

Energetica Terrestre

Quanto è grande



la nostra fame di energia

Michele Lustrino

DIPARTIMENTO
DI SCIENZE DELLA TERRA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Che cos'è l'Energia?

Capacità di compiere un lavoro.

Lavoro?

processo che produce un cambiamento
(temperatura, composizione chimica, velocità, posizione)

In un sistema.

(organismo vivente, oggetto inanimato, macchina)

La rapidità di impiego dell'energia è la:

Potenza

(Energia/tempo)

Lavoro ed Energia

Alcune unità di misura dell'energia:

UNITÀ	SIMBOLO	VALORE IN J	
Caloria	cal	4,19 J	<i>Alimentazione</i>
<i>British thermal Unit</i>	BTU	$1,05 * 10^3$ J	<i>Condizionatori</i>
kilowattora	kWh	$3,60 * 10^6$ J	<i>Consumi domestici</i>
Equivalente di barile di petrolio	bep (<i>boe</i>)	$6,12 * 10^9$ J	<i>Statistiche mondiali</i>
Equivalente di tonnellata di petrolio	tep (<i>toe</i>)	$4,19 * 10^{12}$ J	
Tonnellate di trinitrotoluene	ton TNT	$4,18 * 10^9$ J	<i>Esplosioni</i>
Elettronvolt	eV	$1,60 * 10^{-19}$ J	<i>Reazioni nucleari</i>

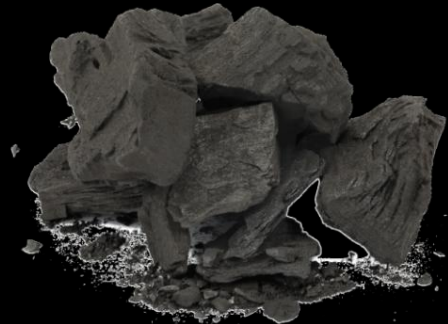
Quanta Energia...?



$2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

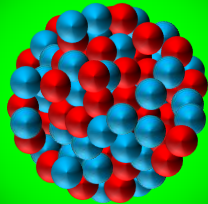
$5 \cdot 10^4 \text{ J}$

$3 \cdot 10^7 \text{ J}$



1 kg

^{235}U



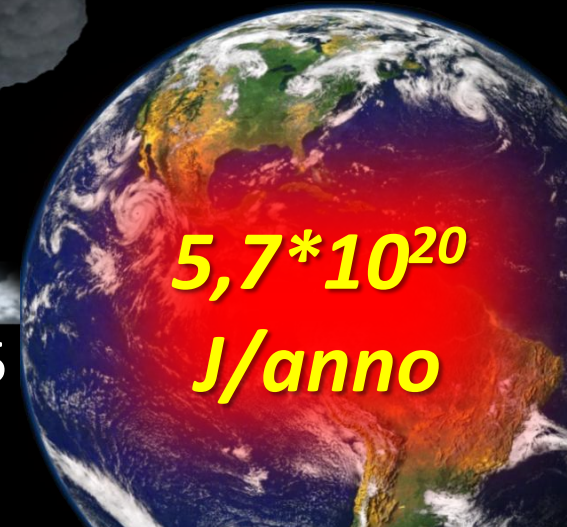
1 g

$\sim 8,2 \cdot 10^{10} \text{ J}$



$8,4 \cdot 10^{13} \text{ J}$

6 Ago 1945



$5,7 \cdot 10^{20} \text{ J/anno}$



$\sim 1 \cdot 10^7 \text{ J}$

$7,3 \cdot 10^9 \text{ J/sec}$



Tre tipi di energia:

Energia continua

Sempre disponibile quando ne abbiamo bisogno.

Carburanti fossili; Fissione nucleare; [Fusione nucleare].

Energia verde

Fonti rinnovabili. Senza (o limitato) inquinamento.

Eolica, Solare, Idroelettrica, Geotermica.

Essenziali per limitare emissione di gas serra.

Energia per la mobilità

Auto, aerei e altri mezzi. Trasportabile.

Quasi esclusivamente carburanti fossili.

Tre tipi di energia:



Energia per la mobilità

Auto, ~~aerei~~ e altri mezzi. Trasportabile.
Quasi esclusivamente carburanti fossili.

Tre tipi di energia:



Energia per la mobilità

Auto, ~~aerei~~ e ~~altri mezzi~~. Trasportabile.

Quasi esclusivamente carburanti fossili.

Tre tipi di energia:



*Entro la fine della settimana porterò in Consiglio dei Ministri i nomi dei nuovi vertici di Arera, in modo tale che la squadra per avviare la transizione energetica del Paese sia completa, e tutti insieme si possa iniziare il lavoro per **creare un Paese che abbia la grande ambizione di diventare al 100% rinnovabile tra qualche anno.***

Energia per la mobilità

Auto, ~~aerei~~ e ~~altri mezzi~~. Trasportabile.
Quasi esclusivamente carburanti fossili.

Tre tipi di energia:



Questi mezzi elettrici sono veramente "verdi"?

In che modo è prodotta l'energia elettrica necessaria per ricaricare le loro batterie?

Potenza del Sole al l.m.: **~98.000 TW**

Energia ricevuta dal Sole in 1 anno: $\sim 3 \cdot 10^{24}$ J

Energia ricevuta dal Sole nell'alta atmosfera: **~174.000 TW**

Consumo mondiale di energia TW (dati 2014)

Carbone	5,2	28,6%	} 81,3%
Petrolio	5,7	31,3%	
Gas	3,9	21,4%	
Legna, deiezioni animali	1,9	10,4%	
Idroelettricità	0,4	2,2%	
Energia nucleare	0,9	4,9%	
Solare, geotermica, marea	0,2	1,1%	

TOTALE

18,2 TW

Consumo ≠ Utilizzo

Efficienza media termica per produrre elettricità: ~31%

Energia elettrica prodotta da fonti fossili:

$$1,5 \text{ TW} / 0,31 = \boxed{4,8 \text{ TW}} \quad 4,8 - 1,5 \text{ TW} = \boxed{3,3 \text{ TW}}$$

Quantità di energia utilizzata (bruciata)

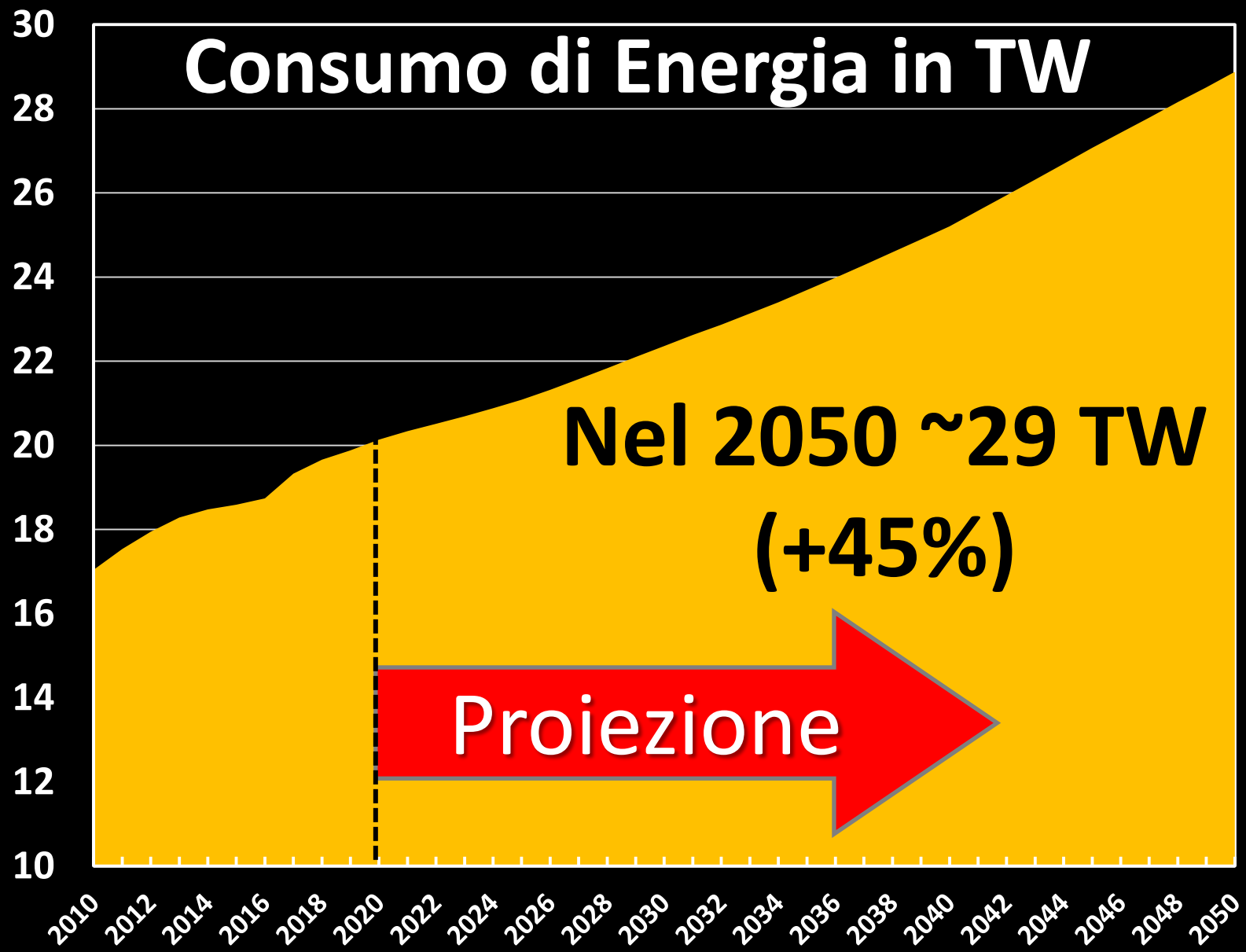
Risparmio energia con fonti rinnovabili assumendo 100% efficienza

Carbone	5,2	28,6%	} 81,3%
Petrolio	5,7	31,3%	
Gas	3,9	21,4%	
Legna, deiezioni animali	1,9	10,4%	
Idroelettricità	0,4	2,2%	
Energia nucleare	0,9	4,9%	
Solare, geotermica, marea	0,2	1,1%	

TOTALE

14,9 TW

Consumo di Energia in TW

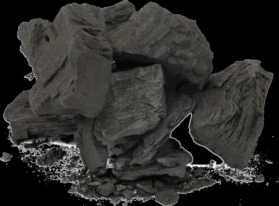


<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>

Consumi di energia:

Ogni uomo immagazzina (e spende, se non ingrassa) circa **114 W** (assumendo 2350 kcal/giorno). ➔ (FAO)

2350 kcal = 9,83 MJ. $9,83 \text{ MJ} / 86400 \text{ sec} = \sim 114 \text{ W}$

1 kg  $\sim 30 \text{ MJ} \rightarrow \sim 350 \text{ W} \rightarrow$ Lavoro di **7 schiavi**

In realtà in media la potenza disponibile di **uno schiavo** è **$\sim 50 \text{ W}$** .

Consumi di energia:

Ogni uomo immagazzina (e spende, se non ingrassa) circa **114 W** (assumendo 2350 kcal/giorno). ➔ (FAO)

$2350 \text{ kcal} = 9,83 \text{ MJ}$. $9,83 \text{ MJ} / 86400 \text{ sec} = \sim 114 \text{ W}$

$\sim 114 \text{ W} * 7.500.000.000$ abitanti della Terra = **0,85 TW**

0,85 TW su $\sim 18,2 \text{ TW}$ consumati nel mondo

Solo il $\sim 5\%$ dell'energia è consumata attraverso la bocca.

Consumi di energia:

Ogni uomo immagazzina (e spende, se non ingrassa) circa **114 W** (assumendo **2350 kcal/giorno**). → (FAO)

$2350 \text{ kcal} = 9,83 \text{ MJ}$. $9,83 \text{ MJ} / 86400 \text{ sec} = \sim 114 \text{ W}$

Produciamo in media cibo per **5930 kcal** per persona
~2,5 volte il cibo che serve.

Gli USA producono **>16.000 kcal**
per persona al giorno.

Consumi di energia:

Dove va questo eccesso di calorie prodotte?



Gli USA producono **>16.000 kcal**
per persona al giorno.

5930

Coltura edibile

3810

Erba da pascolo per animali

5600

Coltura edibile coltivata

340
Coltura edibile non coltivata

3810+1740 = 5550

5270

Coltura utilizzabile

330
Coltura persa durante la conservazione

590+4960 = 5550

2520

Coltura disponibile per cibo

1740
Alimentazione animali

810 Biocarburanti
130 Ripiantata

70
Perdita commercio internazionale

2520

Coltura disponibile per cibo

590 Perdita animale (calore e metano)

590
Carne e latticini

2790

Cibo a disposizione (vegetali, carne, latt.)

320
Perdite durante la preparazione e distribuzione

Kcal

2530

Cibo mangiato

260
Spreso domestico

(per persona al giorno)

2350

Energia necessaria

180
Eccesso di energia incamerata

<https://tinyurl.com/LancFoodPaper>

Michele Lustrino – Energetica terrestre

Uova e latticini ~18%

Fettina di carne ~3%

Entro il 2050: +23% consumo di carne e latticini (FAO)

3810
Erba da pascolo per animali

$$3810 + 1740 = 5550$$

$$590 + 4960 = 5550$$

1740
Alimentazione animali

590 **4960**
Perdita animale (calore e metano)

590
Carne e latticini

La resa energetica media dell'allevamento di bestiame è <11% (590 kcal prodotte a fronte di 5550 kcal utilizzate).

5930

Coltura edibile

**Oltre il 60% delle calorie producibili è
sprecato in qualche modo.**

**Con la produzione attuale si
potrebbero sfamare pienamente
oltre 1 miliardo di persone in più.**

2350

Energia
necessaria

Consumo globale di energia 1993-2018

In Equivalenti di
miliardi di tonnellate
di Petrolio

13,9 Gton

8,2 Gton

In 25 anni +69%
consumo di energia

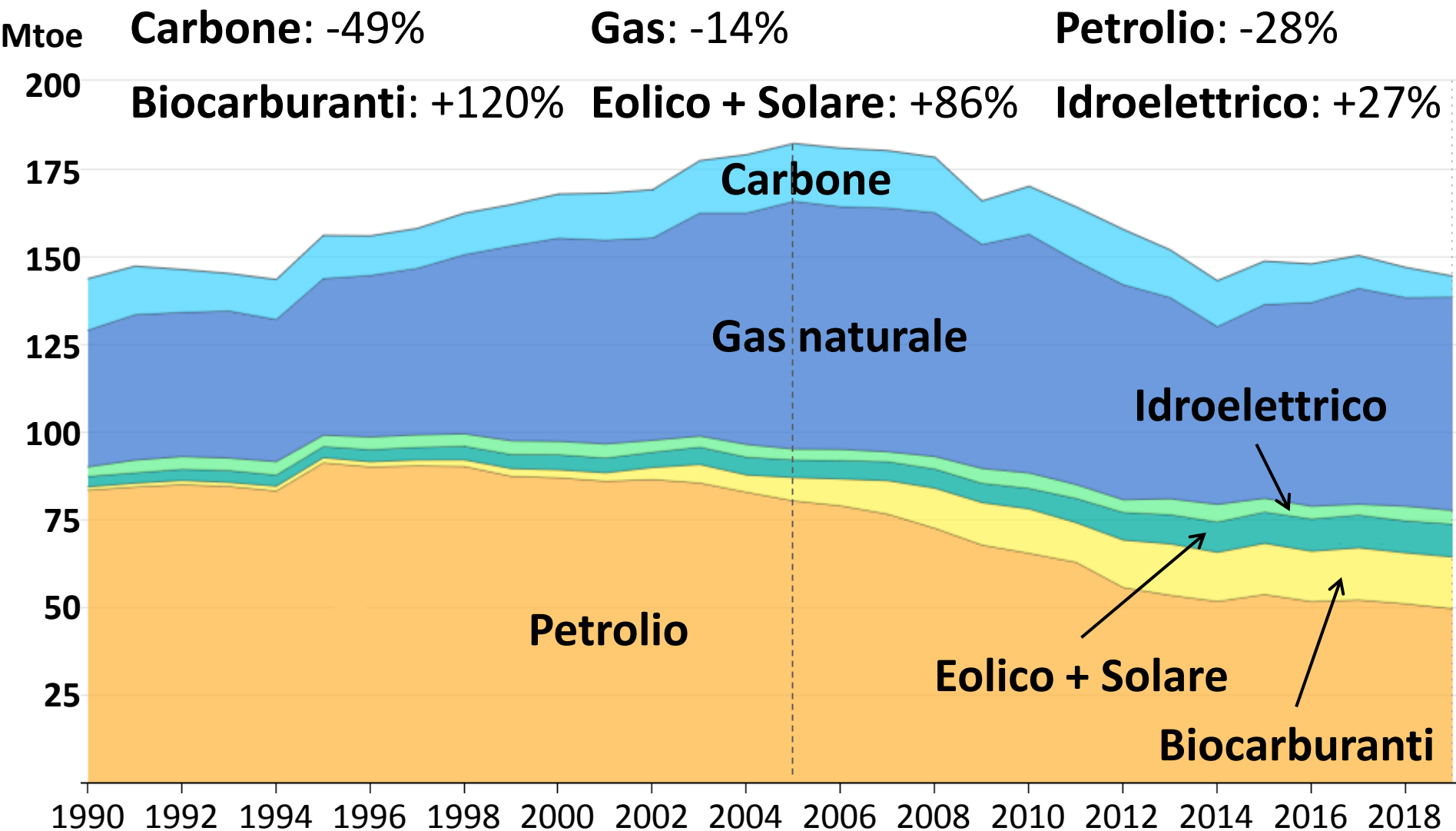
1° = Petrolio
2° = Carbone
3° = Gas

93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 0



Consumo italiano di energia 1990-2019

Dal 2005:



Consumo italiano di energia 1990-2019

Dal 2005:

Carbone: -49%

Gas: -14%

Petrolio: -28%

Biocarburanti: +120%

Eolico + Solare: +86%

Idroelettrico: +27%

Fonti Fossili

Fonti Rinnovabili

Nel 2005:

167,4 GToe

14,8 GToe

91,9%

8,1%

Nel 2019:

116,3 GToe

28,0 GToe

80,6%

19,4%

Tutto questo basta?

NO

È utile per il pianeta Terra?

NO

Siamo stati noi bravi?

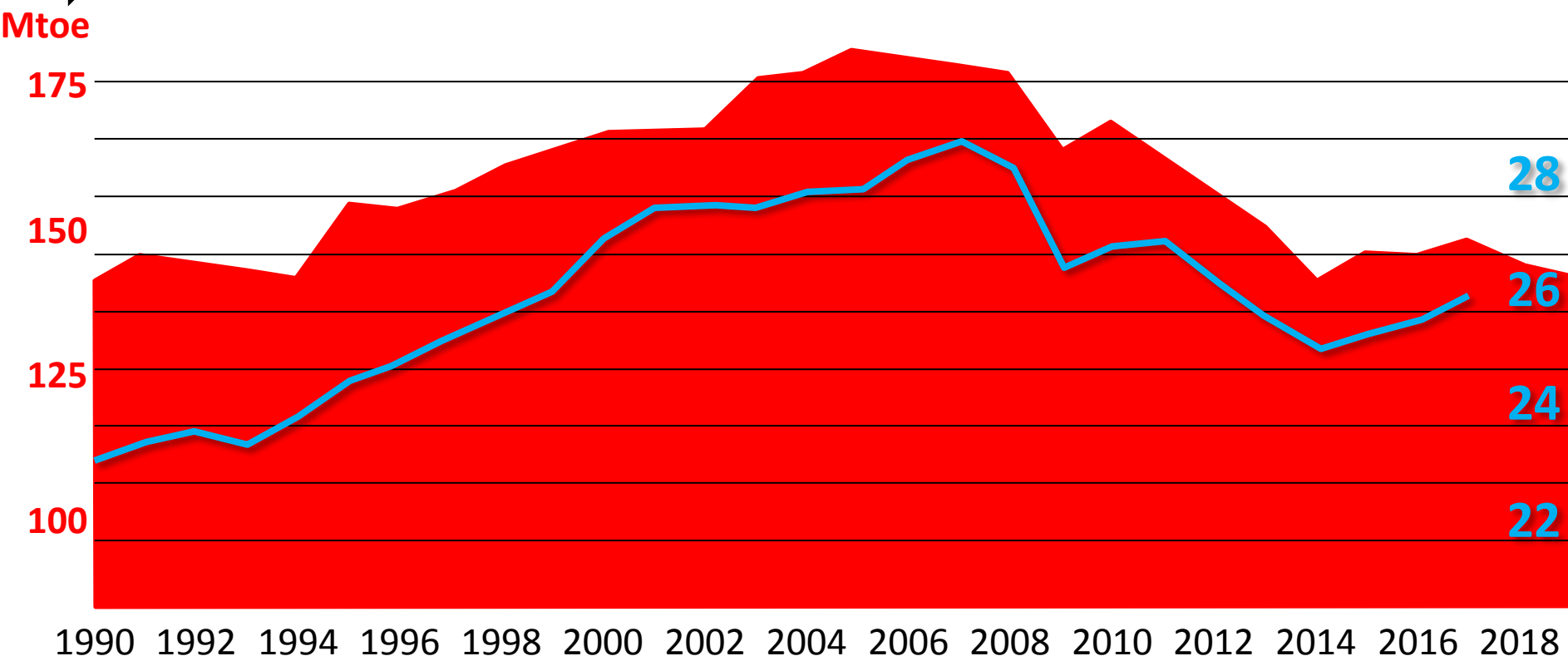
NO

Consumo italiano di energia 1990-2019

Consumo totale di energia in Italia (in milioni di ton di petrolio equivalente)

Prodotto interno lordo pro-capite (in k€) (dati ISTAT aggiornati al 2017)

 **Più migliorano le condizioni di vita più consumiamo (e inquiniamo)**



<http://seriestoriche.istat.it/fileadmin/documenti/Serie%20Storiche%20della%20Contabilit%C3%A0%20nazionale%201861-2017.zip>

<https://www.iea.org/countries/italy>

Michele Lustrino – Energetica terrestre

Il petrolio in cucina

Nel **1861** il **70%** della popolazione attiva in Italia lavorava nel settore agricolo



Nel **2017** **<2%** dei lavoratori in Italia era occupato nel settore agricolo.

Il lavoro svolto dagli uomini è ora rimpiazzato dall'energia fornita dai combustibili fossili.

Il petrolio in cucina



Schiavitù ufficialmente abolita negli USA nel 1865

https://www.wecanjob.it/archivio21_agricoltura-in-italia-numeri-e-tendenze-del-settore_0_255.html

Michele Lustrino – Energetica terrestre

Il petrolio in cucina

Paradosso moderno:



~1 miliardo di persone



~1,5 miliardi di persone

**L'agricoltura moderna è un'industria che
converte combustibili fossili in cibo.**

Il petrolio in cucina



Environment and History 3 (1997): 209-38

© 1997 The White Horse Press, Cambridge, UK.

‘Potatoes Made of Oil’: Eugene and Howard Odum
and the Origins and Limits of American Agroecology

MARK GLEN MADISON

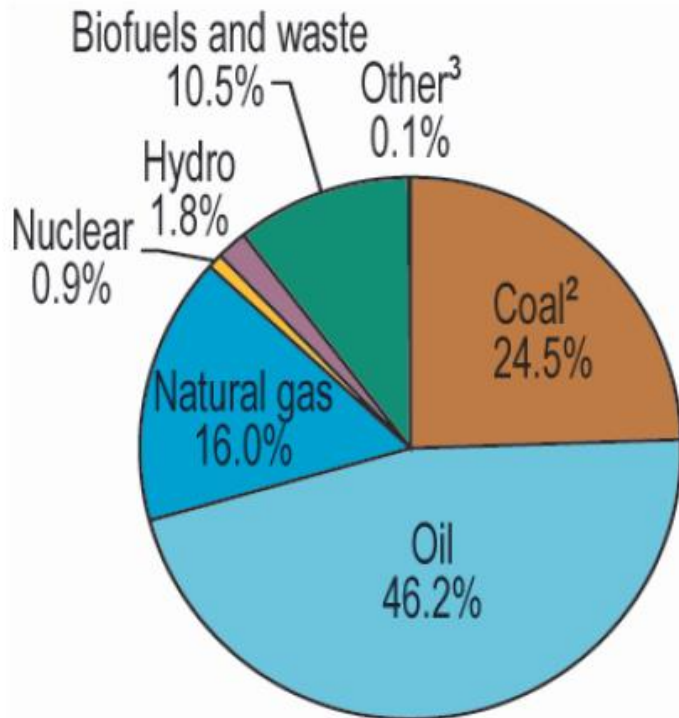
*Department of the History of Science
Science Center 235, Harvard University
1 Oxford Street, Cambridge, MA 02138, USA*

***Questo è un triste inganno per
l'uomo industriale. Lui non
mangia più patate fatte di
energia solare. Lui ora mangia
patate fatte in parte di petrolio.
(H.T. Odum, 1971)***

Produzione mondiale di energia in Mtoe (*Million Tons oil equivalent*)

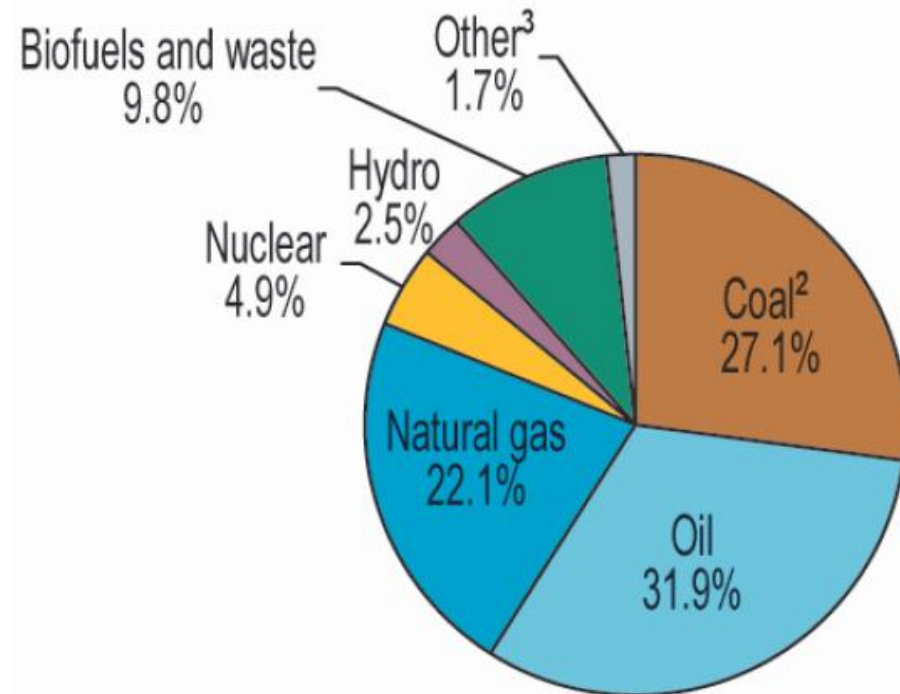
1973

2016



6.10 Mtoe

8,1 TW



13.76 Mtoe

18,2 TW

Produzione mondiale di energia in Mtoe (*Million Tons oil equivalent*)

1973

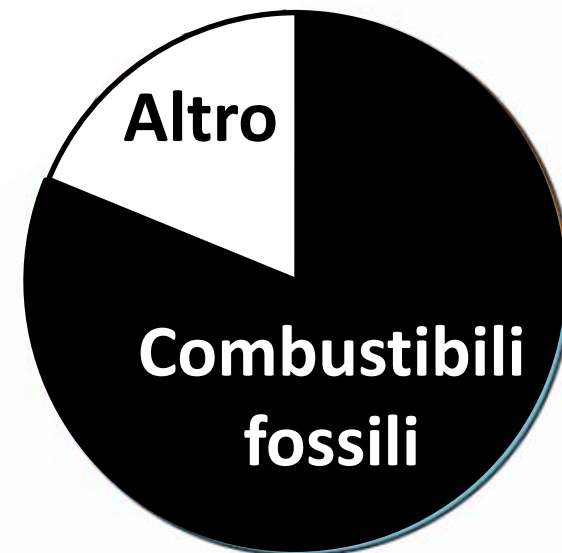
2016

In 43 anni le fonti energetiche sono rimaste praticamente le stesse



6.10 Mtoe
8,1 TW

Cosa è cambiato?

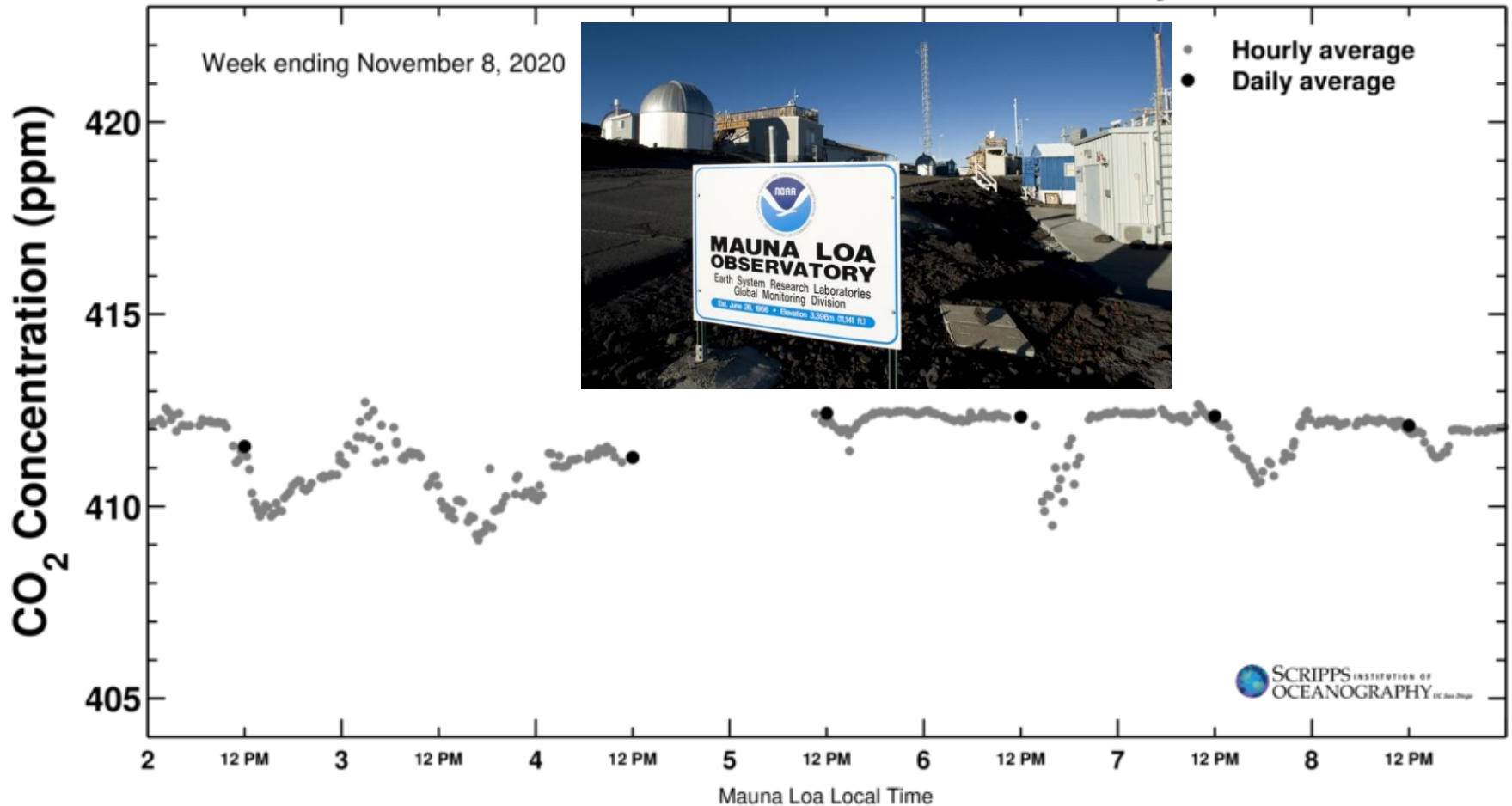


13.76 Mtoe
18,2 TW

Latest CO₂ reading: 412.10 ppm

November 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



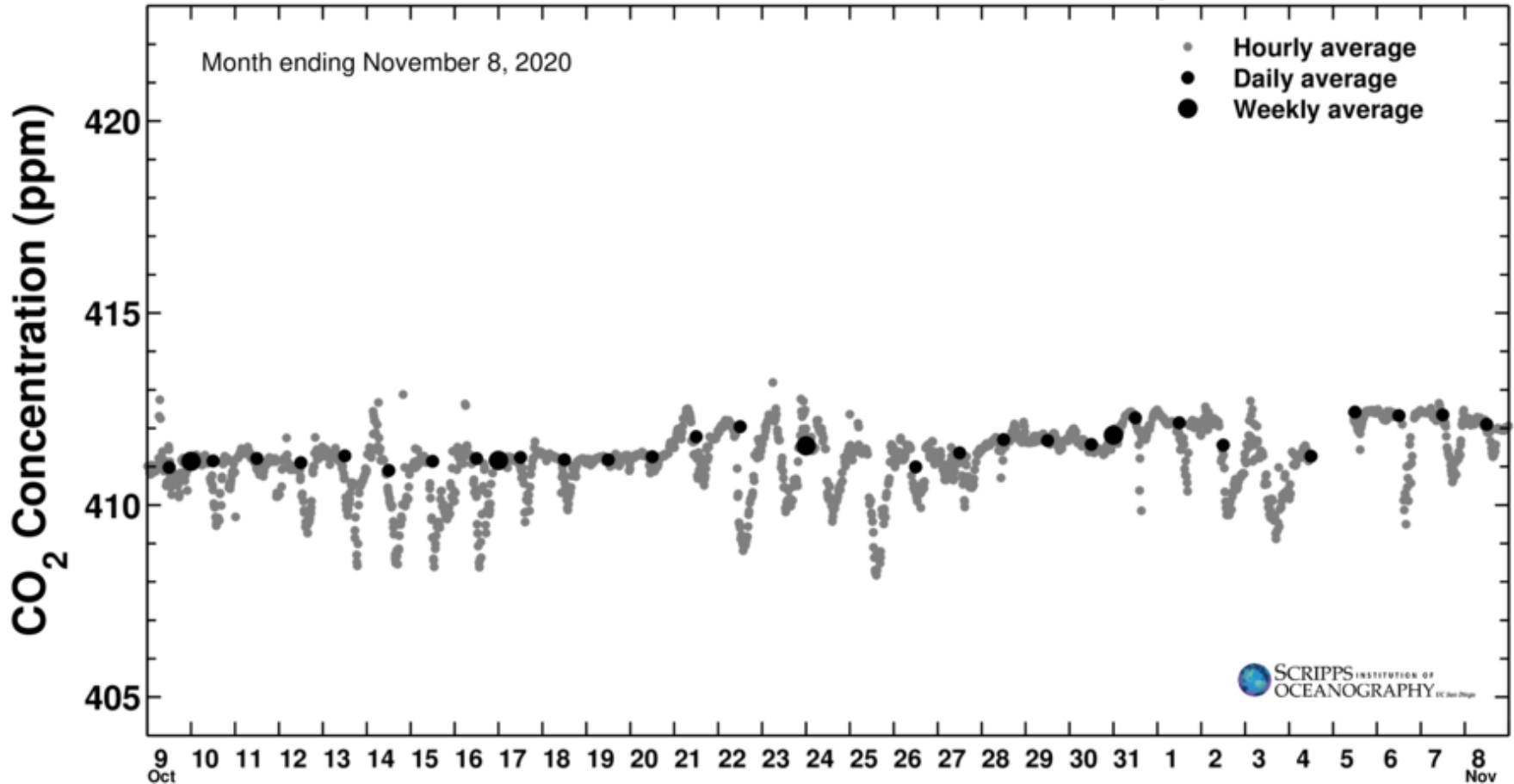
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Variazione settimanale

Latest CO₂ reading: **412.10 ppm**

November 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



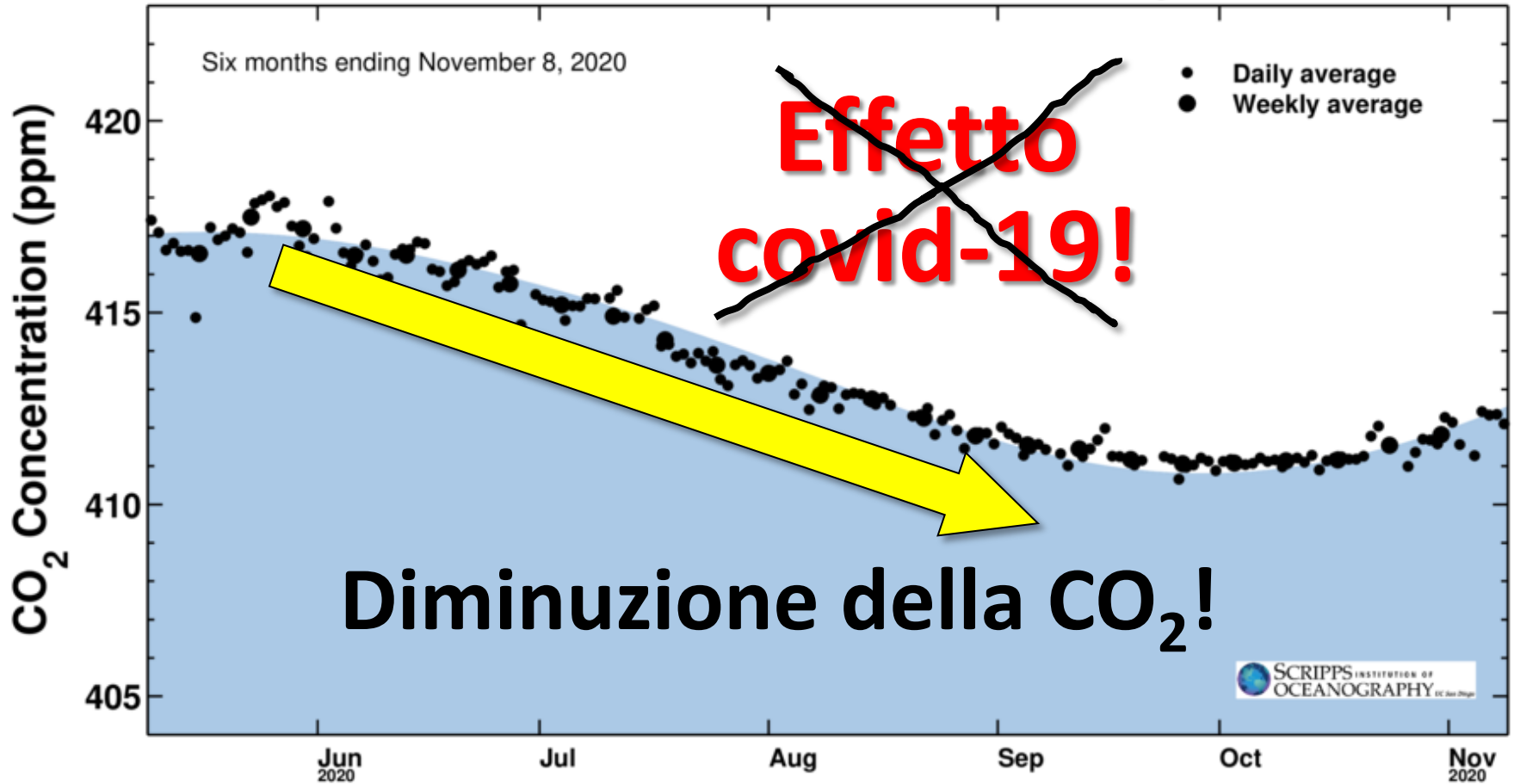
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Variazione mensile

Latest CO₂ reading: 412.10 ppm

November 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



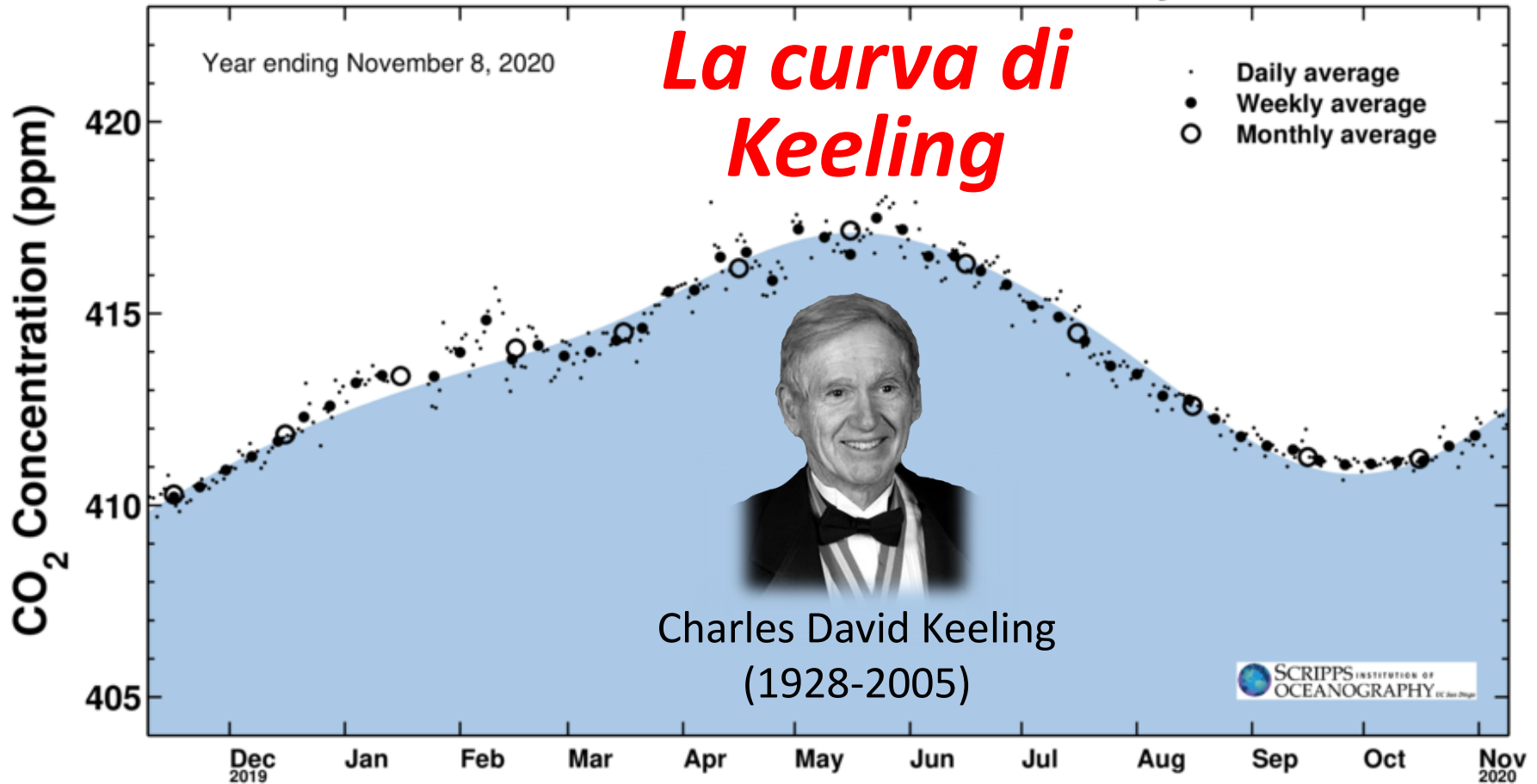
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Variazione semestrale

Latest CO₂ reading: 412.10 ppm

November 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



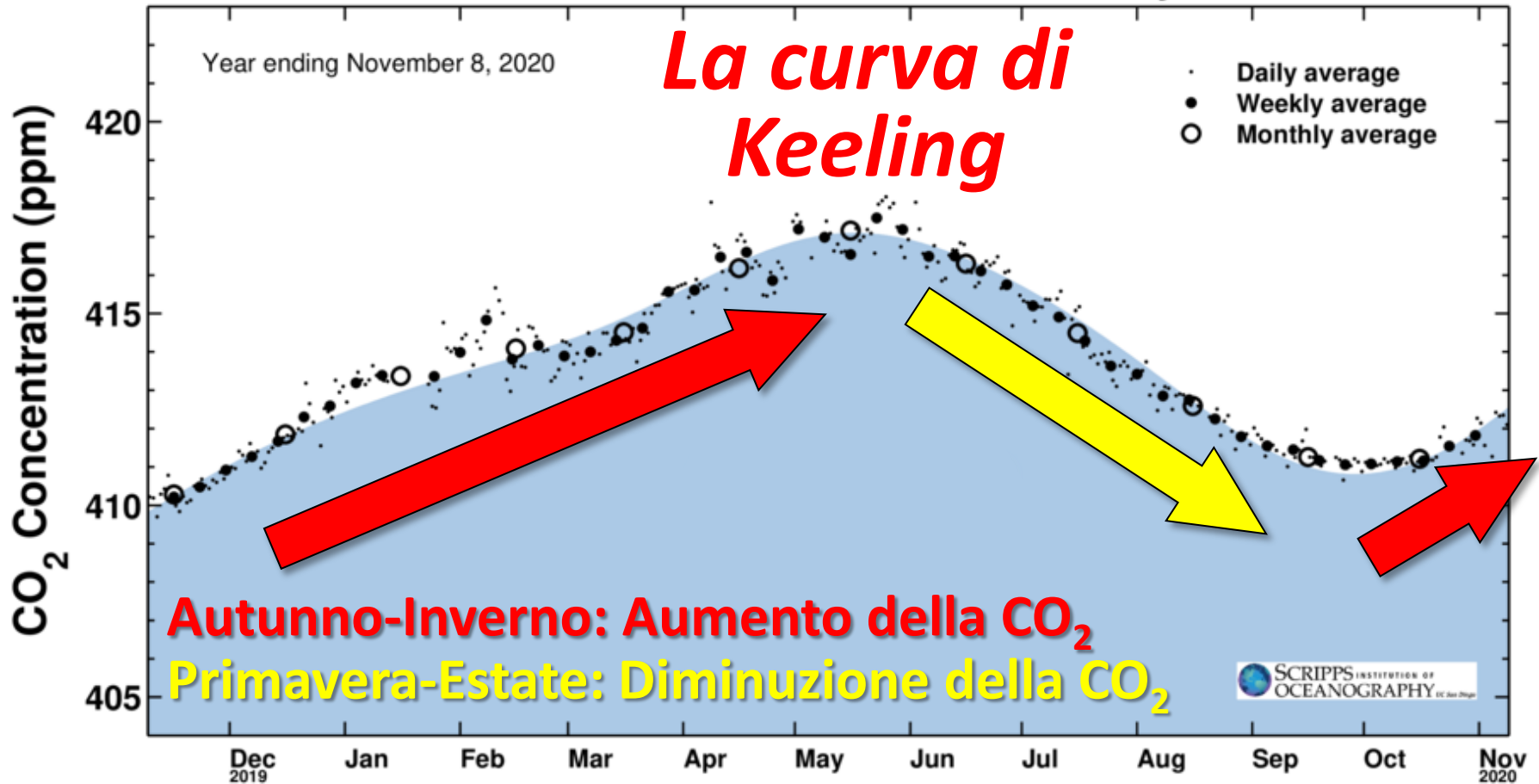
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Variazione annuale

Latest CO₂ reading: 412.10 ppm

November 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



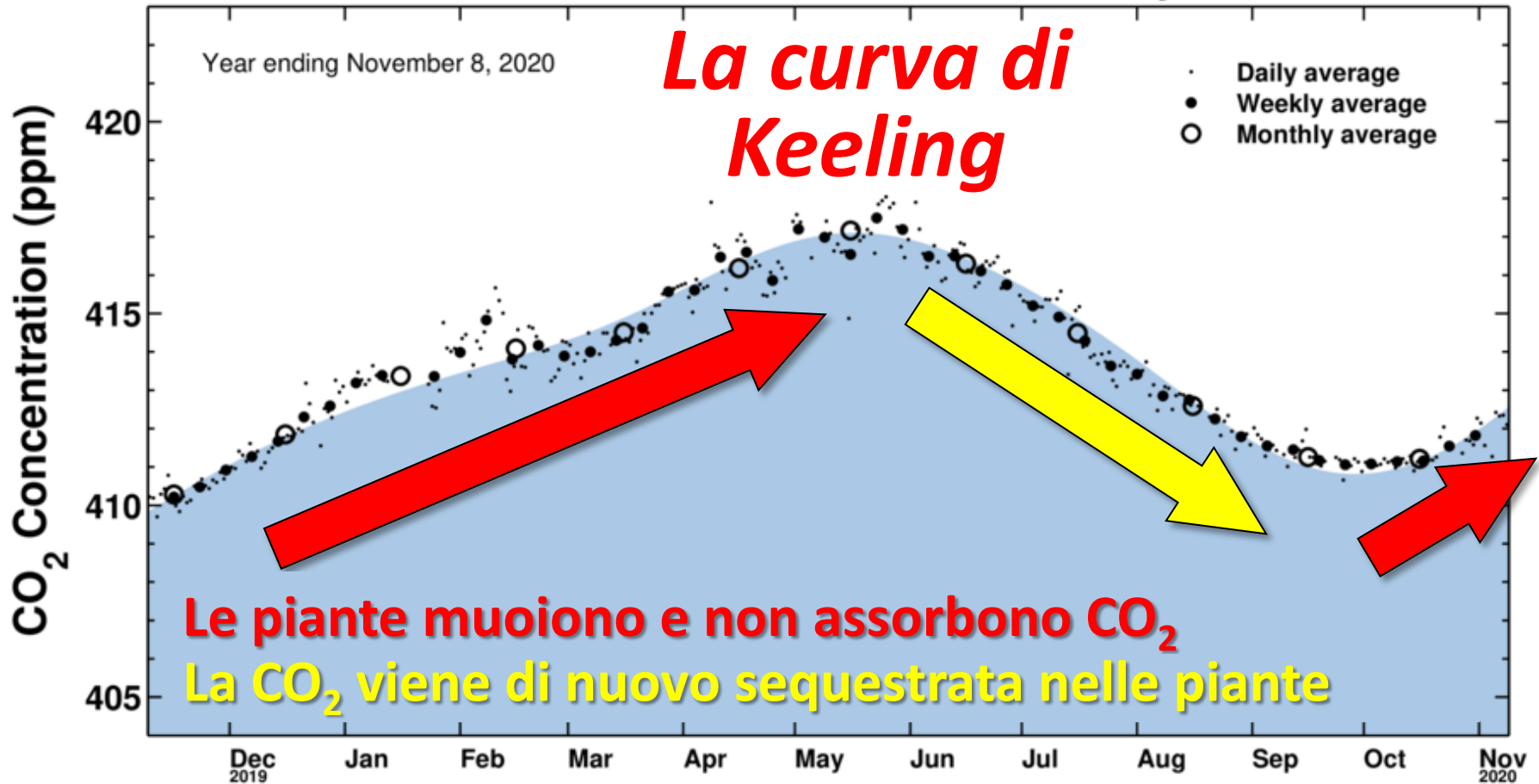
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Variazione annuale

Latest CO₂ reading: 412.10 ppm

November 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



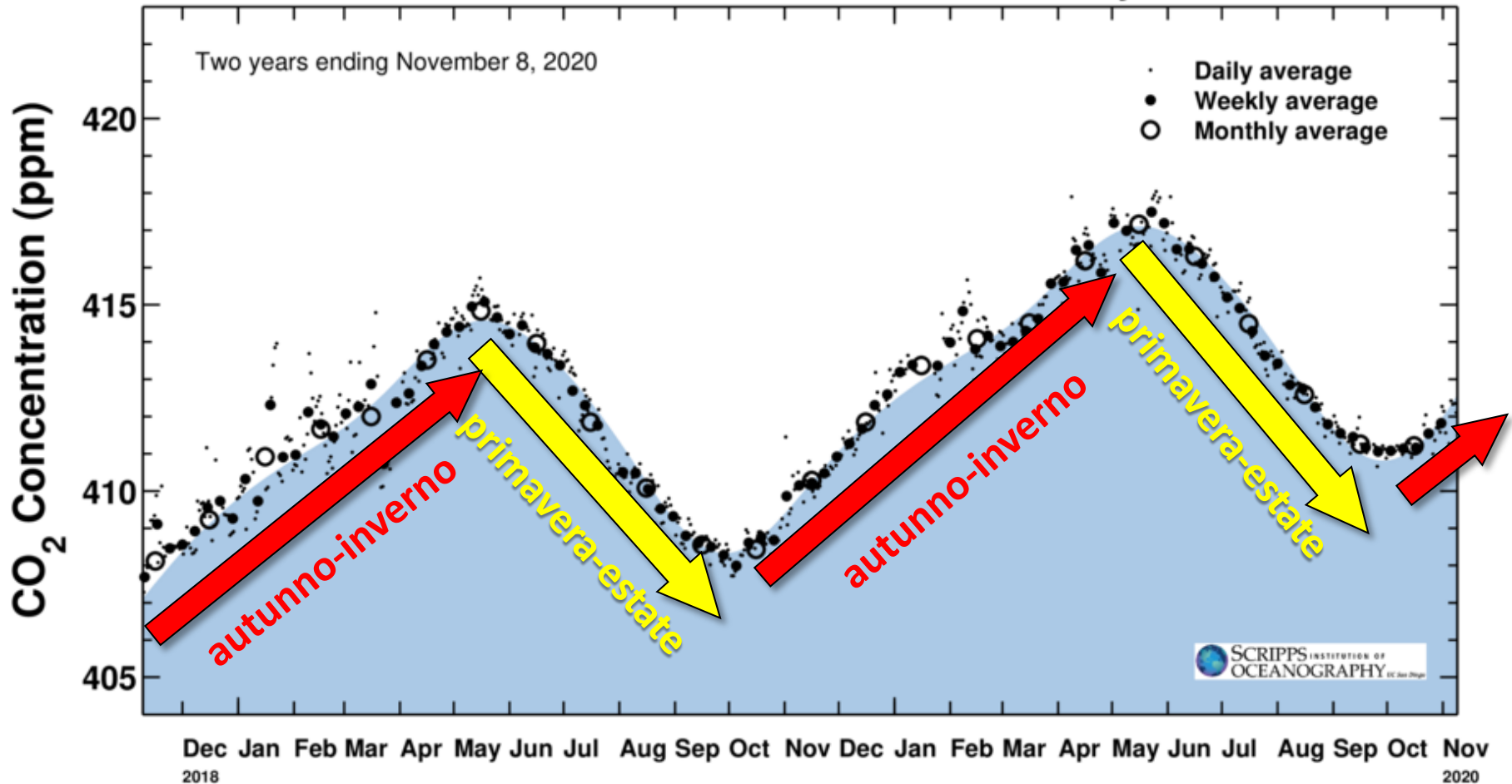
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Variazione annuale

Latest CO₂ reading: 412.10 ppm

November 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

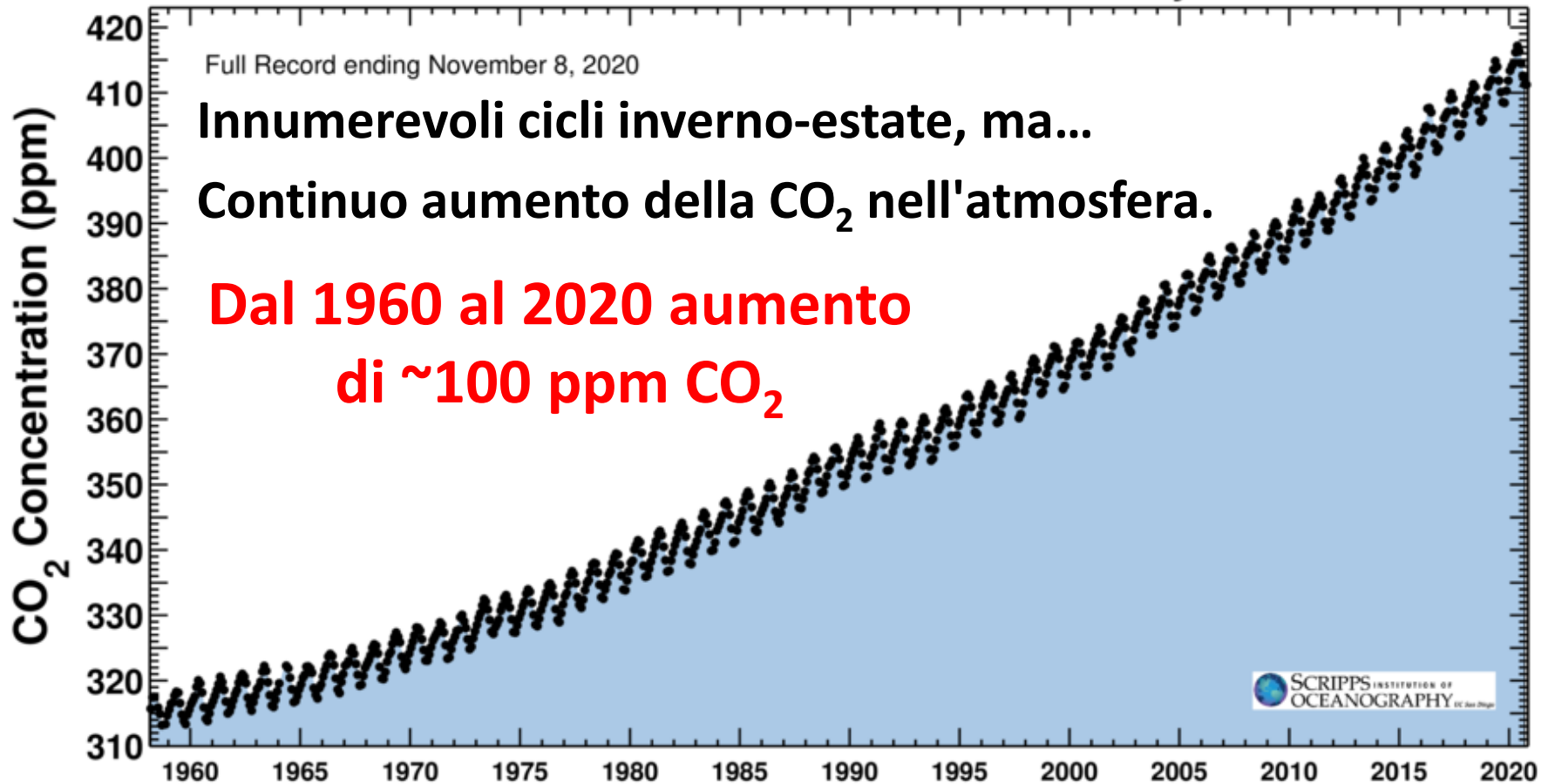
Variazione biennale

<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>

Latest CO₂ reading: **412.10 ppm**

November 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



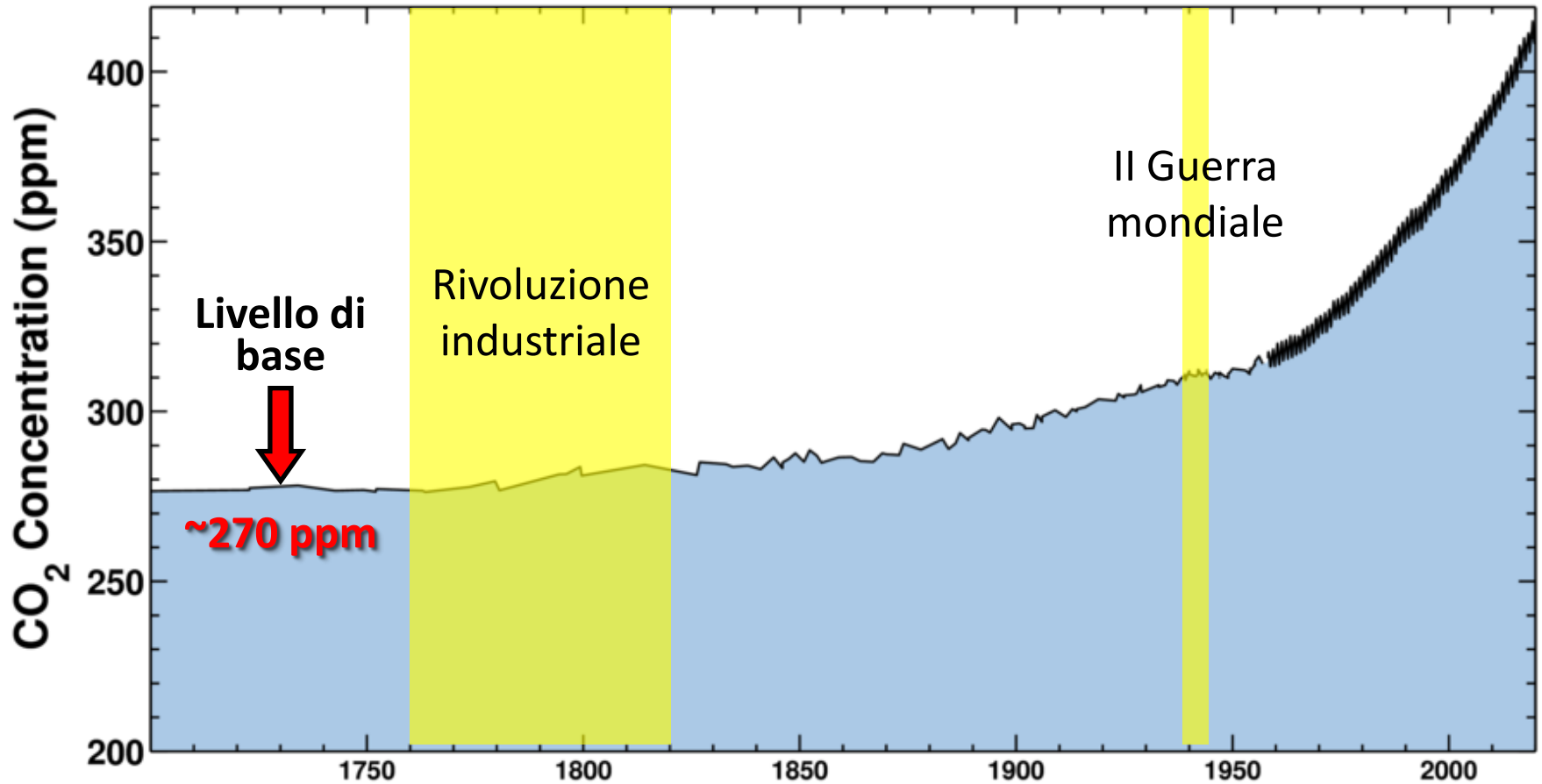
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Variatione 1958-2020

Latest CO₂ reading: **412.10 ppm**

November 08, 2020

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



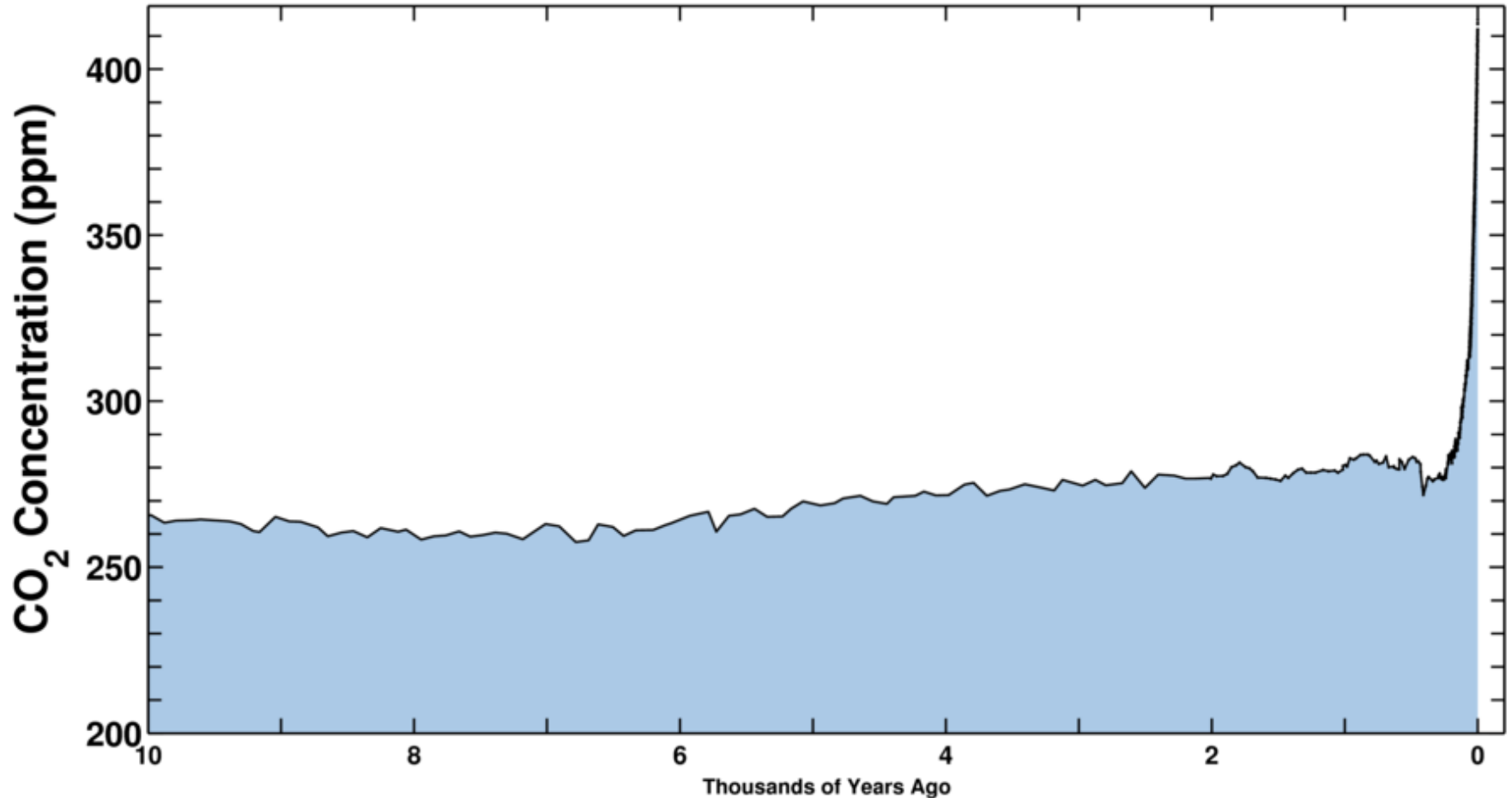
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Variazione 1700-2020

Latest CO₂ reading: **412.10 ppm**

November 08, 2020

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Ultimi 10.000 anni

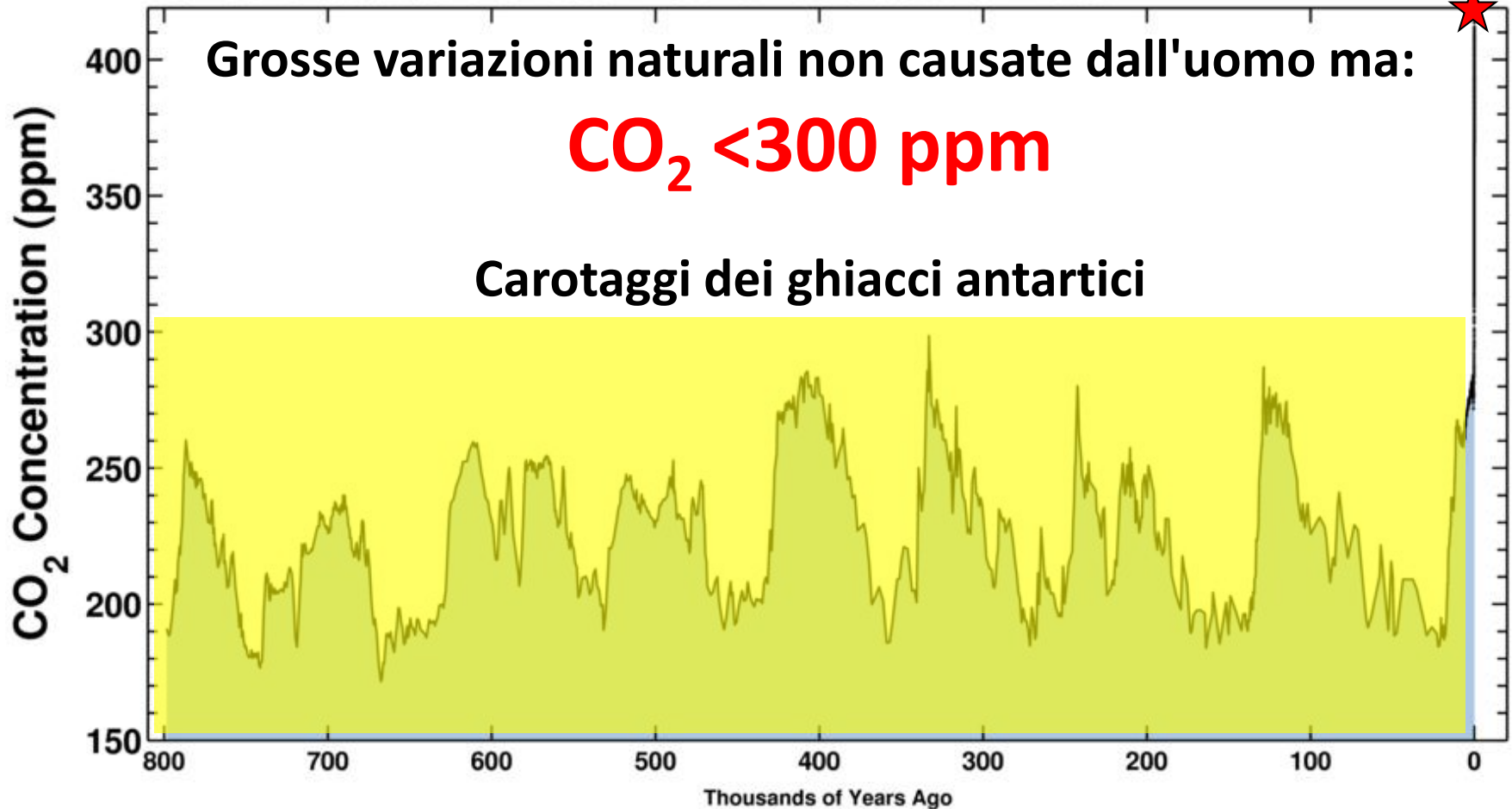
Latest CO₂ reading:

412.10 ppm

November 08, 2020

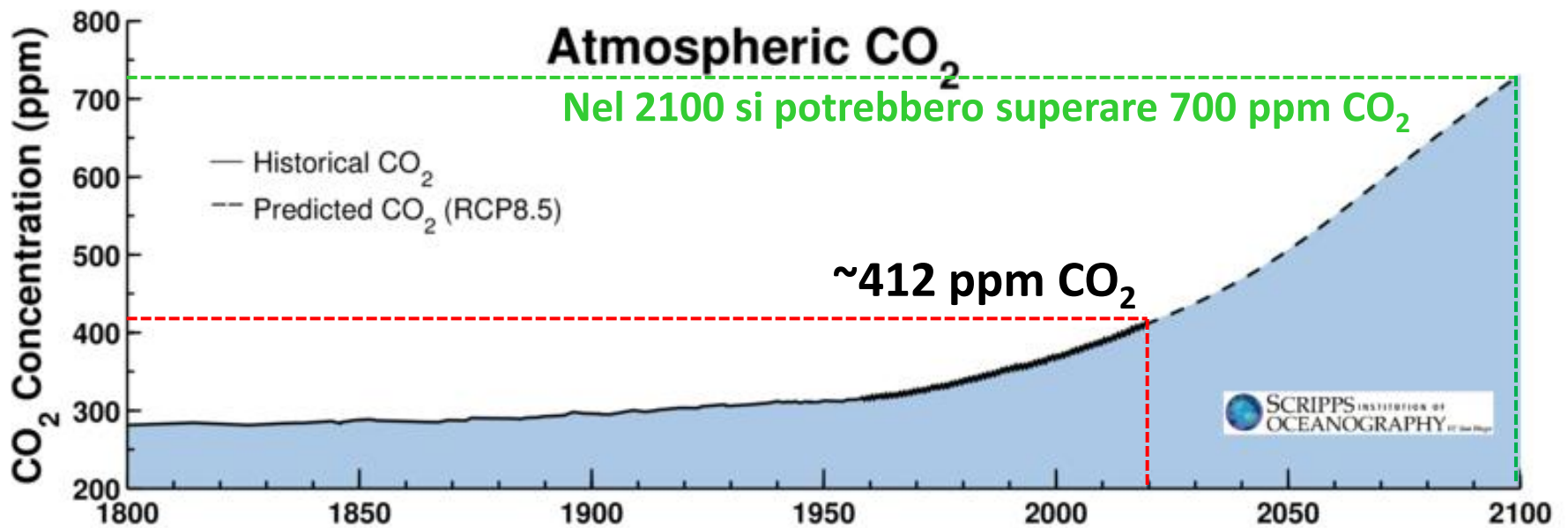
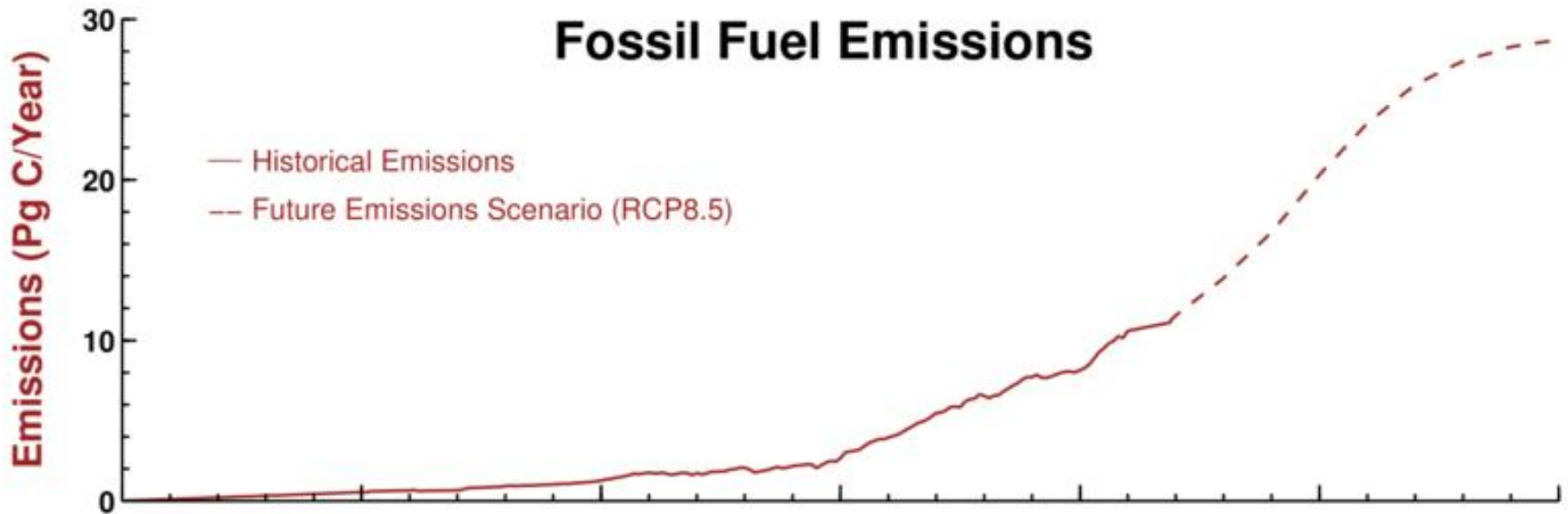
Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.

Oggi



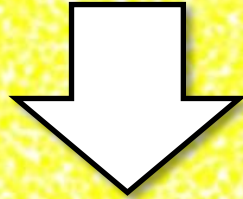
Parti per milione (100 ppm = 0,01%)

Ultimi 800.000 anni



Scenario futuro

- Molecole di aria (Azoto ~78%, Ossigeno ~21%, Argon ~1%)
- Molecole di CO₂ prima della rivoluzione industriale (0,027%)



~270 ppm di CO₂ (ppm = parti per milione)

Dividiamo tutto per 10

Quante molecole di CO₂ c'erano ogni 100mila molecole d'aria?

27

(Contate quante palline rosse ho disegnato)

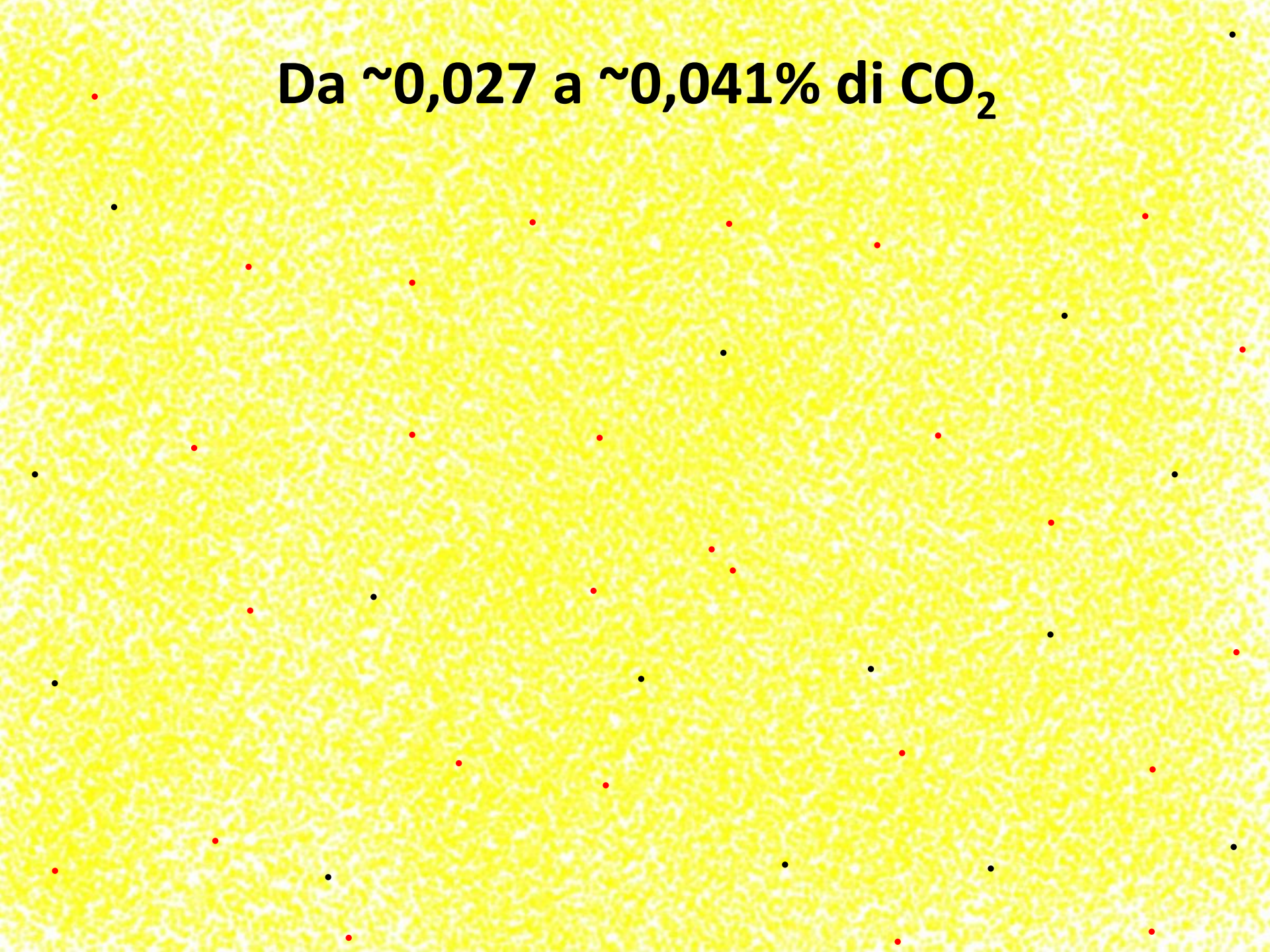
- Molecole di aria (Azoto ~78%, Ossigeno ~21%, Argon ~1%)
- Molecole di CO₂ **dopo** della rivoluzione industriale (0,027%)
- Molecole di CO₂ di origine antropica (per arrivare a un tot di 0,041%)

Da ~27 pallini (molecole di CO₂) ogni 100mila ora ce ne sono ~41

Possibile che una variazione così piccola di quantitativo di CO₂ abbia questi effetti così rilevanti sulla temperatura media della Terra?

Sì

Da ~0,027 a ~0,041% di CO₂



Take home message

- Consumiamo troppo.
- Consumiamo male.
- Sprechiamo tanto.
- Le fonti energetiche rinnovabili non potranno mai essere fonti continue e hanno una bassa densità di energia.
- Ogni fonte energetica ha i suoi pro e contro (*economicità, disponibilità, trasportabilità, conservazione, impatto ambientale, etc*).
- Futuro necessariamente senza fonti fossili.
- Inquinare di meno vuol dire consumare di meno. Passare a fonti rinnovabili può non bastare.
- Consumare meno vuol dire meno comodità.
- Dovremo diventare vegani?



MASSIMO NICOLAZZI
ELOGIO DEL PETROLIO
ENERGIA E DISUGUAGLIANZA DAL MAMMUT ALL'AUTO ELETTRICA



2020

Key world energy statistics
Also available on smartphones and tablets

International Energy Agency
2018

WIKIPEDIA
L'enciclopedia libera

Piero Martin
Alessandra Viola
L'era dell'atomo

2014
nanotecnologie

THE EARTH AS A CRADLE FOR LIFE
The origin, evolution and future of the environment

Frank D Stacey • Jane H Hodgkinson

2013
World Scientific

Nicola Armaroli
Vincenzo Balzani
Energia per l'astronave Terra
Nuova edizione aggiornata e ampliata con gli scenari energetici per l'Italia di domani



Vincitore del premio letterario
Galileo
per la divulgazione scientifica
2011
CHIAVI DI LETTURA **ZANICHELLI**

"a massively entertaining compendium ... also massively important" - Bill McKibben

THERE IS NO PLANET B
A Handbook for the Make or Break Years

2019
Mike Berners-Lee

SECOND EDITION
EARTH
Evolution of a Habitable World
JONATHAN I. LUNINE

2013

BP Statistical Review of World Energy
2019 | 68th edition

2019

Francis F. Chen

An Indispensable Truth
How Fusion Power Can Save the Planet

2011
Springer

