

## Allarme di Emergenza Climatica da parte di Scienziati di tutto il mondo (\*)

William J. Ripple, Christopher Wolf, Thomas M. Newsome, Phoebe Barnard, William R. Moomaw  
*Academic.oup.com/bioscience* - 5 November 2019

<https://academic.oup.com/bioscience/advance-article/doi/10.1093/biosci/biz088/5610806>

Gli scienziati hanno l'obbligo morale di avvertire l'umanità con chiarezza di ogni minaccia di catastrofe e di "dire le cose così come stanno". Adempiendo a tale responsabilità e sulla base di una serie di indicatori che mostriamo di seguito, noi, e con noi più di 11.000 altri scienziati di ogni parte del mondo che hanno aggiunto la loro firma al nostro lavoro, dichiariamo in modo chiaro e inequivocabile che il pianeta Terra è in **emergenza** climatica.

Esattamente 40 anni fa, scienziati di 50 nazioni s'incontrarono alla Prima Conferenza Mondiale sul Clima (a Ginevra nel 1979) e concordarono che segnali allarmanti di un cambiamento del clima rendevano necessario l'agire con urgenza. Da allora, allarmi simili sono stati lanciati con il Vertice di Rio del 1992, il Protocollo di Kyoto del 1997, e l'Accordo di Parigi del 2015, così come in occasione di vari altri incontri internazionali ed è stato anche esplicitamente dichiarato, da parte di alcuni scienziati, che gli interventi messi in opera erano insufficienti (Ripple et al. 2017). Ciononostante, le emissioni di **Gas Serra** (GS) continuano a crescere velocemente, con effetti sempre più dannosi per il clima della Terra. È necessario aumentare enormemente gli sforzi per conservare la nostra biosfera al fine di evitare le incalcolabili sofferenze conseguenti alla crisi climatica (IPCC 2018).

La maggior parte del dibattito pubblico sul cambiamento climatico si basa soltanto sulla temperatura media alla superficie della terra, che è un aspetto non adeguato a cogliere la portata delle attività umane e i pericoli reali derivanti dal riscaldamento del pianeta (Briggs et al. 2015). È oggi urgentemente necessario che i decisori politici e il pubblico abbiano accesso a un insieme d'indicatori che mostrino gli effetti delle attività umane sulle emissioni di GS e i conseguenti impatti sul clima, sull'ambiente e sulla società. Sviluppando il nostro precedente lavoro (vedi l'Allegato S2), presentiamo una serie di rappresentazioni grafiche dei cambiamenti, avvenuti nell'arco degli ultimi 40 anni, relativi ad attività umane che possono influenzare le emissioni di GS e cambiare il clima (figura 1), e poi presentiamo una serie di grafici relativi ad indicatori diretti del cambiamento climatico (figura 2). Abbiamo utilizzato soltanto insiemi rilevanti di dati che siano chiari, comprensibili, raccolti sistematicamente almeno negli ultimi 5 anni ed aggiornati almeno annualmente.

La crisi climatica è strettamente correlata all'eccessivo consumismo dello stile di vita opulento. I paesi più ricchi sono i principali responsabili delle emissioni di GS su un arco storico di tempo e in generale registrano le maggiori emissioni pro capite (tabella S1). In quest'articolo, mostriamo tendenze generali, prevalentemente a una scala globale, mentre è vero che ci sono molti sforzi (per contrastare il cambiamento climatico, *ndt*) a livello di singole regioni e paesi. I nostri indicatori "vitali" sono concepiti per essere utili al grande pubblico, ai decisori politici, al mondo degli affari, così come a quelli che lavorano per rendere effettivi l'accordo sul clima di Parigi, gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite e gli Obiettivi di Aichi sulla Biodiversità ([www.cbd.int/sp/targets/](http://www.cbd.int/sp/targets/), *ndt*).

Tra quelli relativi ad attività umane sono indicatori molto preoccupanti la crescita sostenuta della popolazione umana e di quella del bestiame ruminante, della produzione di carne pro

---

\* (traduzione a cura di Alberto Clarizia)

capite e del prodotto interno lordo mondiale, l'aumento della perdita di copertura arborea globale e del consumo di combustibile fossile, del numero di passeggeri dei trasporti aerei, delle emissioni globali di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> dal 2000 (figura 1 e Allegato S2). Indicatori incoraggianti, invece, riguardano la diminuzione dei tassi globali di fertilità (nascite) (figura 1b) e della perdita di foreste dell'Amazonia brasiliana (figura 1g), l'aumento dei consumi di energia solare ed eolica (figura 1h), il disinvestimento governativo di oltre sette mila miliardi di dollari nei combustibili fossili (figura 1j) e l'incremento della frazione di emissioni di GS coperte da *carbon pricing* (figura 1m). Tuttavia, la decrescita nel tasso di fertilità umana ha mostrato sostanzialmente un rallentamento negli ultimi 20 anni (figura 1b), e il tasso di perdita di foreste nell'Amazonia brasiliana ha appena iniziato a crescere di nuovo (figura 1g). Il consumo di energia solare ed eolica è aumentato del 373% per decennio, ma nel 2018 esso era ancora 28 volte inferiore al consumo di combustibile fossile (mettendo insieme gas, carbone e petrolio; figura 1h). Sempre nel 2018, circa il 14.0% delle emissioni globali di GS erano coperte da *carbon pricing* (figura 1m), ma la media pesata sulle emissioni globali della tassa per tonnellata di anidride carbonica era soltanto ad un valore di 15.25 dollari (figura 1n). C'è bisogno di una tassa molto più alta (IPCC 2018, sezione 2.5.2.1). I sussidi annui per il combustibile fossile, che sono elargiti alle compagnie del settore energetico, hanno subito fluttuazioni e, a causa di un recente picco, nel 2018 essi sono stati superiori ai 400 miliardi di dollari (figura 1o).

Particolarmente preoccupanti sono i concomitanti andamenti negli indicatori vitali degli impatti climatici (figura 2 e Allegato S2). Tre abbondanti gas serra atmosferici (anidride carbonica CO<sub>2</sub>, metano CH<sub>4</sub> e protossido di azoto N<sub>2</sub>O) continuano ad aumentare (vedi le figure 2a–2c e S1, con un infausto picco per la CO<sub>2</sub> nel 2019), come fa anche la temperatura superficiale globale (figura 2d). A livello globale, le superfici ghiacciate sono andate rapidamente scomparendo, com'è evidenziato dagli andamenti decrescenti della superficie ghiacciata minima estiva del Mare Artico, della calotta glaciale della Groenlandia e dell'Antartico, e altresì dello spessore dei ghiacciai ovunque nel mondo (figure 2e–2h). Il contenuto di calore degli oceani, l'acidità degli oceani, il livello del mare, le aree incendiate negli Stati Uniti e gli eventi meteorologici estremi; e i costi dei danni conseguenti hanno tutti mostrato un andamento verso l'alto (figure 2i–2n). Si prevede che il cambiamento climatico inciderà estesamente sulla vita marina, d'acqua dolce e terrestre, dal plancton e i coralli ai pesci e alle foreste (IPCC 2018, 2019). **Questi fatti mostrano con chiarezza la necessità di agire con urgenza.**

Nonostante 40 anni di negoziati sul clima, con poche eccezioni, noi abbiamo continuato in generale a comportarci come se nulla fosse (*"business as usual"*) e siamo stati largamente incapaci di affrontare questa crisi (figura 1). La crisi climatica è sopraggiunta e sta accelerando più di quanto la maggior parte degli scienziati si aspettasse (figura 2, IPCC 2018). È più grave di quanto previsto e minaccia gli ecosistemi naturali e la sopravvivenza dell'umanità (IPCC 2019). Specialmente preoccupante è l'evenienza di punti di svolta climatici potenzialmente irreversibili e di retroazioni (*feedback*) naturali negative (atmosferiche, marine e terrestri), che potrebbero condurre la Terra ad un catastrofico scenario di "pianeta Serra", ben oltre la possibilità di controllo da parte degli esseri umani (Steffen et al. 2018). Queste reazioni a catena climatiche potrebbero causare significativi sconvolgimenti negli ecosistemi, nella società e nelle economie, rendendo ampie regioni della Terra potenzialmente inabitabili.

Per assicurare un futuro sostenibile dobbiamo cambiare lo stile di vita, in modo da migliorare gli indicatori vitali sintetizzati dai nostri grafici. La crescita economica e quella della popolazione sono tra i più importanti motori di aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub> a causa dell'uso di combustibile fossile (Pachauri et al. 2014, Bongaarts e O'Neill 2018); perciò, abbiamo bisogno di robuste e drastiche trasformazioni nelle politiche economiche e demografiche. Noi suggeriamo (non in un ordine particolare) sei strategie d'importanza

critica e correlate tra loro che i governanti, gli operatori degli affari e il resto dell'umanità possono adottare per ridurre gli effetti peggiori del cambiamento climatico. Questi sono passi importanti ma non sono le sole azioni possibili o necessarie (Pachauri et al. 2014, IPCC 2018, 2019).

## **Energia**

Nel mondo si devono adottare rapidamente diffuse pratiche che rispondano a criteri di efficienza e di risparmio energetici e si devono sostituire i combustibili fossili con fonti rinnovabili (a basso contenuto di carbonio – figura 1h) e altre fonti d'energia più pulite in quanto a sicurezza per le persone e per l'ambiente (figura S2). Dovremmo lasciare le riserve residue di combustibili fossili nel sottosuolo (vedi la tempistica indicata in IPCC 2018) e dovremmo scrupolosamente applicarci a ottenere emissioni effettive “di segno negativo”, utilizzando tecnologie di rimozione del carbonio dalle emissioni delle centrali elettriche e di cattura di anidride carbonica dall'atmosfera e, in special modo, incrementando e potenziando i sistemi naturali (vedi il paragrafo Natura). I paesi più ricchi devono aiutare i paesi più poveri nell'abbandonare i combustibili fossili. Dobbiamo immediatamente eliminare i sussidi a favore dei combustibili fossili (figura 1o) e, per ridurre piuttosto l'uso, dobbiamo introdurre efficaci e giuste politiche per aumentare costantemente le tasse sul carbonio.

## **Inquinanti di breve durata**

Dobbiamo ridurre immediatamente le emissioni d'inquinanti di breve durata dannosi per il clima, come il metano (figura 2b), la fuliggine e gli idrofluorocarburi (HFC). Facendo questo si possono rallentare i meccanismi di retroazione (*feedback*) e ridurre potenzialmente del 50%, entro pochi decenni, la tendenza al riscaldamento a breve termine, salvando milioni di vite e incrementando la resa dei raccolti in seguito alla riduzione dell'inquinamento dell'atmosfera (Shindell et al. 2017). L'emendamento di Kigali del 2016 (al Protocollo di Montreal, *ndt*) per ridurre gli HFC è benvenuto.

## **Natura**

Dobbiamo proteggere e ripristinare gli ecosistemi della Terra. Il fitoplancton, le barriere coralline, le foreste, le savane, le praterie, le paludi (zone umide), le torbiere, le campagne, le mangrovie e la vegetazione marina contribuiscono grandemente a sequestrare la CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Le piante, gli animali e i microrganismi marini e terrestri giocano ruoli rilevanti nel ciclo e nell'immagazzinamento delle sostanze nutritive e del carbonio. È necessario ridurre rapidamente la distruzione di habitat e di biodiversità (figure 1f–1g), proteggendo le residue foreste primarie e intatte, specialmente quelle con elevate riserve di carbonio, e altre foreste capaci di assorbire il carbonio rapidamente (“proforestazione”), incrementando al contempo la riforestazione e l'afforestamento a grande scala ovunque fossero possibili. Sebbene le terre disponibili siano limitate nelle varie regioni, si può ottenere, con queste soluzioni di tipo naturale a favore del clima, fino a un terzo della riduzione delle emissioni richiesta dall'accordo di Parigi entro il 2030 (con un riscaldamento limitato a 2°C) (Griscom et al. 2017).

## **Cibo**

Mangiare prevalentemente alimenti di origine vegetale e ridurre contemporaneamente il consumo globale di prodotti animali (figura 1c–d), specialmente da bestiame ruminante (Ripple et al. 2014), può migliorare la salute umana e dare un contributo rilevante alla diminuzione delle emissioni di GS (incluso il metano, di cui s'è detto al punto degli “Inquinanti di breve durata”). Inoltre, questo renderebbe i terreni, che sono coltivati a mangime per il bestiame, disponibili per essere coltivati con piante per l'alimentazione umana, e allo stesso tempo liberando alcuni terreni da pascolo per le soluzioni di tipo naturale a favore del clima (vedi la sezione “Natura”).

Sono di vitale importanza quelle pratiche di coltivazione come il dissodamento ridotto al minimo, che accresce l'assorbimento di carbonio nel terreno. Infine bisogna ridurre drasticamente l'enorme quantità di scarti alimentari in tutto il mondo.

### **Economia**

L'eccessiva estrazione di materiali e l'enorme sfruttamento degli ecosistemi, indotti dalla crescita economica, devono essere rapidamente ridimensionati per assicurare la sopravvivenza a lungo termine della biosfera. Abbiamo bisogno di un'economia senza-carbonio che tenga conto espressamente della dipendenza umana dalla biosfera e di politiche che guidino le decisioni economiche conseguentemente. Abbiamo bisogno di spostare i nostri obiettivi dalla crescita del PIL e dall'inseguimento della ricchezza alla protezione degli ecosistemi e al miglioramento del benessere umano, dando la priorità ai bisogni fondamentali e riducendo le disuguaglianze.

### **Popolazione**

La popolazione mondiale, che tuttora cresce di circa 80 milioni di individui all'anno, cioè più di 200 mila al giorno (figura 1a-b), deve essere stabilizzata –e, idealmente, ridotta con gradualità– entro un quadro normativo che assicuri l'integrità sociale. Esistono politiche collaudate ed efficaci che rafforzano i diritti umani, diminuendo al contempo i tassi di fertilità e riducendo l'impatto della crescita demografica sulle emissioni di GS e sulla perdita di biodiversità. Queste politiche mettono a disposizione di tutti i cittadini servizi di pianificazione familiare, rimuovono le barriere al loro accesso e realizzano una piena eguaglianza di genere, inclusa l'istruzione primaria e secondaria su base universale, in special modo per le ragazze e le giovani donne (Bongaarts and O'Neill 2018).

### **Conclusioni**

Il rendere meno severo il cambiamento climatico e l'adattamento a esso, nel rispetto della diversità degli esseri umani, comporta grandi trasformazioni nei modi in cui la nostra società globale funziona e interagisce con gli ecosistemi naturali. Siamo incoraggiati dalla recente ondata d'attenzione. Organismi governativi fanno dichiarazioni di emergenza climatica. Gli studenti scioperano. Nei tribunali vengono discusse cause di disastro ambientale. Movimenti locali di cittadini richiedono cambiamenti e molte nazioni, regioni e province, municipalità e aziende rispondono.

Come *Alliance of World Scientists*, siamo pronti ad assistere i decisori politici in una transizione giusta verso un futuro sostenibile ed equo. Sollecitiamo un ampio e diffuso utilizzo degli indicatori vitali, che meglio consentiranno ai politici, ai privati e al pubblico di comprendere la portata della crisi in corso, di monitorare i progressi e di ricalibrare le priorità per mitigare il cambiamento climatico. La buona notizia è che le trasformazioni di cui parliamo, che prevedono giustizia sociale ed economica per tutti, promettono di produrre un benessere umano molto maggiore di quello cui siamo abituati. Crediamo che le prospettive siano eccellenti se i politici e l'intera umanità prontamente risponderanno a quest'allarme di emergenza climatica e agiranno per proteggere la vita sul pianeta Terra, la nostra sola casa.

### **Hanno contribuito con la loro revisione:**

Franz Baumann, Ferdinando Boero, Doug Boucher, Stephen Briggs, Peter Carter, Rick Cavicchioli, Milton Cole, Eileen Crist, Dominick A. DellaSala, Paul Ehrlich, Iñaki Garcia-De-Cortazar, Daniel Gilfillan, Alison Green, Tom Green, Jillian Gregg, Paul Grogan, John Guillebaud, John Harte, Nick Houtman, Charles Kennel, Christopher Martius, Frederico Mestre, Jennie Miller, David Pengelley, Chris Rapley, Klaus Rohde, Phil Sollins, Sabrina Speich, David Victor, Henrik Wahren, e Roger Worthington.

## Finanziamenti

Il Worthy Garden Club ha finanziato in parte questo progetto.

## Sito internet del Progetto

Per consultare il sito web della *Alliance of World Scientists* o per aggiungere la propria firma vai a <https://scientistswarning.forestry.oregonstate.edu>.

## Materiale supplementare

Vedi la pagina web originale dell'articolo:

<https://academic.oup.com/bioscience/advance-article/doi/10.1093/biosci/biz088/5610806> ,

per dati supplementari e per la lista dei firmatari (Allegato S1).

## Bibliografia

Briggs S, Kennel CF, Victor DG. 2015. Planetary vital signs. *Nature Climate Change* 5: 969.

Bongaarts J, O'Neill BC. 2018. Global warming policy: Is population left out in the cold? *Science* 361: 650–652.

Griscom BW, et al. 2017. Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: 11645–11650.

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2018. *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report*. IPCC.

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019. *Climate Change and Land*. IPCC.  
Pachauri RK, et al. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Ripple WJ, Smith P, Haberl H, Montzka SA, McAlpine C, Boucher DH. 2014. Ruminants, climate change, and climate policy. *Nature Climate Change* 4: 2–5.

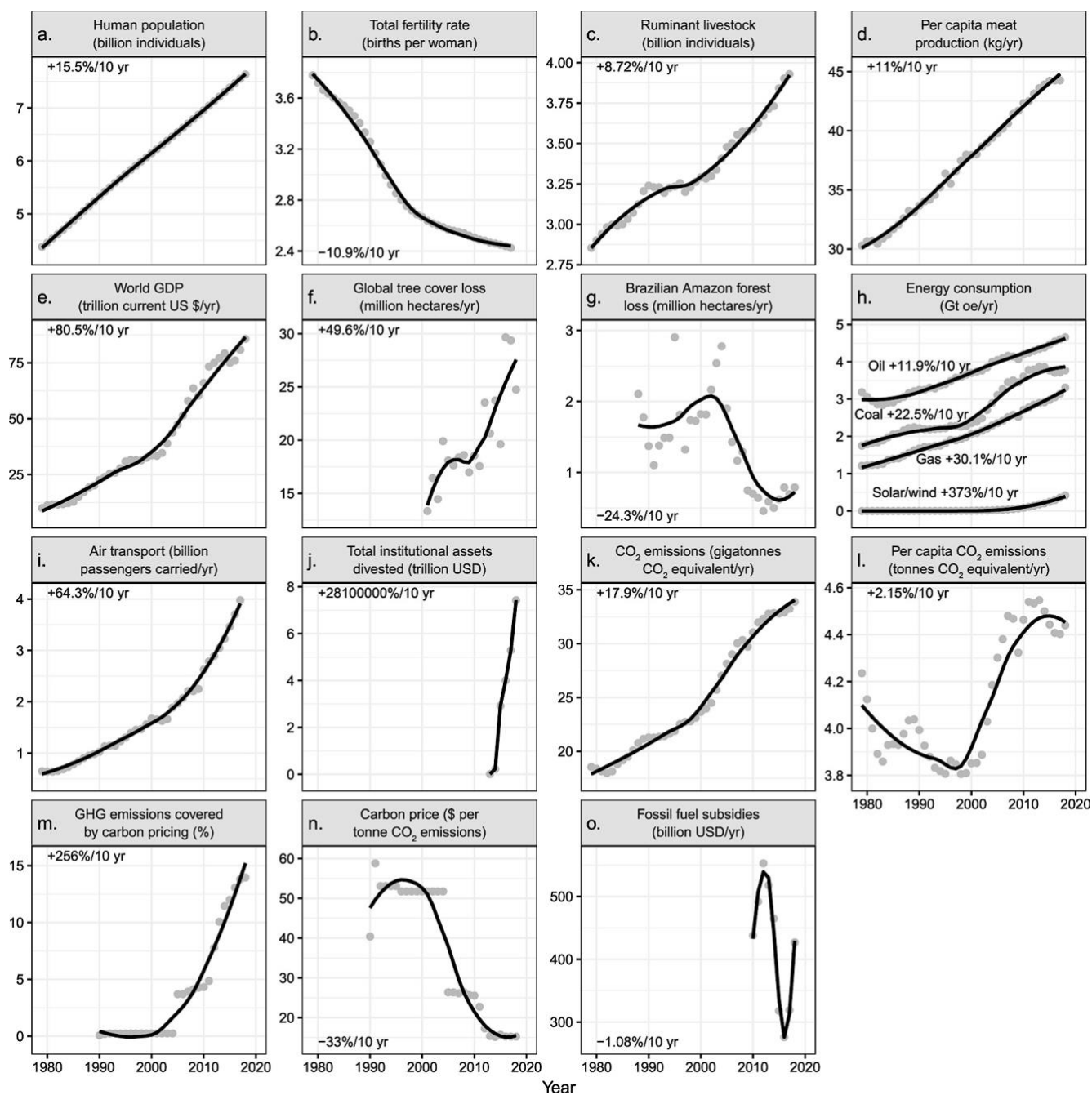
Ripple WJ, Wolf C, Newsome TM, Galetti M, Alamgir M, Crist E, Mahmoud MI, Laurance WF. 2017. World scientists' warning to humanity: A second notice. *BioScience* 67: 1026–1028.

Shindell D, Borgford-Parnell N, Brauer M, Haines A, Kuylenstierna J, Leonard S, Ramanathan V, Ravishankara A, Amann M, Srivastava L. 2017. A climate policy pathway for near- and long-term benefits. *Science* 356: 493–494.

Steffen W, et al. 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: 8252–8259.

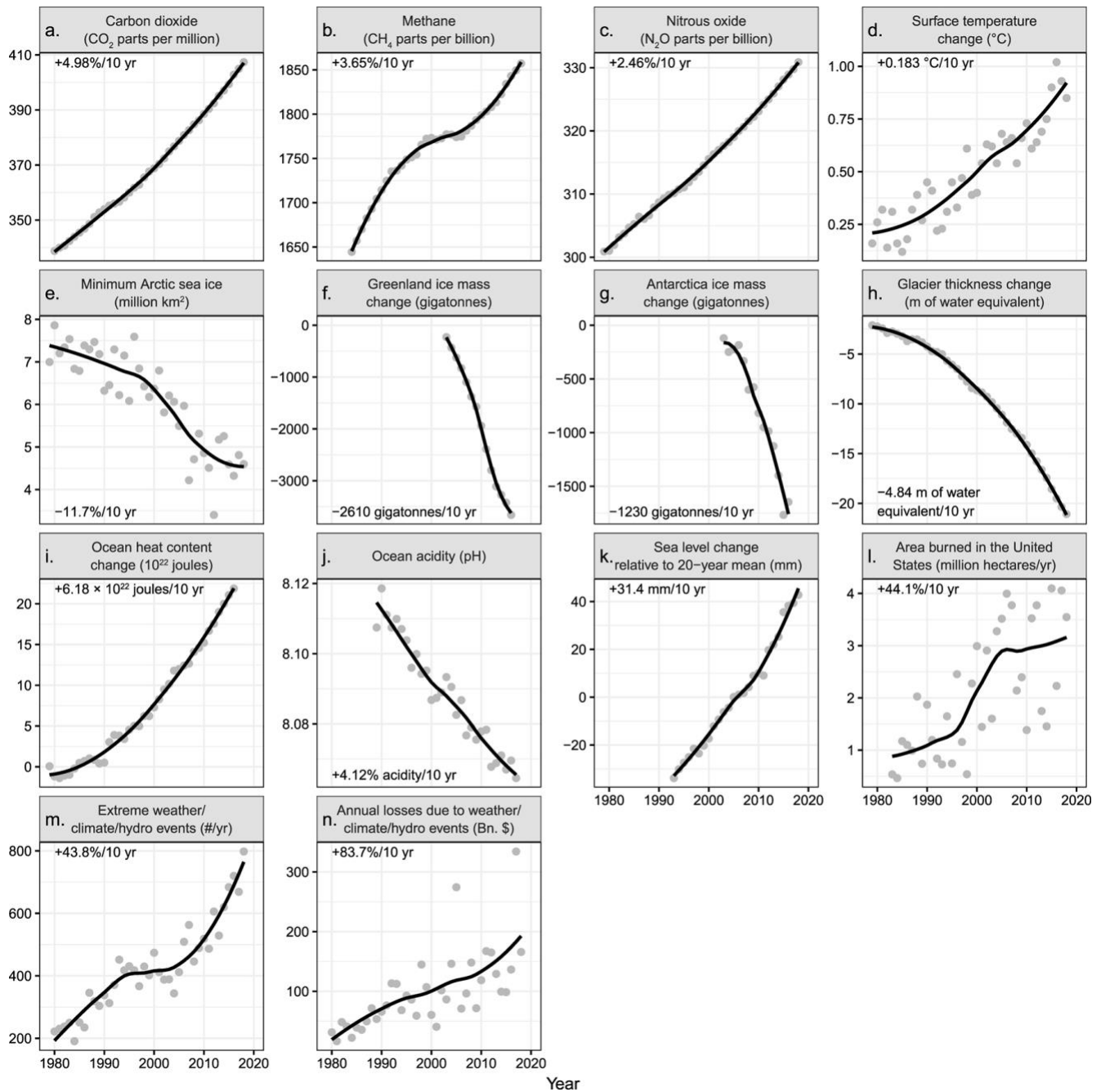
---

*William J. Ripple* ([bill.ripple@oregonstate.edu](mailto:bill.ripple@oregonstate.edu)) e *Christopher Wolf* ([christopher.wolf@oregonstate.edu](mailto:christopher.wolf@oregonstate.edu)) sono associati al Department of Forest Ecosystems and Society della Oregon State University, in Corvallis e hanno contribuito egualmente a questo lavoro. *Thomas M. Newsome* è associato alla School of Life and Environmental Sciences presso The University of Sydney, in Sydney, New South Wales, Australia. *Phoebe Barnard* è associata al Conservation Biology Institute, in Corvallis, Oregon, e alla African Climate and Development Initiative, della University of Cape Town, in Cape Town, South Africa. *William R. Moomaw* è associato a The Fletcher School and the Global Development and Environment Institute, della Tufts University, in Medford, Massachusetts.



**Figura 1**

Variazioni in alcune attività umane (valori globali) dal 1979 a oggi. Questi indicatori sono correlati almeno in parte al cambiamento climatico. Nel riquadro (f), la perdita annuale di copertura arborea può essere dovuta a una causa qualunque (ad esempio incendi incontrollati, raccolti in piantagioni boschive, oppure riconversioni di foreste in aree agricole). La crescita delle foreste non è compresa nel calcolo della perdita di copertura arborea. Quanto al riquadro (h), gli andamenti dell'energia idroelettrica e di quella nucleare sono mostrati nella figura S2. I tassi indicati nei riquadri sono le variazioni percentuali per decennio mediati sull'intero intervallo della serie temporale. I valori annuali sono mostrati usando circoletti grigi. Le linee nere sono curve di regressione locale ottimizzate per rappresentare l'andamento. Abbreviazione: *Gt oe* all'anno sta a significare "giga tonnellate" (miliardi di tonnellate) di "petrolio equivalente" all'anno. Le fonti dei dati e dettagli aggiuntivi, per ciascun riquadro, sono forniti nell'Allegato S2, compresa la tabella S2.



**Figura 2**

Variazioni temporali delle risposte climatiche dal 1979 a oggi. I tassi indicati nei riquadri sono le variazioni per decennio mediati sugli interi intervalli delle serie temporali. Questi tassi sono espressi in termini percentuali, tranne che per alcune grandezze (d, f, g, h, i, k) per le quali sono riportate invece le variazioni assolute. Per l'acidità degli oceani (pH), il tasso percentuale è calcolato sulla base dell'attività degli ioni idrogeno,  $a_{H^+}$  (dove valori di pH più bassi indicano acidità più elevata). I valori annuali sono mostrati usando circoletti grigi. Le linee nere sono curve di regressione locale ottimizzate per rappresentare l'andamento. Le fonti dei dati e dettagli aggiuntivi, per ciascun riquadro, sono forniti nell'Allegato S2, compresa la tabella S3.

## Indice

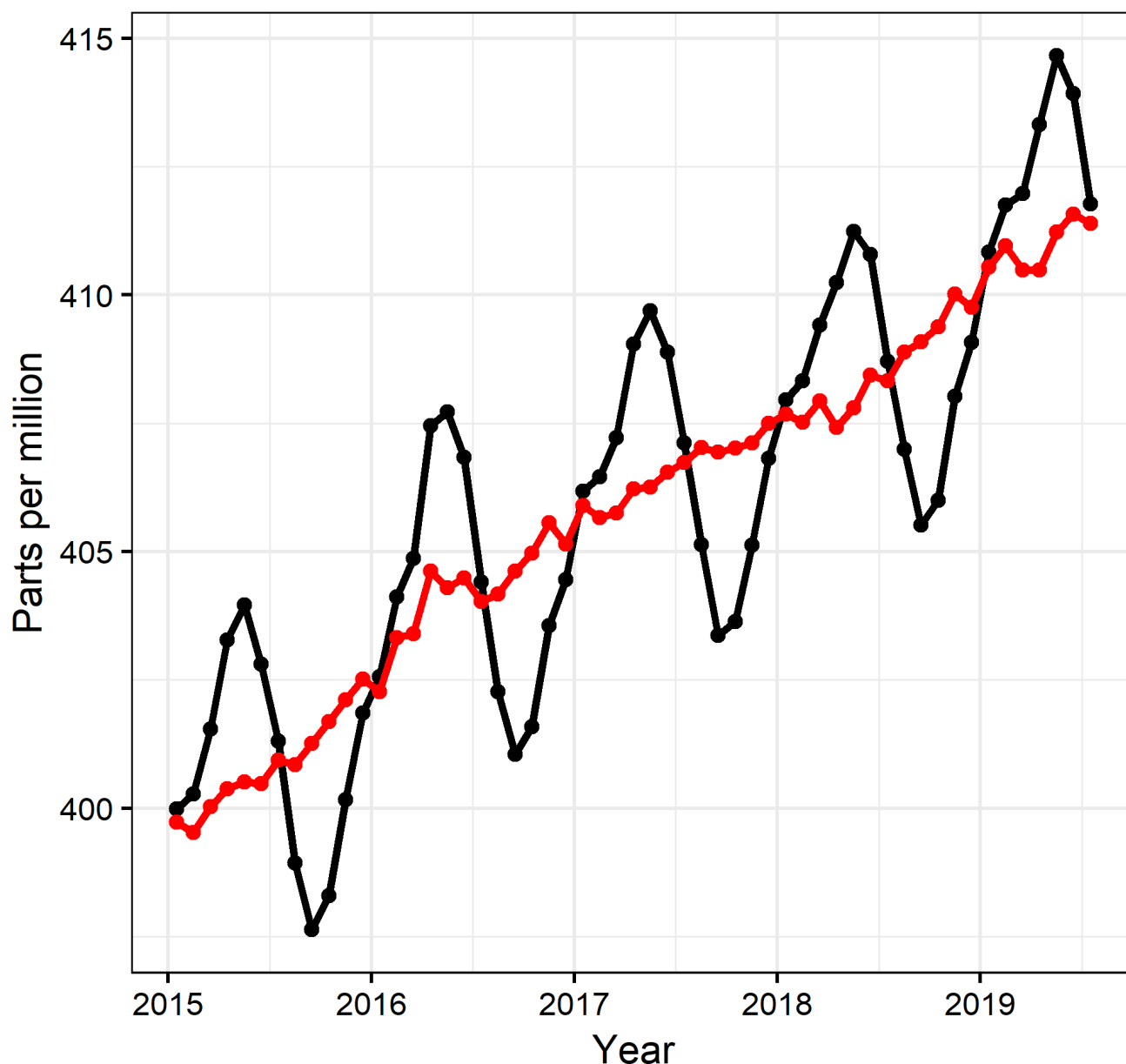
<b>Figura S1.</b> Concentrazione media mensile di CO <sub>2</sub> a Mauna Loa, Hawaii .....	9
<b>Figura S2.</b> Tassi di consumo di energia idroelettrica e di energia nucleare .....	10
<b>Tabella S1.</b> Sintesi regionali per 24 paesi e per l'Unione europea .....	11
<b>Tabella S2.</b> Riepilogo degli indicatori di attività umane .....	12
<b>Tabella S3.</b> Riepilogo degli indicatori della risposta climatica .....	13
<b>Altri indicatori grafici</b> .....	14
<b>Metodologie</b> .....	14
<b>Indicatori di attività umane</b> .....	15
<b>Indicatori degli impatti climatici effettivi</b> .....	18
<b>Bibliografia supplementare</b> .....	20

### **“Allarme di Emergenza Climatica da parte di Scienziati di tutto il mondo”**

di William J. Ripple, Christopher Wolf, Thomas M. Newsome, Phoebe Barnard e William R. Moomaw, più 11.258 scienziati firmatari di 153 paesi (lista nell'Allegato S1)

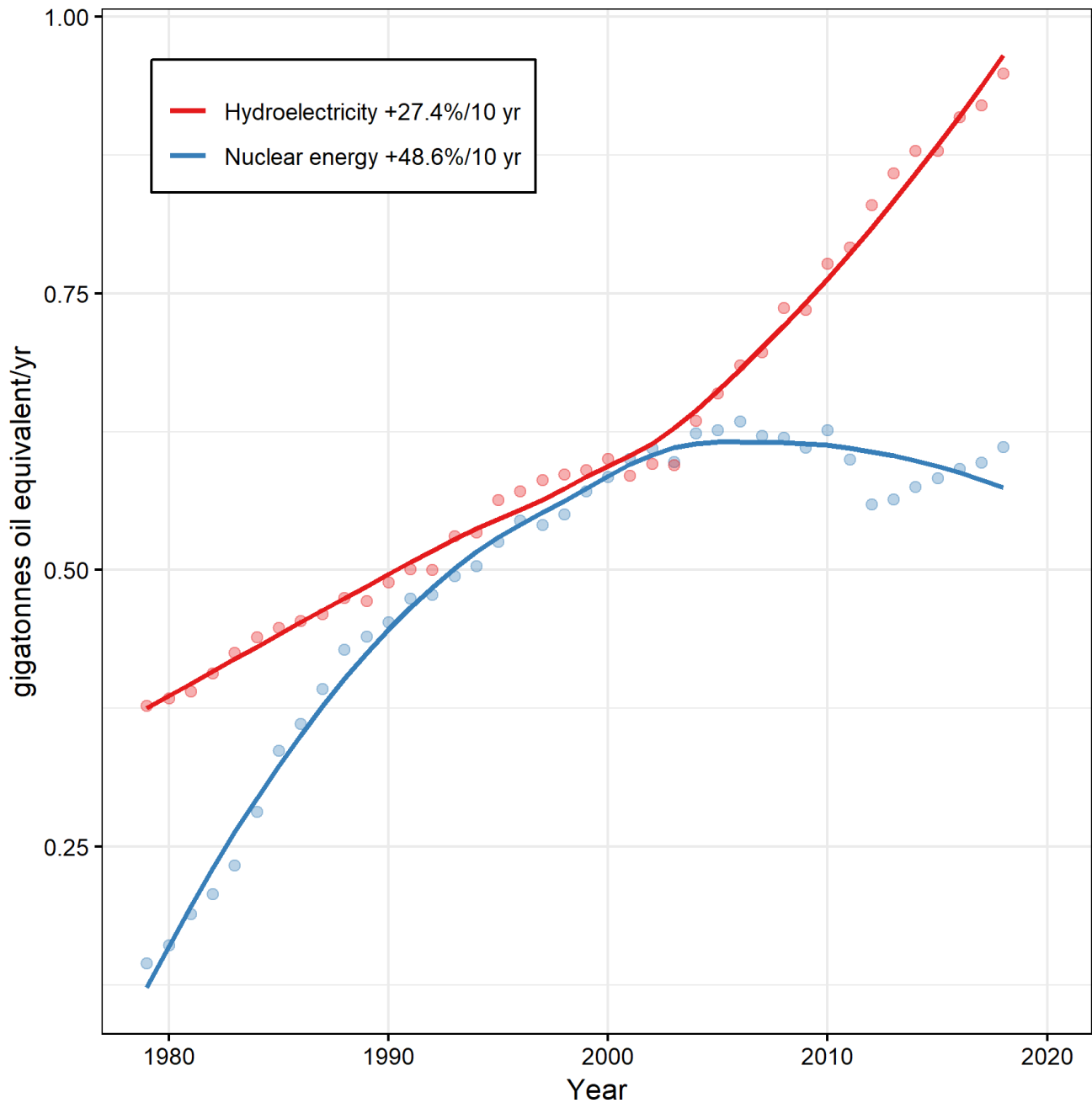


## Monthly mean CO<sub>2</sub> at Mauna Loa



**Figura S1.**

Concentrazione media mensile di CO<sub>2</sub> misurata all'Osservatorio di Mauna Loa, Hawaii. I dati (curva nera), misurati come frazione molare in aria secca, a Mauna Loa costituiscono la serie più lunga di misurazioni dirette di CO<sub>2</sub> in atmosfera. [...] La **linea nera** connette i valori medi mensili, centrati sul punto di mezzo di ogni mese. La **linea rossa** connette gli stessi valori, dopo averli corretti eliminando la fluttuazione stagionale media (nell'arco dell'anno). Quest'ultima è determinata come la media mobile di sette cicli stagionali adiacenti centrati sul mese da correggere [...]. Si veda per i dettagli e per una serie temporale più ampia: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>



**Figura S2.**

Tassi di consumo annuale di energia nucleare e idroelettrica (British Petroleum Company 2019). I valori indicati nella legenda sono i tassi di variazione per decennio mediati sull'intero intervallo (di 40 anni) della serie temporale (in termini percentuali). Si veda British Petroleum Company (2019) per altre fonti di energia minori non mostrate in questa figura. La figura 1h nel testo principale mostra il consumo di combustibili fossili e di energia solare/eolica.

## Tabelle aggiuntive

**Tabella S1.** Sintesi regionali per 24 paesi e per l'Unione Europea. Le grandezze mostrate sono: "CO<sub>2</sub>" (emissioni totali di CO<sub>2</sub> associate al consumo di combustibili fossili in mega [milioni] tonnellate), "Popolazione" (popolazione umana in milioni), "CO<sub>2</sub> pro capite" (emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite in tonnellate per persona), "Quota parte" (percentuale di tutte le emissioni di CO<sub>2</sub> associate al consumo di combustibili fossili rispetto al totale globale), e "PIL pro capite" (prodotto interno lordo per persona in dollari USA). Tutti i dati sono relativi all'anno 2018, ad eccezione del PIL per l'Iran, che è del 2017 (la stima del 2018 non era ancora disponibile). Dettagli aggiuntivi sulle grandezze sono fornite nelle informazioni successive.

	CO <sub>2</sub>	Popolazione	CO <sub>2</sub> pro capite	Percentuale	PIL pro capite
	(Mton)	(milioni)	(ton)		(dollari)
Cina	9429	1447	6.5	28.4%	\$9 400
Stati Uniti	5145	327	15.7	15.5%	\$62 736
Unione Europea	3470	510	6.8	10.4%	\$36 806
India	2479	1354	1.8	7.5%	\$2 016
Russia	1551	144	10.8	4.7%	\$11 531
Giappone	1148	127	9.0	3.5%	\$39 077
Corea del Sud	698	51	13.6	2.1%	\$31 663
Iran	656	82	8.0	2.0%	\$5 536
Arabia Saudita	571	34	17.0	1.7%	\$23 305
Canada	550	37	14.9	1.7%	\$46 274
Indonesia	543	267	2.0	1.6%	\$3 898
Messico	463	131	3.5	1.4%	\$9 330
Brasile	442	211	2.1	1.3%	\$8 868
Sud Africa	421	57	7.3	1.3%	\$6 376
Australia	417	25	16.8	1.3%	\$57 726
Turchia	390	82	4.8	1.2%	\$9 363
Thailandia	302	69	4.4	0.9%	\$7 299
Emirati Arabi Uniti	277	10	29.0	0.8%	\$43 389
Malesia	250	32	7.8	0.8%	\$11 048
Kazakhstan	248	18	13.5	0.7%	\$9 292
Singapore	230	6	39.7	0.7%	\$62 846
Vietnam	225	96	2.3	0.7%	\$2 539
Egitto	224	99	2.3	0.7%	\$2 526
Pakistan	196	201	1.0	0.6%	\$1 559
Ucraina	187	44	4.2	0.6%	\$2 977
<b>Primi 25</b>	<b>30511</b>	<b>5460</b>	<b>5.6</b>	<b>91.8%</b>	<b>\$13 960</b>
<b>Mondo</b>	<b>33243</b>	<b>7550</b>	<b>4.4</b>	<b>100.0%</b>	<b>\$11 363</b>

**Tabella S2.** Riepilogo degli indicatori di attività umane. Le colonne della tabella mostrano il nome della variabile, l'anno di rilevazione più recente, il valore della variabile in quell'anno, la posizione per quell'anno rispetto agli altri anni di rilevazione (la posizione #1 è il valore più alto) e il numero totale di anni con dati disponibili (dal 1979). Ad esempio, la popolazione umana è stata misurata l'ultima volta nel 2018 con un valore di 7,63 miliardi di persone, che si è classificato come il valore massimo nei 40 anni di dati disponibili dal 1979.

<b>Variabile</b>	<b>Anno</b>	<b>Valore</b>	<b>Posizione</b>	<b>Anni disponibili</b>
Popolazione umana (miliardi di persone)	2018	7.63	1	40
Tasso di fertilità (nascite per donna)	2017	2.43	39	39
Bestiame ruminante (miliardi di individui)	2017	3.93	1	39
Produzione di carne pro capite (kg/anno)	2017	44.3	1	39
PIL mondiale (migliaia di miliardi di dollari USA 2018/anno)	2018	85.8	1	40
Perdita globale di copertura arborea (milioni di ettari/anno)	2018	24.8	3	18
Deforestazione nella foresta Amazzonica brasiliana (milioni di ettari/anno)	2018	0.79	22	31
Consumo di carbone (miliardi di tonnellate di petrolio equivalente/anno)	2018	3.77	5	40
Consumo di petrolio (miliardi di tonnellate di petrolio equivalente/anno)	2018	4.66	1	40
Consumo di gas naturale (miliardi di tonnellate di petrolio equivalente/anno)	2018	3.31	1	40
Solare/eolico (miliardi di tonnellate di petrolio equivalente/anno)	2018	0.42	1	40
Trasporto aereo (miliardi di passeggeri /anno)	2017	3.98	1	39
Beni disinvestiti in totale (migliaia di miliardi di dollari USA)	2018	6.17	1	6
Emissioni di CO <sub>2</sub> (miliardi di tonnellate di CO <sub>2</sub> equivalente/anno)	2018	33.9	1	40
Emissioni di CO <sub>2</sub> pro capite (tonnellate di CO <sub>2</sub> equivalente/anno)	2018	4.44	9	40
Emissioni di GS coperte da carbon pricing (%)	2018	14	1	29
Carbon Pricing (dollari USA per tonnellata di CO <sub>2</sub> emessa)	2018	15.2	28	29
Sussidi ai combustibili fossili (miliardi di dollari USA/anno)	2018	427	6	9

**Tabella S3.** Riepilogo degli indicatori delle risposte climatiche. Le colonne della tabella mostrano il nome della variabile, l'anno di rilevazione più recente, il valore della variabile in quell'anno, la posizione per quell'anno rispetto agli altri anni di rilevazione (la posizione #1 è il valore più alto) e il numero totale di anni con dati disponibili (dal 1979). Ad esempio, il valore più recentemente stimato della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>, nel 2018, è risultato di 407 parti per milione, che si è classificato come il valore massimo nei 39 anni di dati disponibili dal 1979. Si veda più avanti per la scelta degli zeri di alcune delle variabili.

<b>Variabile</b>	<b>Anno</b>	<b>Valore</b>	<b>Posizione</b>	<b>Anni disponibili</b>
Anidride carbonica (parti per milione di CO <sub>2</sub> )	2018	407	1	39
Metano (parti per miliardo di CH <sub>4</sub> )	2018	1860	1	35
Protossido di azoto (parti per miliardo di N <sub>2</sub> O)	2018	331	1	40
Variazione di temperatura superficiale (°C)	2018	+0.85	4	40
Minimo del ghiaccio marino artico (milioni di km <sup>2</sup> )	2018	4.6	35	40
Variazione della massa di ghiaccio in Groenlandia (miliardi di tonnellate)	2016	-3660	14	14
Variazione della massa di ghiaccio in Antartide (miliardi di tonnellate)	2016	-1640	13	14
Variazione dello spessore dei ghiacciai (m di acqua dolce equivalente)	2018	-21.1	40	40
Variazione del contenuto di calore negli oceani (10 <sup>22</sup> joule)	2016	+21.9	1	38
Acidità degli oceani (pH)	2017	8.06	29	29
Variazione del livello del mare (cm)	2018	+42.8	1	26
Area percorsa da incendi negli Stati Uniti (milioni di ettari/anno)	2018	3.55	6	36
Eventi estremi meteo/clima/idrologici (numero/anno)	2018	798	1	39
Danni da eventi meteo/clima/idrologici (miliardi di dollari USA/anno)	2018	166	4	39

## **Altri indicatori grafici** (si consiglia la consultazione dei relativi siti-web, NdT)

Global Climate Observing System (GCOS) - utilizza sette indicatori climatici: temperatura superficiale, calore nell'oceano, CO<sub>2</sub> atmosferica, acidificazione degli oceani, livello del mare, estensione dei ghiacciai e del ghiaccio marino artico e antartico.

Si veda: <https://gcos.wmo.int/en/home>

NASA vital signs of the planet - utilizza cinque indicatori climatici: temperatura globale, minimo del ghiaccio artico, calotte glaciali, livello del mare e CO<sub>2</sub>.

Si veda: <https://climate.nasa.gov/>

2 Degrees Institute - utilizza sei indicatori climatici: temperatura globale, livelli di CO<sub>2</sub>, livelli di metano (CH<sub>4</sub>), livelli di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), livelli di ossigeno (O<sub>2</sub>) e livelli globali del mare.

Si veda: <https://www.2degreesinstitute.org/>

IPCC 1.5C Report - utilizza l'indice di riscaldamento globale.

Si veda: [https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf)

## **Metodologia**

Abbiamo compilato un insieme di serie temporali globali, relative ad attività umane che incidono sull'ambiente (ad esempio, il consumo di combustibili fossili) e relative a risposte ambientali e climatiche (ad esempio, il cambiamento di temperatura). Descrizioni e fonti per ciascuna variabile sono fornite nelle sezioni successive. Sebbene i dati utilizzati provengano da fonti ritenute affidabili, non abbiamo effettuato nessuna valutazione formale di accuratezza per questi dati ed essi vanno quindi utilizzati dai lettori con cautela. Abbiamo preso in considerazione come indicatori solo variabili che sono misurate almeno ogni anno. Abbiamo convertito ciascuna variabile in formato annuale calcolando, se necessario, la media delle osservazioni all'interno di ogni anno solare ed escludendo i dati del primo e dell'ultimo anno quando incompleti (incompleti nel primo anno: acidità oceanica, massa della calotta glaciale della Groenlandia e dell'Antartide; incompleti nell'ultimo anno: protossido di azoto, massa della calotta glaciale della Groenlandia e dell'Antartide). Per ciascuna variabile abbiamo rimosso gli anni precedenti al 1979. Abbiamo quindi calcolato le curve di tendenza utilizzando degli interpolatori del grafico a dispersione (*grafico di punti*) stimati localmente. Il calcolo delle linee di tendenza è stato eseguito in linguaggio R utilizzando la funzione "loess" (*Local Regression*) con le impostazioni predefinite (grado 2, intervallo 0,75) (R Core Team 2018). Abbiamo utilizzato le linee di tendenza per calcolare il tasso di variazione di ciascuna variabile. Per le variabili a scala di rapporto (cioè quelle con uno "zero" reale, come la concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica) abbiamo calcolato la variazione percentuale, mentre per le variabili a scala d'intervallo (che possono essere spostate verso l'alto o verso il basso arbitrariamente, come il livello del mare) abbiamo calcolato la variazione incrementale. Per le variabili a scala di rapporto abbiamo utilizzato la seguente formula per calcolare la variazione percentuale su 10 anni:

$$r_{ratio} = 100\% \times \left[ \left( \frac{y_{end}}{y_{start}} \right)^{\frac{10}{t_{end}-t_{start}}} - 1 \right]$$

dove  $y_{start}$  e  $y_{end}$  sono i valori di inizio e fine della linea di tendenza e  $t_{start}$  e  $t_{end}$  sono gli anni di inizio e fine. Questa è la variazione percentuale per decennio. Ad esempio, una variabile che è aumentata nell'arco di 40 anni del 75% avrebbe un tasso di variazione percentuale per decennio del 15% secondo questa formula. Per l'acidità dell'oceano (pH), abbiamo calcolato la variazione percentuale in termini di attività degli ioni idrogeno ( $a_{H^+}=10^{-pH}$ ) (valori di pH più bassi rappresentano una maggiore acidità).

Per le variabili a scala d'intervallo, abbiamo usato la formula:

$$r_{interval} = 10 \times \frac{y_{end} - y_{start}}{t_{end} - t_{start}}$$

## **Indicatori di attività umane che possono influire sulle emissioni di gas serra o sul cambiamento climatico (Figura 1)**

Di seguito, elenchiamo le fonti e forniamo brevi descrizioni degli indicatori usati nella nostra analisi. Spiegazioni complete per ciascun indicatore sono disponibili nelle fonti fornite.

### Popolazione umana (Riquadro 1a)

Abbiamo utilizzato il Database statistico della FAO - Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura delle Nazioni Unite - (FAOSTAT) come fonte di dati sulla popolazione umana (FAOSTAT 2019). Per le stime della popolazione umana, i dati utilizzati da FAOSTAT provengono dai censimenti della popolazione delle singole Nazioni.

### Tasso di fertilità totale (Riquadro 1b)

Abbiamo ottenuto questa variabile dalla Banca mondiale (The World Bank 2019a). Il nome completo della variabile è "Tasso di fertilità, totale (nascite per donna)" e l'identificativo della variabile della Banca mondiale è SP.DYN.TFRT.IN. Questa variabile è stata derivata utilizzando dati provenienti da più fonti, inclusa la United Nations Population Division. L'elenco completo delle fonti originali è disponibile in (The World Bank 2019a). Il tasso di fertilità totale è definito come "il numero di figli che nascerebbero da una donna se dovesse vivere fino alla fine della sua età fertile e partorisce in base ai tassi di fertilità specifici dell'età e dell'anno" (The World Bank 2019a).

### Popolazione del bestiame ruminante (Riquadro 1c)

Abbiamo utilizzato il Database statistico della FAO - Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura delle Nazioni Unite - (FAOSTAT) come fonte di dati sulla popolazione del bestiame ruminante (FAOSTAT 2019). Abbiamo considerato ruminanti i membri dei seguenti gruppi: bovini, bufali, ovini e caprini. Per le stime dell'abbondanza di bestiame, le fonti primarie di dati sono statistiche nazionali ottenute utilizzando questionari oppure raccolte da siti web o

rapporti dei singoli paesi. Quando le statistiche nazionali sul bestiame non erano disponibili, sono state stimate, da FAOSTAT, usando metodi d'imputazione statistica (FAOSTAT 2019).

#### Produzione di carne pro capite (Riquadro 1d)

Abbiamo utilizzato i dati di FAOSTAT sulla produzione totale di carne insieme alle stime sulla popolazione umana (Riquadro 1a) per stimare la produzione pro capite di carne (FAOSTAT 2019). Questi dati "sono forniti in termini di peso delle mezzene macellate, escluse interiora e grassi di macellazione" (FAOSTAT 2019).

#### Prodotto interno lordo, PIL - "Gross Domestic Product", GDP (Riquadro 1e)

Abbiamo ottenuto questa variabile dalla Banca mondiale (The World Bank 2019b). Il nome completo della variabile è "GDP (in dollari USA attuali)" e l'identificativo della Banca mondiale è NY.GDP.MKTP.CD. Questa variabile è stata derivata da più fonti, inclusi i rendiconti nazionali della Banca mondiale. L'elenco completo delle fonti è disponibile in (The World Bank 2019b). Il prodotto interno lordo è "la somma dei valori lordi di tutto ciò che viene prodotto da chiunque sia residente [nel paese] aggiungendo tutte le tasse sui prodotti e sottraendo tutti i sussidi non inclusi nel valore dei prodotti" (2019b).

#### Perdita globale di copertura arborea (Riquadro 1f)

Abbiamo ottenuto dati sulla perdita globale annuale di copertura arborea dal Global Forest Watch (Hansen et al. 2013). Questi dati esprimono la perdita globalmente in milioni di ettari (Mha) e sono stati derivati da mappe che riportano i cambiamenti della copertura arborea rilevati a distanza. Va notato che perdita è intesa in senso generale e non collegata a un tipo specifico di deforestazione. Quindi, include l'azione della fauna selvatica, la conversione all'agricoltura, le malattie, ecc. Inoltre, non tiene conto degli incrementi in superficie forestale. Pertanto, la perdita netta di foreste potrebbe essere inferiore alle cifre riportate.

#### Deforestazione dell'Amazzonia brasiliana (Riquadro 1g)

Abbiamo ottenuto stime annuali sulla deforestazione dell'Amazzonia brasiliana da Butler (2017). Il Brasile contiene circa il 60% della foresta pluviale amazzonica. Le fonti utilizzate da Butler (2017) sono il Brazilian National Institute of Space Research (INPE) e la United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Sebbene l'INPE non abbia fornito una stima della deforestazione per il 2019, i loro dati sul numero degli incendi incontrollati mostrano un picco pronunciato che rimanda a una deforestazione su vasta scala in quell'anno (Amigo 2019).

#### Consumo energetico (Riquadro 1h)

Abbiamo utilizzato la Statistical Review of World Energy del 2019 della British Petroleum Company come nostra fonte dei dati sul consumo di energia (British Petroleum Company 2019). Per il consumo di energia, abbiamo utilizzato le seguenti serie temporali: carbone, petrolio, gas naturale, solare ed eolico. Abbiamo raggruppato solare ed eolico in un'unica categoria. I dati sul consumo di carbone sono solo quelli per i combustibili solidi commerciali. In ogni caso, le unità di consumo energetico sono espresse in miliardi di tonnellate di petrolio equivalente (Gt oe). Altre fonti di energia a bassa emissione di carbonio come l'energia idroelettrica e l'energia nucleare sono mostrate nella Figura S2. Sebbene non utilizzati in questo rapporto, i dati sul



consumo energetico globale sono disponibili anche presso l'International Energy Agency (IEA 2018).

#### Trasporto aereo (Riquadro 1i)

Abbiamo ottenuto questa variabile dalla Banca mondiale (The World Bank 2019c). Il nome completo della variabile è "Trasporto aereo, passeggeri trasportati". L'identificativo della variabile corrispondente della Banca mondiale è IS.AIR.PSGR. Questa variabile è stata derivata da più fonti, tra cui l'International Civil Aviation Organization. L'elenco completo delle fonti è disponibile in (The World Bank 2019c). Il trasporto aereo comprende sia i voli nazionali che quelli internazionali.

#### Disinvestimenti (Riquadro 1j)

I dati sui disinvestimenti sono stati ottenuti da 350.org (350.org 2019; Fossil Free 2019). Coprono il disinvestimento istituzionale da parte di 1117 organizzazioni. Le istituzioni più diffusamente rappresentate sono organizzazioni religiose, fondazioni filantropiche, istituzioni educative, governi e fondi pensione (Fossil Free 2019). Utilizzando il database sui disinvestimenti di 350.org, abbiamo calcolato il valore cumulativo dei disinvestimenti istituzionali per ogni anno (dal 2013) in base alla variabile "data di registrazione", che "generalmente rappresenta la data di annuncio dell'impegno di disinvestimento dell'organizzazione" (350.org 2019).

#### Emissioni di CO<sub>2</sub> (Riquadro 1k)

Abbiamo utilizzato la Statistical Review of World Energy del 2019 della British Petroleum Company come nostra fonte dei dati sulle emissioni di CO<sub>2</sub> (British Petroleum Company 2019). Questi dati sulle emissioni di CO<sub>2</sub> "riflettono solo [...] il consumo di petrolio, gas e carbone per attività che comportano la combustione" (British Petroleum Company 2019). Non tengono conto del "sequestro di carbonio" (rimozione dell'anidride carbonica dall'atmosfera), di altre emissioni di CO<sub>2</sub> o delle emissioni di altri gas serra.

#### Emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite (Riquadro 1l)

Abbiamo convertito le emissioni totali di CO<sub>2</sub> (Riquadro 1k) in emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> utilizzando le stime sulla popolazione umana di FAOSTAT (Riquadro 1a).

#### Emissioni di gas serra coperte da *carbon pricing* (Riquadro 1m)

I dati sulla percentuale di emissioni di gas serra assoggettate a piani di *carbon pricing* (tassazione sul carbonio e altro) sono ricavati direttamente dal World Bank Group (2019). Quando più piani (di assegnazione di un prezzo) coprivano le stesse emissioni, le emissioni sono state associate al piano più vecchio. I dati sono stati ricavati utilizzando la Carbon Pricing Dashboard della World Bank. Questi sono stati aggiornati l'ultima volta il 1°Aprile 2019.

#### Costo del carbonio e quota delle emissioni di gas serra coperte da *carbon pricing* (Riquadro 1n)

Questi dati sono stati ricavati dal World Bank Group (2019). Per stimare il costo globale del carbonio, abbiamo calcolato la media dei costi di ciascun piano, pesata con la percentuale di

emissioni di gas serra relativa a quel piano. Quando più piani coprivano le stesse emissioni, le emissioni sono state associate al piano più vecchio. I dati sono stati ricavati utilizzando la Carbon Pricing Dashboard della World Bank. Questi sono stati aggiornati l'ultima volta il 1°Aprile 2019.

### Sovvenzioni ai combustibili fossili (Riquadro 1o)

Abbiamo ottenuto i dati sulle sovvenzioni ai combustibili fossili dall'International Energy Agency (2019a). Le sovvenzioni per il consumo di combustibili fossili sono totali globali in miliardi di dollari USA del 2018. Coprono petrolio, elettricità, gas naturale e carbone. I valori delle sovvenzioni sono stimati utilizzando l'approccio del differenziale di prezzo (*price-gap*), che prevede il confronto tra il "prezzo medio unitario per l'utente finale pagato dai consumatori [*b*] e il prezzo unitario che corrisponde al costo totale della fornitura [*a*]" (International Energy Agency 2019b). L'importo del sussidio è uguale al prodotto di questo differenziale [ $(a-b)$ ] di prezzo per la quantità consumata della fornitura (International Energy Agency 2019b).

## **Indicatori degli impatti climatici effettivi (Figura 2)**

### CO<sub>2</sub> atmosferica (Riquadro 2a)

Abbiamo ottenuto stime medie globali della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> dal Global Greenhouse Gas Reference Network della National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA 2019a). In particolare, abbiamo utilizzato la variabile "dati medi annui alla superficie del mare mediati globalmente (sullo spazio)". Essa si basa sui dati raccolti da The Global Monitoring Division del NOAA/Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL) che utilizza una rete di siti campione diffusi a livello globale. Le medie globali sono state stimate dapprima mediando le osservazioni per ciascun sito nel tempo e poi studiando la relazione tra CO<sub>2</sub> atmosferica e latitudine.

### Metano atmosferico (Riquadro 2b)

Abbiamo ottenuto stime annuali medie a scala globale della concentrazione di metano atmosferico (CH<sub>4</sub>) dalla NOAA (Ed Dlugokencky, NOAA/ESRL 2019). Abbiamo utilizzato il set di "dati medi annui alla superficie del mare mediati globalmente". Questi dati derivano da misurazioni effettuate in una rete globale di siti campione mediate nel tempo e poi

rappresentate in funzione della latitudine (Dlugokencky et al. 1994; Masarie & Tans 1995). I dati sono riportati come “frazione molare in aria secca” (Ed Dlugokencky, NOAA / ESRL 2019).

#### Protossido d’azoto atmosferico (Riquadro 2c)

Abbiamo ottenuto i dati sulla concentrazione di protossido d’azoto (N<sub>2</sub>O) dalla NOAA/ESRL Global Monitoring Division (“Dati complessivi sul protossido di azoto dalla NOAA/ESRL Global Monitoring Division”) (NOAA/ESRL Global Monitoring Division 2019). Abbiamo utilizzato le stime medie mensili globali (misurate in parti per miliardo). Come indicato nella loro descrizione, il set di dati è una media pesata delle stime ottenute dai programmi di misurazione NOAA/ESRL/GMD.

#### Cambiamento della temperatura superficiale (Riquadro 2d)

Abbiamo ottenuto i dati medi globali dell'anomalia [deviazione dal valore medio di riferimento, *ndt*] della temperatura superficiale da NASA/GISS (2019). Abbiamo utilizzato la variabile “Land-Ocean Temperature Index” annuale non regolarizzata (*unsmoothed*). Le stime dell’anomalia della temperatura sono una combinazione delle temperature alla superficie sia terrestre che oceanica. Il riferimento temporale utilizzato per fissare lo zero è il valor medio nel 1951—1980.

#### Estensione minima del ghiaccio del Mare Artico (Riquadro 2e)

Abbiamo ottenuto stime dell’estensione minima del ghiaccio del Mare Artico dalla NASA (2019). Esse sono derivate da osservazioni satellitari. Per ciascun anno, i dati mostrano l'estensione media del ghiaccio del Mare Artico nel mese di settembre, ovvero quando si verifica il valore minimo annuale. Secondo la NASA (2019), “il ghiaccio del Mare Artico raggiunge il suo minimo ogni settembre. Il ghiaccio del Mare Artico di settembre sta diminuendo ad un tasso del 12,8 per cento per decennio, rispetto alla media del 1981—2010. Il grafico mostra l'estensione media mensile del ghiaccio del Mare Artico ogni settembre a partire dal 1979, derivata da osservazioni satellitari. L'estensione del 2012 è la più bassa di tutta la serie da satellite.”

#### Calotta glaciale della Groenlandia (Riquadro 2f)

Abbiamo ottenuto dalla NASA (2019) misurazioni del cambiamento della calotta glaciale terrestre totale della Groenlandia. Questi dati mostrano i cambiamenti della massa della calotta glaciale (in miliardi di tonnellate, Gt) a partire dall’aprile 2002. Provengono dai satelliti GRACE della NASA. Secondo la NASA (2019), la calotta glaciale della Groenlandia ha “subito un’accelerazione della perdita di massa di ghiaccio dal 2009.”

#### Calotta glaciale dell’Antartide (Riquadro 2g)

Abbiamo ottenuto dalla NASA (2019) misurazioni del cambiamento della calotta glaciale terrestre totale dell’Antartide. Questi dati mostrano i cambiamenti della massa della calotta glaciale (in miliardi di tonnellate, Gt) a partire dall’aprile 2002. Provengono dai satelliti GRACE della NASA. Secondo la NASA (2019), la calotta glaciale dell’Antartide ha “subito un’accelerazione della perdita di massa di ghiaccio dal 2009.”

### Variazione complessiva dello spessore dei ghiacciai (Riquadro 2h)

Abbiamo ottenuto i dati complessivi di bilancio di massa dei ghiacciai dal World Glacier Monitoring Service (WGMS 2019). Questi dati sono stati derivati da un database che comprende informazioni sui cambiamenti di massa, volume, ecc. dei singoli ghiacciai nel corso del tempo. Essi sono ottenuti facendo la media su un insieme di ghiacciai di riferimento e sono misurati in termini relativi rispetto al valore del 1970.

L'unità di misura di questi dati è il metro di acqua dolce equivalente. Secondo il World Glacier Monitoring Service, "Un valore di -1,0 [metro d'acqua equivalente] all'anno rappresenta una perdita di massa di 1.000 kg per metro quadrato di coltre di ghiaccio o una perdita annuale di spessore del ghiaccio su tutto il ghiacciaio di circa 1,1 m per anno, poiché la densità del ghiaccio è 0,9 volte la densità dell'acqua" (WGMS 2019).

### Contenuto di calore degli oceani (Riquadro 2i)

Abbiamo ottenuto i dati delle serie temporali quinquennali del contenuto di calore degli oceani dai National Centers for Environmental Information (NCEI) della NOAA (NOAA 2019b). Questi dati sono in unità di  $10^{22}$  joule e riguardano l'intervallo di profondità 0-2000 m. Il periodo di riferimento è 1955—2006 (Levitus et al. 2012).

### Acidità oceanica (Riquadro 2j)

Come indicatore dell'acidità globale degli oceani, abbiamo utilizzato una serie temporale del pH (potenziale Idrogeno) dell'acqua di mare dal database sulla  $CO_2$  superficiale dell'Hawaii Ocean Time-series (HOT 2019). Questi dati sono stati adattati da Dore et al. (2009). I dati sono stati raccolti presso la stazione ALOHA ( $22^\circ 45'N$ ,  $158^\circ 00'W$ ). Abbiamo usato la variabile "pHmeas\_insitu" che è descritta come "la media delle misure del pH dell'acqua di mare, adattata alla temperatura *in situ*, sulla scala totale" (HOT 2019). Per calcolare la variazione percentuale di questa variabile, abbiamo preliminarmente convertito il pH in attività di ioni idrogeno ( $a_{H^+}$ ) usando la formula  $a_{H^+} = 10^{-pH}$ .

### Variazione del livello del mare (Riquadro 2k)

Abbiamo ottenuto i dati relativi al livello medio globale del mare da GSFC [Goddard Space Flight Center] (2017) (a cui rimanda anche NASA. 2019). Il grafico mostrato [sul sito della NASA dedicato al Cambiamento climatico] all'indirizzo <http://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>, come indicato nella descrizione del set di dati, è ottenuto inserendo le altezze misurate "relativamente al primo ciclo di osservazioni (gennaio) del 1993". La variabile che abbiamo usato noi è stata "la variazione del livello medio globale del mare (mm) (Global Isostatic Adjustment non applicato) avendo come riferimento la media collineare TOPEX/Jason su un intervallo ventennale (*TOPEX/Jason 20 year collinear mean reference*)". Secondo la descrizione del set di dati, questa "*TOPEX/Jason 20 year collinear mean reference* è derivata dai cicli dal 121 al 858 degli anni 1996—2016". Va notato che l'aumento di temperatura e il riscaldamento degli oceani contribuiscono in modo determinante all'aumento del livello del mare (WCRP Global Budget Level Sea Group 2018).

### Superficie totale bruciata dagli incendi negli Stati Uniti (Riquadro 2l)

Questi dati provengono dal National Interagency Coordination Center presso il National Interagency Fire Center (National Interagency Coordination Center 2018) e includono l'Alaska e

le Hawaii. Sono derivati dalle informazioni pubblicate nei Situation Reports. Poiché non sono note le fonti delle cifre riportate antecedenti al 1983, abbiamo omissso i dati prima del 1983. Il totale per il 2004 non include i terreni dello Stato della Carolina del Nord.

#### Eventi estremi (numero) (Riquadro 2m)

Questi dati provengono dal NatCatSERVICE [*NatCat* sta per “Natural Catastrophe”, *NdT*] di Munich Re [compagnia internazionale di Riassicurazioni, *NdT*] (Munich Re 2019). Gli eventi estremi sono eventi di natura meteorologica, idrologica o climatologica che “hanno causato almeno una vittima e/o hanno prodotto perdite per un valore  $\geq$  100 000, 300 000, 1 milione o 3 milioni di dollari USA (a seconda della classe di reddito assegnata dalla Banca Mondiale al paese interessato)”. L’intero database conteneva 18 169 eventi, ma abbiamo escluso gli eventi di natura geofisica, lasciando un totale di 16 585 eventi. Questi sono stati suddivisi in tre categorie: eventi meteorologici (cicloni tropicali, tempeste extratropicali, ecc.), eventi idrologici (alluvioni, frane) ed eventi climatologici (siccità, incendi boschivi, ecc.).

#### Eventi estremi (perdite economiche) (Riquadro 2n)

Questi dati provengono dal NatCatSERVICE di Munich Re (Munich Re 2019) come descritto sopra. Le perdite economiche (in dollari USA del 2018) sono state “corrette rispetto all’inflazione tramite l’indice, specifico del paese, dei prezzi al consumo e tenendo in considerazione le fluttuazioni del tasso di cambio tra valuta locale e dollari USA” (Munich Re 2019).

## Bibliografia

- 350.org. 2019. Divestment Database 2.0. Available from <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1AWTXvHOoB4A9rqOF4Ld8czsQMdGHHjgarO9ahWCZ4UI/> (accessed August 30, 2019).
- Amigo I. 2019, August 21. Amazon rainforest fires leave São Paulo in the dark. Available from <https://news.mongabay.com/2019/08/amazon-rainforest-fires-leave-sao-paulo-in-the-dark/> (accessed August 26, 2019).
- British Petroleum Company. 2019. BP statistical review of world energy. British Petroleum Company. Available from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- Butler RA. 2017, January 26. Calculating Deforestation Figures for the Amazon. Available from [https://rainforests.mongabay.com/amazon/deforestation\\_calculations.html](https://rainforests.mongabay.com/amazon/deforestation_calculations.html) (accessed August 26, 2019).
- Dlugokencky E, Steele L, Lang P, Masarie K. 1994. The growth rate and distribution of atmospheric methane. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 99:17021–17043.
- Dore JE, Lukas R, Sadler DW, Church MJ, Karl DM. 2009. Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:12235–12240.
- Ed Dlugokencky, NOAA/ESRL. 2019. Trends in Atmospheric Methane. Available from [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends\\_ch4/](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/) (accessed September 4, 2019).
- FAOSTAT. 2019. FAOSTAT Database on Agriculture. Available from <http://faostat.fao.org/> (accessed August 26, 2019).
- Fossil Free. 2019. 1000+ Divestment Commitments. Available from <https://gofossilfree.org/divestment/commitments/> (accessed August 30, 2019).
- GSFC. 2017. Global Mean Sea Level Trend from Integrated Multi-Mission Ocean Altimeters TOPEX/Poseidon, Jason-1, OSTM/Jason-2 Version 4.2 Ver. 4.2 PO.DAAC. CA, USA. Available from <http://dx.doi.org/10.5067/GMSLM-TJ142> (accessed September 4, 2019).
- Hansen MC et al. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342:850-853. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest> . Accessed through Global Forest Watch on 8/26/19. [www.globalforestwatch.org](http://www.globalforestwatch.org).
- HOT. 2019. Hawaii Ocean Time-series (HOT). Available from <http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/products/products.html> (accessed August 26, 2019).
- IEA. 2018. World Energy Outlook 2018. International Energy Agency, Paris. Available from <https://doi.org/10.1787/weo-2018-en>.
- International Energy Agency. 2019a. Commentary: Fossil fuel consumption subsidies bounced back strongly in 2018. Available from <https://www.iea.org/newsroom/news/2019/june/fossil-fuel-consumption-subsidies-bounced-back-strongly-in-2018.html> (accessed August 26, 2019).
- International Energy Agency. 2019b. World Energy Outlook: Fossil-fuel subsidies. Available from <https://www.iea.org/weo/energysubsidies/> (accessed August 26, 2019).
- Masarie KA, Tans PP. 1995. Extension and integration of atmospheric carbon dioxide data into a globally consistent measurement record. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 100:11593–11610.
- Munich Re. 2019, January. NatCatSERVICE. Available from <https://natcatservice.munichre.com/> (accessed August 26, 2019).

- NASA. 2019. Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. Available from <https://climate.nasa.gov/> (accessed August 26, 2019).
- National Interagency Coordination Center. 2018. National Interagency Fire Center. Available from [https://www.nifc.gov/fireInfo/fireInfo\\_stats\\_totalFires.html](https://www.nifc.gov/fireInfo/fireInfo_stats_totalFires.html) (accessed August 26, 2019).
- NOAA. 2019a. National Centers for Environmental Information: Global Greenhouse Gas Reference Network. Available from <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html> (accessed August 26, 2019).
- NOAA. 2019b. National Centers for Environmental Information: Global Ocean Heat and Salt Content. Available from [https://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M\\_HEAT\\_CONTENT/](https://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/) (accessed August 26, 2019).
- NOAA/ESRL Global Monitoring Division. 2019. Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) — Combined Data Set. Available from <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/hats/combined/N2O.html> (accessed September 4, 2019).
- R Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from <https://www.R-project.org/>.
- The World Bank. 2019a. Fertility rate, total (births per woman). World Bank. Available from <https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.TFRT.IN> (accessed August 26, 2019).
- The World Bank. 2019b. GDP (current US\$). World Bank. Available from <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (accessed August 26, 2019).
- The World Bank. 2019c. Air transport, passengers carried. World Bank. Available from <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR> (accessed August 26, 2019).
- WGMS. 2019. The World Glacier Monitoring Service. Available from <https://wgms.ch/global-glacier-state/> (accessed August 26, 2019).
- World Bank Group. 2019. State and Trends of Carbon Pricing 2019. World Bank, Washington, DC. Available from <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/31755/9781464814358.pdf> (accessed August 26, 2019).