Università degli Studi di Padova

ICEA

GIScience

Climate Justice
Centre of Excellence

Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

CAMBIAMENTI CLIMATICI E ADATTAMENTI NEGLI ECOSISTEMI E NELLE SOCIETÀ

Docenti
Salvatore Pappalardo
Daniele Codato
Alessandro Ceppi (Politecnico di Milano)

Supporto didattico
Edoardo Crescini

- 6 CFU
- 48 ore
- 102 ore di studio individuale

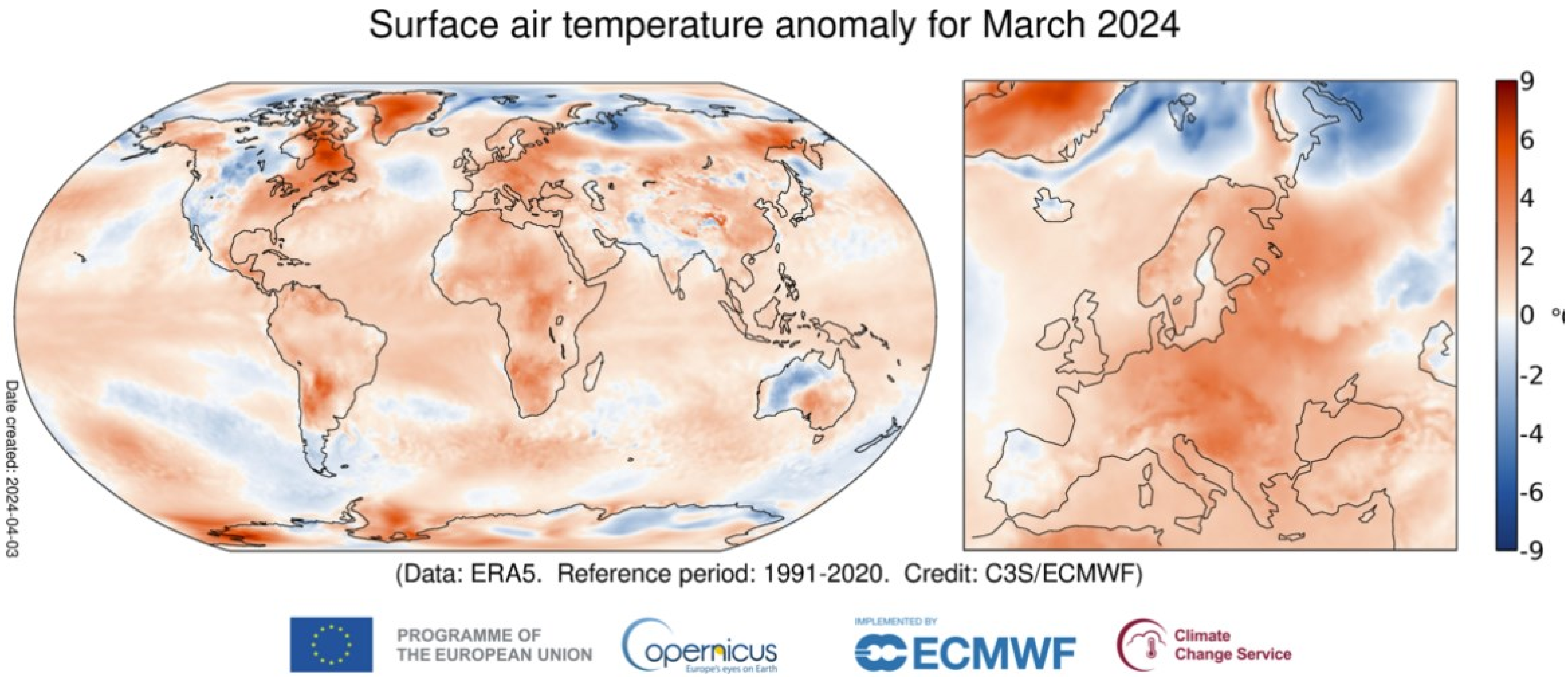
Practical Meteorology

An Algebra-based Survey of Atmospheric Science

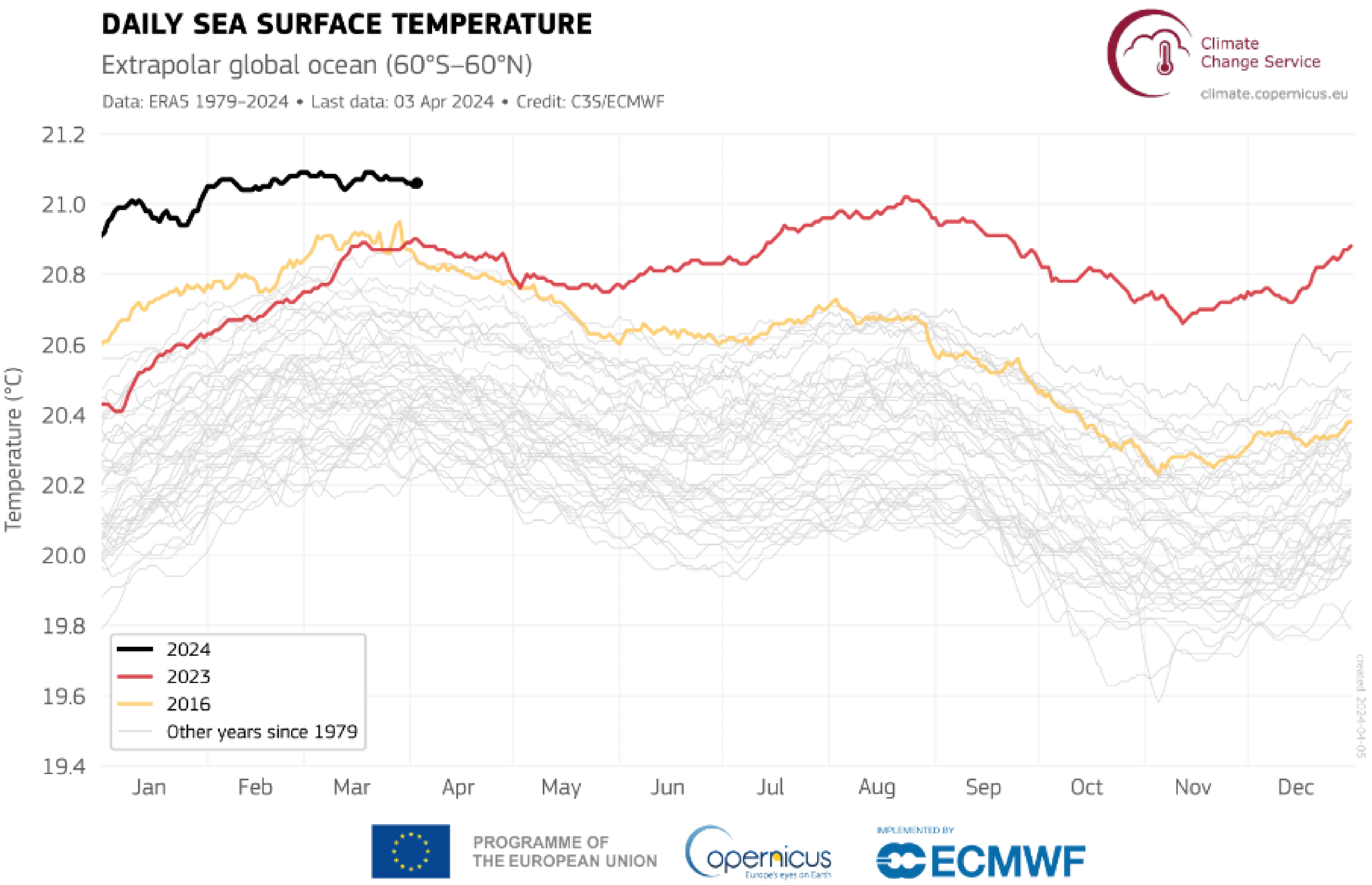
Roland Stull

https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology/prmet/PracticalMet_WholeBook-v1_00b.pdf

Contents Summary



https://climate.copernicus.eu/copernicus-march-2024-tenth-month-row-be-hottest-record

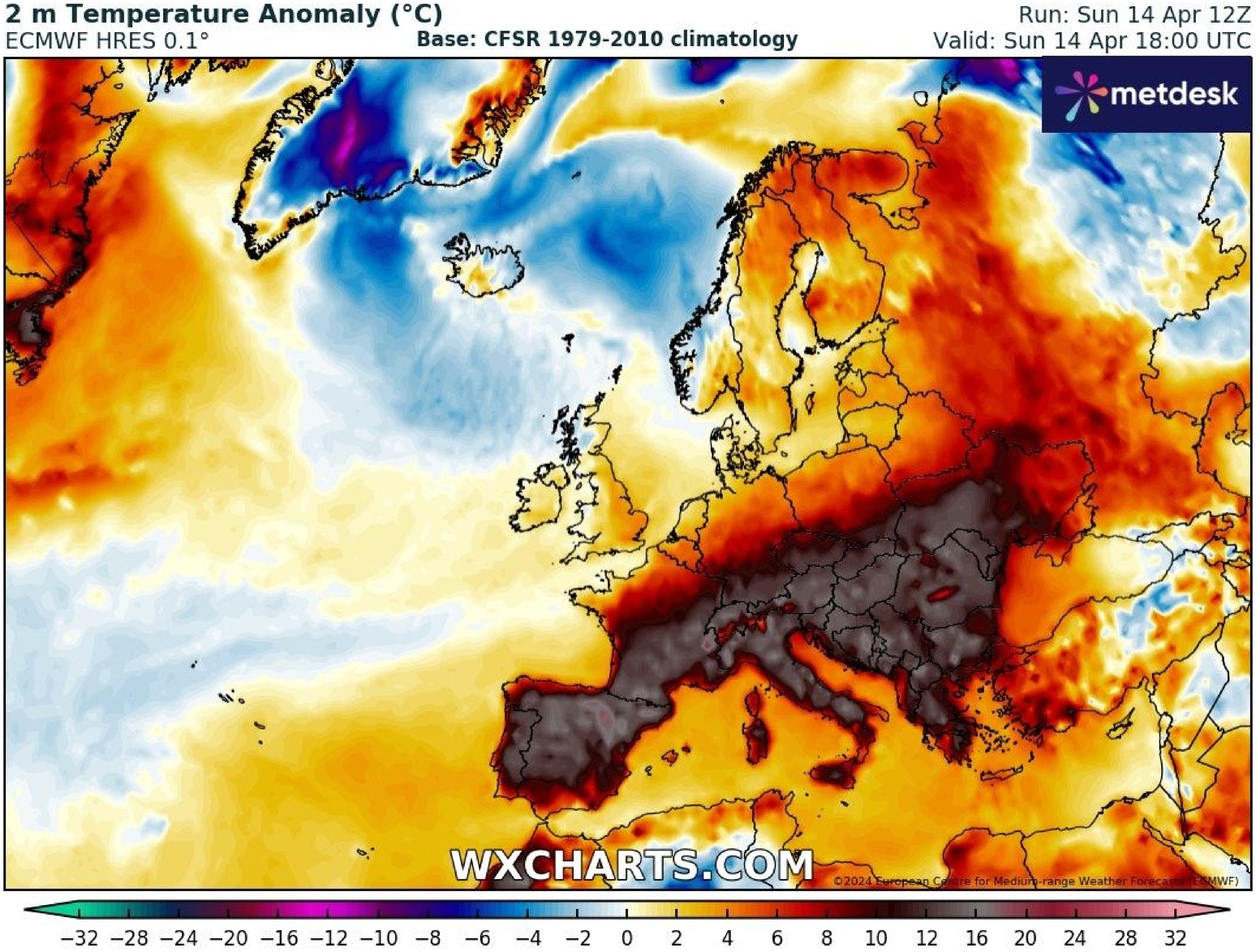

DAILY SEA SURFACE TEMPERATURE
Extrapolar global ocean (60°S–60°N)
Data: ERA5 1979–2024 • Last data: 03 Apr 2024 • Credit: C3S/ECMWF
Climate Change Service
climate.copernicus.eu
Temperature (°C)
21.2
21.0
20.8
20.6
20.4
20.2
20.0
19.8
19.6
19.4
Jan
Feb
Mar
Apr
May
Jun
Jul
Aug
Sep
Oct
Nov
Dec
2024
2023
2016
Other years since 1979
PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION
opernicus
ECMWF

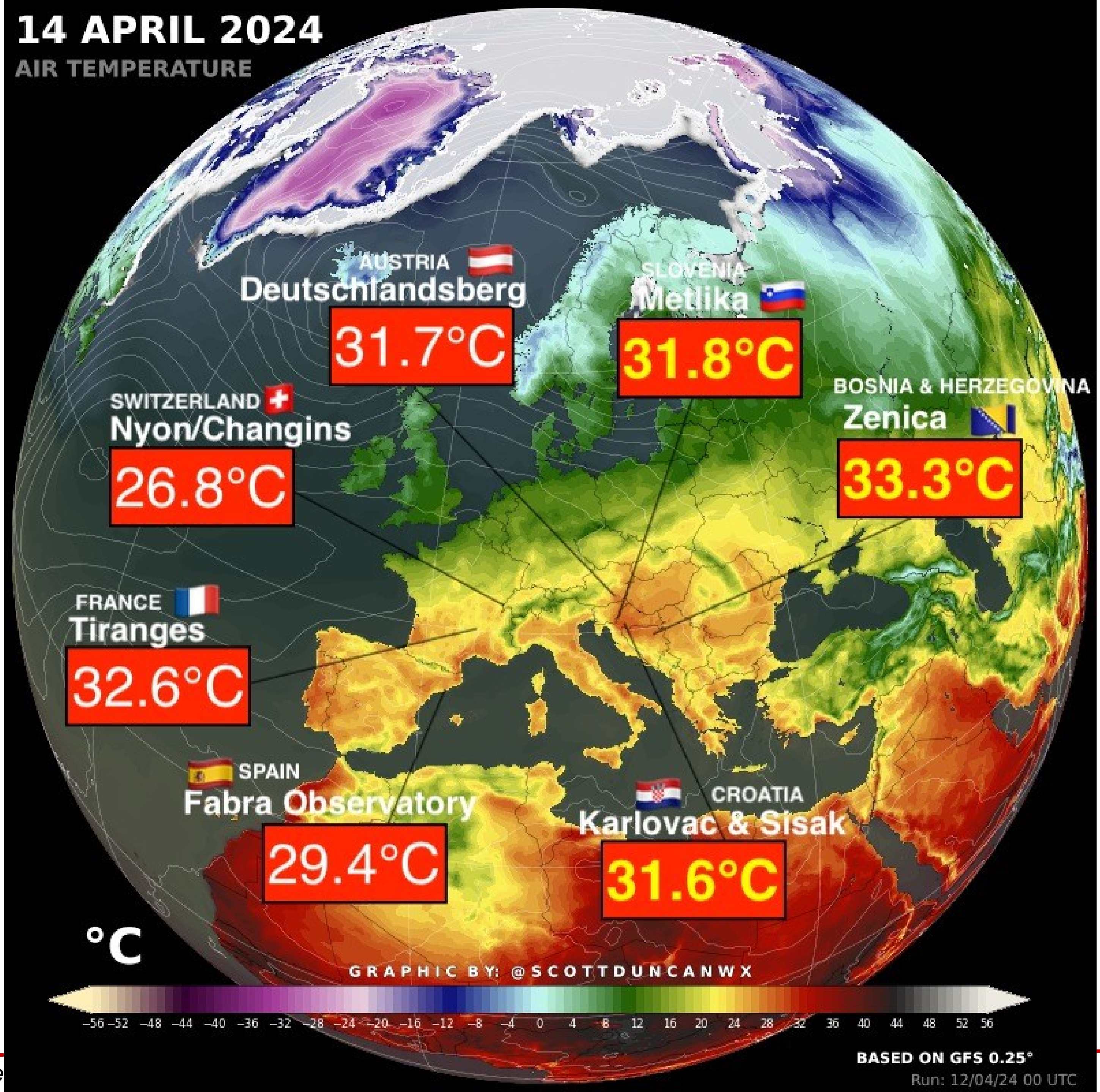
CLASSIFICA DEI MESI PIU' CALDI

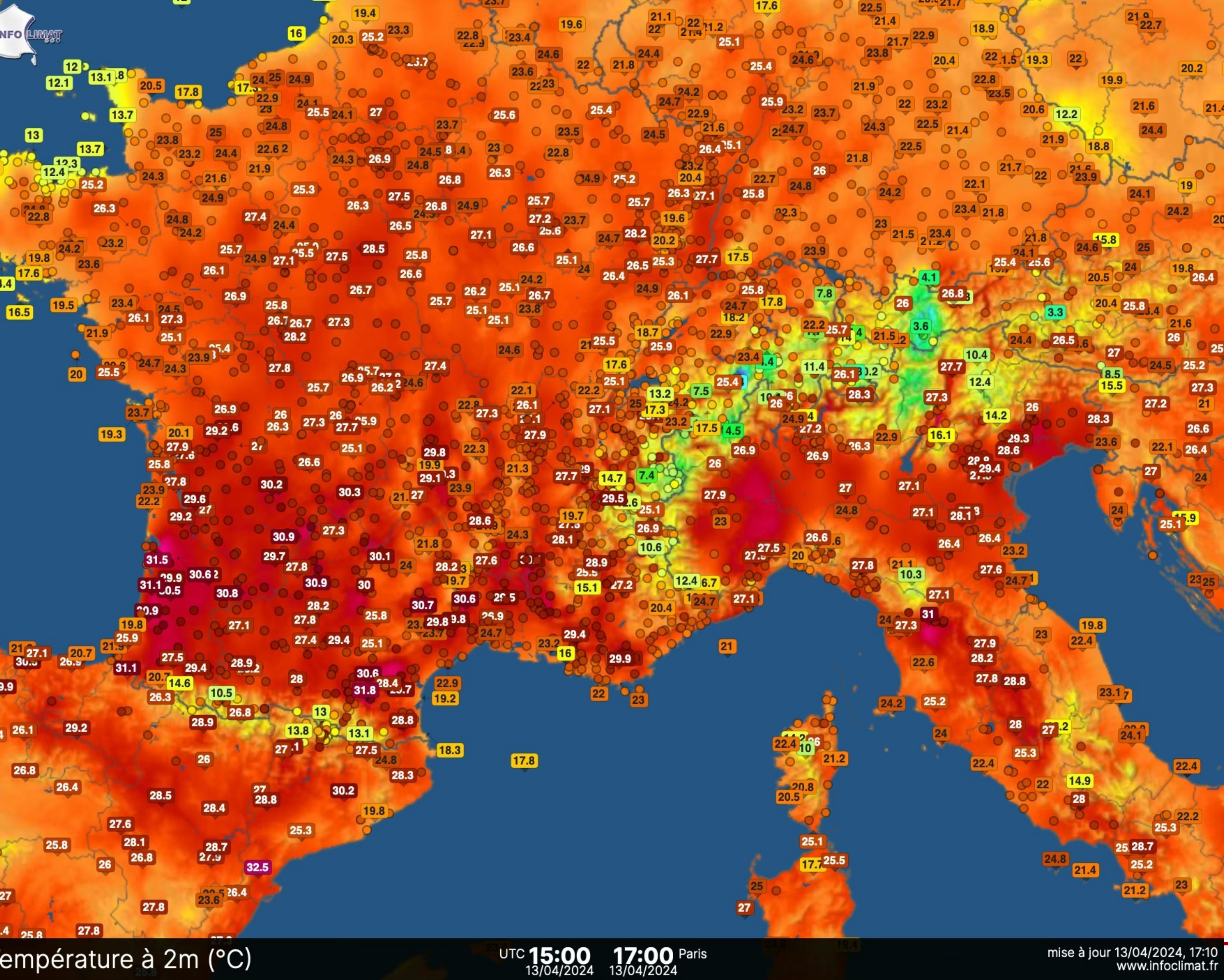
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	24	18	19	23	12	17	14	22	16	11	20	15	13	10	6	2	5	9	4	3	8	7	1	?
GEN	30	12	14	19	15	22	5	39	18	16	23	28	17	13	9	2	4	10	6	3	11	7	8	1
FEB	29	13	21	15	20	14	16	38	24	11	27	26	19	23	7	2	4	10	6	3	18	8	5	1
MAR	25	12	23	21	16	20	17	15	27	9	19	24	18	14	8	2	6	11	5	4	10	7	3	1
APR	26	19	22	18	14	27	10	24	17	8	15	13	23	9	11	2	5	6	3	1	12	7	4	?
MAG	20	16	19	26	17	23	13	22	15	12	21	11	18	5	9	2	4	8	6	1	10	7	3	?
GIU	23	22	24	26	15	14	19	25	17	12	18	16	11	13	6	7	10	8	4	3	5	2	1	?
LUG	18	15	22	36	14	23	19	17	10	13	11	21	16	20	9	6	8	7	3	5	4	2	1	?
AGO	22	21	18	25	20	12	19	24	14	15	11	16	13	7	9	2	6	10	4	5	8	3	1	?
SET	23	17	18	24	13	15	20	19	14	16	21	12	11	7	8	5	10	9	3	2	4	6	1	?
OTT	24	23	13	21	12	15	22	17	18	14	19	10	16	11	2	9	7	3	4	8	5	6	1	?
NOV	17	21	24	16	14	15	22	18	11	10	23	12	8	19	3	6	7	9	4	2	5	13	1	?
DIC	18	27	12	22	14	10	23	20	15	26	16	21	13	11	2	6	4	5	3	9	7	8	1	?

DATI: NASA GISS SURFACE TEMPERATURE ANALYSIS (GISTEMP V4) | CREDITS: @GALSELO PER CHPDB

Università degli Studi di Padova




14 APRIL 2024
AIR TEMPERATURE
AUSTRIA
Deutschlandsberg
31.7°C
SLOVENIA
Metlika
31.8°C
SWITZERLAND
Nyon/Changins
26.8°C
BOSNIA & HERZEGOVINA
Zenica
33.3°C
FRANCE
Tiranges
32.6°C
SPAIN
Fabra Observatory
29.4°C
CROATIA
Karlovac & Sisak
31.6°C
°C
GRAPHIC BY: @SCOTTDUNCANWX
−56 −52 −48 −44 −40 −36 −32 −28 −24 −20 −16 −12 −8 −4 0 4 8 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48 52 56
BASED ON GFS 0.25°
Run: 12/04/24 00 UTC



Climate Justice
Centre of Excellence

Heatwave

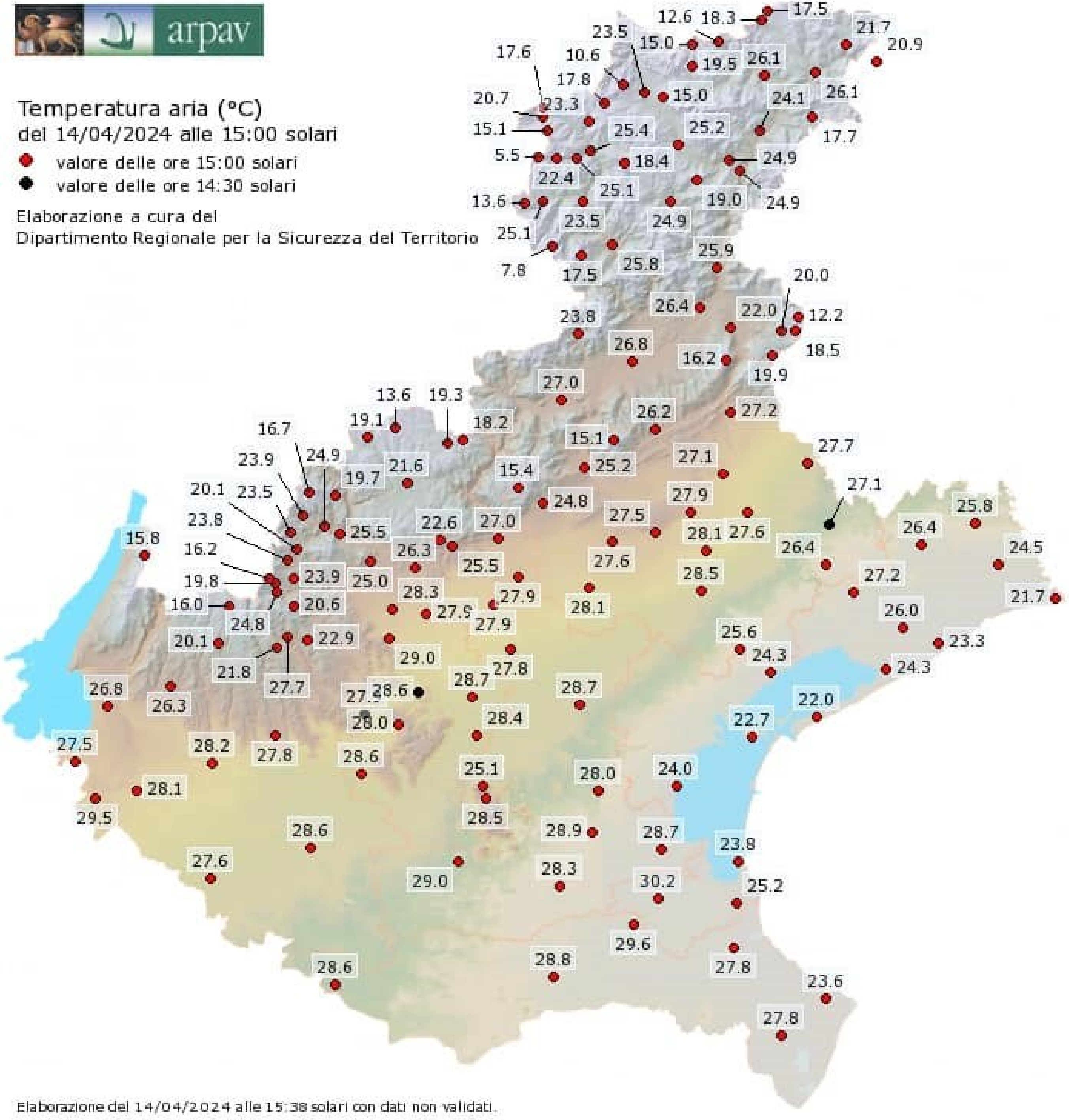
Ondata di calore

Climate Justice
Centre of Excellence

Stazioni MeteoNetwork

14 aprile 2024

T massima > 30 °C


arpav
Temperatura aria (°C)
del 14/04/2024 alle 15:00 solari
valore delle ore 15:00 solari
valore delle ore 14:30 solari
Elaborazione a cura del
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Elaborazione del 14/04/2024 alle 15:38 solari con dati non validati.

Università degli Studi di Padova

ICEA

GIScience

Climate Justice Centre of Excellence

Clima a Padova nel trentennio 1992-2021

Legnaro (PD) (1992-2021)	Mesi											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T max media [°C]	7,0	9,5	13,8	17,9	22,8	26,9	29,2	29,2	24,5	18,7	12,5	7,6
T min media [°C]	0,3	1,1	4,3	8,3	13,0	16,6	18,1	17,8	14,0	10,1	5,8	1,2
T media [°C]	3,2	4,9	8,8	13,1	18,0	21,9	23,8	23,4	18,9	13,8	8,8	4,0

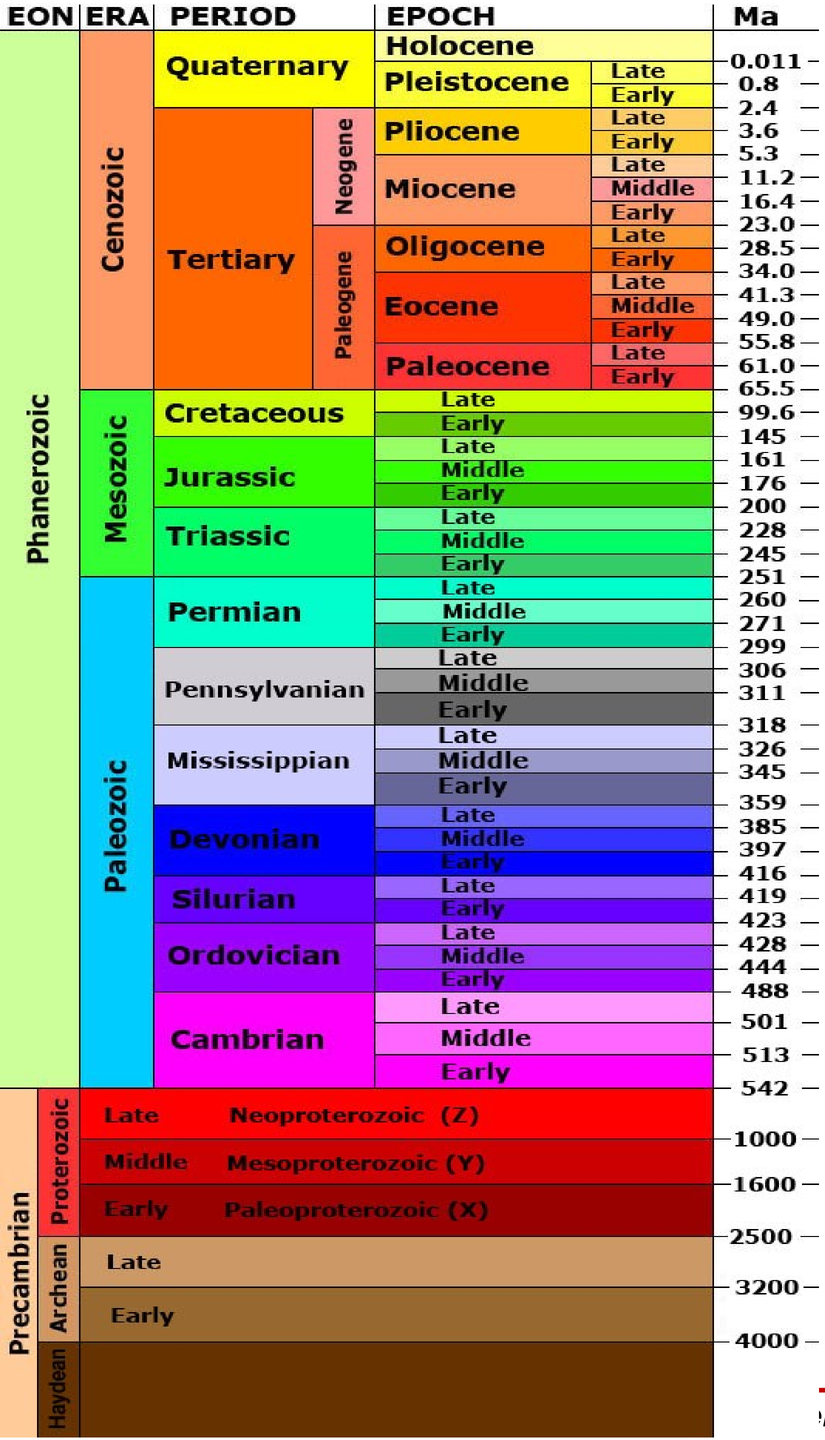
Clima a Padova nel trentennio 1993-2022

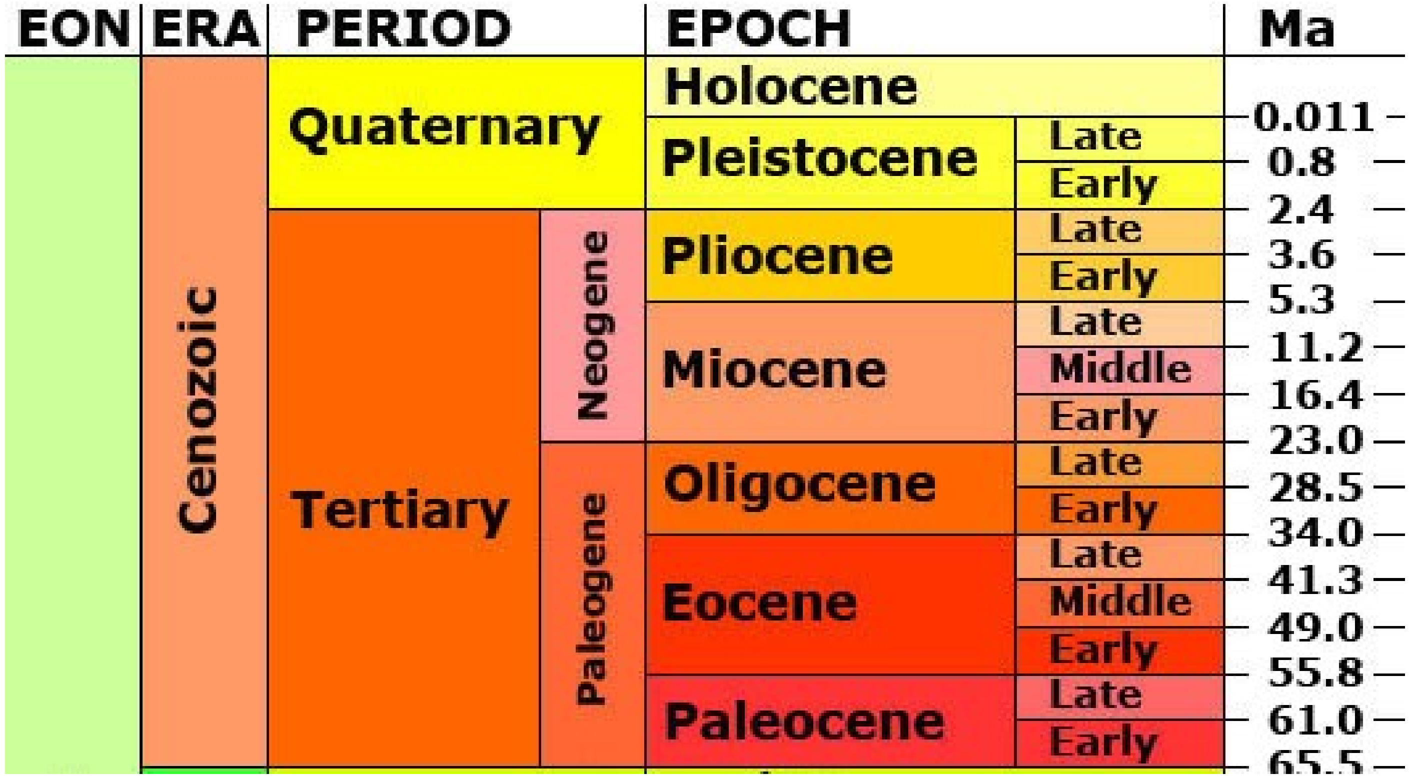
Legnaro (PD) (1993-2022)	Mesi											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T max media [°C]	7,0	9,5	13,8	17,8	22,7	26,9	29,3	29,3	24,7	19,1	12,8	7,8
T min media [°C]	0,3	1,1	4,2	8,1	13,0	16,7	18,2	18,0	14,2	10,4	6,0	1,5
T media [°C]	3,2	4,9	8,8	13,0	17,8	22,0	23,9	23,5	19,1	14,3	9,1	4,2

Anno anomalo 2022

Legnaro (PD) 2022	Mesi											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T max media [°C]	7,9	11,6	14,0	17,0	24,7	29,8	31,7	30,1	24,3	22,9	14,2	8,8
T min media [°C]	-0,6	1,5	2,8	6,7	15,1	18,8	20,4	19,3	15,0	12,4	6,7	4,5
T media [°C]	3,0	6,2	8,2	12,0	20,0	24,5	26,2	24,6	19,3	16,9	10,2	6,5

Scale temporali





Unità di tempo (anni)

Età = 10^3
Epoca = 10^6
Periodo = 10^7
Era = 10^8
Eone = 10^9

PERIODO QUATERNARIO = 2.5 MILIONI DI ANNI FA

EPOCA Holocene = 11.000 anni

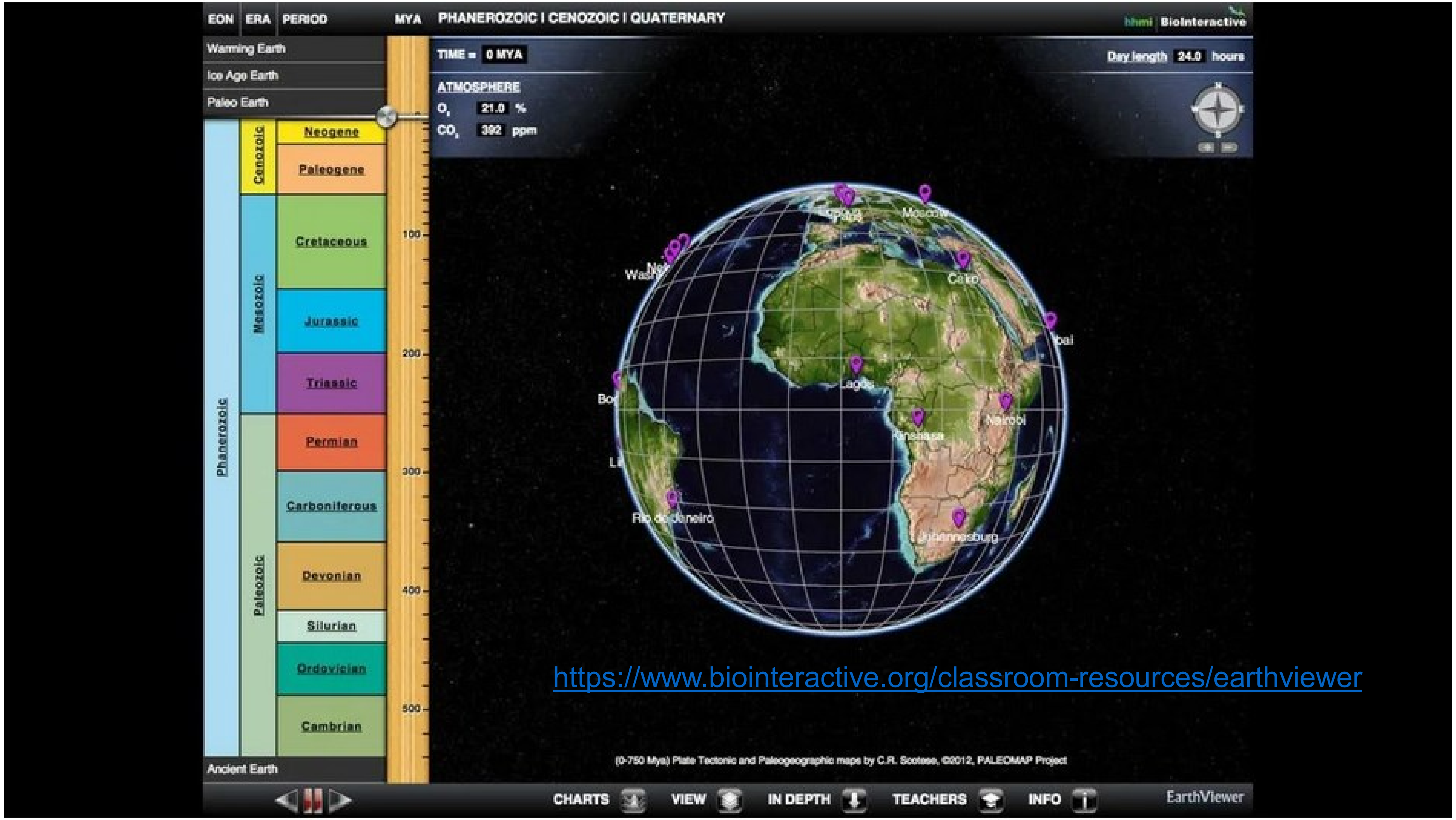
EPOCA Pleistocene = 0.8 M – 2.58 M anni (*Late pleistocene* 800 mila anni – *Early Pleistocene* 2.4 M anni)

PERIODO TERZIARIO = 2.4 – 65.5 M anni

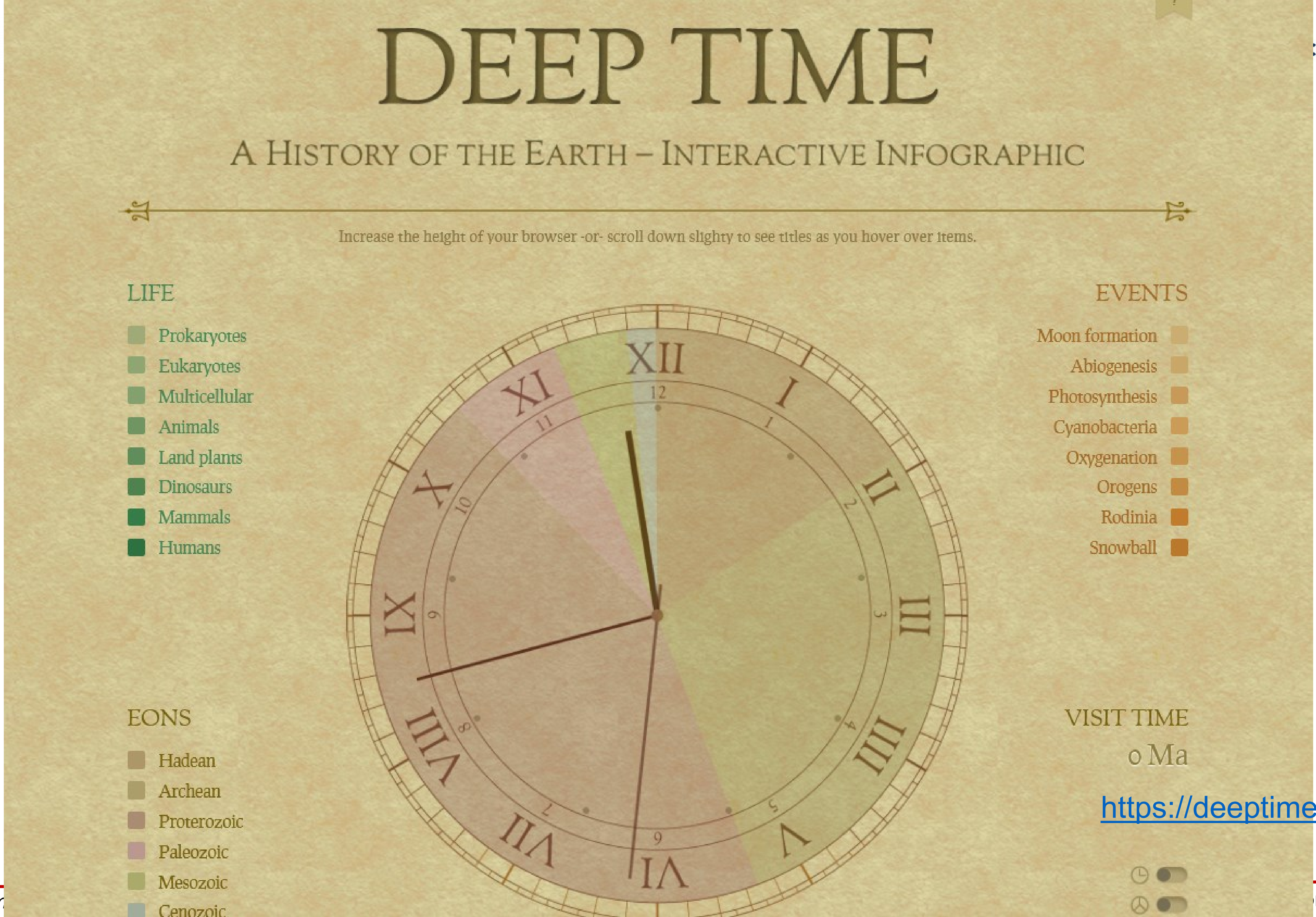
EPOCA DEL PLIOCENE = 2.58 – 5.3 M ANNI FA

EarthViewer

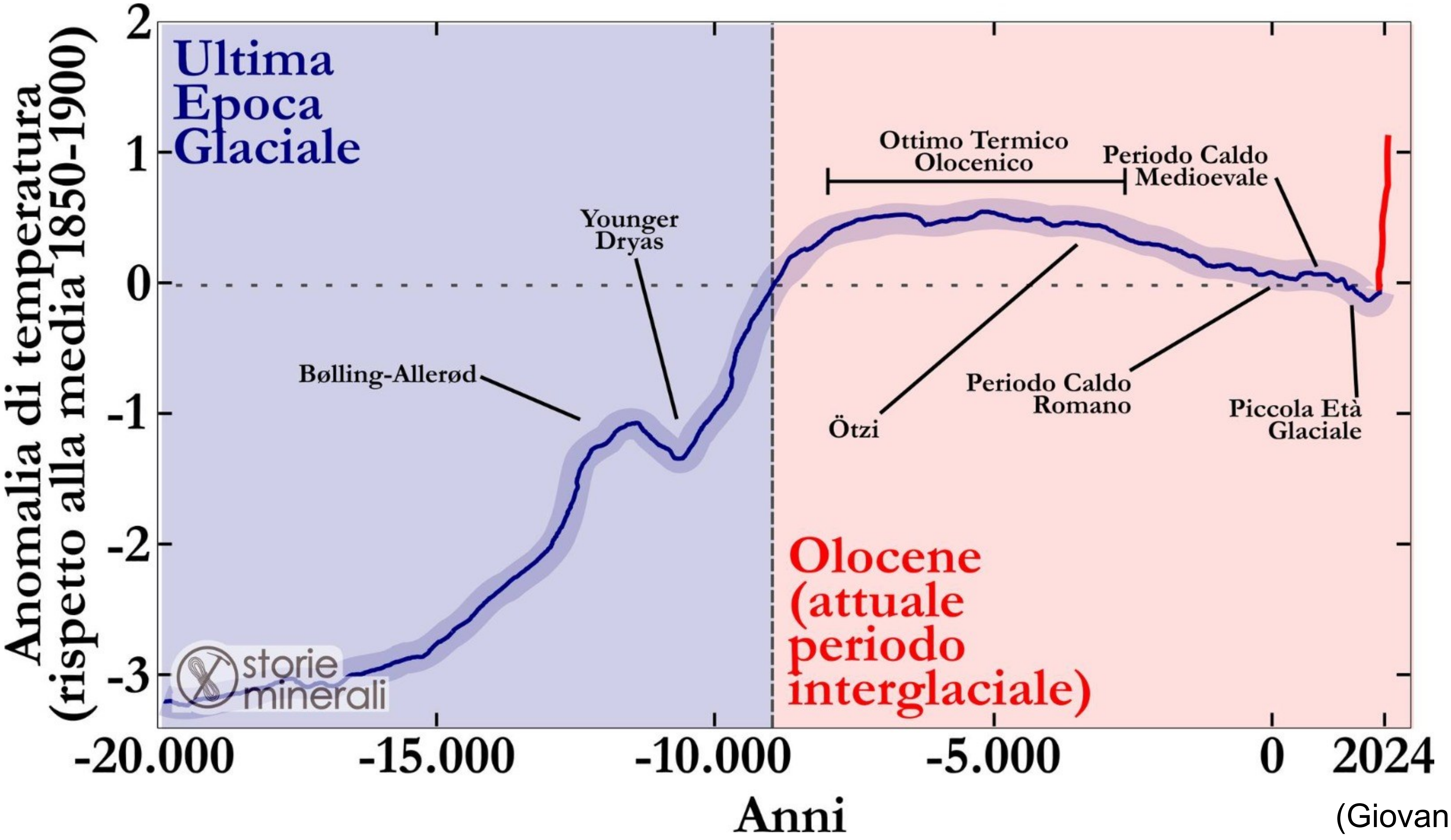
Start Interactive



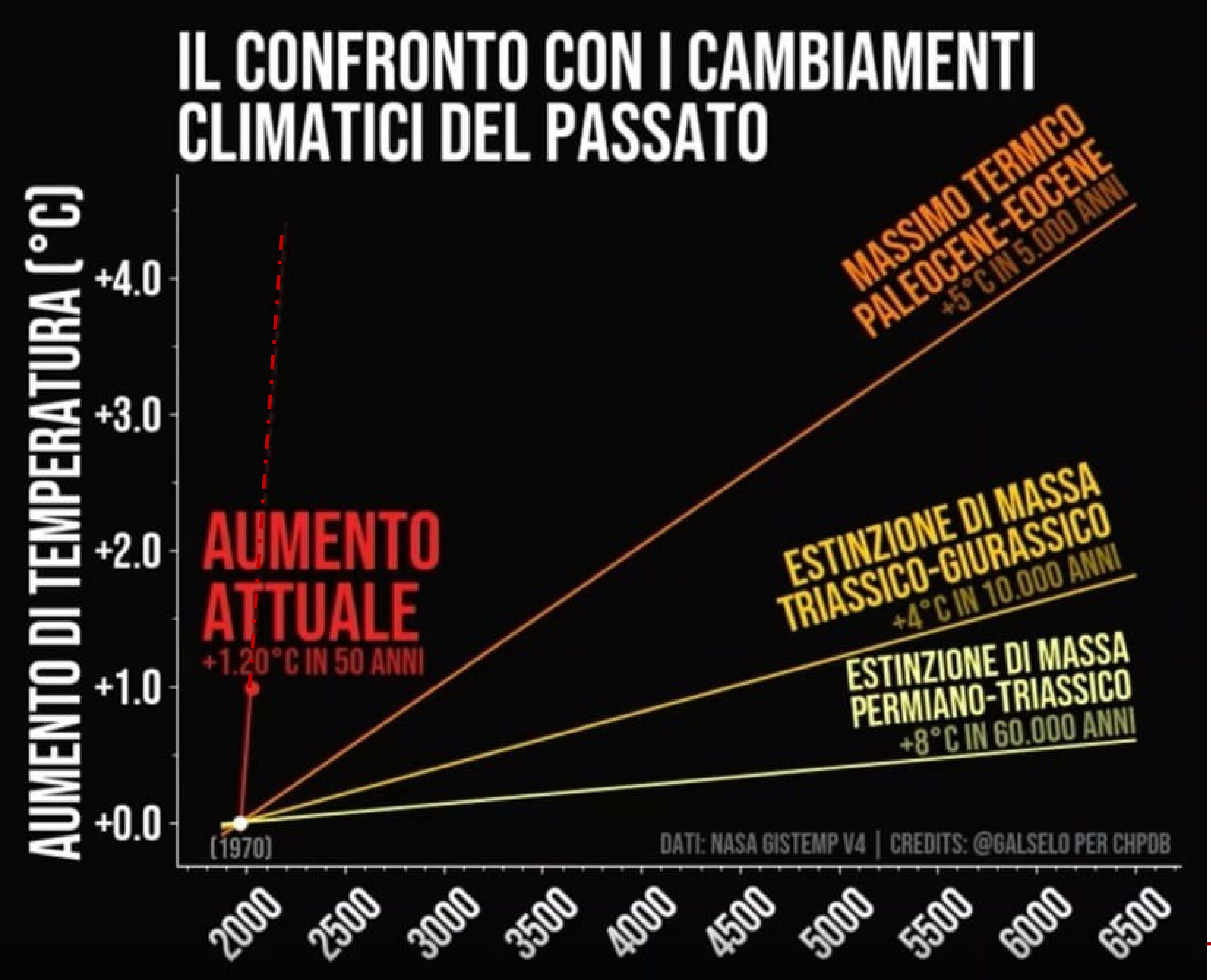
https://www.biointeractive.org/classroom-resources/earthviewer



https://deeptime.info/

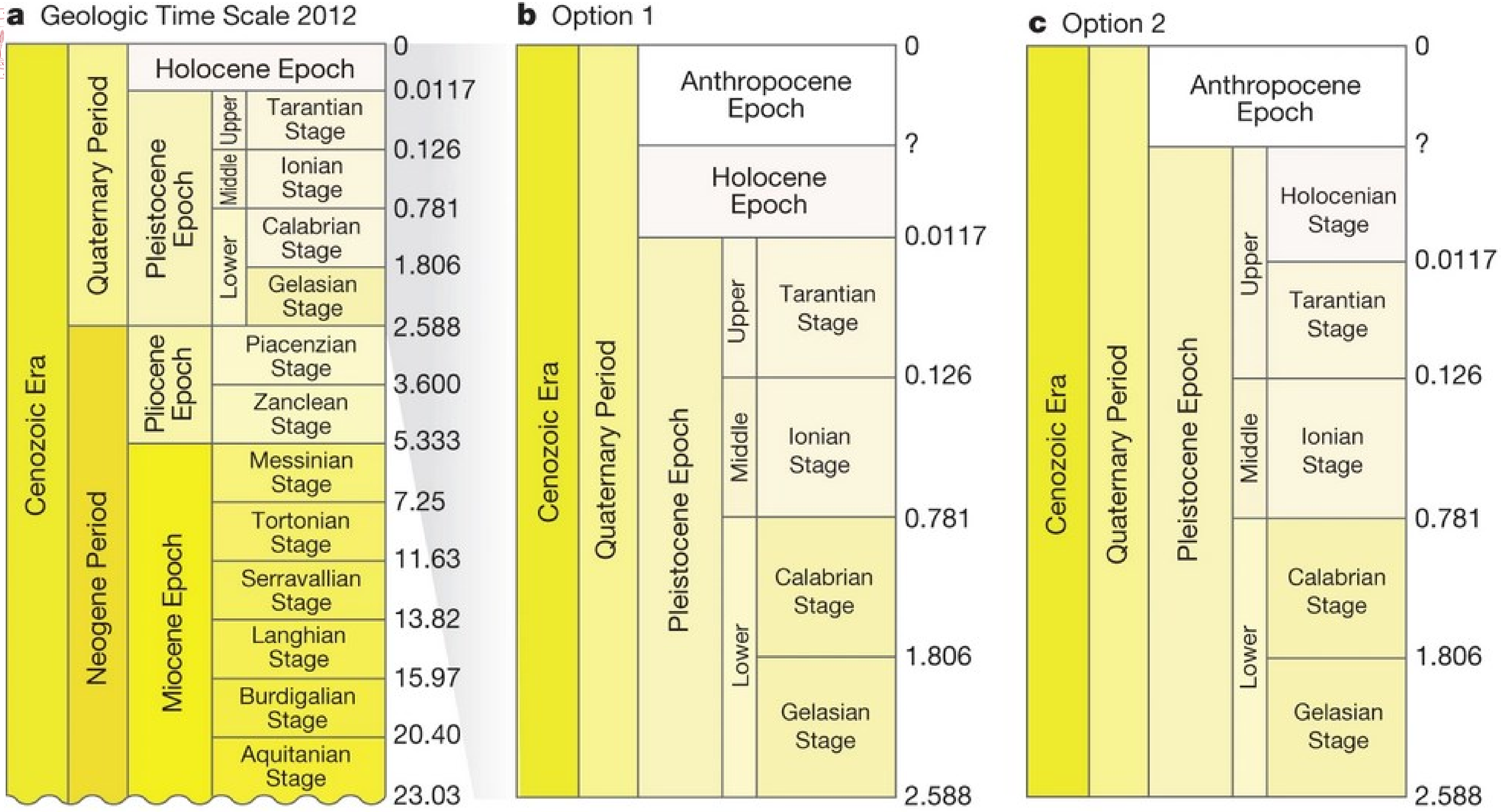


(Giovanni Baccolo 2024)



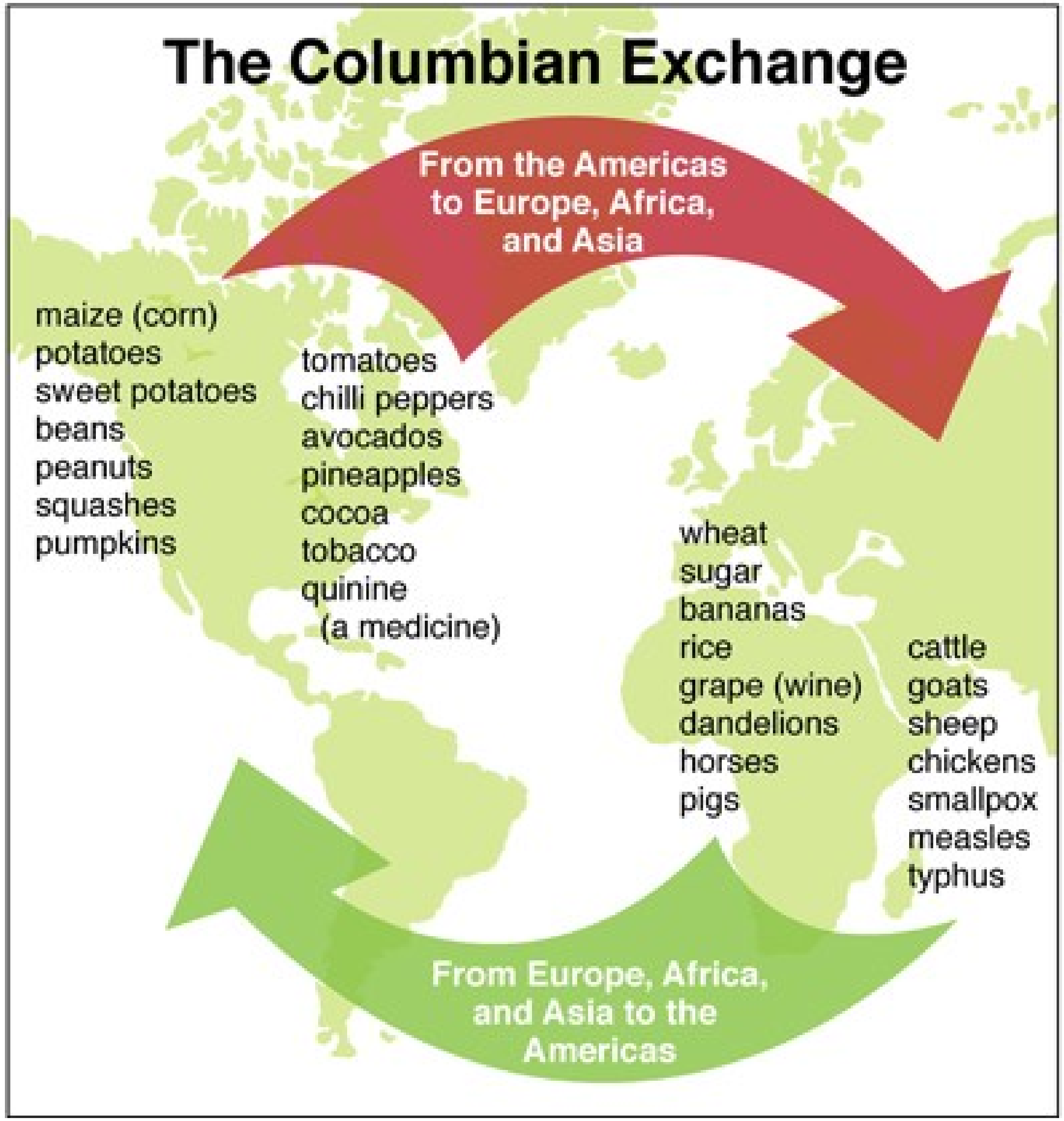
Climate Justice
Centre of Excellence

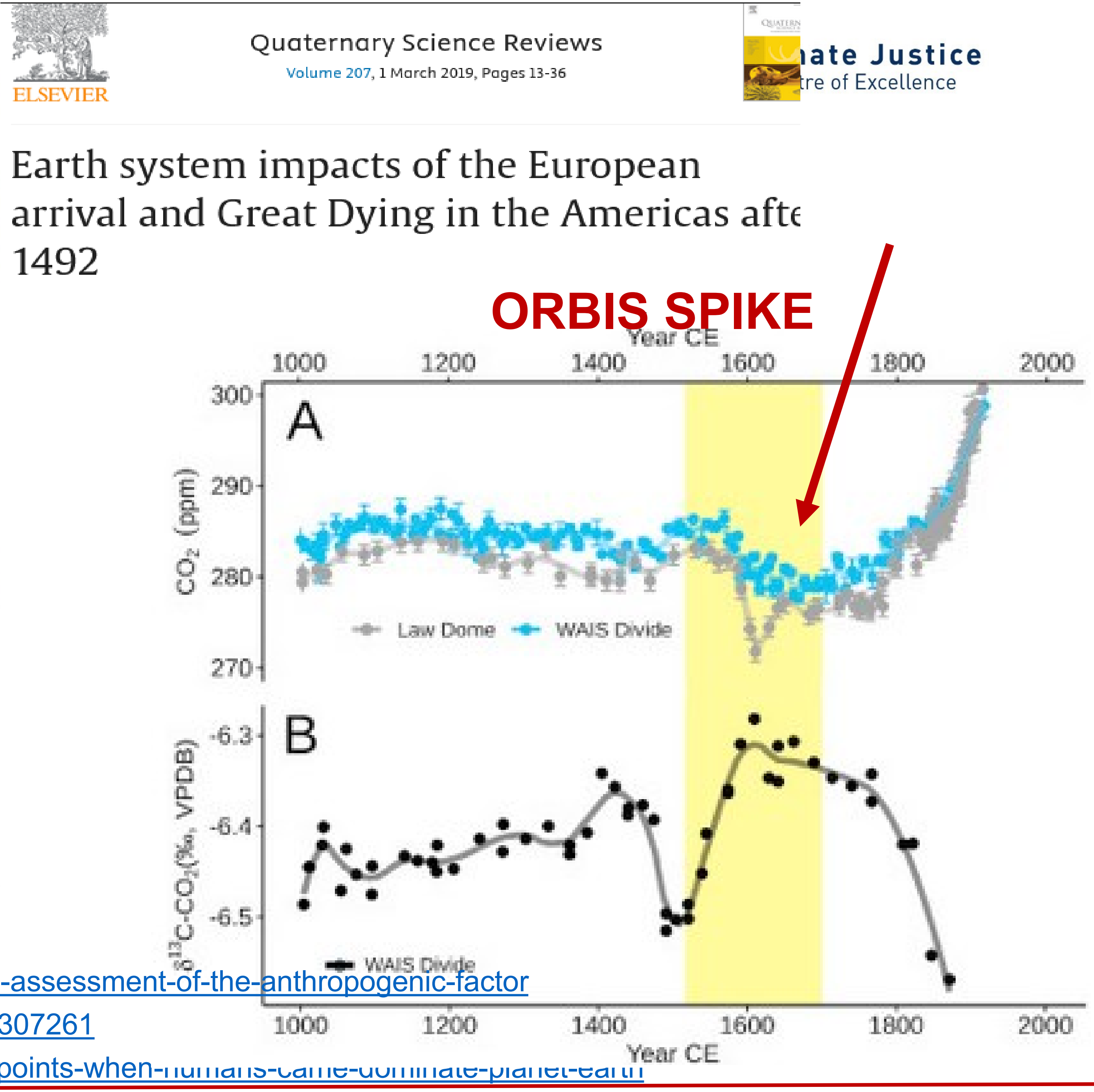
https://chpdb.it/_climate_dash/



Antropocene e scale geologiche

https://www.nature.com/articles/nature14258





https://www.nature.com/articles/s41467-024-45894-9
https://www.anthropocene-curriculum.org/contribution/historical-assessment-of-the-anthropogenic-factor
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379118307261
https://www.ucl.ac.uk/news/2015/mar/epoch-defining-study-pinpoints-when-humans-came-dominate-planet-earth

- Dei sistemi
- Sistemi complessi
- Sistema climatico

Uomo e Ambiente: **eco**nomia - **eco**logia

- modelli di sviluppo
- sistema produttivo
- sistema economico

→ Separazione concettuale tra Uomo – Natura
(the cartesian paradigm)

Limite ai programmi di espansione della base produttiva e livelli di consumo **(ecologia: *carrying capacity*)**:

superamento dei **limiti biofisici** del sistema-terra: crisi climatica, crisi energetica e crisi ambientale globale

Ambiente (concetto ambiguo):

ambiente non è un luogo amorfo nel quale l'uomo si trova collocato ma è un sistema complesso interagente con l'uomo. Tale sistema è la Biosfera (o ecosistema globale)

La Biosfera (eco-sistema = sistema "oikos") (Pignatti, 2000)

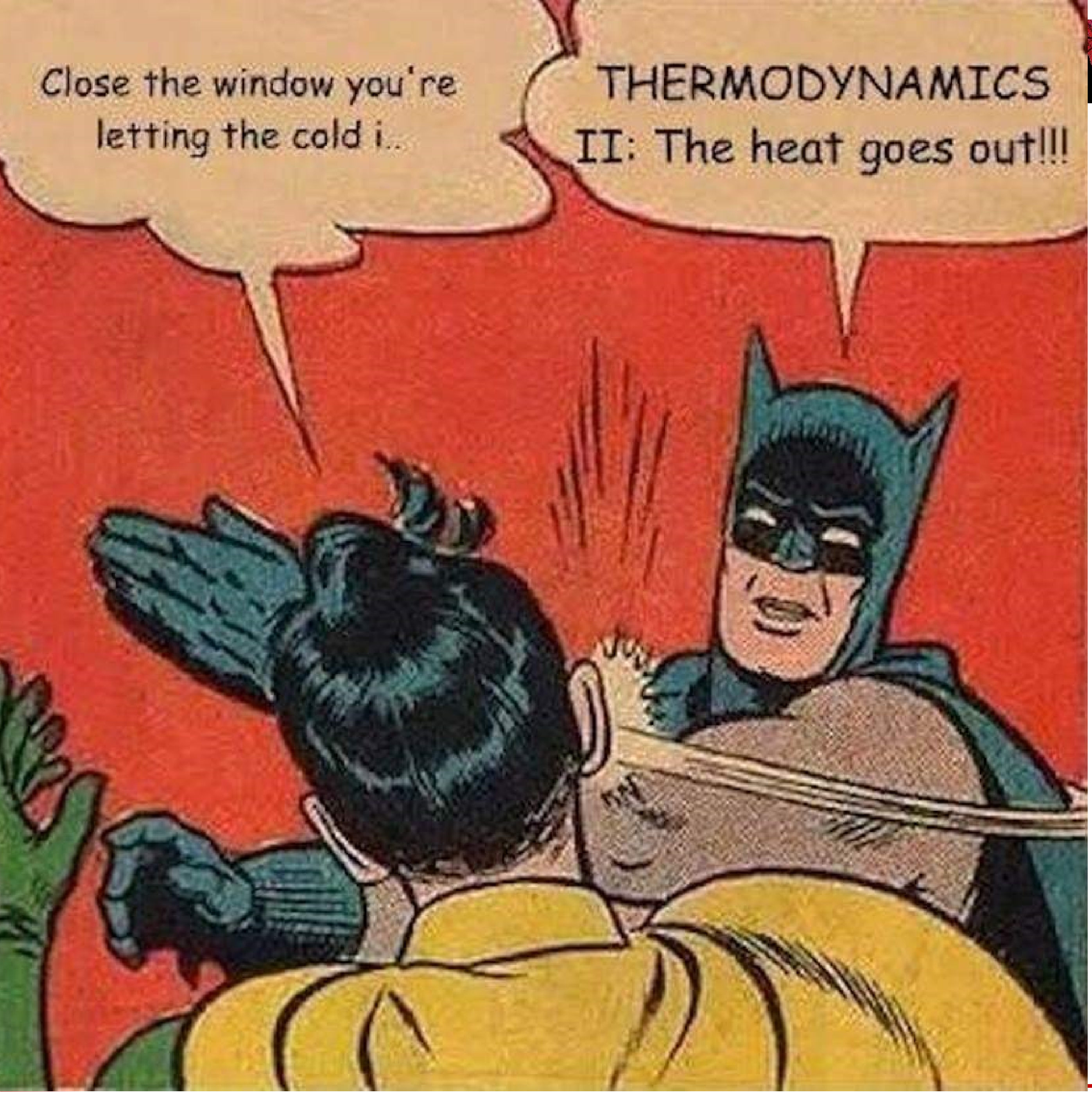
''[…] il sistema globale che ospita e nutre i viventi che ne fanno parte, tra cui anche **l'uomo".**

Dei sistemi – il paradigma sistemico

Tutti i meccanismi che governano l'insieme dei processi biogeochimici (cicli gassosi: C, N_2, O_2, CH_4…) e meccanici (erosione da vento,…) all'interno del sistema terra sono alimentati dall'energia solare

Le trasformazioni di energia (e materia) obbediscono alle leggi della termodinamica:

1° principio: conservazione dell'energia (e della materia)



2° principio: entropia (indica la "direzione" delle trasformazioni)

l'aumento di entropia in natura indica il verso naturale delle cose (Duprè, 1990)

Dei sistemi – il paradigma sistemico

‘SISTEMA: un insieme e o fattori tra loro interagenti’

i) Risulta costituito da unità subordinate (o sottosistemi)

ii) Esistono i rapporti di interazione

iii) Non vale il principio di sovrapposizione (somma unità subordinate)

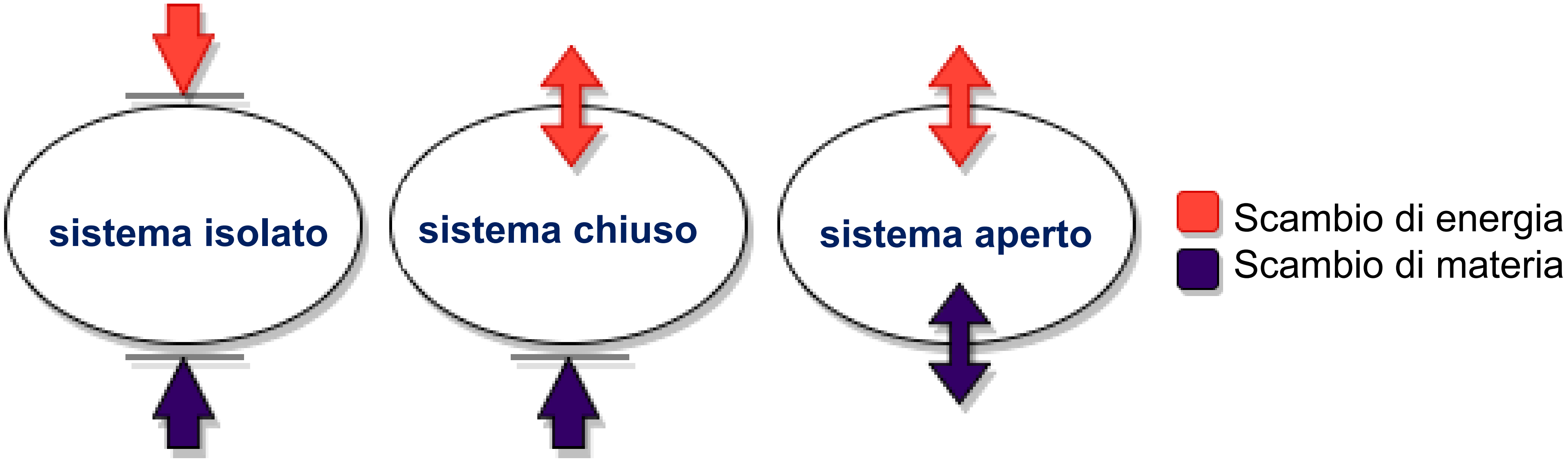
(effetto finale di due cause non è la somma di ciascun effetto preso singolarmente)

i) Principio delle proprietà emergenti* (‘More Is Different’, Philip W. Anderson 1972)

* Es. un organo rappresenta un’unità con caratteristiche strutturali e funzionali diverse dalle cellule che lo compongono; es. un organismo presenta proprietà distinte da quelle dei suoi organi, tessuti e cellule.

Dei sistemi – il paradigma sistemico

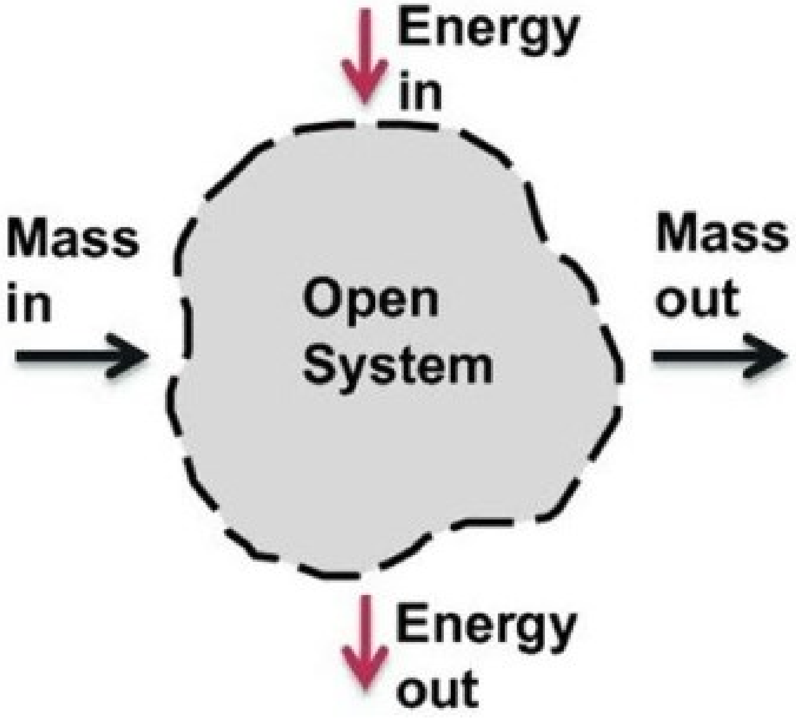
- Sistemi isolati → Non hanno scambi con l'esterno
- Sistemi chiusi → Scambiano energia ma non materia
- Sistemi aperti → Scambiano energia e materia



Dei sistemi – il paradigma sistemico

I sistemi 'real-world' sono sistemi aperti

- Organismi viventi
- Ecosistemi
- La città
- Clima

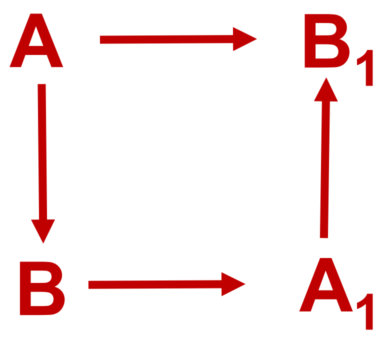


- I sistemi aperti hanno bisogno di un flusso continuo di energia per 'diminuire' entropia interna (entropia negativa), aumentando entropia esterna (entropia positiva)
- Sistemi aperti possono essere in equilibrio (es. un ghiacciaio)
- Sistemi aperti come strutture dissipative lontane dal punto di equilibrio (Prigogine, 1972)

Dei sistemi – il paradigma sistemico

Sistemi complessi $A \rightarrow B \rightarrow A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \ldots$

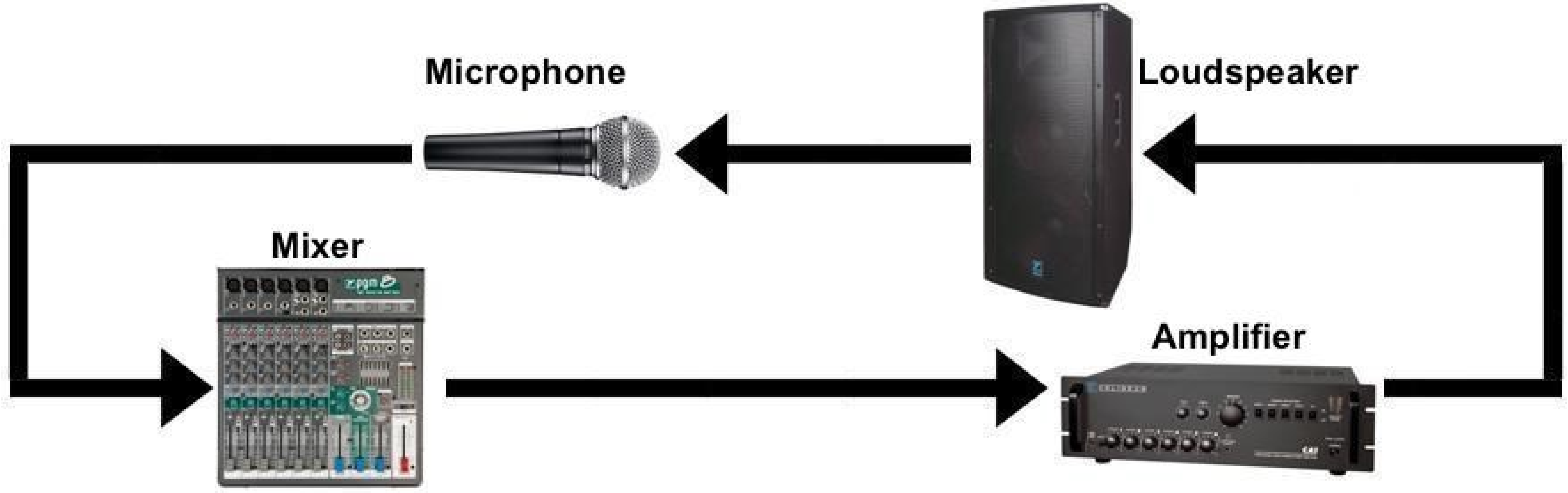
Sistemi non lineari
Sistemi aperti dotati di meccanismi di retroazione (***feeback)***
catene non lineari causa-effetto



Anelli di retroazione (*feedback loops*)
catene non lineari causa-effetto che modificano le condizioni iniziali

Feedback positivi: effetto di ‘amplificazione’ del fenomeno
Feedback negativi: effetto di regolazione e di inibizione del sistema, ‘spingendo’ il sistema nella condizione stazionaria

Feedback loop (positivo)



Dei sistemi – il paradigma sistemico

Sistemi complessi

- **Omeostasi**: permanenza del sistema in condizioni immutate (equilibrio dinamico)
- **Autorganizzazione:** fenomeno che emerge spontaneamente
- **Resilienza**: capacità di un sistema di reagire (adattarsi) alle perturbazioni esterne, eventi ‘ambientali’ per ripristinare le condizioni di omeostasi
- **Punto di svolta** (*tipping point*, o soglia del sistema)

Dei sistemi – il paradigma sistemico

Sistemi complessi – *in brief*

- Sistemi aperti e operano in condizioni lontane dall'equilibrio
- Consistono in un elevato numero di elementi/subunità/sottosistemi
- Gli elementi interagiscono dinamicamente tra loro in modo **NON LINEARE**
- Meccanismi di retroazione positivi/negativi diretti ed indiretti (feedback loop)
- Capacità di auto-organizzazione
- Memoria
- Resilienza
- Imprevedibilità ed incertezza

https://complexityexplained.github.io

Uomo e Ambiente: economia - ecologia

- Sistema economico-produttivo si basa sulle trasformazioni di materia ed energia allo stato concentrato (energia biogenica fossile: petrolio, carbone, metano)
- Il loro utilizzo comporta processi di dissipazione dell'energia (II principio della termodinamica)
- Ogni trasformazione avviene "consumando" materia ed energia ed eliminando "scarti"

Ogni volta che l'energia viene trasformata da uno stato all'altro "è necessario pagare un prezzo" (perdita di energia disponibile; es. inquinamento)

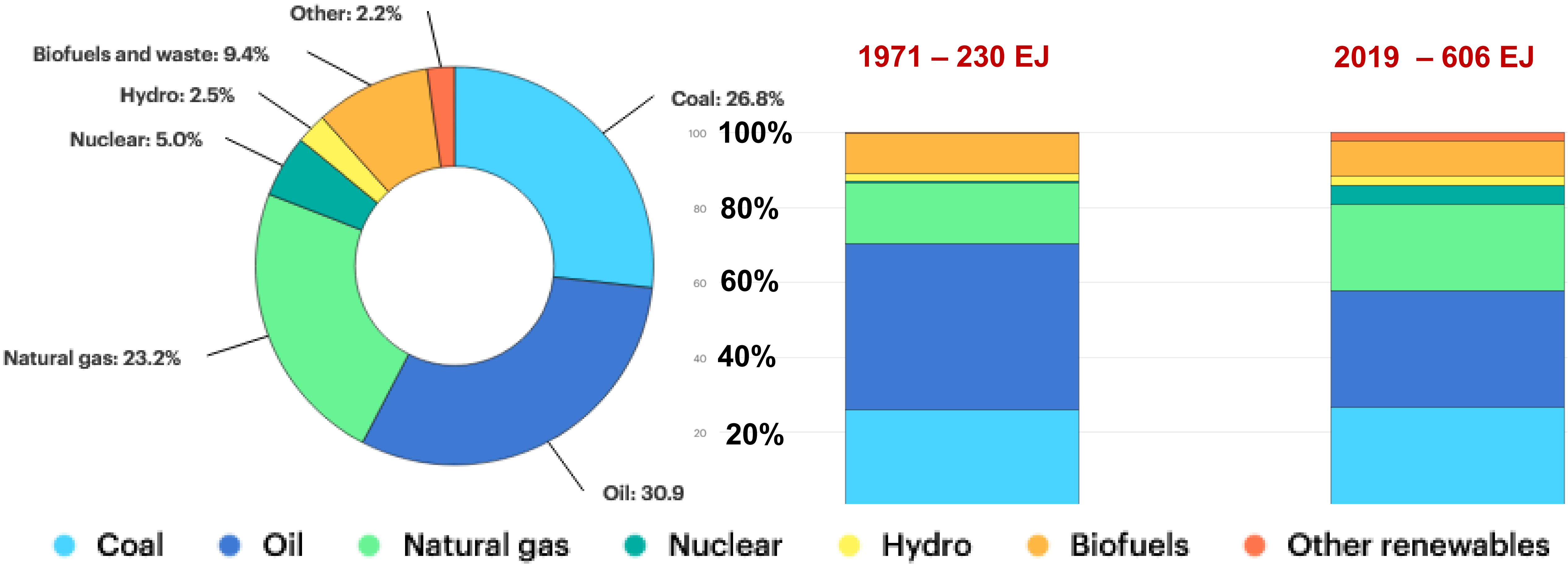
Approccio (eco)sistemico

(Georgescu-Roegen 1971; Rifkin 2000; Pignatti, 2000)

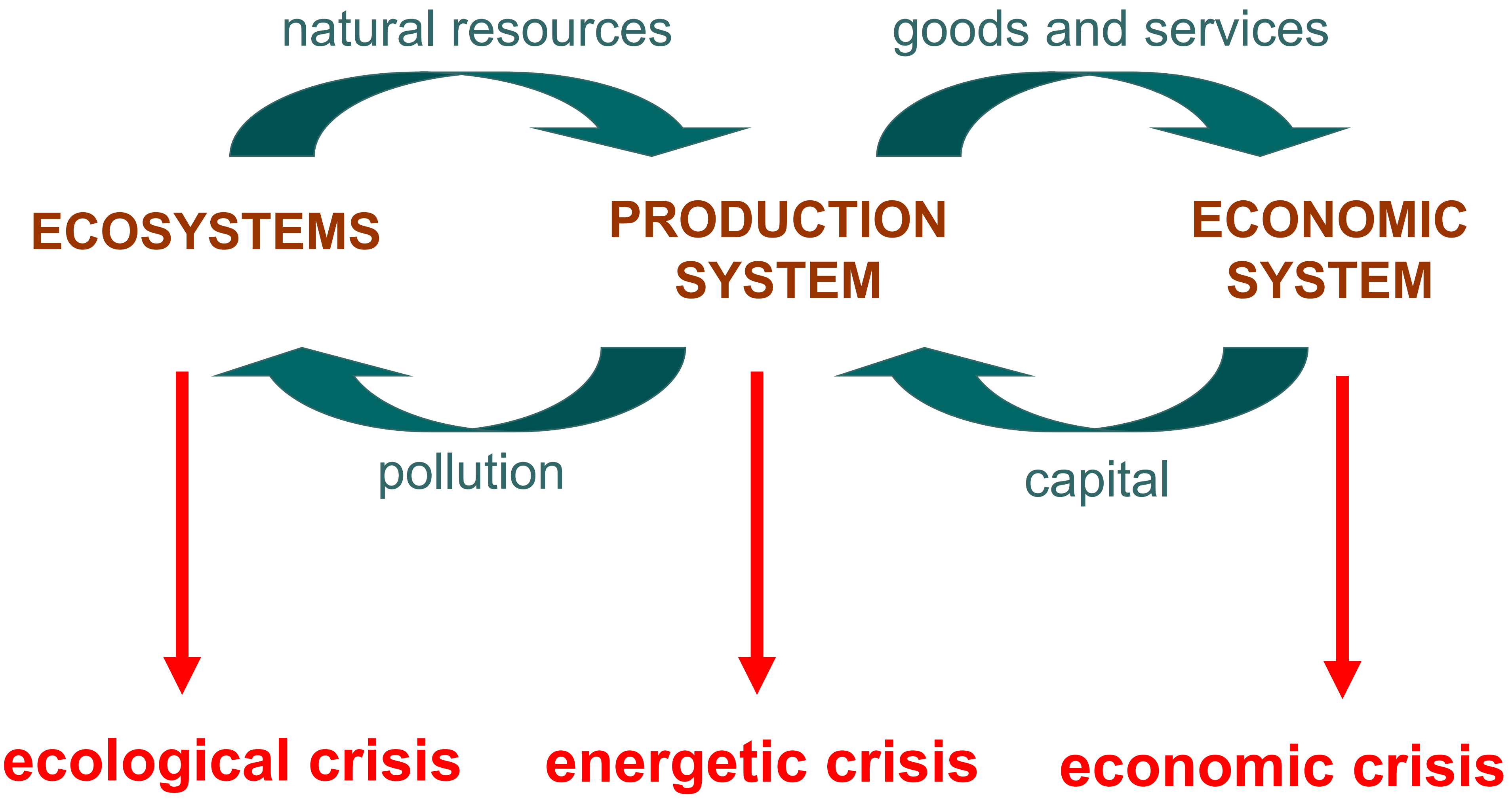
Università degli Studi di Padova | ICEA | GIScience | Climate Justice Centre of Excellence | iea

Global share of total energy supply by source, 2019

World total energy supply: 606 EJ

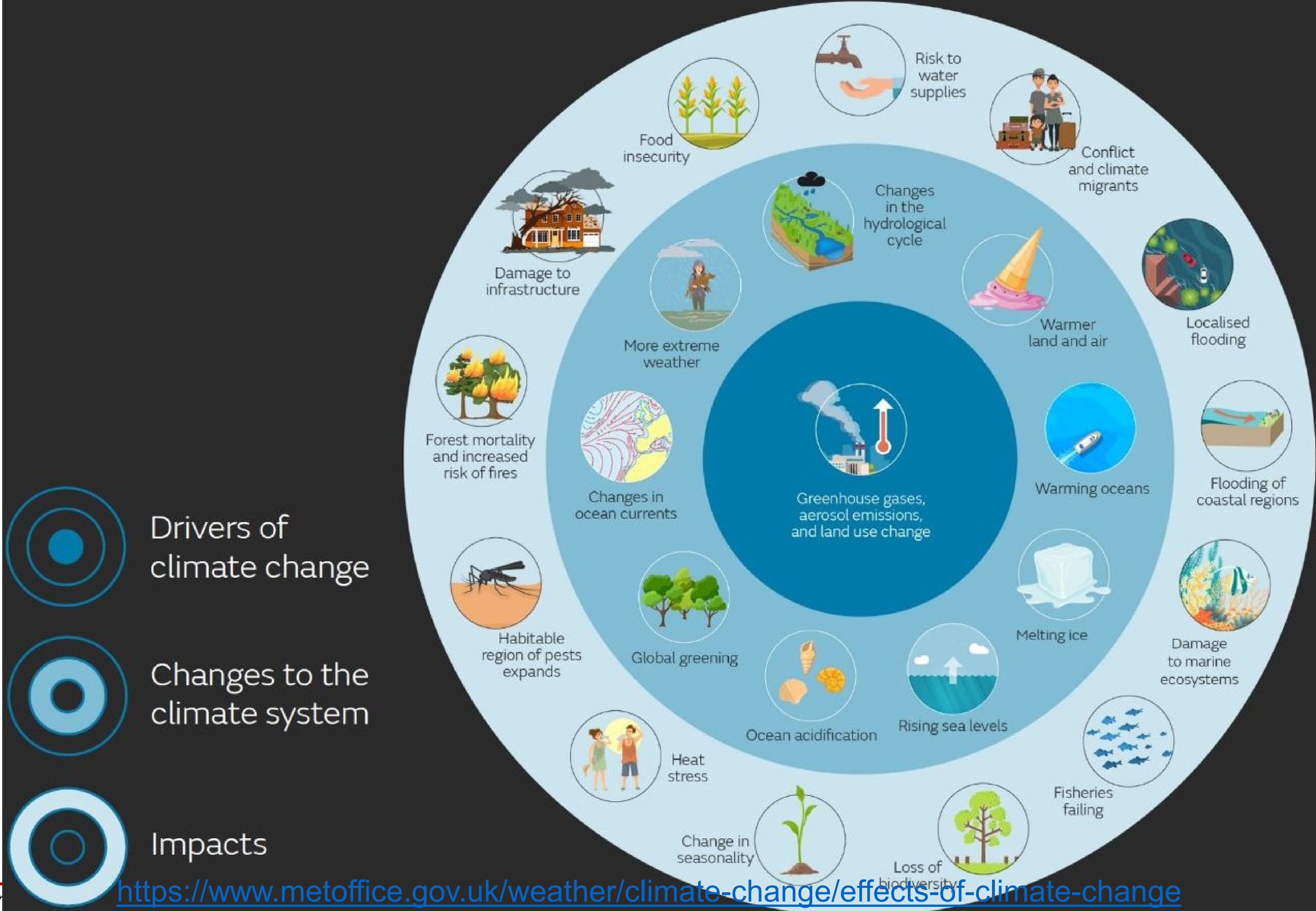


https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/supply


natural resources
goods and services
ECOSYSTEMS
PRODUCTION SYSTEM
ECONOMIC SYSTEM
pollution
capital
ecological crisis
energetic crisis
economic crisis

(Tiezzi, 2005)

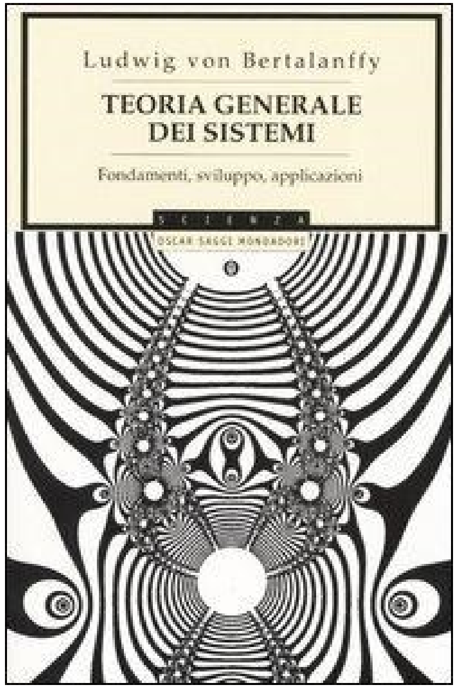
La crisi climatica

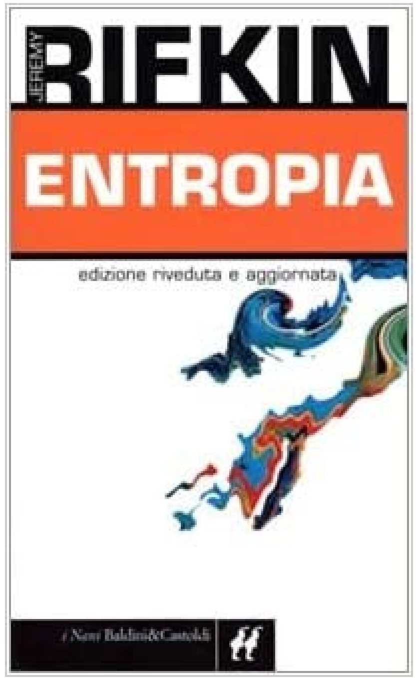


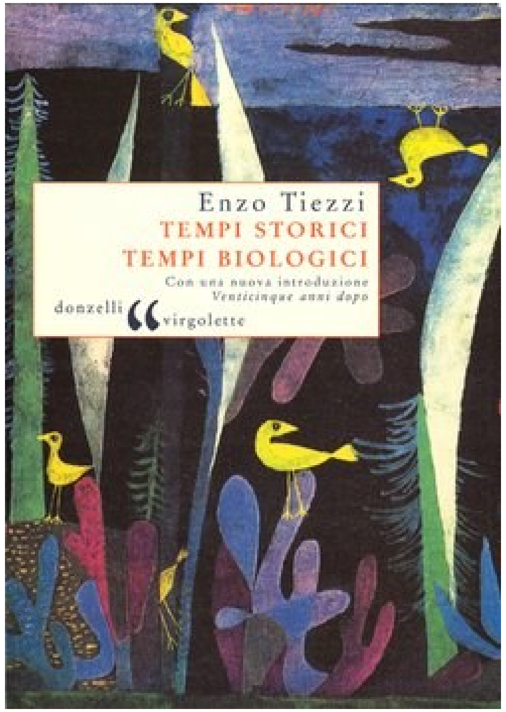
https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate-change/effects-of-climate-change

Dei sistemi – il paradigma sistemico

Qualche spunto per letture scientifiche

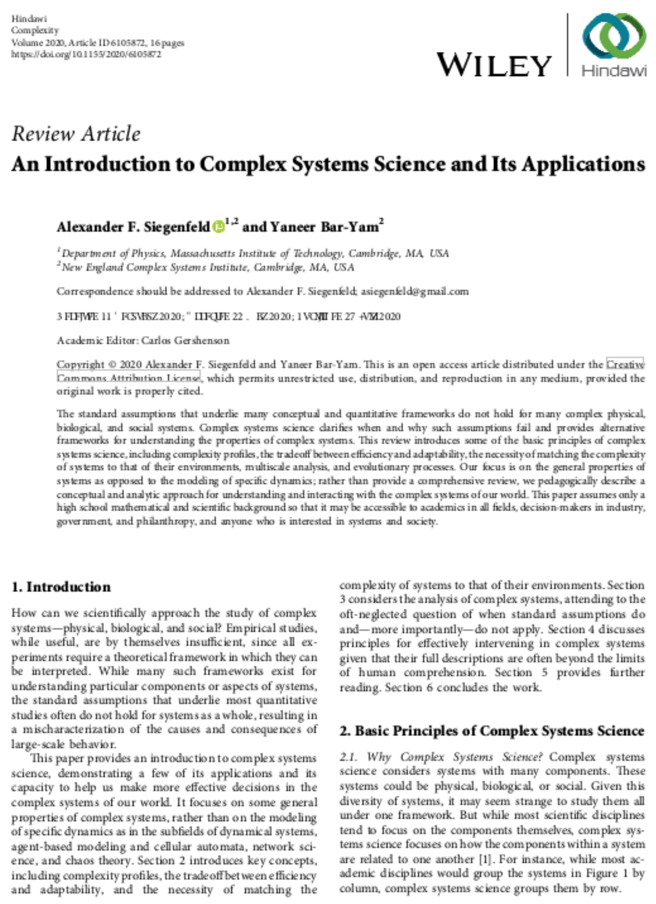






Dei sistemi – il paradigma sistemico

Qualche spunto per letture scientifiche (Risorse web su STEM Moodle)



Hindawi
Complexity
Volume 2020, Article ID 6105872, 16 pages
https://doi.org/10.1155/2020/6105872

Review Article

An Introduction to Complex Systems Science and Its Applications

Alexander F. Siegenfeld [1,2] and Yaneer Bar-Yam [2]

[1] *Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA*
[2] *New England Complex Systems Institute, Cambridge, MA, USA*

Correspondence should be addressed to Alexander F. Siegenfeld; asiegenfeld@gmail.com

3 FDFJWFE 11 ' FCSVBSZ 2020; " DDFQUFE 22 . BZ 2020; 1VCMJTIFE 27 +VMZ 2020

Academic Editor: Carlos Gershenson

The standard assumptions that underlie many conceptual and quantitative frameworks do not hold for many complex physical, biological, and social systems. Complex systems science clarifies when and why such assumptions fail and provides alternative frameworks for understanding the properties of complex systems. This review introduces some of the basic principles of complex systems science, including complexity profiles, the tradeoff between efficiency and adaptability, the necessity of matching the complexity of systems to that of their environments, multiscale analysis, and evolutionary processes. Our focus is on the general properties of systems as opposed to the modeling of specific dynamics; rather than provide a comprehensive review, we pedagogically describe a conceptual and analytic approach for understanding and interacting with the complex systems of our world. This paper assumes only a high school mathematical and scientific background so that it may be accessible to academics in all fields, decision-makers in industry, government, and philanthropy, and anyone who is interested in systems and society.

1. Introduction

How can we scientifically approach the study of complex systems—physical, biological, and social? Empirical studies, while useful, are by themselves insufficient, since all experiments require a theoretical framework in which they can be interpreted. While many such frameworks exist for understanding particular components or aspects of systems, the standard assumptions that underlie most quantitative studies often do not hold for systems as a whole, resulting in a mischaracterization of the causes and consequences of large-scale behavior.

This paper provides an introduction to complex systems science, demonstrating a few of its applications and its capacity to help us make more effective decisions in the complex systems of our world. It focuses on some general properties of complex systems, rather than on the modeling of specific dynamics as in the subfields of dynamical systems, agent-based modeling and cellular automata, network science, and chaos theory. Section 2 introduces key concepts, including complexity profiles, the tradeoff between efficiency and adaptability, and the necessity of matching the complexity of systems to that of their environments. Section 3 considers the analysis of complex systems, attending to the oft-neglected question of when standard assumptions do and—more importantly—do not apply. Section 4 discusses principles for effectively intervening in complex systems given that their full descriptions are often beyond the limits of human comprehension. Section 5 provides further reading. Section 6 concludes the work.

2. Basic Principles of Complex Systems Science

2.1. Why Complex Systems Science? Complex systems science considers systems with many components. These systems could be physical, biological, or social. Given this diversity of systems, it may seem strange to study them all under one framework. But while most scientific disciplines tend to focus on the components themselves, complex systems science focuses on how the components within a system are related to one another [1]. For instance, while most academic disciplines would group the systems in Figure 1 by column, complex systems science groups them by row.