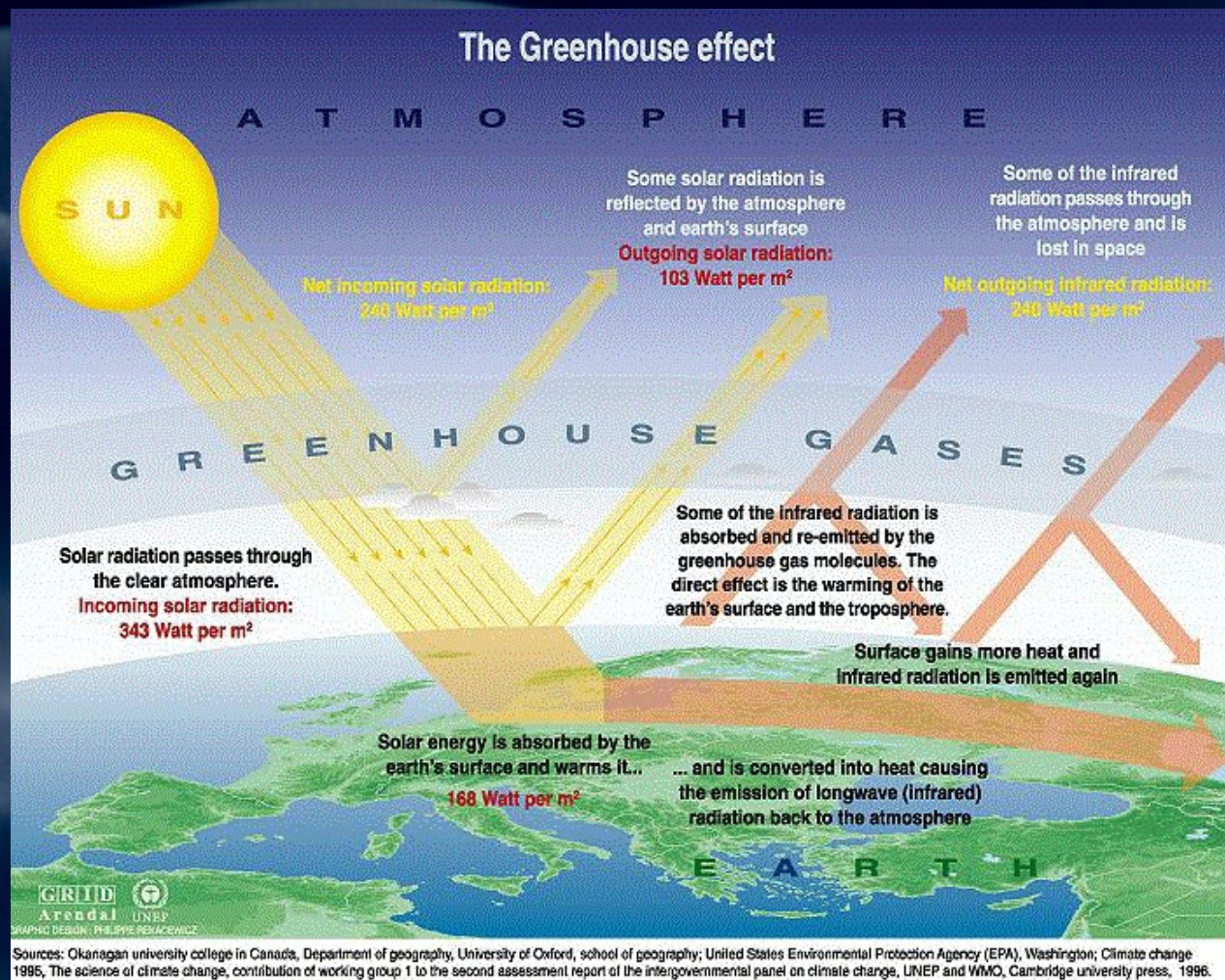


GHIACCIO BOLLENTE: PASSATO, PRESENTE E FUTURO DEL CLIMA



Massimo Frezzotti

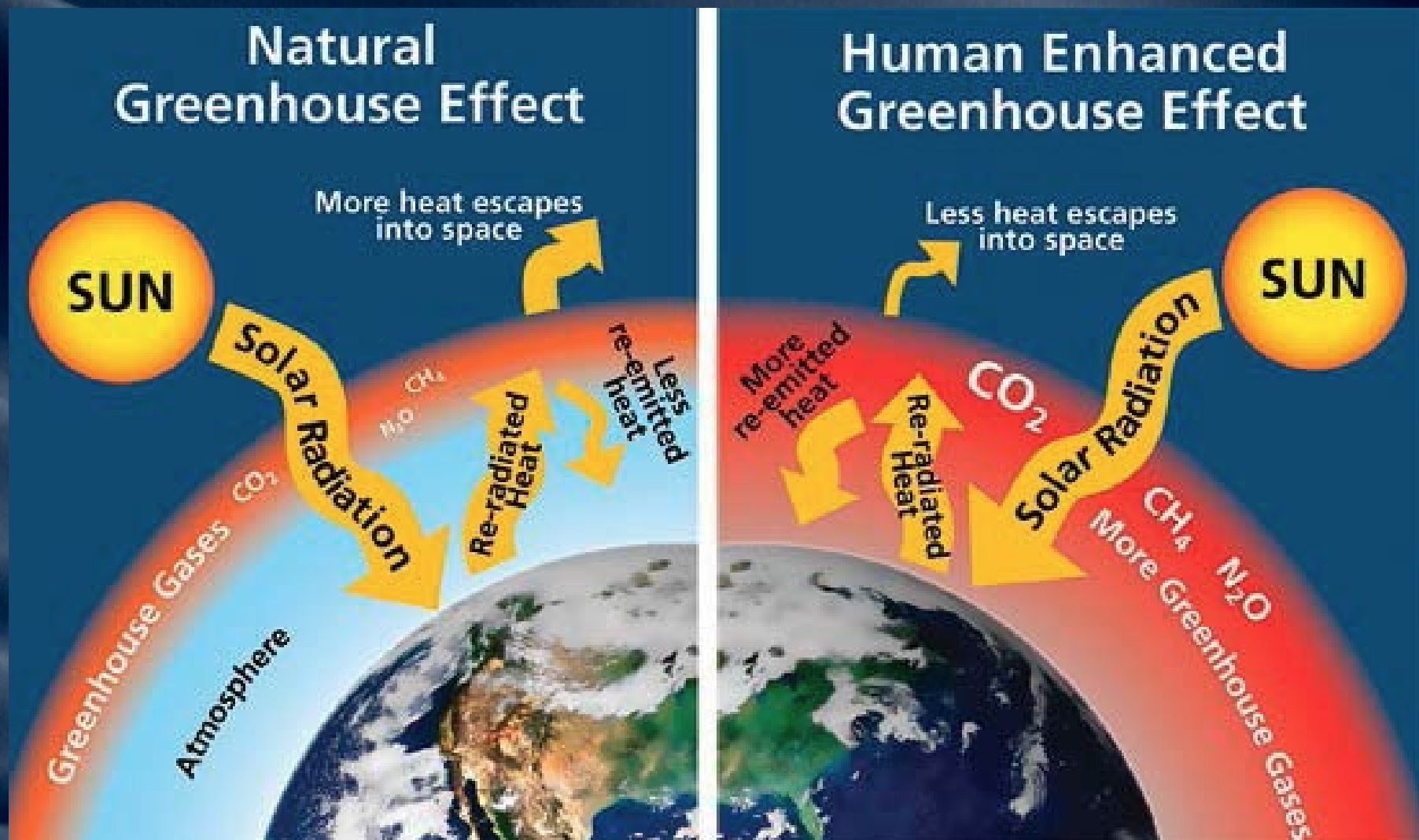
massimo.frezzotti@uniroma3.it



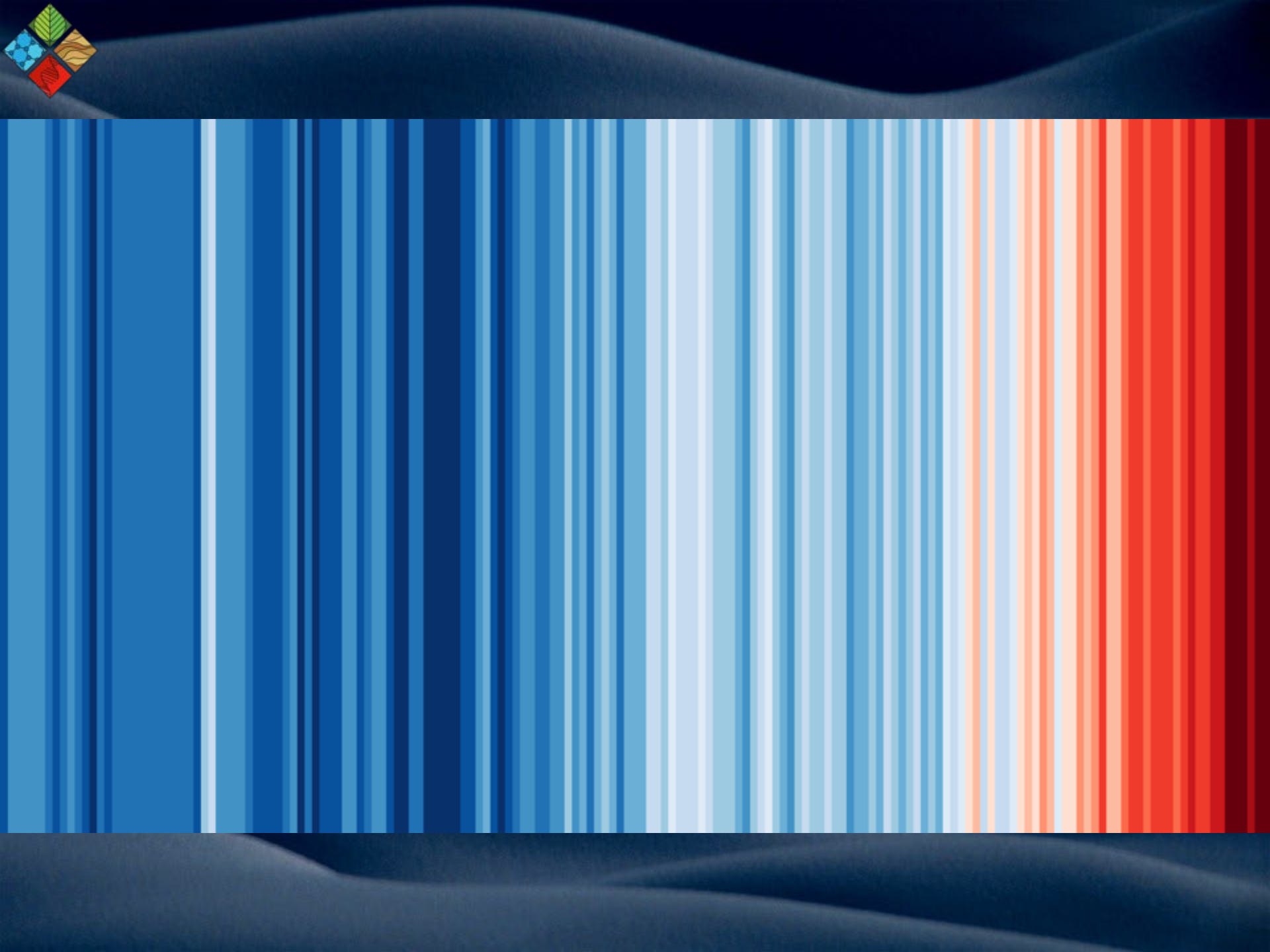
Il clima della terra è guidato dal continuo arrivo di energia dal sole. Circa il 30% di tale energia viene riflesso nello spazio, mentre il restante 70% viene assorbito dall'atmosfera e dalla superficie del pianeta. Mediante "l'effetto serra" la temperatura media della terra si mantiene a 15° C (sarebbe a -18° C in assenza dell'atmosfera e dell'effetto serra).



Cambiamento Climatico “Global warming”

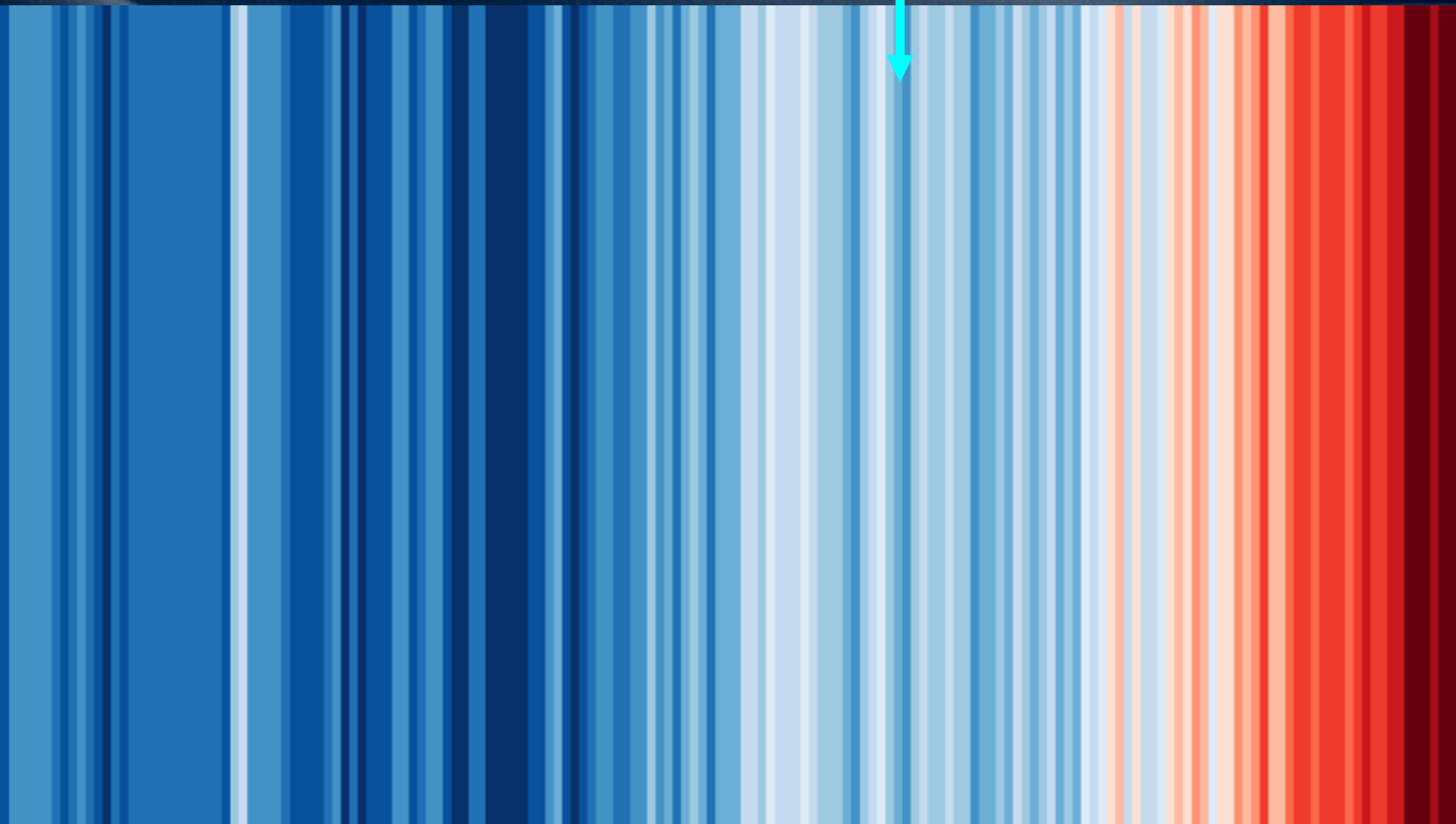


Rappresentazione schematica dell'effetto serra. Fonte: EPA





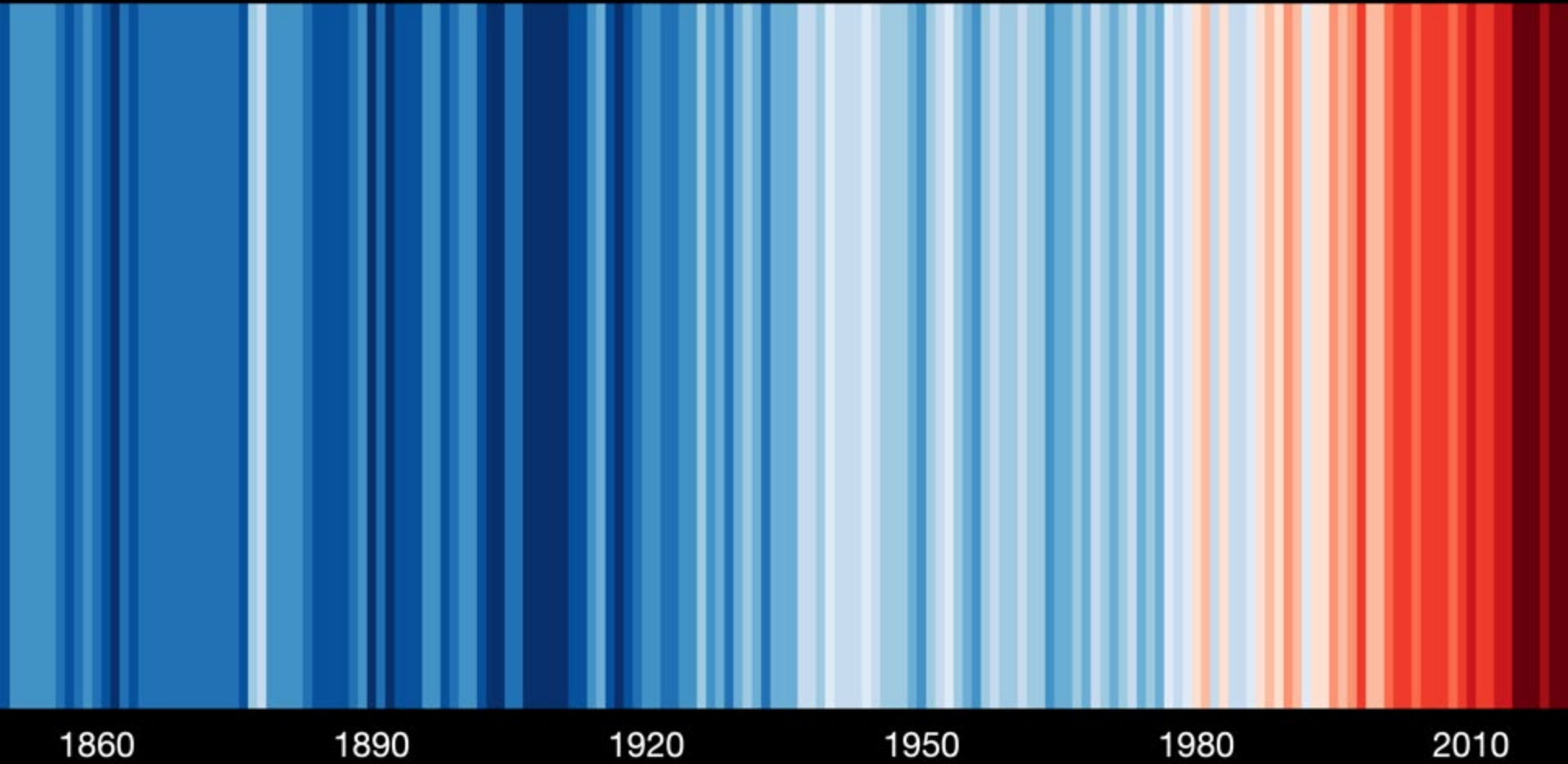
1956





1956

Global temperature change (1850-2020)



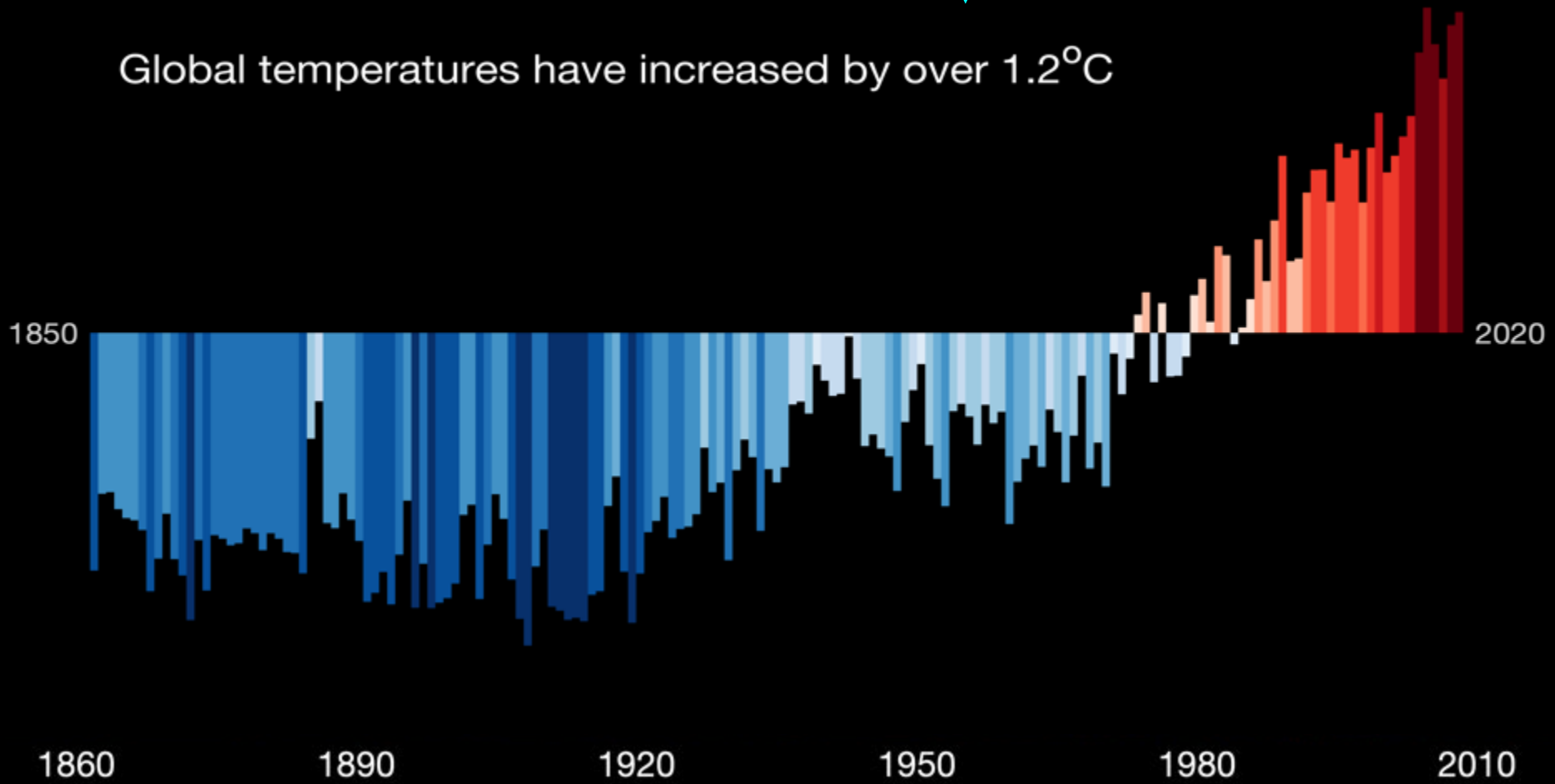
Ogni linea in questo grafico rappresenta un anno, da 1850 a 2020, con sfumature blu che indicano temperature inferiori alla media del XX secolo e rosse per gli anni in cui le temperature erano superiori a quel segno.



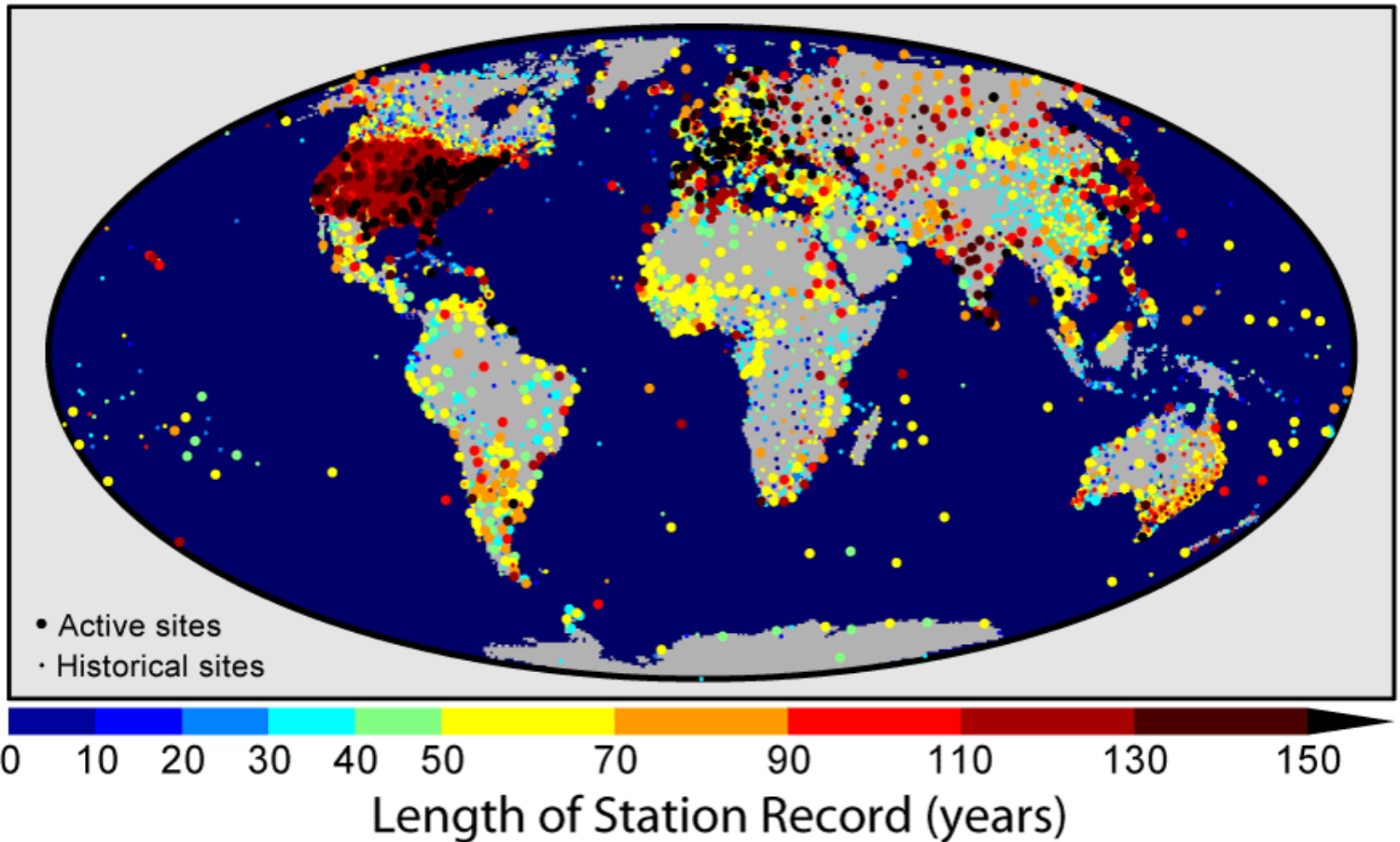
1956



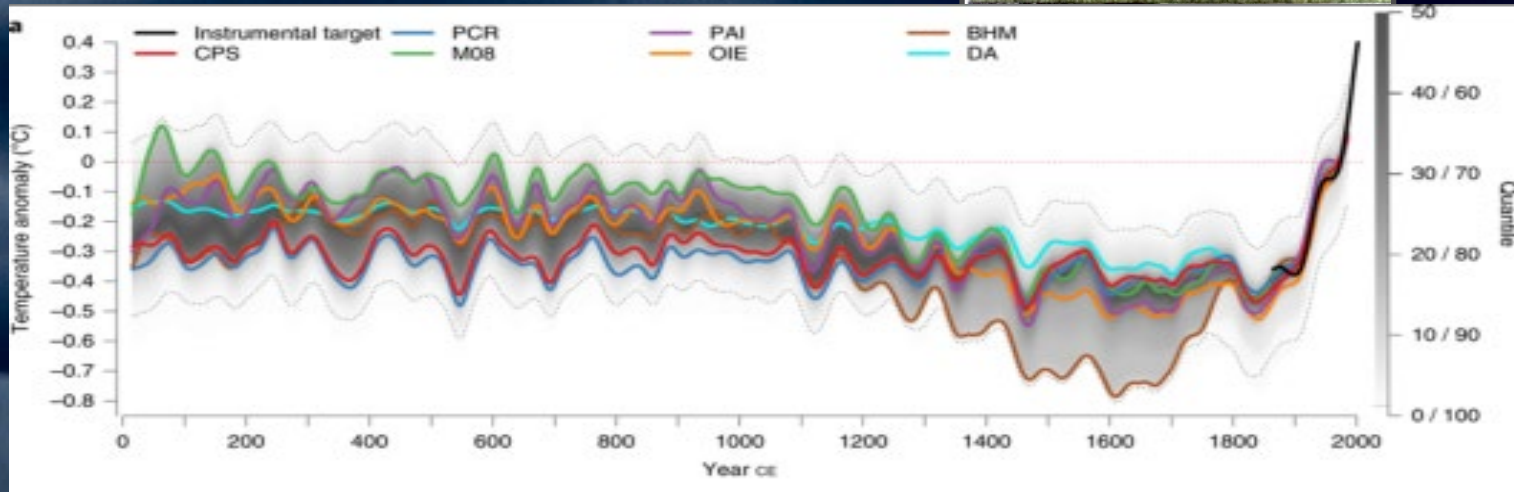
Global temperatures have increased by over 1.2°C



Global Climate Network Temperature Stations



Paleoclimatologia: Archivi Naturali

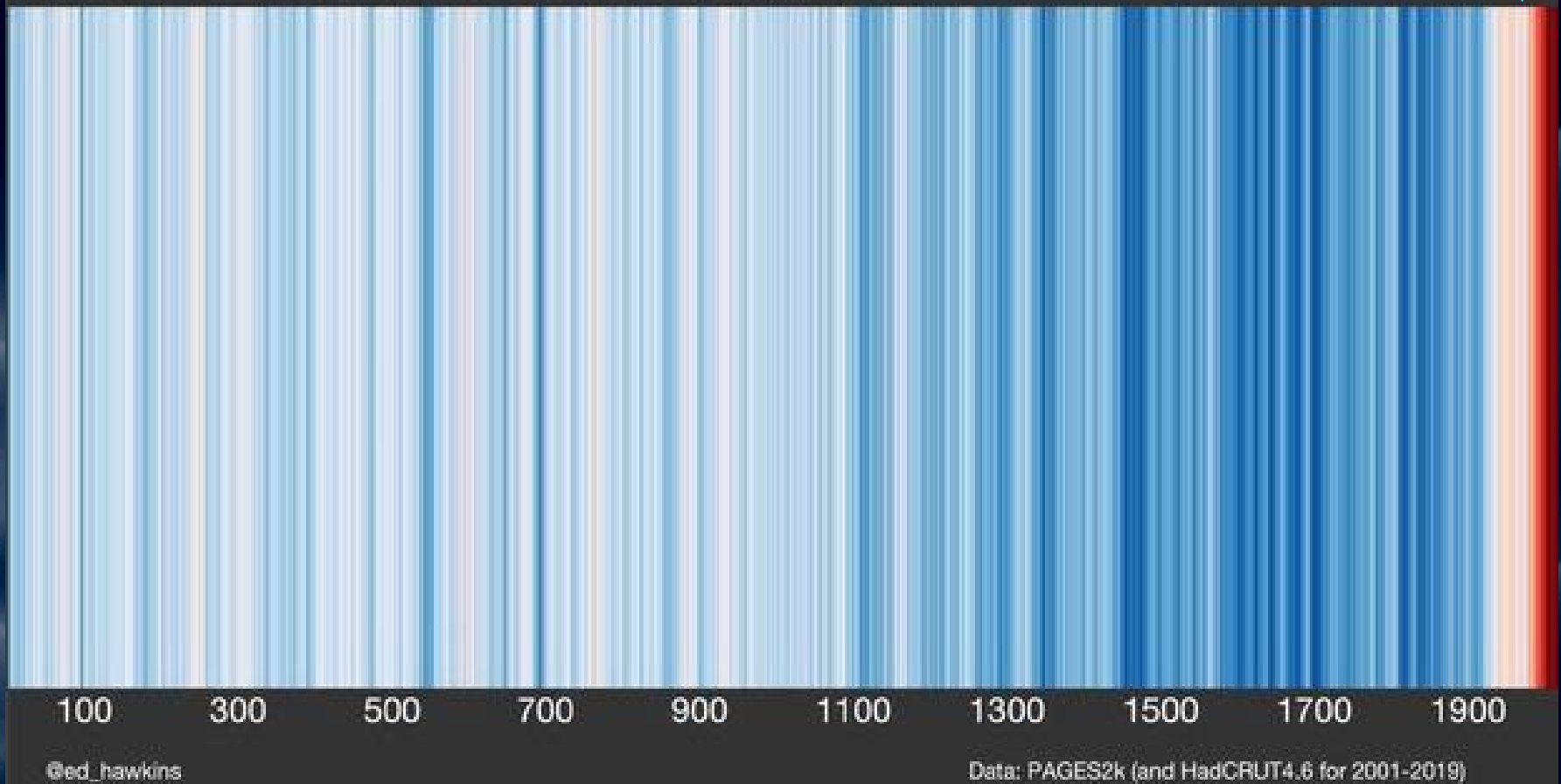


Anomalie di temperatura degli ultimi 2 mila anni rispetto al 1961–90. Le linee colorate rappresentano mediane con filtro passa-basso di 30 anni per i singoli metodi di ricostruzione. La curva nera è il dato strumentale per il 1850–2017 (PAGES 2K, 2019).



1956

Global temperatures for the last 2,019 years

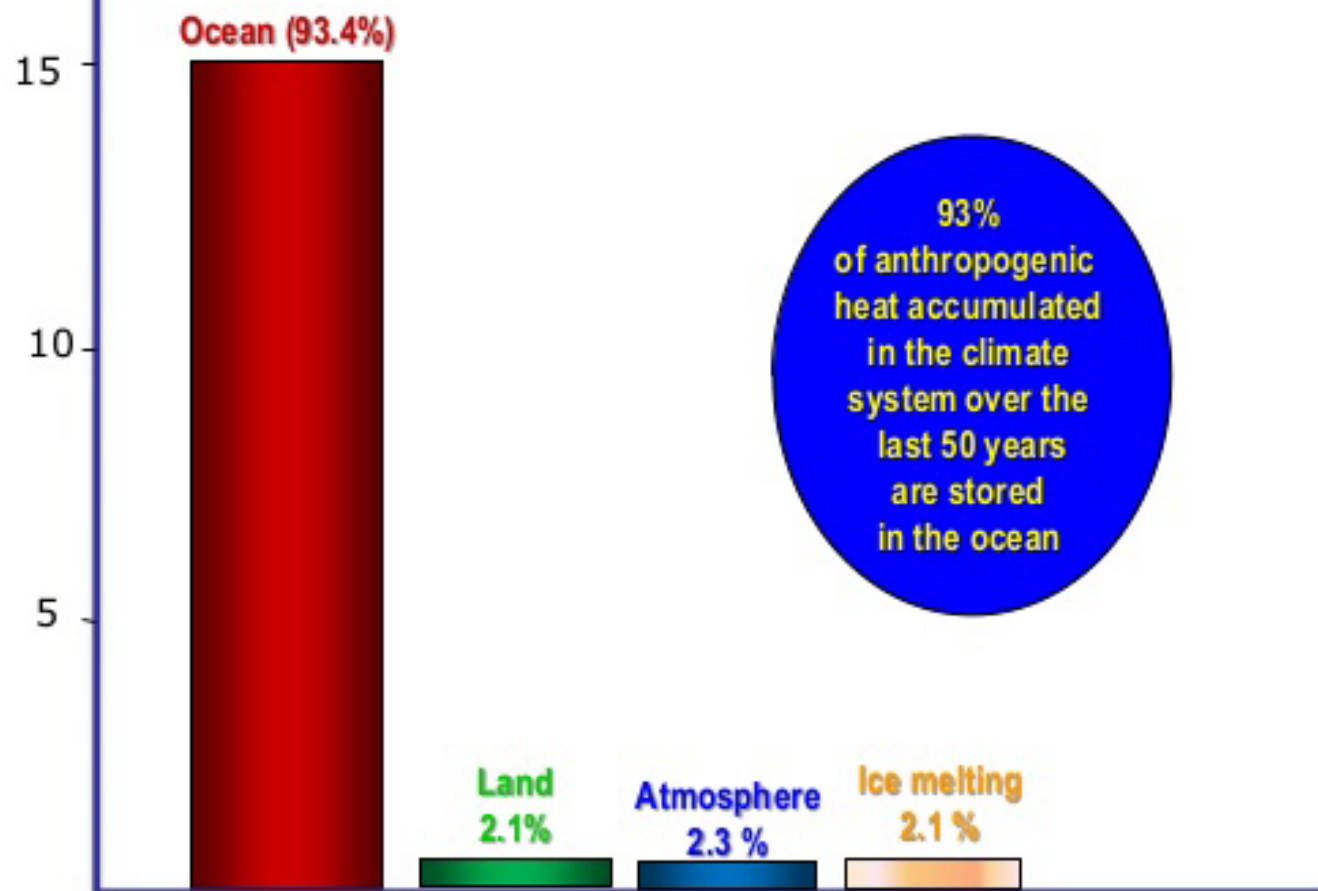


Ogni linea in questo grafico rappresenta un anno, da 0 a 2019, con sfumature blu che indicano temperature inferiori alla media del XX secolo e rosse per gli anni in cui le temperature erano superiori a quel segno.



Heat storage in the climate system (Last 50 years)

Heat content
(10^{22} Joules)

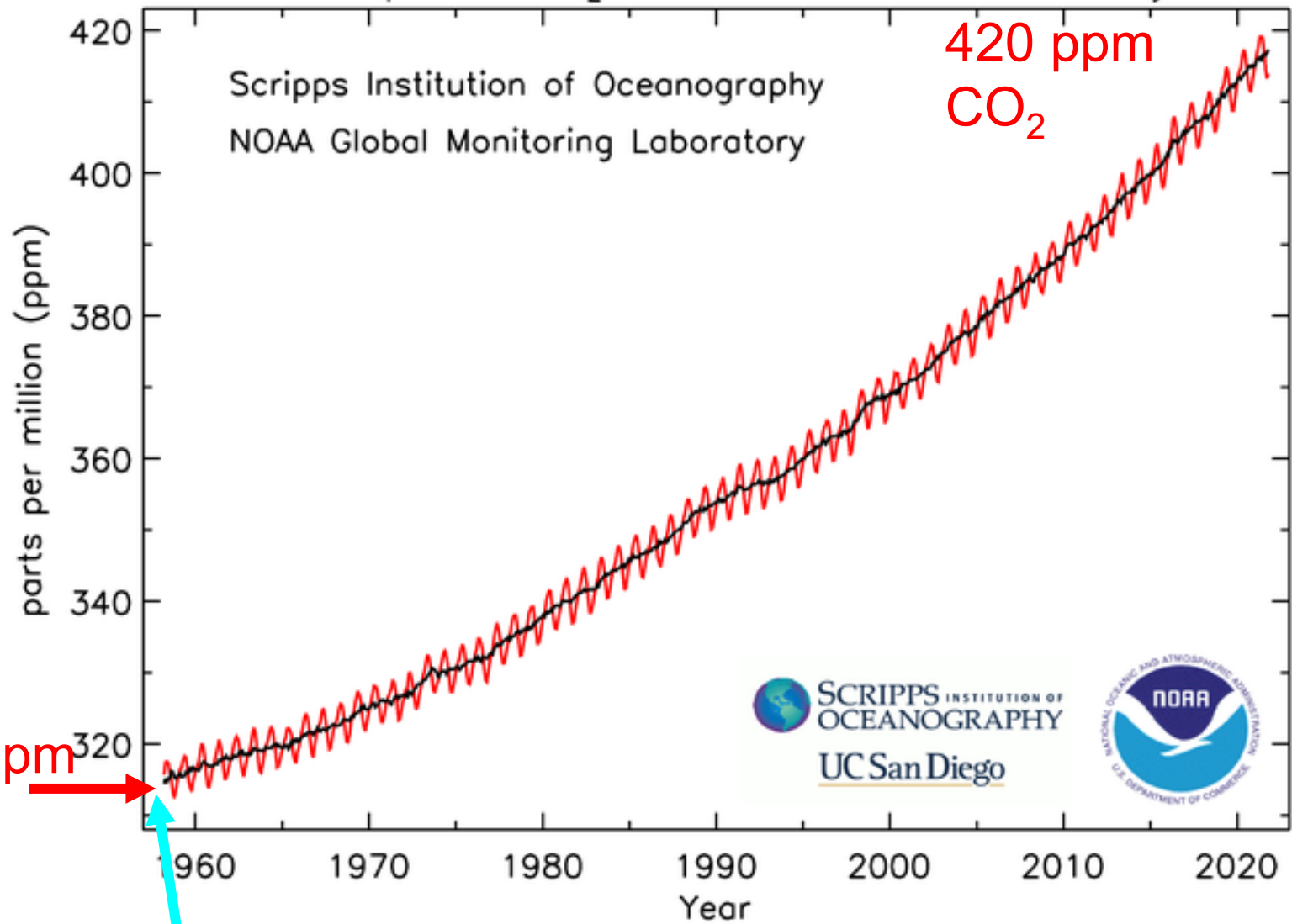




Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory

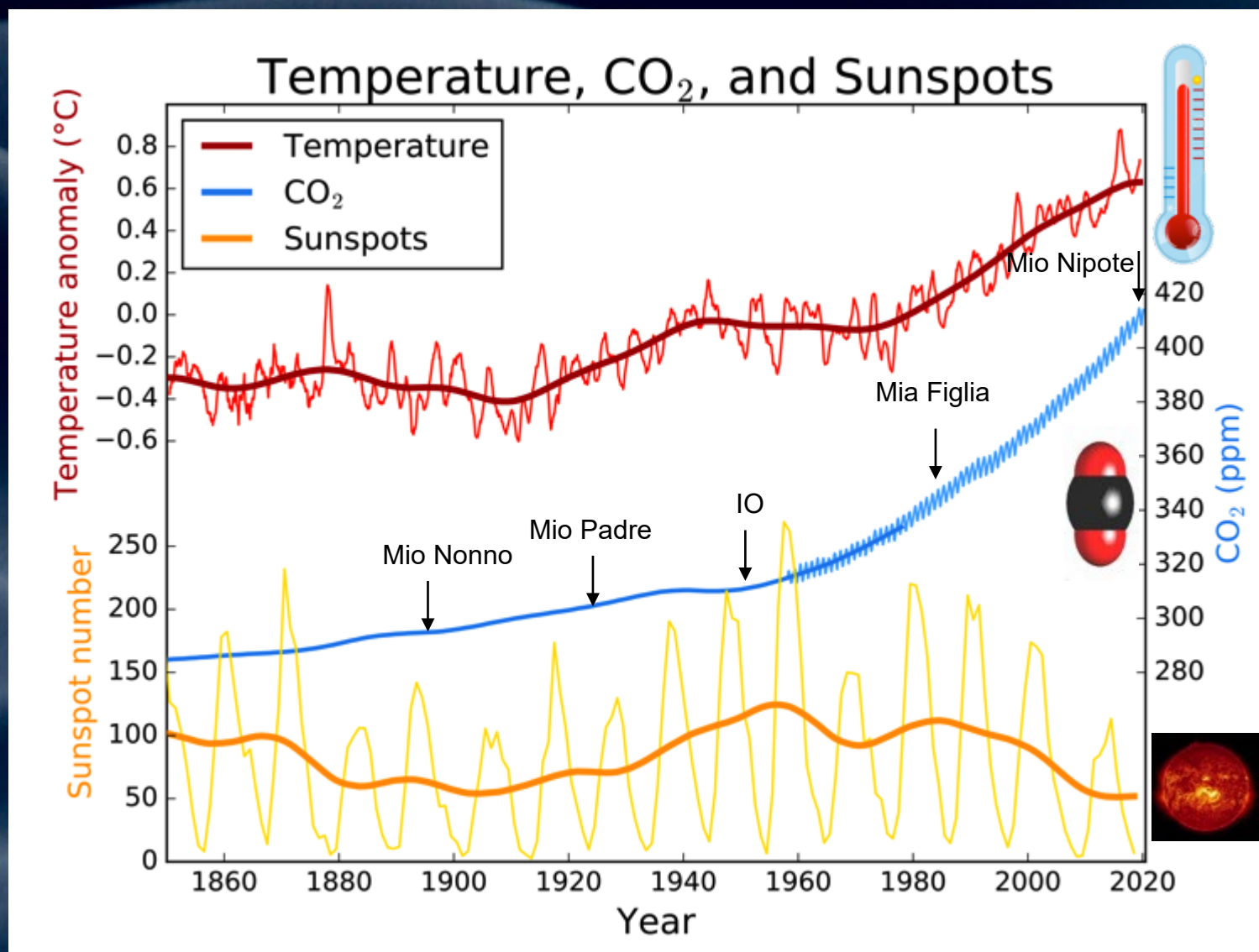
Scripps Institution of Oceanography
NOAA Global Monitoring Laboratory

420 ppm
CO₂

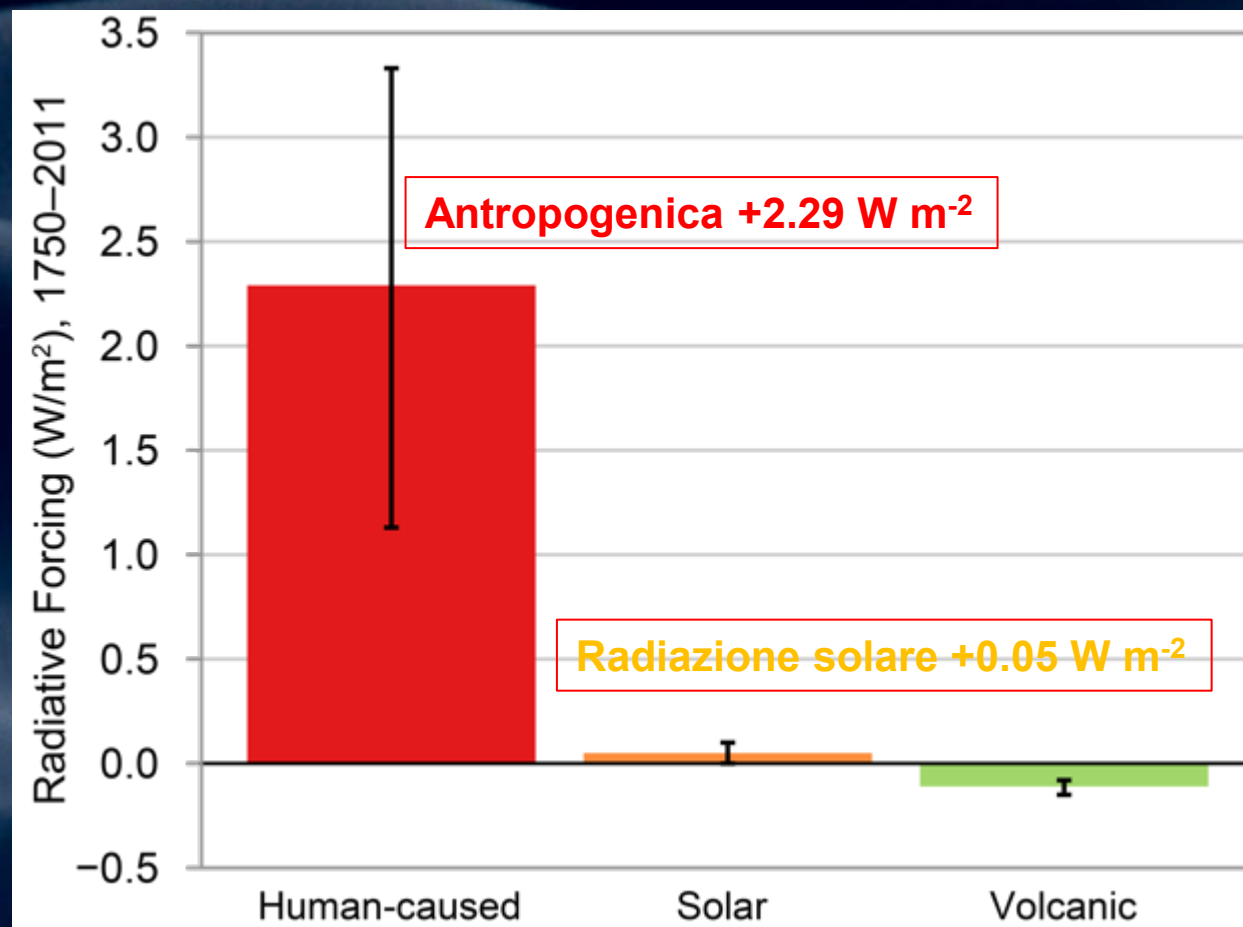


314 ppm
CO₂

1956



Temperatura media globale, CO₂ atmosferica e attività delle macchie solari dal 1850. il numero di macchie solari è correlato all'intensità della radiazione solare. Linee spesse per temperatura e macchie solari rappresentano la media mobile di 25 anni,



Variazione della forza radiativa media annuale globale dal 1750 al 2011 a causa delle attività umane, dei cambiamenti nell'irraggiamento solare totale e delle emissioni vulcaniche. Le barre nere indicano l'incertezza in ciascuna. La forzatura radiativa è una misura dell'influenza che un fattore (come le emissioni di gas serra) ha nel modificare l'equilibrio globale dell'energia in entrata e in uscita. Forze radiative maggiori di zero (forzature positive) producono riscaldamento climatico; forzature inferiori a zero (forzature negative) producono il raffreddamento del clima.



CO₂ Records

photo by peter boccia

Highest-Ever Mauna Loa CO₂ Levels in recorded human history and beyond*

Averages	NOAA MLO	Scripps MLO
Daily CO ₂	421.36 ppm Apr 8 2021 NOAA	420.29 ppm Apr 30 2021 Twitter
Weekly CO ₂	420.01 ppm Apr 25 - Jun 1 2021 data	419.65 ppm Apr 28 - Jun 4, 2021 data
Monthly CO ₂	419.13 ppm May 2021 data	418.24 ppm April 2021 data
Yearly CO ₂	414.24 ppm 2020 data	413.94 ppm 2020 monthly_data averaged

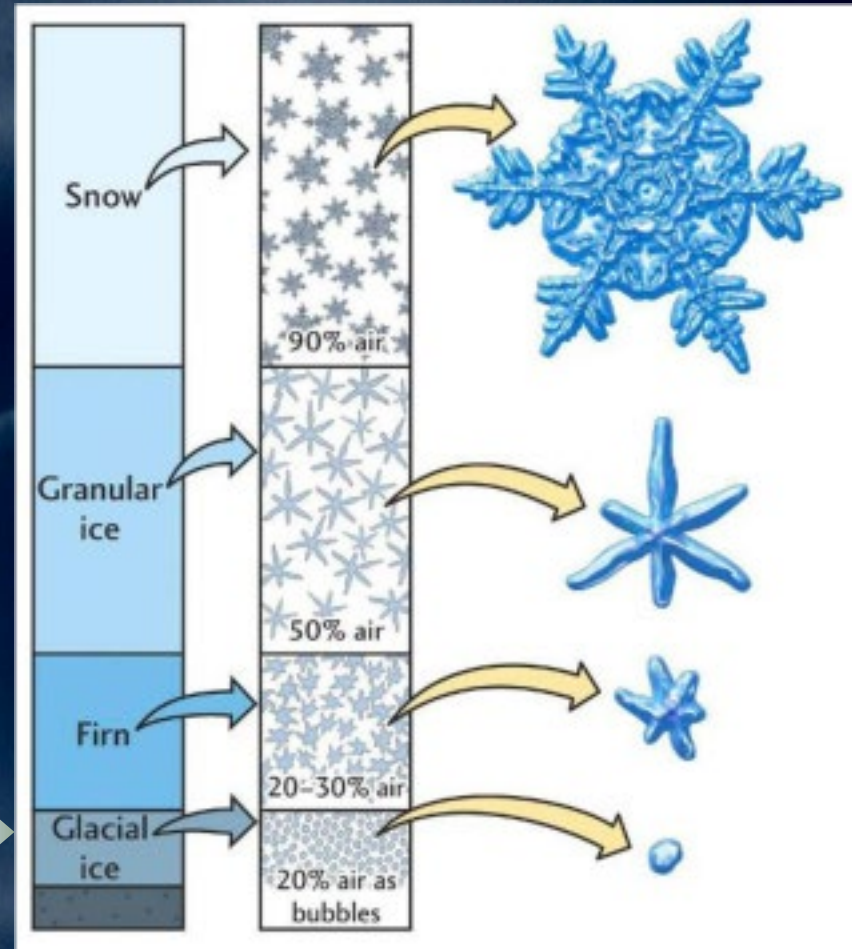
420 ppm
di CO₂ in atmosfera

aumento del 50%
dall'epoca pre-
industriale 280 ppm



NEVE E GHIACCIO COME ARCHIVI

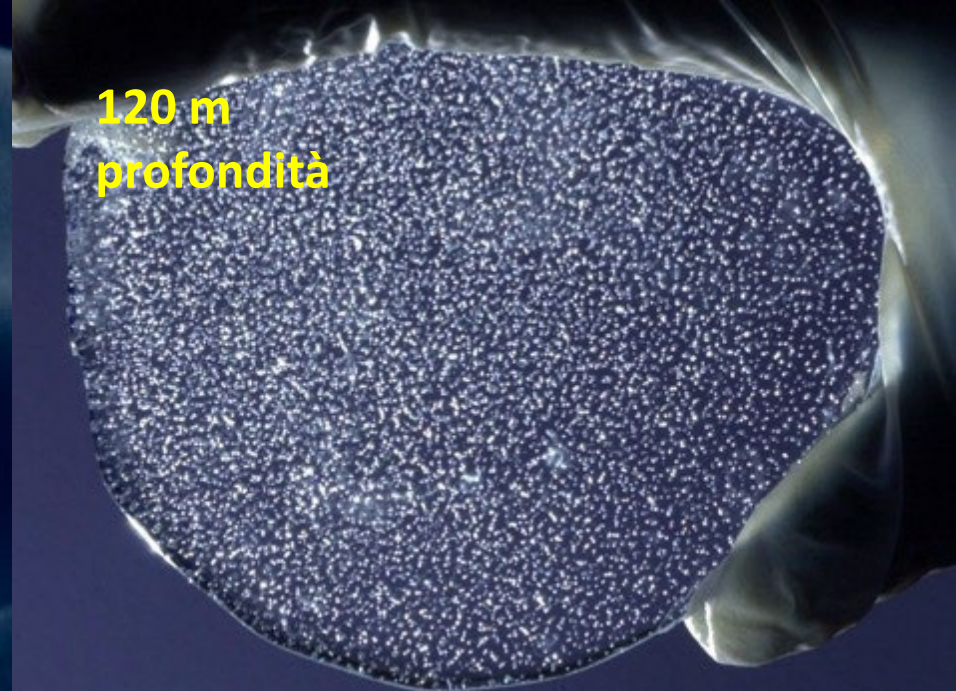
- Le carote di ghiaccio sono la cornucopia delle ricostruzioni del paleoclima
- Clima e fattori forzanti nello stesso record
- Risoluzione del clima alta, ma principalmente limitato alle regioni polari



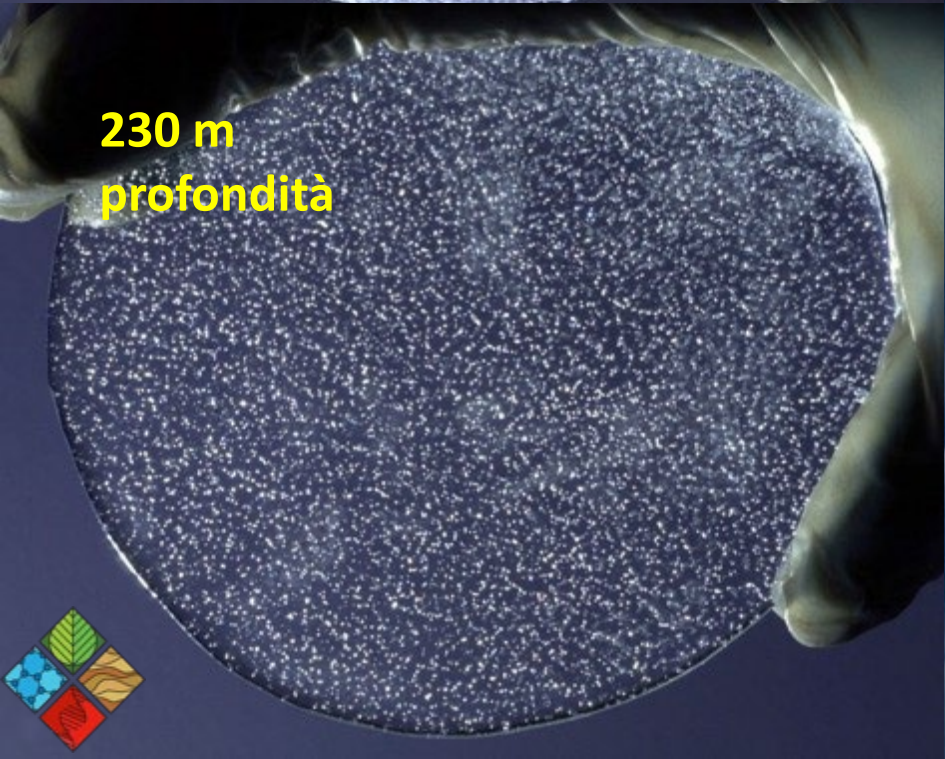
10 m
profondità



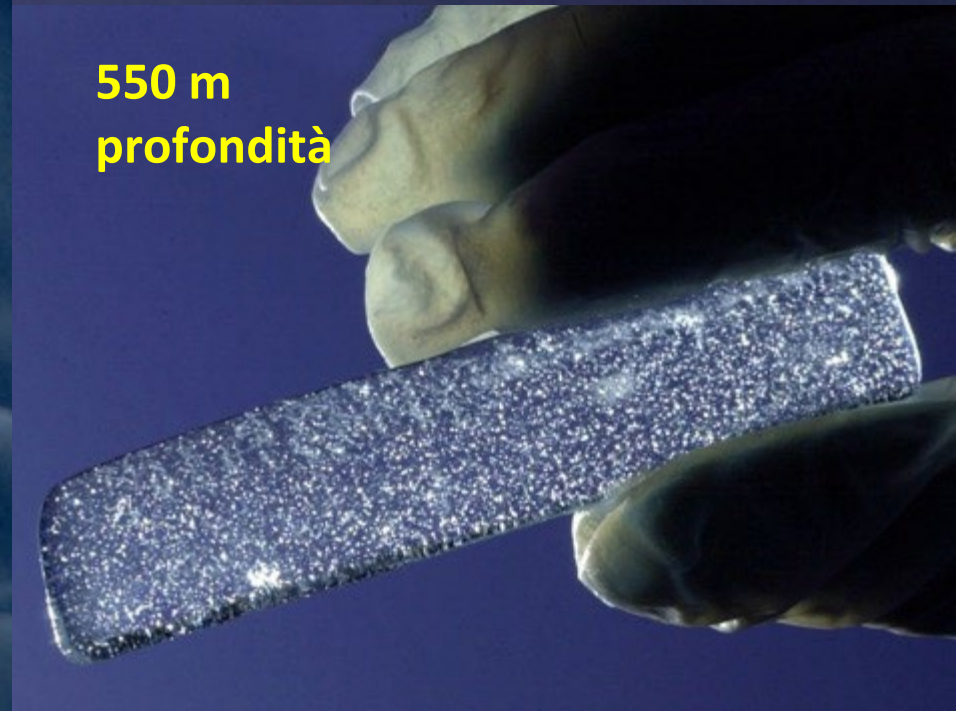
120 m
profondità

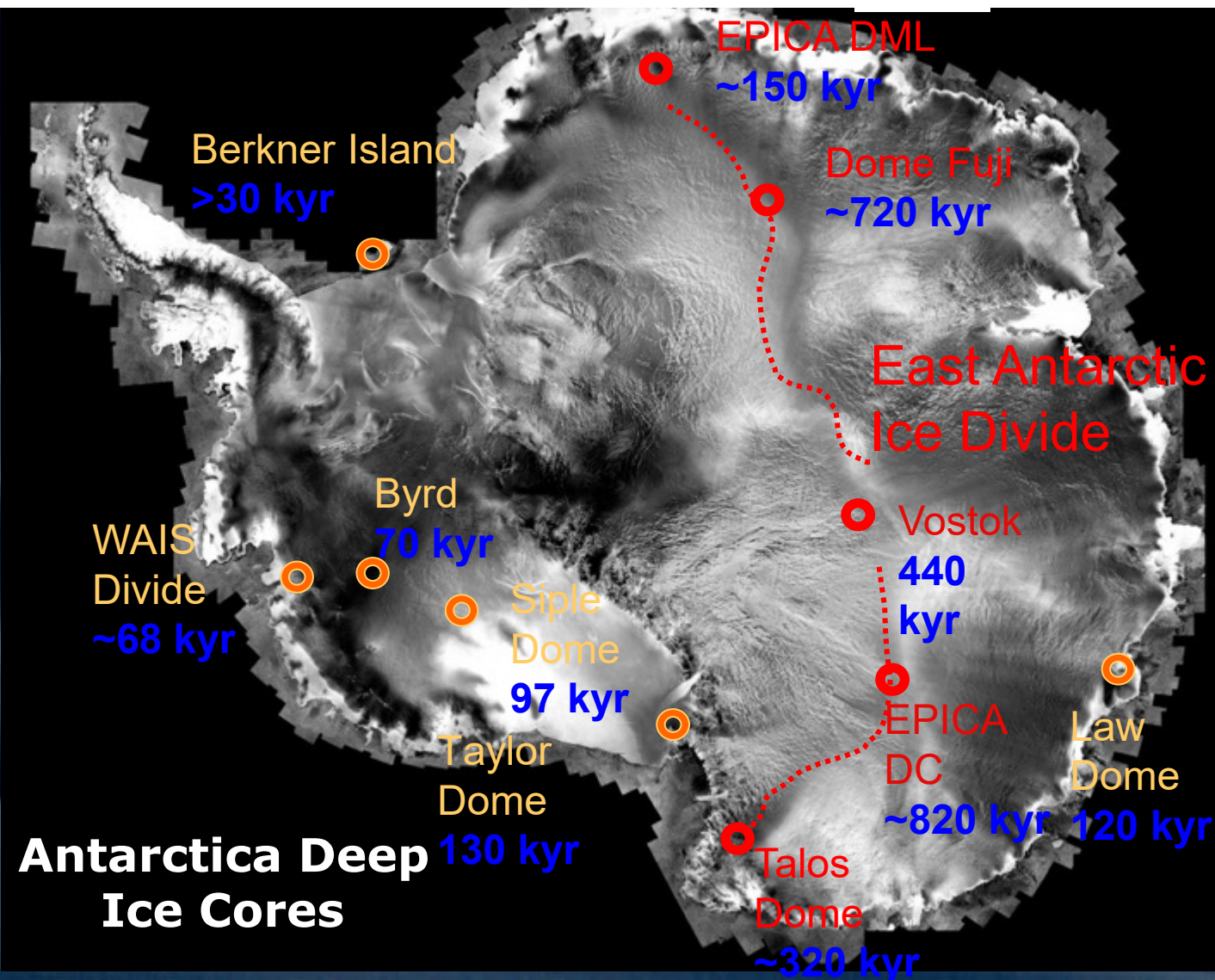
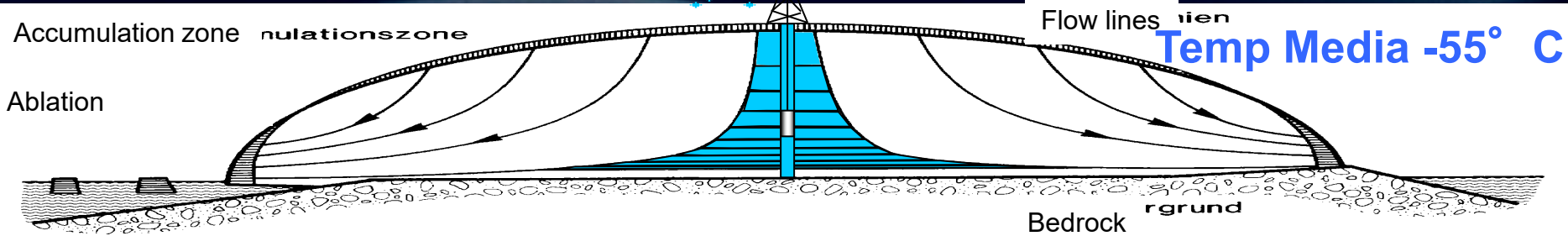


230 m
profondità



550 m
profondità

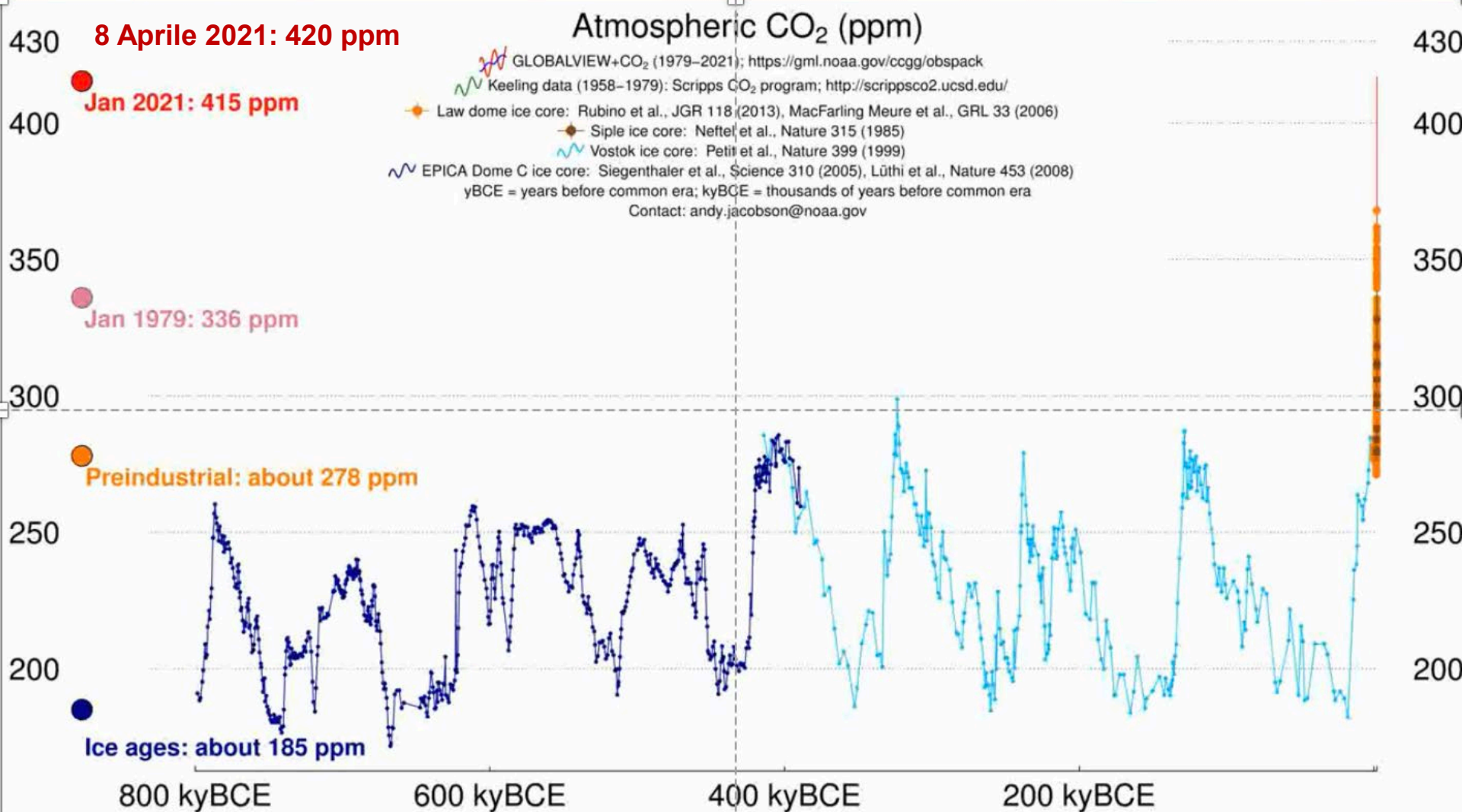








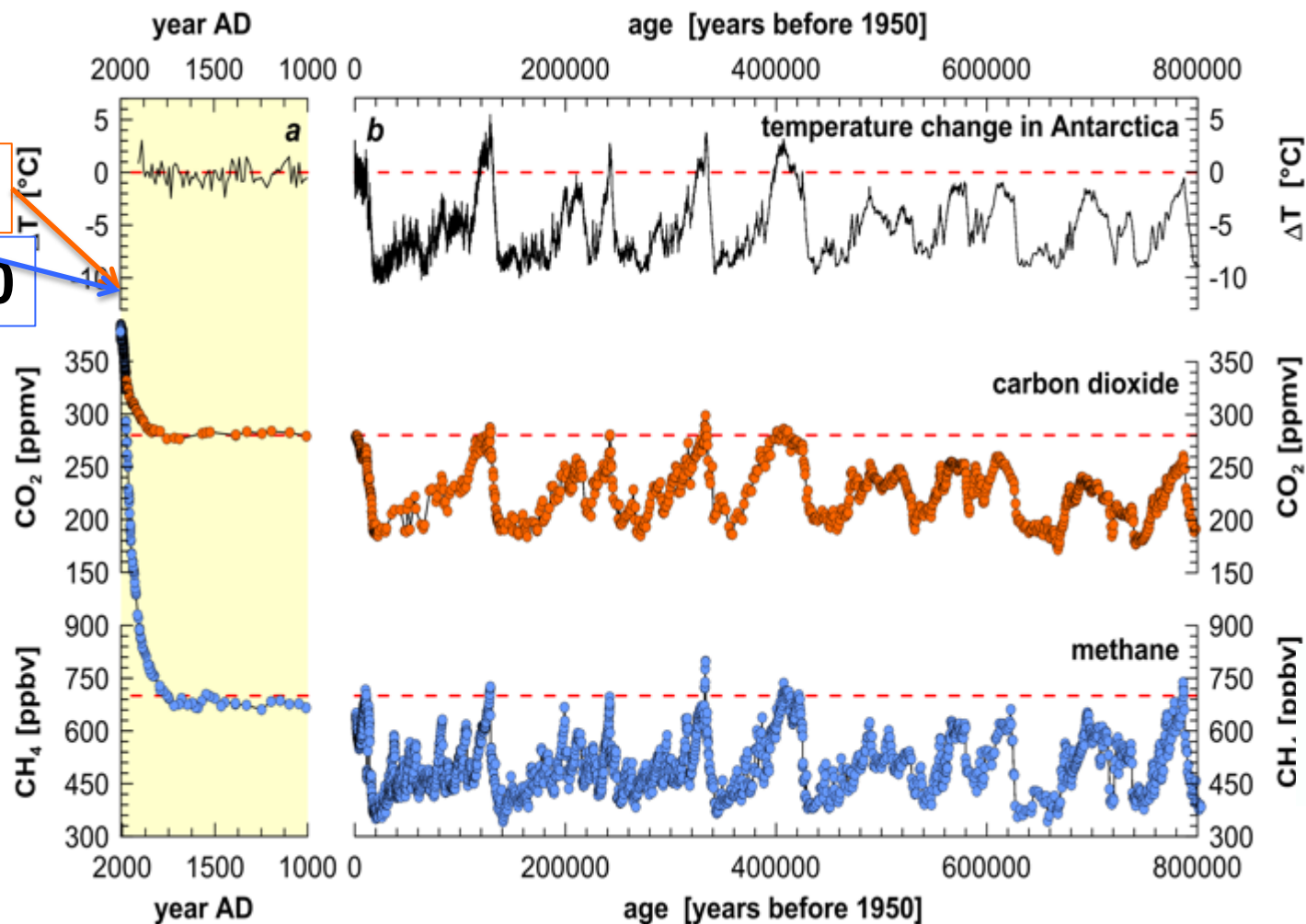
C



2:22.80

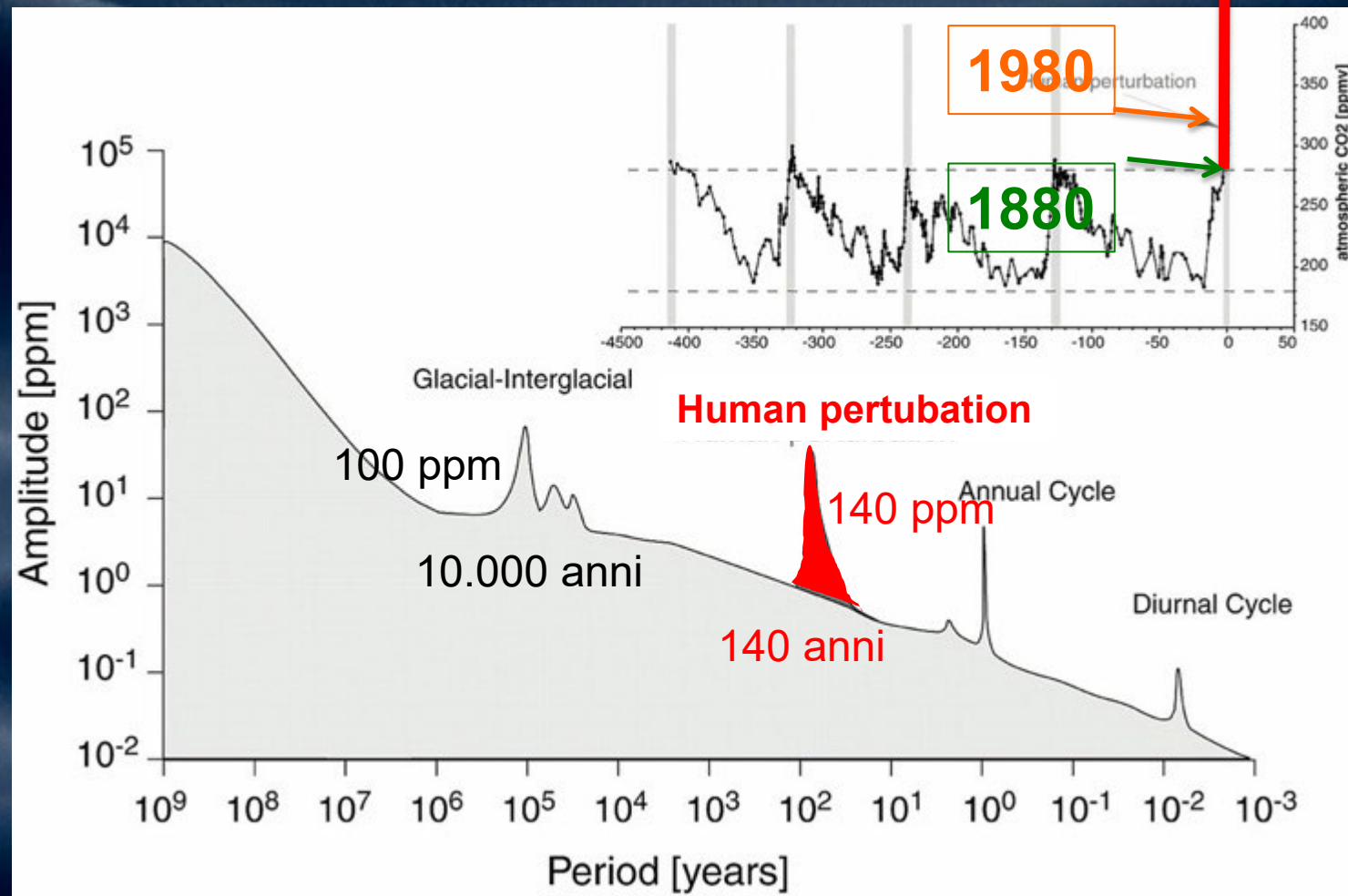


800.000 ANNI DI STORIA DEL CLIMA



EPICA community members, *Nature*, 2004
Jouzel et al., *Science*, 2007, Lüthi et al.,
Nature, 2008, Loulergue et al., *Nature*, 2008

VARIABILITÀ E AMPIEZZA DI CO₂ NEL TEMPO IN CONDIZIONI NATURALI E ANTROPOGENICHE

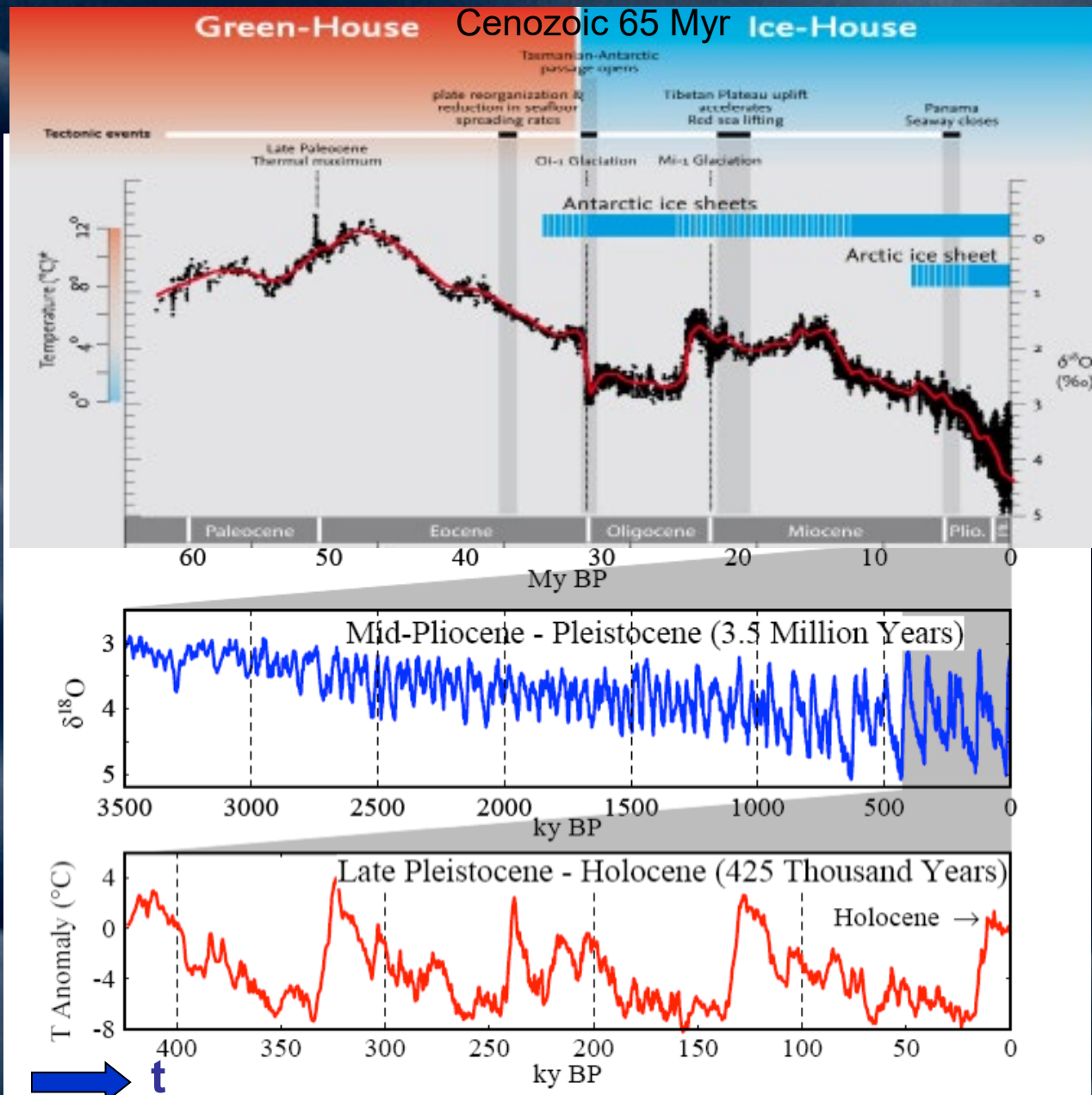


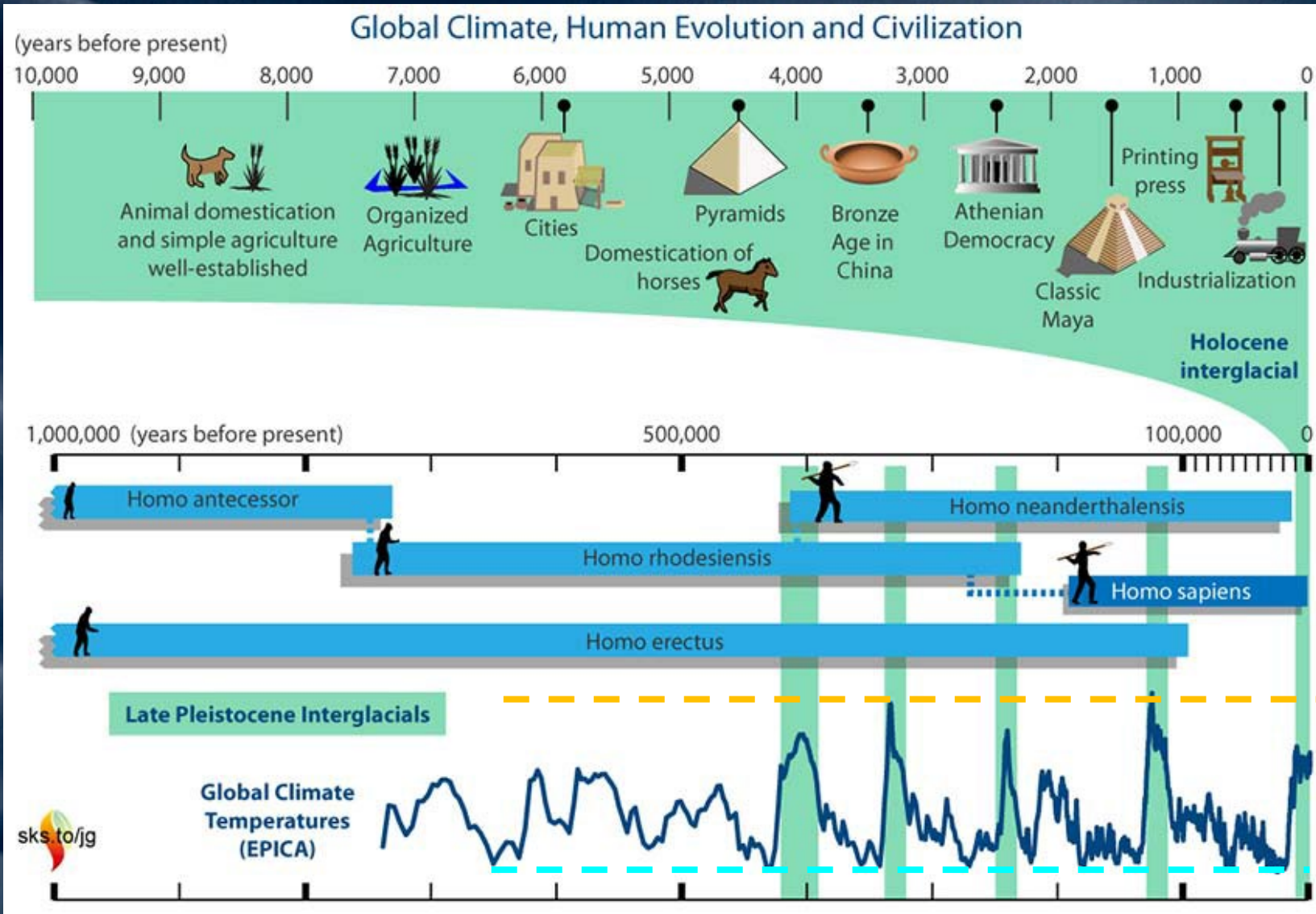
- Il più alto tasso di aumento preindustriale di CO₂ è di 3,6 ppm/secolo da 14,6 kyr BP a 14,3 kyr BP
- 20 volte inferiore alla media di 71 ppm/secolo nel corso del XX secolo e 70 volte inferiore ai 2,5 ppm/anno 2017-18).

Joos & Spahni, 2008



PALEO-GLACIOLOGIA: Ghiaccio, CO₂ & Temperatura





2021
420 ppm CO₂

Interglacials
300 ppm CO₂
Pre-Industrial
280 ppm CO₂

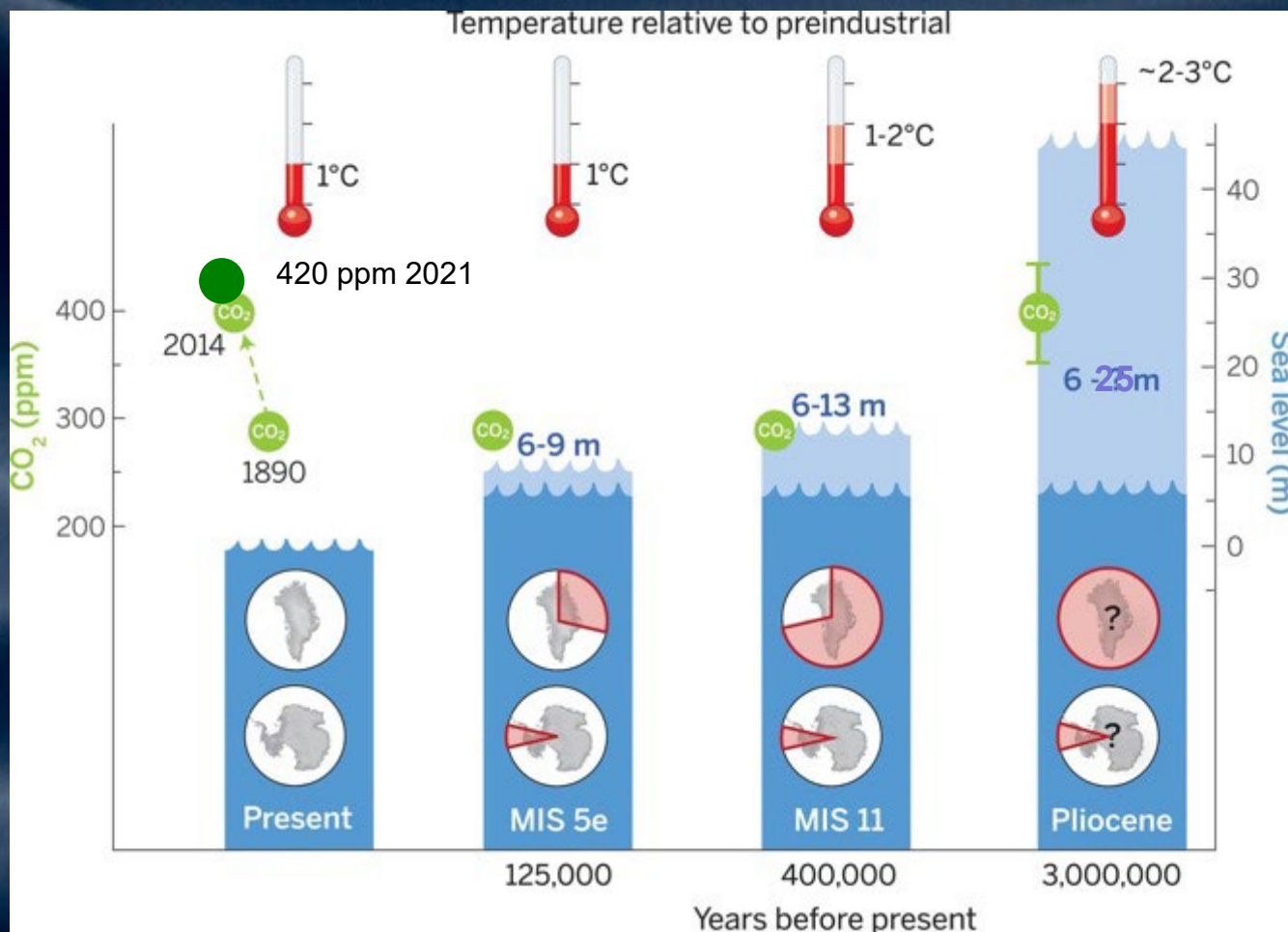
Glacials
180 ppm CO₂

Image by John Garrett.

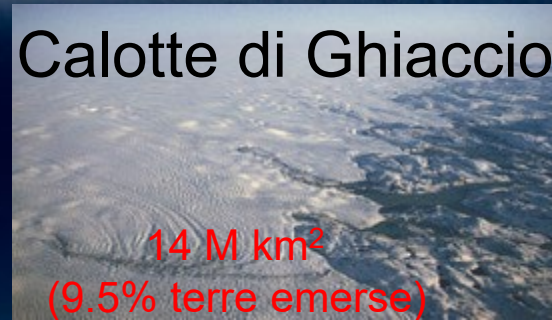
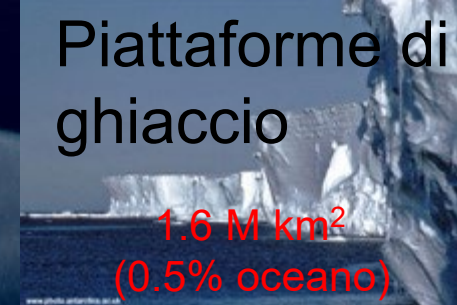
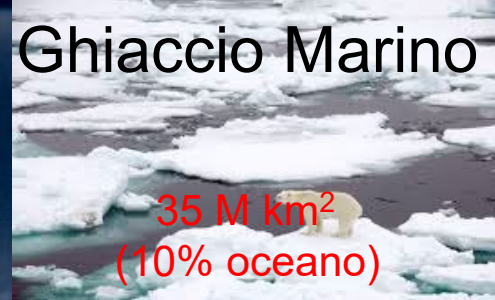


PALEO-GLACIOLOGIA: Ghiaccio, CO₂ & Temperatura

Studi sui periodi passati in cui la temperatura Terra era analoga a quella attualmente o più calda, suggeriscono che anche un aumento di pochi gradi può produrre un notevole aumento del livello del mare

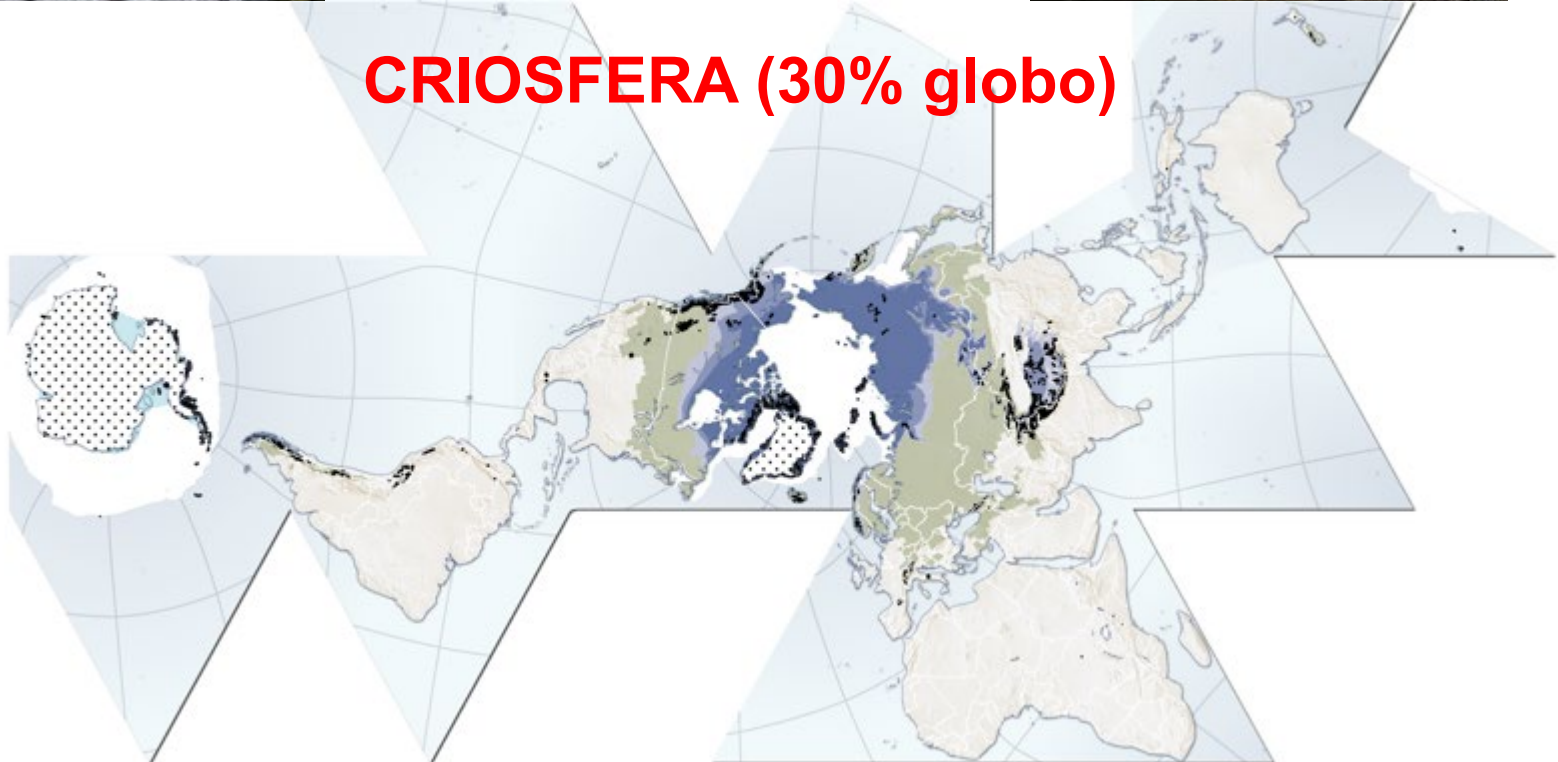


Temperatura media globale, CO₂ atmosferica, massimo livello medio globale del mare (GMSL) e fonte principale dell'acqua di fusione. L'ombreggiatura blu chiaro indica l'incertezza del massimo GMSL. I grafici a torta rossi sulla Groenlandia e l'Antartide indicano la frazione di riduzione del ghiaccio (Dutton et al., 2015)



CRIOSFERA (30% globo)

- Snow
- Sea ice
- Ice shelves
- Ice sheets
- Glaciers and ice caps
- Permafrost, continuous
- Permafrost, discontinuous
- Permafrost, isolated





- I ghiacciai sono vicini al punto di fusione e reagiscono fortemente ai cambiamenti climatici.
- I ghiacciai sono un importante patrimonio naturalistico e sono una risorsa di acqua dolce (agricoltura, industria, energia ecc.) specialmente durante i periodi con scarse precipitazioni, ma sono anche un pericolo naturale.
- La riduzione dei ghiacciai ha importanti conseguenze sulle risorse idriche. L'acqua di fusione alimenta dieci grandi fiumi, tra cui l'Indo, il Brahmaputra, il Gange, il Giallo e lo Yangtze, da cui dipende quasi il 20% della popolazione mondiale.
- La drastica riduzione dei ghiacciai alpini e delle calotte di ghiaccio polari contribuiscono ai $\frac{2}{3}$ dell'attuale innalzamento del livello del mare pari a 3.4 mm all'anno.



South Pole
ANTARCTICA

North Pole
ARCTIC

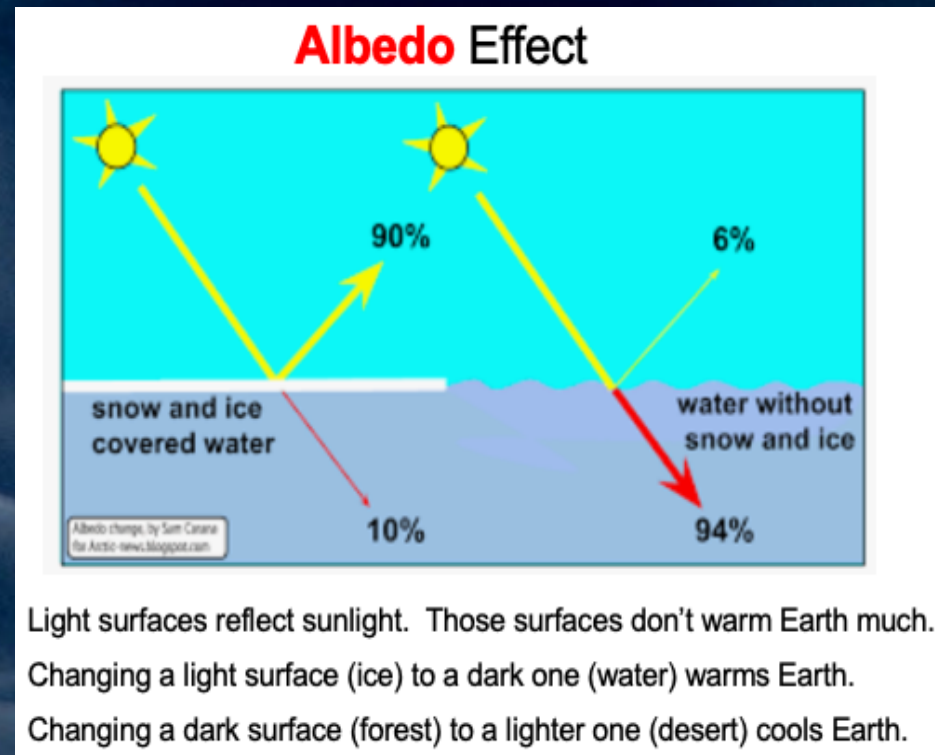
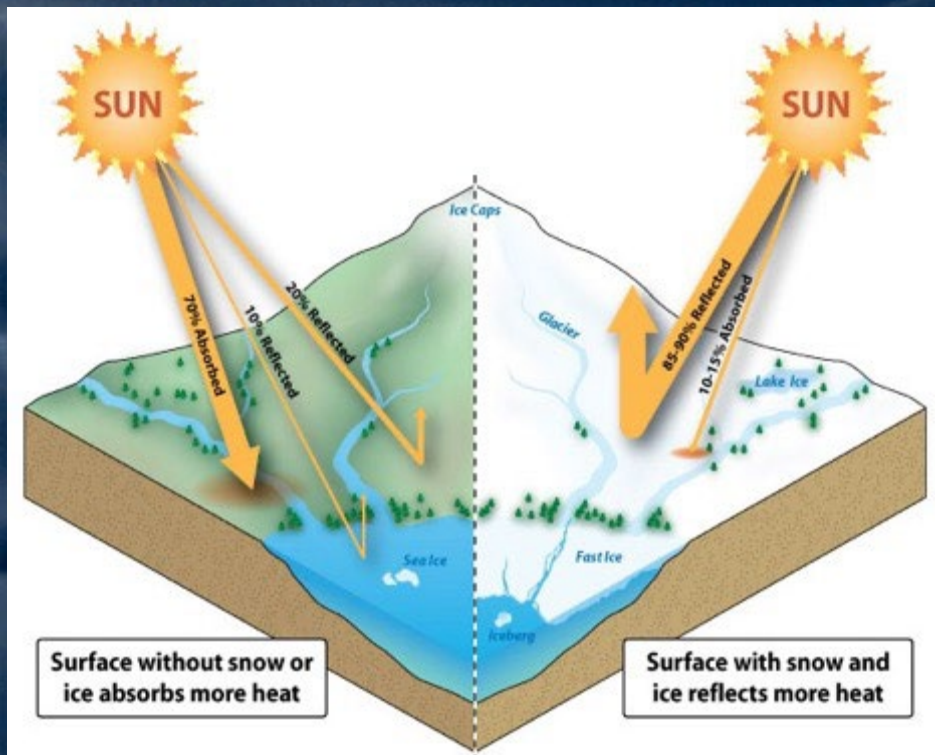




RIFLESSIONE ALBEDO

È la capacità di un corpo di riflettere le onde elettromagnetiche senza alterarsi e alterarle.

Se un corpo riflette bene, assorbe male e viceversa.

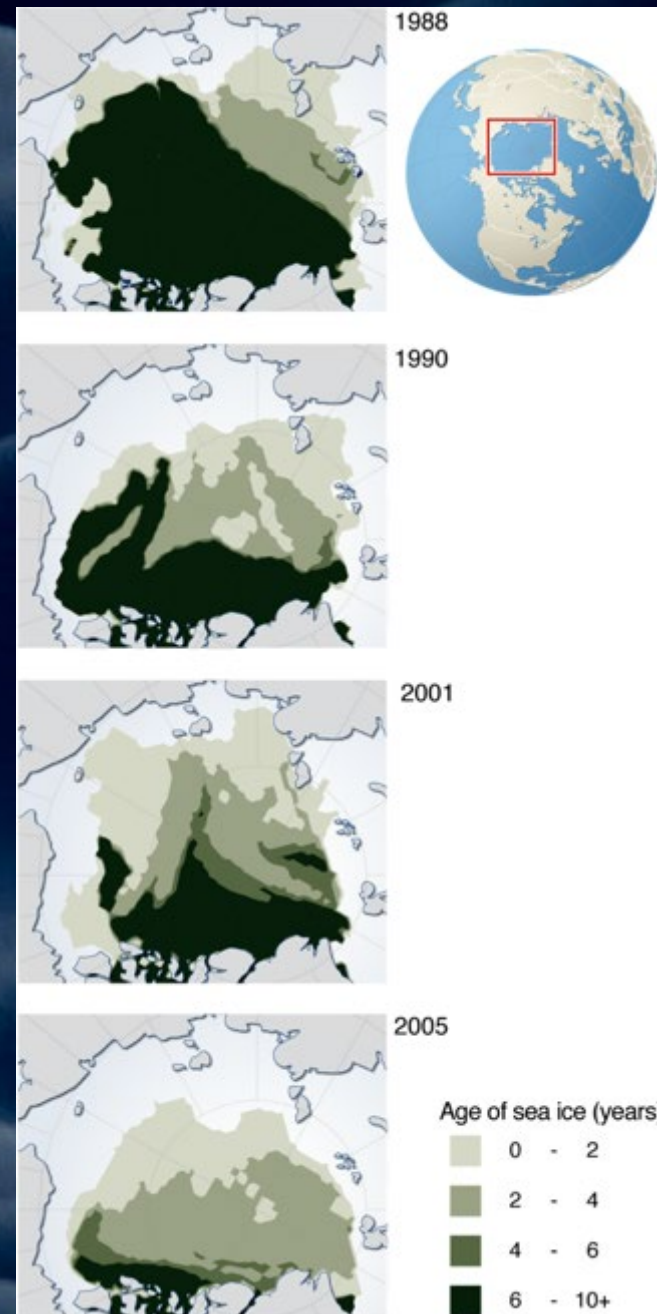
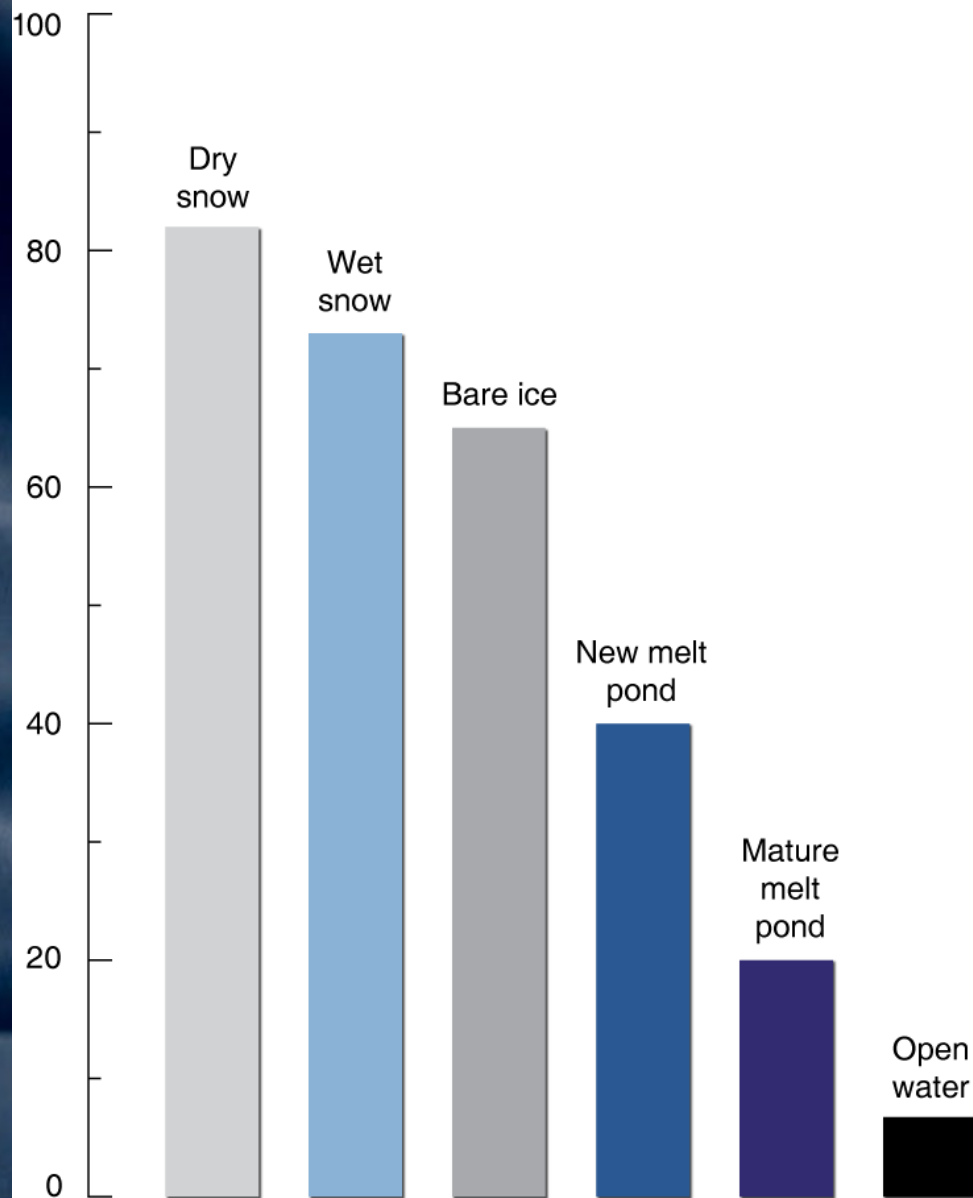


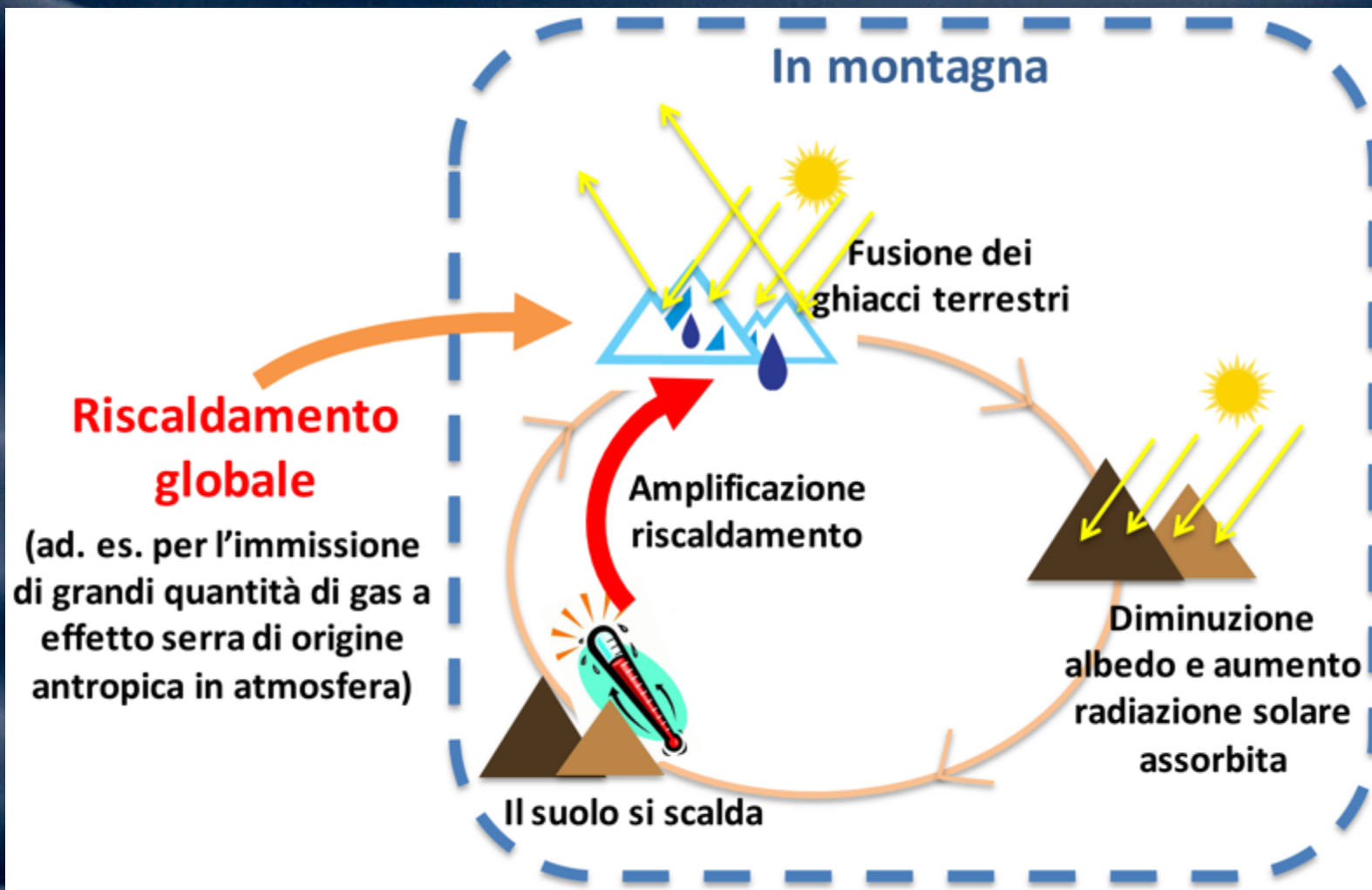


ALBEDO NEVE GHIACCIO OCEANO

Albedo

(% of radiation reflected)







LA BANCHISA POLARE





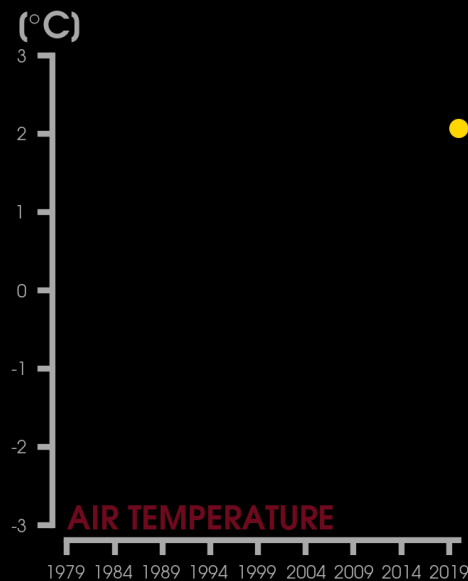
LA BANCHISA POLARE



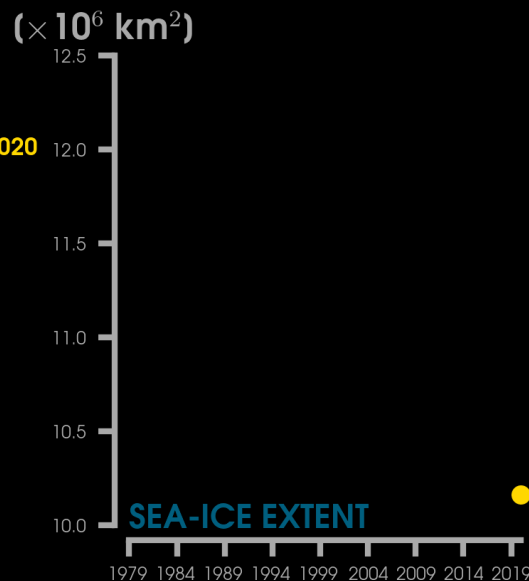


LA BANCHISA POLARE

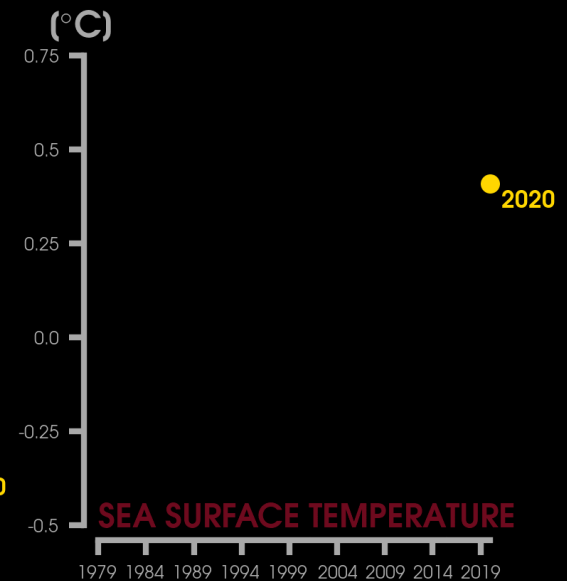
ARCTIC AMPLIFICATION



DATA: Berkeley Earth Data using NOAA/ESRL (WRT Tool; +67° N)
SOURCE: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/testdap/timeseries.pl>
BASELINE: Temperature anomalies computed from 1981-2010 (ANNUAL)



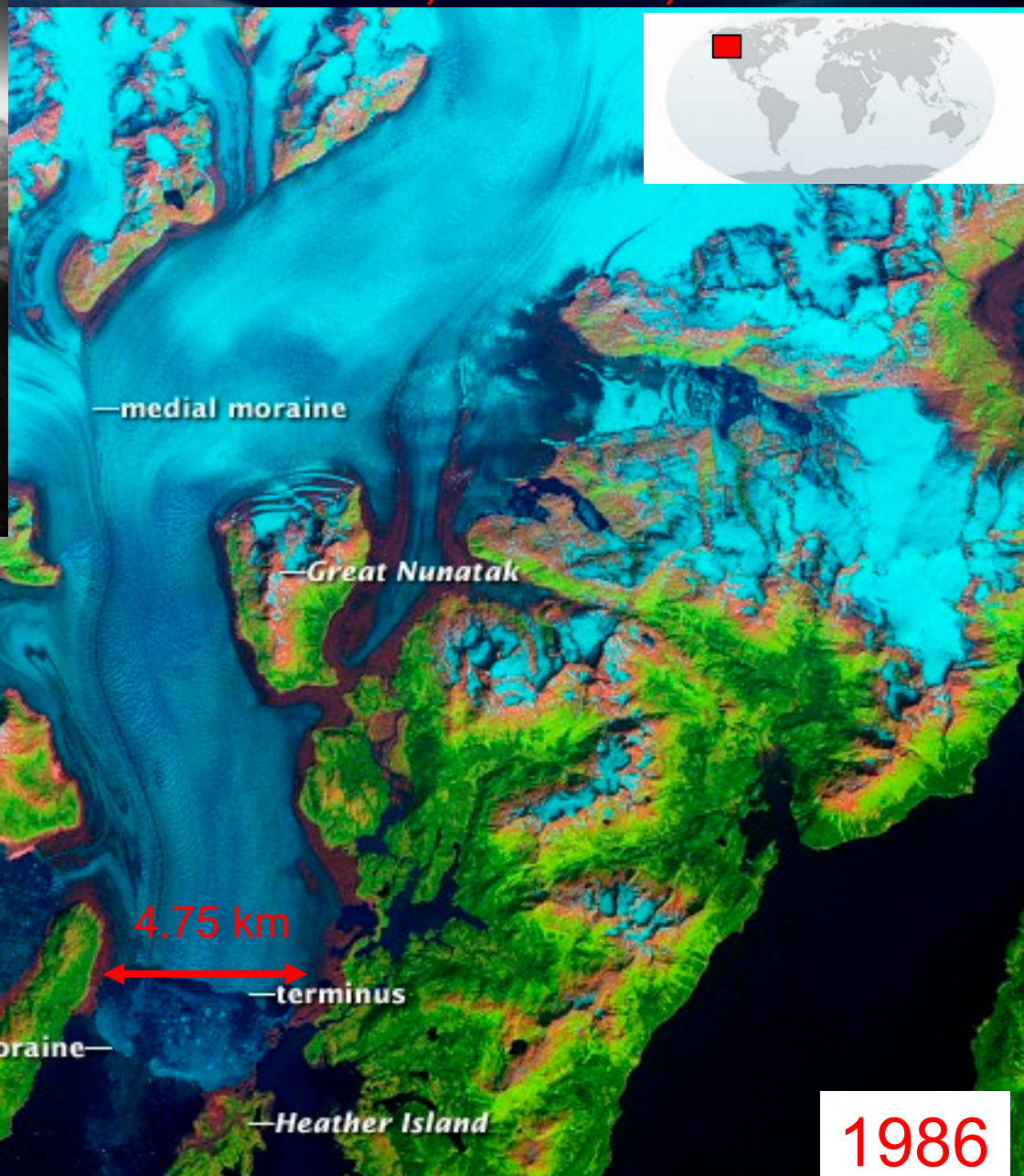
DATA: NSIDC Sea Ice Index v3.0 (ANNUAL, Satellite)
SOURCE: <ftp://sidacs.colorado.edu/DATASETS/NOAA/G02135>
GRAPHIC: Zachary Labe (@ZLabe)



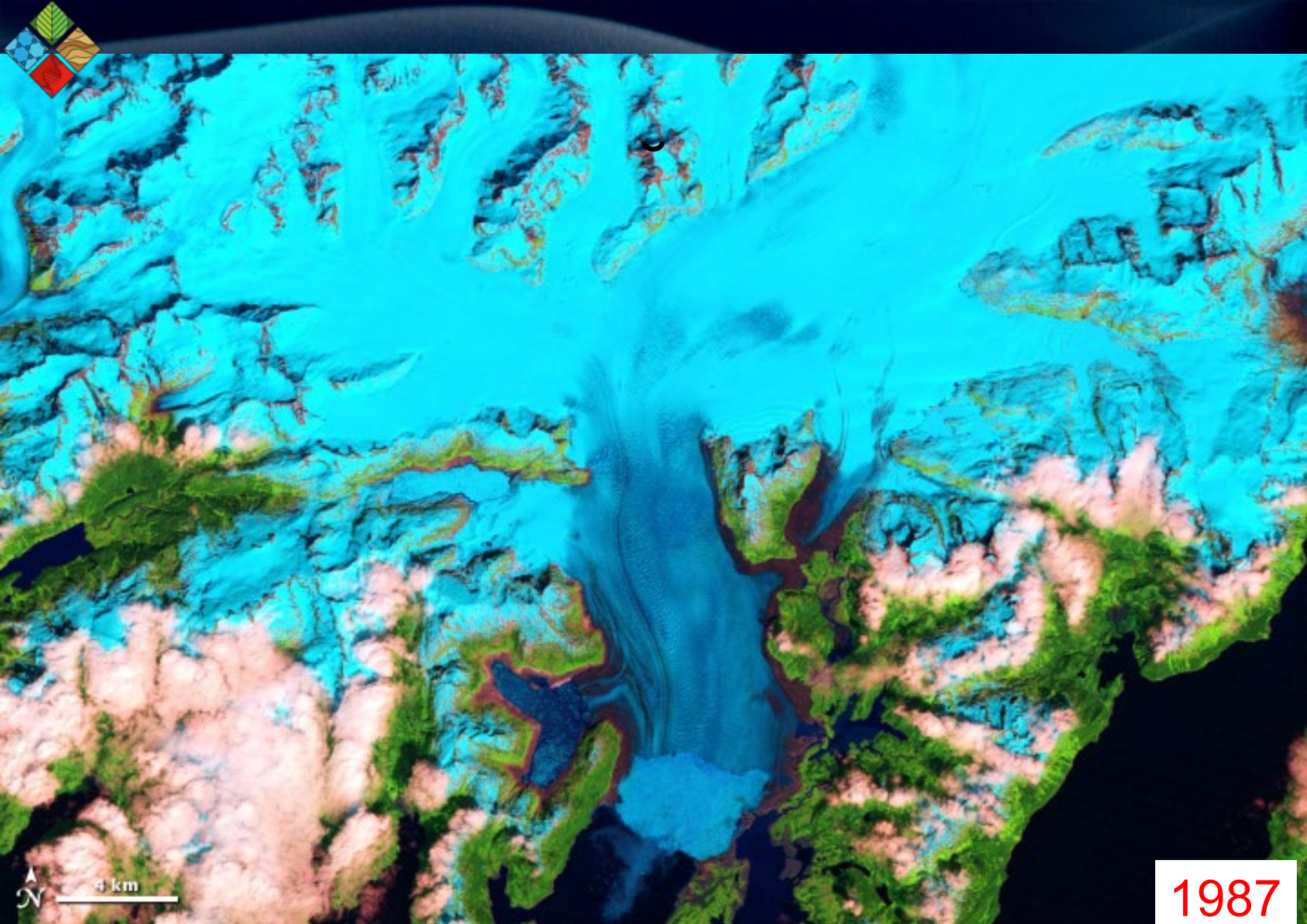
DATA: NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2 (+67° N)
SOURCE: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>
BASELINE: SST anomalies computed from 1982-2010 (ANNUAL)



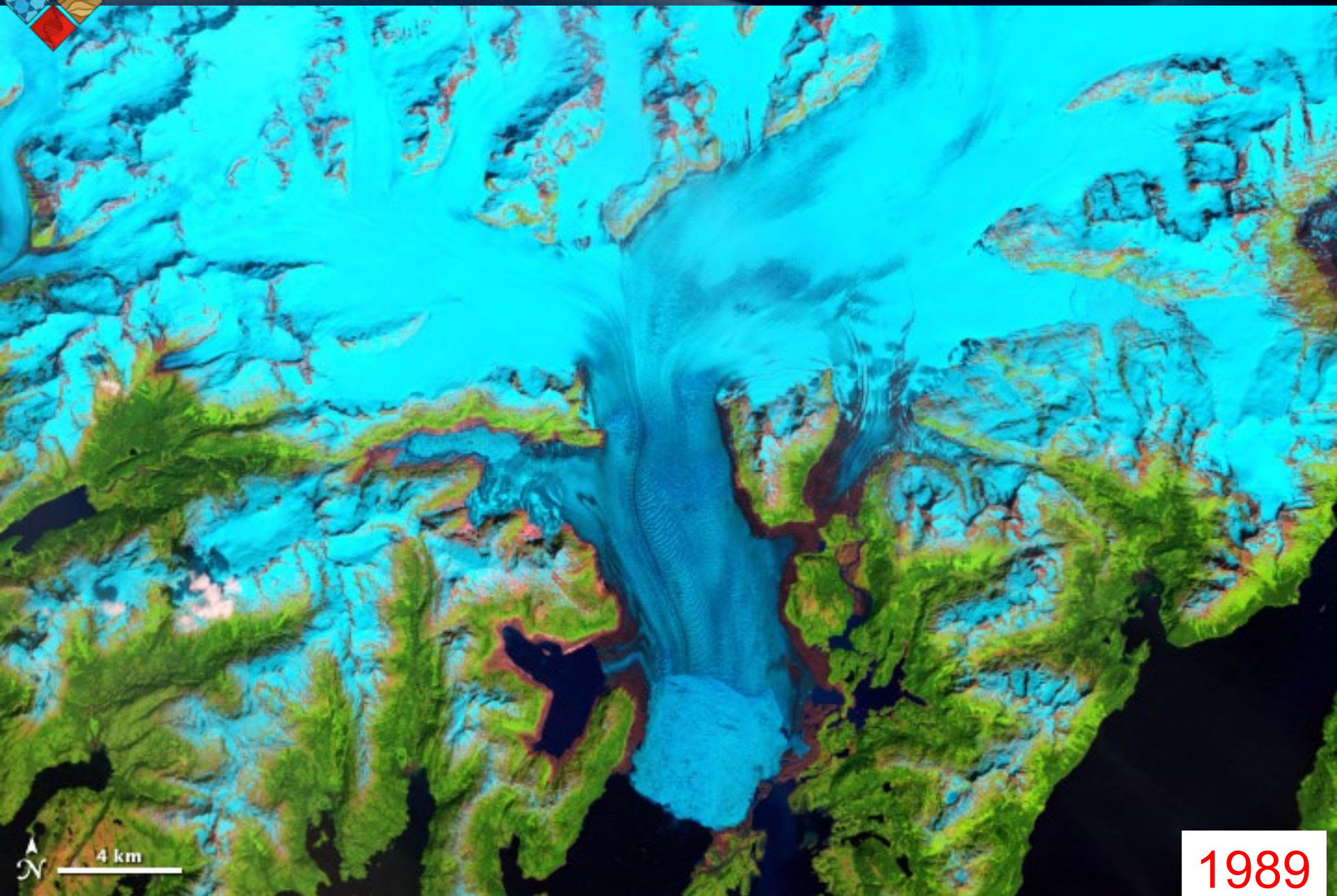
Columbia Glacier, Alaska, USA



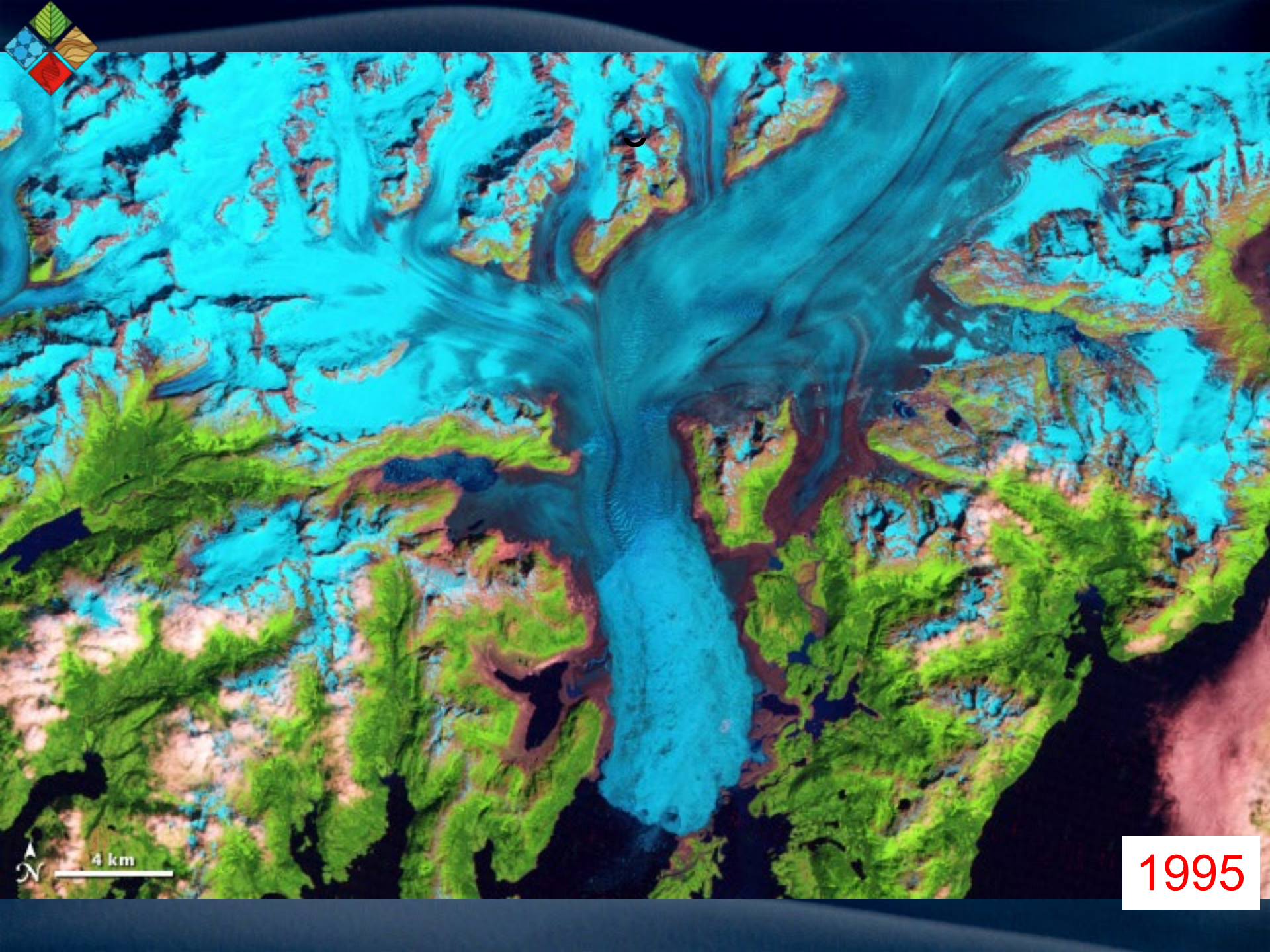
1986



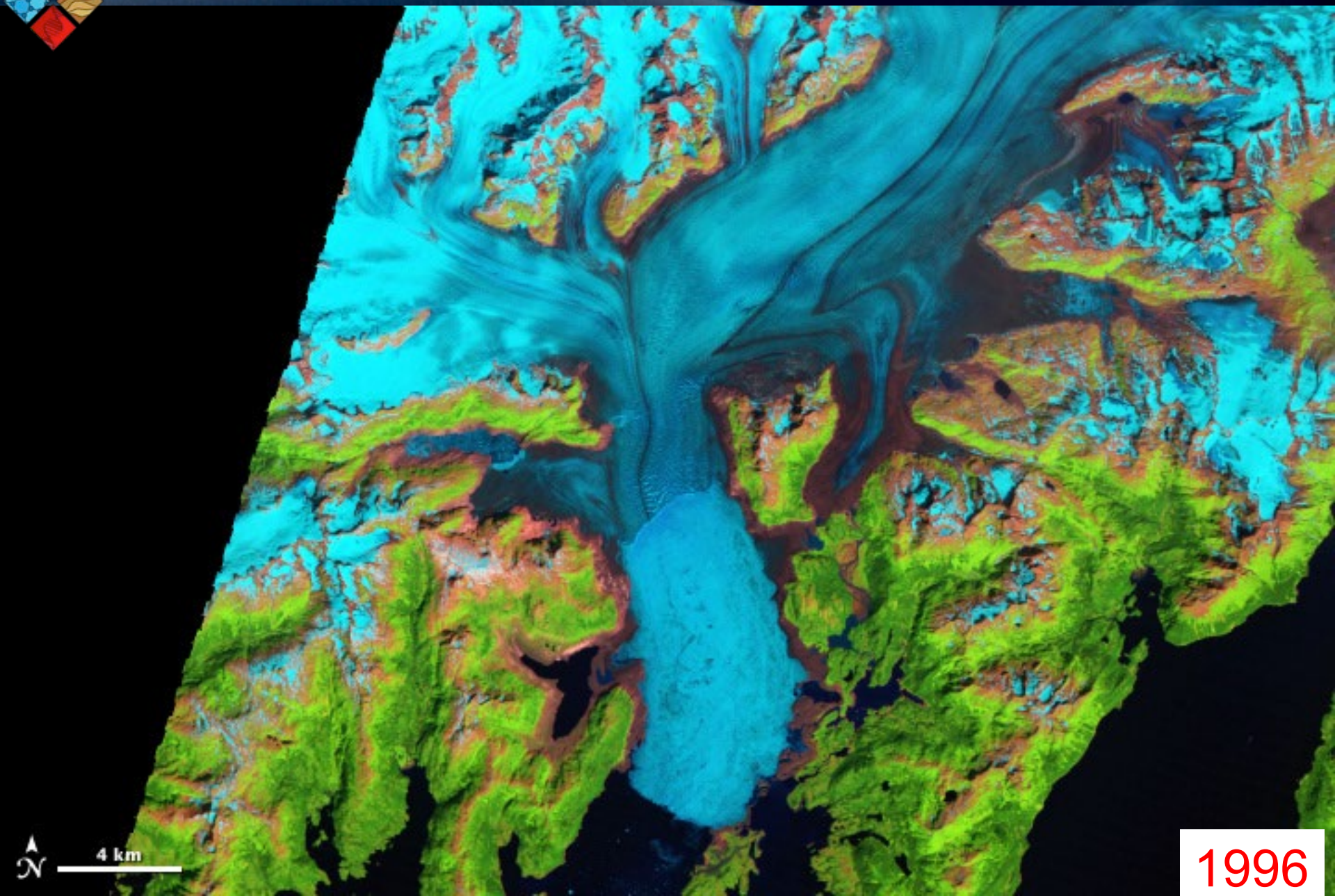
1987



1989

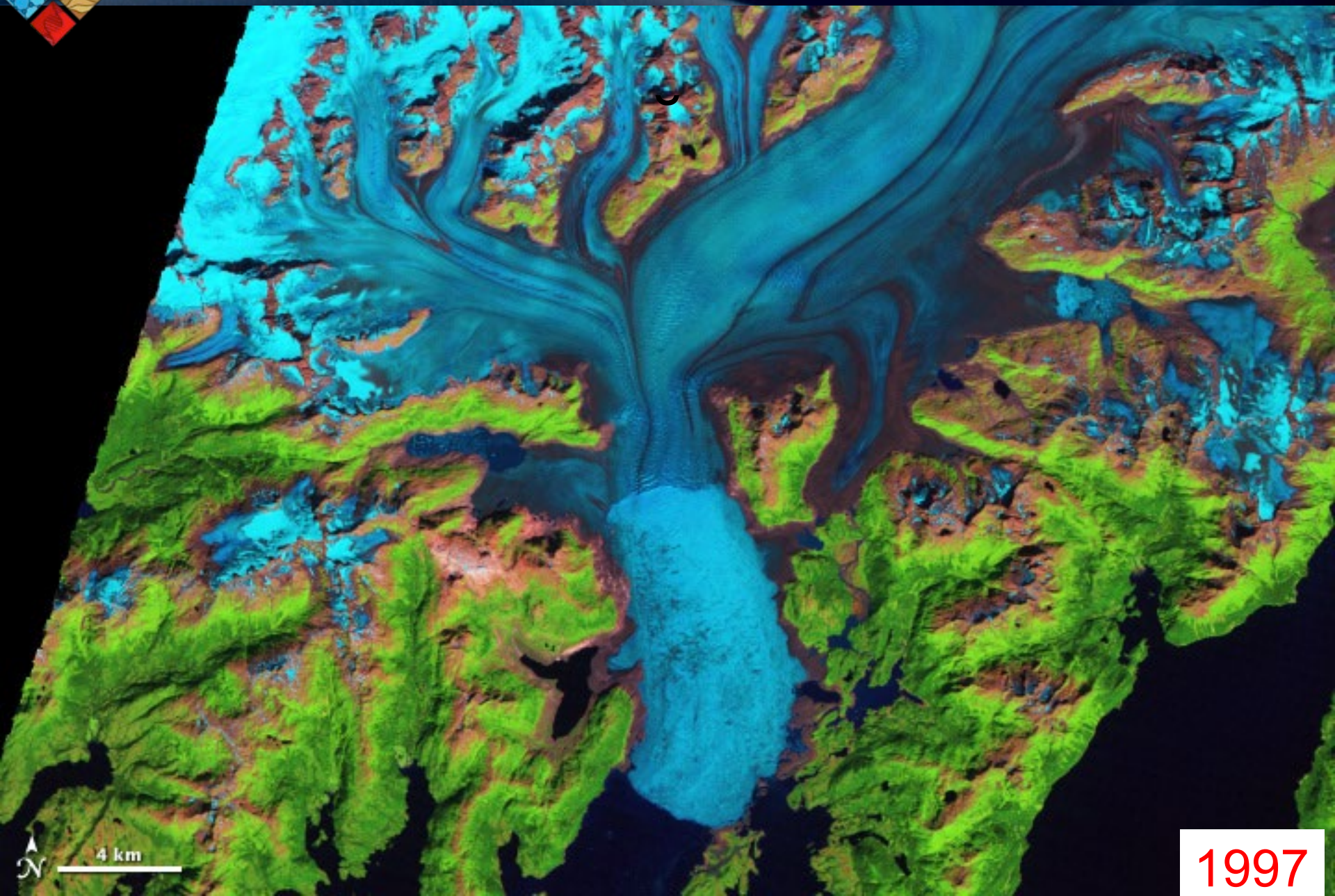


1995

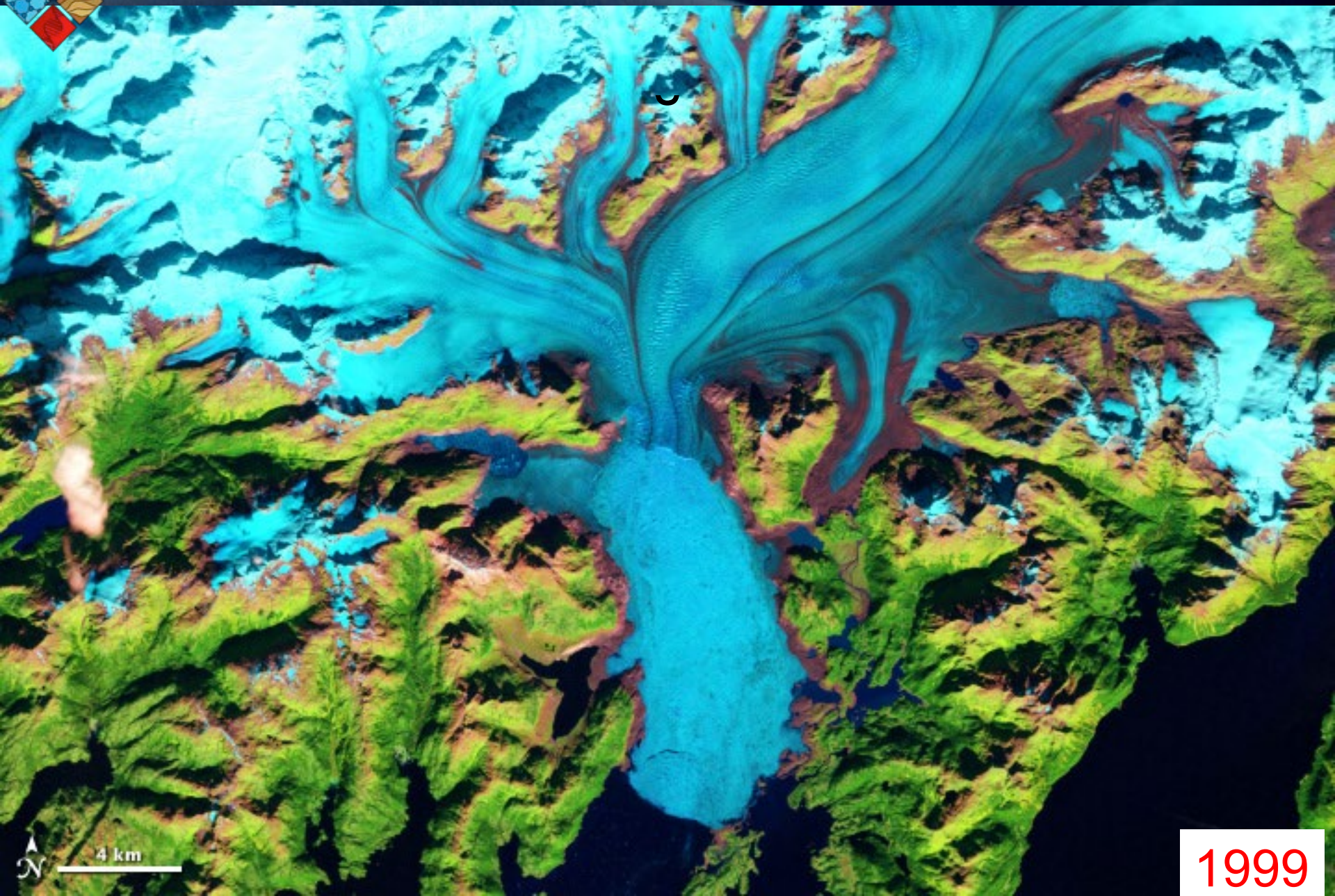


4 km

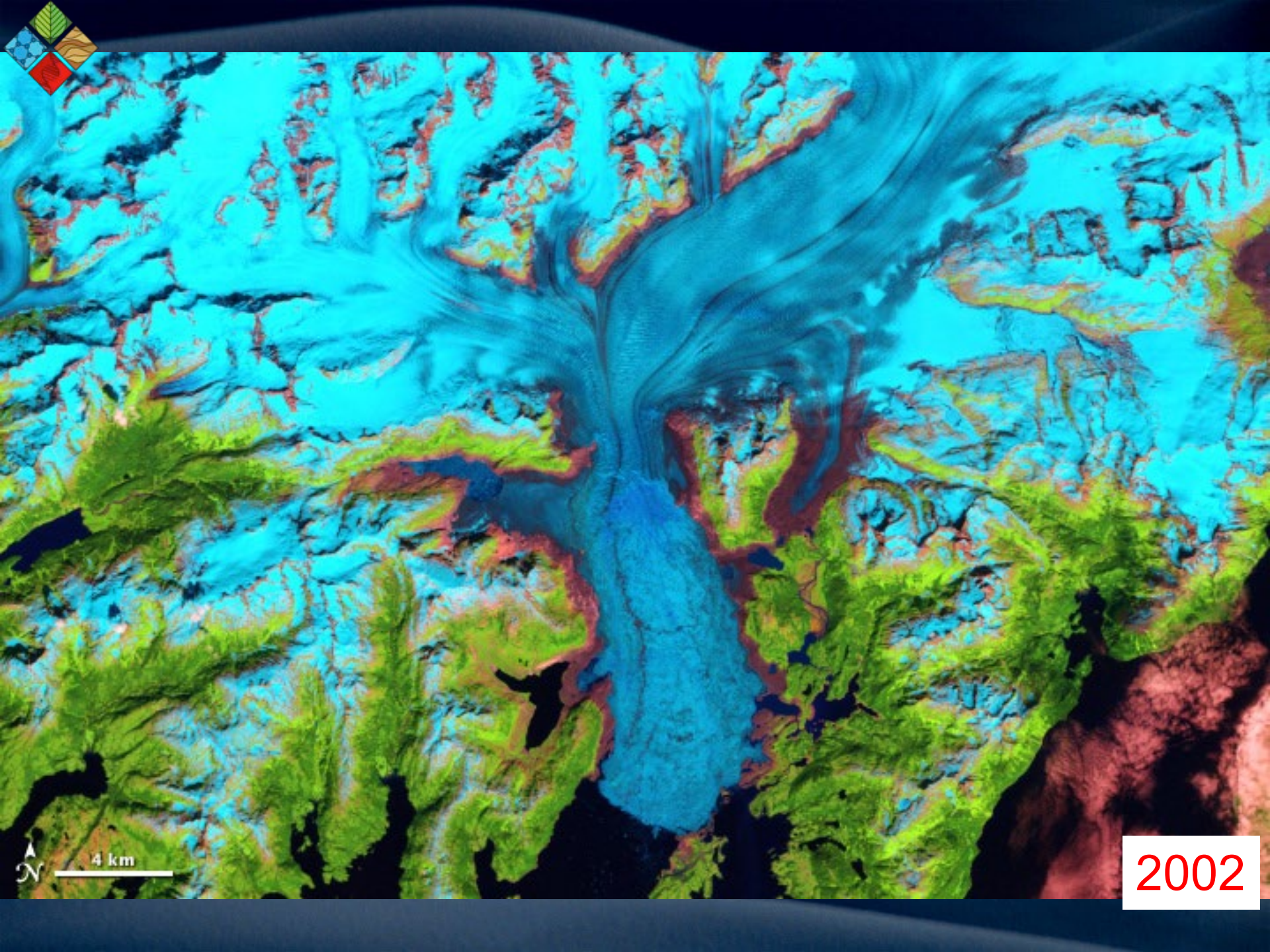
1996



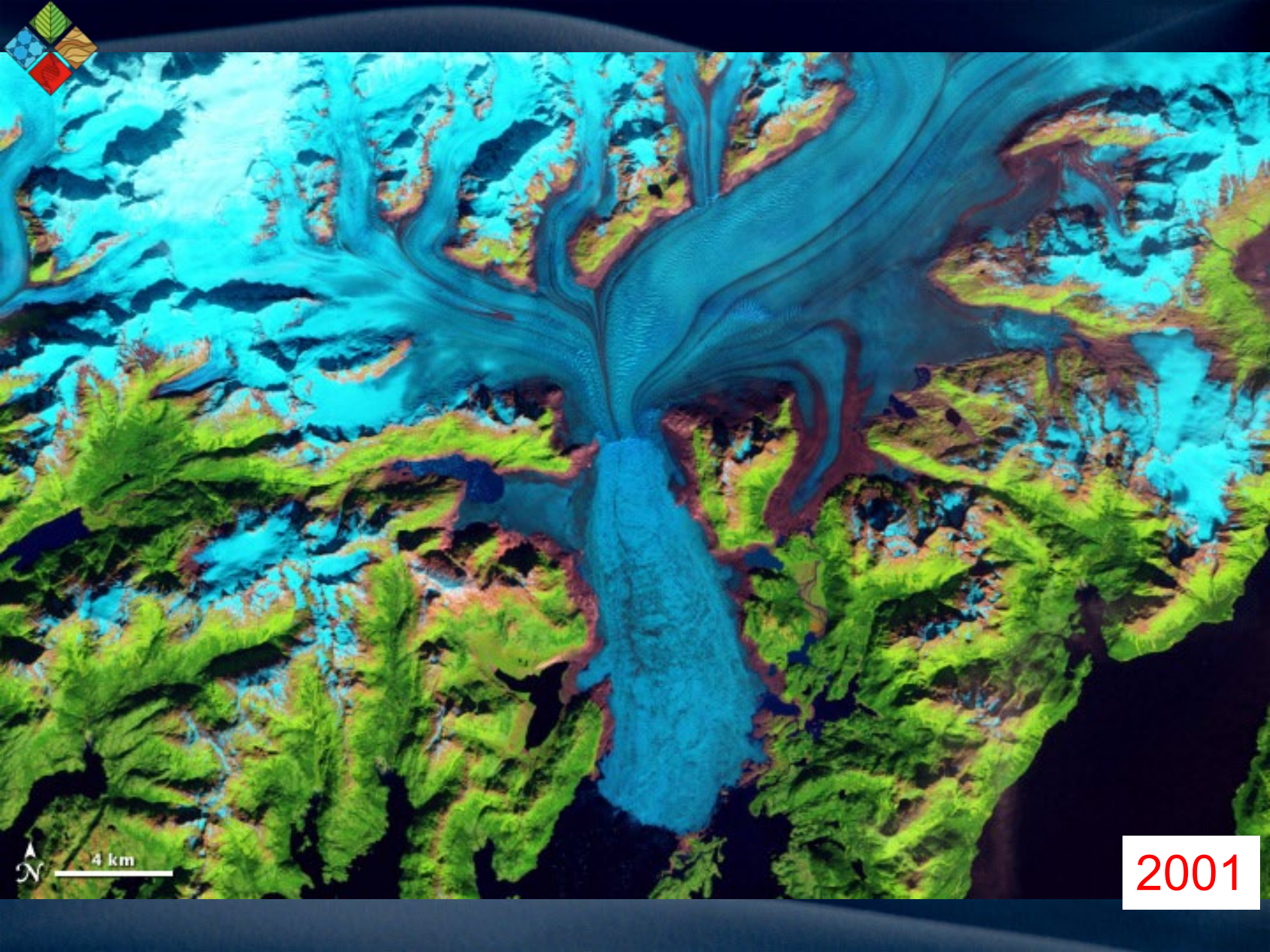
1997



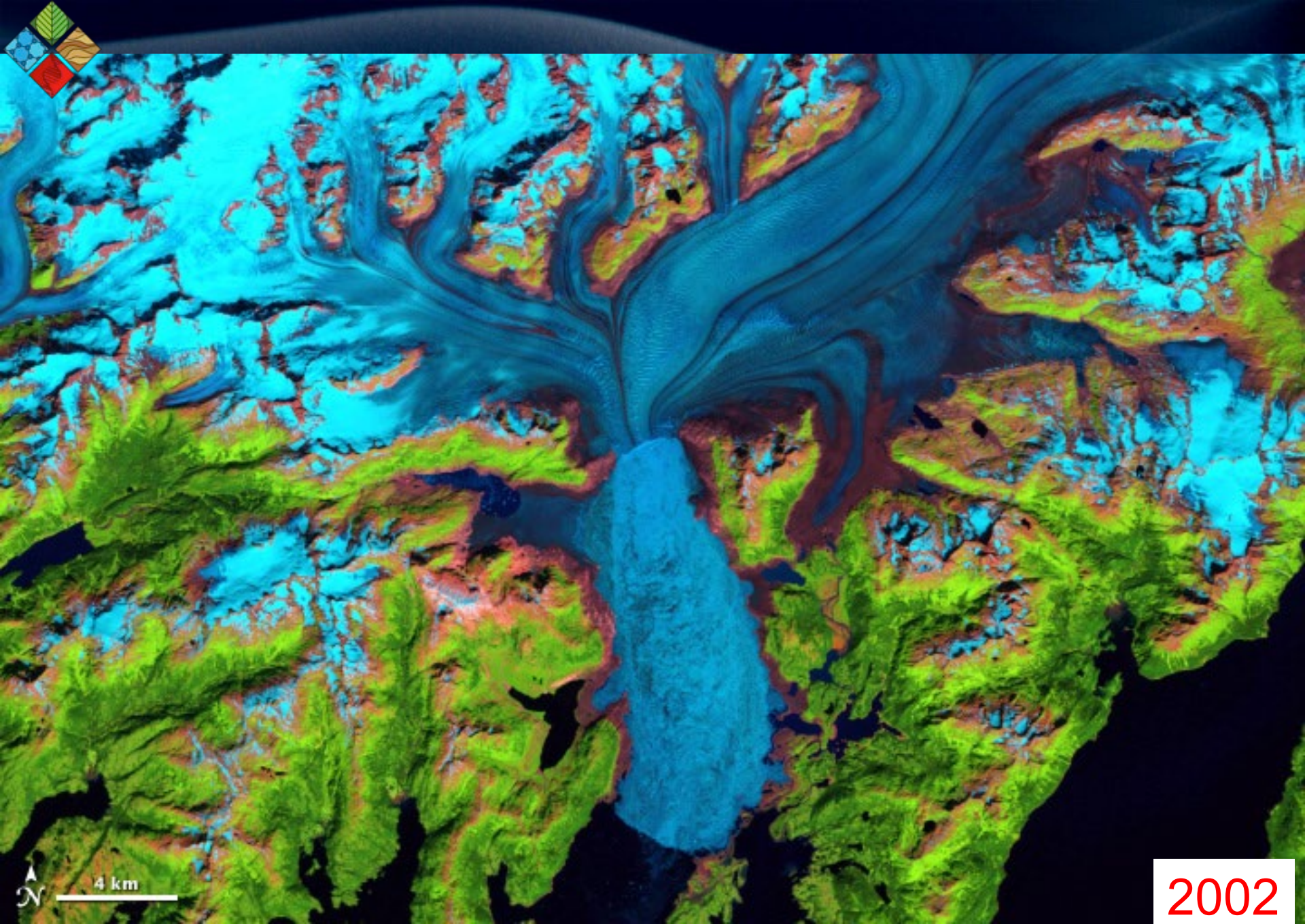
1999



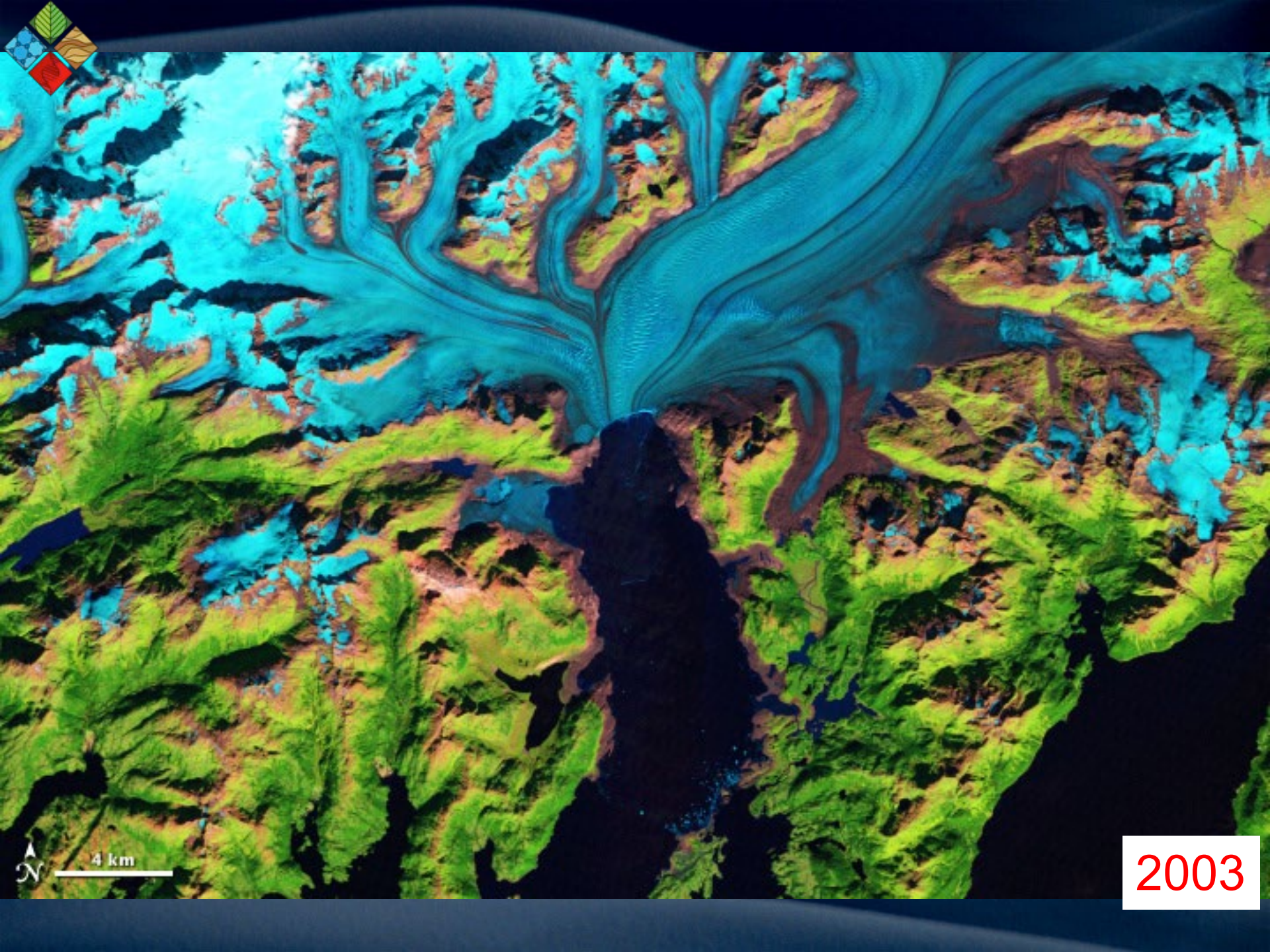
2002



2001

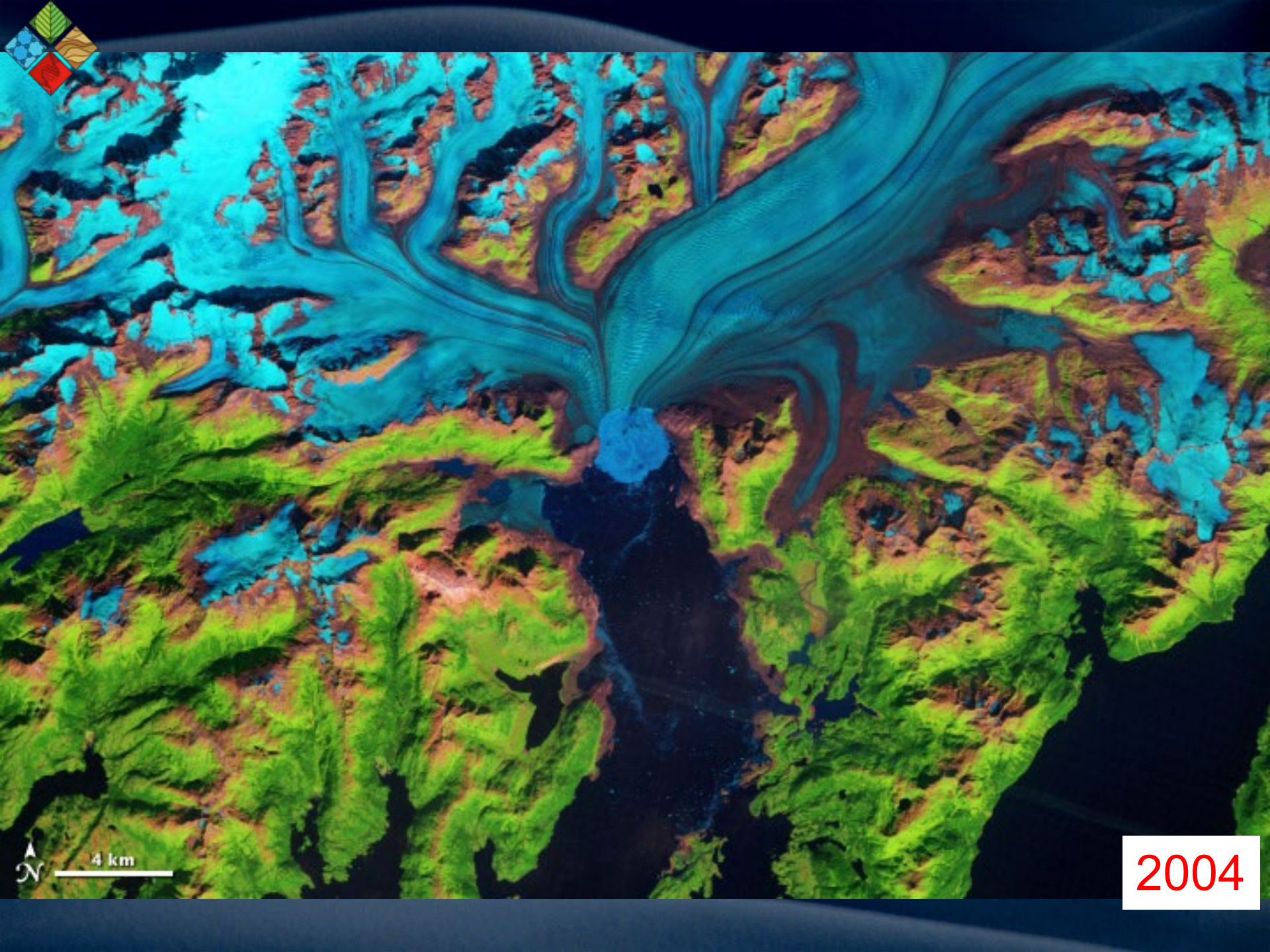


2002

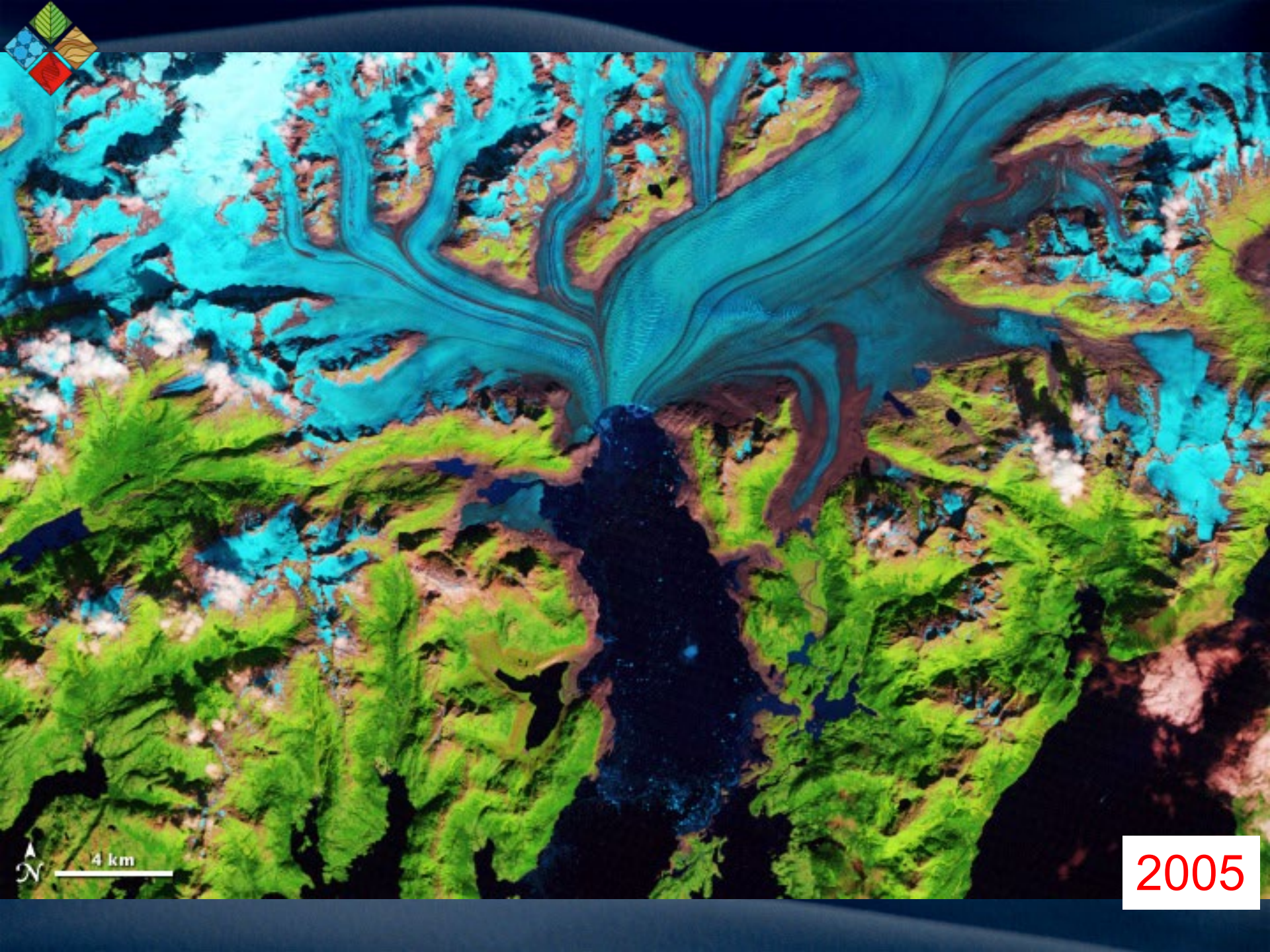


N
4 km

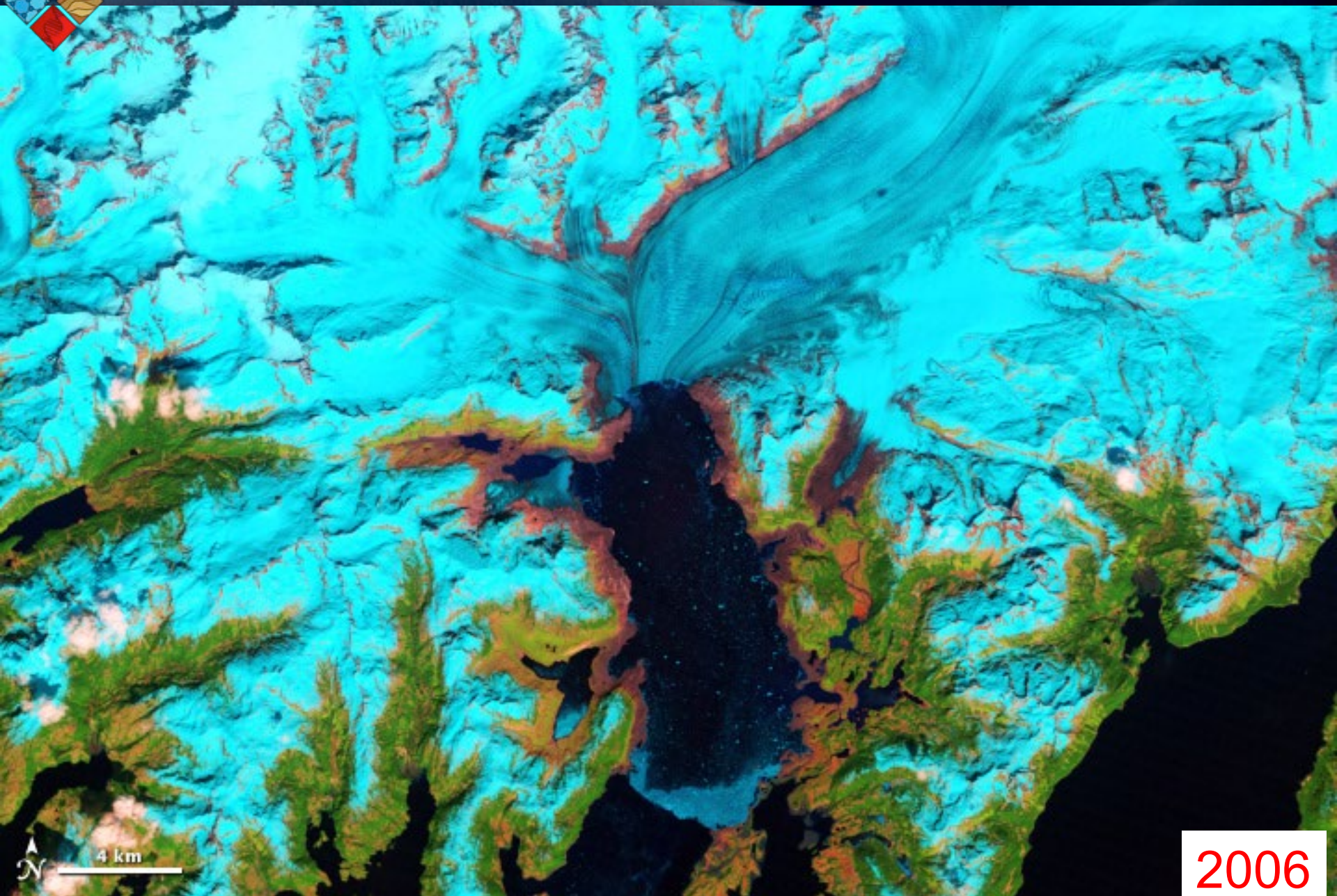
2003



2004

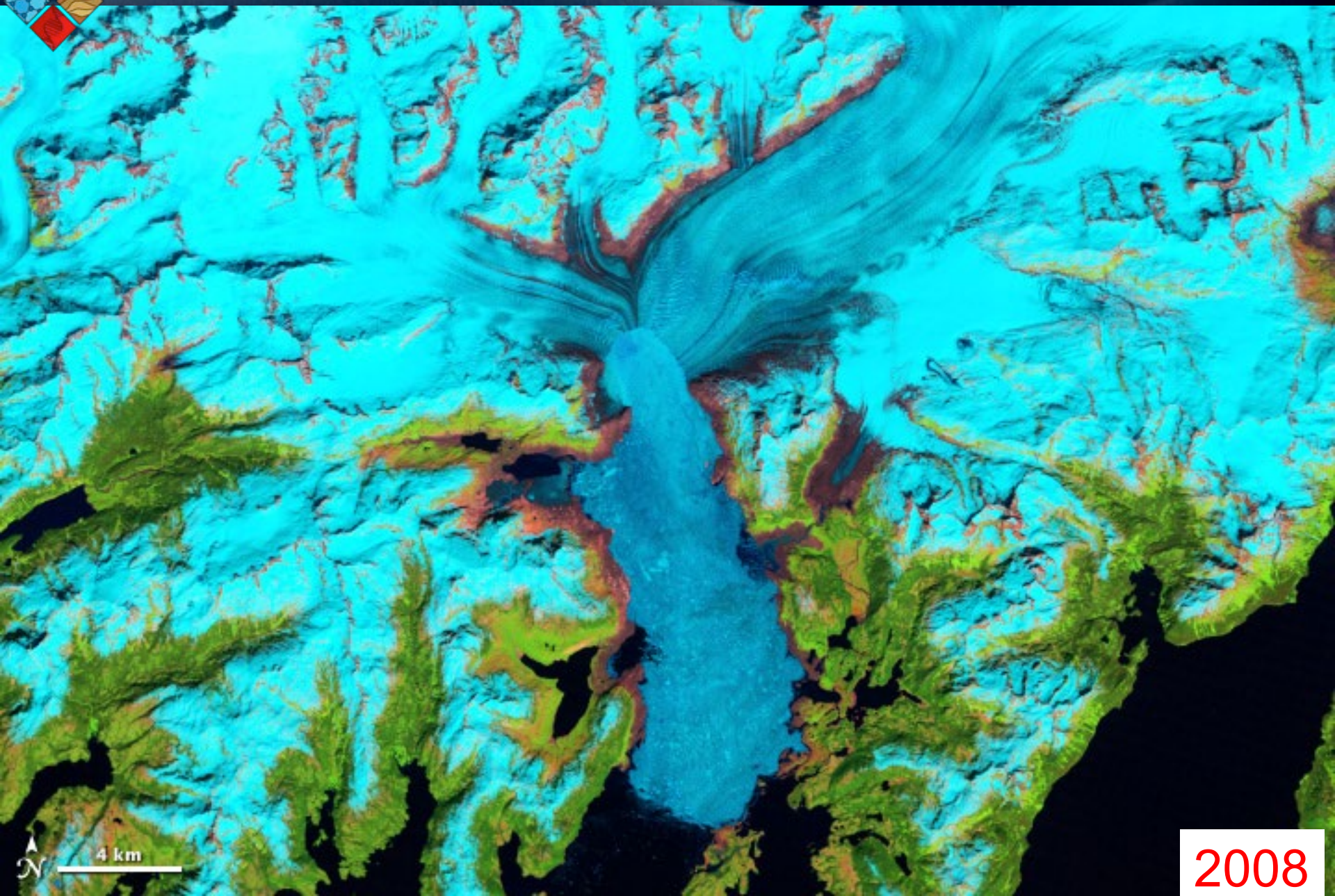


2005



N
4 km

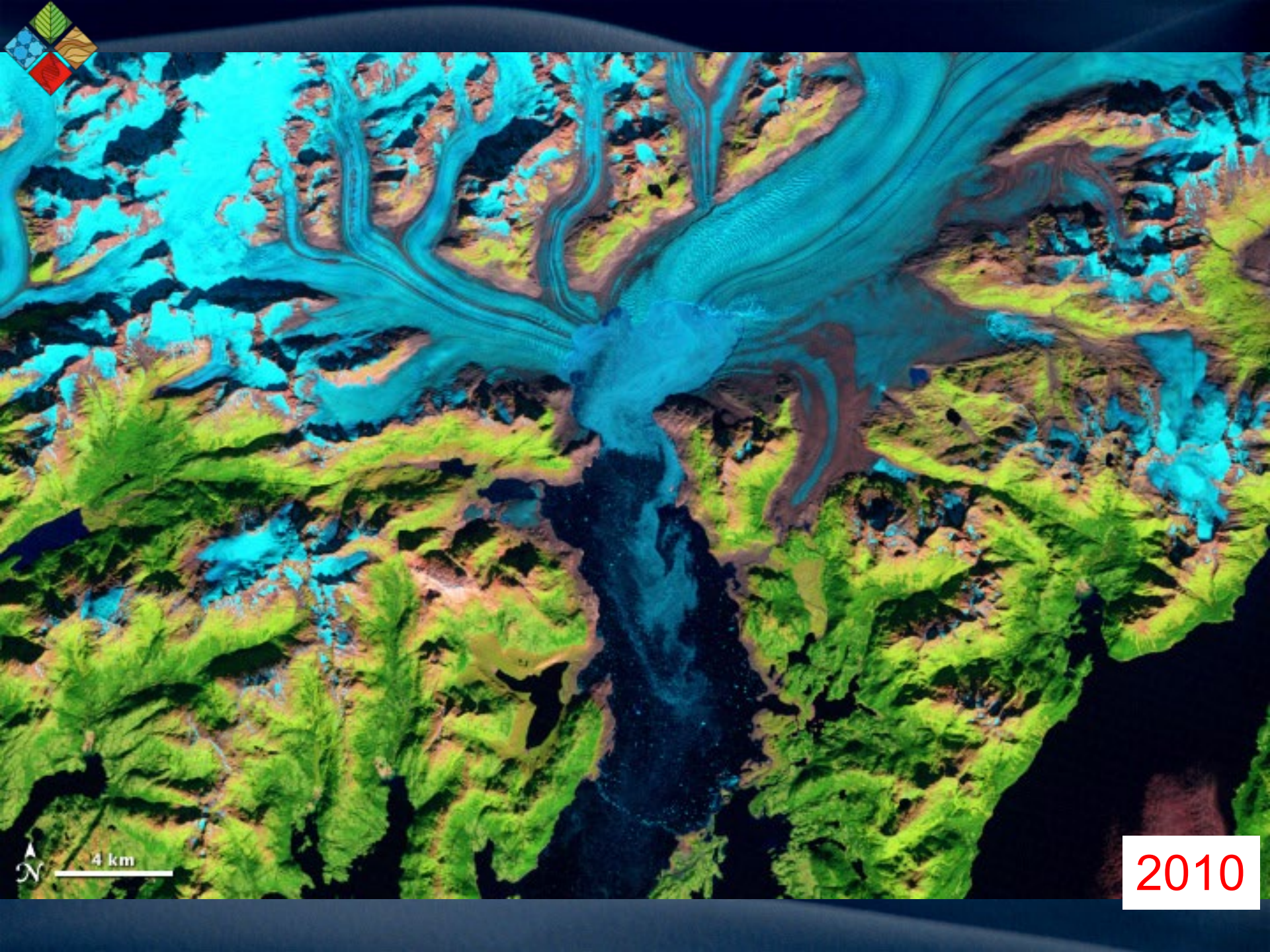
2006



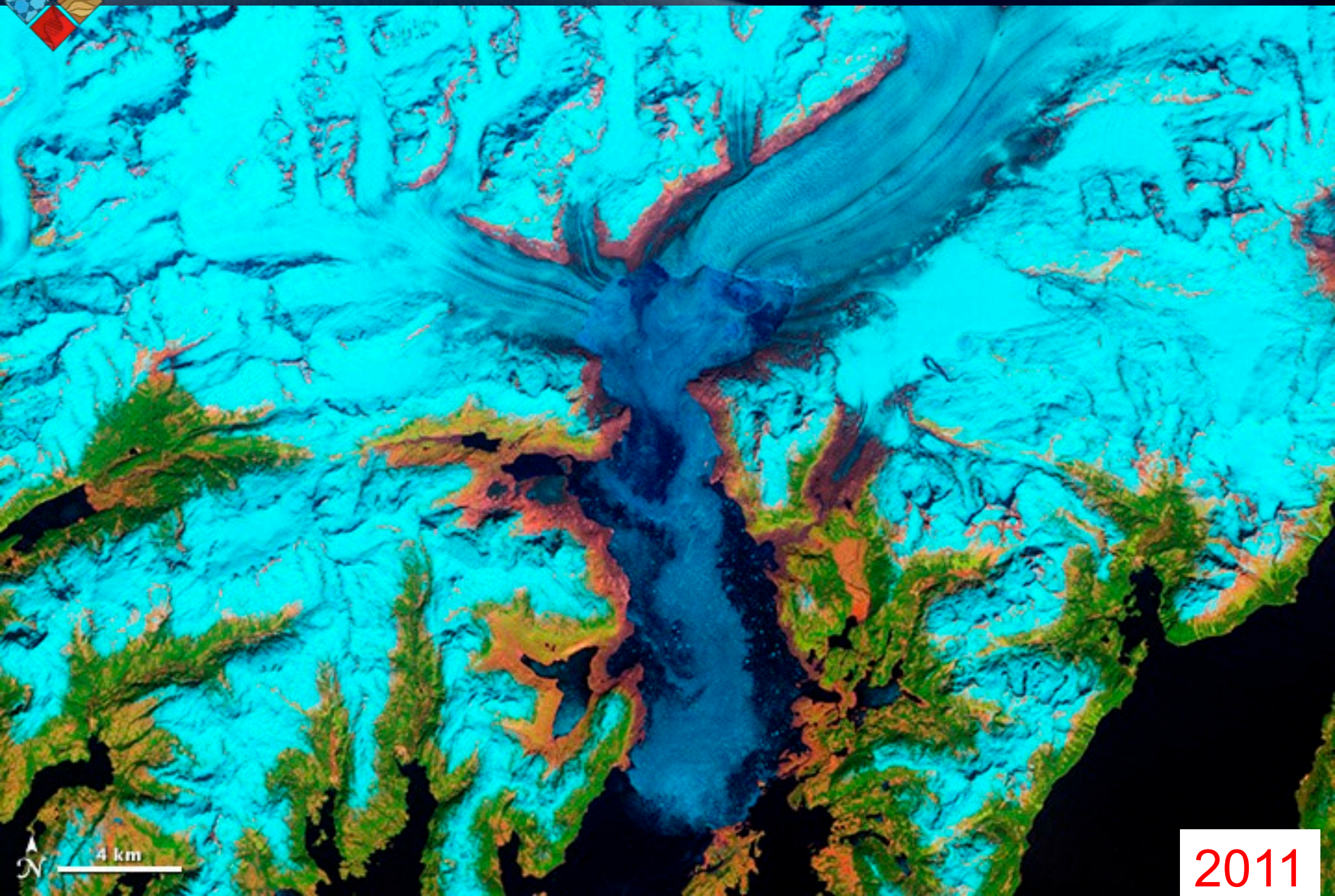
2008



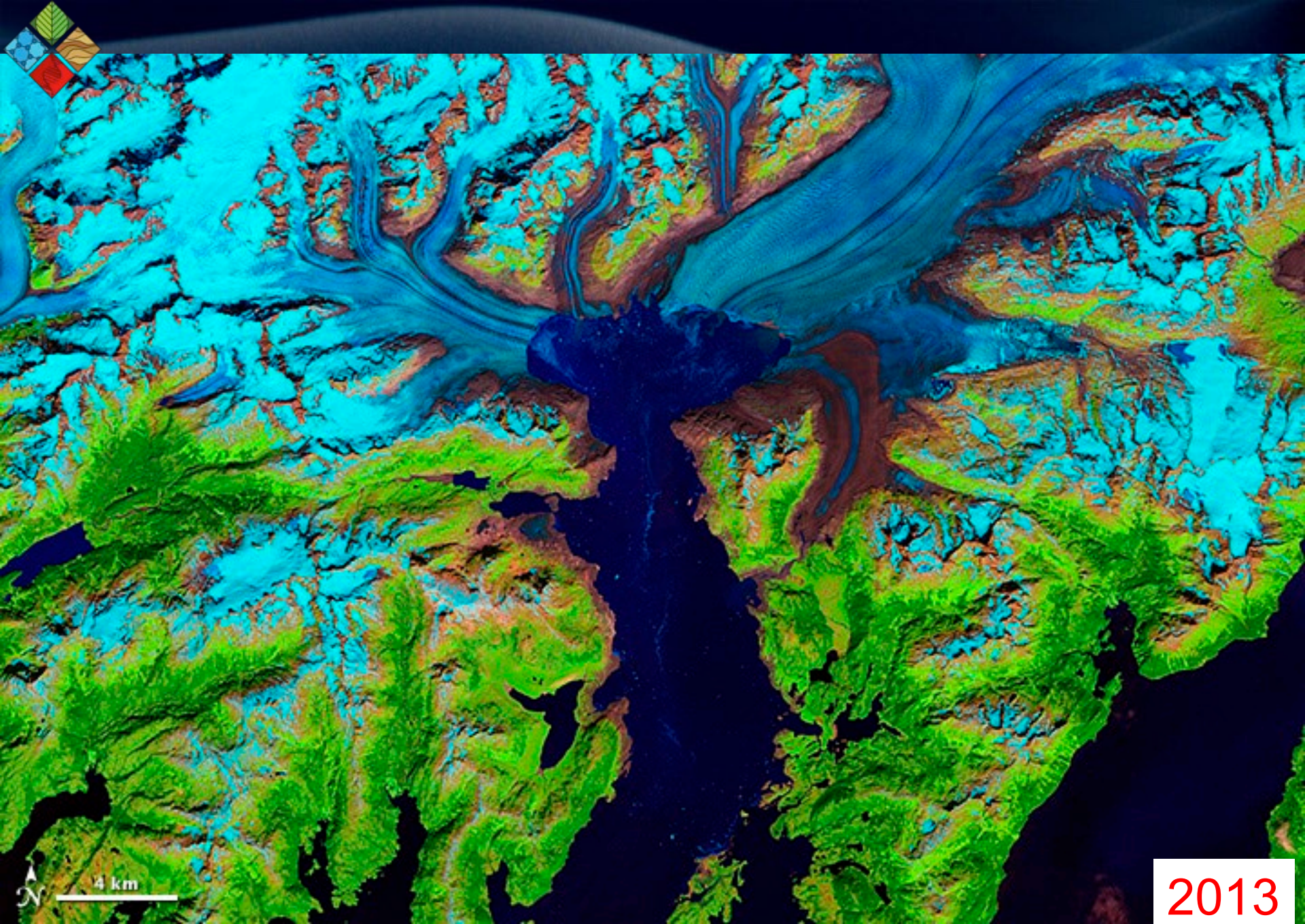
2009



2010



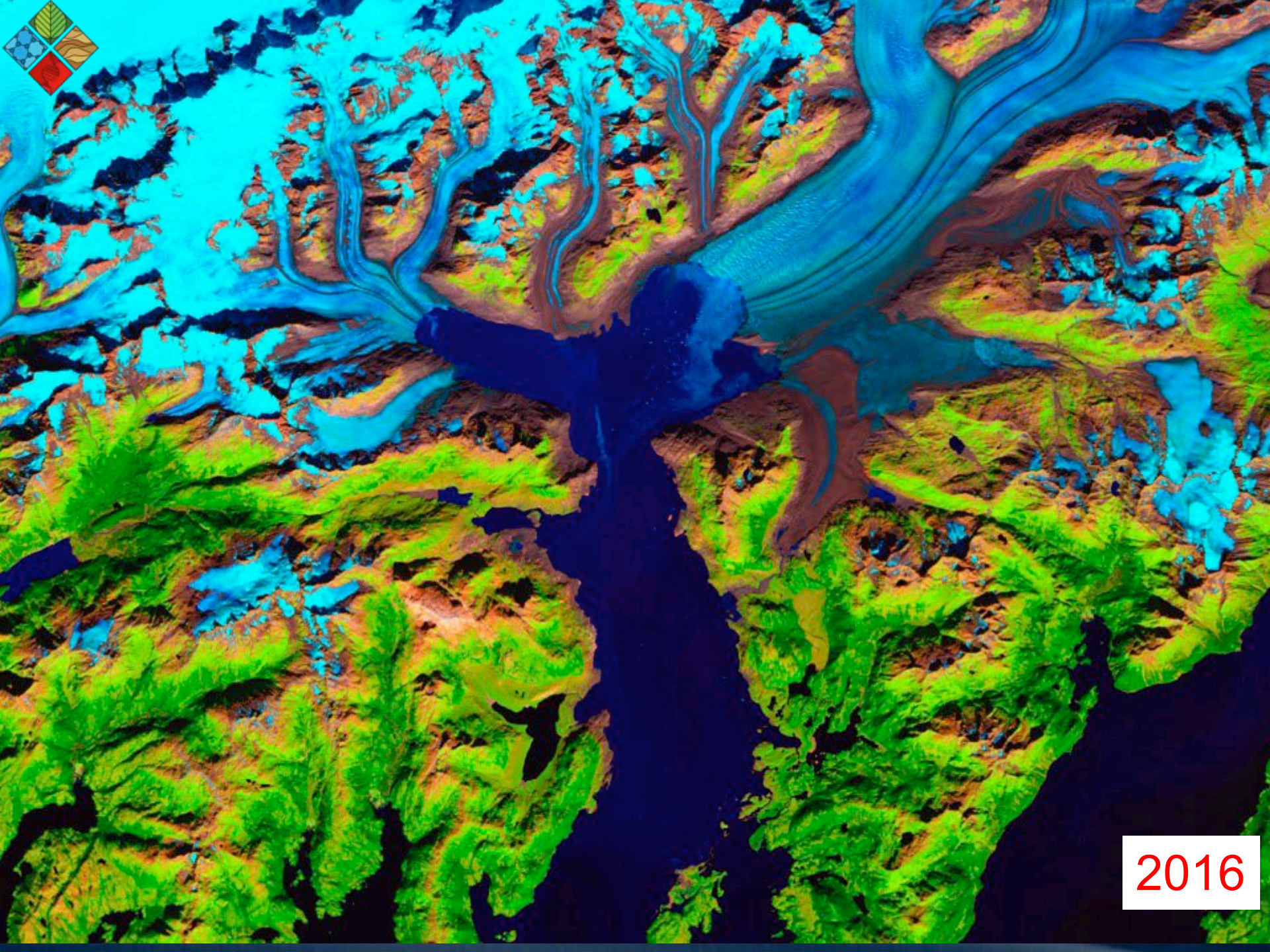
2011



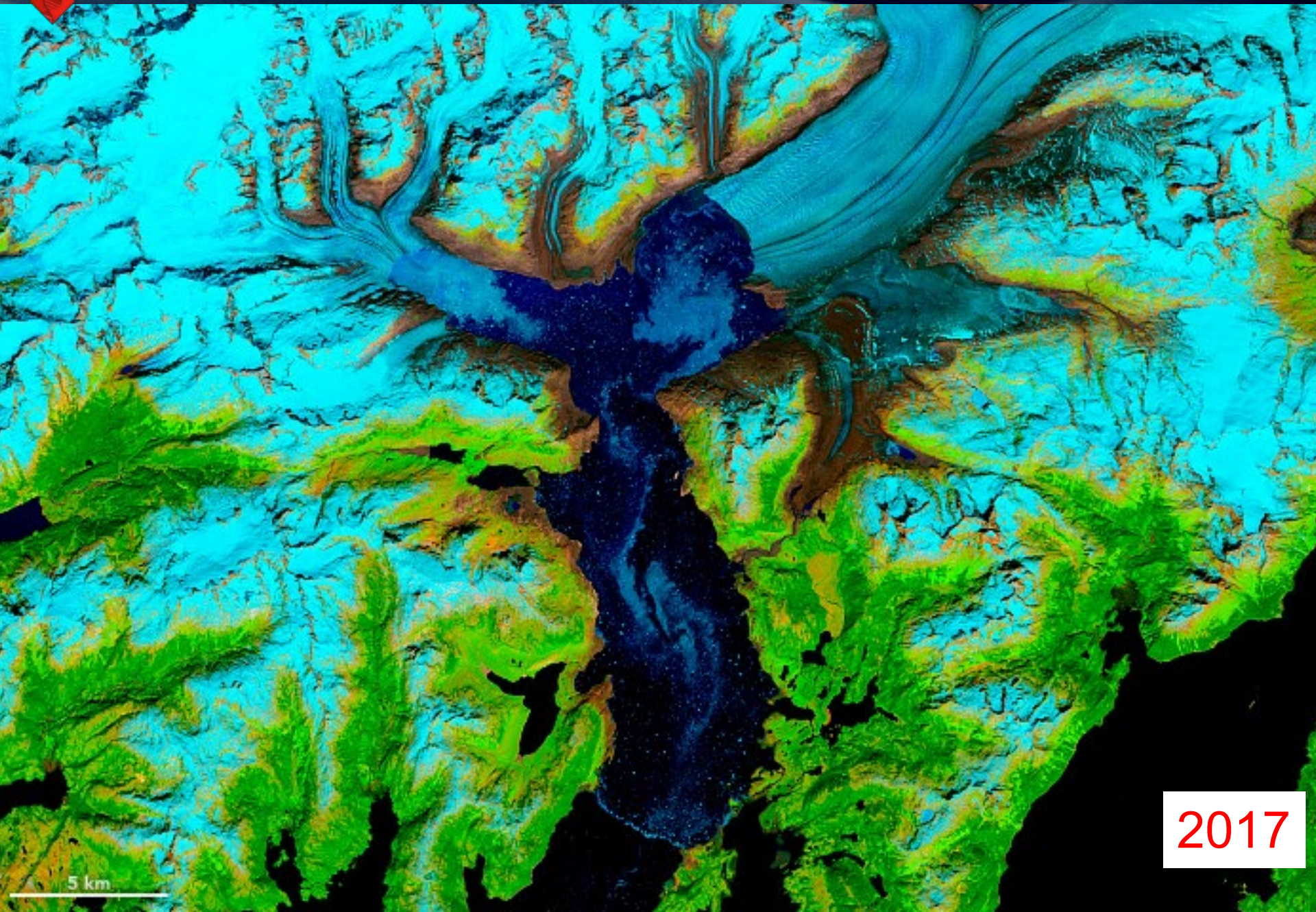


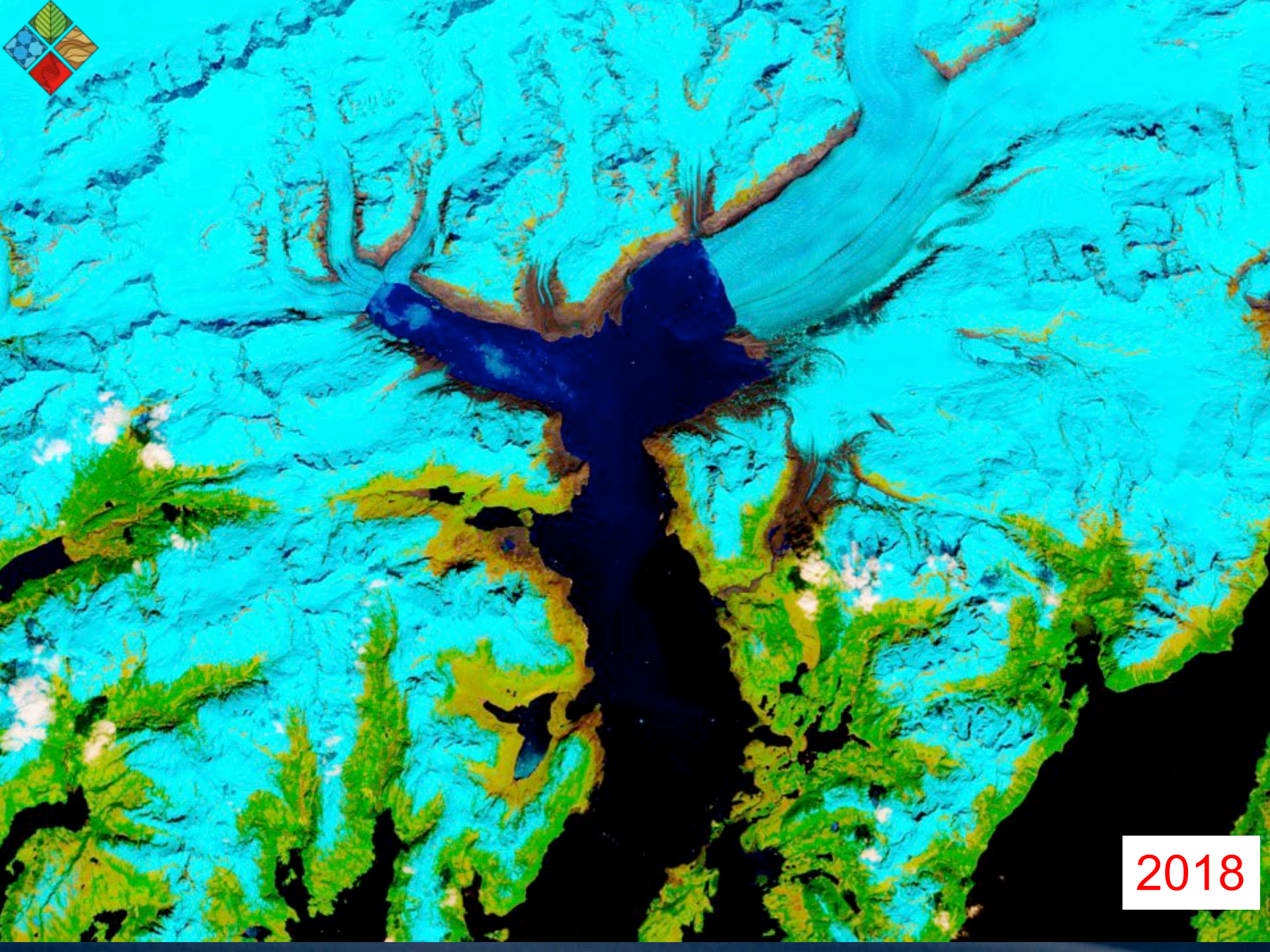
2014



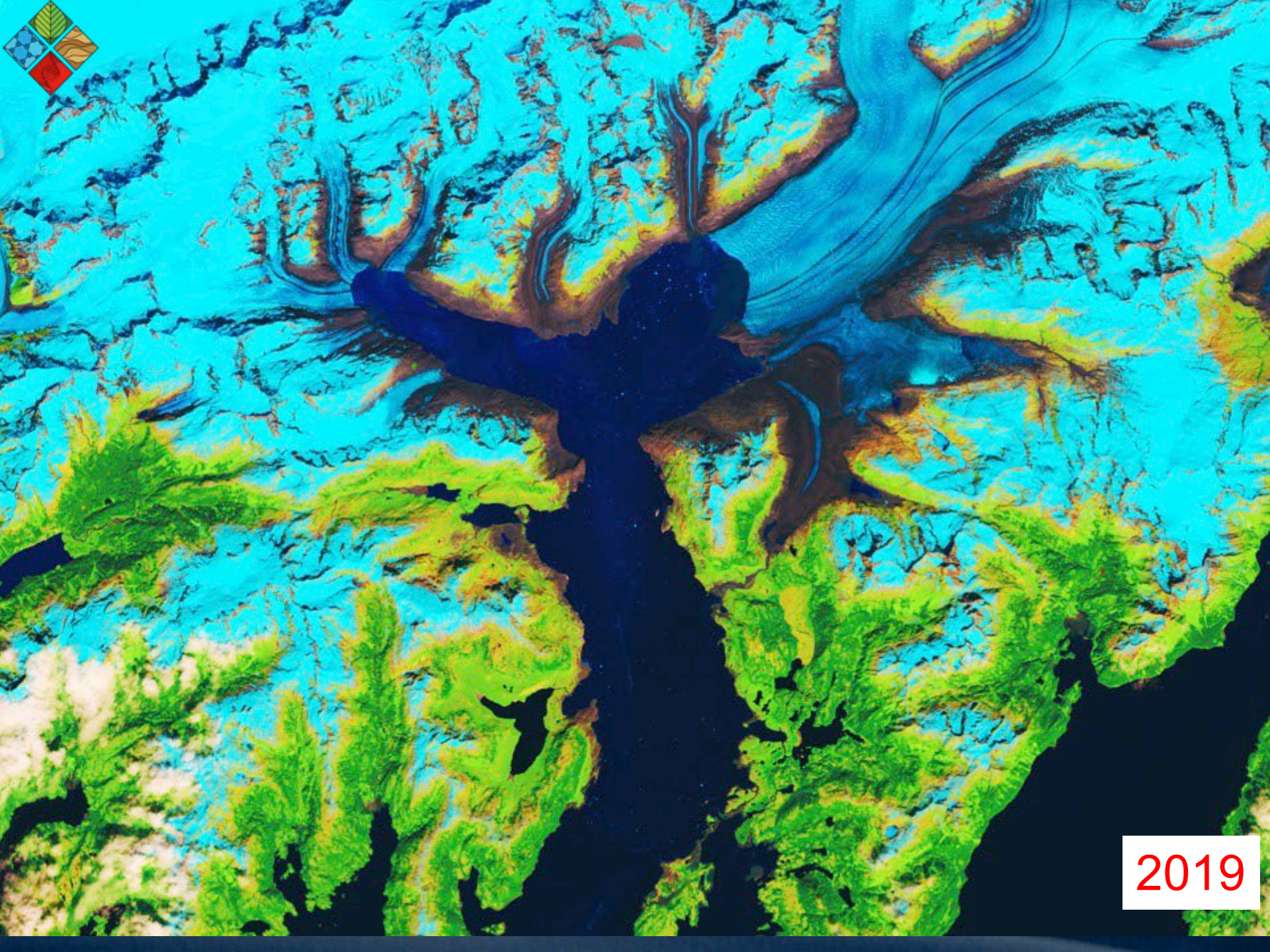


2016

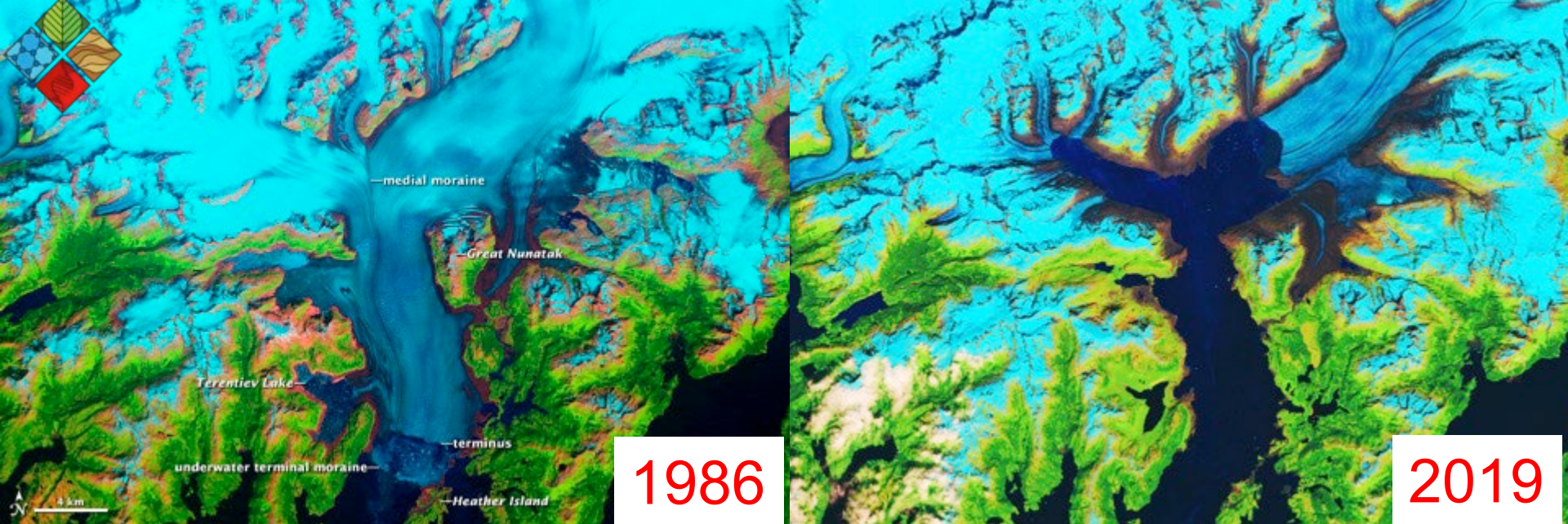




2018



2019



In 33 anni si è ritirato di 15 km

tra il 1962 e il 2006, i ghiacciai dell'Alaska hanno perso 42 km^3 all'anno di acqua e hanno contribuito con $0,12 \text{ mm}$ all'anno all'innalzamento del livello del mare (Berthier et al., 2012)





GRAN SASSO, Ghiacciaio del Calderone



Il Ghiacciaio del Calderone il 4 settembre 1916 (Marinelli e Ricci, 1916)



GRAN SASSO, Ghiacciaio del Calderone



Il Ghiacciaio del Calderone nell'estate 1963 (foto Zanon, archivio CGI)



GRAN SASSO, Ghiacciaio del Calderone



Il Ghiacciaio del Calderone il 5 settembre 2020 (foto Pecci M.)



1897
(f. *Druetti*)



2005
(f. *L. Mercalli*)



2015
(f. *S. Jobard*)

Contrazione plano-altimetrica delle masse glaciali

**Ghiacciaio Pré de Bar (Monte Bianco):
ritiro della fronte di oltre 800 m dal 1897 al 2015**



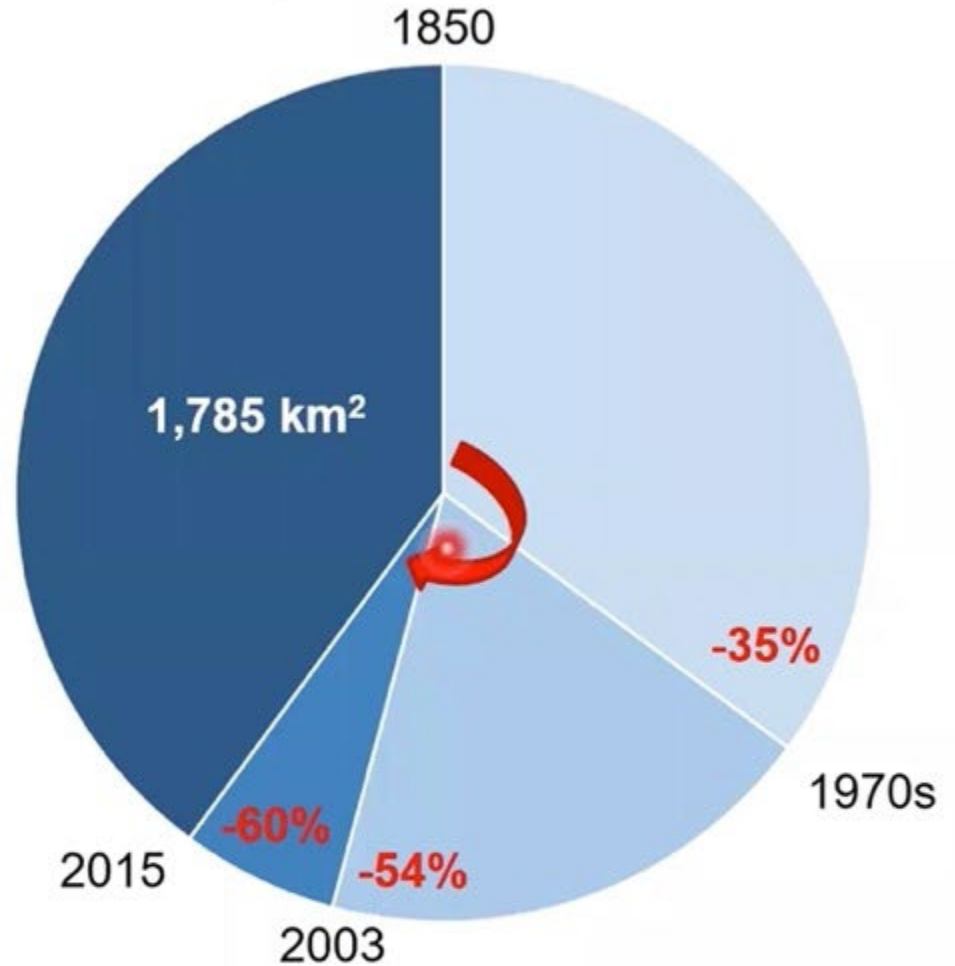
Gurglerferner (Austria, Oetzal)



Similaun Glacier, Mummia Ötzi, età 5350 anni fa



Alpine glacier area changes



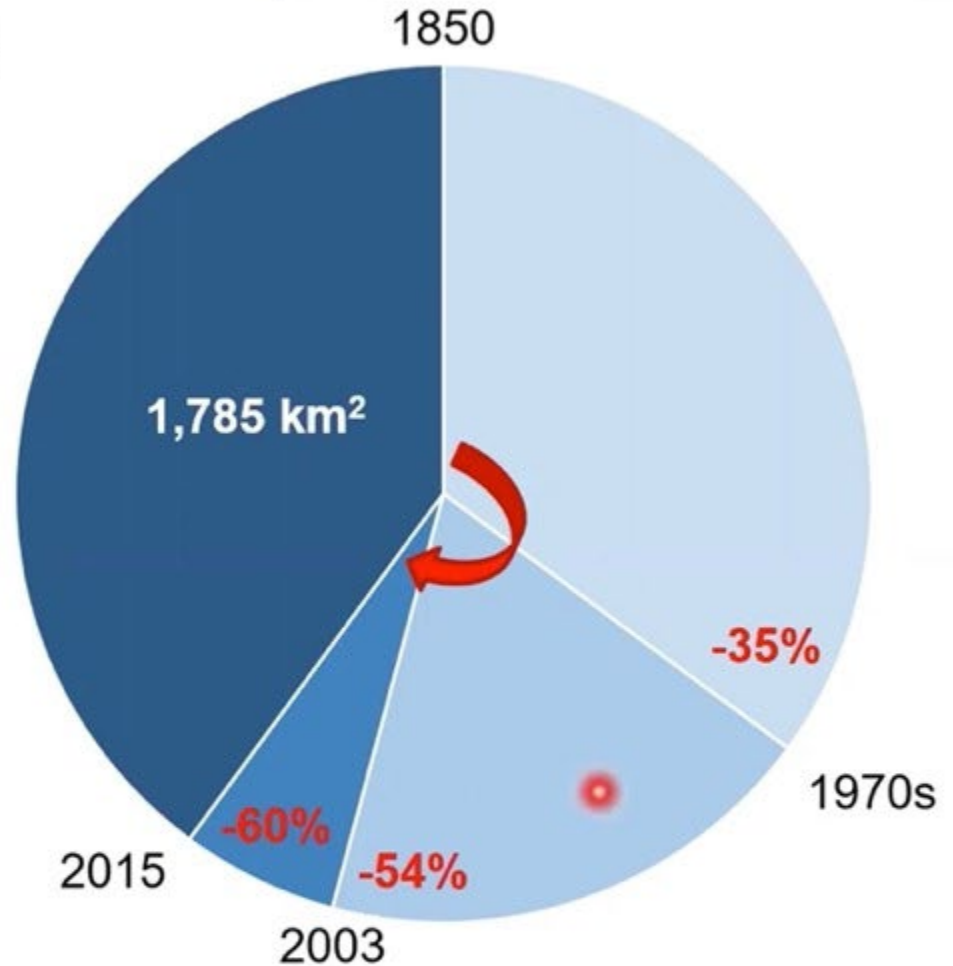
Year	1850	1970s	2003	2015
Area (km ²)	4,474	2,903	2,050	1,785
Source	Zemp et al. (2008)	WGMS(1989)	Paul et al. (2011)	Paul et al. (2018)



Alpine glacier area changes



Source: <https://de.wikipedia.org>

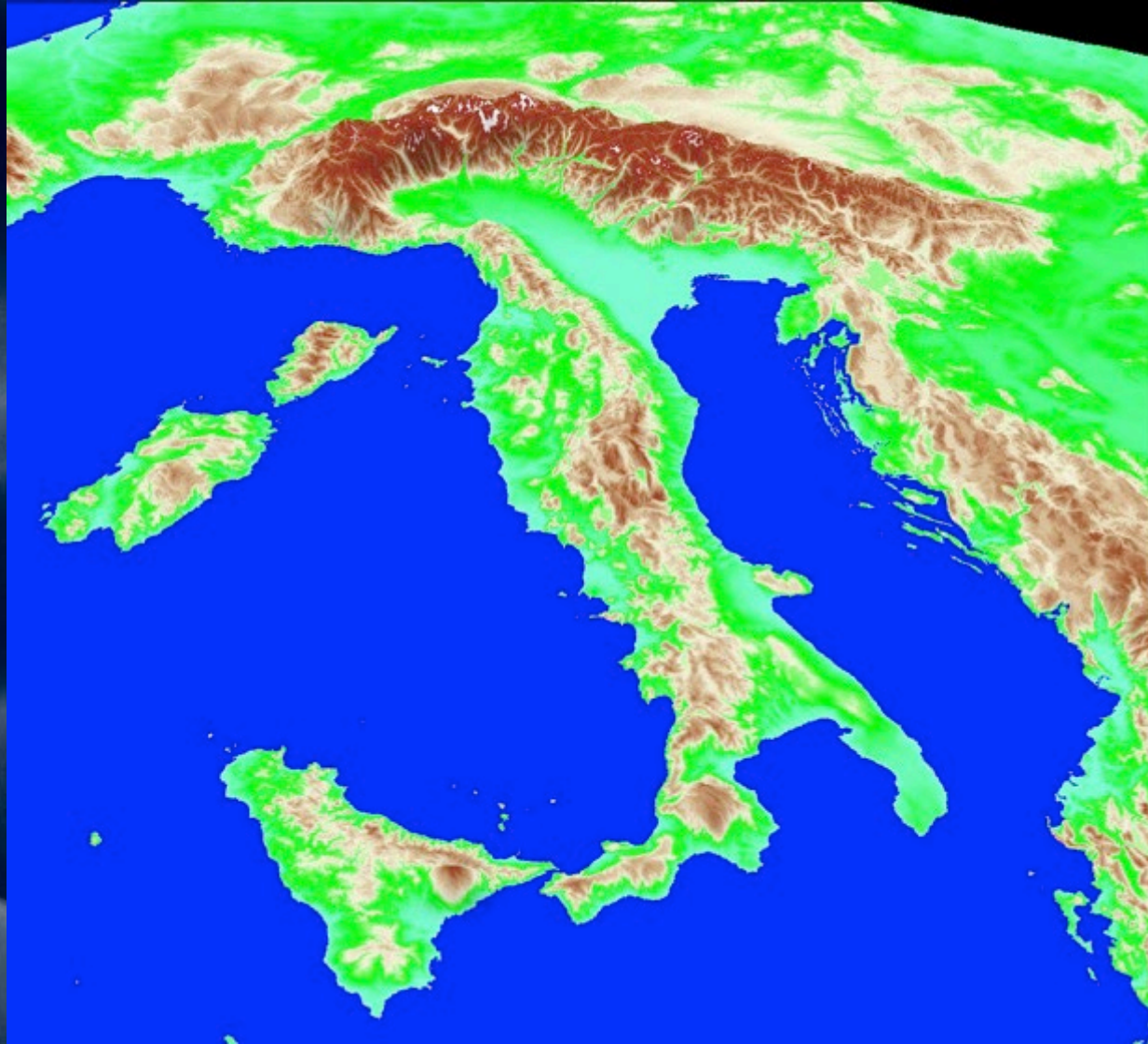


Year	1850	1970s	2003	2015
Area (km ²)	4,474	2,903	2,050	1,785
Source	Zemp et al. (2008)	WGMS(1989)	Paul et al. (2011)	Paul et al. (2018)



Le calotte polari e il livello del mare

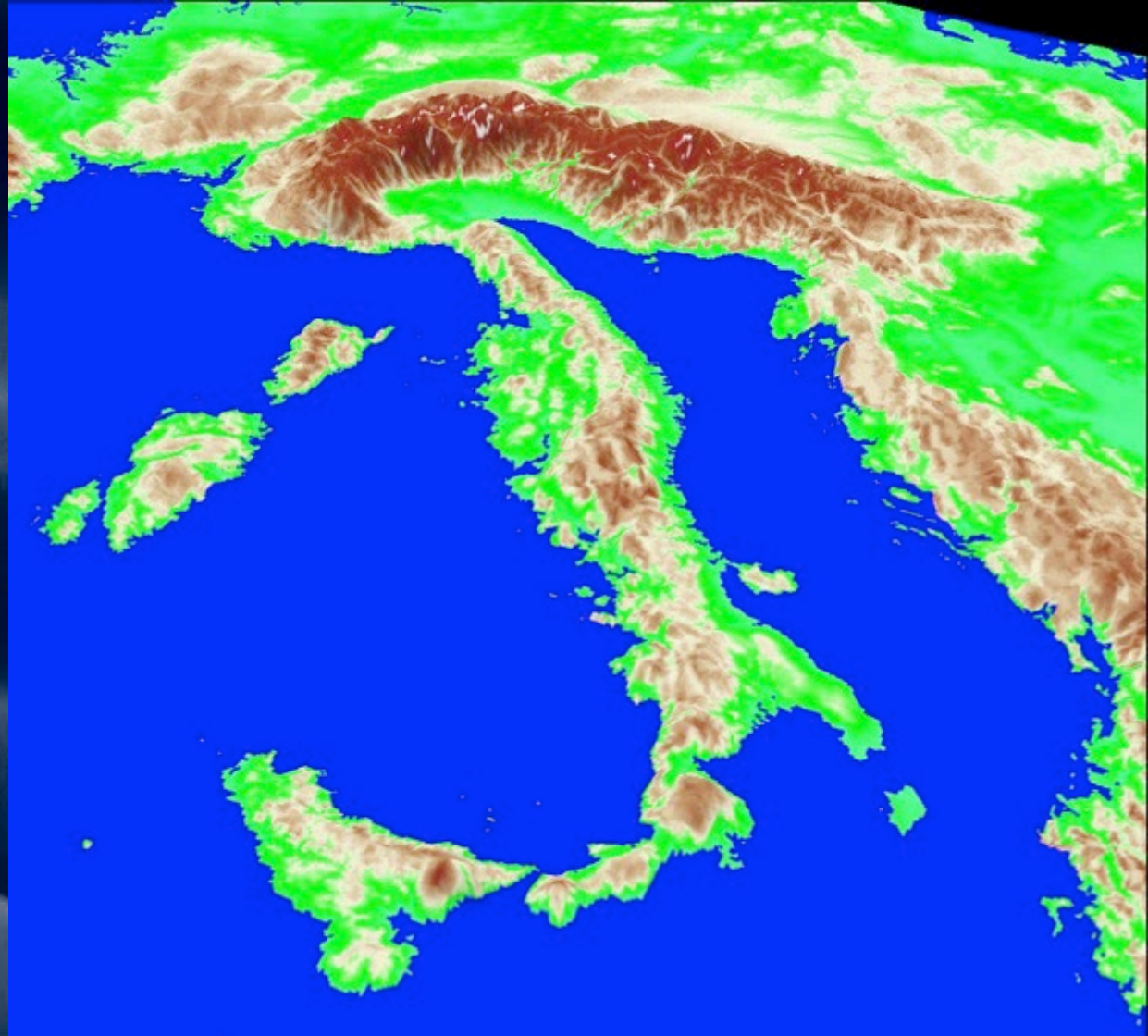
Le calotte polari sono il più grande serbatoio di acqua dolce del globo, 30 milioni di km³ di ghiaccio. Se, per assurdo, la totalità dei ghiacci fondesse, il livello del mare salirebbe di oltre 68 metri (61,1 m Antartide, 7,2 m Groenlandia).





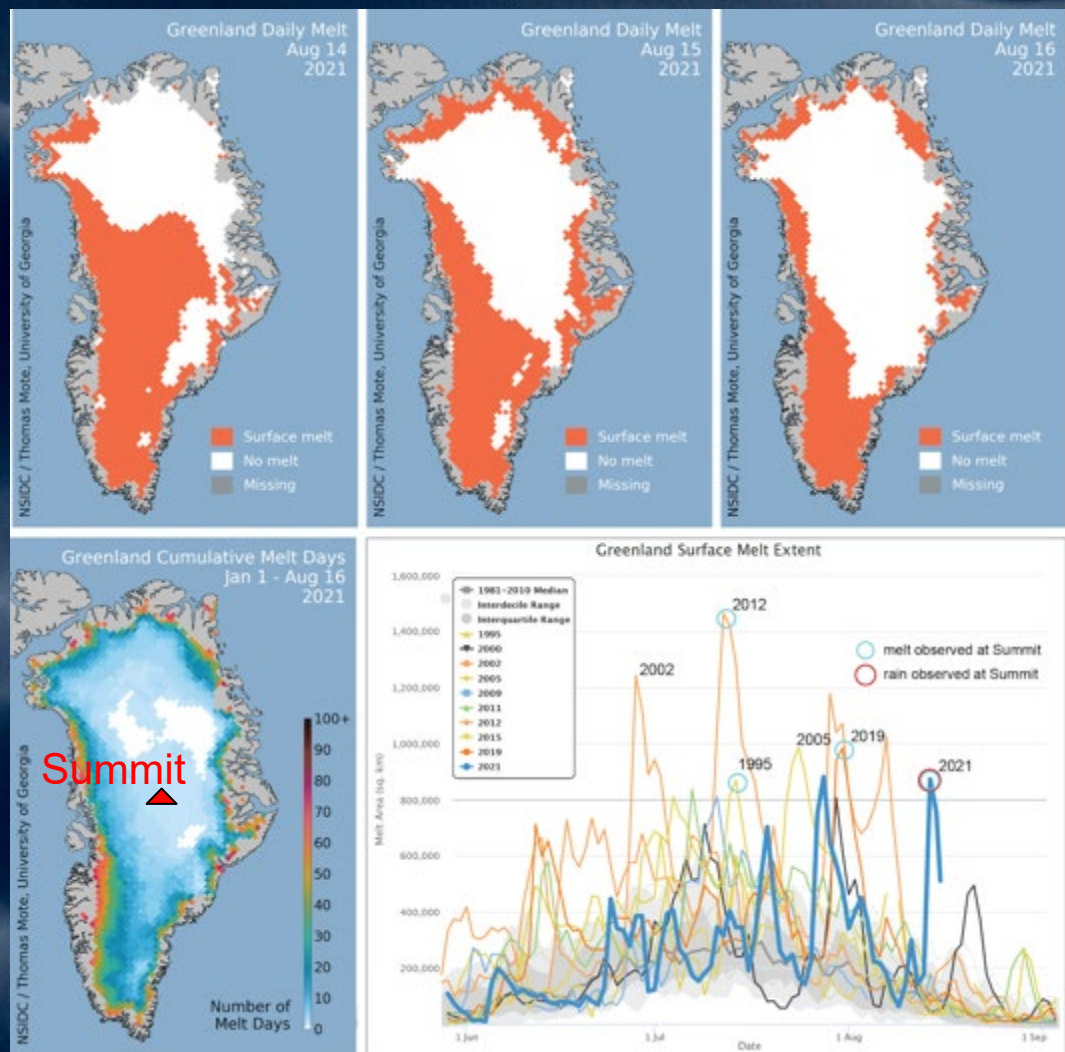
Le calotte polari e il livello del mare

Le calotte polari sono il più grande serbatoio di acqua dolce del globo, 30 milioni di km³ di ghiaccio. Se, per assurdo, la totalità dei ghiacci fondesse, il livello del mare salirebbe di oltre 68 metri (61,1 m Antartide, 7,2 m Groenlandia).





14 AGOSTO 2021, PIOVE IN CIMA ALLA GROENLANDIA



Il 14 agosto 2021, è stata osservata pioggia nel punto più alto della calotta glaciale della Groenlandia (Summit) per diverse ore e la temperatura dell'aria è rimasta sopra lo zero per circa nove ore. Summit 3216 m 73° Lat Nord, quasi 800 km nord circolo polare, +18°C rispetto temp media. Altri fenomeni di fusione erano accaduti nel 1995, 2012 2019, ma mai pioggia, le carote di ghiaccio raccolte a Summit hanno messo in evidenza che questo fenomeno non era mai avvenuto negli ultimi due secoli



Steffen Olsen Danish Meteorological Inst.



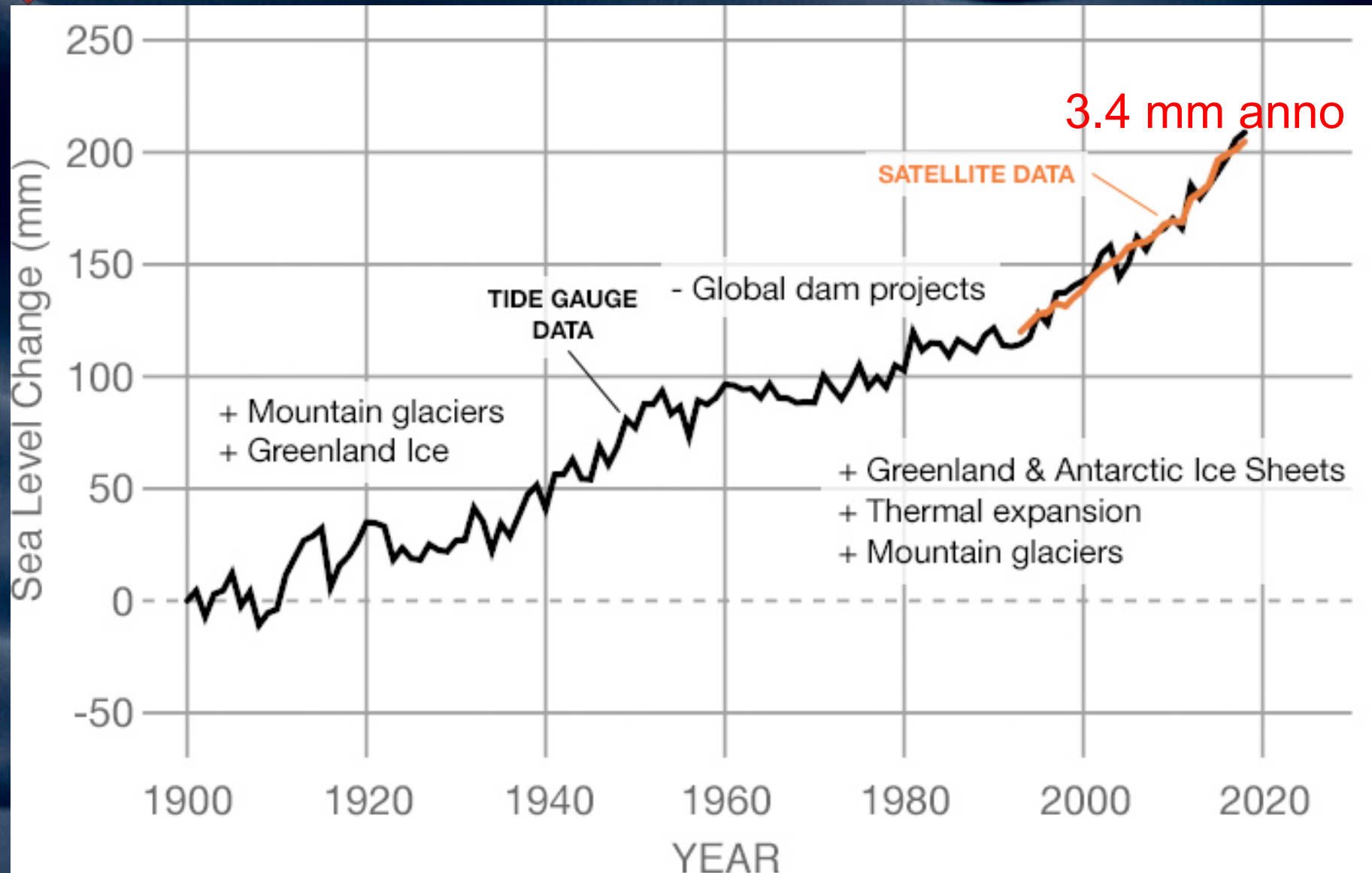
<https://www.youtube.com/watch?v=stm1pBp0rfk>



<https://www.youtube.com/watch?v=zLZ4DohEKmU>



INNALZAMENTO LIVELLO MARE DAL 1900



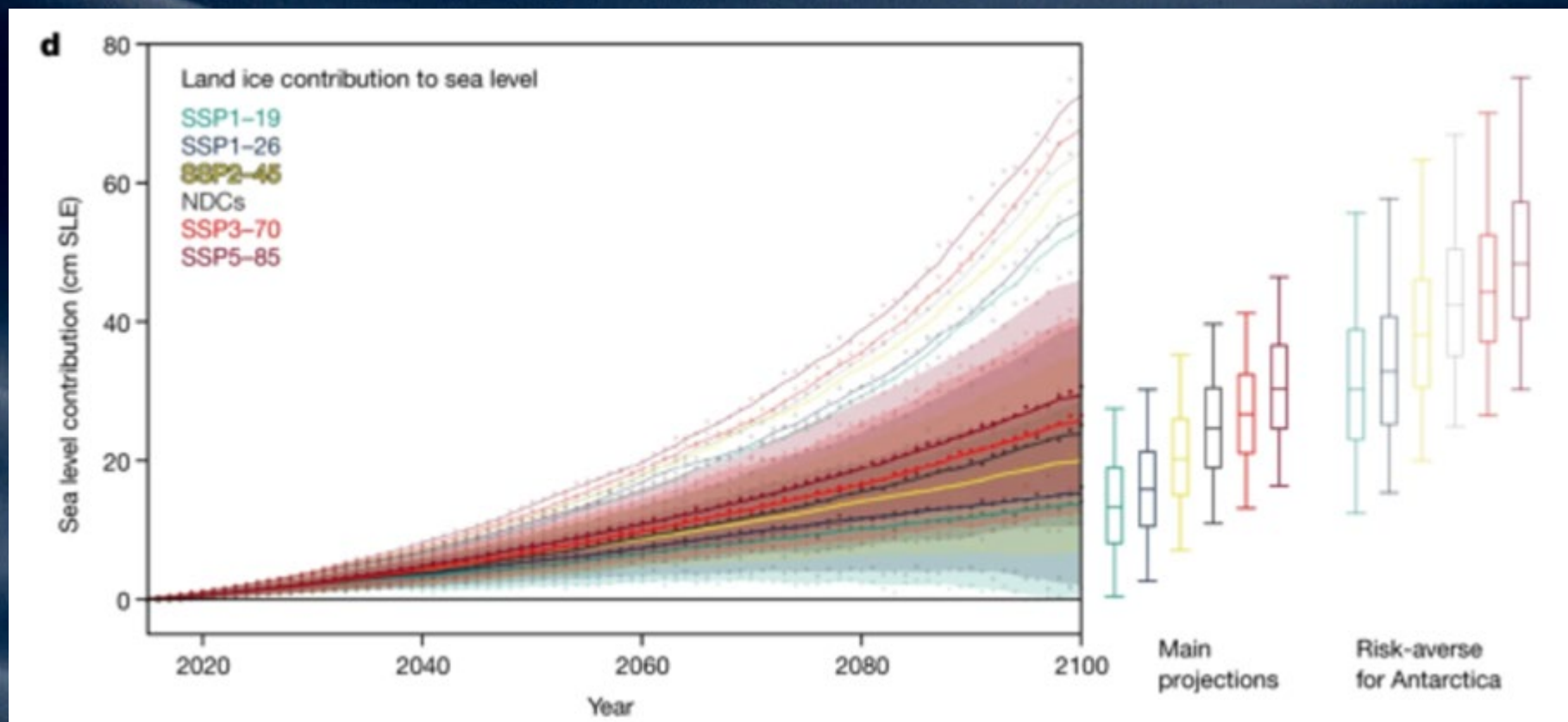
SOURCE DATA: 1900-2018

Data source: Frederikse et al. (2020)

Credit: NASA's Goddard Space Flight Center/PO.DAAC



INNALZAMENTO LIVELLO MARE XXI SECOLO

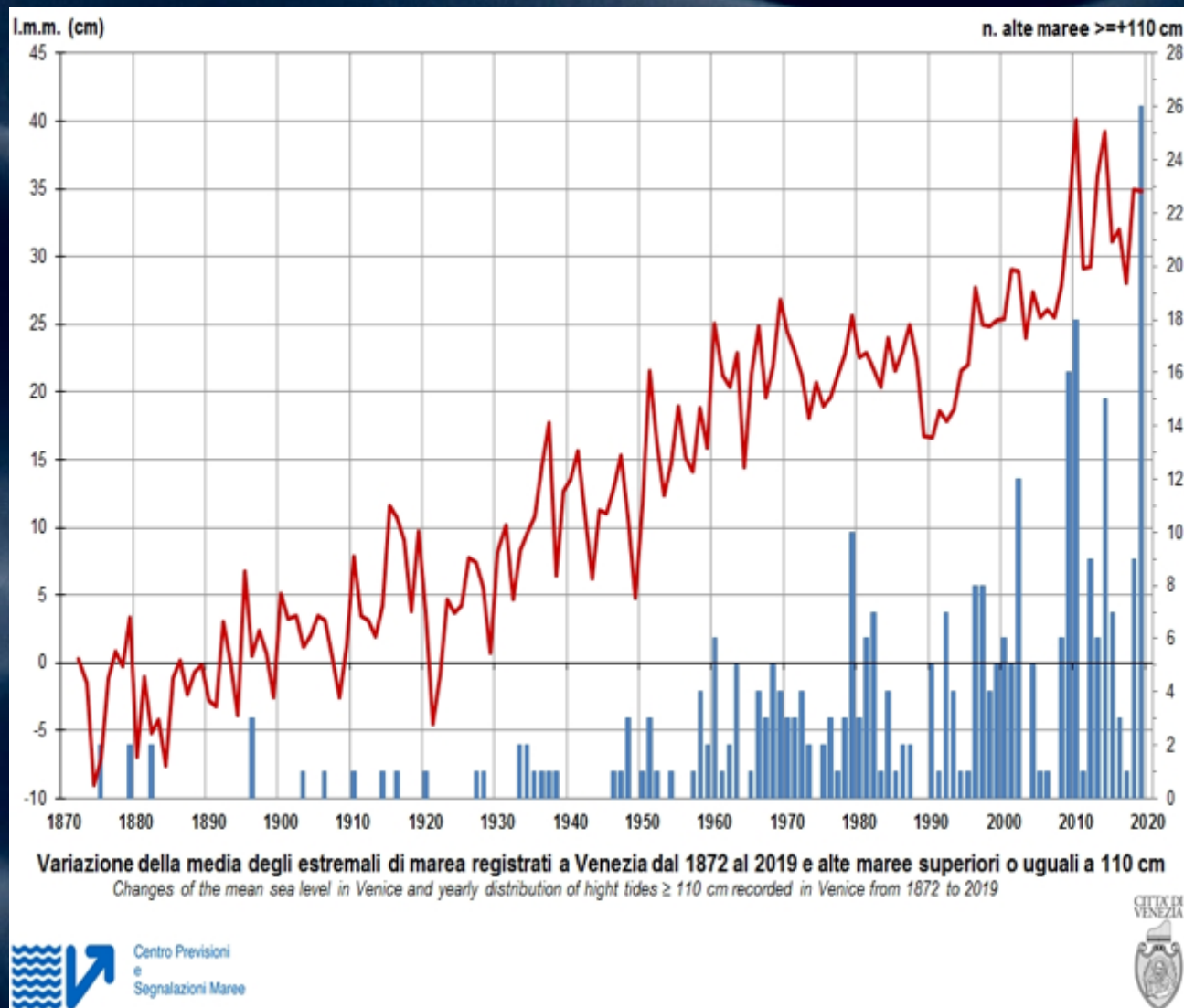


Contributo totale dei ghiacci terrestri (Edwards et al., 2021)

IPCC AR6 (2021), in which GMSL rise of up to 2 meters by 2100 “could not be ruled out”



INNALZAMENTO LIVELLO MARE VENEZIA



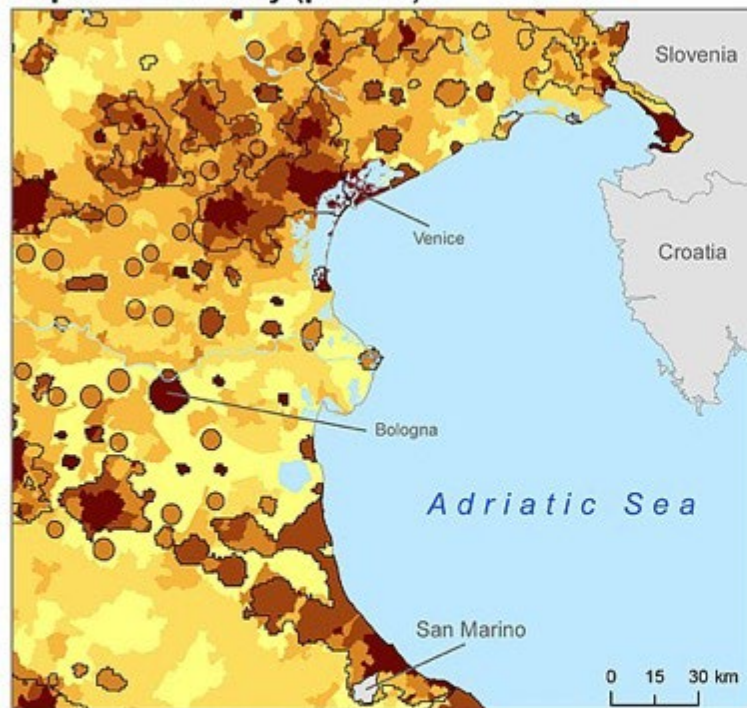
Gli effetti dell'innalzamento del livello del mare si osservano anche negli altri grafici presentati nella pagina. Risulta evidente l'aumento del numero di alte maree $\geq +110$ cm partire dagli anni '60 circa. Si osservera infatti come all'inizio del secolo scorso si verificava mediamente un'alta marea all'anno mentre negli ultimi anni la media si è innalzata a 5-6 alte maree all'anno.

INNALZAMENTO LIVELLO MARE VENEZIA

Urban-Rural Population and Land Area Estimates, Version 2, 2010: Northeast Italy

Low Elevation Coastal Zone

Population Density (per km²)

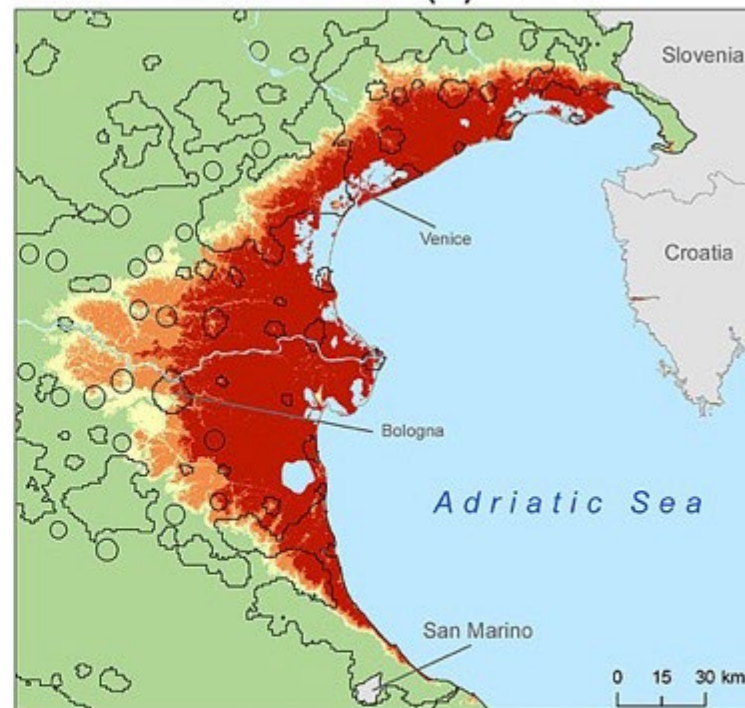


Lambert Azimuthal Equal Area Projection

Population Density (per km²)

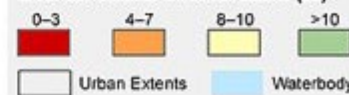


Low Elevation Coastal Zone (m)



Map Credit: CIESIN Columbia University, November 2013

Low Elevation Coastal Zone (m)



Center for International Earth
Science Information Network
EARTH INSTITUTE | COLUMBIA UNIVERSITY

© 2013. The Trustees of Columbia University in the City of New York.
Data Source: Center for International Earth Science Information Network (CIESIN)
/Columbia University. 2013. Low Elevation Coastal Zone (LECZ) Urban-
Rural Population and Land Area Estimates, Version 2. Palisades, NY: NASA
Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/lec2-urban-rural-population-land-area-estimates-v2>.

The Low Elevation Coastal Zone (LECZ) Urban-Rural Population and Land Area Estimates Version 2 data set provides continent-level and country-level estimates of land area and urban, rural, and total population for 202 statistical areas (countries and other UN recognized territories). Population inputs were derived from Gridded Rural-Urban Mapping Project, version 1 (GRUMPv1). Elevation data were derived from the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) 90 meter data set.



This document is licensed under a
Creative Commons 3.0 Attribution License
<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>



VARIAZIONE DEL LIVELLO DEL MARE BANGLADESH



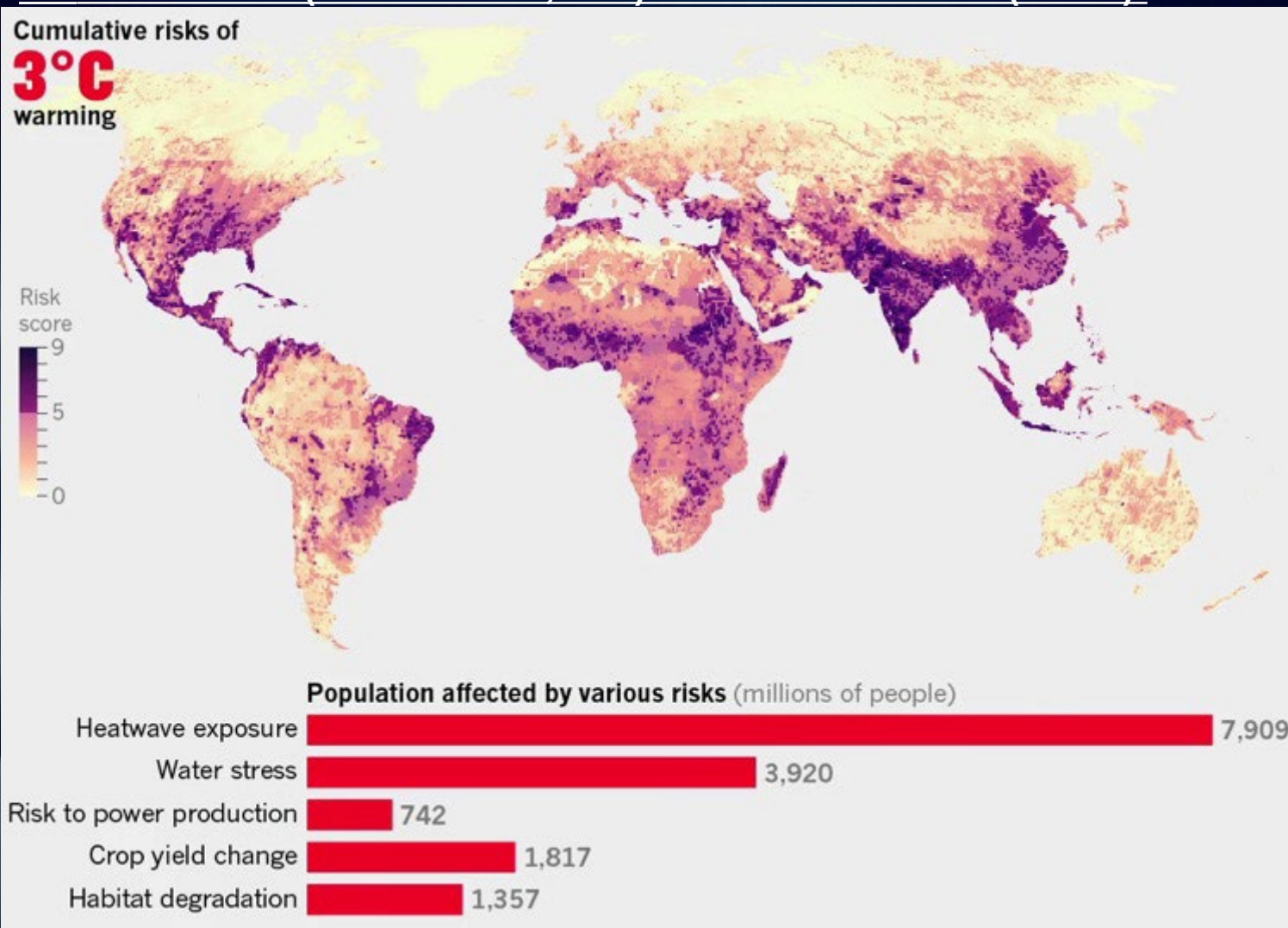
Sources: Dacca University; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Gran parte del Bangladesh costiero è ad una quota molto vicina al livello del mare. Pertanto, l'innalzamento del livello del mare causerà inondazioni diffuse con l'inondazione del 15% (22.000 km²) delle terre emerse man mano che il clima continua a cambiare. Questa zona pianeggiante, vulnerabile alle inondazioni, ospita 18 milioni di persone (11% residenti).



IPCC 2019: IL CAMBIAMENTO DEL CLIMA AUMENTERÀ FAME E MIGRAZIONI

La popolazione soggetta a migrazione climatica crescerà all'innalzarsi della temperatura passando da **178 milioni (scenario +1,5 °C)** fino a **277 milioni (+3 °C)**.





IL "GLOBAL WARMING" AUMENTA FREQUENZA E INTENSA' DI EVENTI CLIMATICI ESTREMI





IL “GLOBAL WARMING” AUMENTA FREQUENZA E INTENSA’ DI EVENTI CLIMATICI ESTREMI



<https://www.youtube.com/watch?v=dBapxEAzono&t=7s>

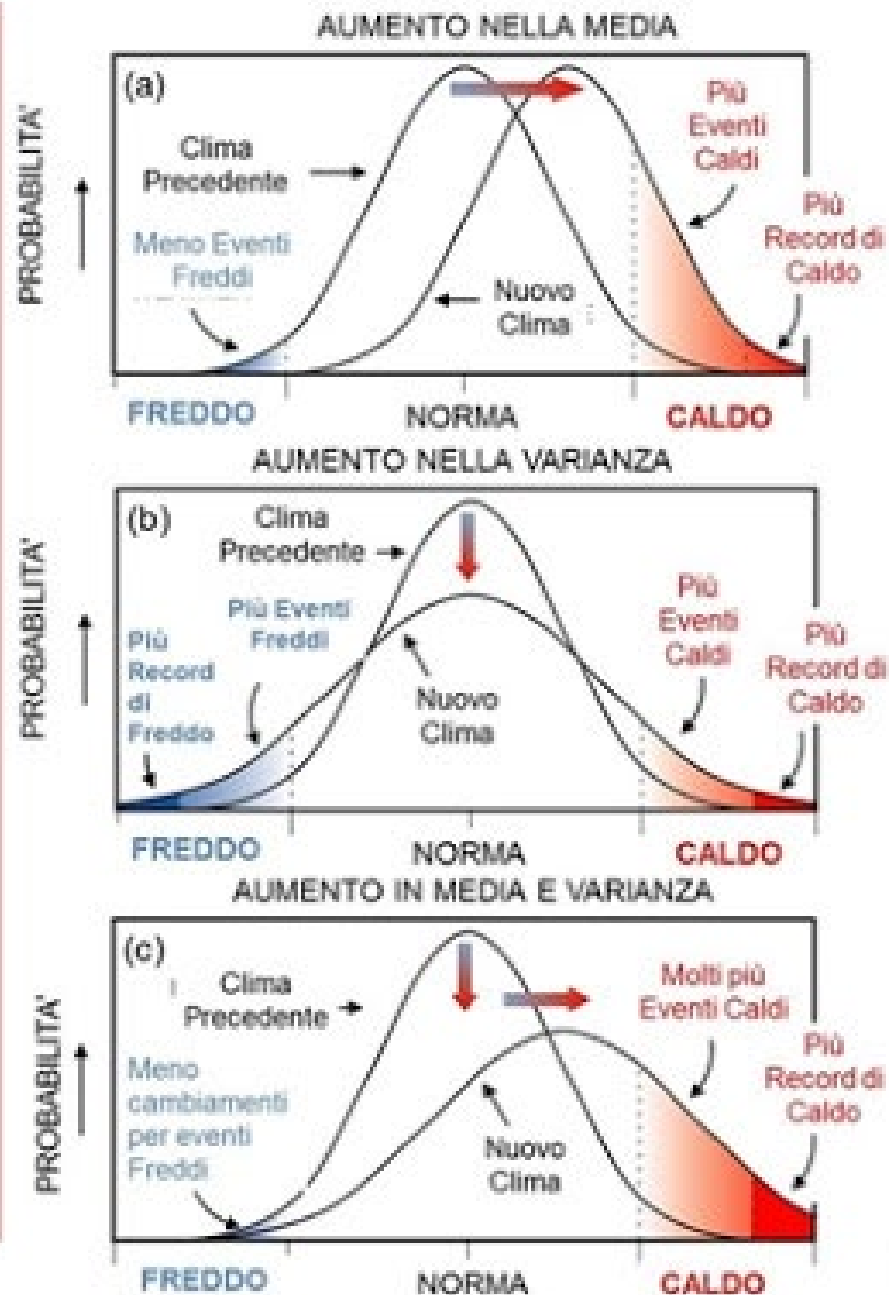


Cambiamento Climatico e sua manifestazione in termini di evento meteorologico

(eventi estremi)

**Il «Global Warming»
aumenta
frequenza e intensità
di eventi climatici
estremi**

Cos'è il Cambiamento Climatico





The international journal of science | 24 September 2020



nature



POINT OF NO RETURN

Global warming pushes Antarctica towards irreversible ice loss

Coronavirus
Can rapid lockdowns
limit the risk against
COVID-19?

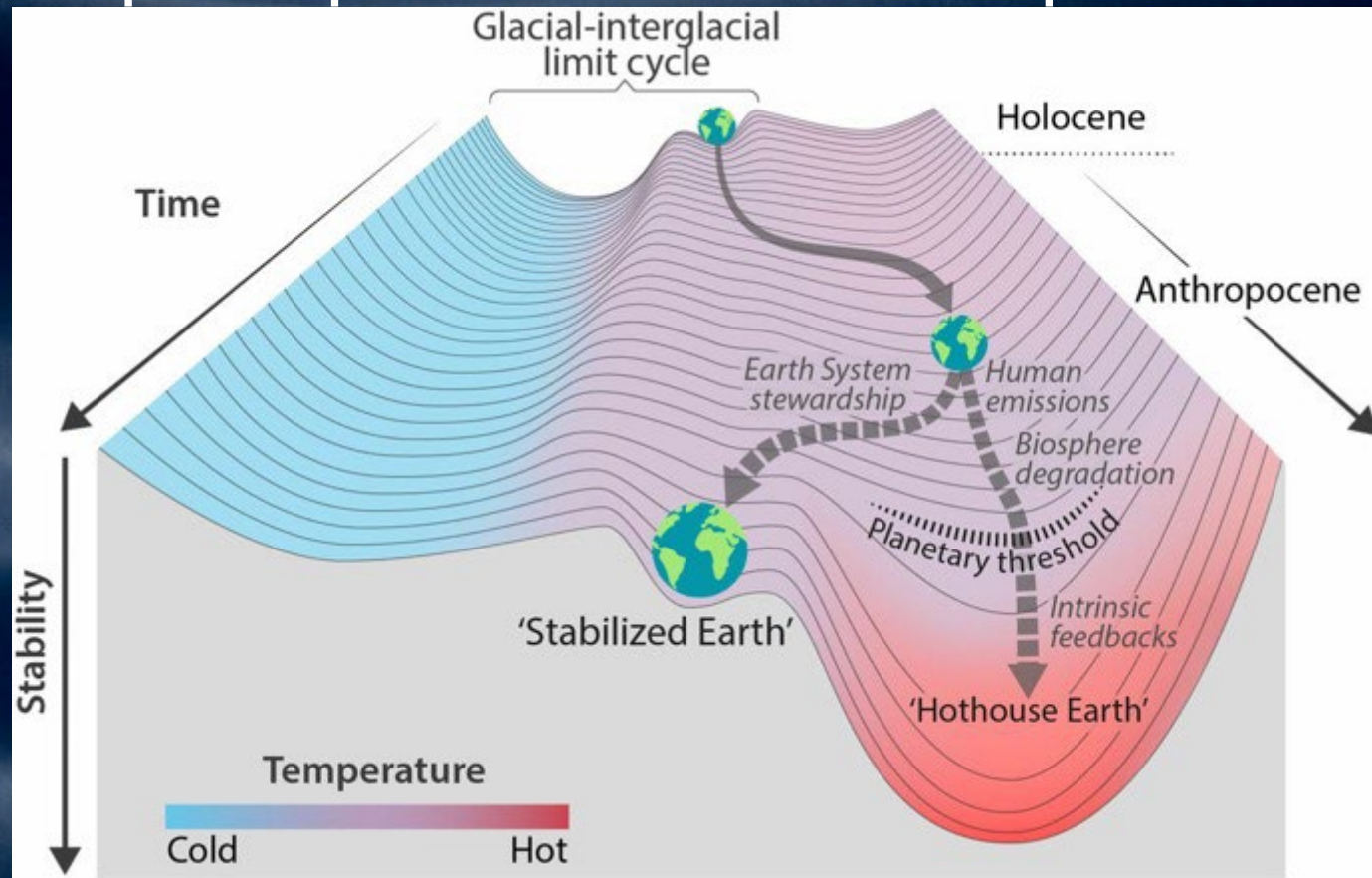
Sustainability
A strategic solution
for diversity and meet
the demand for food

Firework's boom
Mediterranean plant
production from
modified yeast

1
2
3



Stability landscape showing the pathway of the Earth System out of the Holocene and thus, out of the glacial–interglacial limit cycle to its present position in the hotter Anthropocene.

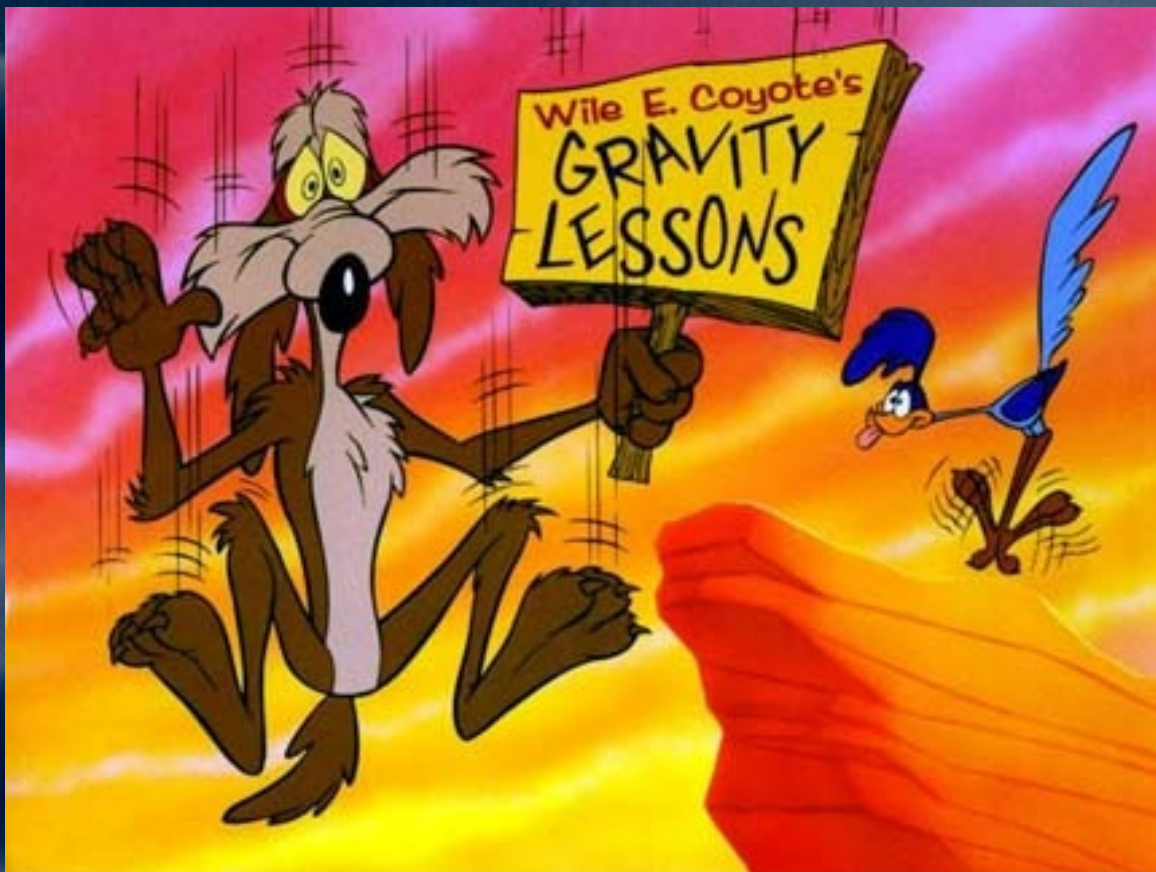


Will Steffen et al. PNAS 2018;115:33:8252-8259



CLIMATE TIPPING POINTS — TOO RISKY TO BET AGAINST

Nature 27 November 2019

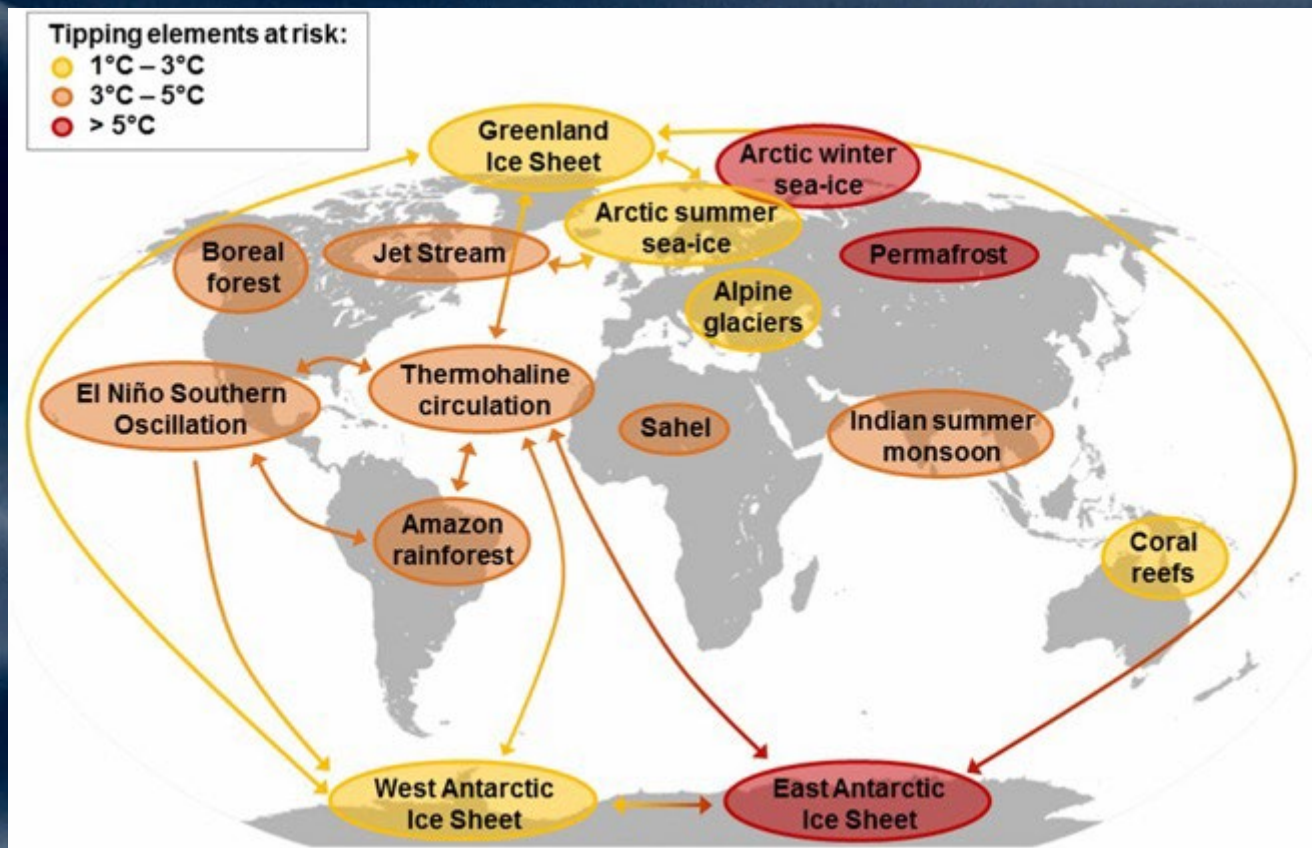


Nei cartoni animati, il Wile Coyote passa spesso un “punto di non ritorno”, ovvero si trova a oltrepassare l’orlo di un precipizio. Poi, continua a camminare per un po’ sul nulla finché non se ne accorge e solo allora precipita nel vuoto. Potrebbe darsi che qualcosa di simile stia capitando anche a noi con il clima. Ovvero potremmo essere vicini – o addirittura aver passato senza accorgercene– una soglia climatica che ci potrebbe portare a un rapido e incontrollabile riscaldamento globale.



CLIMATE TIPPING POINTS — TOO RISKY TO BET AGAINST

Nature 27 November 2019

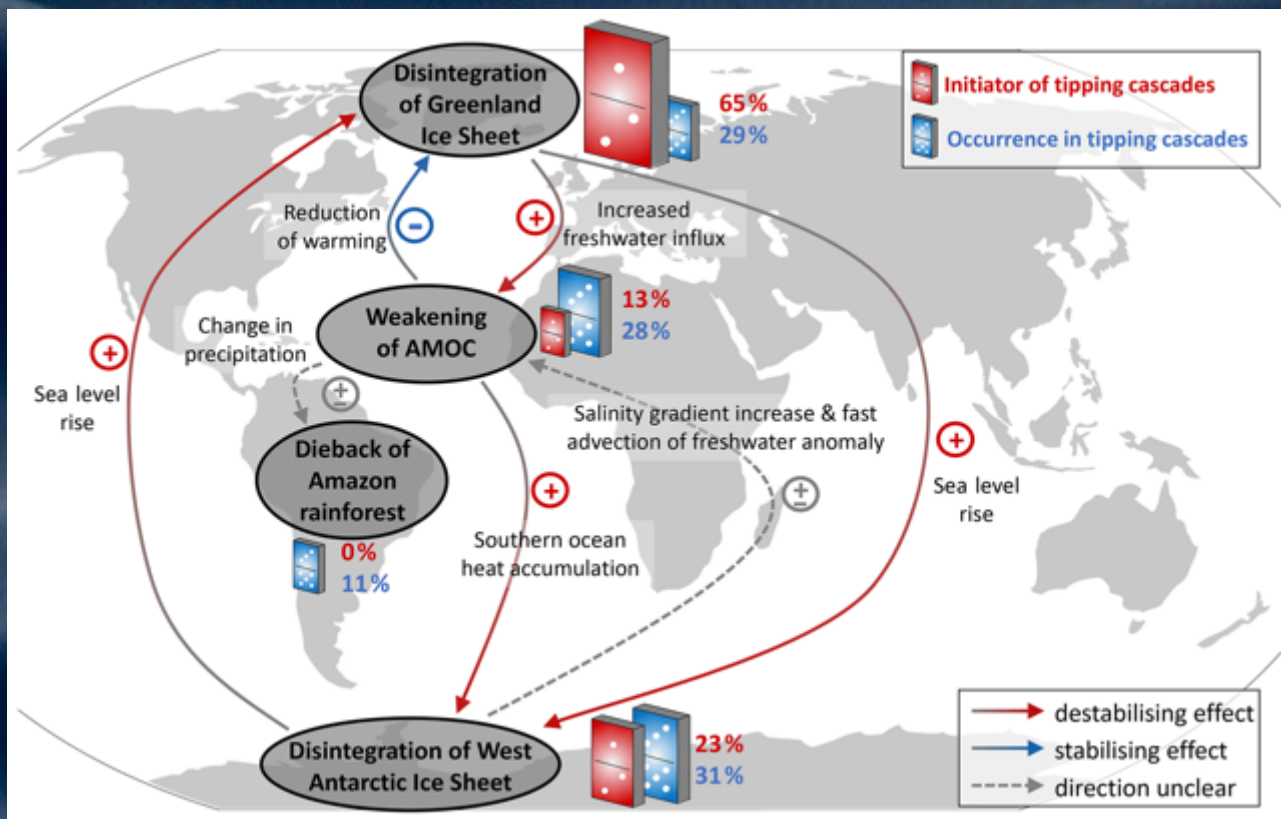


Nei cartoni animati, il Wile Coyote passa spesso un “punto di non ritorno”, ovvero si trova a oltrepassare l’orlo di un precipizio. Poi, continua a camminare per un po’ sul nulla finché non se ne accorge e solo allora precipita nel vuoto. Potrebbe darsi che qualcosa di simile stia capitando anche a noi con il clima. Ovvero potremmo essere vicini – o addirittura aver passato senza accorgercene– una soglia climatica che ci potrebbe portare a un rapido e incontrollabile riscaldamento globale.



CLIMATE TIPPING POINTS — TOO RISKY TO BET AGAINST

Nature 27 November 2019



Nei cartoni animati, il Wile Coyote passa spesso un “punto di non ritorno”, ovvero si trova a oltrepassare l’orlo di un precipizio. Poi, continua a camminare per un po’ sul nulla finché non se ne accorge e solo allora precipita nel vuoto. Potrebbe darsi che qualcosa di simile stia capitando anche a noi con il clima. Ovvero potremmo essere vicini – o addirittura aver passato senza accorgercene– una soglia climatica che ci potrebbe portare a un rapido e incontrollabile riscaldamento globale.



Figure 1 consists of four heatmaps arranged in a 2x2 grid, each showing the exposure multiplication factor for a specific climate event. The x-axis for all plots is 'Birth cohort' (1960 to 2020), and the y-axis is 'GMT change relative to PI (°C)' (1 to 3.5). A color scale on the right of each plot indicates the exposure multiplication factor, with values ranging from ≤ 1 (yellow) to ≥ 30 (dark purple).

- Heat waves:** The exposure multiplication factor increases significantly as the GMT change relative to PI increases, reaching values ≥ 30 for cohorts born after 1980 and at higher GMT changes.
- Crop failures:** The exposure multiplication factor increases with both birth cohort and GMT change, reaching values ≥ 30 for cohorts born after 1980 and at higher GMT changes.
- River floods:** The exposure multiplication factor increases with both birth cohort and GMT change, reaching values ≥ 4 for cohorts born after 1980 and at higher GMT changes.
- Droughts:** The exposure multiplication factor increases with both birth cohort and GMT change, reaching values ≥ 4 for cohorts born after 1980 and at higher GMT changes.

Siccità

Alluvioni

GRAZIE PER LA VOSTRA ATTENZIONE

I DON'T BELIEVE IN
GLOBAL WARMING