

4° Festival della nonviolenza e della resistenza civile

*Emergenza climatica ed ecologica: perché
l'opzione nucleare non esiste*

Francesco Gonella

Università Ca' Foscari Venezia

gonella@unive.it





Bonn, 1979

NARRATIVA

- Il nucleare è pulito
- Il nucleare è economico
- Il nucleare è sicuro
- Il nucleare è equo
- Il nucleare non ha alternative
- Il nucleare favorisce una transizione energetica economicamente più accettabile
- Il nucleare moderno non ha i problemi di quello "vecchio"
- Il nucleare è "raccomandato" dalla scienza

NARRATIVA

- Il nucleare è pulito
- Il nucleare è economico
- Il nucleare è sicuro
- Il nucleare è equo
- Il nucleare non ha alternative
- Il nucleare favorisce una transizione energetica economicamente più accettabile
- Il nucleare moderno non ha i problemi di quello "vecchio"
- Il nucleare è "raccomandato" dalla scienza

MONDO REALE

- Il nucleare non è per nulla pulito
- Il nucleare è incredibilmente costoso
- Il nucleare è inaccettabilmente pericoloso
- Il nucleare è profondamente iniquo
- Non solo le ha, ma è lui a non costituire un'alternativa
- Il nucleare non favorisce alcuna transizione energetica
- Quale nucleare "moderno"?
- No, semmai dalla politica e dall'ignoranza

Il nucleare NON è pulito

TECNOLOGIA	CICLO DI VITA	EMISSIONI DI ATTESA RELATIVA	TOTALE	EMISSIONI RISPETTO A EOLICO ON-SHORE
	<i>in g CO₂-eq per kWh prodotto</i>			
Eolico on-shore (a terra)	7-11	-	7-11	1
Eolico off-shore (in mare aperto)	9-17	-	9-17	1,4
Solare a concentrazione	8-24	-	8-24	1,8
Solare PV (impianto)	10-29	-	10-29	2,2
Solare PV (tetto)	15-34	-	15-34	2,6
Maree	10-20	4-16	14-36	2,8
Geotermico	15-55	14-21	29-76	5,8
Idroelettrico	17-22	41-61	58-83	7,8
Nucleare	9-70	64-102	73-172	13,6
Biomasse	43-1730	36-51	79-1781	103,3

fonte: Stanford University

EMISSIONI DI UNA FONTE ENERGETICA

- Emissioni durante il ciclo di vita
- Emissioni dovute al costo relativo di opportunità
- Emissioni antropogeniche di calore
- Emissioni antropogeniche di vapore acqueo
- Emissioni da perdite di carbonio sequestrato
- Emissioni da coperture di suolo

EMISSIONI DI UNA FONTE ENERGETICA

- Emissioni durante il ciclo di vita
- Emissioni dovute al costo relativo di opportunità
- Emissioni antropogeniche di calore
- Emissioni antropogeniche di vapore acqueo
- Emissioni da perdite di carbonio sequestrato
- Emissioni da coperture di suolo

The planning-to-operation (PTO) times of all nuclear plants ever built have been 10-19 years or more. Finland longer

Utility-scale wind and solar farms, on the other hand, take on average only 2 to 5 years, from the planning phase to operation. Rooftop solar PV projects are down to only a 6-month timeline.

$$E_{OC} = E_{BR,H} - E_{BR,L}$$

$E_{BR,H}$ = Background emissions (g-CO₂e/kWh) technology with longer delays

$E_{BR,L}$ = Background emissions (g-CO₂e/kWh) technology with shorter delays

$$E_{BR} = E_G \times [(T_{PO} + (Y - T_{PO}) \times T_R / (L + T_R))] / Y$$

E_G = Emission intensity of background grid (g-CO₂e/kWh)

T_{PO} = Time (years) between planning and operation of a technology

Y = Number of years of interest (e.g., 100 y)

L = Operating life of technology (years) before refurbishment

T_R = Time (years) to refurbish a technology

Il nucleare NON è economico

1) l'energia prodotta dagli impianti nucleari (anche prendendo a riferimento solo le tecnologie nucleari più nuove) costa molto di più quella prodotta da impianti eolici on-shore o fotovoltaici

2) NESSUN PRIVATO AL MONDO INVESTE DIRETTAMENTE SUL NUCLEARE

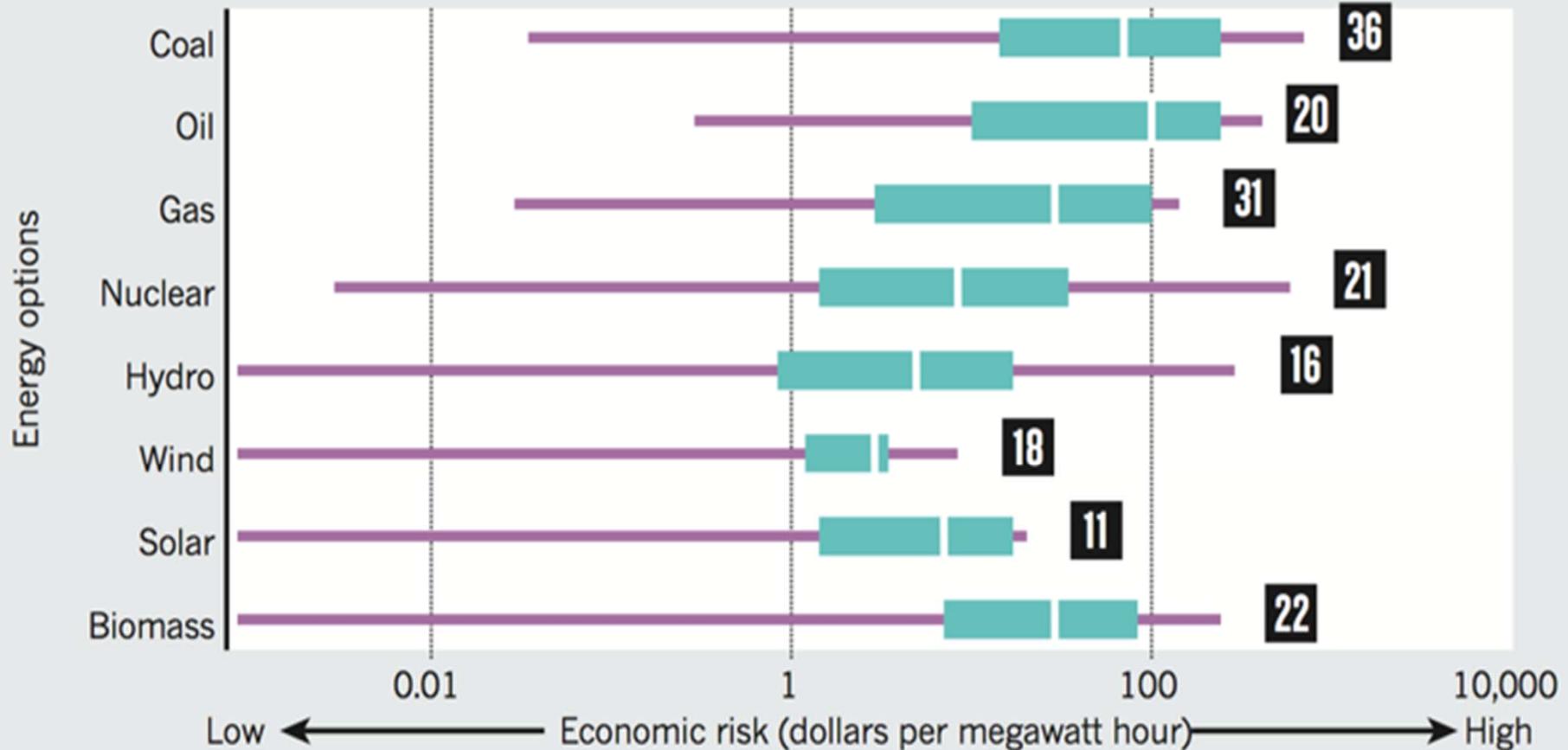
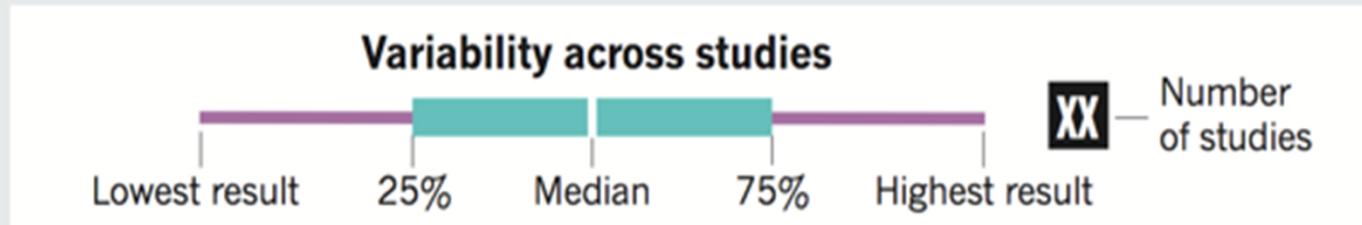
Allestimento e smantellamento di una centrale nucleare richiedono investimenti tali da poter essere supportati solo dai governi

3) LE CASE ASSICURATRICI RIFIUTANO DI STIPULARE POLIZZE SUGLI IMPIANTI

Il governo statunitense ha fissato a 300 milioni di dollari la cifra massima stipulabile per un'assicurazione in questo campo. Il solo costo di sgombero del materiale contaminato dai sei reattori dell'area di Fukushima è stimato tra i 460 e i 640 miliardi di dollari, equivalenti a circa 1,2 miliardi di dollari per ogni reattore nucleare operante oggi nel mondo

THE PERILS OF 'SCIENCE-BASED' ADVICE

A survey of 63 peer-reviewed studies of health and environmental risks associated with energy technologies. Individual studies offer conclusions with surprisingly narrow uncertainty ranges, yet together the literature offers no clear consensus for policy makers.



Paese	Costo elettricità (Euro/kWh)	% produzione da nucleare
Danimarca	0.31	0
Germania	0.30	18
Belgio	0.28	54
Italia	0.23	0
Francia	0.17	78
Norvegia	0.16	0
Olanda	0.16	4

fonti: Sorgenia, Unione Europea

Paese	Costo elettricità (Euro/kWh)	% produzione da nucleare
Danimarca	0.31	0
Germania	0.30	18
Belgio	0.28	54
Italia	0.23	0
Francia	0.17	78
Norvegia	0.16	0
Olanda	0.16	4

fonti: Sorgenia, Unione Europea

Sta per trovare finalmente collocazione il deposito nucleare italiano, destinato a ospitare le scorie radioattive delle 3 centrali italiane di cui il referendum del 1987 decretò la chiusura. Sono previsti 4 anni di cantiere, con una spesa di 900 milioni di euro, e 700 unità di personale durante la fase di esercizio del deposito. Risorse pubbliche destinate negli anni a venire a gestire il prodotto di 3 centrali nucleari chiuse e dismesse da 35 anni

UK
FRA
ITA

Net imports of energy, in selected years, 2008-2018

	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2008	2010	2012	2014	2016	2018
	(million tonnes of oil equivalent)						(tonnes of oil equivalent per inhabitant)					
EU-27	959.9	895.4	844.2	798.5	842.9	885.8	2.2	2.0	1.9	1.8	1.9	2.0
Belgium	55.7	53.6	46.1	47.1	47.8	52.9	5.2	4.9	4.2	4.2	4.2	4.6
Bulgaria	10.5	7.2	6.8	6.3	7.1	6.9	1.4	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0
Czechia	12.7	11.5	11.0	12.7	13.7	16.0	1.2	1.1	1.0	1.2	1.3	1.5
Denmark	-4.4	-3.4	-0.5	2.2	2.7	4.5	-0.8	-0.6	-0.1	0.4	0.5	0.8
Germany	210.7	204.6	199.7	197.0	205.8	201.0	2.1	2.5	2.5	2.4	2.5	2.4
Estonia	1.6	0.9	1.2	0.7	0.5	0.0	1.2	0.7	0.9	0.5	0.4	0.0
Ireland	14.4	13.2	11.8	11.7	10.4	10.1	3.2	2.9	2.6	2.5	2.2	2.1
Greece	25.2	21.3	19.4	16.9	18.5	18.4	2.3	1.9	1.8	1.5	1.7	1.7
Spain	122.8	106.7	100.1	91.5	94.0	100.8	2.7	2.3	2.1	2.0	2.0	2.2
France	139.3	132.3	128.7	119.0	121.7	119.5	2.2	2.0	2.0	1.8	1.8	1.8
Croatia	5.4	4.4	4.4	3.6	4.2	4.6	1.3	1.0	1.0	0.8	1.0	1.1
Italy	155.3	148.5	132.0	115.0	121.5	121.9	1.4	2.5	2.2	1.9	2.0	2.0
Cyprus	3.1	3.0	2.6	2.3	2.6	2.7	4.6	3.6	3.1	2.7	3.1	3.1
Latvia	2.9	2.2	2.7	1.9	2.2	2.1	1.3	1.0	1.3	1.0	1.1	1.1
Lithuania	5.4	5.7	5.8	5.3	5.6	5.9	1.7	1.8	1.9	1.8	1.9	2.1
Luxembourg	4.5	4.5	4.3	4.1	4.0	4.3	9.3	9.0	8.3	7.4	7.0	7.1
Hungary	17.0	15.1	12.4	14.3	14.3	15.5	1.7	1.5	1.3	1.4	1.5	1.6
Malta	1.9	2.4	2.2	2.1	2.5	3.0	4.6	5.7	5.2	4.8	5.5	6.3
Netherlands	33.1	28.3	28.9	27.2	41.2	53.2	2.0	1.7	1.7	1.6	2.4	3.1
Austria	23.7	21.9	21.5	21.6	21.1	21.8	2.8	2.6	2.6	2.5	2.4	2.5
Poland	30.4	32.1	31.0	27.9	31.0	48.0	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	1.3
Portugal	21.8	18.7	18.2	16.4	17.5	18.8	2.1	1.8	1.7	1.6	1.7	1.8
Romania	11.0	7.5	7.9	5.3	7.0	8.2	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
Slovenia	4.3	3.6	3.6	3.0	3.3	3.6	2.2	1.8	1.8	1.4	1.6	1.8
Slovakia	12.0	11.4	10.2	9.8	9.9	10.9	2.2	2.1	1.9	1.8	1.8	2.0
Finland	19.8	18.1	16.2	17.2	15.8	15.8	3.7	3.4	3.0	3.2	2.9	2.9
Sweden	19.8	19.9	15.8	16.5	17.0	15.4	2.2	2.1	1.7	1.7	1.7	1.5
United Kingdom	58.7	62.6	88.8	89.0	67.8	66.5	1.0	1.0	1.4	1.4	1.0	1.0
Iceland	1.2	0.8	0.8	0.8	1.1	1.3	3.9	2.4	2.5	2.6	3.2	3.7
Norway	-187.7	-175.1	-175.7	-166.9	-179.4	-175.8	-39.6	-36.1	-35.2	-32.7	-34.4	-33.2
Montenegro	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.9	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5
North Macedonia	1.4	1.3	1.4	1.4	1.6	1.5	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7
Albania	1.1	0.6	0.3	0.7	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Serbia	6.4	5.2	4.1	3.7	4.6	5.4	0.9	0.7	0.6	0.5	0.6	0.8
Turkey	72.5	74.7	89.3	94.1	106.1	110.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.3	1.4
Bosnia and Herzegovina	:	:	:	1.7	2.1	1.8	:	:	:	:	:	:
Kosovo*	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.3	0.3	:	:	0.4	0.4
Moldova	0.1	2.0	1.9	1.9	2.0	2.2	0.0	0.6	0.5	0.5	:	:
Ukraine	57.3	41.9	38.5	27.4	27.7	32.3	1.2	0.9	0.8	0.6	0.6	0.8
Georgia	:	:	:	3.2	3.5	3.8	:	:	:	0.7	1.0	1.0

* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data codes: nrg_bal_s and demo_pjan)

eurostat 

Tavola 2 - Importazioni nette di energia, in anni selezionati, 2008-2018

Fonte: Eurostat (nrg_bal_s) e (demo_pjan)

Il nucleare NON è sicuro



Il nucleare NON è sicuro

L'attestazione di sicurezza per un impianto viene fornita dai costruttori dell'impianto stesso, cioè gli ingegneri nucleari. Ma sicurezza ingegneristica non significa sicurezza.

Si parla solo di **sicurezza** e quasi mai di **rischio**. Sicurezza e rischio sono due concetti diversi.

Il nucleare NON è sicuro

L'attestazione di sicurezza per un impianto viene fornita dai costruttori dell'impianto stesso, cioè gli ingegneri nucleari. Ma sicurezza ingegneristica non significa sicurezza.

Si parla solo di **sicurezza** e quasi mai di **rischio**. Sicurezza e rischio sono due concetti diversi.

RISCHIO: prodotto della frequenza di accadimento di qualcosa per la gravità delle sue conseguenze:

Supponiamo che venga stimata una probabilità X che un certo evento accada. Da un punto di vista probabilistico, la probabilità reale dell'accadimento non è X , bensì $[(X \times PX) + (PY \times Y)]$, vale a dire X moltiplicato per la probabilità PX che la sua stima sia corretta, più la probabilità PY che la stima sia sbagliata moltiplicato per la probabilità Y che l'evento accada se la stima è -appunto- sbagliata.

Il nucleare NON è sicuro

L'attestazione di sicurezza per un impianto viene fornita dai costruttori dell'impianto stesso, cioè gli ingegneri nucleari. Ma sicurezza ingegneristica non significa sicurezza.

Si parla solo di **sicurezza** e quasi mai di **rischio**. Sicurezza e rischio sono due concetti diversi.

RISCHIO: prodotto della frequenza di accadimento di qualcosa per la gravità delle sue conseguenze:

Supponiamo che venga stimata una probabilità X che un certo evento accada. Da un punto di vista probabilistico, la probabilità reale dell'accadimento non è X , bensì $[(X \times PX) + (PY \times Y)]$, vale a dire X

Urgenza

Risk (R) is damage (D) multiplied by probability (p).

Emergenza in funzione di danno, probabilità e urgenza (Fonte: Lenton, 2019)

per la probabilità PX che la sua stima sia giusta e per la probabilità PY che la stima sia sbagliata. La probabilità reale è la somma delle due probabilità moltiplicate per la probabilità Y che la stima sia sbagliata.

$$\text{Emergency (E)} = R (\text{risk}) \times U (\text{urgency}) = (p \times D) \times (T / T)$$

Urgency (U) in emergency situations is reaction time – the time required to solve the problem (T) – divided by the intervention time actually available left to avoid a bad outcome (T).

La probabilità di accadimento degli incidenti nucleari molto spesso non viene neppure valutata correttamente dagli ingegneri Nel marzo del 2011, un terremoto sottomarino al largo della costa est del Giappone (9,0 sulla scala Richter) e il successivo tsunami hanno provocato la fusione in tre reattori nucleari, con conseguente rilascio di enormi quantitativi di radioattività nell'ambiente, radioattività che si è diffusa in tutta l'atmosfera a livello globale (Italia compresa, vedi dati ARPAV)



TEPCO: "The scale of the tsunami far exceeded all previously held expectations and knowledge" (2012)

Narrativa: I terremoti accadono imprevedibilmente
→ quando, dove, con che intensità non lo sappiamo



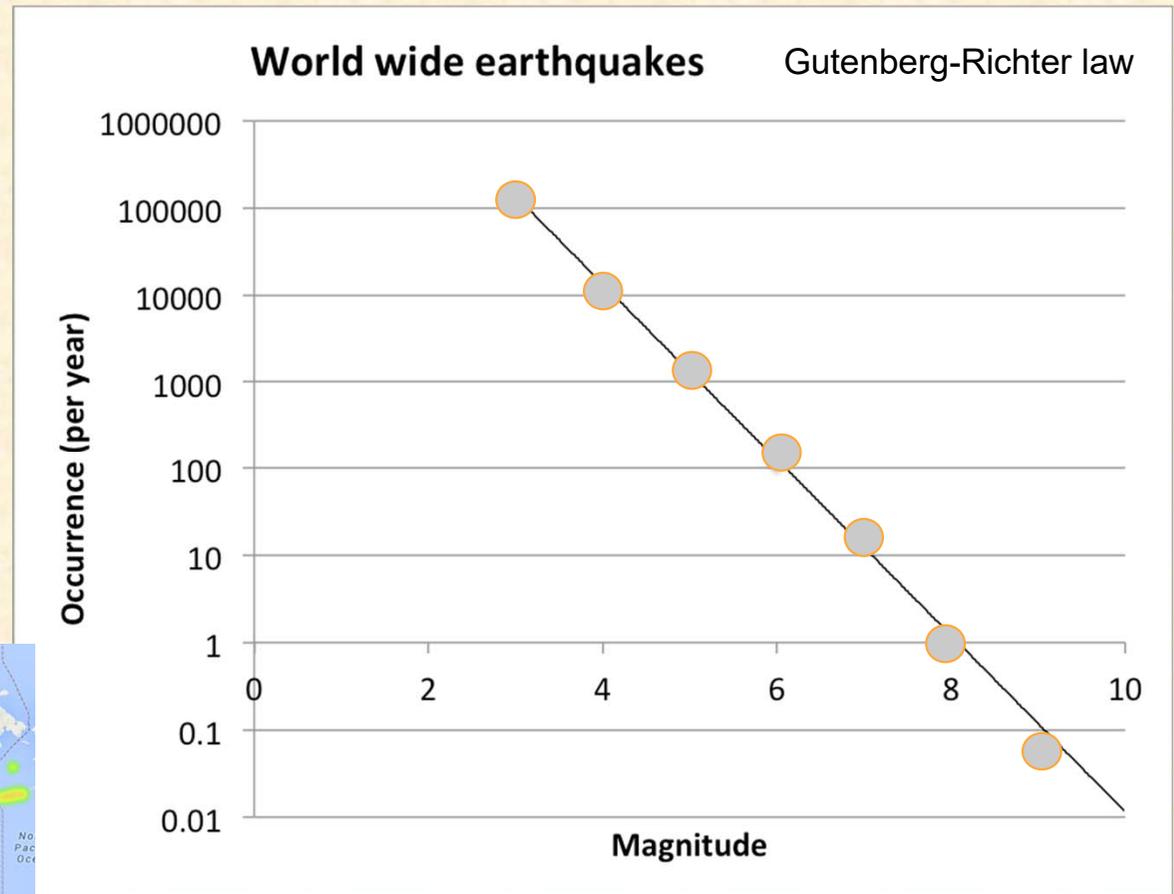
Scenari e conseguenze a
loro volta imprevedibili

Narrativa: I terremoti accadono imprevedibilmente
→ quando, dove, con che intensità non lo sappiamo



Scenari e conseguenze a loro volta imprevedibili

Realtà: Ci aspettiamo un grosso terremoto proprio lì → la sola imprevedibilità è quando



[Counts / (keV h m³)]

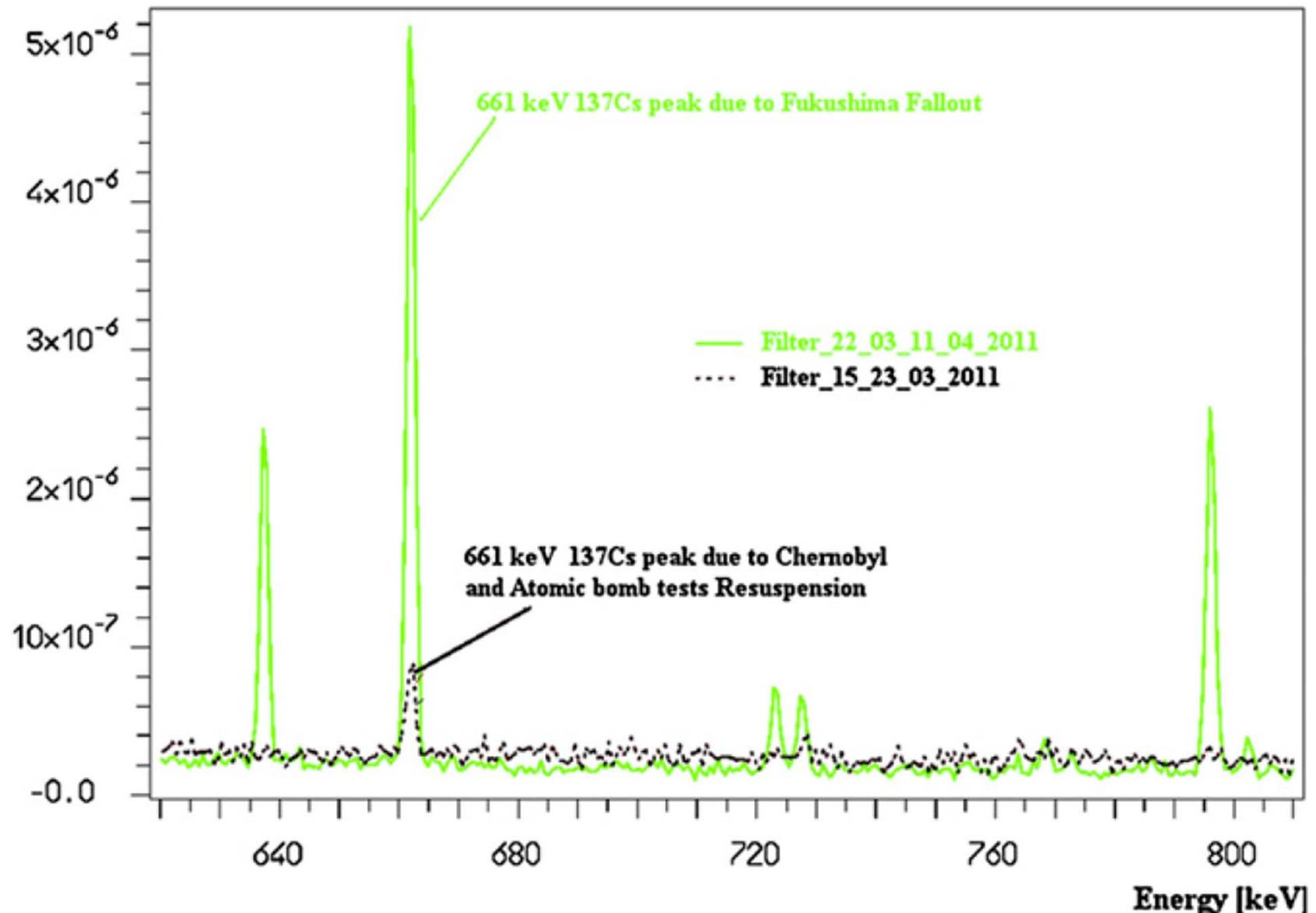


Fig. 2. ¹³⁷Cs peaks due to Chernobyl and nuclear test bomb particulate re-suspension in black and Fukushima fallout in green. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Search ▾

The Guardian

International
edition ▾

'Bad news': radiation 16 times above normal after forest fire near Chernobyl

April 16, 2020



Disponibilità di siti in una situazione di emergenza climatica

Gli impianti nucleari sono costruiti nelle vicinanze di una fonte di acqua di raffreddamento.

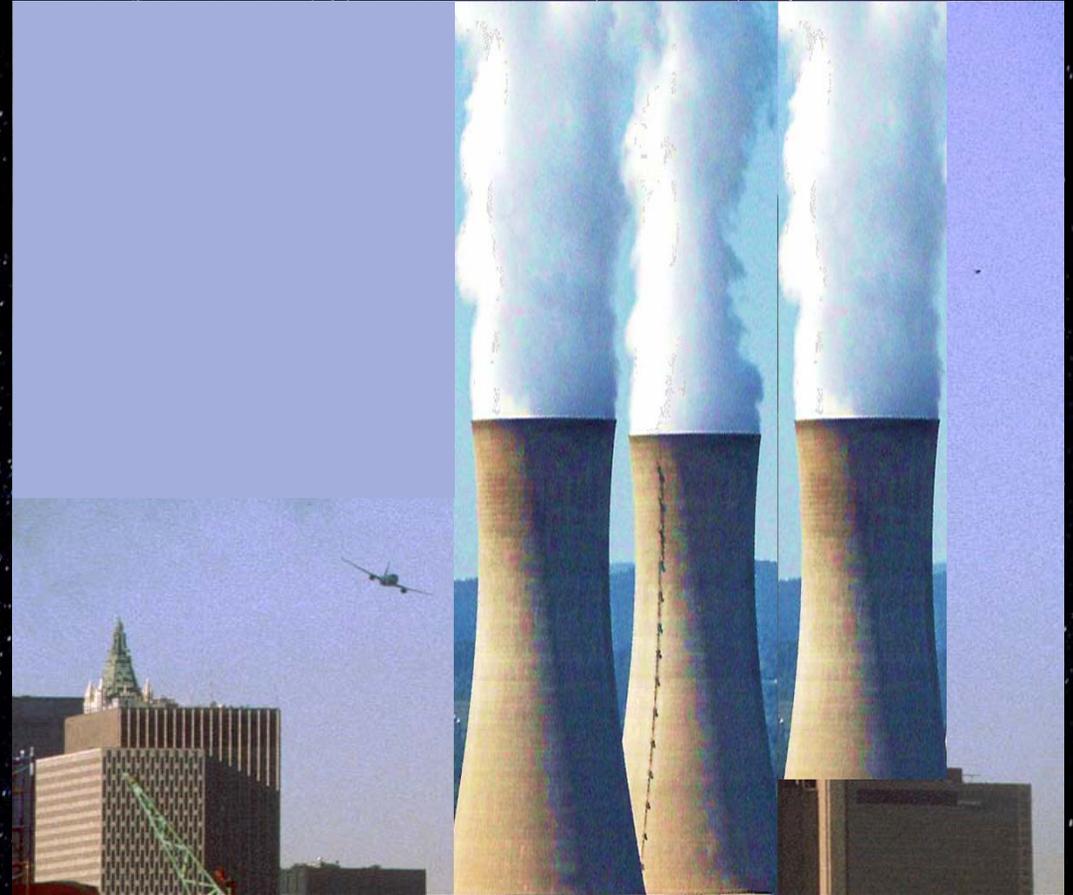
Recente rapporto dell'esercito statunitense: il 60% della capacità nucleare degli Stati Uniti è a rischio per l'innalzamento dei livelli dei mari, per le tempeste fuori-scala, e per la scarsità di acqua di raffreddamento.



Rischio attacchi terroristici



Rischio attacchi terroristici



Il problema dello stoccaggio delle scorie

Commissione europea (2011): Le esportazioni verso i paesi al di fuori dell'UE sono consentite a condizioni vincolanti: il paese terzo deve avere già un deposito definitivo in funzione per scorie altamente radioattive (deposito in strati geologici profondi). Allo stato attuale, tali depositi non esistono.



Il problema dello stoccaggio delle scorie

Commissione europea (2011): Le esportazioni verso i paesi al di fuori dell'UE sono consentite a condizioni vincolanti: il paese terzo deve avere già un deposito definitivo in funzione per scorie altamente radioattive (deposito in strati geologici profondi). Allo stato attuale, tali depositi non esistono.

Lo sviluppo dei programmi nucleari aumenta la probabilità di proliferazione di armi nucleari

Sia il mondo della ricerca accademica, sia la politica, sia le agenzie internazionali (per citarne solo due di importanti, le Nazioni Unite e l'IPCC) mettono in guardia con estrema preoccupazione su questo aspetto

Se non è la Scienza a parlare, sentiamo questo...

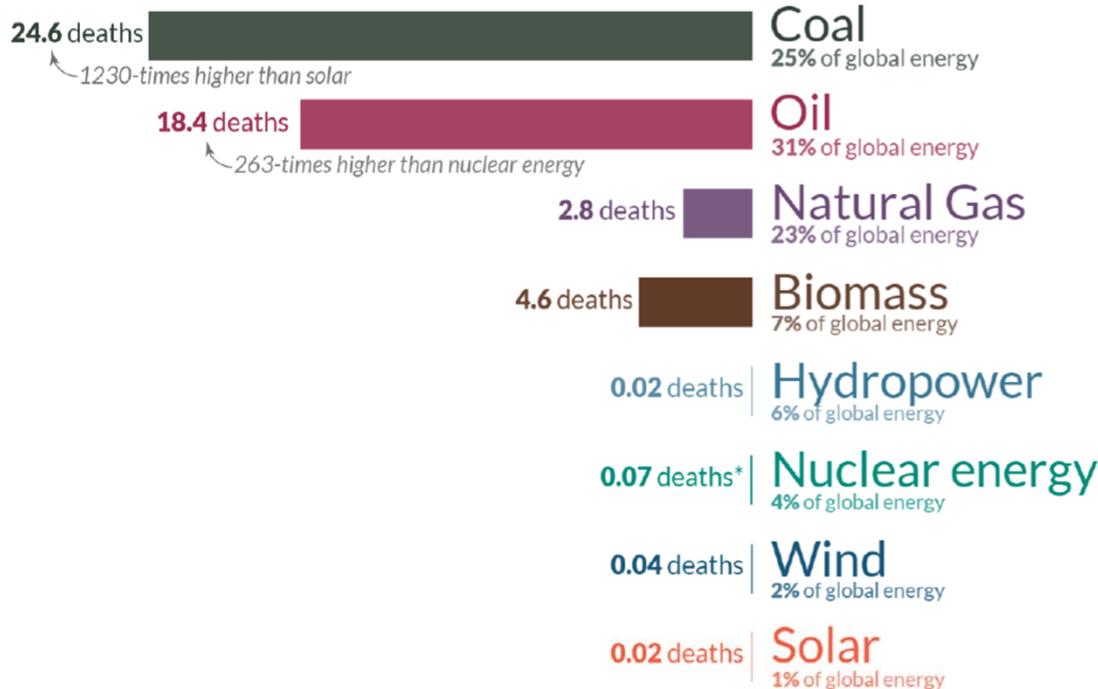
Nuclear is safe and low carbon

Our World
in Data

What are the **safest** and **cleanest** sources of energy?

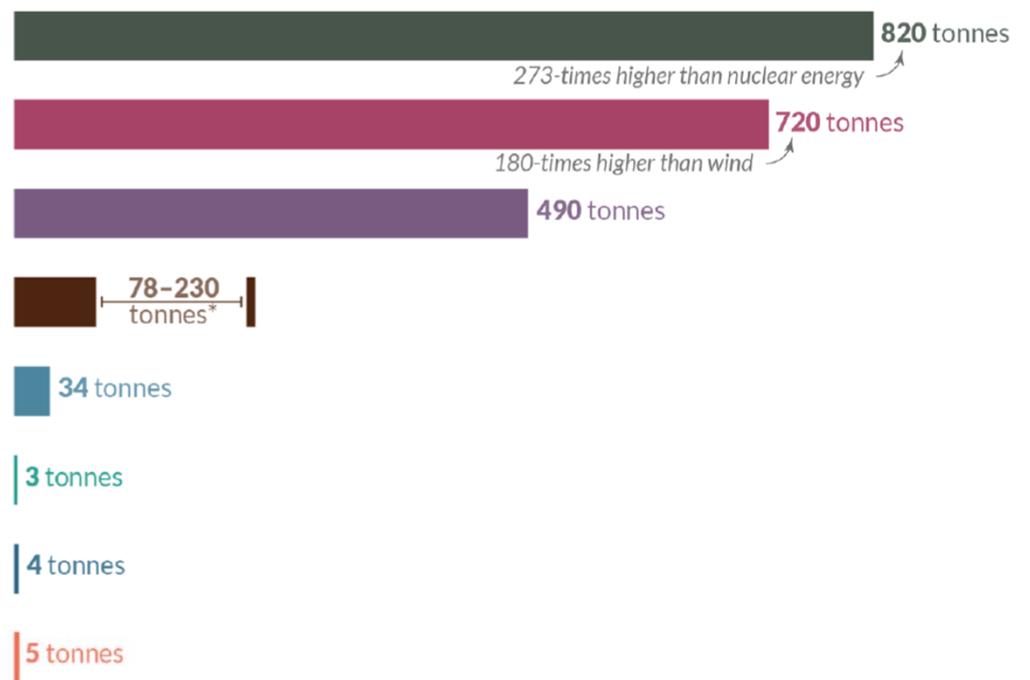
Death rate from accidents and air pollution

Measured as deaths per terawatt-hour of energy production.
1 terawatt-hour is the annual energy consumption of 27,000 people in the EU.



Greenhouse gas emissions

Measured in emissions of CO₂-equivalents per gigawatt-hour of electricity over the lifecycle of the power plant.
1 gigawatt-hour is the annual electricity consumption of 160 people in the EU.



*Life-cycle emissions from biomass vary significantly depending on fuel (e.g. crop residues vs. forestry) and the treatment of biogenic sources.

*The death rate for nuclear energy includes deaths from the Fukushima and Chernobyl disasters as well as the deaths from occupational accidents (largely mining and milling).

Energy shares refer to 2019 and are shown in primary energy substitution equivalents to correct for inefficiencies of fossil fuel combustion. Traditional biomass is taken into account.

Data sources: Death rates from Markandya & Wilkinson (2007) in *The Lancet*, and Sovacool et al. (2016) in *Journal of Cleaner Production*;

Greenhouse gas emission factors from IPCC AR5

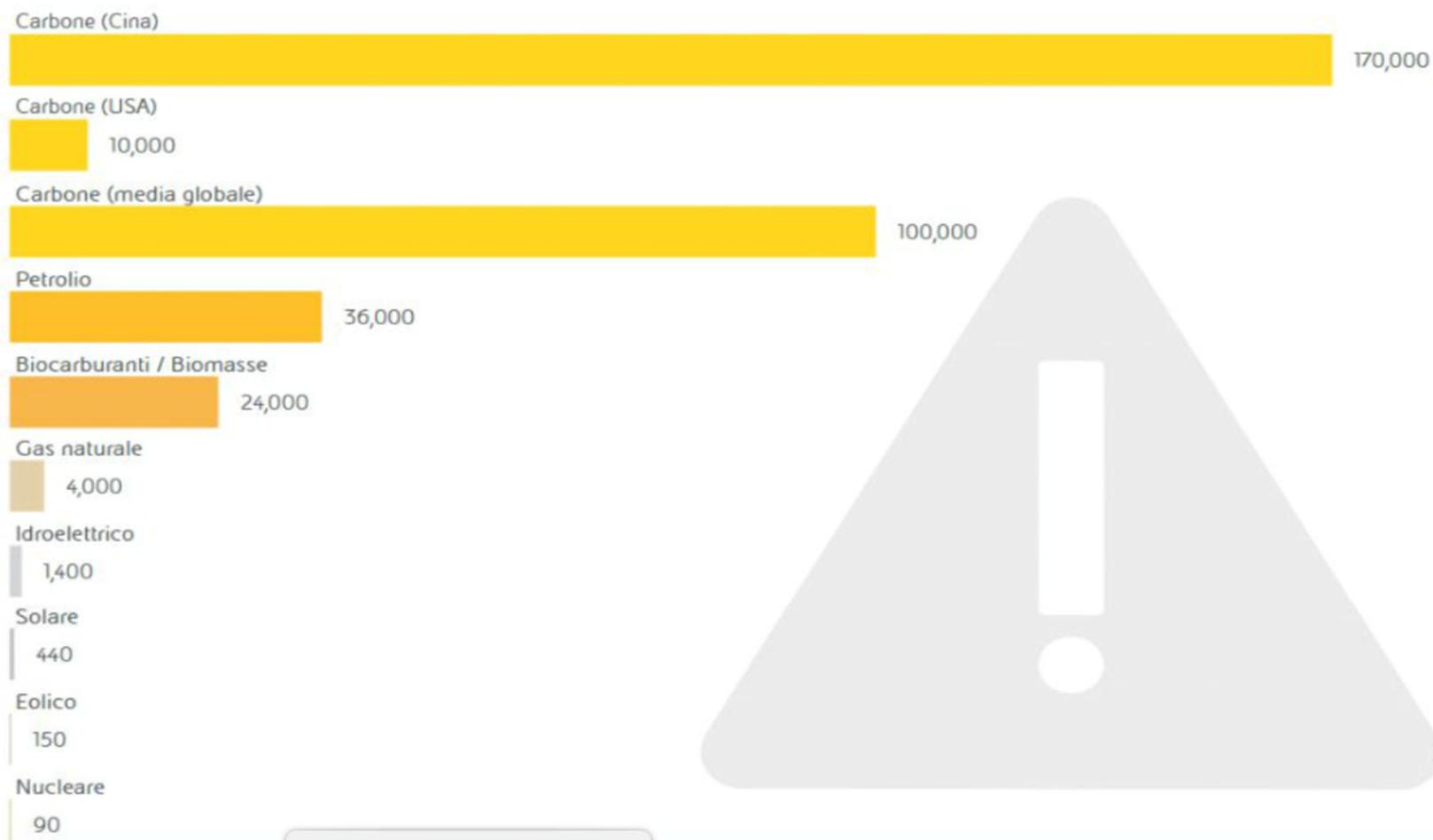
OurWorldinData.org - Research and data to make



the authors Hannah Ritchie and Max Roser

Tasso di mortalità per energia prodotta

Vittime per miliardo di kWh



Istantanea schermo



Utilizzo scorretto della statistica, dovuto a ignoranza, malafede o una combinazione delle due

- 1) Presunta sicurezza del nucleare basata sul rapporto "n. morti per ogni kWh prodotto".
- 2) Morti=danno e kWh=beneficio, entrambi riferiti all'impianto in fase operativa...
- 3) ...eccetto che per il nucleare, dove invece viene fatto il rapporto tra il n. di morti a seguito di un incidente (quindi a impianto non produttivo) e il n. di kWh prodotti a impianto operativo.
- 4) Applicando lo stesso calcolo alle altre fonti, perfino il carbone è meno pericoloso del nucleare.
- 5) Per quest'ultimo, la domanda "quanti kWh produco per ogni persona che uccido", ha come risposta zero, con un danno conseguente che va ad infinito.

Utilizzo scorretto della statistica, dovuto a ignoranza, malafede o una combinazione delle due

- 1) Presunta sicurezza del nucleare basata sul rapporto "n. morti per ogni kWh prodotto".
- 2) Morti=danno e kWh=beneficio, entrambi riferiti all'impianto in fase operativa...
- 3) ...eccetto che per il nucleare, dove invece viene fatto il rapporto tra il n. di morti a seguito di un incidente (quindi a impianto non produttivo) e il n. di kWh prodotti a impianto operativo.
- 4) Applicando lo stesso calcolo alle altre fonti, perfino il carbone è meno pericoloso del nucleare.
- 5) Per quest'ultimo, la domanda "quanti kWh produco per ogni persona che uccido", ha come risposta zero, con un danno conseguente che va ad infinito.

Riassumendo: se faccio il rapporto tra morti causate a centrale operativa e kWh prodotti a centrale operativa, le fossili sono tutte enormemente pericolose, mentre nucleare e rinnovabili sono enormemente sicure. Se invece faccio il rapporto tra morti causate a centrale ferma e kWh prodotti a centrale ferma, tutte le sorgenti sono inutili e sicure salvo il nucleare, che è immensamente pericoloso.

Usare campioni disomogenei nella raccolta dati e poi comparare i risultati è sbagliato e disonesto. Riportare questi dati come fossero il punto di partenza per un dibattito è inaccettabile.

Il nucleare NON è equo

1) I Paesi poveri non hanno le competenze tecniche né i fondi per avviare e gestire un programma nucleare, né per garantirne la sicurezza. Ciò significa che sarebbero completamente asserviti – politicamente e finanziariamente – ai Paesi ricchi fornitori di tecnologie, personale addestrato e fondi di investimento.

2) Programmi nucleari avviati autonomamente in Paesi a bassa stabilità politica alzerebbero enormemente sia il rischio di incidenti trans-nazionali (se non globali) sia la proliferazione di armamenti nucleari.

Il nucleare NON è equo

- 1) I Paesi poveri non hanno le competenze tecniche né i fondi per avviare e gestire un programma nucleare, né per garantirne la sicurezza. Ciò significa che sarebbero completamente asserviti – politicamente e finanziariamente – ai Paesi ricchi fornitori di tecnologie, personale addestrato e fondi di investimento.
- 2) Programmi nucleari avviati autonomamente in Paesi a bassa stabilità politica alzerebbero enormemente sia il rischio di incidenti trans-nazionali (se non globali) sia la proliferazione di armamenti nucleari.
- 3) L'accentramento delle fonti di produzione energetica si traduce in accentramento di produzione di risorse e accentramento di potere.

3.1) Il decentramento delle fonti di risorse è una delle strade obbligate di adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici (siccità, fame, migrazioni forzate e conflitti).

3.2) Possibilità da parte di gruppi o comunità di esercitare un controllo sociale indebito, che in presenza di crisi ambientali e socio-economiche può portare a gravi instabilità interne, conflitti armati o addirittura regimi dittatoriali.

Il nucleare NON è appoggiato dalla scienza



TTstudio/Alamy Stock Photo

Nuclear energy isn't a safe bet in a warming world – here's why

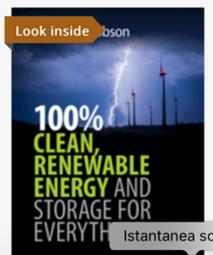
Published: June 28, 2021 10.22am BST

Paul Dorfman

Honorary Senior Research Associate, UCL Energy Institute, University College London, UCL

La Scienza da anni dice cosa usare, come, quando e dove

100% Clean, Renewable Energy and Storage for Everything



Look inside

Instantanea schermo

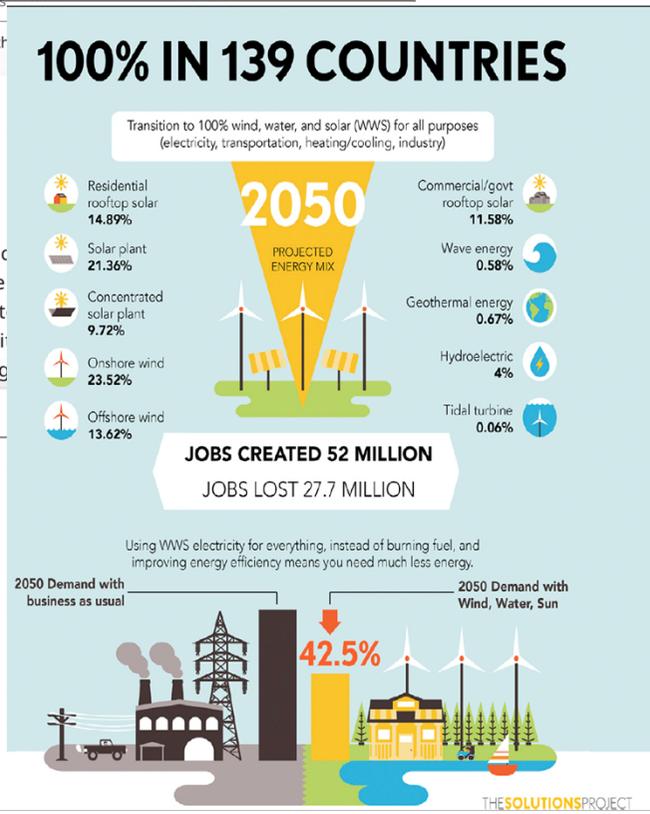
Textbook eCollection

Mark Z. Jacobson, Stanford University, California

Description

Numerous laws – including the Green New Deal – have been proposed or passed in many countries to transition from fossil fuels to 100% clean, renewable energy in order to address climate change, air pollution, and energy insecurity. This textbook lays out the science, technology, policy, and social aspects of such transitions. It discusses the renewable electricity technologies needed; the electricity, heat, cold, and hydrogen storage technologies needed.

Received 10 June 2022, accepted 19 July 2022, date of publication 25 July 2022, date of current version 29 July 2022.
 Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2022.3193402



Mark Z. Jacobson, Mark A. Delucchi, Zack A.F. Bauer, ..., Jingfan Wang, Eric Weiner, Alexander S. Yachanin

jacobson@stanford.edu

HIGHLIGHTS

Roadmaps for 139 countries to use 100% wind-water-solar in all energy sectors

Roadmaps avoid 1.5°C global warming and millions of annual air-pollution deaths

Roadmaps reduce social cost of energy and create 24.3 million new long-term jobs

Roadmaps reduce power disruption and increase worldwide access to energy

TOPICAL REVIEW

On the History and Future of 100% Renewable Energy Systems Research

CHRISTIAN BREYER¹, SIAVASH KHALILI¹, DAN AYOBAMI SOLOMON OYEWO¹, ARMAN AGHA A. A. SOLOMON¹, DOMINIK KEINER¹, GABRIEL HENRIK LUND², BRIAN V. MATHIESEN³, MARI SVEN TESKE⁶, THOMAS PREGGER⁷, VASILIS FANIANI HANNELE HOLTINEN^{10,11}, (Senior Member IEEE) AND BENJAMIN K. SOVACOOLO^{14,15,16}

¹School of Energy Systems, LUT University, 53850 Lappeenranta, Finland
²Department of Planning, Aalborg University, 9000 Aalborg, Denmark
³Department of Planning, Aalborg University, 2450 Copenhagen, Denmark
⁴Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA, USA
⁵Department of Mechanical and Production Engineering, Aarhus University, 8000 Aarhus, Denmark
⁶Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney (UTS), Sydney, Australia
⁷German Aerospace Center (DLR), Institute of Networked Energy Systems, 70569 Stuttgart, Germany
⁸Center for Life Cycle Analysis, Department of Earth and Environmental Engineering, Princeton University, Princeton, NJ, USA
⁹School of Engineering, Computing and Mathematics, Oxford Brookes University, London, UK
¹⁰Recognis Oy, 01530 Vantaa, Finland
¹¹School of Electrical & Electronic Engineering, University College Dublin, Dublin, Ireland
¹²Dipartimento di Chimica, Università di Firenze, Sesto Fiorentino, 50019 Florence, Italy
¹³Department of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands
¹⁴Center for Energy Technologies, Department of Business Development and

Energy & Environmental Science

PAPER

View Article Online
View Journal

Check for updates

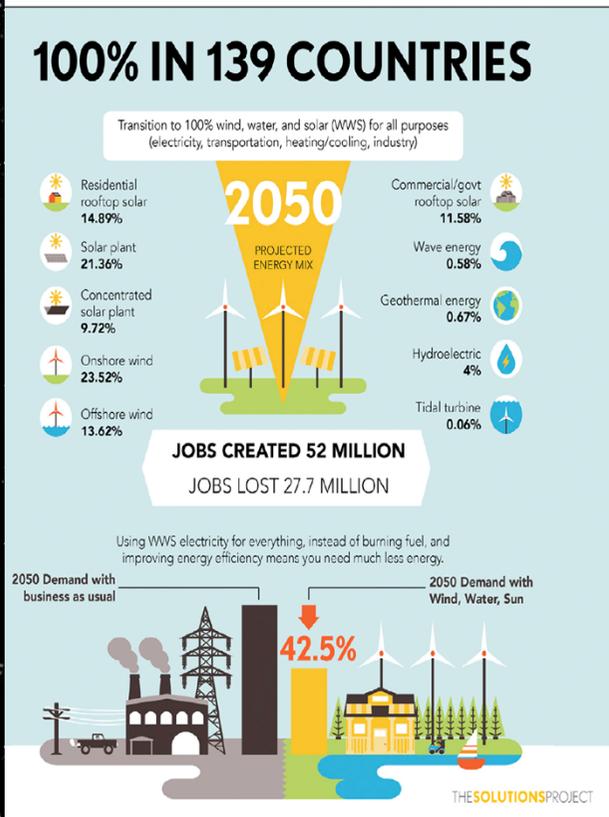
Cite this: DOI: 10.1039/d2ee00722c

Low-cost solutions to global warming, air pollution, and energy insecurity for 145 countries†

Mark Z. Jacobson, ^{ID} * Anna-Katharina von Krauland, Stephen J. Coughlin, Emily Dukas, Alexander J. H. Nelson, ^{ID} Frances C. Palmer and Kylie R. Rasmussen



Table S2. Several of the processes treated in the LOADMATCH model simulations for matching demand with supply, storage, and demand response.



Parameter	Is the process treated?
Onshore and offshore wind electricity	Yes
Residential, commercial/government rooftop PV electricity	Yes
Utility PV electricity	Yes
CSP electricity	Yes
Geothermal electricity	Yes
Tidal and wave electricity	Yes
Direct solar and geothermal heat	Yes
Battery storage	Yes
CSP storage	Yes
Pumped hydropower storage	Yes
Existing hydropower dam storage	Yes
Added hydropower turbines	No
Heat storage (water tanks, underground)	Yes
Cold storage (water tanks, ice)	Yes
Hydrogen storage in tanks	Yes
Hydrogen fuel cell vehicles for long-distance, heavy transport	Yes
Battery-electric vehicles for all other transport	Yes
District heating	Yes
Electric heat pumps for building cooling and air/water heating	Yes
Electric furnaces and heat pumps for industrial heat	Yes
Wind, PV, CSP, solar heat, wave supply calculated in GATOR-GCMOM	Yes
Building heat and cold loads calculated in GATOR-GCMOM	Yes
Array losses due to wind turbines competing for kinetic energy	Yes
Losses from T&D, storage, shedding, downtime	Yes
Perfect transmission interconnections	Yes
Costs of all generation, all storage, short- and long-distance T&D	Yes
Avoided cost of air pollution damage	Yes
Avoided cost of climate damage	Yes
Land footprint and spacing requirements	Yes
Changes in job numbers	Yes

Table S2. Several of the processes treated in the LOADMATCH model simulations for matching demand with supply, storage, and demand response.

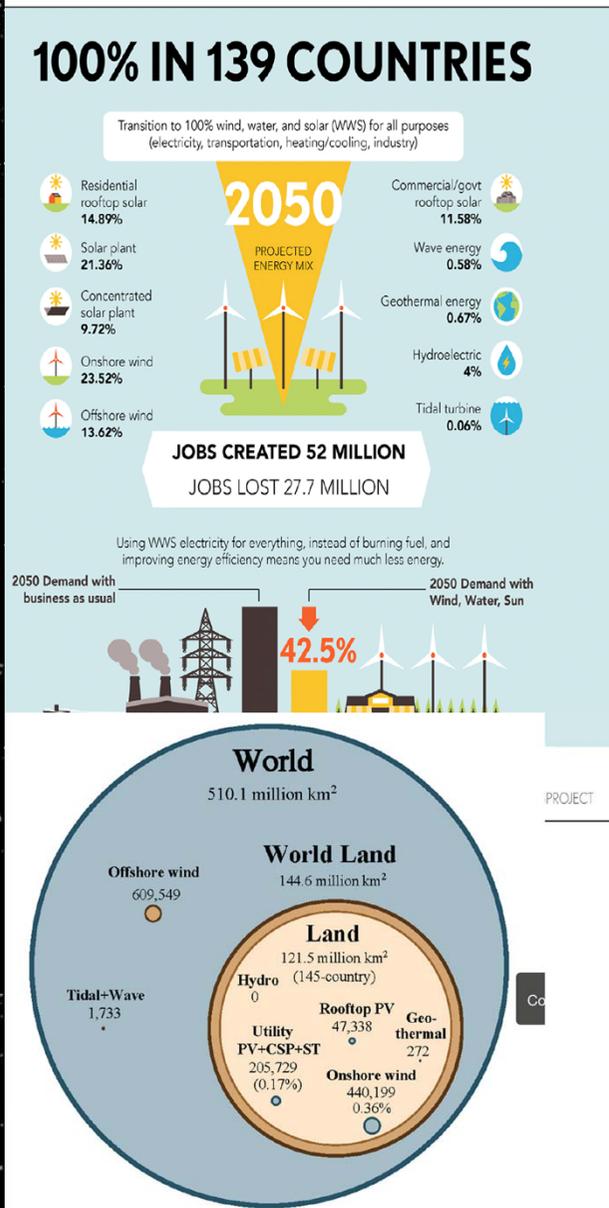


Fig. 2 New land area (km²) required for footprint on the ground, which applies to utility PV + CSP + ST (solar thermal) and geothermal electricity and heat, and for spacing, which applies to onshore wind, among the 145 countries examined. Ocean spacing areas for new offshore wind, tidal, and wave power are also shown as is the area for new rooftop PV, which doesn't require new land. No new land for hydropower is needed. The values are determined by dividing the difference between the world total new plus existing nameplate capacities from Table S9 (ESI†) and the world total existing nameplate capacities from Table S8 (ESI†) by the installed power densities from Table S22 (ESI†).

Parameter	Is the process treated?
Onshore and offshore wind electricity	Yes
Residential, commercial/government rooftop PV electricity	Yes
Utility PV electricity	Yes
CSP electricity	Yes
Geothermal electricity	Yes
Tidal and wave electricity	Yes
Direct solar and geothermal heat	Yes
Battery storage	Yes
CSP storage	Yes
Pumped hydropower storage	Yes
Existing hydropower dam storage	Yes
Added hydropower turbines	No
Heat storage (water tanks, underground)	Yes
Cold storage (water tanks, ice)	Yes
Hydrogen storage in tanks	Yes
Hydrogen fuel cell vehicles for long-distance, heavy transport	Yes
Battery-electric vehicles for all other transport	Yes
District heating	Yes
Electric heat pumps for building cooling and air/water heating	Yes
Electric furnaces and heat pumps for industrial heat	Yes
Wind, PV, CSP, solar heat, wave supply calculated in GATOR-GCMOM	Yes
Building heat and cold loads calculated in GATOR-GCMOM	Yes
Array losses due to wind turbines competing for kinetic energy	Yes
Losses from T&D, storage, shedding, downtime	Yes
Perfect transmission interconnections	Yes
Costs of all generation, all storage, short- and long-distance T&D	Yes
Avoided cost of air pollution damage	Yes
Avoided cost of climate damage	Yes
Land footprint and spacing requirements	Yes
Changes in job numbers	Yes

Budget energetico (in TWh) totale risultato della simulazione

Table S16. Budget of total end-use energy demand met, energy lost, WWS energy supplied, and changes in storage, during the three-year (26,291.4875 hour) simulation for each region and summed over all regions. All units are TWh over the simulation. Divide by the number of hours of simulation to obtain simulation-averaged power values, which are provided in Table S15 for key parameters. Figure S2 shows the time series of matching demand with supply and changes in storage for each region.

	Africa	Australia	Canada	Central America	Central Asia
A1. Total end use demand	12,843	2,426	4,416	4,224	4,390
Electricity for electricity inflexible demand	6,276	1,269	2,305	1,938	2,337
Electricity for electricity, heat, cold storage + DR	5,379	947	1,824	1,816	1,797
Electricity for H ₂ direct use + H ₂ storage	1,188	209	287	470	256
A2. Total end use demand	12,843	2,426	4,416	4,224	4,390
Electricity for direct use, electricity storage, + H ₂	11,976	2,372	4,241	4,070	4,201
Low-T heat load met by heat storage	806	52	174	140	188
Cold load met by cold storage	61.26	2.42	0.91	14.45	1.14
A3. Total end use demand	12,843	2,426	4,416	4,224	4,390
Electricity for direct use, electricity storage, DR	10,601	2,127	3,860	3,570	3,929
Electricity for H ₂ direct use + H ₂ storage	1,188	209	287	470	256
Electricity + heat for heat subject to storage	806	76	254	140	200
Electricity for cold load subject to storage	248.01	13.66	15.54	43.94	4.31
B. Total losses	3,257	817	599	2,913	2,058
Transmission, distribution, downtime losses	887	210	343	481	395
Losses CSP storage	3.67	1	0.00	0.40	0.74
Losses PHS storage	0.23	0.0497	1.2163	0.0198	0.0425
Losses battery storage	173	55.9	9.42	24.2	32.6
Losses CW-STES + ICE storage	11	0.4	0.16	2.6	0.2
Losses HW-STES storage	106	5.5	23	26.9	26.1
Losses UTES storage	210	9.4	28	0.0	46.1
Losses from shedding	1,866	534	194	2,378	1,557
Net end-use demand plus losses (A1 + B)	16,100	3,242	5,015	7,137	6,447

Costi dell'energia da elettricità e generatori termici

Table S17. Parameters for determining costs of energy from electricity and heat generators.

	Capital cost new installations (\$million/MW)	O&M Cost (\$/kW/yr)	Decommissioning cost (% of capital cost)	Lifetime (years)	TDM losses (% of energy generated)
Onshore wind	1.02 (0.85-1.18)	37.5 (35-40)	1.25 (1.2-1.3)	30 (25-35)	7.5 (5-10)
Offshore wind	1.96 (1.49-2.44)	80 (60-100)	2 (2-2)	30 (25-35)	7.5 (5-10)
Residential PV	1.93 (1.76-1.10)	27.5 (25-30)	0.75 (0.5-1)	44 (41-47)	1.5 (1-2)
Commercial/government PV	1.29 (0.93-1.66)	16.5 (13-20)	0.75 (0.5-1)	46 (43-49)	1.5 (1-2)
Utility-scale PV	0.75 (0.67-0.84)	19.5 (16.5-22.5)	0.75 (0.5-1)	48.5 (45-52)	7.5 (5-10)
CSP with storage ^a	4.58 (3.59-5.57)	50 (40-60)	1.25 (1-1.5)	45 (40-50)	7.5 (5-10)
Geothermal electricity	4.63 (3.97-5.29)	45 (36-54)	2.5 (2-3)	45 (40-50)	7.5 (5-10)
Hydropower	2.78 (2.36-3.20)	15.5 (15-16)	2.5 (2-3)	85 (70-100)	7.5 (5-10)
Wave	4.10 (2.82-5.39)	175 (100-250)	2 (2-2)	45 (40-50)	7.5 (5-10)
Tidal	3.65 (2.93-4.38)	125 (50-200)	2.5 (2-3)	45 (40-50)	7.5 (5-10)
Solar thermal heat	1.17 (1.06-1.29)	50 (40-60)	1.25 (1-1.5)	35 (30-40)	3 (2-4)
Geothermal heat	4.63 (3.97-5.29)	45 (36-54)	2 (1-3)	45 (40-50)	7.5 (5-10)

Capital costs (per MW of nameplate capacity) are an average of 2020 and 2050 values. 2050 costs are derived and sourced in Jacobson and Delucchi (2021), which uses the same methodology as in Jacobson et al. (2019). For comparison the capital costs of onshore wind and utility-scale PV from Lazard (2021) for 2021 are \$1.025-1.35 million/MW and \$0.8-

Cambiamento del n. di posti di lavoro a tempo indeterminato

Table S25. Changes in the Numbers of Long-Term, Full-Time Jobs

Estimated long-term, full-time jobs created and lost due to transitioning from BAU energy to WWS across all energy sectors in each country. The job creation accounts for new direct, indirect, and induced jobs in the electricity, heat, cold, and hydrogen generation, storage, and transmission (including HVDC transmission) industries. It also accounts for the building of heat pumps to supply district heating and cooling. However it does not account for changes in jobs in the production of electric appliances, vehicles, and machines or in increasing building energy efficiency. Construction jobs are for new WWS devices only. Operation jobs are for new and existing devices. The losses are due to eliminating jobs for mining, transporting, processing, and using fossil fuels, biofuels, and uranium. Fossil-fuel jobs due to non-energy uses of petroleum, such as lubricants, asphalt, petrochemical feedstock, and petroleum coke, are retained. For transportation sectors, the jobs lost are those due to transporting fossil fuels (e.g., through truck, train, barge, ship, or pipeline); the jobs not lost are those for transporting other goods. The table does not account for jobs lost in the manufacture of combustion appliances, including automobiles, ships, or industrial machines.

Region or country	(a) Construction jobs produced	(b) Operation jobs produced	(c) Total jobs produced =a+b	(d) Total jobs lost	(e) Net change in jobs =c-d
Africa	1,898,635	1,691,945	3,590,580	4,545,041	-954,461
Algeria	159,765	135,891	295,656	411,482	-115,826
Angola	29,161	28,443	57,604	249,355	-191,751
Benin	19,443	17,606	37,049	36,585	464
Botswana	8,401	7,497	15,898	9,320	6,578
Cameroon	23,175	22,252	45,427	83,159	-37,732
Congo	8,338	7,972	16,310	65,555	-49,245
Congo, DR	54,316	52,888	107,204	284,465	-177,261
Côte d'Ivoire	25,457	24,216	49,672	71,857	-22,185
Egypt	271,433	228,399	499,833	333,282	166,551
Equator. Guinea	22,050	21,927	43,977	35,419	8,558
Eritrea	1,792	1,503	3,296	7,991	-4,695
Ethiopia	81,883	73,517	155,400	334,804	-179,404
Gabon	34,258	34,454	68,712	51,514	17,198
Ghana	45,616	38,413	84,029	79,853	4,176
Kenya	42,339	39,252	81,591	160,636	-79,045
ecc.	57,010	47,296	104,306	189,406	-85,100

Posti di lavoro in sede di costruzione e operazione

Table S24. Estimated mean number of long-term, full-time construction and operation jobs per MW nameplate capacity of different electric power sources and storage types in the United States. A full-time job is a job that requires 2,080 hours per year of work. The job numbers include direct, indirect, and induced jobs. These job numbers are scaled to different countries as described in the caption of Table S25.

Electric power generator	Construction Jobs/MW or Jobs/km	Operation Jobs/MW or Jobs/km
Onshore wind electricity	0.24	0.37
Offshore wind electricity	0.31	0.63
Wave electricity	0.15	0.57
Geothermal electricity	0.71	0.46
Hydropower electricity	0.14	0.30
Tidal electricity	0.16	0.61
Residential rooftop PV	0.88	0.32
Commercial/government rooftop PV	0.65	0.16
Utility PV electricity	0.24	0.85
CSP electricity	0.31	0.86
Solar thermal for heat	0.71	0.85
Geothermal heat	0.14	0.46
Pumped hydro storage (PHS)	0.77	0.3
CSP storage (CSP-PCM)	0.62	0.3
Battery storage	0.092	0.2
Chilled-water storage (CW-STES)	0.15	0.3
Ice storage (ICE)	0.15	0.3
Hot water storage (HW-STES)	0.15	0.3
Underground heat storage (UTES)	0.15	0.3
Producing heat pumps for district heat	0.15	0.3
Producing and storing hydrogen	0.32	0.3
AC transmission (jobs/km)	0.073	0.062
AC distribution (jobs/km)	0.033	0.028
HVDC transmission (jobs/km)	0.094	0.080

Taken from Jacobson et al. (2019), except “producing heat pumps for district heat” values are estimated here and HVDC

Mortalità stimata per anno e costi sociali

Table S21. Regional (a) estimated air pollution mortalities per year in 2050-2052 due to anthropogenic sources (90% of which are energy); (b) carbon-equivalent emissions (CO₂e) in the BAU case; (c) cost per tonne-CO₂e of eliminating CO₂e with WWS; (d) BAU energy cost per tonne-CO₂e emitted; (e) BAU health cost per tonne-CO₂e emitted; (f) BAU climate cost per tonne-CO₂e emitted; (g) BAU total social cost per tonne-CO₂e emitted; (h) BAU health cost per unit all-BAU-energy produced; and (i) BAU climate cost per unit-all-BAU-energy produced.

Region or country	(a) ¹ 2050 BAU air pollution mortal- ities (Deaths/y)	(b) ² 2050 BAU CO ₂ e (Mton- ne/y)	(c) ³ 2050 WWS (\$/ tonne- CO ₂ e- elim- inated)	(d) ⁴ 2050 BAU energy cost (\$/ tonne- CO ₂ e- emitted)	(e) ⁴ 2050 BAU health cost (\$/ tonne- CO ₂ e- emitted)	(f) ⁴ 2050 BAU climate cost (\$/ tonne- CO ₂ e- emitted)	(g) ⁴ 2050 BAU social cost = d+e+f (\$/ tonne- CO ₂ e- emitted)	(h) ⁵ 2050 BAU health cost (¢/kWh)	(i) ⁵ 2050 BAU climate cost (¢/kWh)
Africa	1,173,737	3,192	112.5	383	1,247	558	2,189	32.9	14.7
Algeria	10,788	409	77.7	308	183	558	1,049	6.0	18.3
Angola	19,997	59	100.5	371	1,606	558	2,535	43.7	15.2
Benin	17,080	18	115.1	528	1,822	558	2,908	34.9	10.7
Botswana	940	16	99.4	301	424	558	1,283	14.2	18.7
Cameroon	25,940	23	141.3	610	3,007	558	4,175	49.8	9.2
Congo	4,535	13	75.6	308	1,482	559	2,349	48.6	18.3
Congo, DR	93,264	7	927.4	4,678	11,391	556	16,626	24.6	1.2
Côte d'Ivoire	33,702	31	125.4	478	3,157	558	4,193	66.7	11.8
Egypt	63,218	579	110.7	285	644	558	1,488	22.8	19.8
Equator. Guinea	919	8	388.8	736	1,140	559	2,435	15.6	7.7
Eritrea	6,912	2	131.5	569	6,410	560	7,539	113.7	9.9
Ethiopia	152,676	41	321.9	1,643	5,883	558	8,085	36.1	3.4
Gabon	1,054	8	676.2	1,325	1,080	558	2,963	8.2	4.2
Ghana	25,489	38	165.4	480	2,185	558	3,223	46.0	11.8
Kenya	17,759	45	175.4	730	1,039	558	2,328	14.4	7.7
Libya ecc.	2,943	118	87.0	235	169	558	963	7.3	24.0

Capacità energetica stimata nello scenario WWS

Table 3 Nameplate capacities by WWS generator needed to meet 2050 (a) annual average and (b) continuous all-purpose end-use load plus transmission/distribution/maintenance losses, storage losses, and shedding losses for 145 countries/24 world regions. (c) Nameplate capacities already installed as of 2020 (except that solar thermal heat is for 2018 and geothermal heat is for 2019). (d) Average (among all countries) percent of 2050 end-use load plus losses supplied by the final nameplate capacities

WWS technology	(a) 2050 initial existing plus new nameplate capacity to meet annual-average load plus losses (GW)	(b) 2050 final existing plus new nameplate capacity to meet continuous load plus losses (GW)	(c) Nameplate capacity already installed 2020 (GW)	(d) Percent of 2050 WWS load plus losses supplied by each generator
Onshore wind	6983	9430	712.72	32.1
Offshore wind	3946	4421	35.50	12.9
Res. roof PV	6032	3422	141.2	5.70
Com/gov roof PV	7381	5912	141.2	9.86
Utility PV plant	10 258	16 244	423.61	30.0
CSP plant	395	419.7	6.47	2.73
Geothermal electricity	97.3	97.3	14.01	0.73
Hydroelectricity	1164	1164	1164	4.93
Wave electricity	50.3	50.3	0.0006	0.08
Tidal electricity	19.2	19.2	0.53	0.04
Solar thermal heat	456.4	456.4	456.4	0.42
Geothermal heat	107.7	107.7	107.72	0.49
Total all	36 889	41 742	3203	100

All values are summed over 145 countries in 24 regions, except values in column (d) are outputs by energy device, summed over all countries divided by total load plus losses among all countries. “Annual average load plus losses” is all-purpose end-use energy demand plus losses per year divided by 8760 hours per year. “Initial” nameplate capacities (meeting annual-average demand) are nameplate capacities at the start of a LOADMATCH simulation. “Final” nameplate capacities are those needed to match load plus losses after LOADMATCH simulations. Table S9 (ESI) gives final nameplate capacities by country/region. Table S8 (ESI) gives nameplate capacities already installed by country/region in 2020. Table S12 (ESI) gives values in column (d) by region.

Capacità energetica per tipo di sorgente

Table S8. Existing nameplate capacity (GW) by WWS generator in each region and each country within each region in 2020 (except solar heat data are from 2018 and geothermal heat data are from 2019).

Region or country	On-shore wind	Off-shore wind	Residential roof PV	Com /gov roof PV	Utility PV	CSP with storage	Geothermal electricity	Hydro	Tidal	Wave	Solar heat	Geothermal heat
Africa	6.483	0	1.751	1.751	5.253	1.076	0.8313	31.516	0.0004	0	2.654	0.1942
Algeria	0.010	0	0.085	0.085	0.254	0.025	0	0.269	0	0	0	0.0777
Angola	0	0	0.003	0.003	0.008	0	0	3.836	0	0	0	0
Benin	0	0	0.001	0.001	0.002	0	0	0.033	0	0	0	0
Botswana	0	0	0.001	0.001	0.004	0	0	0	0	0	0.009	0
Cameroon	0	0	0.003	0.003	0.008	0	0	0.822	0	0	0	0
Congo	0	0	0.000	0.000	0.001	0	0	0.218	0	0	0	0
Congo, DR	0	0	0.004	0.004	0.012	0	0	2.76	0	0	0	0
Côte d'Ivoire	0	0	0.003	0.003	0.008	0	0	0.879	0	0	0	0
Egypt	1.465	0	0.335	0.335	1.004	0.021	0	2.876	0	0	0	0.044
Equator. Guinea	0	0	0.000	0.000	0.000	0	0	0.128	0	0	0	0
Eritrea	0.001	0	0.004	0.004	0.013	0	0	0	0	0	0	0
Ethiopia	0.324	0	0.004	0.004	0.012	0	0.0073	4.074	0	0	0	0.0022
Gabon	0	0	0.000	0.000	0.001	0	0	0.331	0	0	0	0
Ghana	0	0	0.014	0.014	0.042	0	0	1.584	0.0004	0	0.002	0
Kenya	0.338	0	0.021	0.021	0.064	0	0.824	0.837	0	0	0	0.0185
Libya	0	0	0.001	0.001	0.003	0	0	0	0	0	0	0
Morocco	1.405	0	0.041	0.041	0.122	0.53	0	1.305	0	0	0.316	0.005
Mozambique	0	0	0.011	0.011	0.033	0	0	2.216	0	0	0.002	0
Namibia	0.006	0	0.029	0.029	0.087	0	0	0.347	0	0	0.032	0
Niger	0	0	0.005	0.005	0.016	0	0	0	0	0	0	0
Nigeria	0.003	0	0.006	0.006	0.017	0	0	2.111	0	0	0.003	0.0007
Senegal	0.050	0	0.031	0.031	0.093	0	0	0.081	0	0	0.003	0
South Africa	2.636	0	1.098	1.098	3.294	0.5	0	0.684	0	0	1.521	0.0023
South Sudan	0	0	0.000	0.000	0.001	0	0	0	0	0	0	0
Sudan	0	0	0.004	0.004	0.011	0	0	1.022	0	0	0	0

Capacità massima istantanea e capacità di immagazzinamento dell'energia

Table S13. Aggregate (among all countries in each region) maximum instantaneous charge rates, maximum instantaneous discharge rates, and maximum energy storage capacities of the different types of electricity storage (PHS, CSP-PCM, batteries, hydropower), cold storage (CW-STES, ICE), and heat storage (HW-STES, UTES) technologies treated here, by region. Table S14 gives the maximum number of hours of storage at the maximum discharge rate. The product of the maximum discharge rate and hours of storage gives the maximum energy storage capacity. The maximum storage capacities are either of electricity for the electricity storage options or of thermal energy for the hot and cold storage options.

Storage technology	Africa			Australia			Canada			Central America		
	Max charge rate GW	Max discharge rate GW	Max storage capacity TWh	Max charge rate GW	Max discharge rate GW	Max storage capacity TWh	Max charge rate GW	Max discharge rate GW	Max storage capacity TWh	Max charge rate GW	Max discharge rate GW	Max storage capacity TWh
PHS	27.8	27.8	0.39	10.7	10.7	0.150	16.6	16.6	0.233	6.00	6.00	0.084
CSP-elec.	28.2	28.2	--	4.86	4.86	--	0	0	--	8.29	8.29	--
CSP-PCM	45.4	--	0.6	7.84	--	0.110	0	--	0	13.36	--	0.187
Batteries	750	750	3.00	250	250	1.00	100	100	0.400	1,100	1,100	4.40
Hydropower	13.4	31.5	117.2	3.46	7.45	30.3	36.22	81.82	317.3	8.46	19.86	74.1
CW-STES	3.77	3.77	0.053	0.208	0.208	0.0029	0.237	0.237	0.0033	0.668	0.668	0.0094
ICE	5.66	5.66	0.079	0.312	0.312	0.0044	0.355	0.355	0.0050	1.00	1.00	0.0140
HW-STES	143.9	143.9	1.15	9.17	9.17	0.073	24.17	24.17	0.338	27.66	27.66	0.221
UTES-heat	2.85	143.92	103.6	6.55	9.17	0.880	2.47	24.17	5.801	3.19	27.66	0.664
UTES-elec.	143.9	----	--	9.17	--	--	24.17	--	--	27.66	--	--
	Central Asia			China Region			Cuba			Europe		
PHS	12.0	12.0	0.168	126.2	126.2	1.767	3.00	3.00	0.042	208.1	208.1	2.91
CSP-elec.	8.01	8.01	--	128.3	128.3	--	0.482	0.482	--	16.17	16.17	--
CSP-PCM	12.92	--	0.181	206.9	--	2.896	0.777	--	0.011	26.08	--	0.365
Batteries	730	730	2.92	2,600	2,600	10.40	100	100	0.400	1,200	1,200	4.80
Hydropower	10.44	24.96	91.4	158.0	343.7	1384.0	0.030	0.068	0.260	75.36	166.3	660.2
CW-STES	0.066	0.066	0.0009	11.30	11.30	0.1583	0.101	0.101	0.0014	4.44	4.44	0.0621
ICE	0.098	0.098	0.0014	16.96	16.96	0.2374	0.152	0.152	0.0021	6.65	6.65	0.0931
HW-STES	27.02	27.02	0.216	553.9	553.9	2.770	1.67	1.67	0.013	309.7	309.7	1.858

Area di territorio necessaria per tipo di sorgente

Table S22. Footprint and spacing areas per MW of nameplate capacity and installed power density for WWS electricity or heat generation technologies.

WWS technology	Footprint (m ² /MW)	Spacing (km ² /MW)	Installed power density (MW/km ²)
Onshore wind	3.22	0.0505	19.8
Offshore wind	3.22	0.139	7.2
Wave device	700	0.033	30.3
Geothermal plant	3,290	0	304
Hydropower plant	502,380	0	2.0
Tidal turbine	290	0.004	250
Residential roof PV	5,230	0	191.2
Commercial/govt. roof PV	5,230	0	191.2
Solar PV plant	12,220	0	81.8
Utility CSP plant	29,350	0	34.1
Solar thermal for heat	1,430	0	700

Area disponibile per installazione PV

Table S7. 2050 rooftop areas suitable for solar PV panels and the potential PV nameplate capacity fitting in the suitable rooftop areas, for 145 countries. Residential values include rooftops over associated residential parking areas. Commercial/government values include institutional buildings (e.g., schools) and industrial buildings. About 12.3% and 50.4% of potential residential and commercial/government rooftop areas, respectively, are proposed to be installed by 2050 based on the final nameplate capacities for all countries from Table S9. The methodology for determining suitable rooftop area is described in Jacobson et al. (2017) and summarized in the footnote below.

Country	Residential rooftop area suitable for PVs in 2050 (km ²)	Potential nameplate capacity of suitable area in 2050 (MW _{dc-peak})	Commercial/govt. rooftop area suitable for PVs in 2050 (km ²)	Potential nameplate capacity of suitable area in 2050 (MW _{dc-peak})	Country	Residential rooftop area suitable for PVs in 2050 (km ²)	Potential nameplate capacity of suitable area in 2050 (MW _{dc-peak})	Commercial/govt. rooftop area suitable for PVs in 2050 (km ²)	Potential nameplate capacity of suitable area in 2050 (MW _{dc-peak})
Albania	27	6,343	19	4,457	Kuwait	29	6,825	15	3,595
Algeria	722	172,657	410	98,090	Kyrgyzstan	79	18,874	32	7,772
Angola	786	188,041	294	70,253	Lao PDR	170	40,571	50	12,073
Argentina	635	151,995	445	106,496	Latvia	12	2,970	22	5,206
Armenia	29	6,928	17	4,072	Lebanon	23	5,485	12	2,888
Australia	953	227,927	574	137,246	Libya	212	50,624	120	28,693
Austria	81	19,396	65	15,613	Lithuania	21	5,046	39	9,261
Azerbaijan	146	34,978	91	21,679	Luxembourg	2	386	2	375
Bahrain	11	2,588	4	1,017	Macedonia, Nor.	21	5,117	14	3,273
Bangladesh	1,412	337,619	224	53,511	Malaysia	966	231,149	370	88,532
Belarus	37	8,783	63	15,031	Malta	2	412	1	175
Belgium	22	5,244	19	4,545	Mauritius	25	6,011	7	1,766
Benin	275	65,890	44	10,639	Mexico	2,080	497,569	1,053	251,800
Bolivia	277	66,317	110	26,413	Moldova	16	3,709	8	2,011
Bosnia & Herz.	41	9,825	26	6,317	Mongolia	52	12,527	49	11,822
Botswana	65	15,572	36	8,495	Montenegro	6	1,479	5	1,139
Brazil ecc.	3,877	927,203	1,725	412,470	Morocco	482	115,331	220	52,718

Il nucleare NON è appoggiato dalla scienza

Da una recente intervista al prof. Angelo Tartaglia (Ing. Nucleare e prof. emerito di Fisica, Politecnico di Torino)

“Includere il nucleare nella Tassonomia verde dell’Ue è un **suicidio**”.

“Al momento non c’è soluzione al problema delle scorie, i costi sono altissimi, la sicurezza è un’**illusione**”.

“La principale caratteristica dei reattori di quarta generazione è quella di **non esistere**”.

Il nucleare NON è appoggiato dalla scienza

Da una recente intervista al prof. Angelo Tartaglia (Ing. Nucleare e prof. emerito di Fisica, Politecnico di Torino)

“Includere il nucleare nella Tassonomia verde dell’Ue è un **suicidio**”.

“Al momento non c’è soluzione al problema delle scorie, i costi sono altissimi, la sicurezza è un’**illusione**”.

“La principale caratteristica dei reattori di quarta generazione è quella di **non esistere**”.

Rapporto IPCC (2022): "L'energia nucleare continua ad essere afflitta da costi altissimi, alta necessità di investimenti iniziali, problemi irrisolti riguardo allo smaltimento delle scorie radioattive, scarsa accettazione politica e pubblica. Nonostante la bassa probabilità, la possibilità di incidenti nucleari gravi esiste, con esposizione alle radiazioni su larghissime aree e per lungo tempo. Il contesto riguardante la proliferazione parallelo di armamenti nucleari resta cruciale".

In March 2021 the Joint Research Centre (JRC) published the [technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation \(EU\) 2020/852 \('Taxonomy Regulation'\)](#) which concludes that **“there is no science-based evidence that nuclear energy does more harm to human health or to the environment than other electricity production technologies already included in the EU Taxonomy as activities supporting climate change mitigation”**.

Do Not Harm Significantly principle to admit an investment activity between the sustainable ones (tassonomia verde)

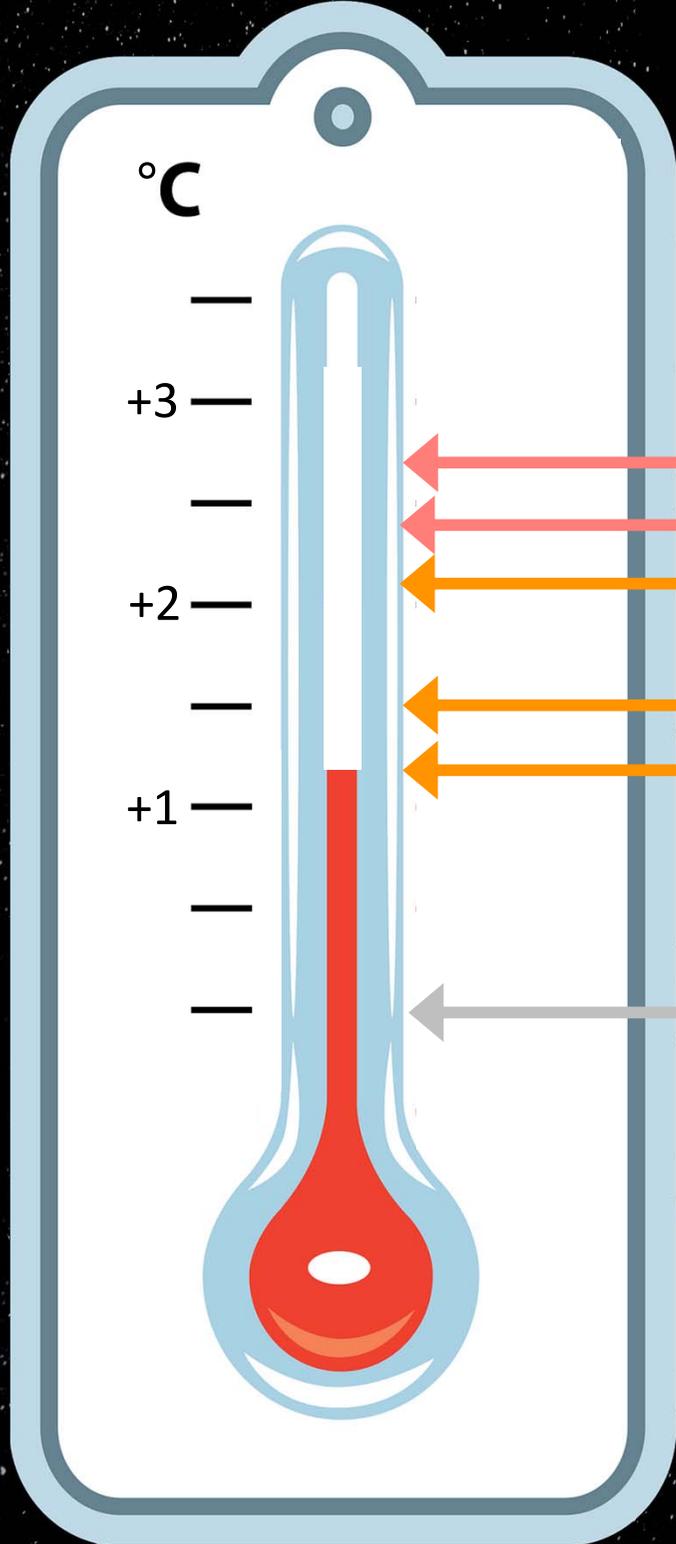
Un'attività economica è considerata significativamente dannosa nei riguardi:

- 1) della mitigazione del cambiamento climatico
 - 2) dell'adattamento al cambiamento climatico
 - 3) dell'utilizzo sostenibile e la protezione acqua e delle risorse marine
 - 4) dell'economia circolare
 - 5) della prevenzione e del controllo dell'inquinamento
 - 6) della protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi
- 4) ... se lo smaltimento a lungo termine dei rifiuti può causare danni significativi e a lungo termine

La narrativa secondo la quale il nucleare potrebbe rappresentare una soluzione contingente, transitoria, da usare in attesa di un cambio di impostazione politica, economica e tecnologica, è **pura invenzione**

2 parole sull'urgenza

(fonti: IPCC, Nature survey)



Mondo Reale

rispettano solo gli impegni per il 2030

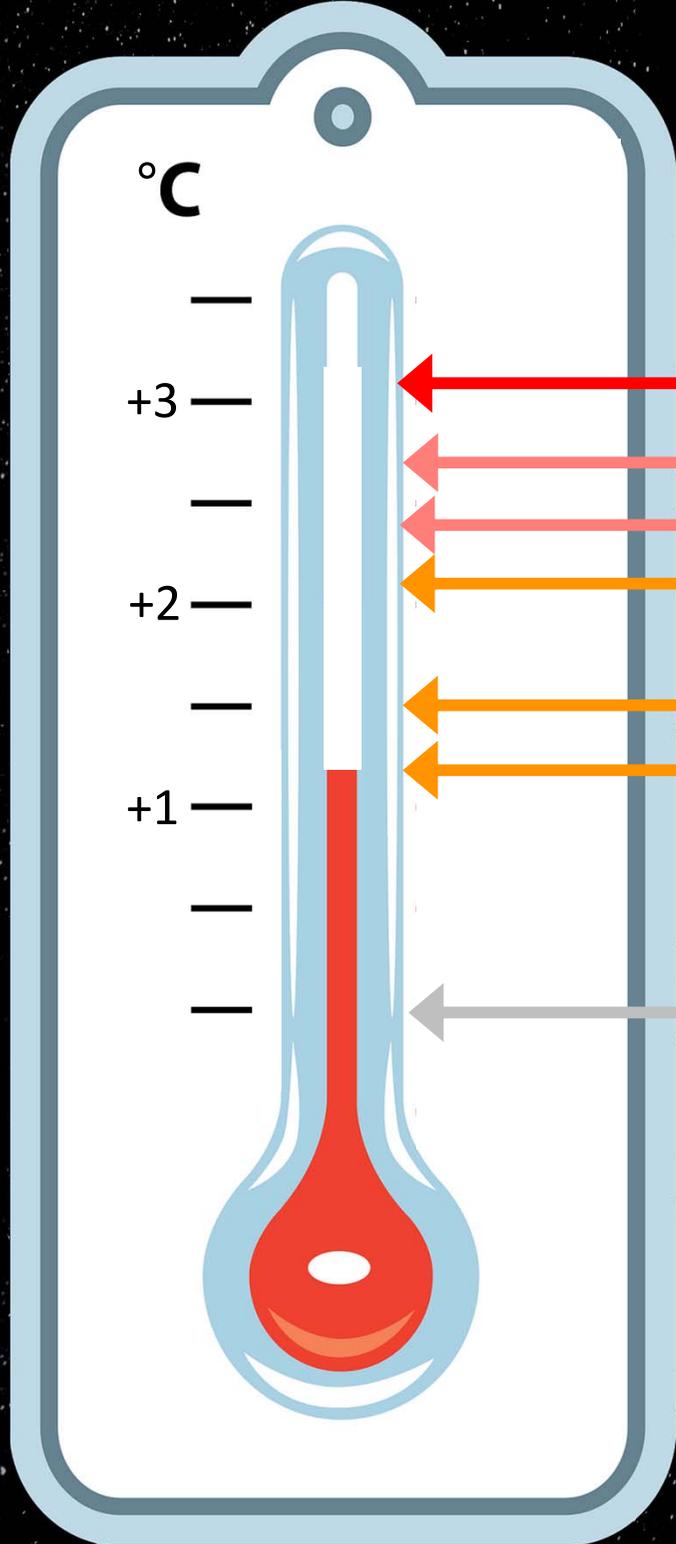
tutti rispettano tutti i propri impegni

obiettivo accordi di Parigi

OGGI

livello 1850-1900

(fonti: IPCC, Nature survey)



opinione del 60% degli scienziati

Mondo Reale

rispettano solo gli impegni per il 2030

tutti rispettano tutti i propri impegni

obiettivo accordi di Parigi

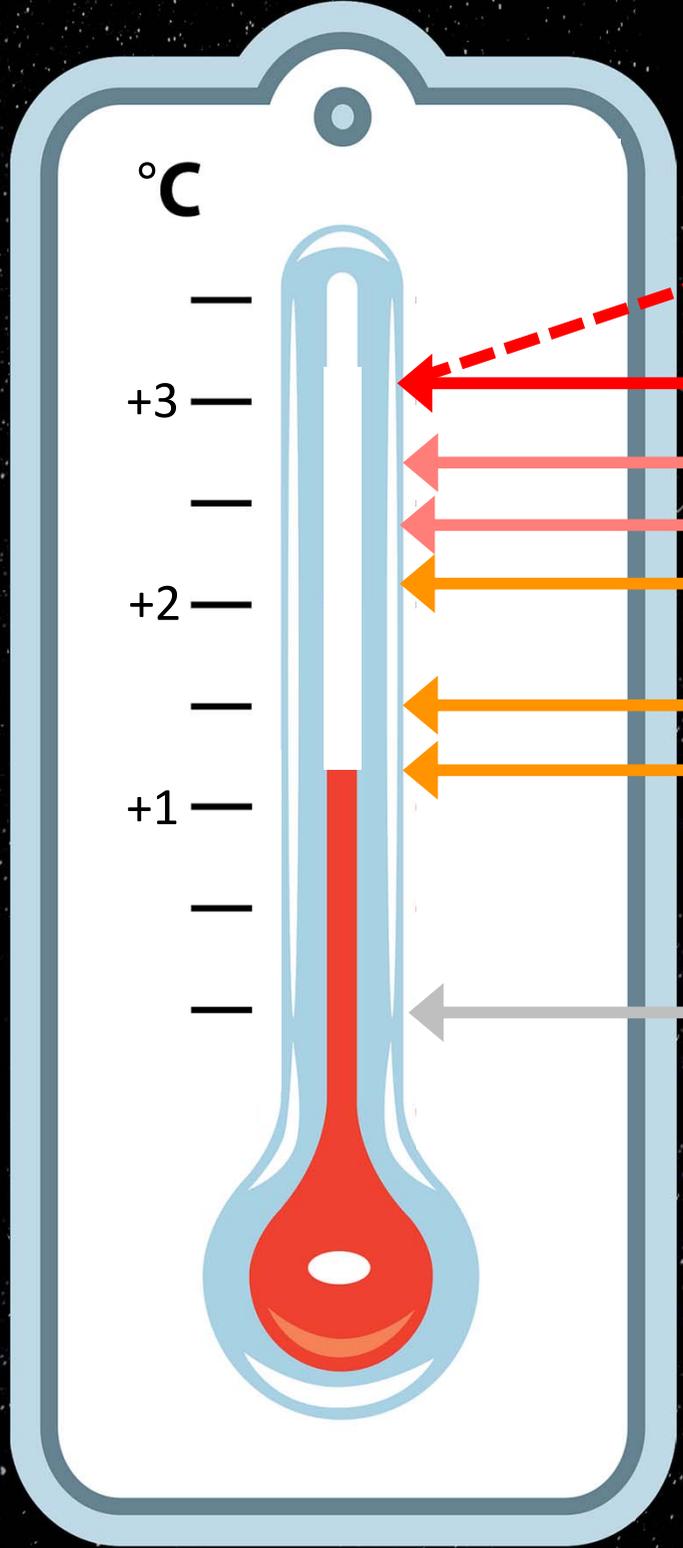
OGGI

livello 1850-1900

(fonti: IPCC, Nature survey)



LA TERRA E' INVIVIBILE



opinione del 60% degli scienziati

Mondo Reale

rispettano solo gli impegni per il 2030

tutti rispettano tutti i propri impegni

obiettivo accordi di Parigi

OGGI

livello 1850-1900

(fonti: IPCC, Nature survey)

Un'area pari a un campo da calcio viene deforestata ogni secondo (fonte: Nazioni Unite)



OSSERVATORIO INTERNAZIONALE SULL'OPERATO DEI PAESI FIRMATARI DELL'ACCORDO

CRITICALLY INSUFFICIENT	HIGHLY INSUFFICIENT	INSUFFICIENT	ALMOST SUFFICIENT	1.5°C PARIS AGREEMENT COMPATIBLE
IRAN	ARGENTINA	CHILE	COSTA RICA	THE GAMBIA
RUSSIA	AUSTRALIA	EU	ETHIOPIA	
SAUDI ARABIA	BRAZIL	GERMANY	KENYA	
SINGAPORE	CANADA	JAPAN	MOROCCO	
THAILAND	CHINA	NORWAY	NEPAL	
	COLOMBIA	PERU	NIGERIA	
	INDIA	SOUTH AFRICA	UK	
	INDONESIA	SWITZERLAND		
	KAZAKHSTAN	USA		
	MEXICO			
	NEW ZEALAND			
	SOUTH KOREA			
	UAE			
	UKRAINE			
	VIET NAM			

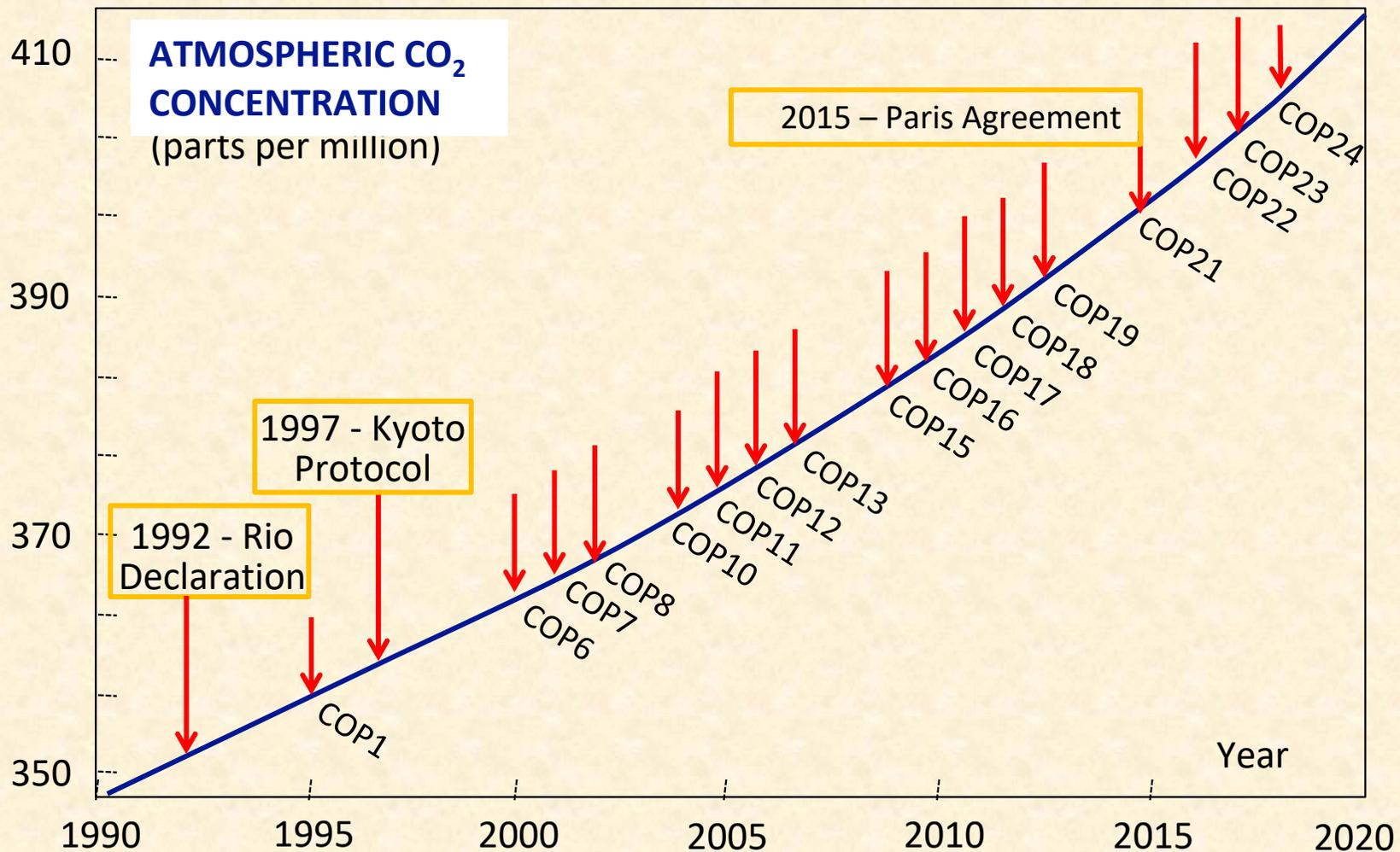
Delle 195 nazioni che hanno sottoscritto a Parigi precisi impegni di contenimento delle emissioni, solo una li sta rispettando: il Gambia.



OVERALL RATINGS

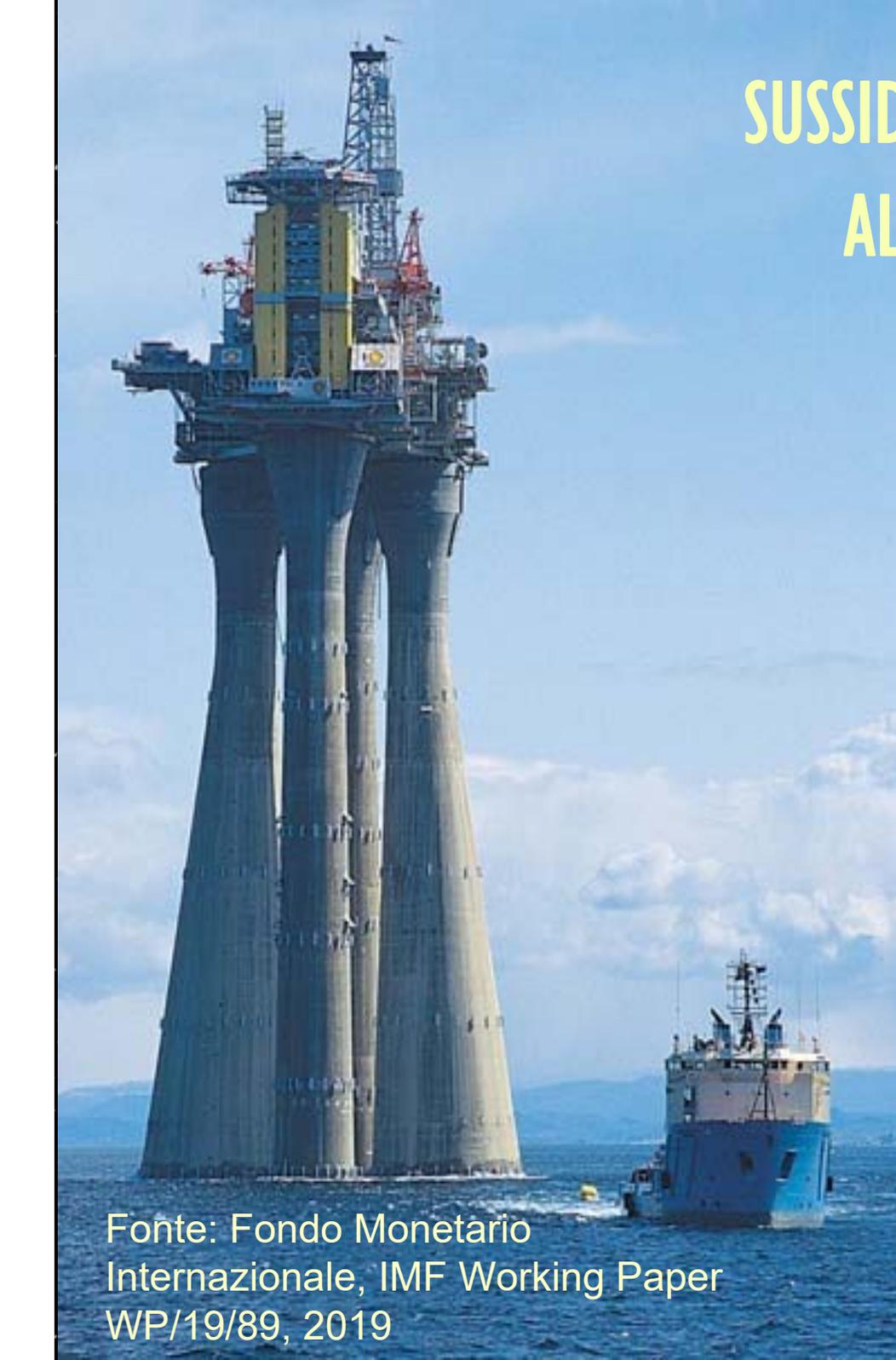
Overall Climate Action Tracker ratings

Sept 2021
Update



- 1992 - **Rio Declaration** on Environment and Development
- 1995 - **Berlin Mandate** on climate change (COP 1)
- 1997 - **Kyoto Protocol** on climate change (COP 3)
- 2000 - **New York Millennium Declaration** on dev. goals
- 2000 - **Bonn Agreements** on climate change (COP 6)
- 2001 - **Marrakech Accords** on climate change (COP 7)
- 2002 - **Delhi Declaration** on climate change (COP 8)
- 2004 - **Buenos Aires Plan of Action** on climate change (COP 10)
- 2005 - **Montreal Action Plan** on climate change (COP 11)
- 2006 - **Nairobi 5-year Plan** on climate change (COP 12)

- 2007 - **Bali Road Map** on climate change (COP 13)
- 2009 - **Copenhagen Accord** on climate change (COP 15)
- 2010 - **Cancun Agreements** on climate change (COP 16)
- 2011 - **Durban Platform** on climate change (COP 17)
- 2012 - **Doha Amendment** on climate change (COP 18)
- 2013 - **Warsaw Mechanism** on climate change (COP 19)
- 2015 - **Paris Agreement** on climate change (COP 21)
- 2016 - **Marrakech Partnership** on climate change (COP 22)
- 2017 - **Fiji Momentum for Implementation** on CC (COP 23)
- 2018 - **Katowice rules** to implement the Paris Agr. (COP 24)



**SUSSIDI DEI GOVERNI (PRE + POST-TAX)
ALLE COMPAGNIE DI ESTRAZIONE DEI
COMBUSTIBILI FOSSILI:
> 5.000 MILIARDI DI \$/anno**

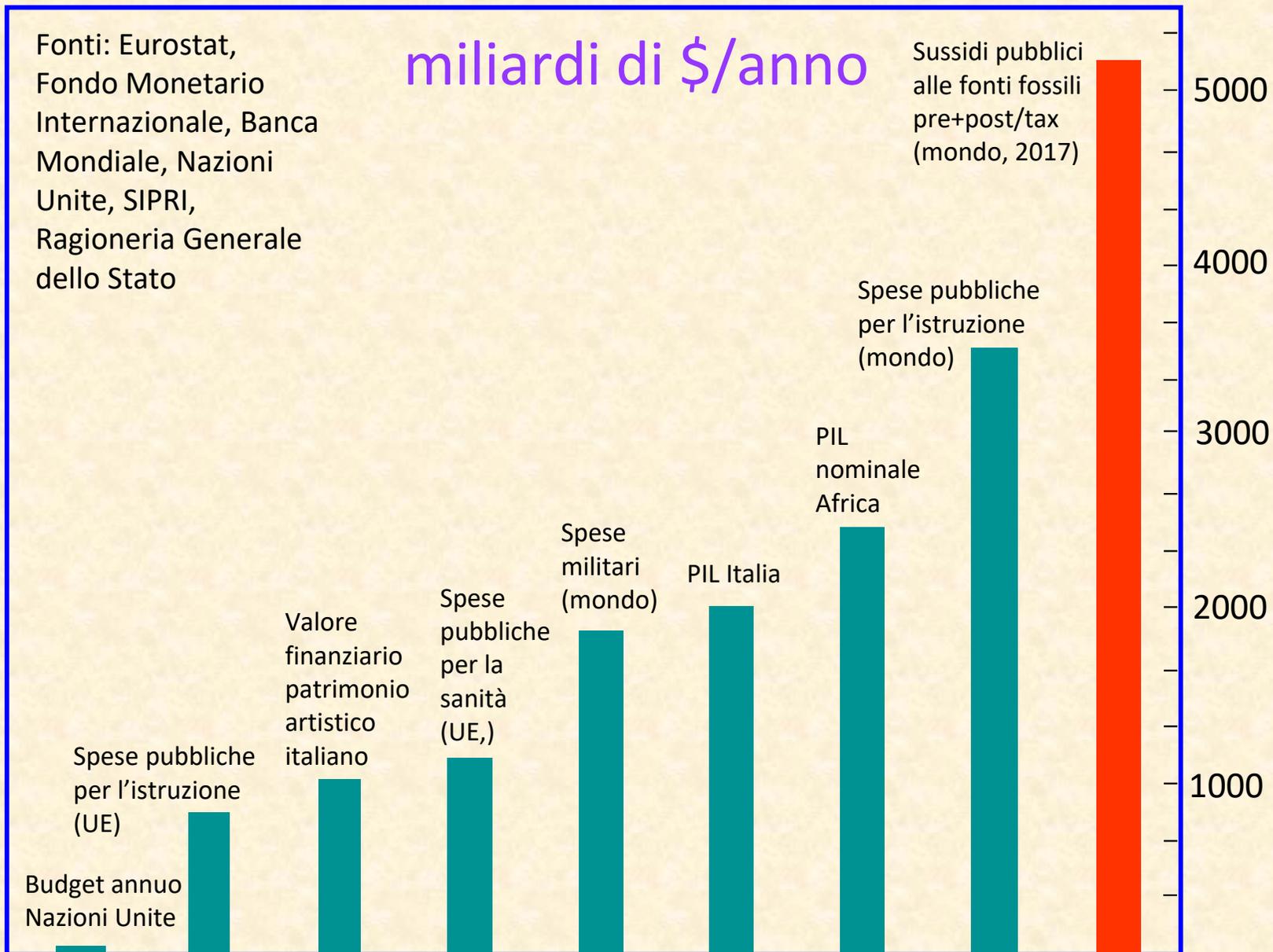


Fonte: Fondo Monetario
Internazionale, IMF Working Paper
WP/19/89, 2019

Fonti: Eurostat,
Fondo Monetario
Internazionale, Banca
Mondiale, Nazioni
Unite, SIPRI,
Ragioneria Generale
dello Stato

miliardi di \$/anno

Sussidi pubblici
alle fonti fossili
pre+post/tax
(mondo, 2017)



BUONA NOTIZIA VIRTUALE

LA SCIENZA DELLA NONVIOLENZA

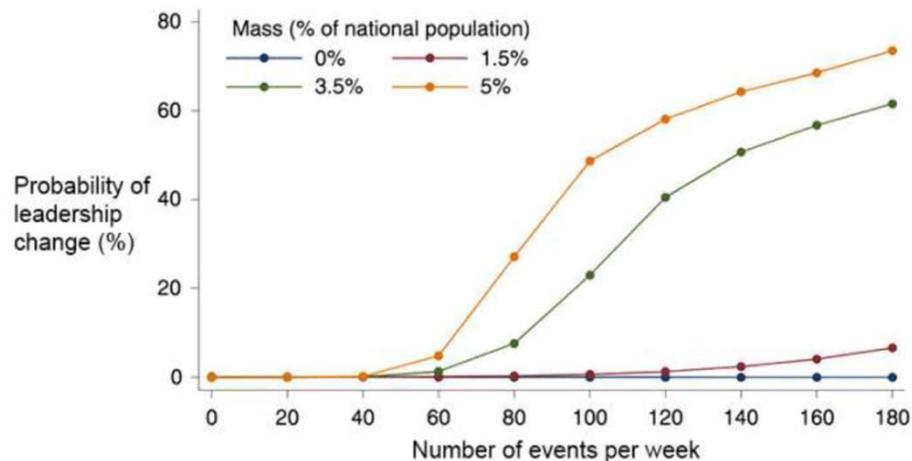
PHYS ORG

Home / Other Sciences / Political Science

AUGUST 12, 2019

Want to predict if your non-violent movement will succeed? Ask Isaac Newton

by Tim Pilgrim, Brunel University



Erica Chenoweth & Maria J. Stephan, 2011.

Why Civil Resistance Works: The Strategic Logic of Nonviolent Conflict

323 conflitti (1900-2006)

analizzati in dettaglio



323 conflitti (1900 - 2006)

☺ 53% successo contro 26% 

☺ Movimenti nonviolenti: dopo 5 anni
probabilità di rimanere democratici

☺ 40% contro 5% 



ALTRA BUONA NOTIZIA VIRTUALE

[home](#)

[Chi siamo](#)

[La Causa](#)

[Sostienici](#)

[Unisciti a noi](#)



GIU DIZIO UNIVER SALE

Invertiamo il processo

COSA SONO LE «CLIMATE LITIGATIONS

»"qualsiasi contenzioso amministrativo o giudiziario federale, statale, tribale o locale in cui le decisioni del tribunale sollevano direttamente ed espressamente una questione di fatto o di diritto riguardante la sostanza o la politica delle cause e degli impatti del cambiamento climatico"

UNEP 2017

- CAUSE LEGALI aventi ad oggetto questioni climatiche, tese a chiedere politiche di protezione dagli impatti climatici.
- NUOVA FRONTIERA dell'azione in campo climatico
- Campo in RAPIDA ESPANSIONE (da **884** in 24 Paesi nel 2017 a **1.550** casi in 38 Paesi nel 2020)
- 1200 negli USA (nel 2017 erano 654)
- oggi (fine 2021) sono oltre **1800**



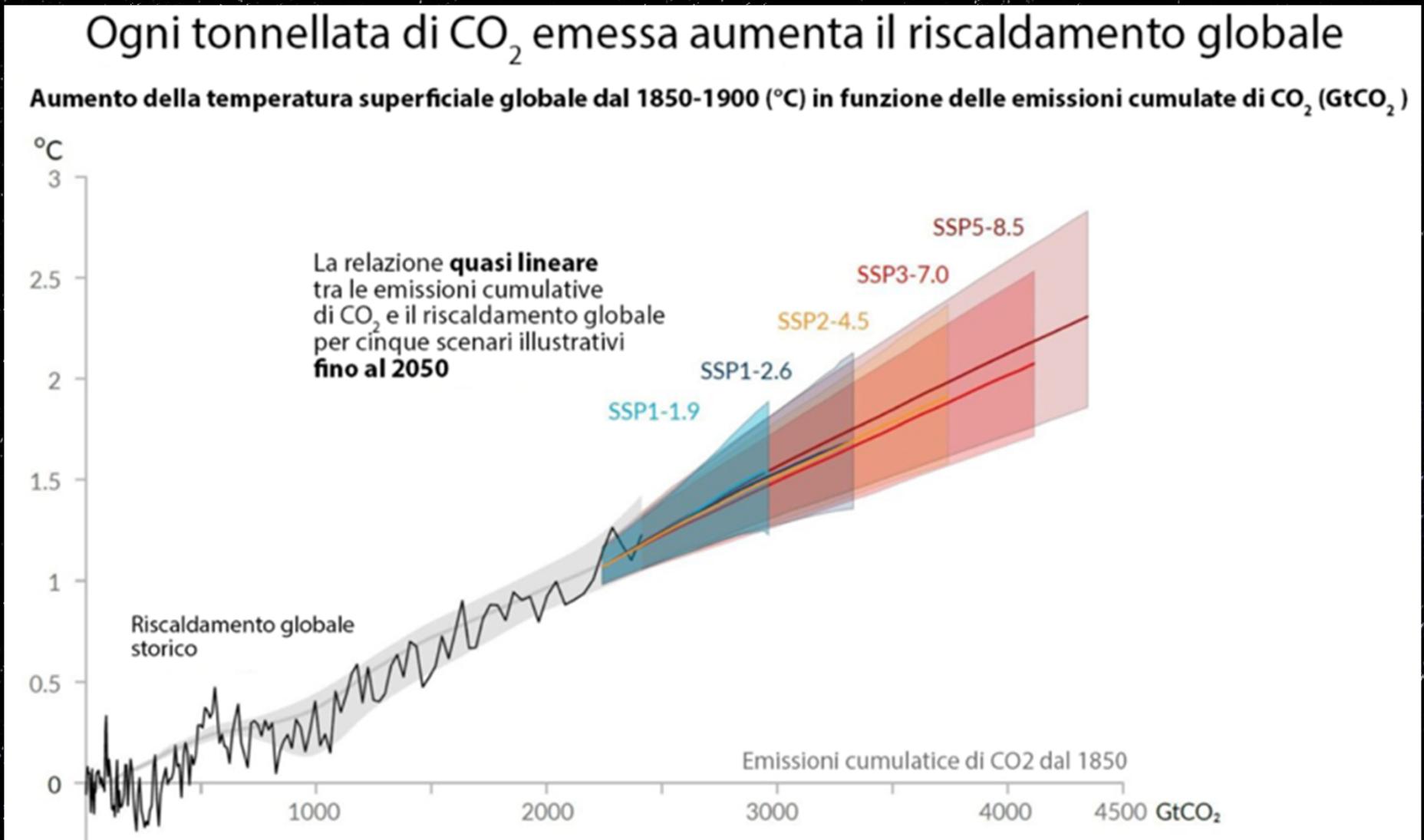
4 aprile 2022



Antonio Guterres, Segretario Generale delle Nazioni Unite

- Il rapporto dell'IPCC è l'accusa infamante del fallimento della gestione climatica.
- E' il catalogo delle vuote e vergognose promesse che ci stanno conducendo dritti dritti verso un mondo invivibile.
- Governi e grandi imprese finanziarie stanno mentendo, e il risultato sarà catastrofico.
- Gli attivisti climatici qualche volta vengono dipinti come pericolosi radicali, ma i veri pericolosi radicali sono i Paesi che stanno aumentando la produzione di combustibili fossili.

La temperatura dipende da quanta CO₂-eq è accumulata in questo momento in atmosfera.
Emettere meno significa solo spostare in avanti nel tempo il riscaldamento (lasciare il problema a voi).



- Ogni singolo kilo di CO₂ emessa fa aumentare la temperatura.
- L'unico modo per fermare il riscaldamento globale è smettere di emettere.
- Di quanto la temperatura aumenterà dipende esclusivamente da quanto emetteremo a partire da oggi.