

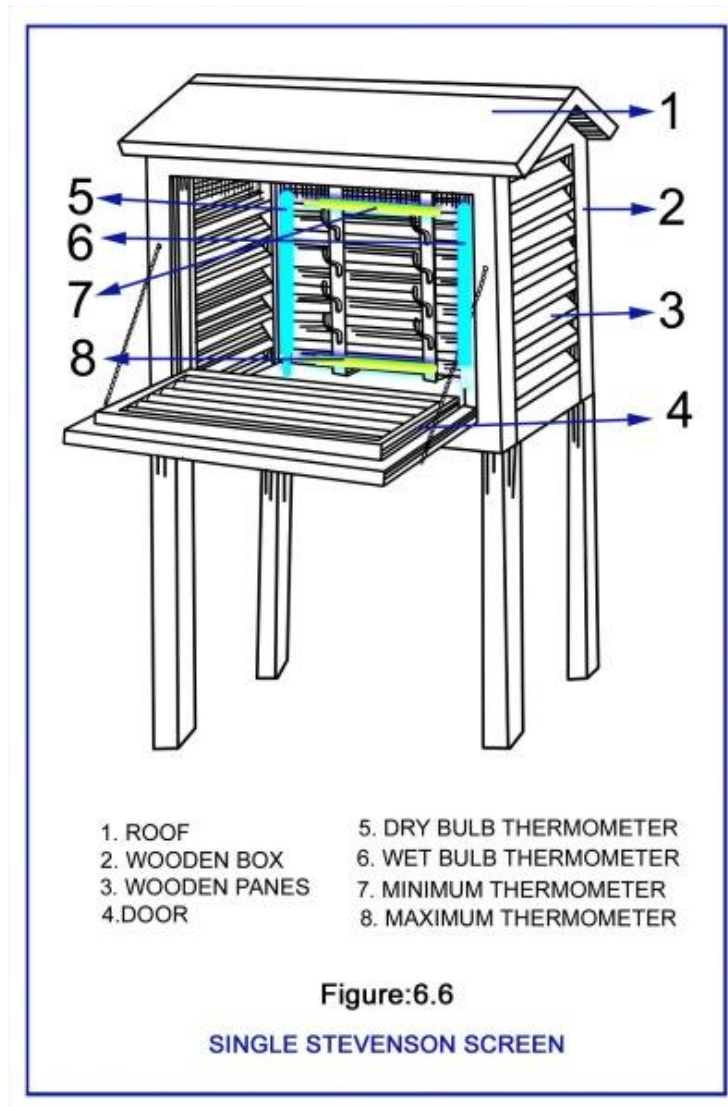
# Il clima presente

## Ringraziamenti:

- AA.VV. (UniTo) - Lessico e Nuvole: le parole del cambiamento climatico – 2020
- C. Cassardo et al. - Temporalis e tornado – cap. 1, 2021 – Ed. AlphaTest

# Misure atmosferiche

- Caratteristiche principali: sensibilità dello strumento, errore, tempo di risposta
- Problemi: rappresentatività dei dati (ostacoli, ortografia, vento, neve, ...)
- Configurazione tipica (secondo le normative WMO): schermo Stevenson, a 1,5 m di altitudine sul terreno, a ~100 m di distanza dai principali ostacoli (alberi, edifici, ...)
- Velocità del vento misurata all'altezza di 10 m sul terreno



# Esempi di capannine meteorologiche





# Sonde per profili verticali e boe



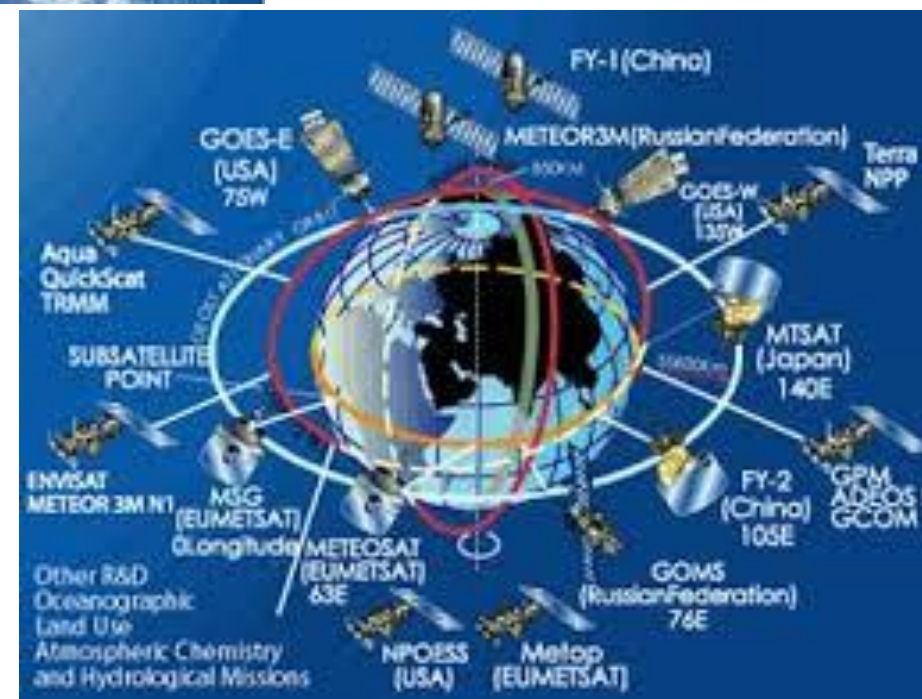
**Radiosondaggio automatico**



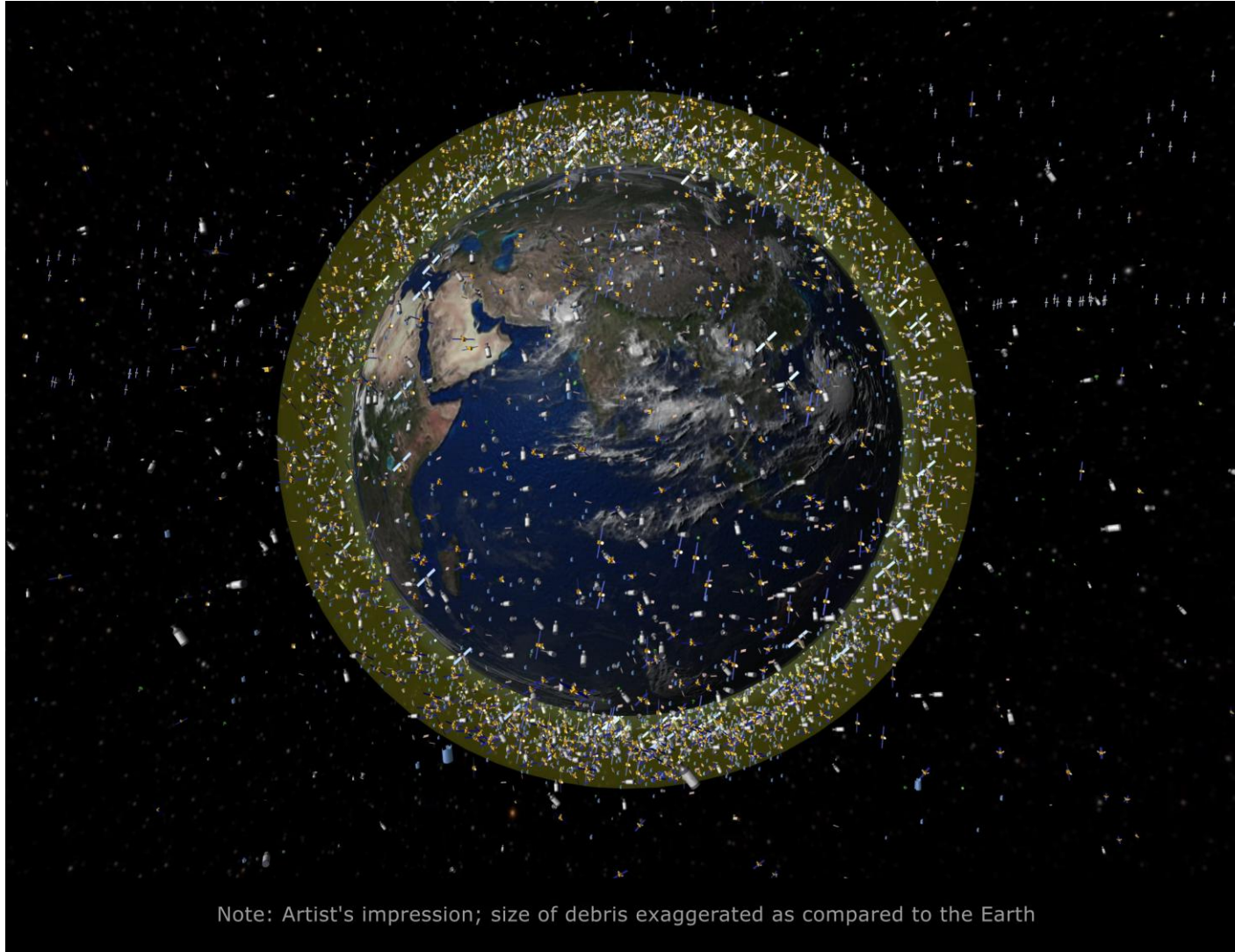
**Boa oceanografica**



# Satelliti



## 2018: # numero di osservazioni atmosferiche nel 2018



Note: Artist's impression; size of debris exaggerated as compared to the Earth

Fonte: [https://static.independent.co.uk/2025/04/30/18/09/Debris\\_objects\\_in\\_low-Earth\\_orbit\\_LEO.jpeg](https://static.independent.co.uk/2025/04/30/18/09/Debris_objects_in_low-Earth_orbit_LEO.jpeg)

- A oggi ci sono circa 12,597 satelliti in orbita, di cui circa 10.400 attivi e funzionanti, e gli altri inattivi (spazzatura spaziale).

Fonte:

[https://www.linkedin.com/posts/harshadshah1953\\_satellites-in-orbit-active-and-inactive-activity-7327209207596773377-8AGA](https://www.linkedin.com/posts/harshadshah1953_satellites-in-orbit-active-and-inactive-activity-7327209207596773377-8AGA)

- Secondo le proiezioni attuali, considerando i progetti in sviluppo o prossimi (Starlink, Kuiper, Iris, Guowang e altri), questo numero potrebbe superare le 100.000 unità nel 2030

Fonte: <https://gulfnews.com/technology/100000-satellites-a-sky-full-of-spacecraft-the-race-to-blanket-earth-from-space-1.500120054>



# 2018: satelliti polari

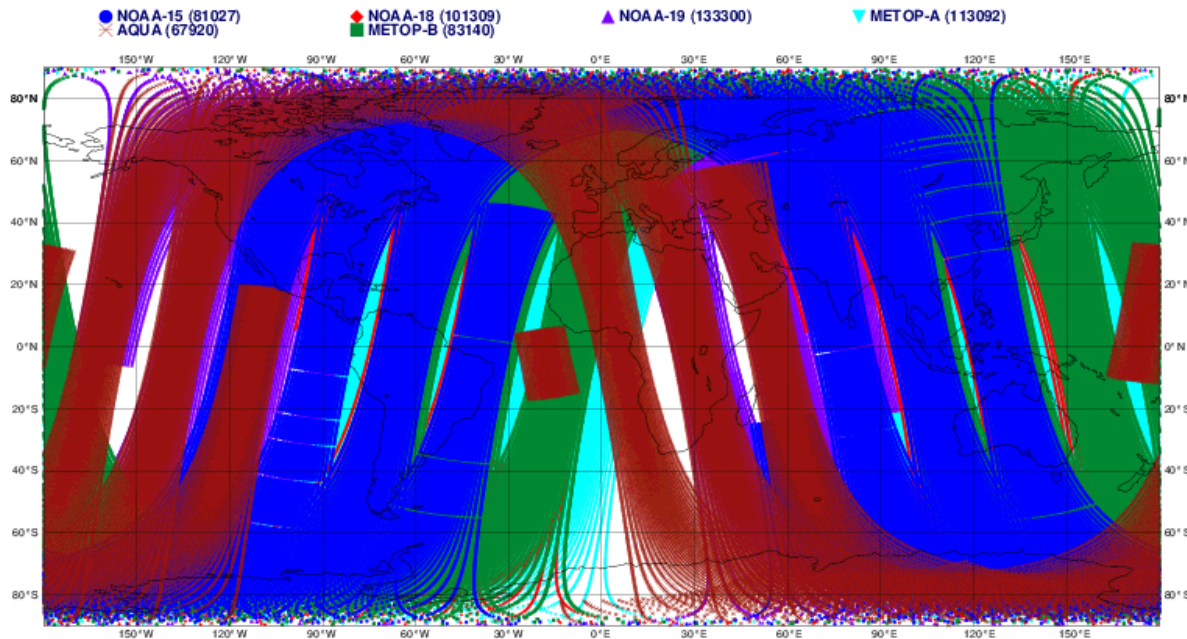
Oggi, all'ECMWF ogni giorno si ricevono circa 600 milioni di osservazioni dell'atmosfera (95% da satelliti). Sono usate circa il 10% di queste osservazioni, come illustrato dal confronto delle due immagini.



ECMWF data coverage (all observations) - AMSUA

24/06/2018 12

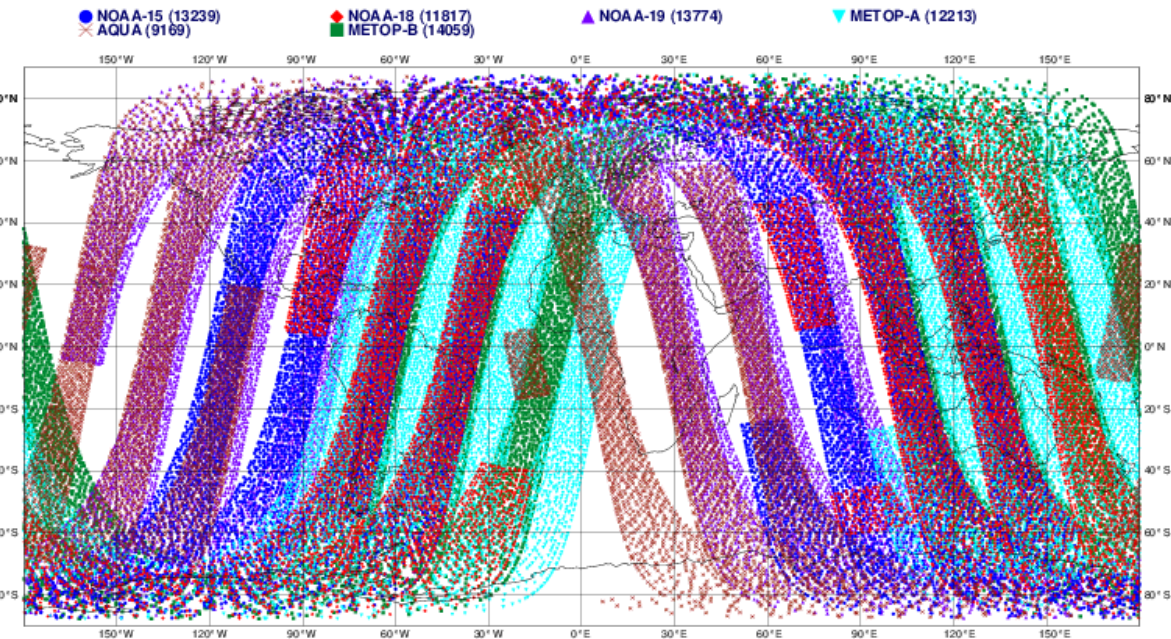
Total number of obs = 579788



ECMWF data coverage (used observations) - AMSUA

24/06/2018 12

Total number of obs = 74271





# 2018: satelliti geostazionari

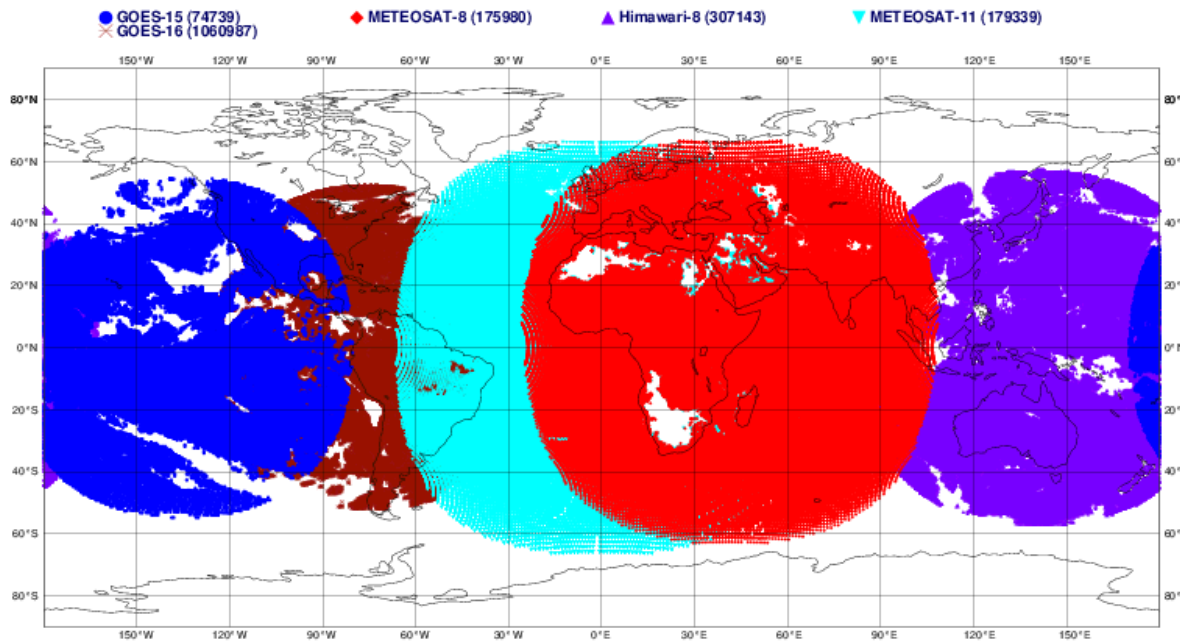
I satelliti geo-stazionari posizionati sopra l'equatore si muovono nella stessa direzione della Terra, e forniscono immagini 'stazionarie'



ECMWF data coverage (all observations) - GEOSTATIONARY RADIANCES

24/06/2018 12

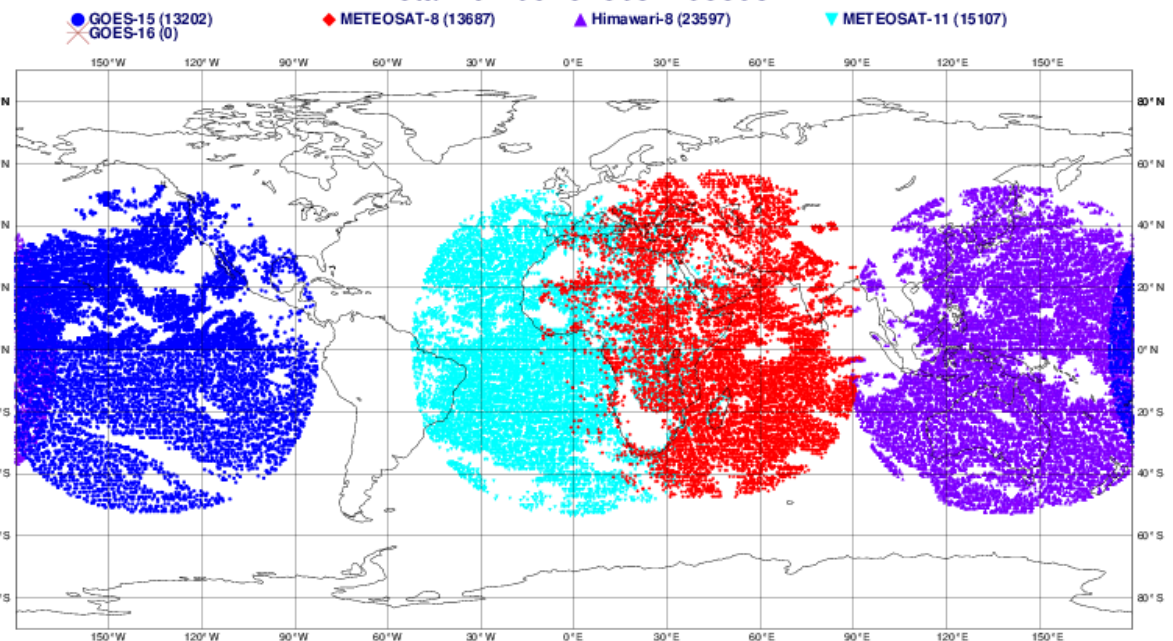
Total number of obs = 1798188



ECMWF data coverage (used observations) - GEOSTATIONARY RADIANCES

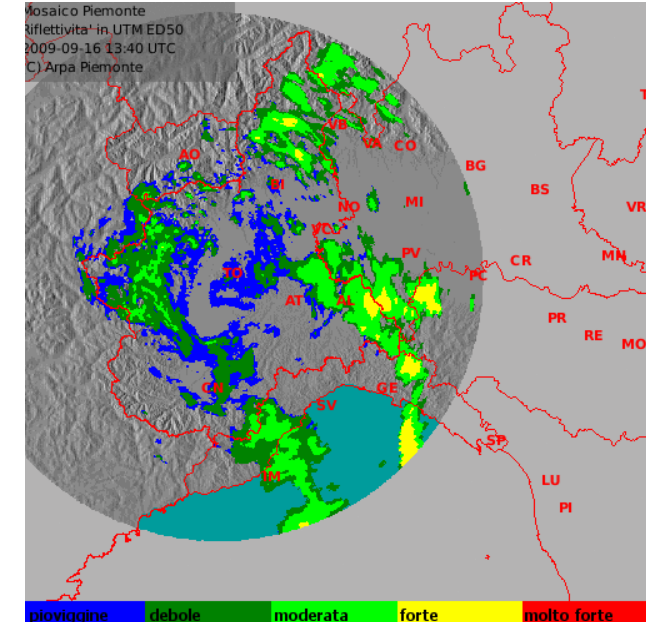
24/06/2018 12

Total number of obs = 65593

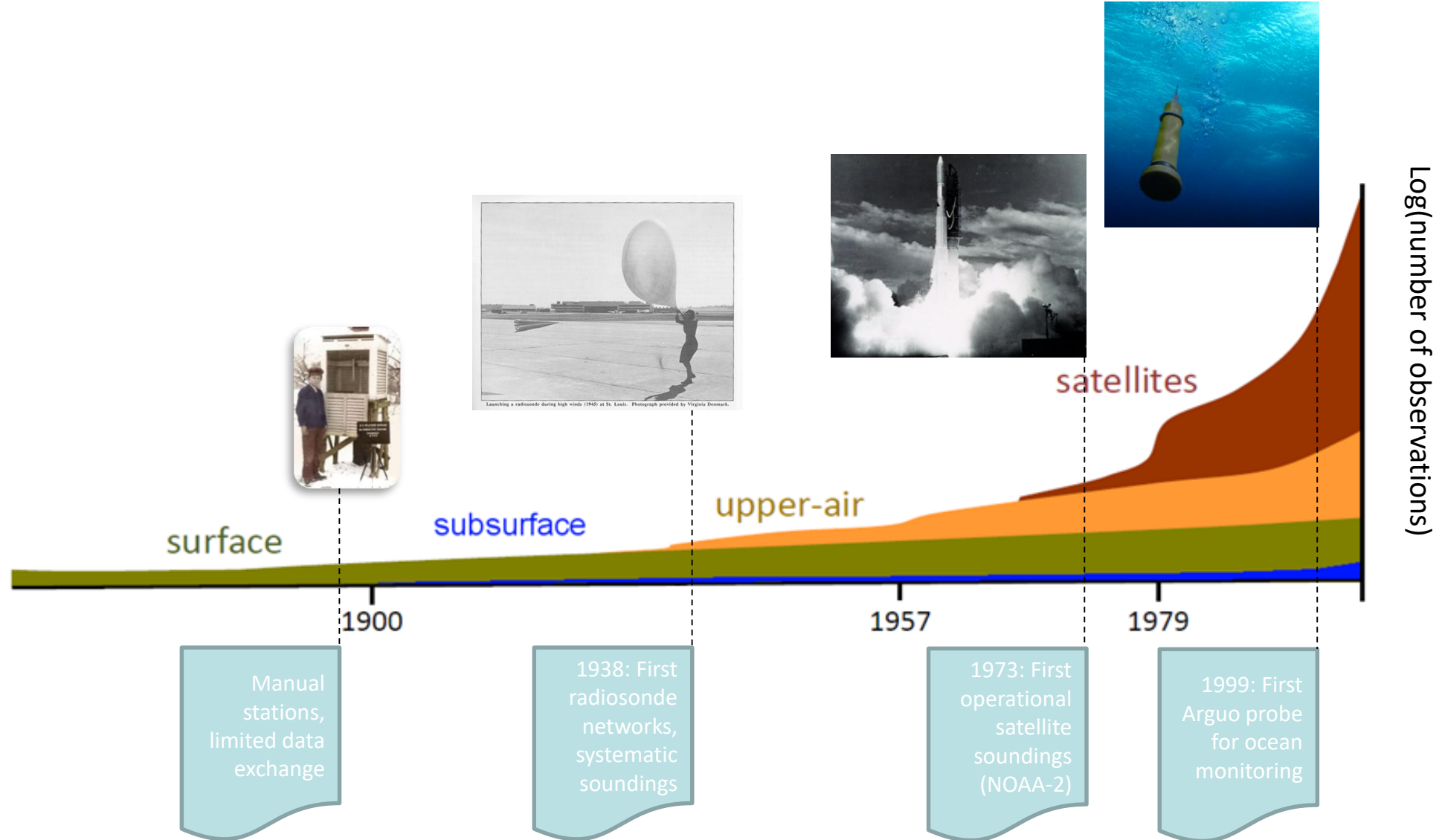


# Radar

- **R**ADio **D**etecting **A**nd **R**anging
- Negli anni '30, utilizzato per monitorare il traffico marittimo
- Nella seconda guerra mondiale, utilizzato per rilevare gli aeromobili
- Dopo la seconda guerra mondiale, utilizzato per il tempo
- Le precipitazioni (pioggia, neve, grandine) causano interferenze: scegliendo la lunghezza d'onda, il radar può rilevare pioggia, neve, grandine
- Risoluzione spaziale tipica:  $\sim 1 \text{ km}^2$
- Autonomia tipica  $\sim 125\text{-}250 \text{ km}$
- Il bersaglio disperde la radiazione indietro (alcuni direttamente all'antenna) → retrodiffusione di onde elettromagnetiche



# Dagli anni '80 il numero di osservazioni è aumentato drasticamente



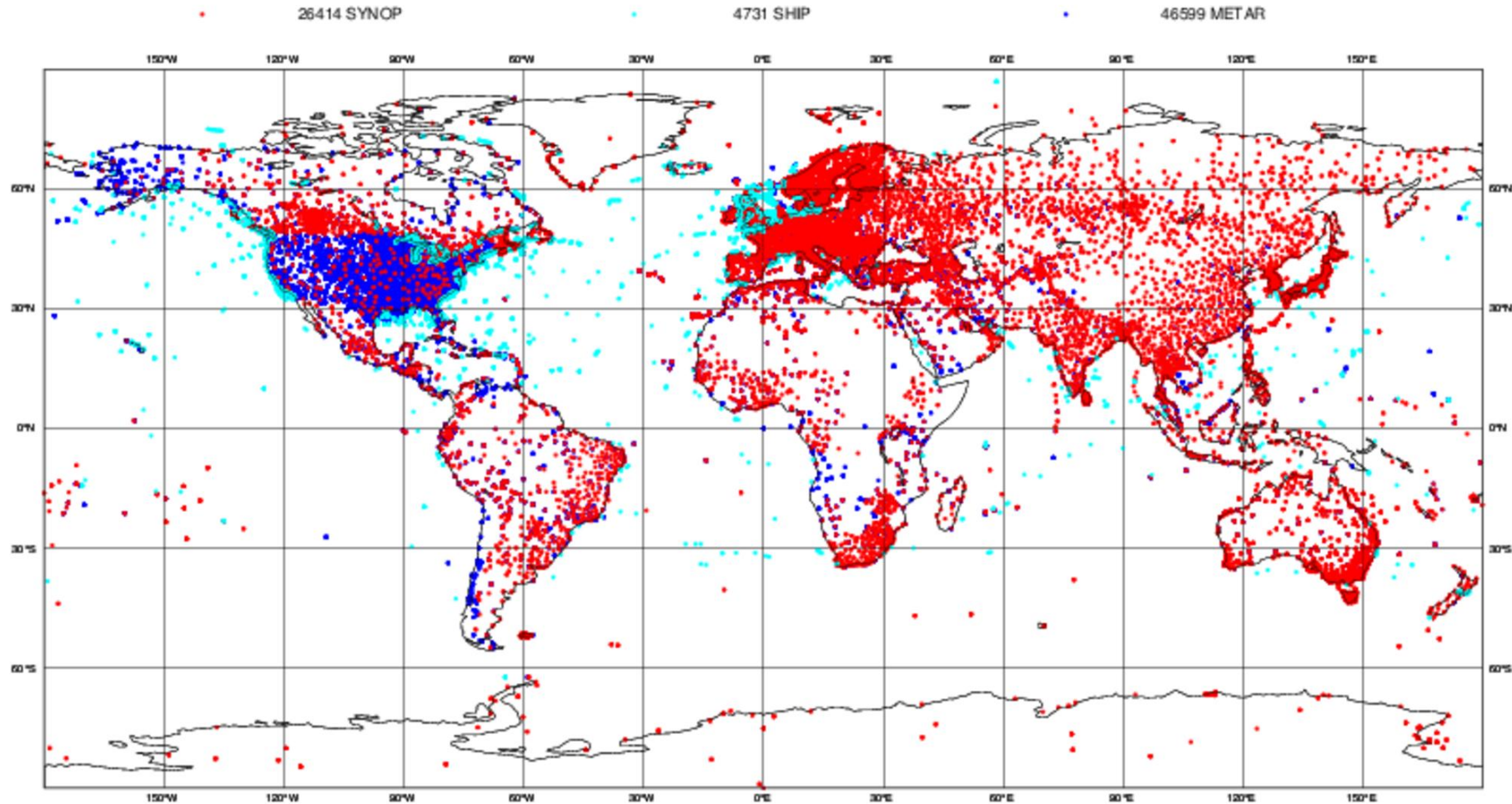


# Dati da stazioni a terra e boe

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - Synop-SHIP-Metar

26/Sep/2016; 12 UTC

Total number of obs = 77744

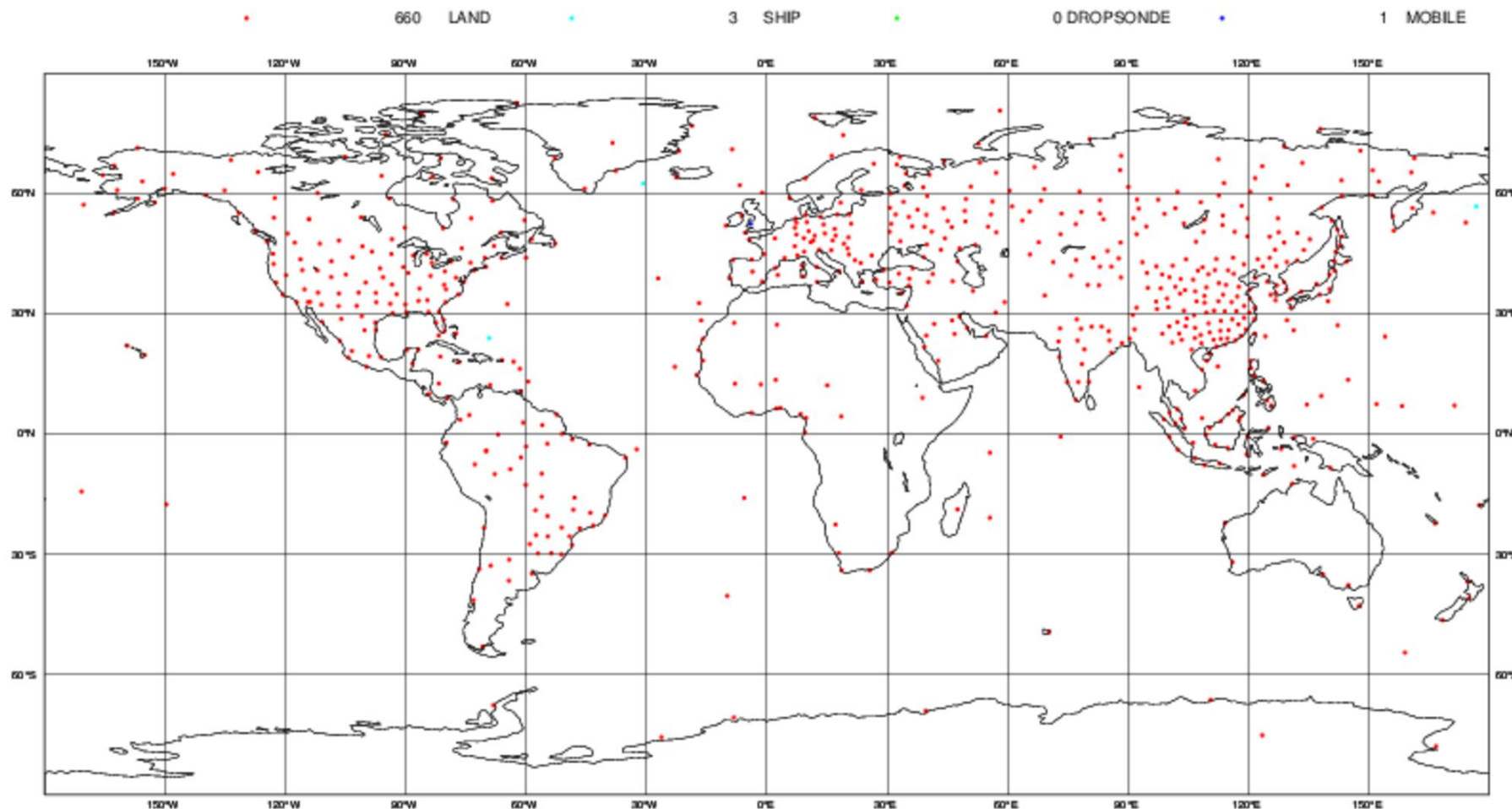


# Dati da profili verticali

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - Temp

26/Sep/2016; 12 UTC

Total number of obs = 664

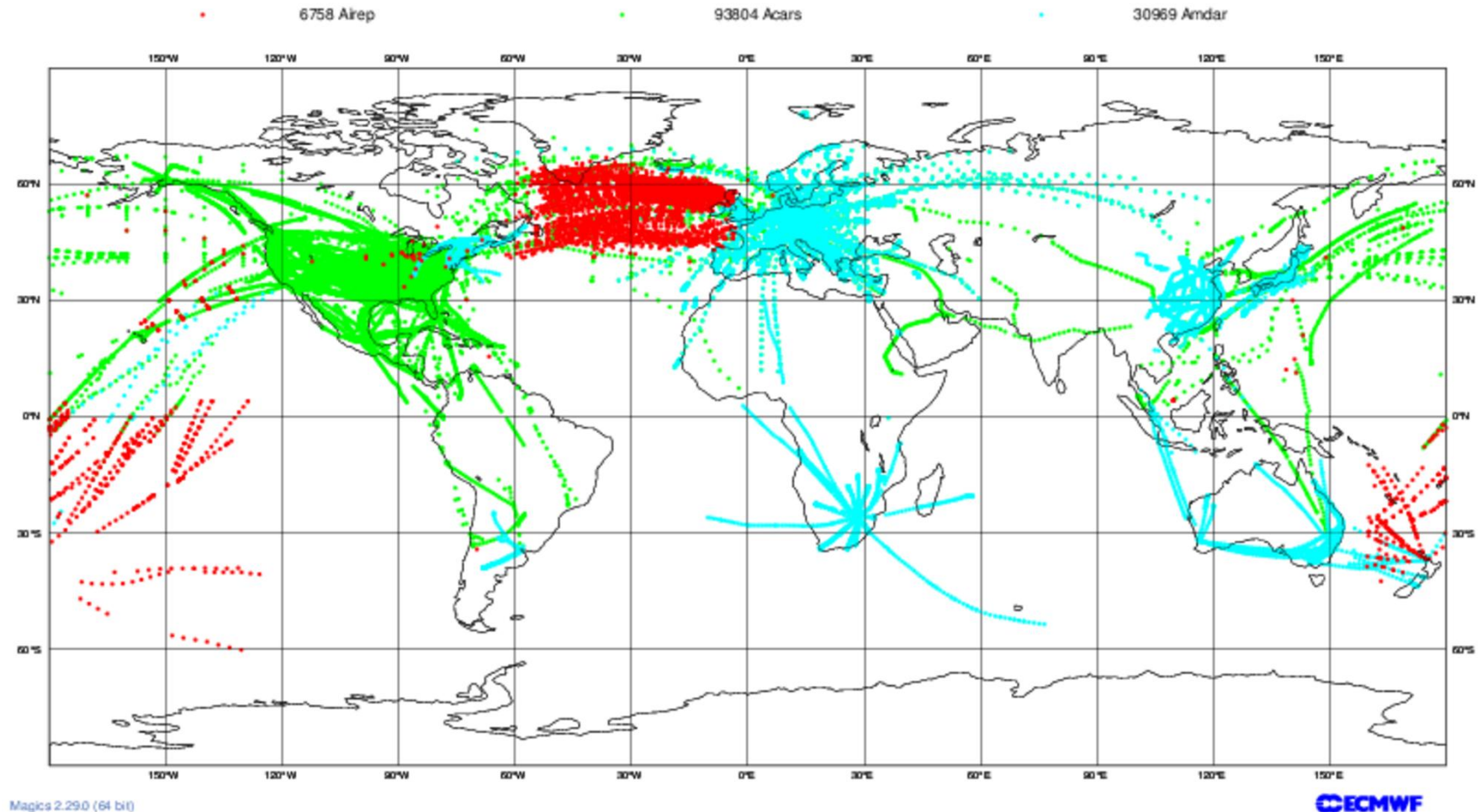


# Dati da aeromobili

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - Aircraft

26/Sep/2016; 12 UTC

Total number of obs = 131531



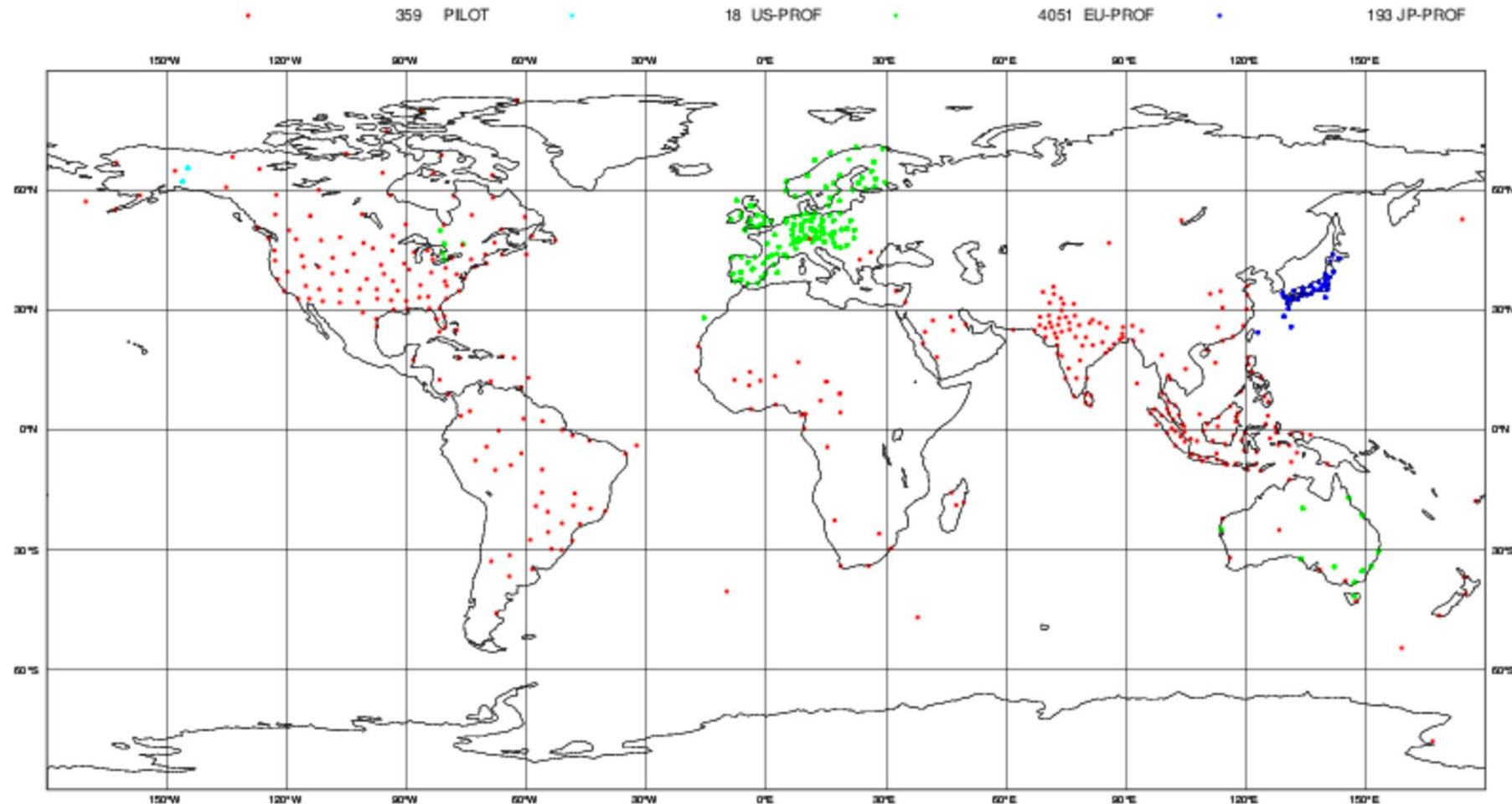


# Dati da palloni pilot

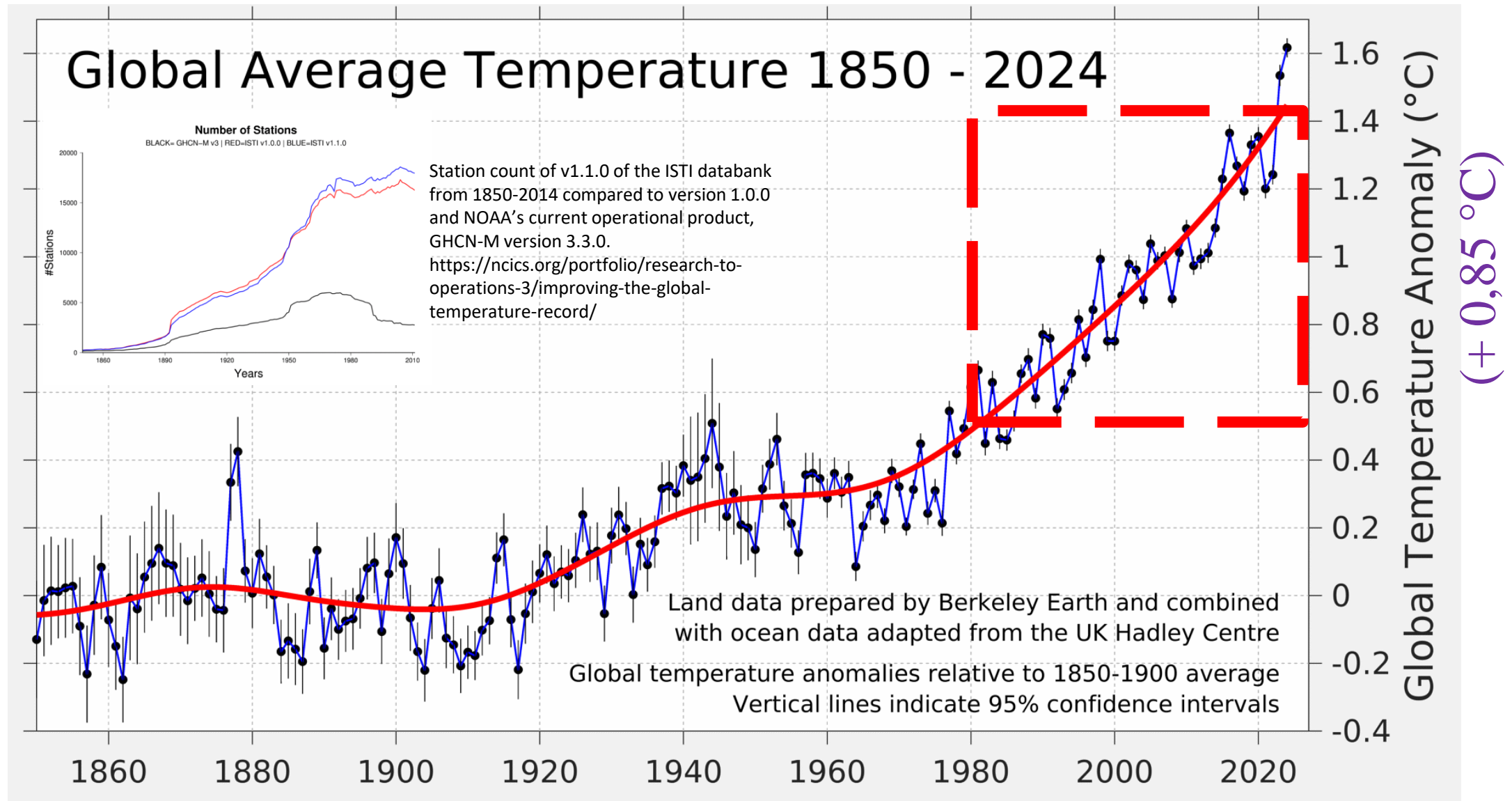
ECMWF Data Coverage (All obs DA) - Pilot-Profiler

26/Sep/2016; 12 UTC

Total number of obs = 4621

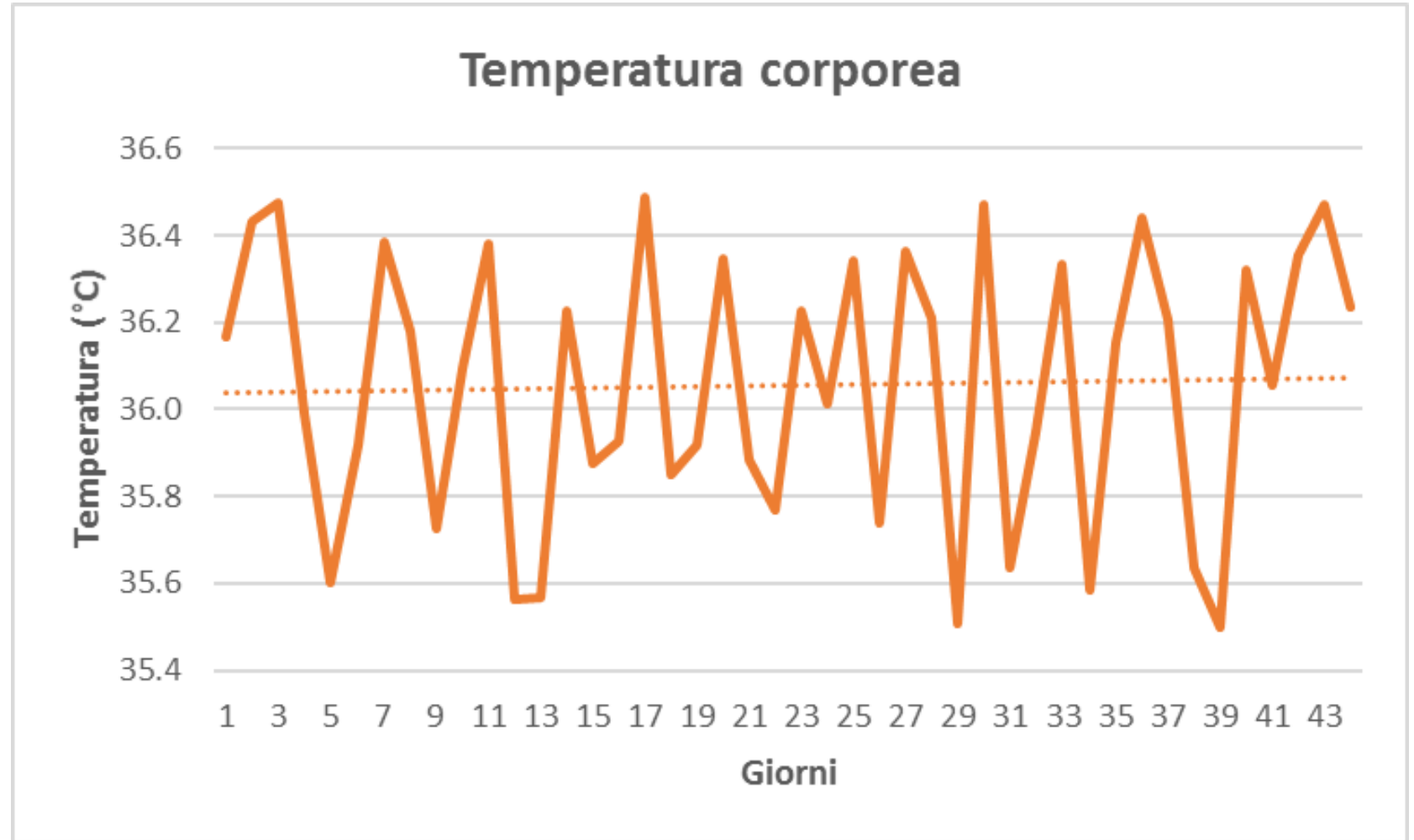


# Aumento delle temperature globali, dal 1850 a oggi



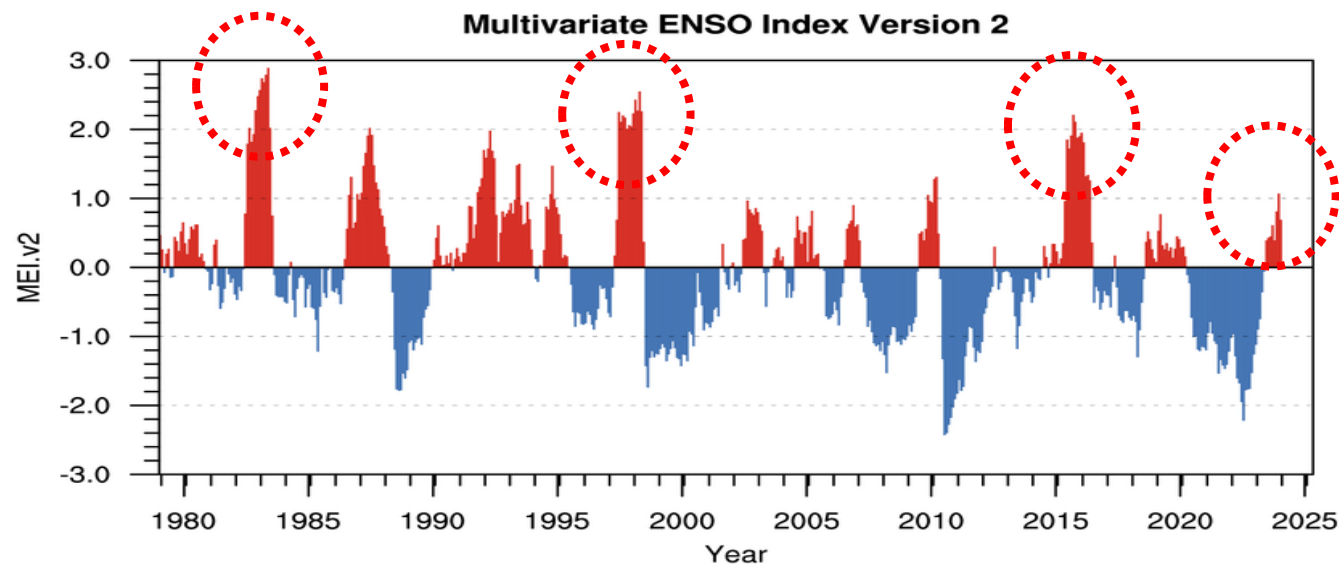
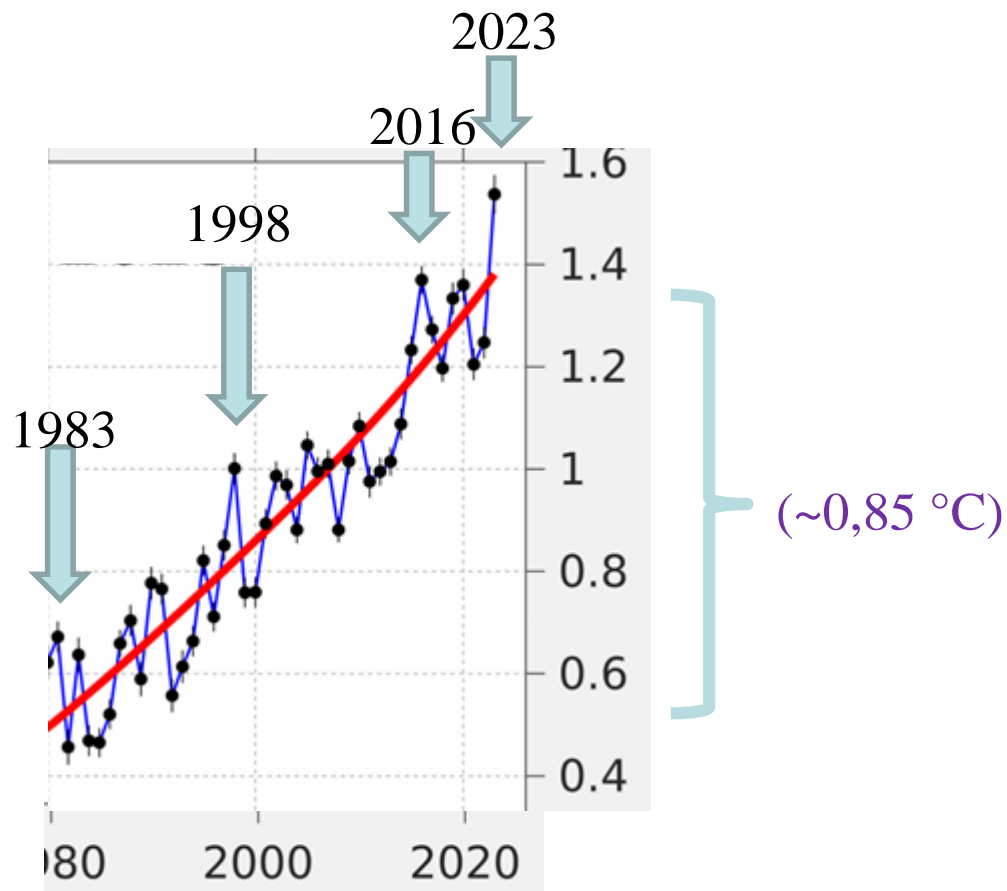
# Variabilità «interna» del sistema

- Molte oscillazioni da un giorno all'altro
- Conviene adottare un approccio statistico
- Media 36.1 °C
- Mediana 36.1 °C
- Dev. Stand. 0.3 °C
- Min 35.5 °C
- Max 36.5 °C
- Trend: 0.00 °C/giorno

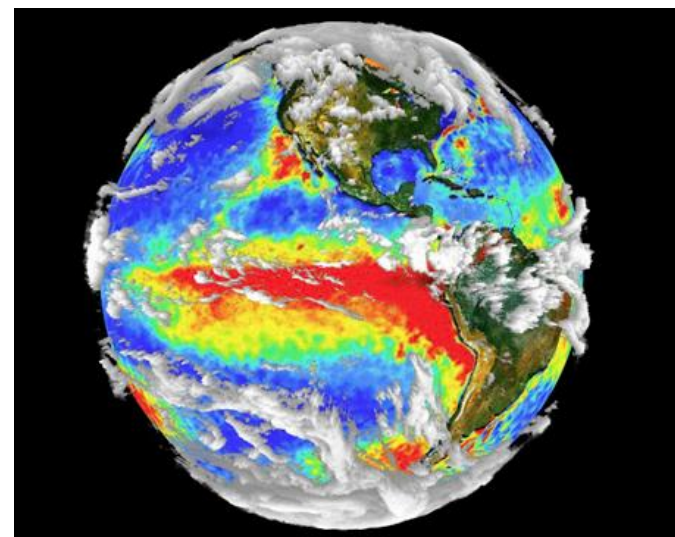




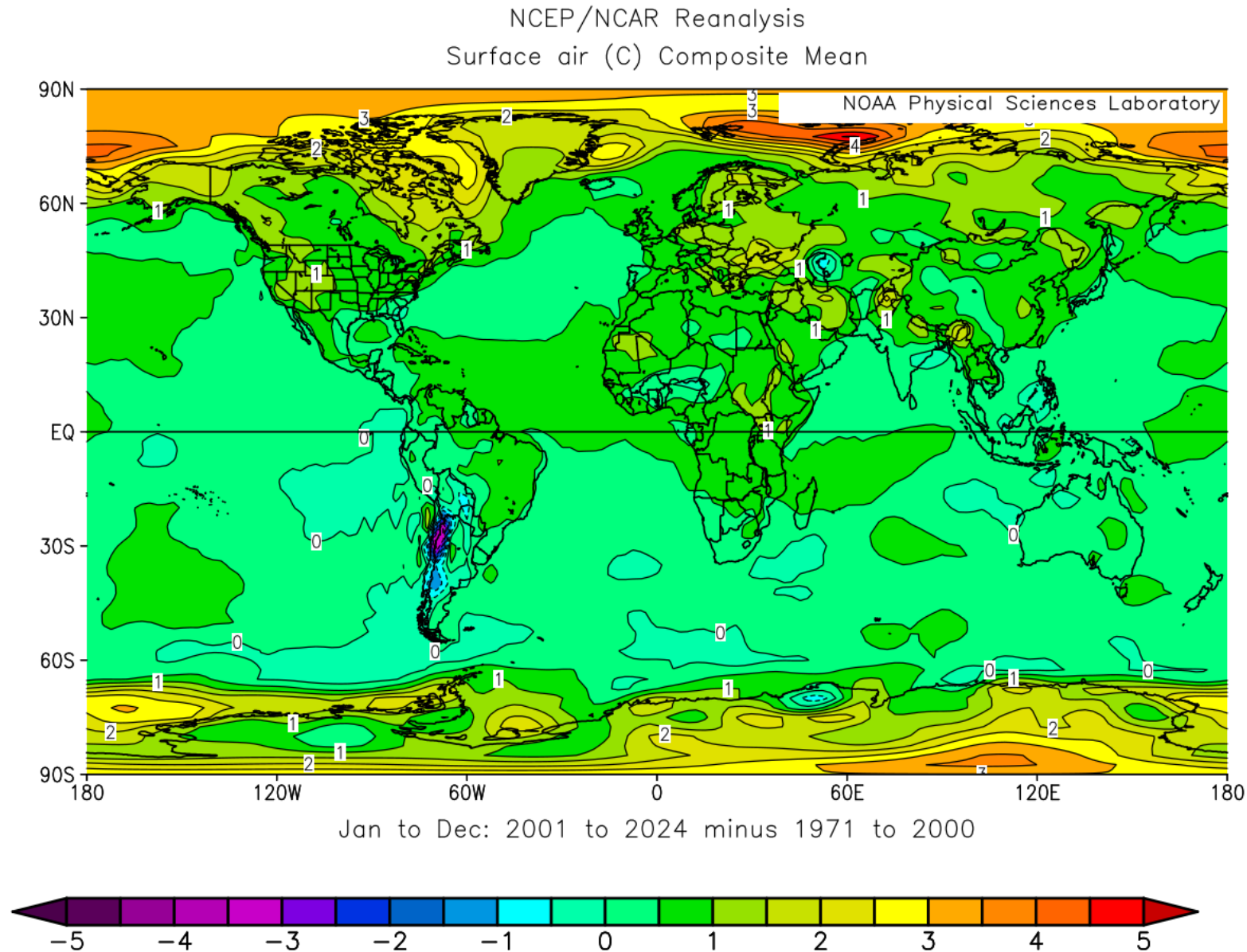
# La correlazione tra gli anni più caldi e El Niño (ENSO)



- Negli anni di El Niño il Pacifico tropicale è molto più caldo della media

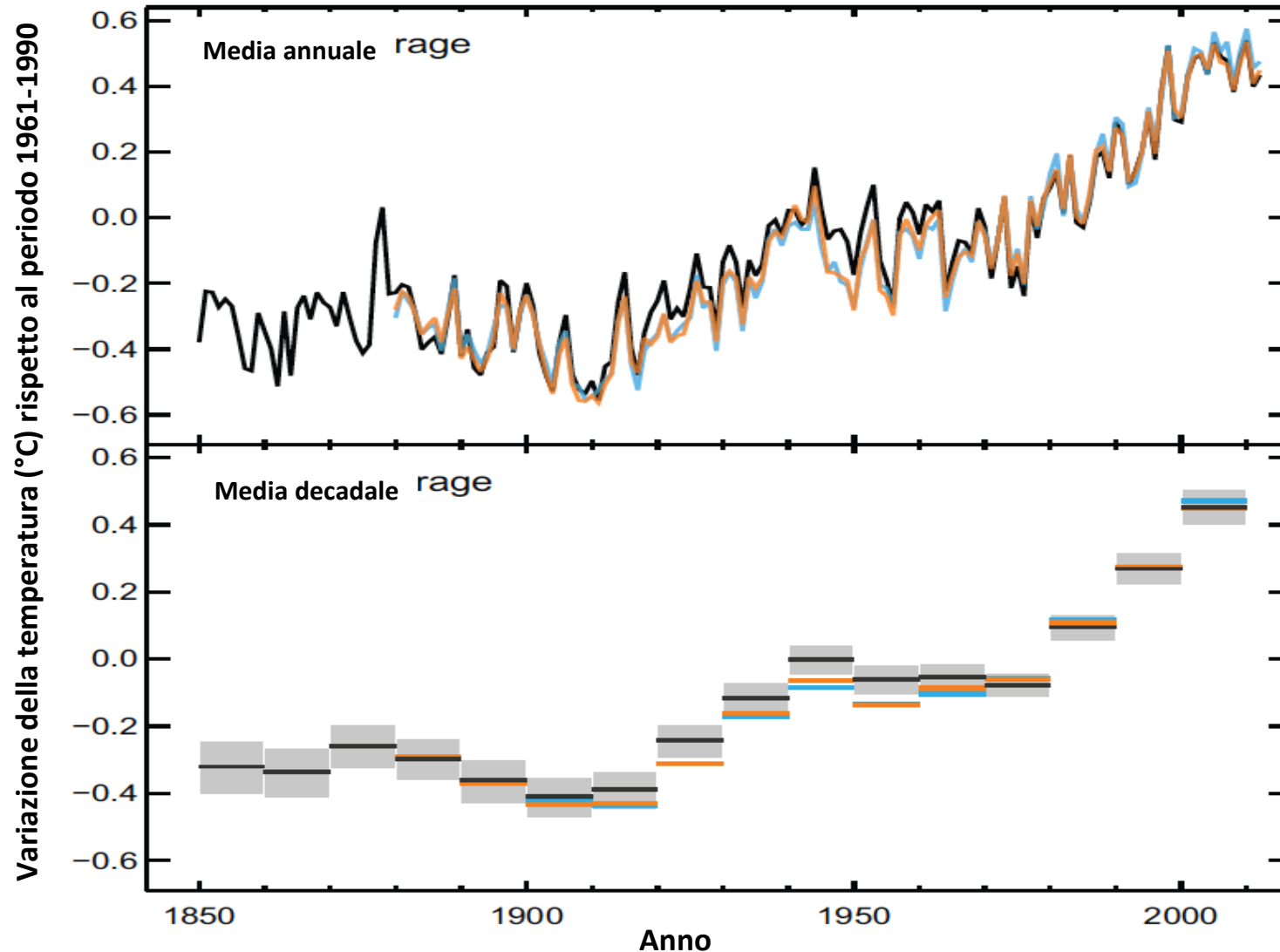


# Distribuzione spaziale del riscaldamento



Le diverse regioni  
della terra non si  
sono scaldate tutte  
allo stesso modo

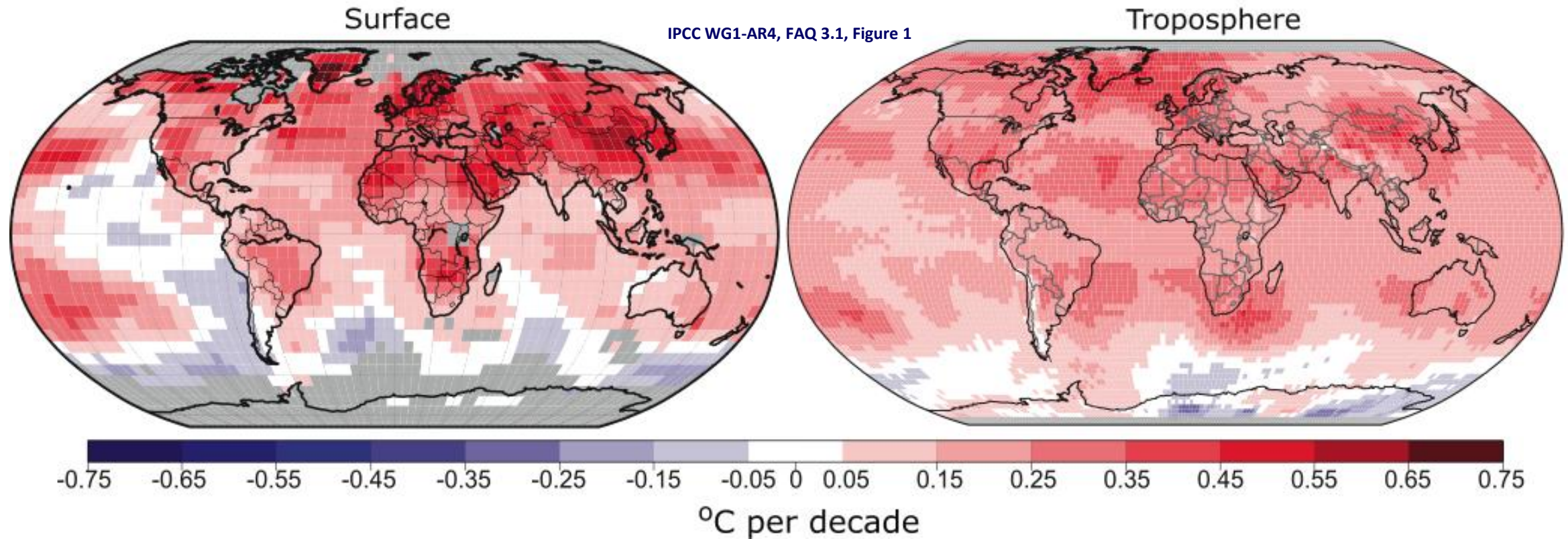
# La temperatura sta aumentando decade dopo decade



Dal 1880 al 2012,  
la crescita della  
temperatura  
media della Terra  
è stata di 0,85 °C

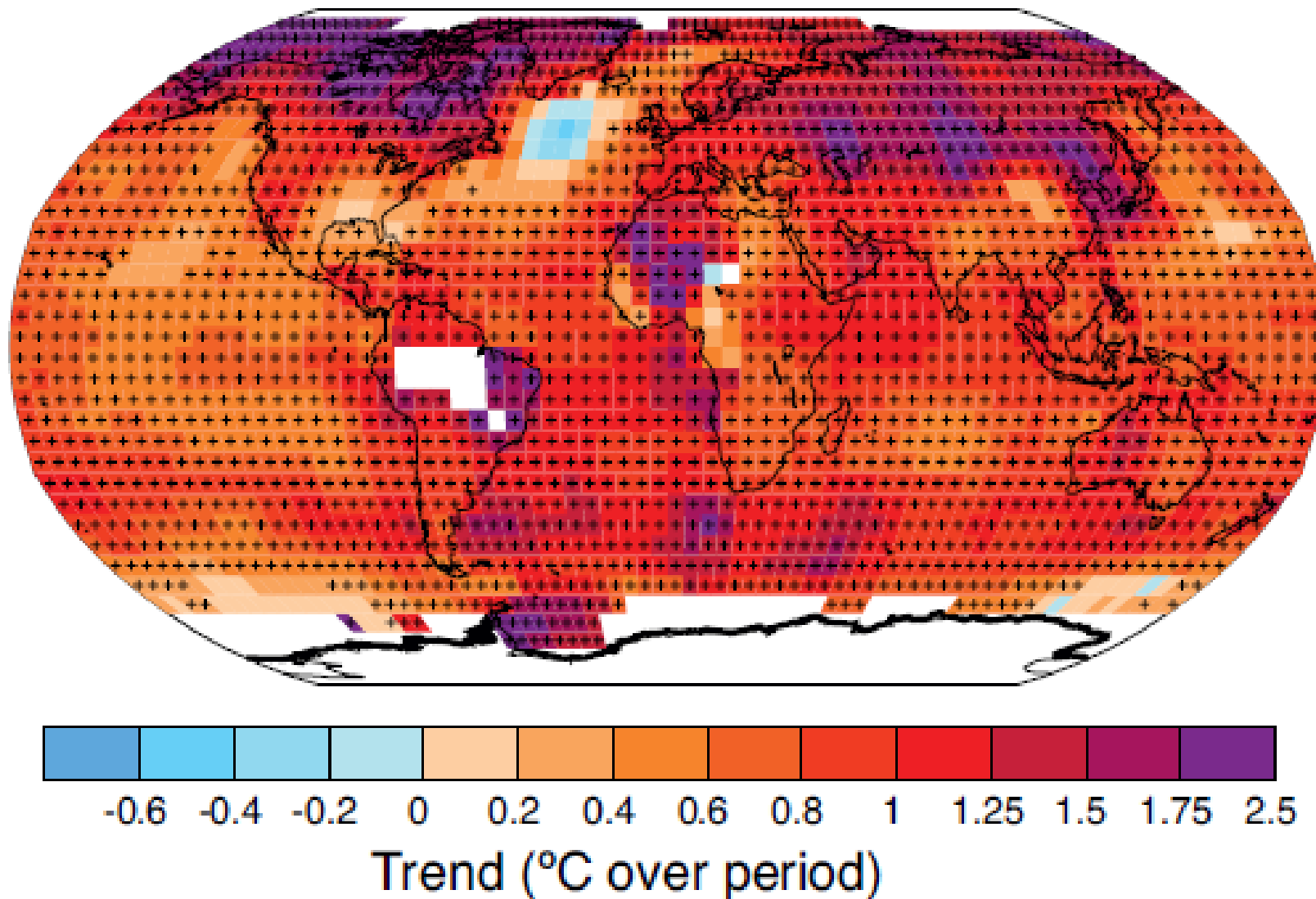


# Riscaldamento in superficie e in troposfera (1975-2000)



# Trend termici positivi e significativi quasi ovunque

GISS 1901-2012

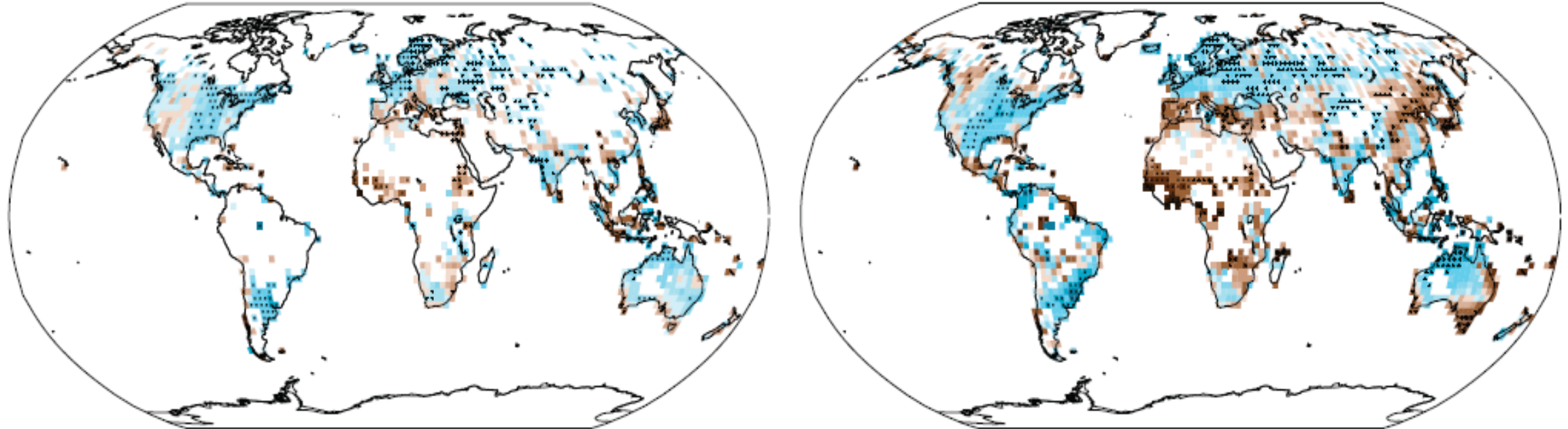


# Precipitazioni: un segnale più «complicato»

Observed change in annual precipitation over land

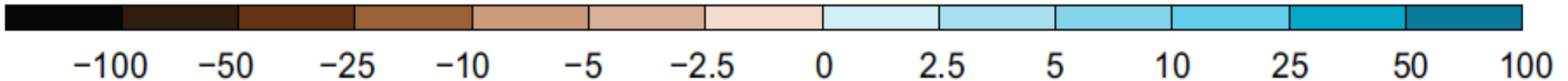
1901–2010

1951–2010



IPCC AR5 Working Group I  
Climate Change 2013: The Physical Science Basis

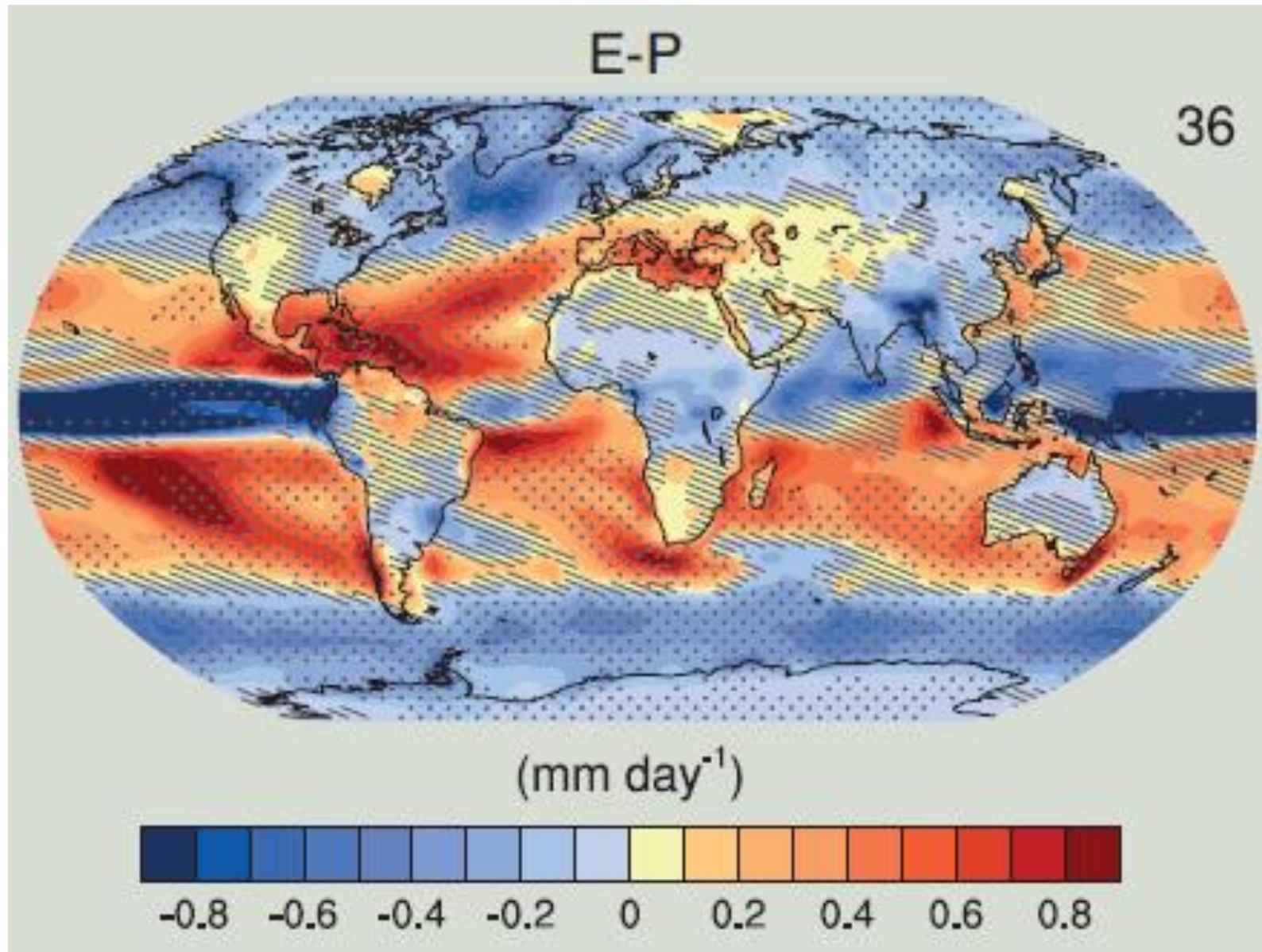
ipcc  
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change  
WHO UNEP



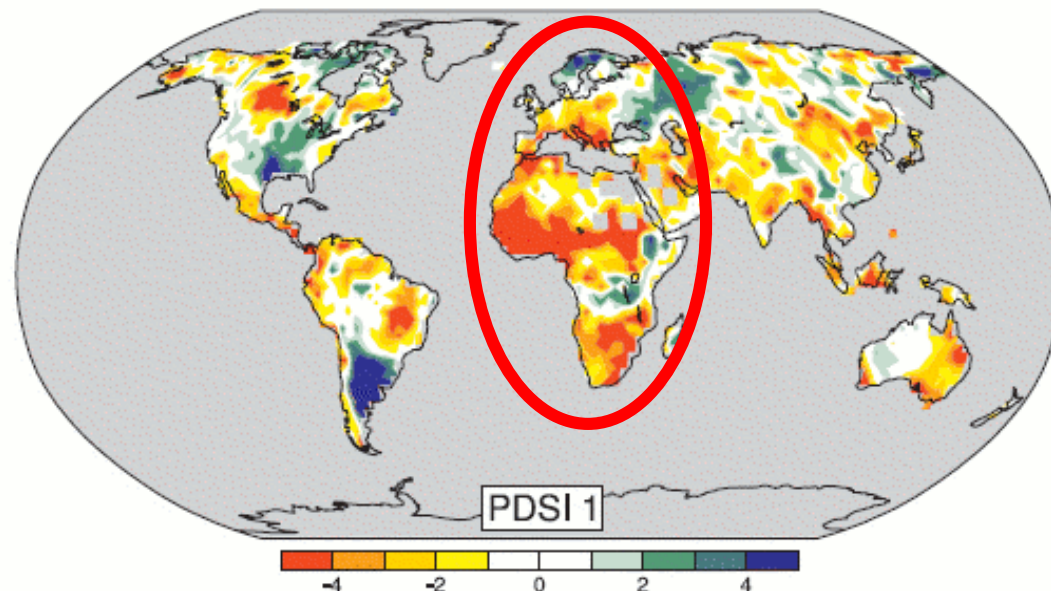
(mm yr<sup>-1</sup> per decade)



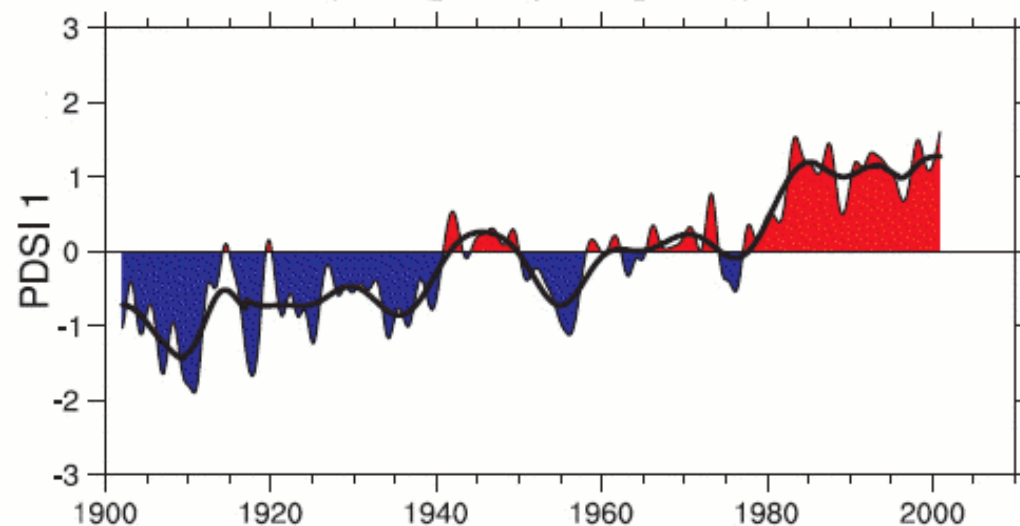
# E-P: evaporazione meno precipitazione



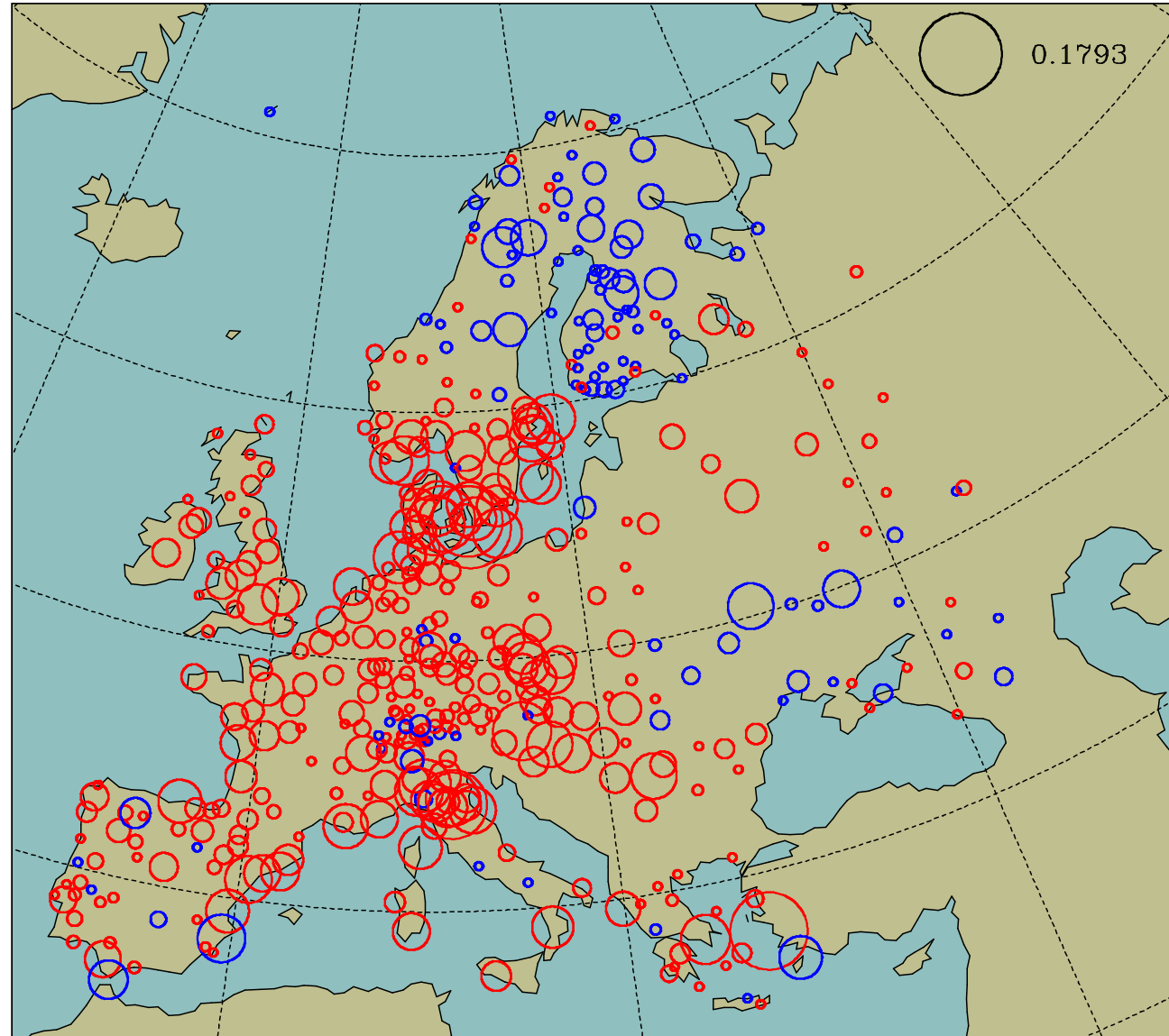
# Variazione di frequenza degli eventi siccitosi



Aumento dell'intensità e della durata degli eventi secchi sulla base dell'indice PDSI

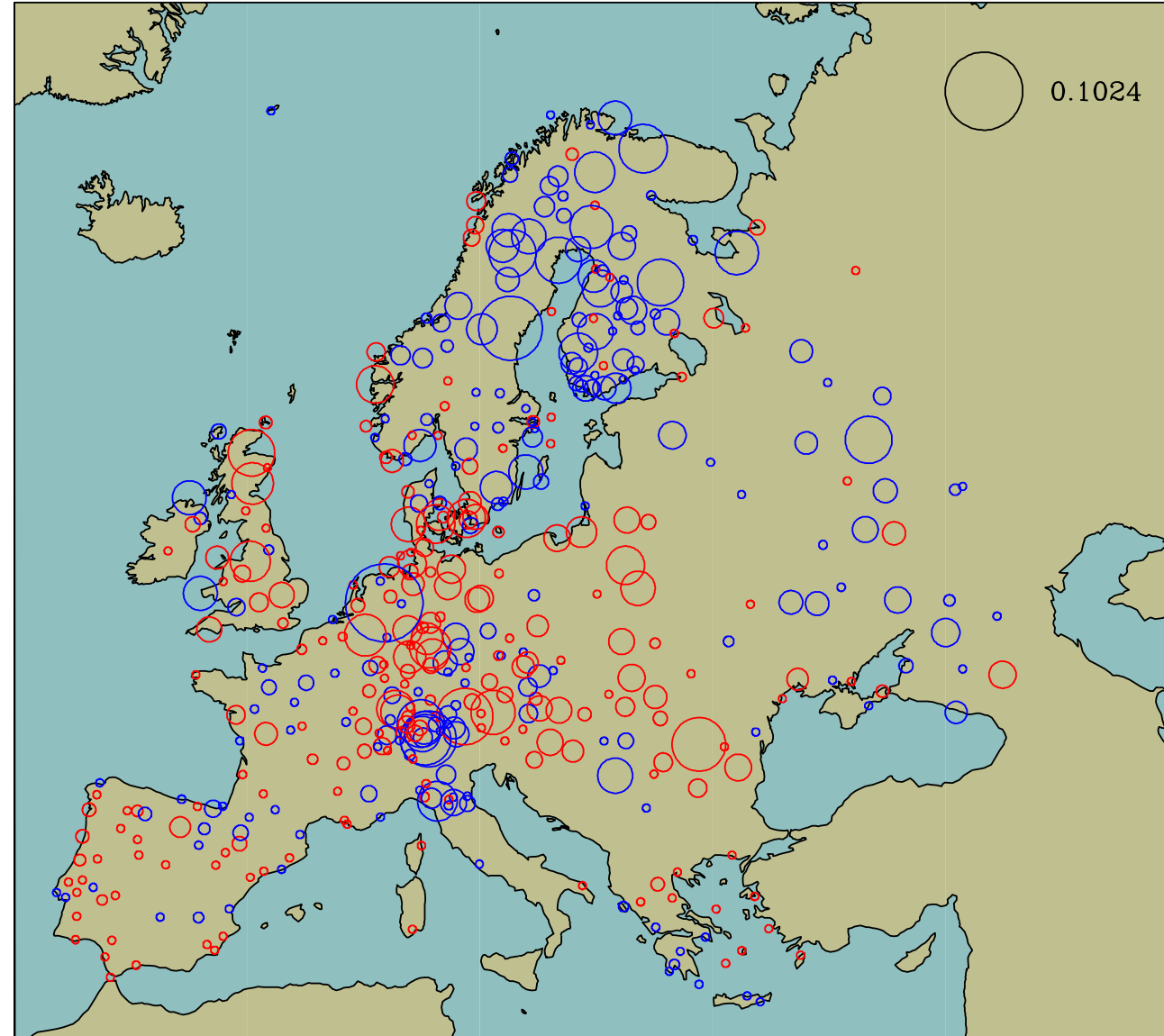


# Durata delle ondate di calore estive (1958-2000)



Giorni/anno - rosso = aumento *Malcolm Haylock, UEA/STARDEX*

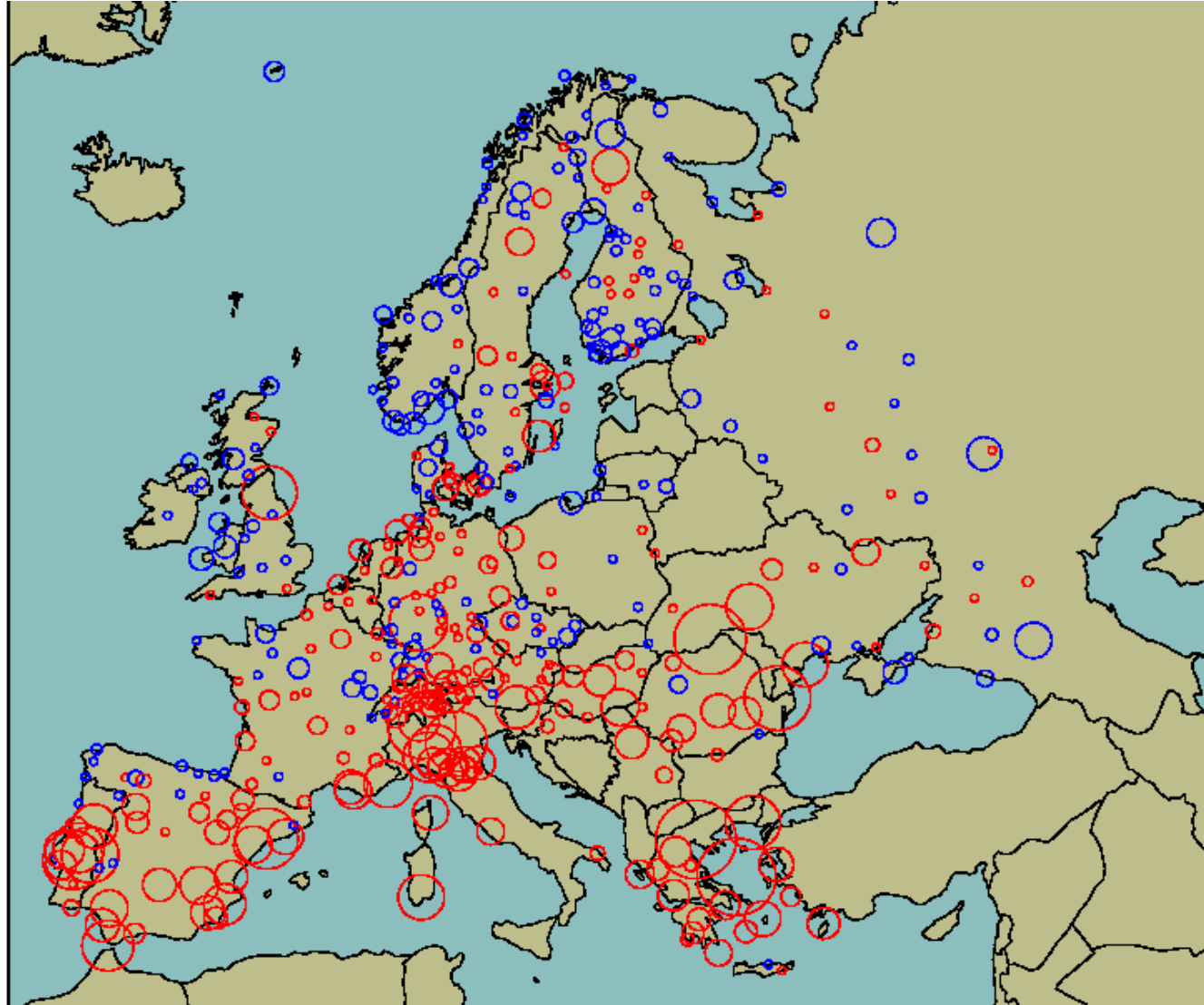
# Giorni con precipitazioni intense (1958-2000)



Giorni/anno – blu = aumento *Malcolm Haylock, UEA/STARDEX*



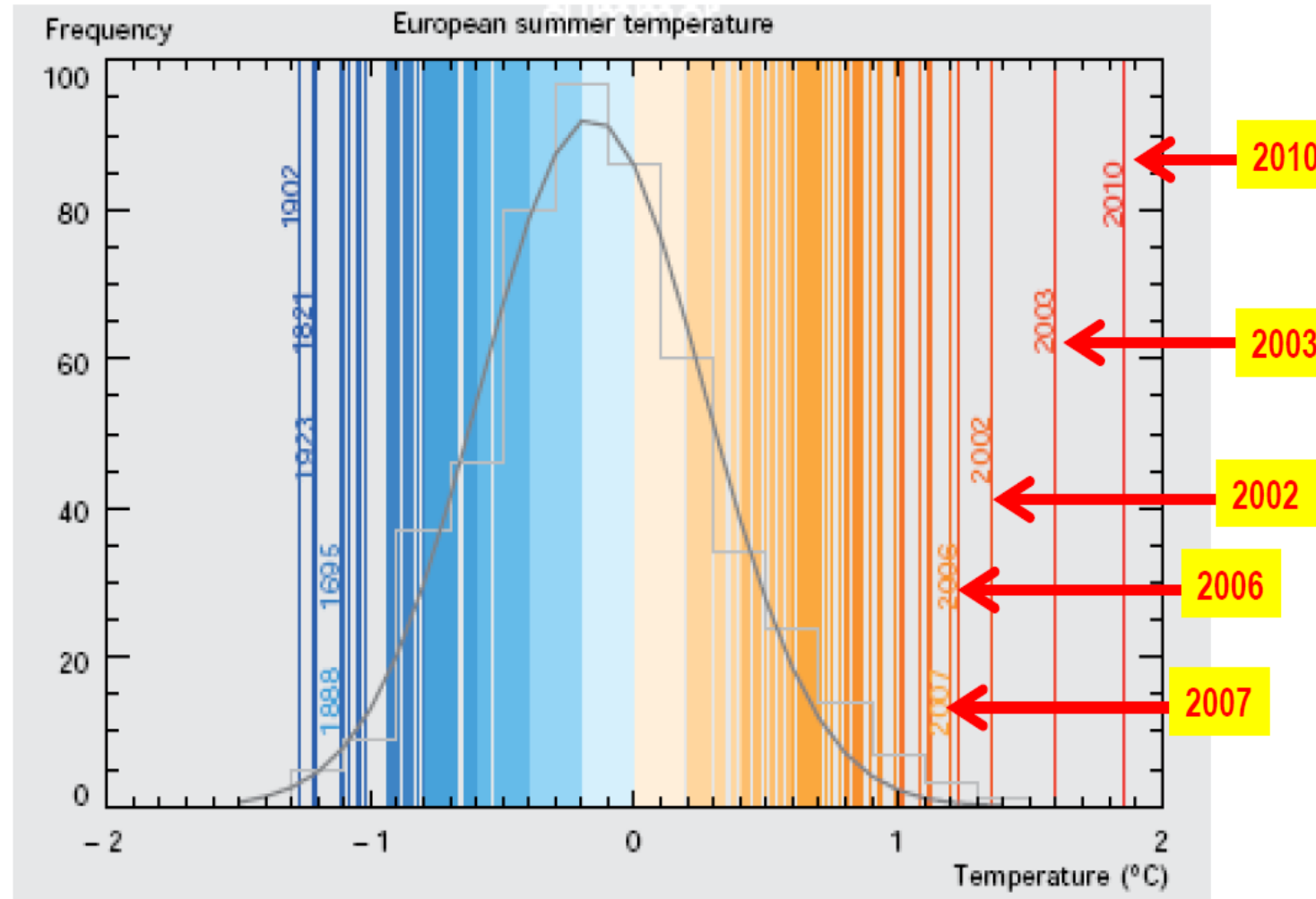
# Giorni estivi consecutivi senza precipitazioni (1958-2000)



Giorni/anno – blu = diminuzione *Malcolm Haylock, UEA/STARDEX*

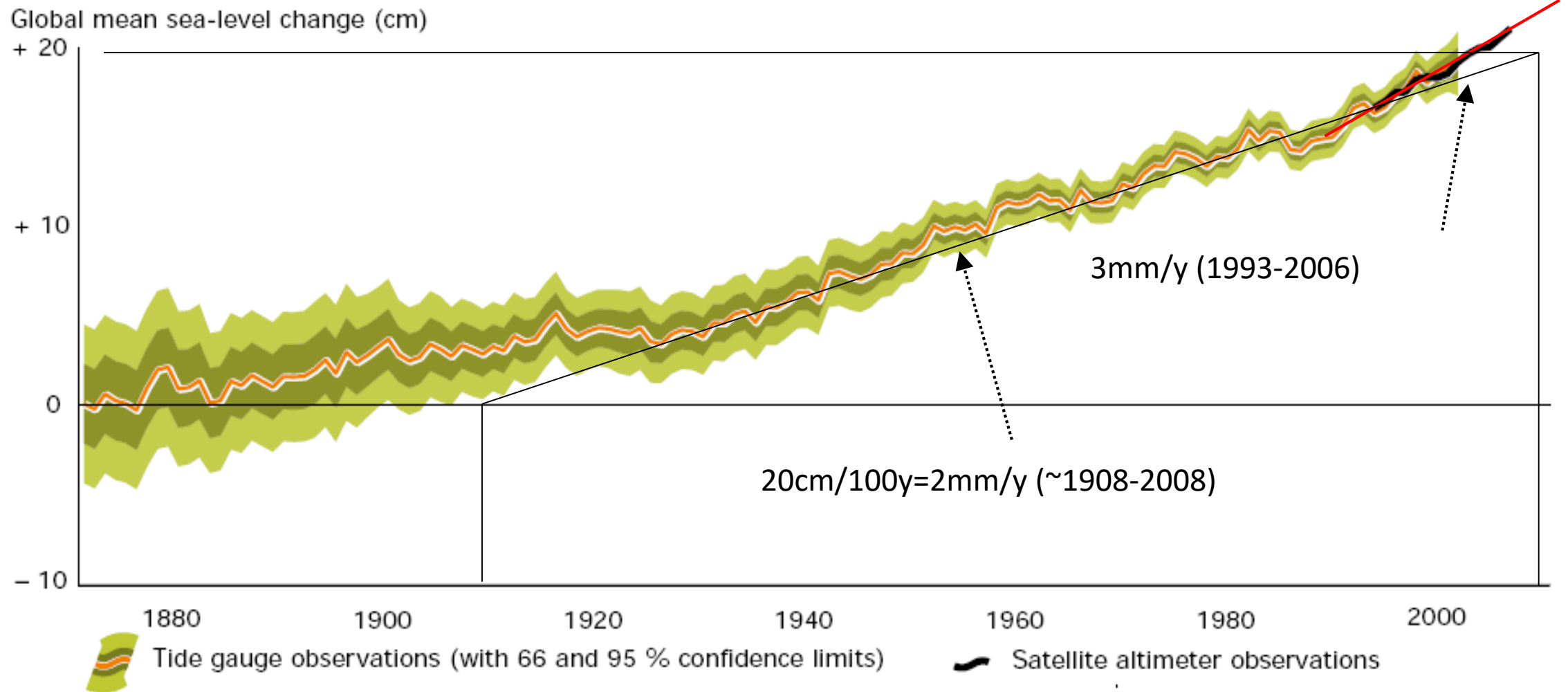
# Aumento delle ondate di calore

Anomalie termiche estive nel periodo 1900-2010  
rispetto al trentennio 1970-1999



Fonte: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 (EEA Report No 12/2012)

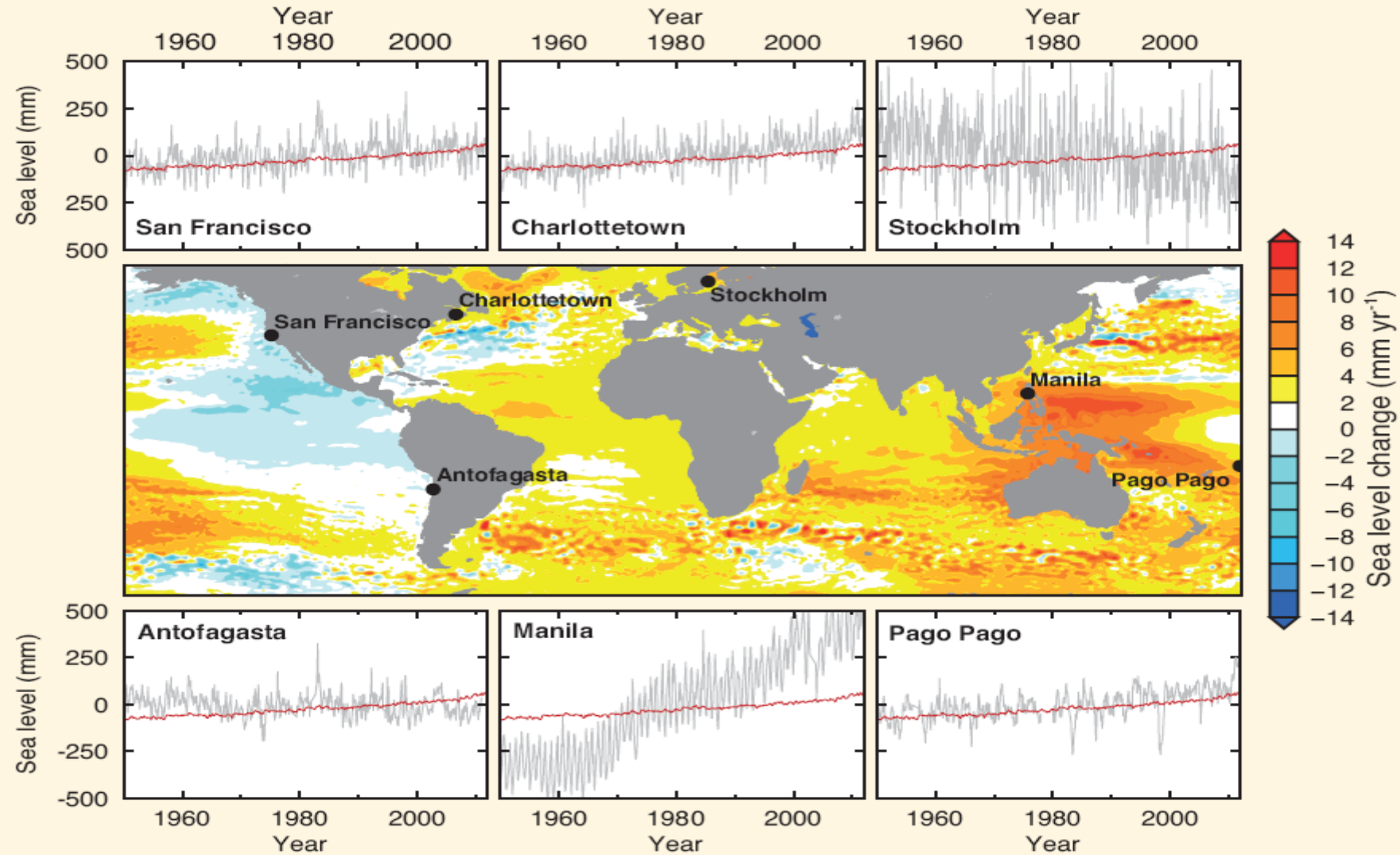
# Variazione livello del mare (1870-2006)



**Source:** Church and White, 2006 (<http://maps.grida.no/go/graphic/trends-in-sea-level-1870-2006>).



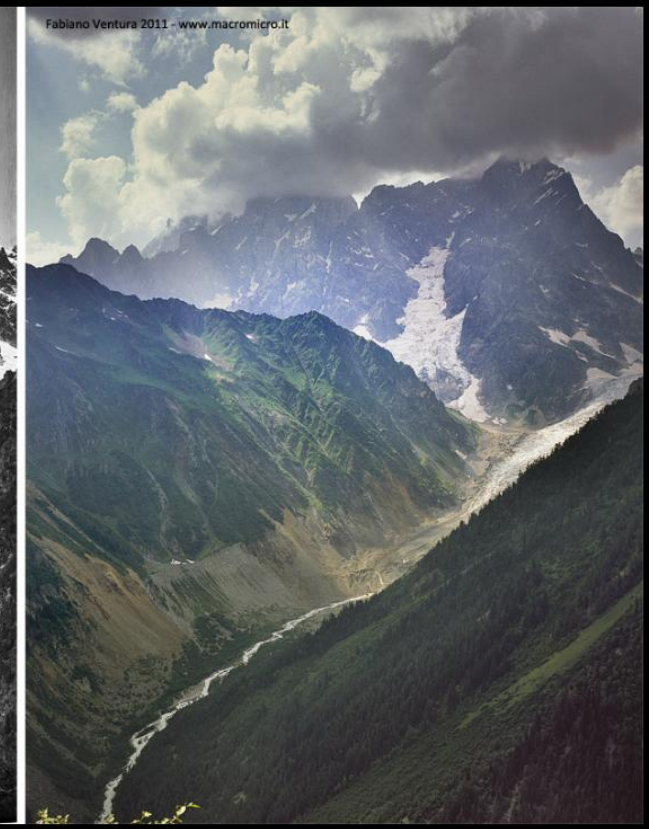
# Incremento del livello del mare



**FAQ13.1, Figure 1 |** Map of rates of change in sea surface height (geocentric sea level) for the period 1993–2012 from satellite altimetry. Also shown are relative sea level changes (grey lines) from selected tide gauge stations for the period 1950–2012. For comparison, an estimate of global mean sea level change is also shown (red lines) with each tide gauge time series. The relatively large, short-term oscillations in local sea level (grey lines) are due to the natural climate variability described in the main text. For example, the large, regular deviations at Pago Pago are associated with the El Niño–Southern Oscillation.

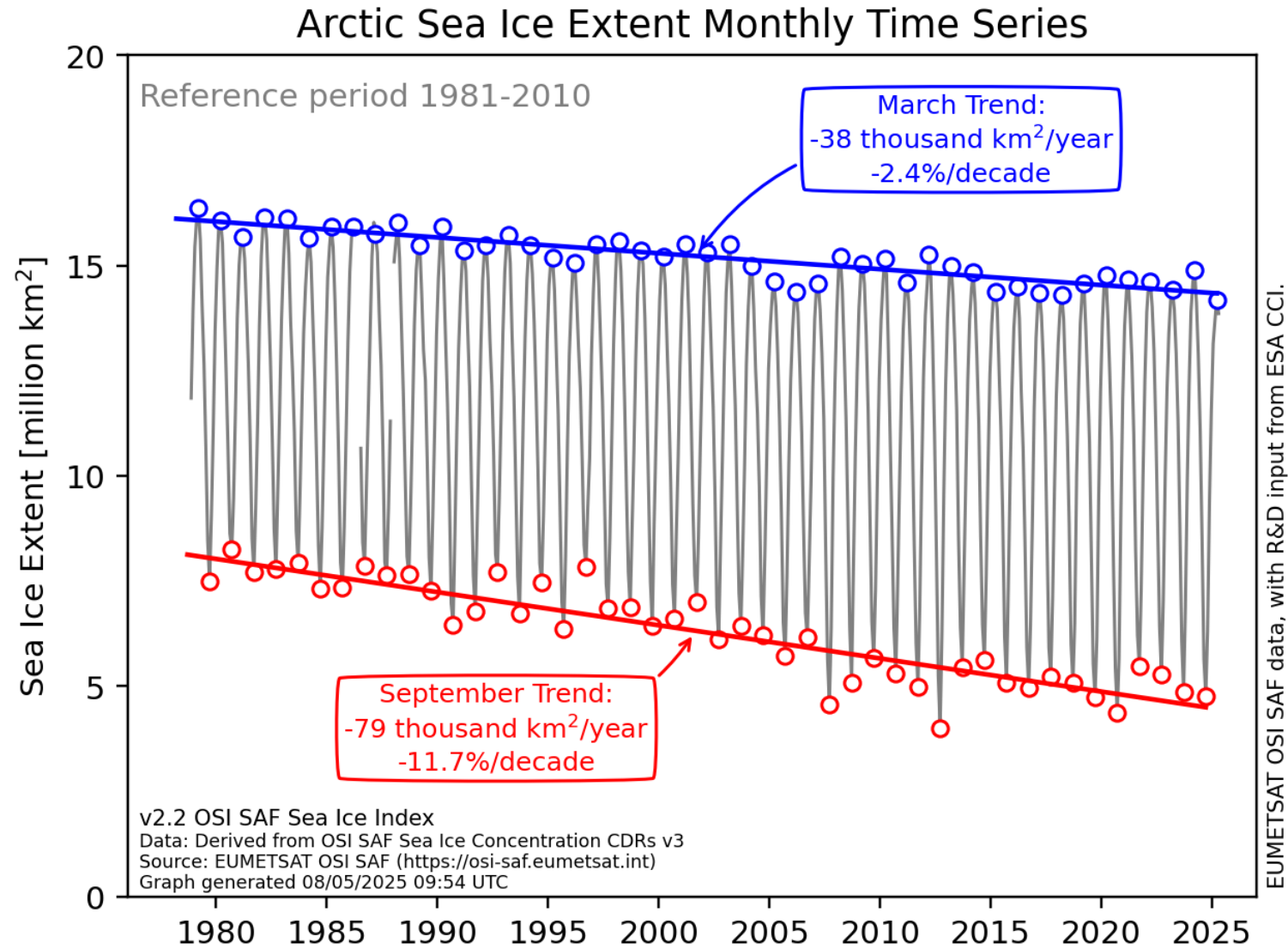
Fonte: IPCC AR5

# Regresso dei ghiacciai montani: il Caucaso





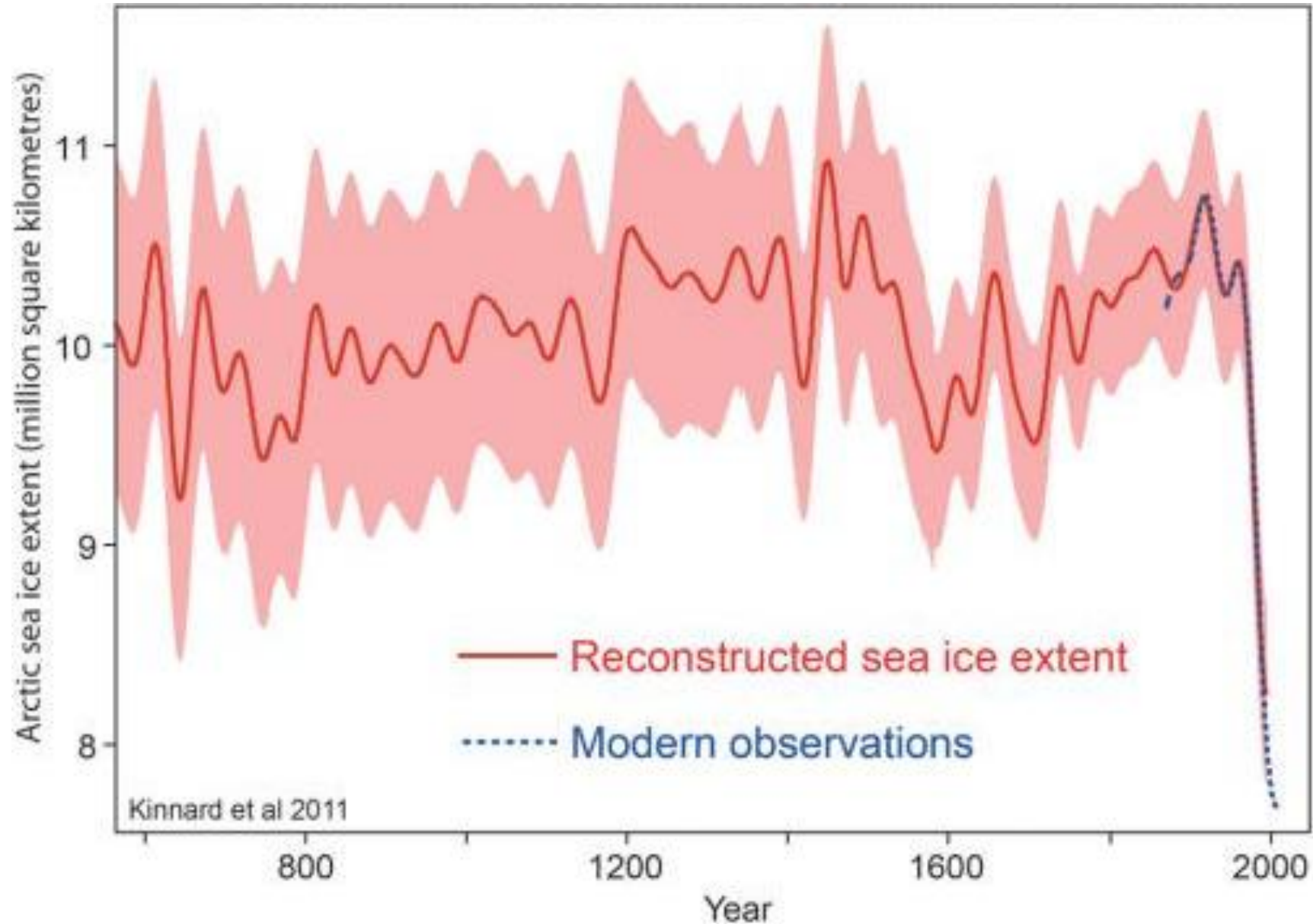
# Anomalia ghiacci marini



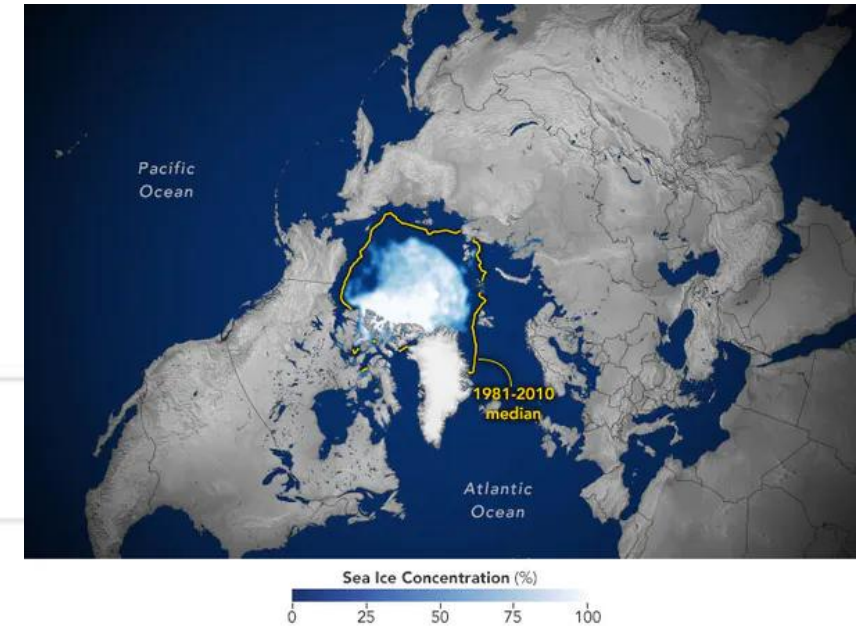
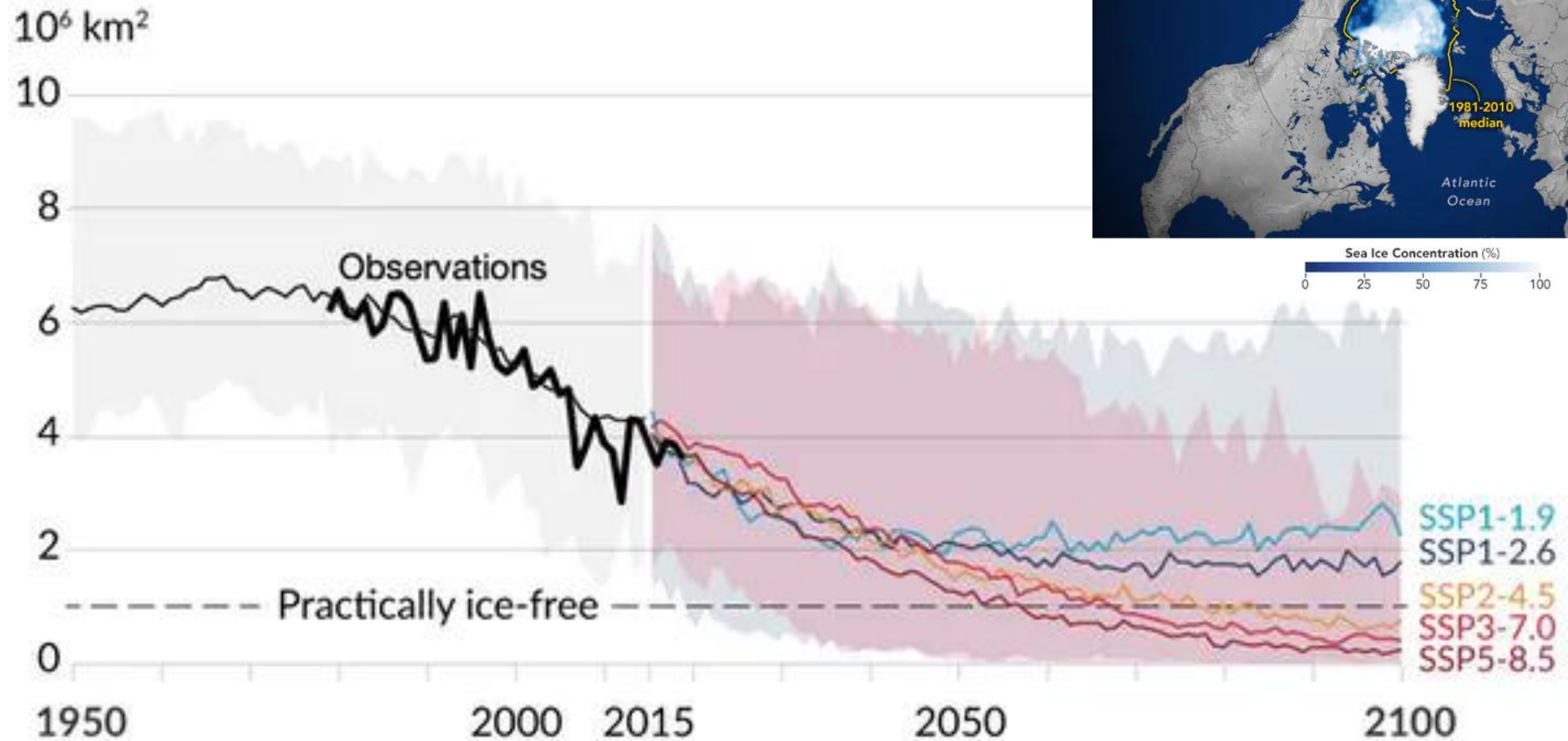
Fonte: <https://osisaf-hl.met.no/v2p2-sea-ice-index>



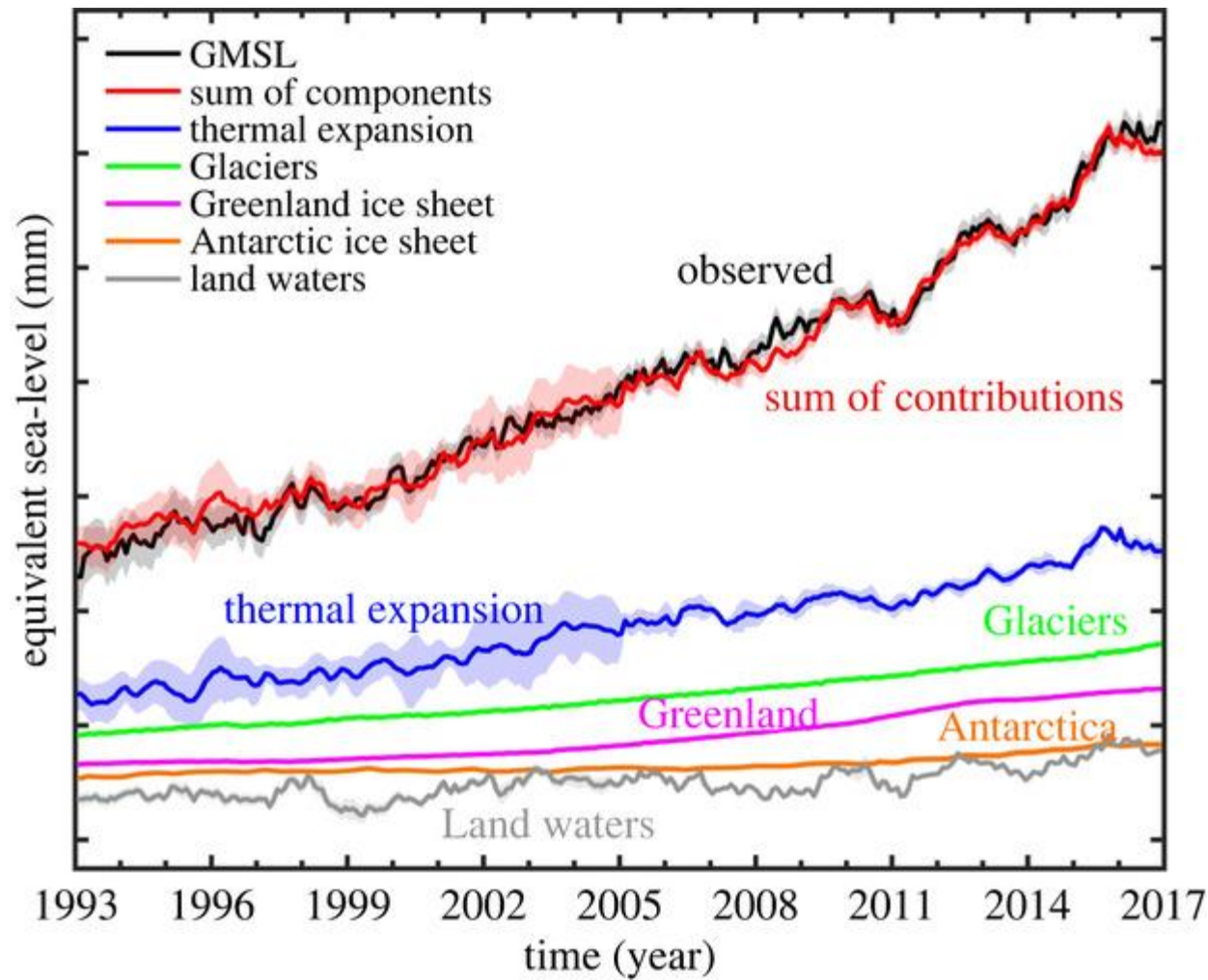
# Il ghiaccio marino artico: ricostruzione dal medioevo



# Ghaccio marino artico: modelli (IPCC) vs dati



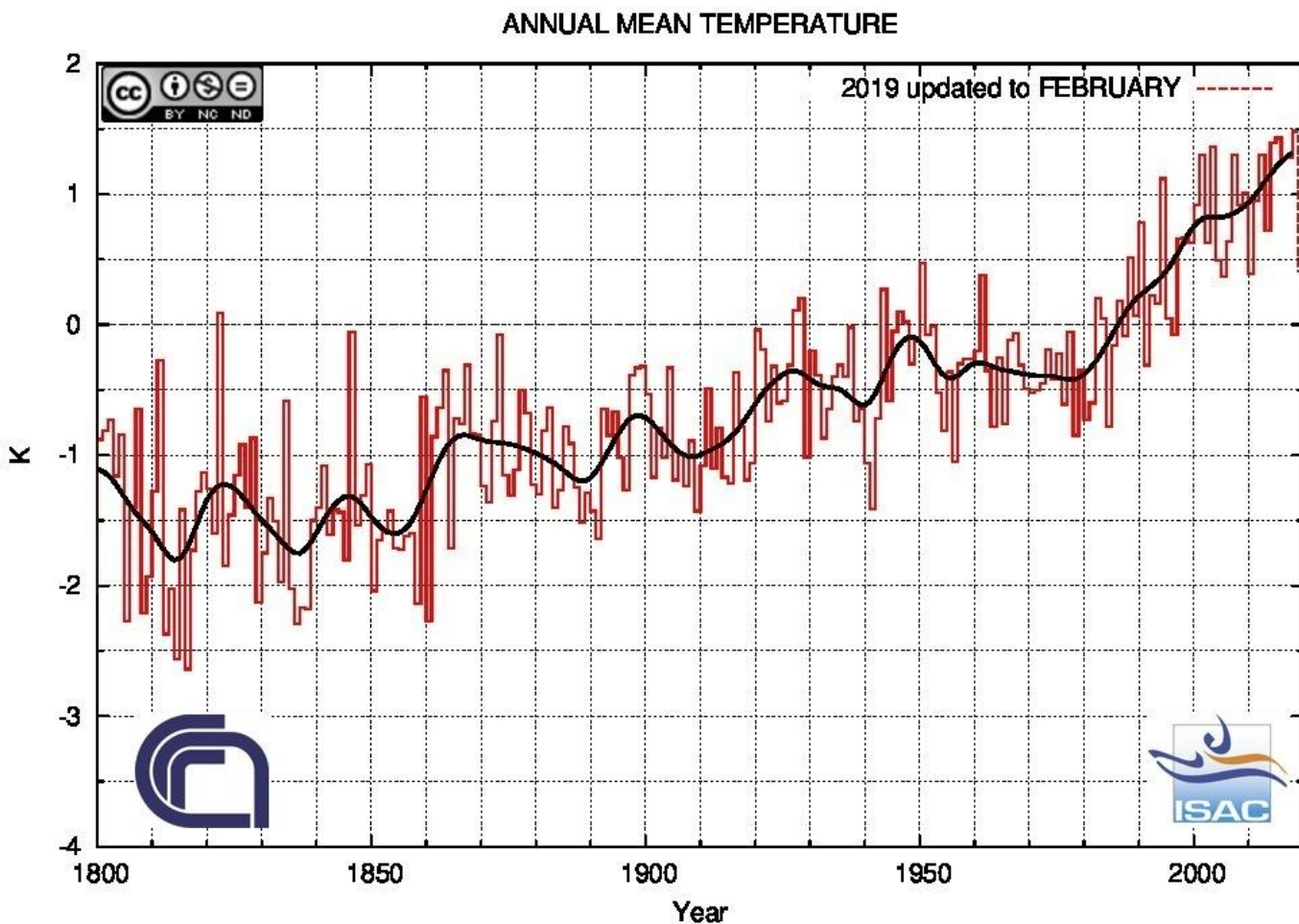
# Variazione del livello del mare e della fusione dei ghiacci



Fonte: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2022.0049>



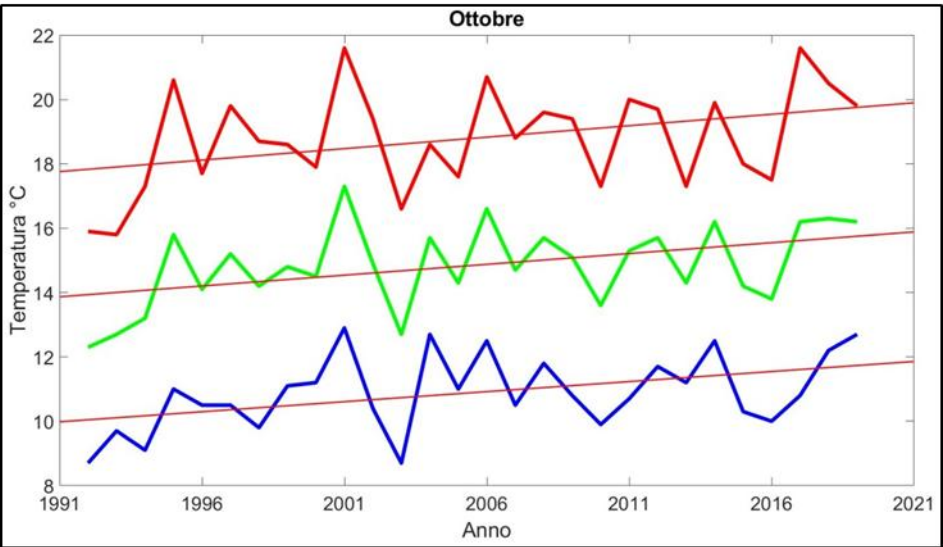
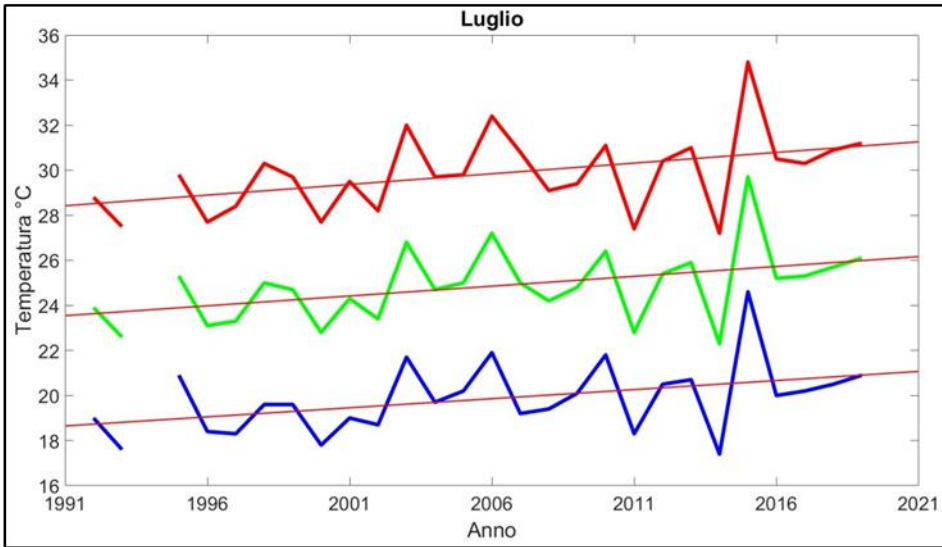
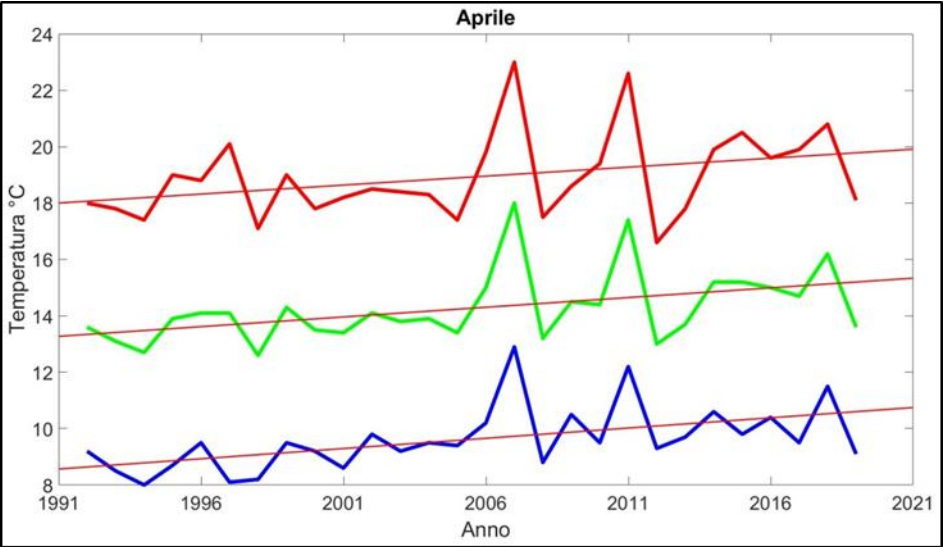
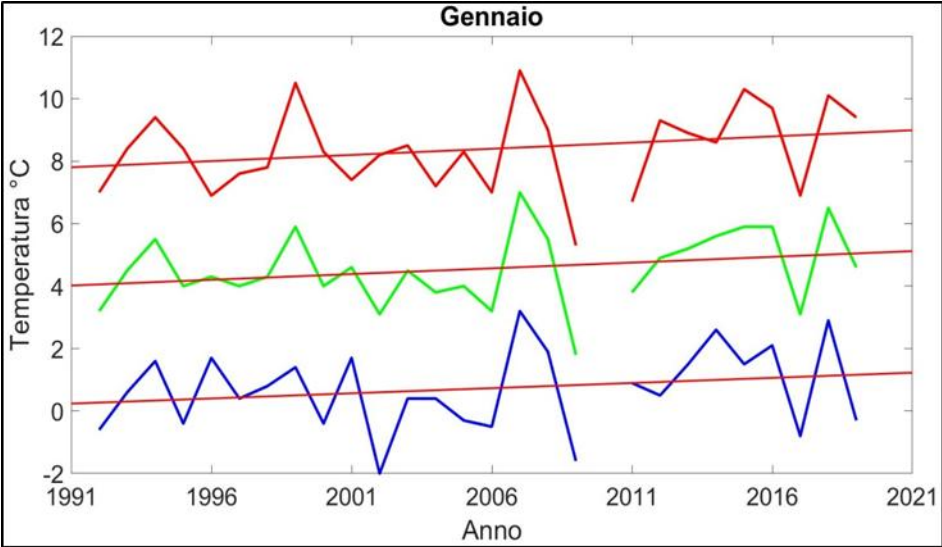
# Le temperature in Italia



➤ Forte aumento dagli anni '80 (quasi 2°C), il doppio dell'anomalia globale

Fonte: [http://www.isac.cnr.it/climstor/climate\\_news.html](http://www.isac.cnr.it/climstor/climate_news.html)

# La situazione a Torino: temperatura

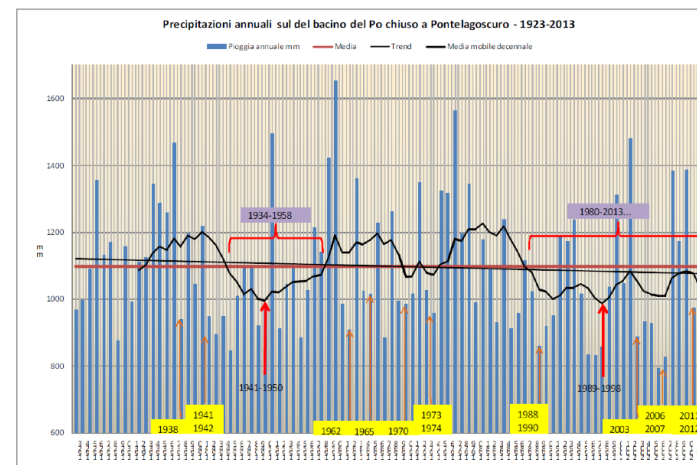
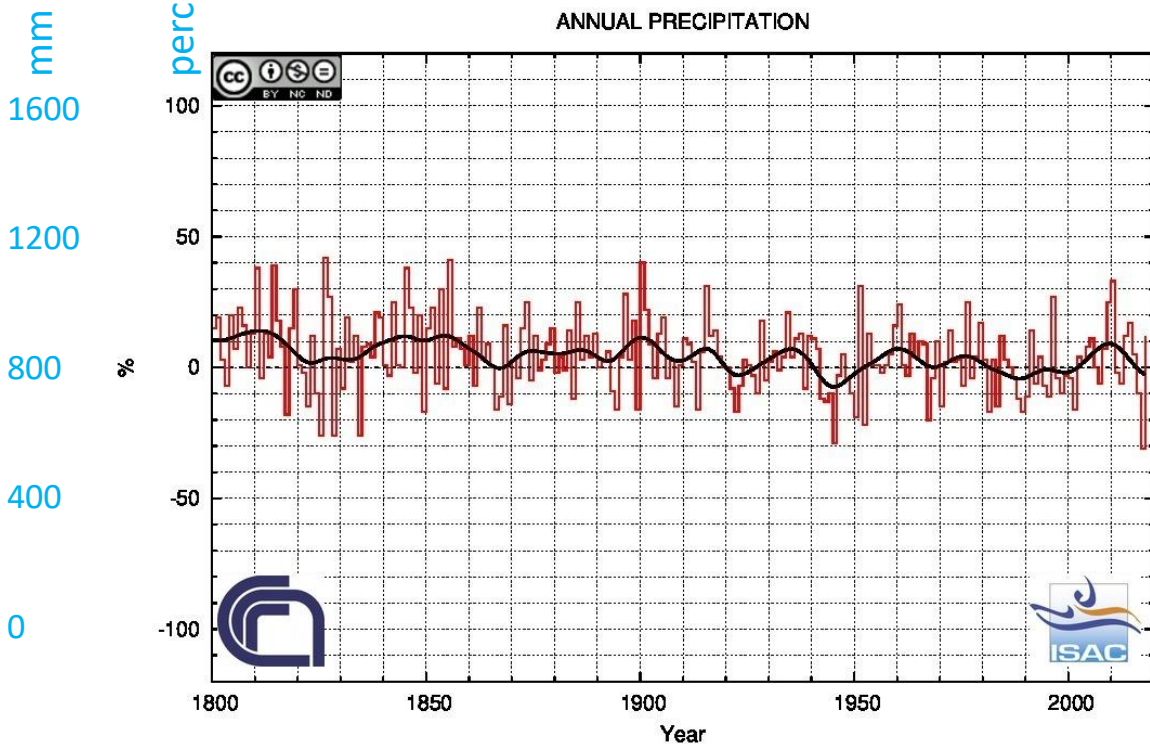


Mesi	$\Delta T$ 30 anni
Gennaio	1,11
Febbraio	-0,72
Marzo	0,03
Aprile	2,07
Maggio	-0,78
Giugno	2,28
Luglio	2,61
Agosto	0,93
Settembre	2,91
Ottobre	2,01
Novembre	1,62
Dicembre	0,81
Anno	1,32

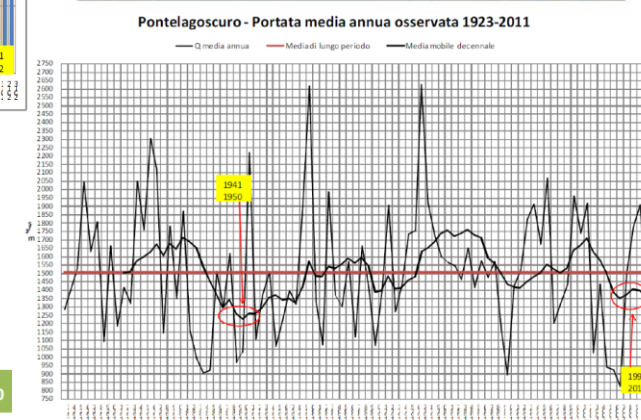
Temperature medie (°C)

Dati acquisiti sul tetto dell'istituto di fisica - Torino

# Le precipitazioni in Italia



Fonte: [http://www.isac.cnr.it/climstor/climate\\_news.html](http://www.isac.cnr.it/climstor/climate_news.html)



- Piove leggermente di meno nell'anno e in tutte le stagioni
- Nessuna variazione è statisticamente significativa, però ha effetti sulle portate dei fiumi

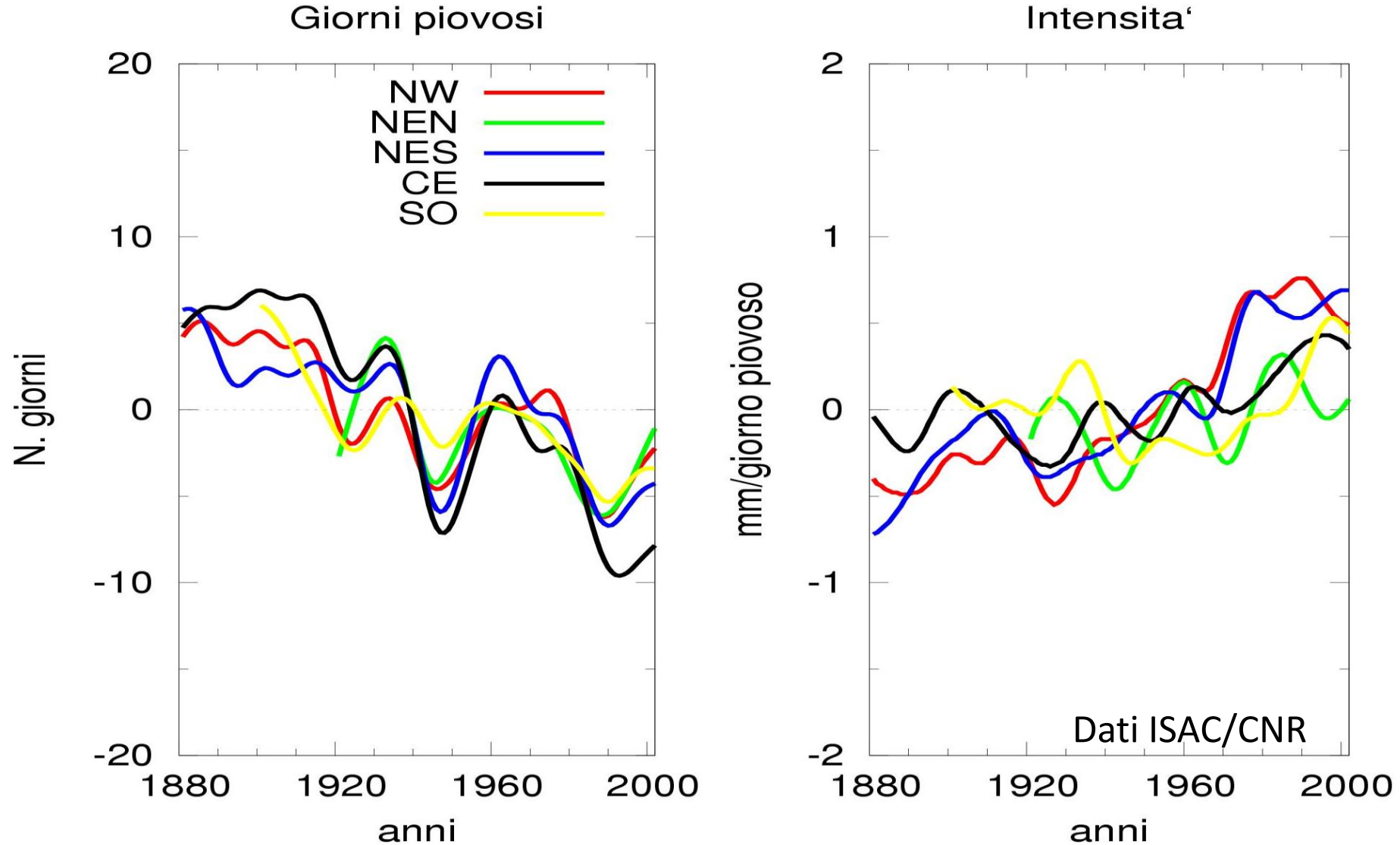
Parametro	Valore periodo 1923-2000	Valore periodo 2001-2010	
Portata media	1522	1398	-9%
Portata semipermanente (corrispondente alla durata di metà anno, 182.5 giorni)	1210	1078	-12%
Portata limite di piena (corrispondente alla portata con durata 91 giorni)	1840	1675	-10%
Portata limite di magra (corrispondente alla durata di 274 giorni)	874	794	-10%
Portata con durata 355 giorni	493	313	-6%
Portata minima	275	168	-6%



# Il delta del Po e il cuneo salino



# Piove più intensamente e meno spesso





# Aumento degli estremi climatici



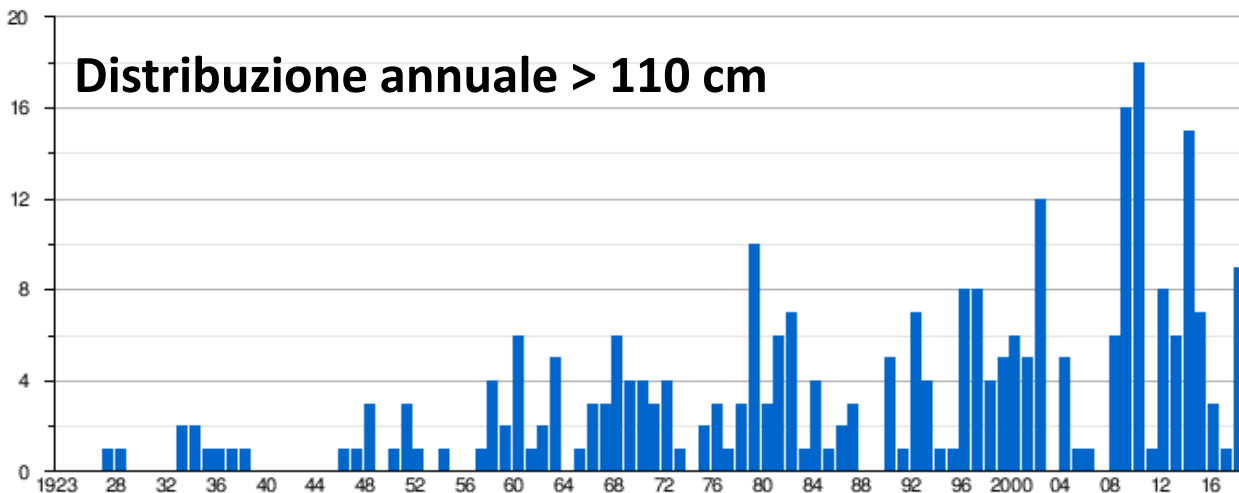


# Il complesso collegamento tra cambiamento del clima ed eventi estremi

- Non si può dire che il riscaldamento globale sia la causa scatenante dei singoli eventi estremi
- Un evento estremo è e resta un evento meteorologico, mentre il clima è e resta la statistica sugli eventi meteorologici, estremi o no
- Inoltre gli eventi estremi, per loro stessa definizione, sono rari, cioè pochi; la statistica sugli eventi rari è «delicata» e spesso rischia di dare risultati statisticamente non significativi
- Tuttavia l'analisi dei dati dimostra che **c'è un legame tra i cambiamenti climatici e l'aumento della probabilità di accadimento e/o la frequenza degli eventi estremi**
- Questo legame è più evidente per alcune tipologie di tempo estremo, come le ondate di calore, e meno evidente per tutti i fenomeni collegati alle precipitazioni

# Distribuzioni acqua alta a Venezia

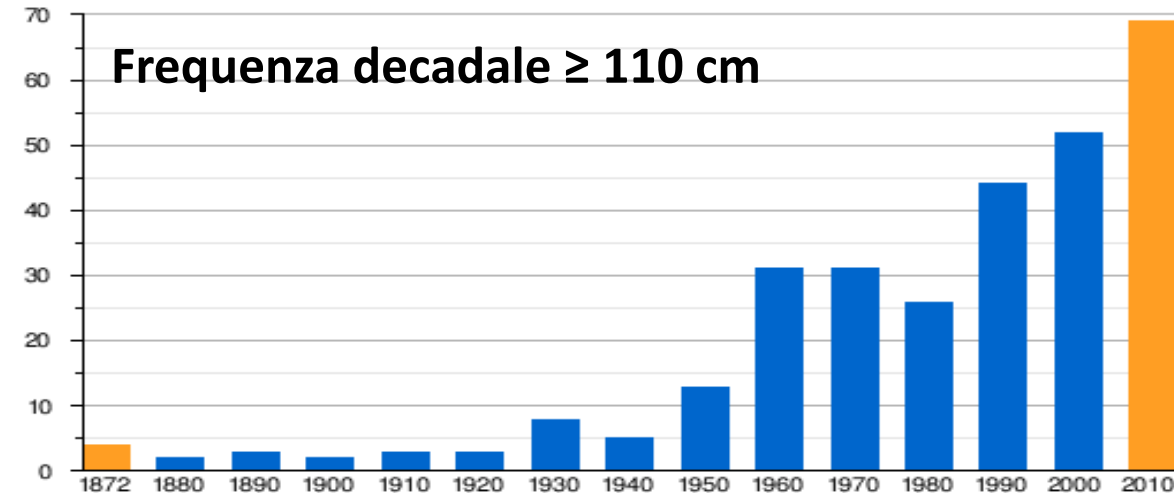
**Distribuzione annuale > 110 cm**



Nota - I valori tengono conto del periodo 1923-2018.

Fonte Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia - elaborazione grafica a cura di Wikipedia

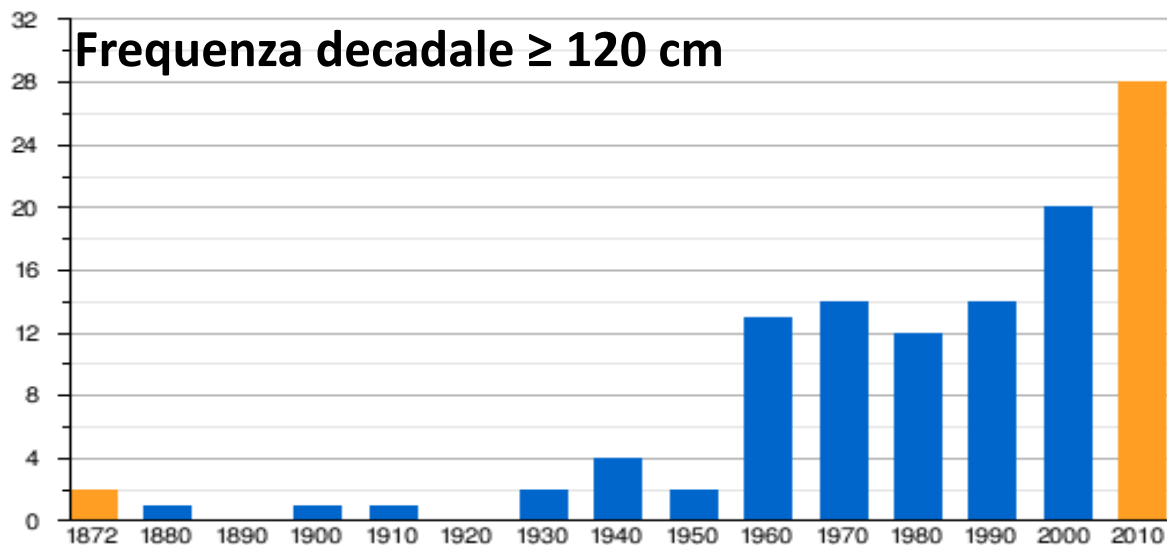
**Frequenza decennale  $\geq 110$  cm**



Nota - i valori in ascissa si riferiscono al primo anno del decennio. I decenni 1870-1879 e 2010-2019 sono incompleti, poiché le rilevazioni tengono conto del periodo dal 1872 al 2018.

Fonte Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia - elaborazione grafica a cura di Wikipedia

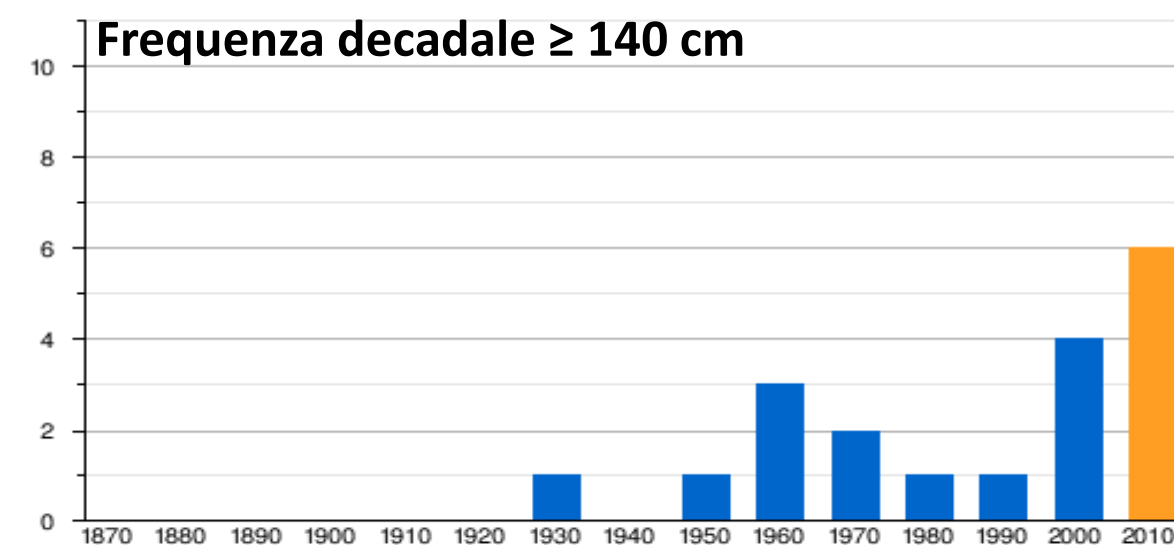
**Frequenza decennale  $\geq 120$  cm**



Nota - i valori in ascissa si riferiscono al primo anno del decennio. I decenni 1870-1879 e 2010-2019 sono incompleti, poiché le rilevazioni tengono conto del periodo dal 1872 al 2018.

Fonte Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia - elaborazione grafica a cura di Wikipedia

**Frequenza decennale  $\geq 140$  cm**

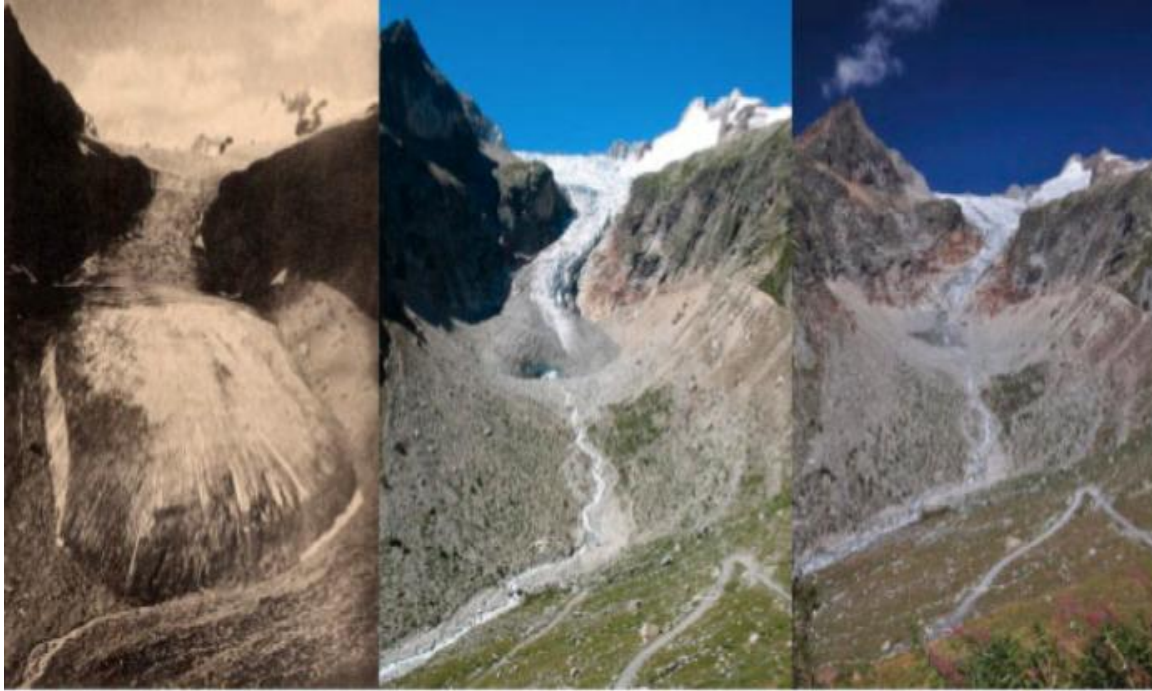


Nota - i valori in ascissa si riferiscono al primo anno del decennio. I decenni 1870-1879 e 2010-2019 sono incompleti, poiché le rilevazioni tengono conto del periodo dal 1872 al 2018.

Fonte Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia - elaborazione grafica a cura di Wikipedia

# Le montagne termometri del clima

Ghiacciaio Pré de Bar (Monte Bianco)

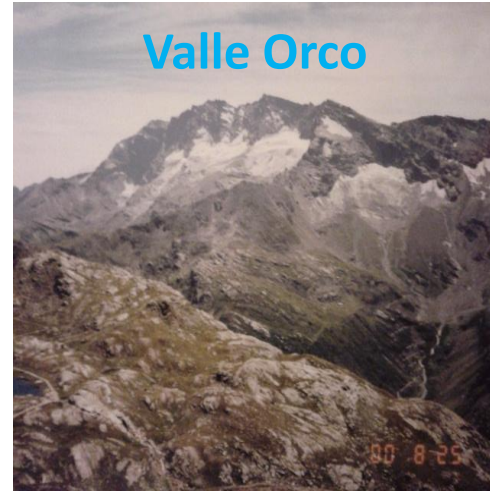


1897  
(f. Druetti)

2005  
(f. L. Mercalli)

2012  
(f. L. Mercalli)

Valle Orco



2000



2015

Ghiacciaio del Nel



Ghiacciaio del Carro



Foto: C. Cassardo

**Dal 1850 circa, i ghiacciai delle Alpi hanno già perso oltre i 2/3 del loro volume.**

La fusione nivale è anticipata, e spesso è già esaurita nel periodo di maggior fabbisogno idrico a valle (durante la stagione estiva, calda e secca)



# Ritirata dei ghiacciai alpini

Pizzo Bernina, 1978



Pizzo Palú - 1978



Pizzo Bernina, 2003

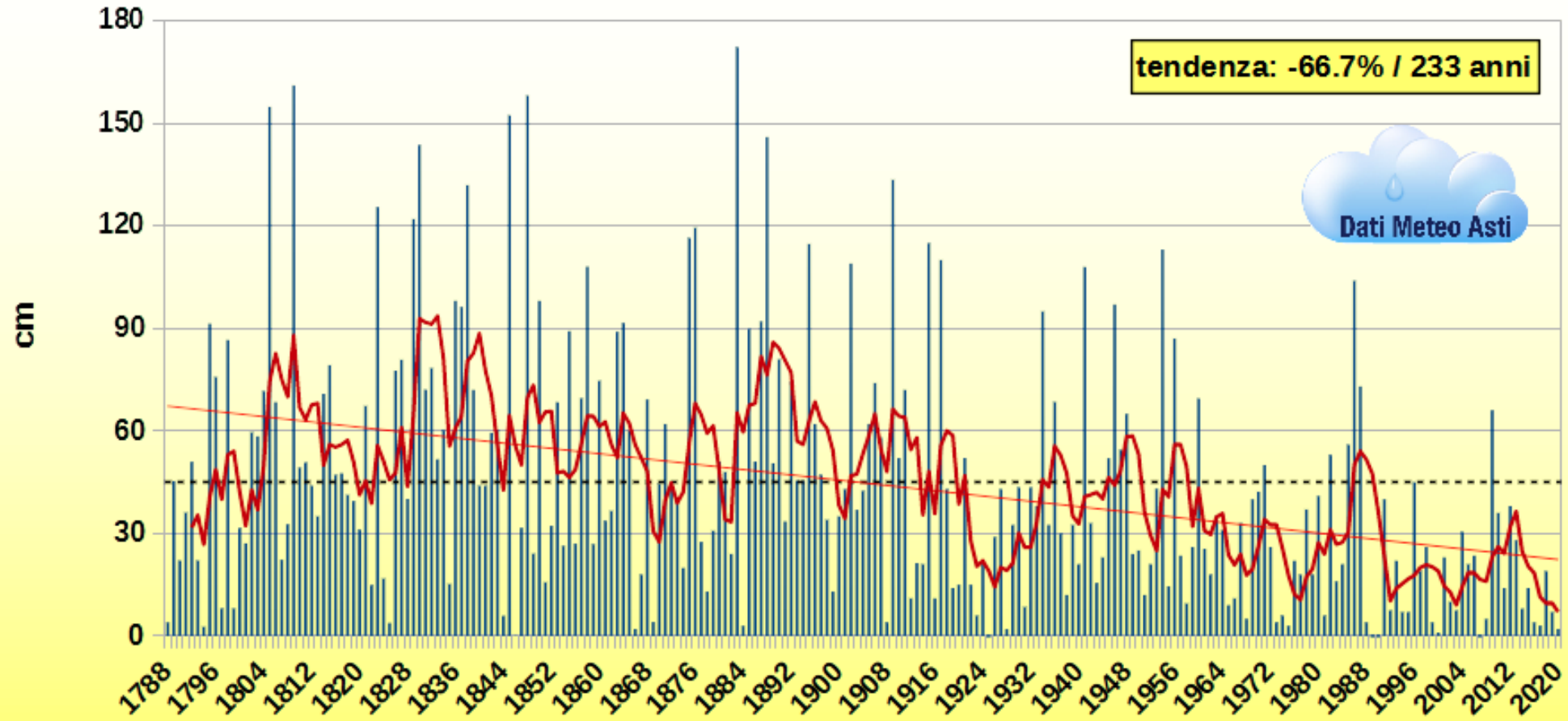


Pizzo Palú - 2003



# Nevica di meno a Torino...

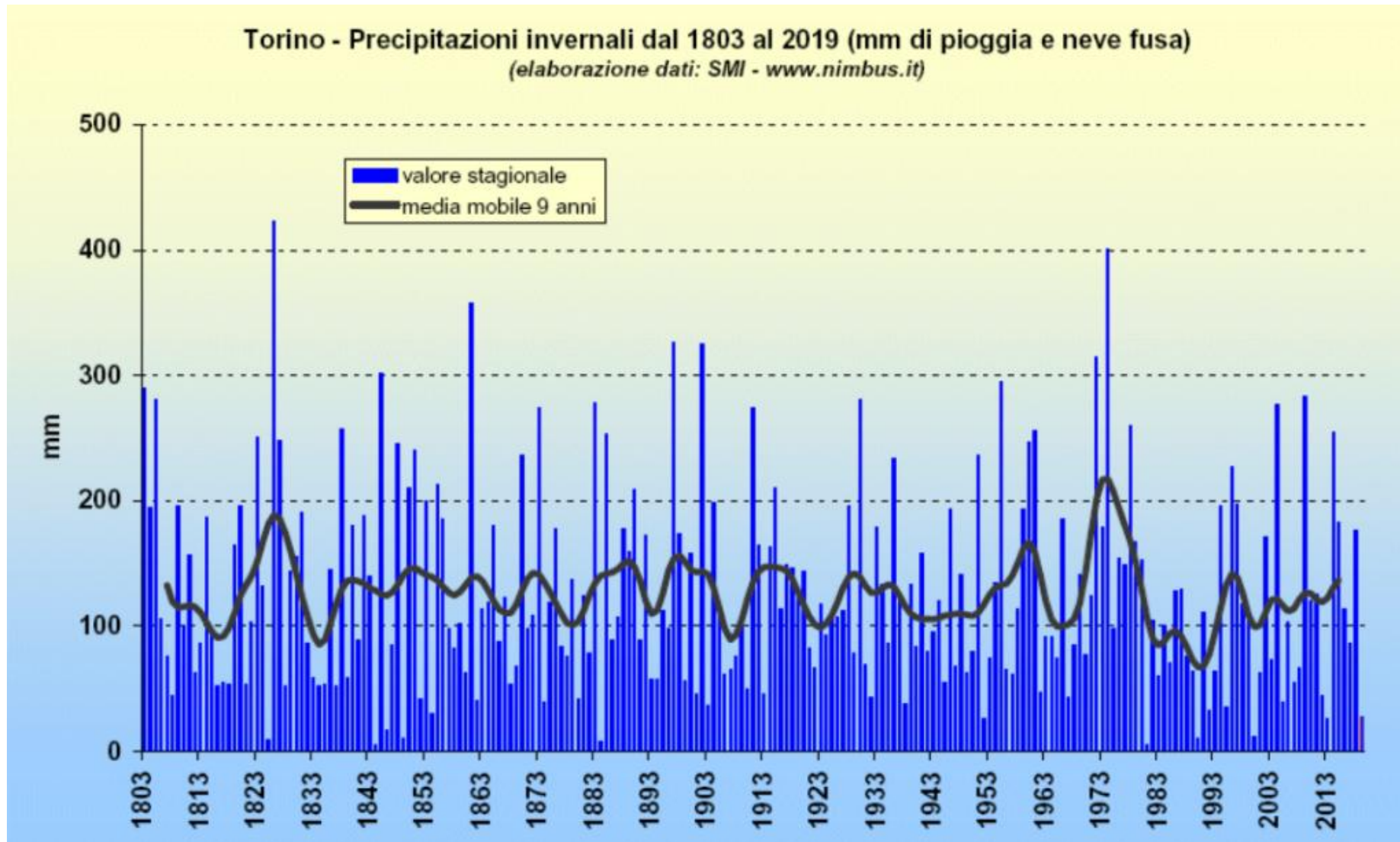
**TORINO - 250 m s. l. m.**  
**Altezza della neve fresca nell'anno idrologico**



fonte dati: Società Meteorologica Italiana (elaborazione grafica Paolo M. Faggella)



... nonostante le precipitazioni non siano variate ...





... e anche in valle d'Aosta c'è meno neve

