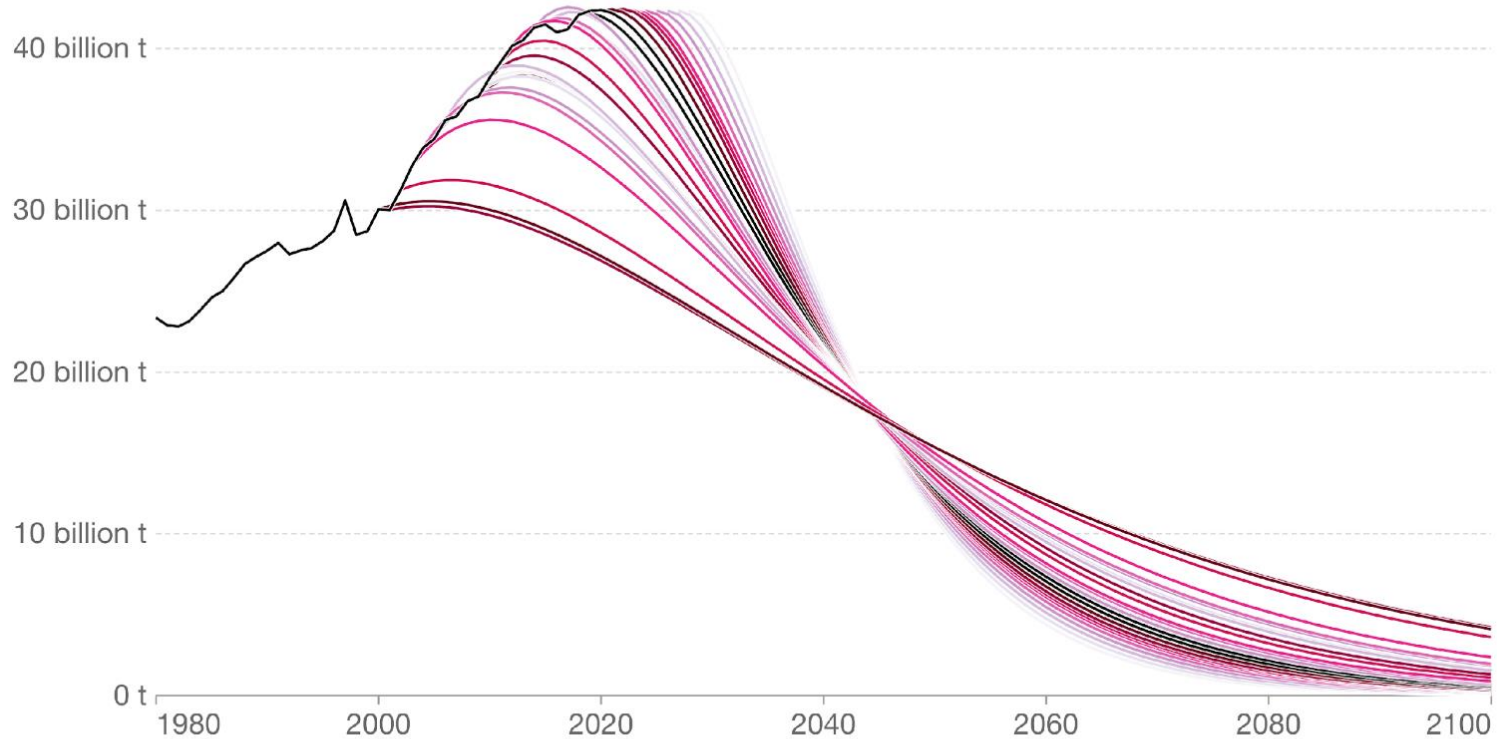
Note: Carbon budgets are based on a >66% chance of staying below 1.5°C from the IPCC's SR15 Report.

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY



# CO<sub>2</sub> reductions needed to keep global temperature rise below 2°C

Annual emissions of carbon dioxide under various mitigation scenarios to keep global average temperature rise below 2°C. Scenarios are based on the CO<sub>2</sub> reductions necessary if mitigation had started – with global emissions peaking and quickly reducing – in the given year.

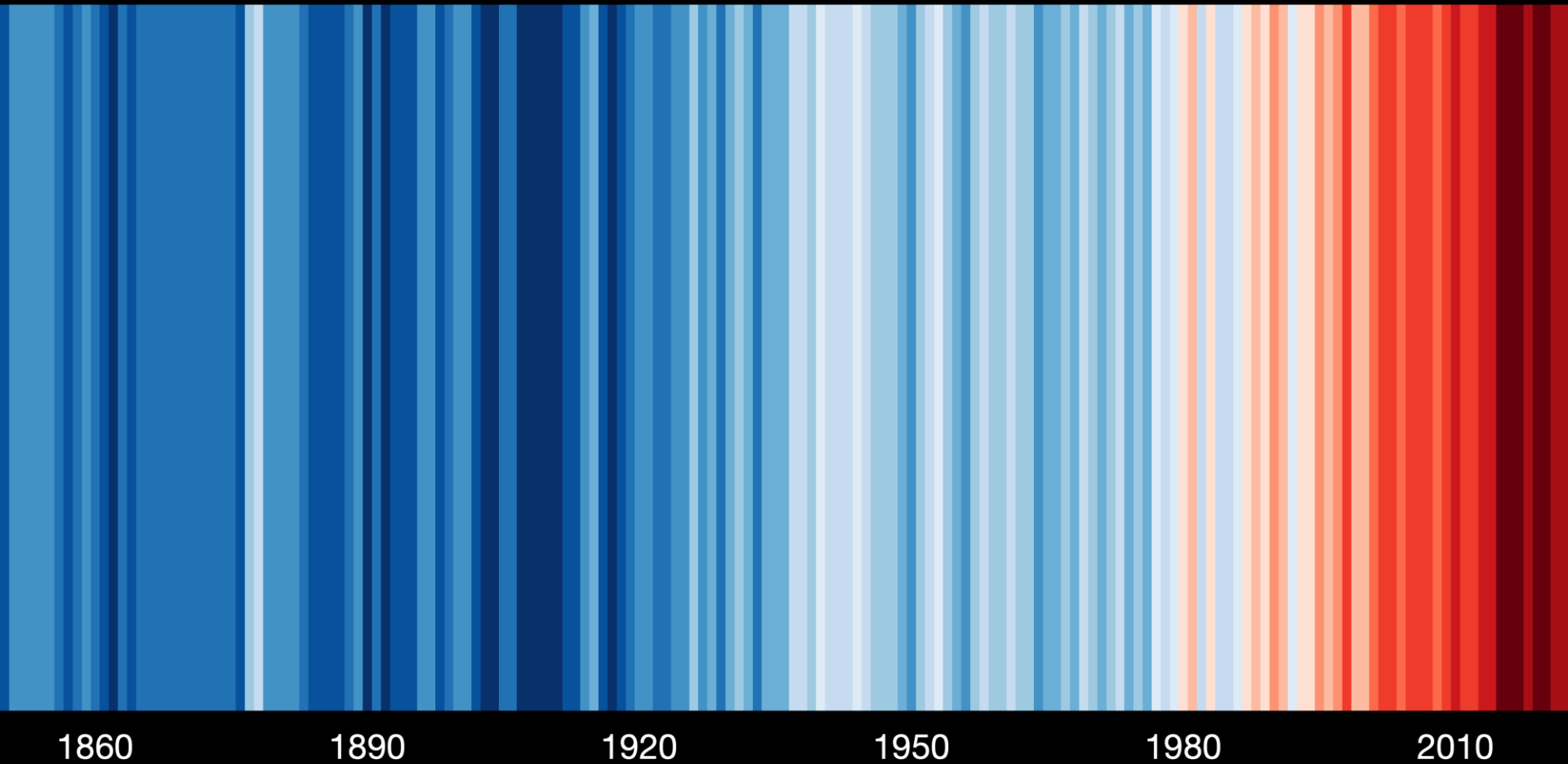


Source: Robbie Andrews (2019); based on Global Carbon Project & IPCC SR15

Note: Carbon budgets are based on a >66% chance of staying below 2°C from the IPCC's SR15 Report.

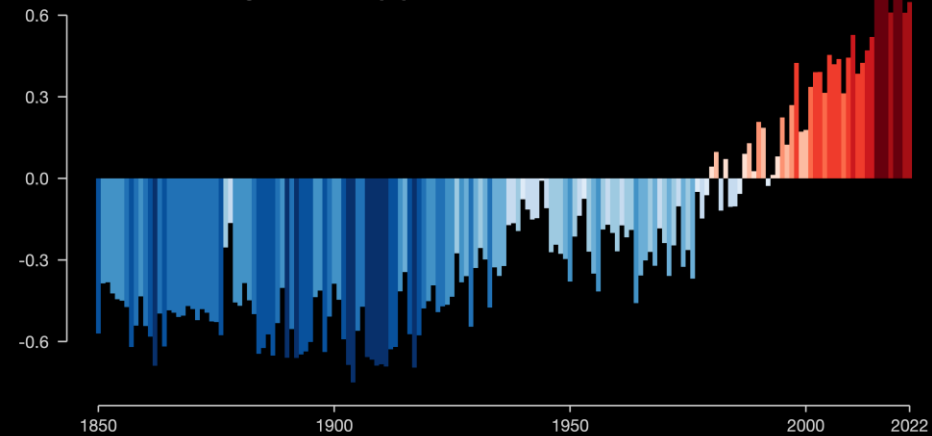
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

# Global temperature change (1850-2022)



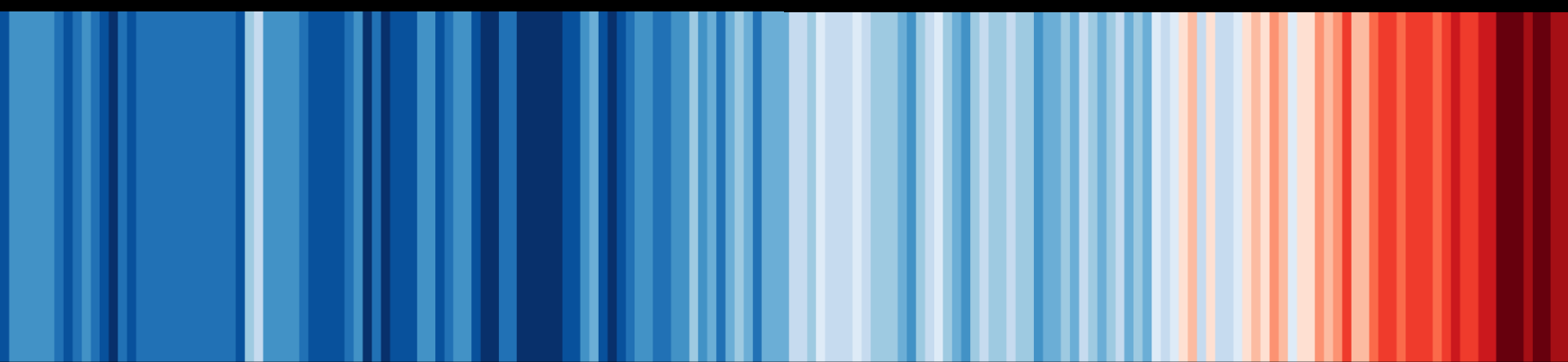
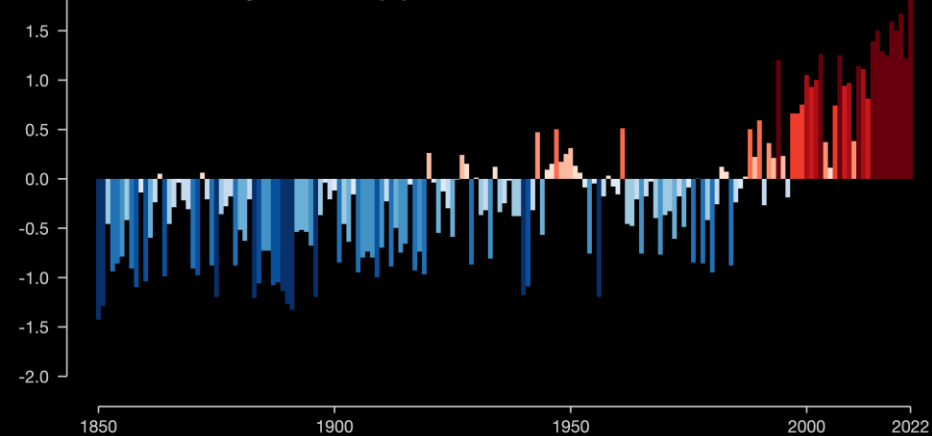
## Global temperature change

Relative to average of 1971-2000 [°C]



## Temperature change in Italy

Relative to average of 1971-2000 [°C]



1860

1890

1920

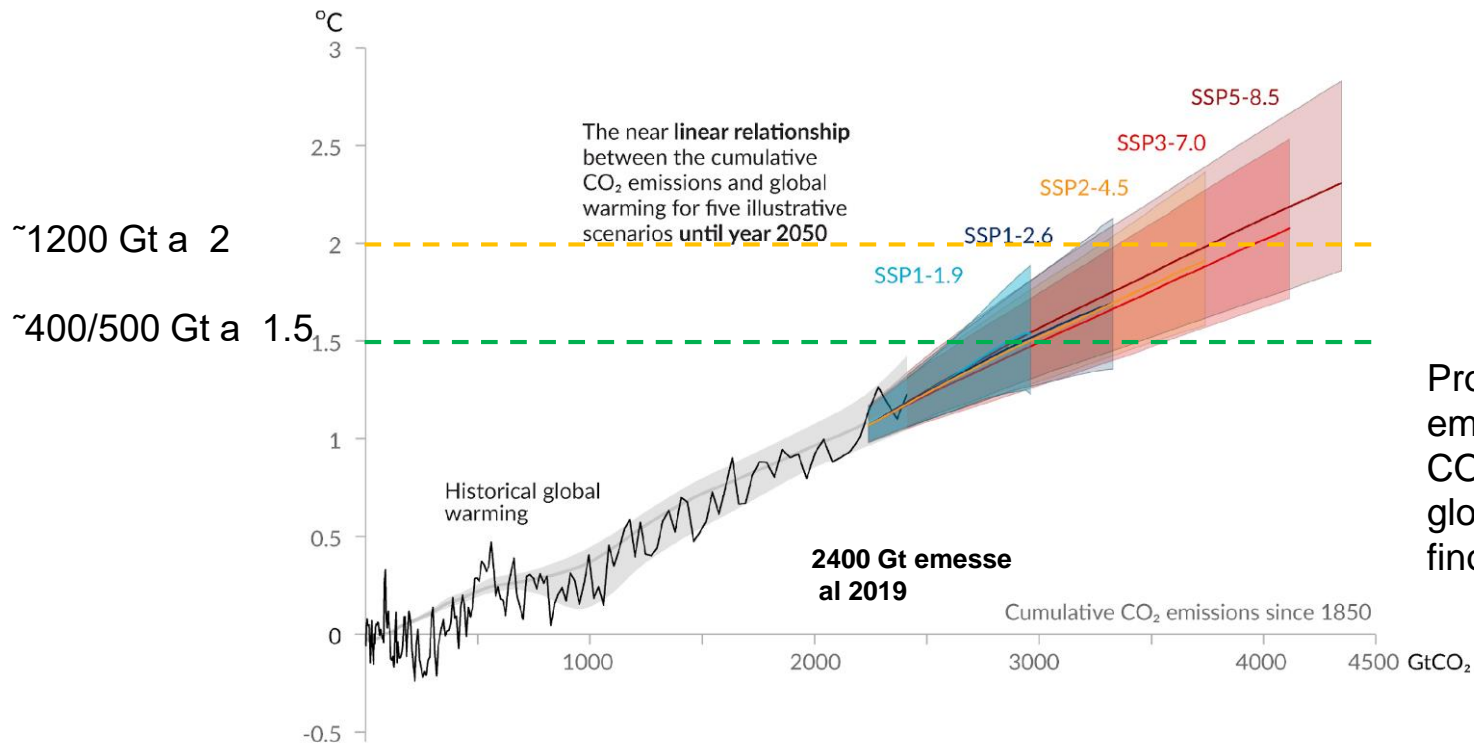
1950

1980

2010

# Ogni tonnellata di emissioni di CO2 fa aumentare il riscaldamento globale.

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO<sub>2</sub> emissions (GtCO<sub>2</sub>)



Proporzionalità fra le emissioni cumulative di CO<sub>2</sub> e riscaldamento globale per i 5 scenari fino al 2050



[Credit: NASA]

“ I recenti cambiamenti climatici sono generalizzati, rapidi e si stanno intensificando. Non hanno precedenti in migliaia di anni.



[Credit: Peter John Maridable | Unsplash]

“

Senza riduzioni immediate, rapide e su larga scala delle emissioni di gas serra, limitare il riscaldamento a 1,5°C sarà fuori portata.



[Credit: Yoda Adaman | Unsplash]

“ È indiscutibile che siano le attività umane a causare il cambiamento climatico, rendendo gli eventi climatici estremi - tra cui ondate di calore, forti piogge e siccità - più frequenti e gravi.



[Credit: Hong Nguyen | Unsplash]

“ Il cambiamento climatico sta già colpendo ogni regione della Terra, in molteplici modi.

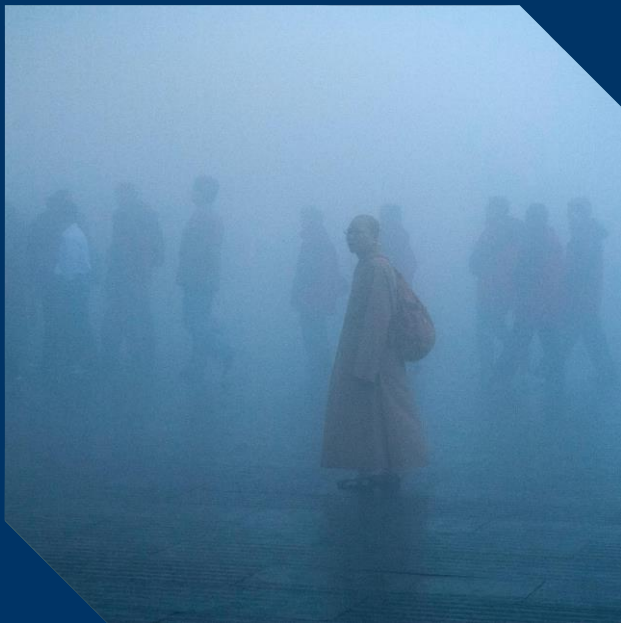
I cambiamenti che già vediamo aumenteranno con l'ulteriore riscaldamento





[Credit: Shari Gearheard | NSIDC]

“ Da alcuni cambiamenti climatici non si torna indietro. Tuttavia, alcuni di essi potrebbero essere rallentati e altri potrebbero essere fermati limitando il riscaldamento.

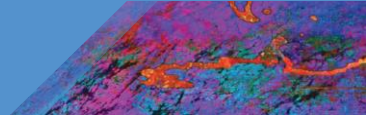


[Credit: Evgeny Nelmin | Unsplash]



Per limitare il riscaldamento globale sono necessarie riduzioni forti, rapide e sostenute di CO<sub>2</sub>, metano e altri gas serra.

Ciò non solo ridurrebbe le conseguenze del cambiamento climatico, ma migliorerebbe anche la qualità dell'aria.



## **Il Sesto IPCC Assessment Report**

**Gli ultimi Assessment Reports IPCC sono composti da tre parti:**

Working Group I - The Physical Science Basis

Working Group I - Impacts, Adaptation and Vulnerability

Working Group III - Mitigation of Climate Change

**Del Sesto Rapporto fanno anche parte i rapporti speciali già pubblicati:**

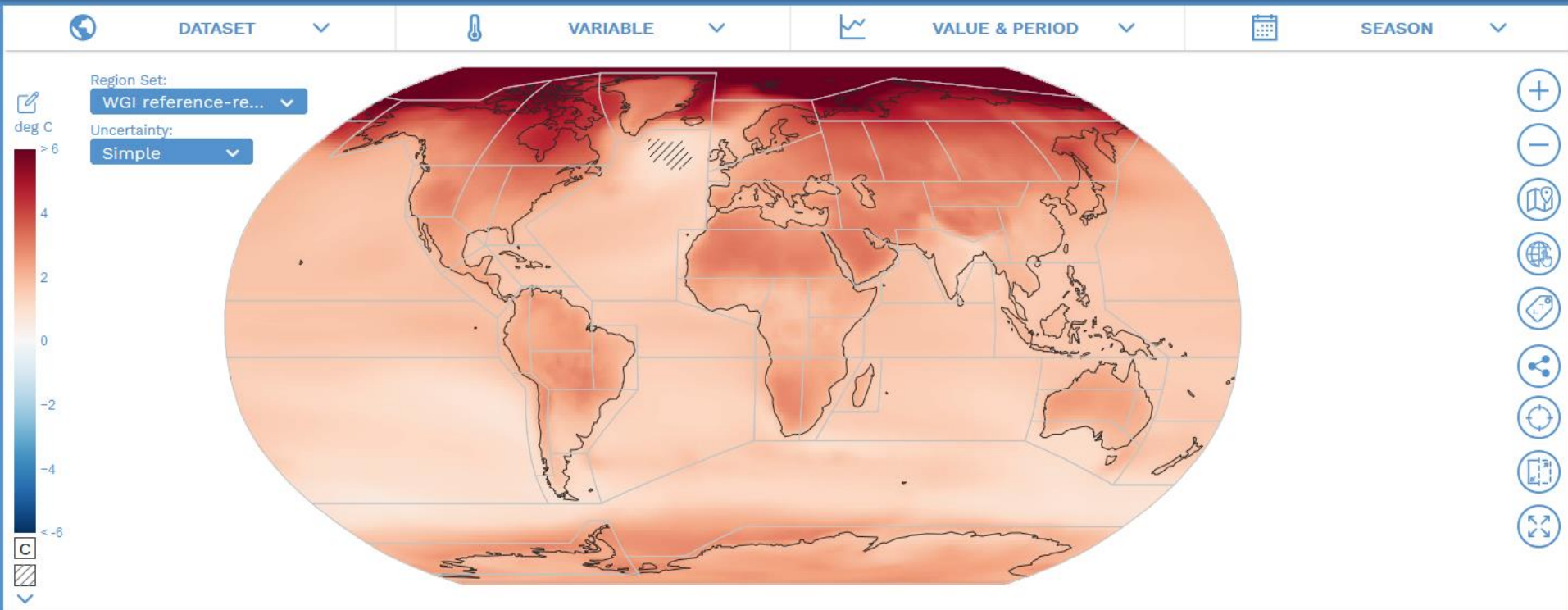
Global Warming of 1.5 °C

Climate Change and Land

The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

## Atlante interattivo

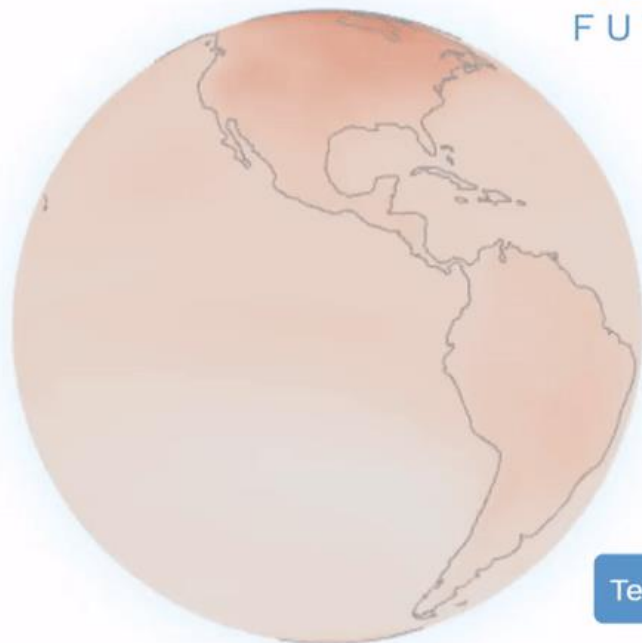
[interactive-atlas.ipcc.ch](https://interactive-atlas.ipcc.ch)



CMIP6 - Mean temperature (T) Change deg C - Warming 2°C SSP5 8.5 (rel. to 1850-1900) - Annual (34 models)

## Atlante interattivo

OUR POSSIBLE  
CLIMATE  
FUTURES



+1.5°C

+2°C

+3°C

+4°C

Temperature

Precipitation

[https://interactive-](https://interactive-...)

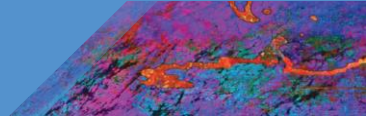
#IPCCData

#IPCCAtlas



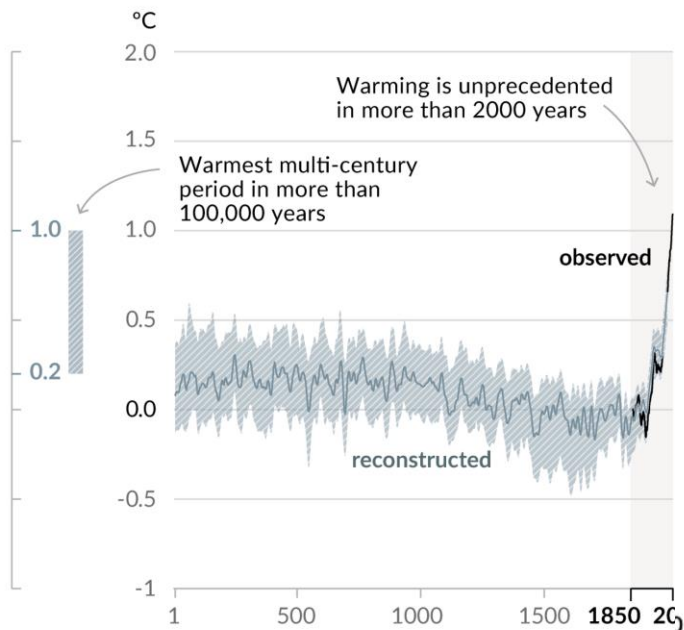
[Credit: NASA]

“ I recenti cambiamenti climatici sono generalizzati, rapidi e si stanno intensificando. Non hanno precedenti in migliaia di anni.

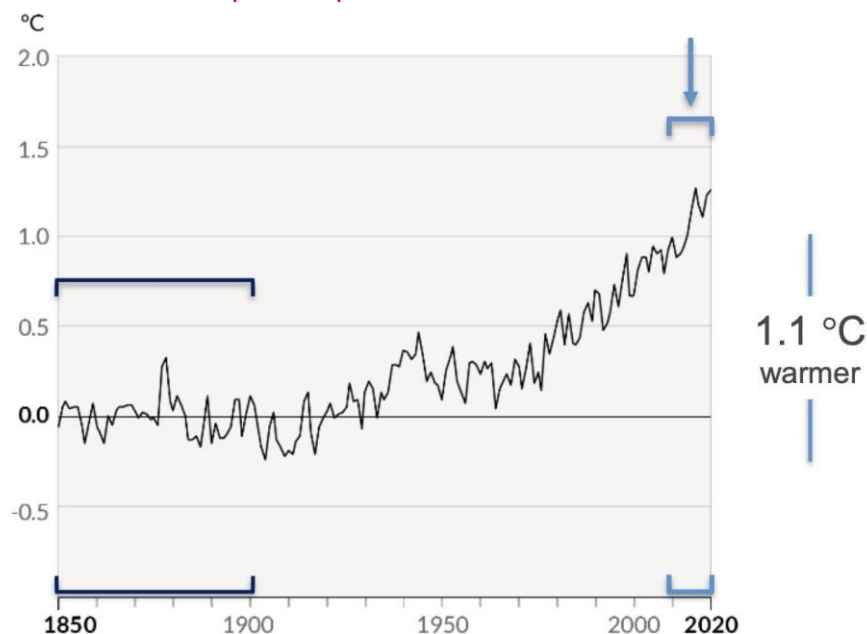


## L'influenza umana ha riscaldato il clima a un ritmo che non ha precedenti negli ultimi 2000 anni (almeno).

a) Change in global surface temperature (decadal average) as **reconstructed** (1-2000) and **observed** (1850-2020)



Variazioni rispetto al periodo 1850-1900



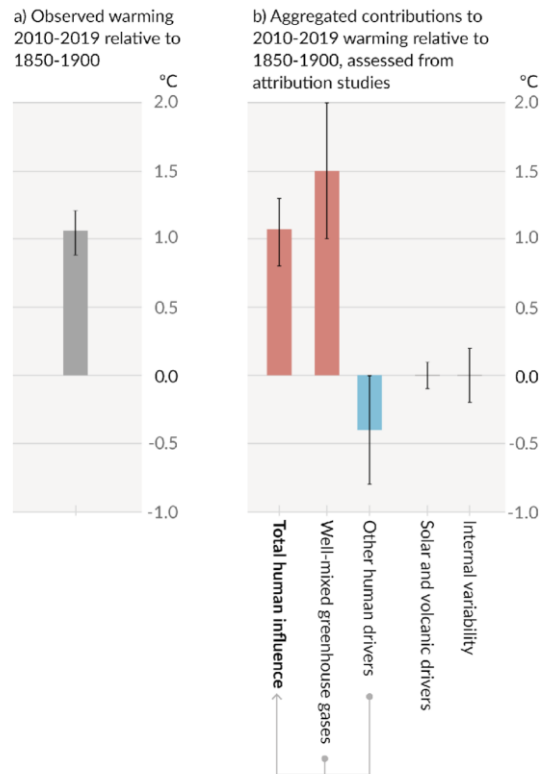


[Credit: Yoda Adaman | Unsplash]

“ È indiscutibile che siano le attività umane a causare il cambiamento climatico, rendendo gli eventi climatici estremi - tra cui ondate di calore, forti piogge e siccità - più frequenti e gravi.



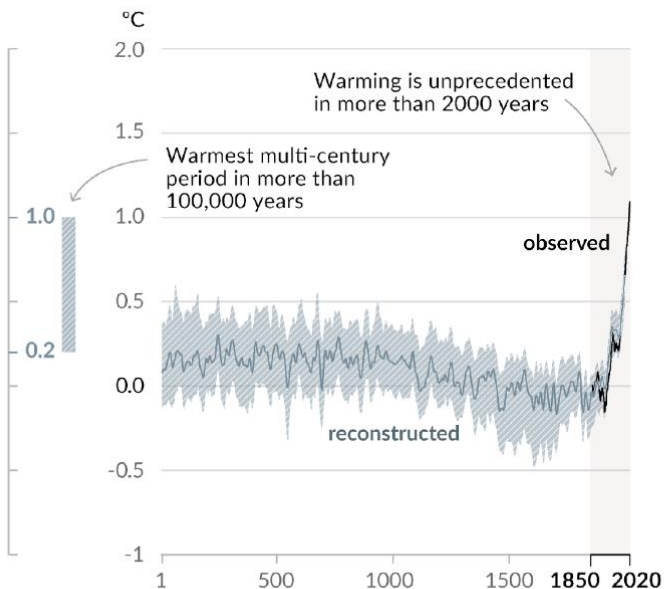
## Il riscaldamento osservato è determinato dalle emissioni delle attività umane, con il riscaldamento dei gas serra parzialmente mascherato dal raffreddamento degli aerosol



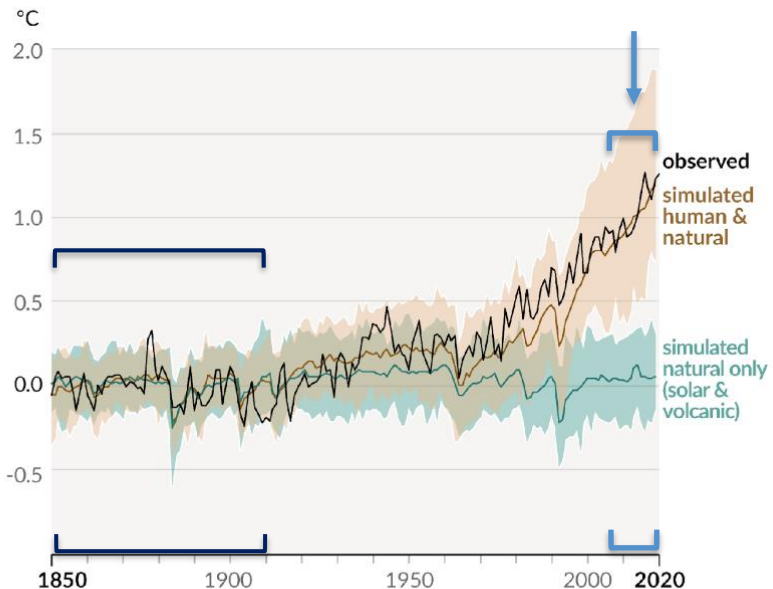
## L'influenza umana ha riscaldato il clima a un ritmo che non ha precedenti negli ultimi 2000 anni (almeno).

### Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

a) Change in global surface temperature (decadal average) as **reconstructed** (1-2000) and **observed** (1850-2020)



b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850-2020)



aumento di  
1.1 °C

## Il cambiamento climatico sta già interessando ogni regione abitata del mondo. L'influenza umana contribuisce a molte variazioni osservate nelle condizioni meteorologiche e negli estremi climatici.

### Estremi caldi

a) Synthesis of assessment of observed change in **hot extremes** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions

Type of observed change in hot extremes

Increase (41)

Decrease (0)

Low agreement in the type of change (2)

Limited data and/or literature (2)

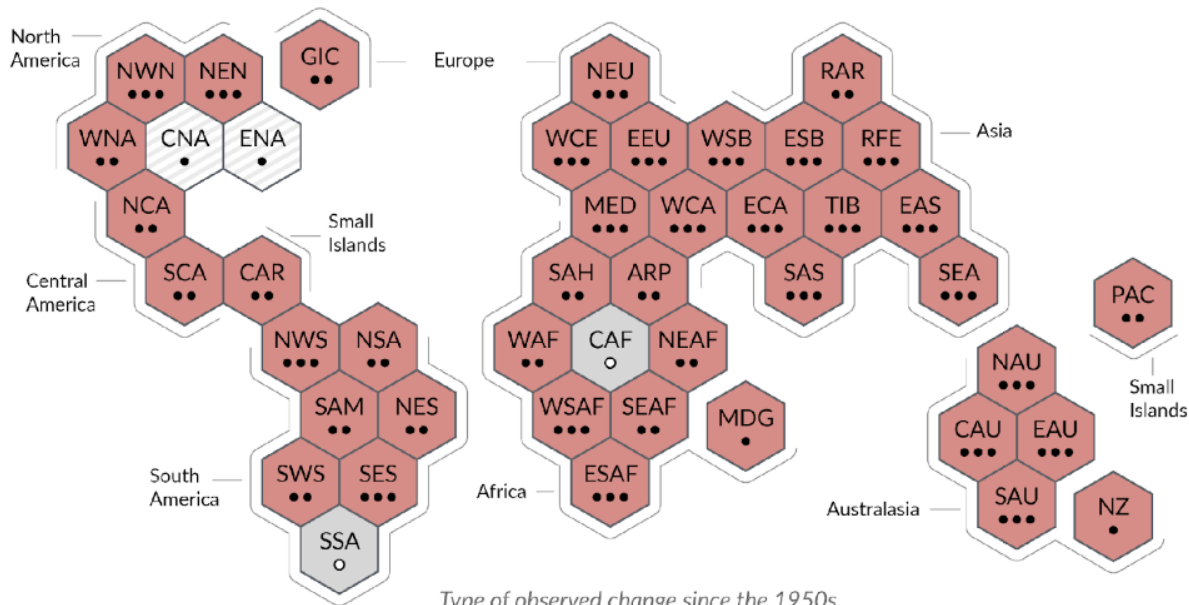
Confidence in human contribution to the observed change

●●● High

●● Medium

● Low due to limited agreement

○ Low due to limited evidence



## Il cambiamento climatico sta già interessando ogni regione abitata del mondo. L'influenza umana contribuisce a molte variazioni osservate nelle condizioni meteorologiche e negli estremi climatici.

b) Synthesis of assessment of observed change in **heavy precipitation** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions

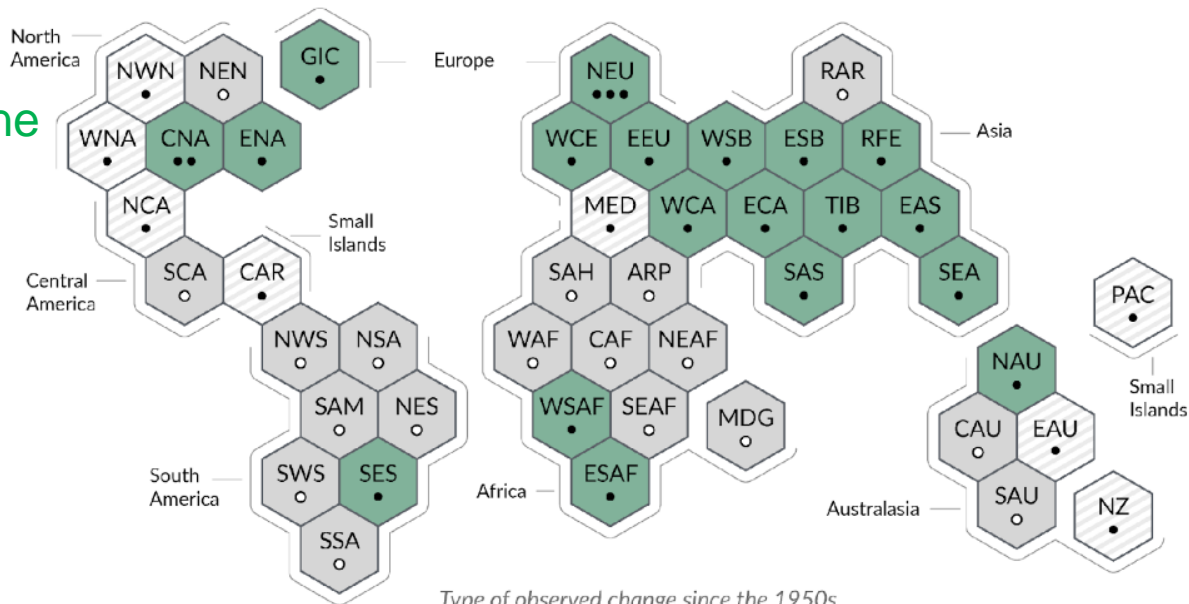
Type of observed change in heavy precipitation

- Increase (19)
- Decrease (0)
- Low agreement in the type of change (8)
- Limited data and/or literature (18)

**Estremi di precipitazione intensa**

Confidence in human contribution to the observed change

- High
- Medium
- Low due to limited agreement
- Low due to limited evidence



Type of observed change since the 1950s

## Il cambiamento climatico sta già interessando ogni regione abitata del mondo. L'influenza umana contribuisce a molte variazioni osservate nelle condizioni meteorologiche e negli estremi climatici.

c) Synthesis of assessment of observed change in **agricultural and ecological drought** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions

### Type of observed change

in agricultural and ecological drought

Increase (12)

Decrease (1)

**Estremi siccitosi**

Low agreement in the type of change (28)

Limited data and/or literature (4)

### Confidence in human contribution

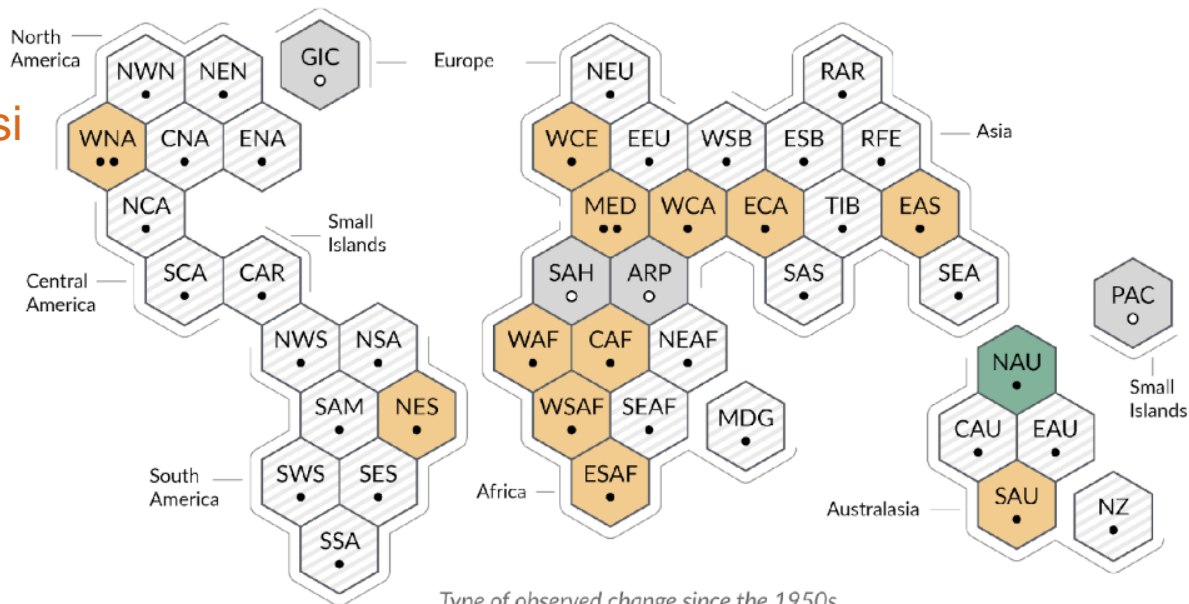
to the observed change

●●● High

●● Medium

● Low due to limited agreement

○ Low due to limited evidence



Type of observed change since the 1950s



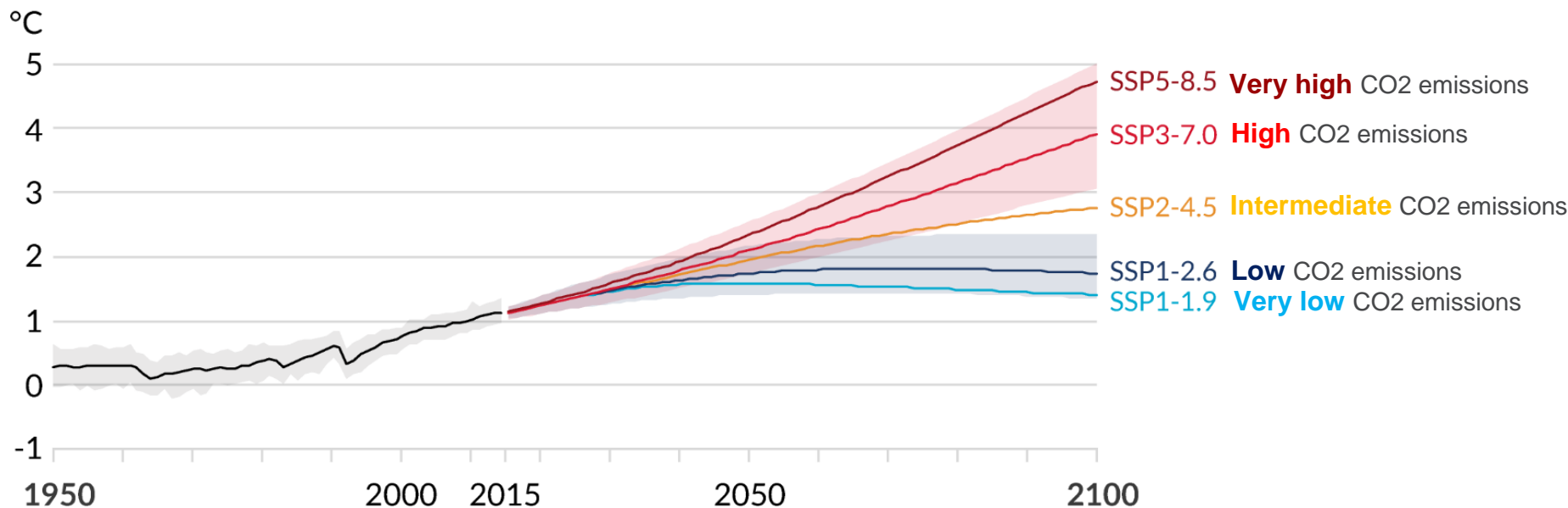
[Credit: Hong Nguyen | Unsplash]

“ Il cambiamento climatico sta già colpendo ogni regione della Terra, in molteplici modi.

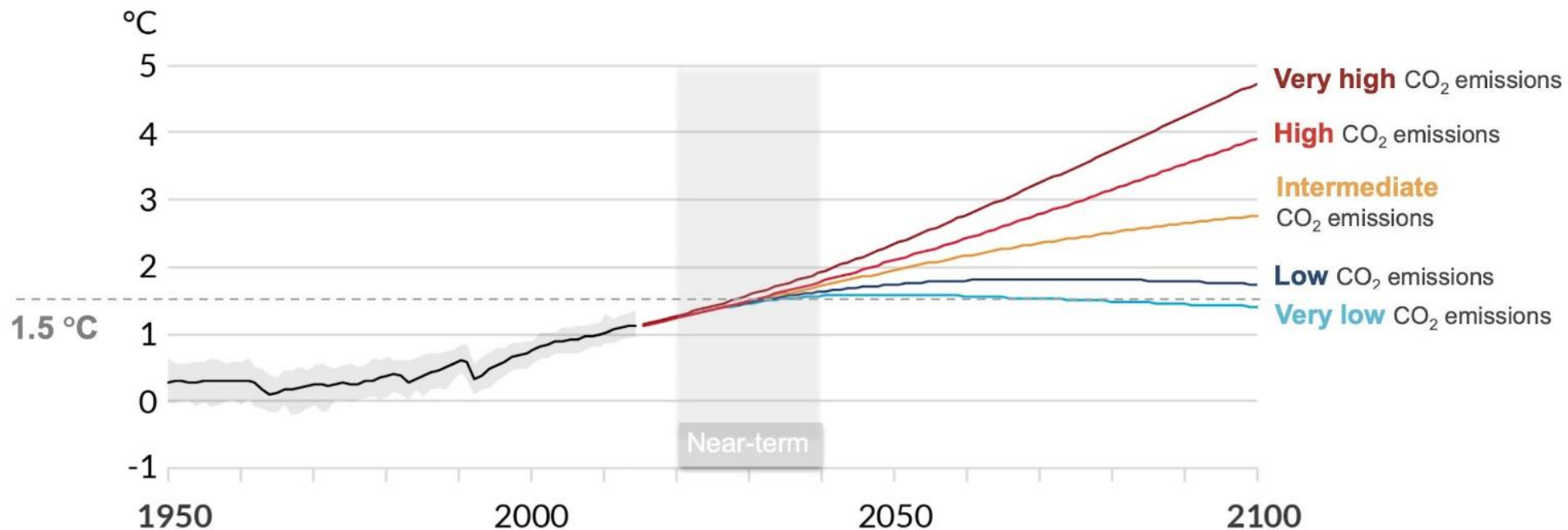
I cambiamenti che già vediamo aumenteranno con l'ulteriore riscaldamento

## Le emissioni future causeranno un ulteriore riscaldamento. Il riscaldamento totale è per la maggior parte dovuto alle emissioni di CO<sub>2</sub> passate e future

### a) Global surface temperature change relative to 1850-1900

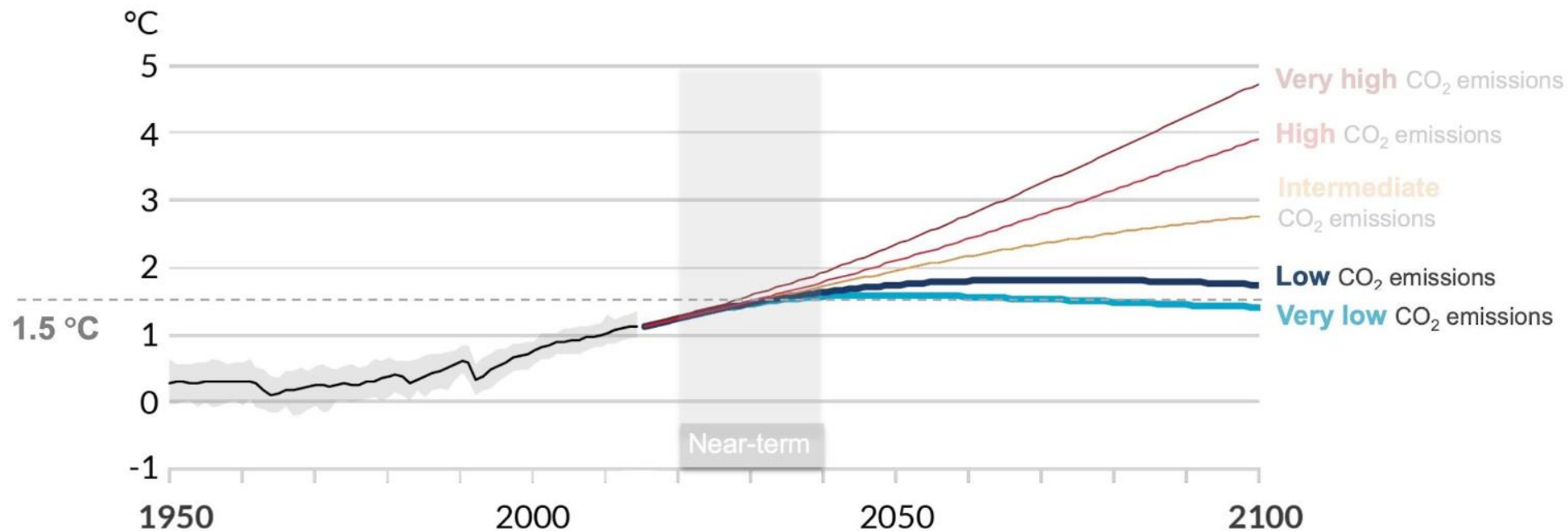


## Le emissioni future causeranno un ulteriore riscaldamento. Il riscaldamento totale è per la maggior parte dovuto alle emissioni di CO<sub>2</sub> passate e future

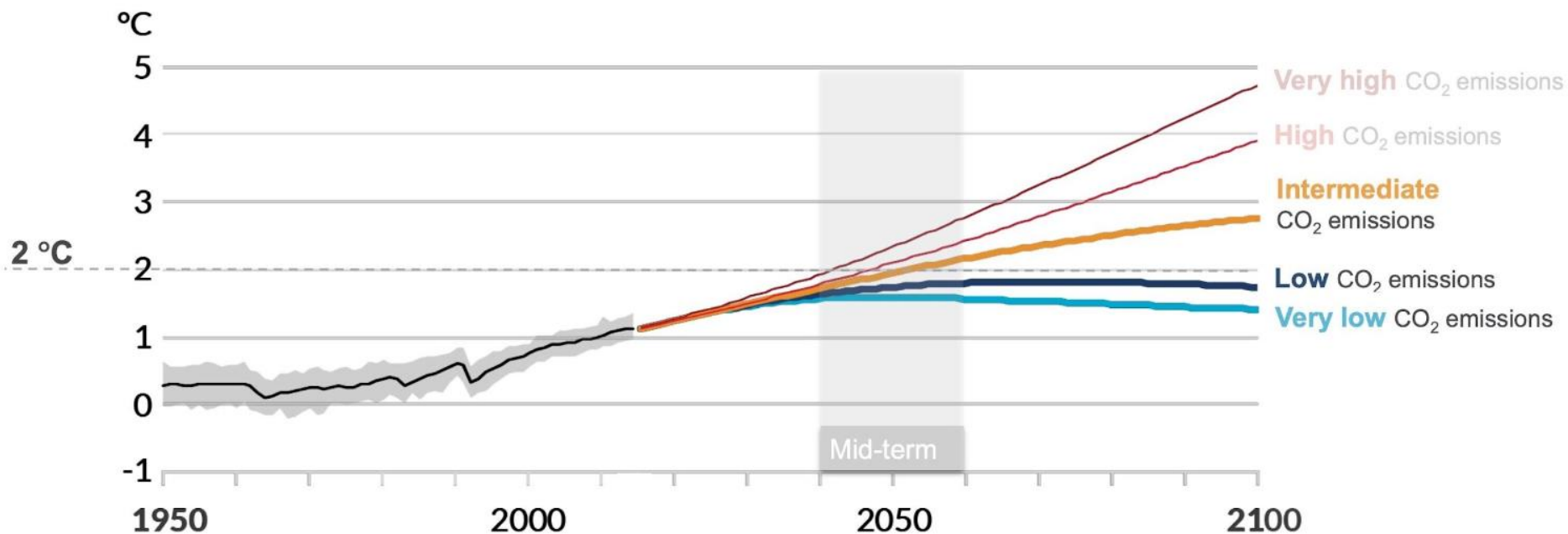




## Le emissioni future causeranno un ulteriore riscaldamento. Il riscaldamento totale è per la maggior parte dovuto alle emissioni di CO<sub>2</sub> passate e future



## Le emissioni future causeranno un ulteriore riscaldamento. Il riscaldamento totale è per la maggior parte dovuto alle emissioni di CO<sub>2</sub> passate e future

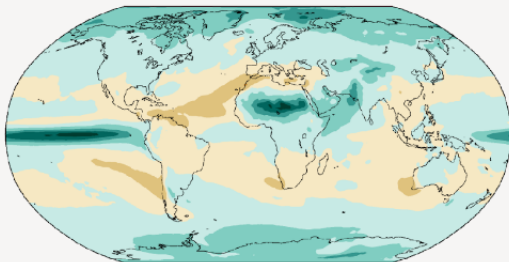


## Ogni incremento del riscaldamento globale comporta ulteriori variazioni nella temperatura media e nelle precipitazioni.

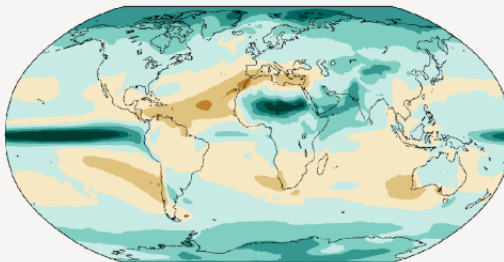
### c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

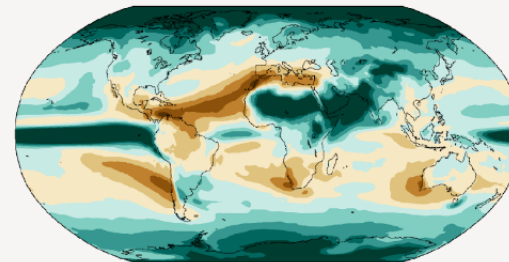
Simulated change at 1.5 °C global warming



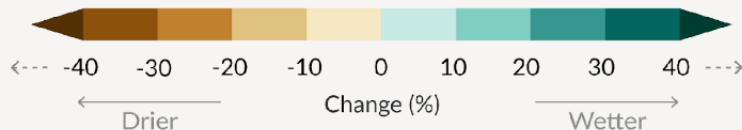
Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming



Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions



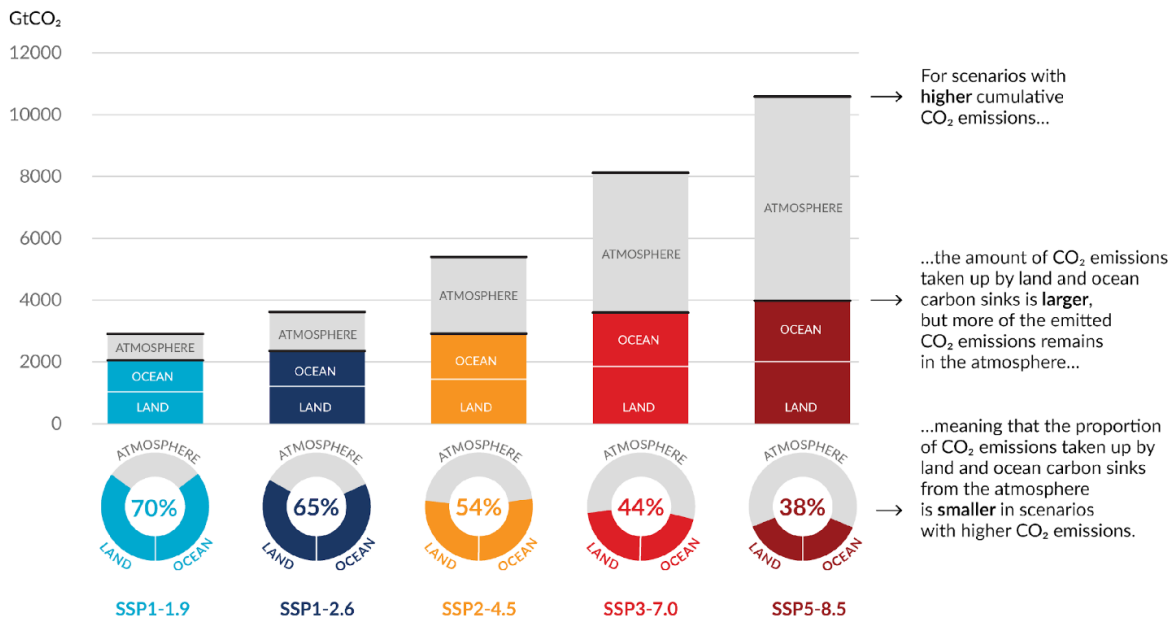


[Credit: Shari Gearheard | NSIDC]

“ Da alcuni cambiamenti climatici non si torna indietro. Tuttavia, alcuni di essi potrebbero essere rallentati e altri potrebbero essere fermati limitando il riscaldamento.

## La proporzione di CO<sub>2</sub> emessa che viene immagazzinata nei pozzi di assorbimento del carbonio terrestri e oceanici è inferiore negli scenari con emissioni cumulative di CO<sub>2</sub> più elevate

Total cumulative CO<sub>2</sub> emissions **taken up by land and oceans** (colours) and remaining in the atmosphere (grey) under the five illustrative scenarios from 1850 to 2100





[Credit: Peter John Maridable | Unsplash]

“

Senza riduzioni immediate, rapide e su larga scala delle emissioni di gas serra, limitare il riscaldamento a 1,5°C sarà fuori portata.



“

The climate we experience in the future depends on our decisions now.

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

