Giovanna Sissa - Unige

Impatto ambientale del settore digitale e dell'Intelligenza Artificiale

Genoa week 2026, 4 Novembre
Sessione 4: Costi ambientali della scienza digitale

Mondo virtuale vs mondo fisico

I dispositivi individuali, le infrastrutture di calcolo e le infrastrutture di telecomunicazione - tutto ciò che costituisce **l'universo digitale –** contribuiscono

- **al riscaldamento globale,**
- all'inquinamento,
- al depauperamento di risorse limitate (ad esempio minerali)

Ciò che collega il tema del riscaldamento globale all'universo digitale è l'energia.

- E' necessaria molta **energia primaria** per costruire (e poi smaltire) dispositivi e apparecchiature digitali.
- Usare dispositivi e infrastrutture richiede **energia elettrica**, che produce delle emissioni di carbonio, in quantità diversa a seconda delle fonti energetiche usate

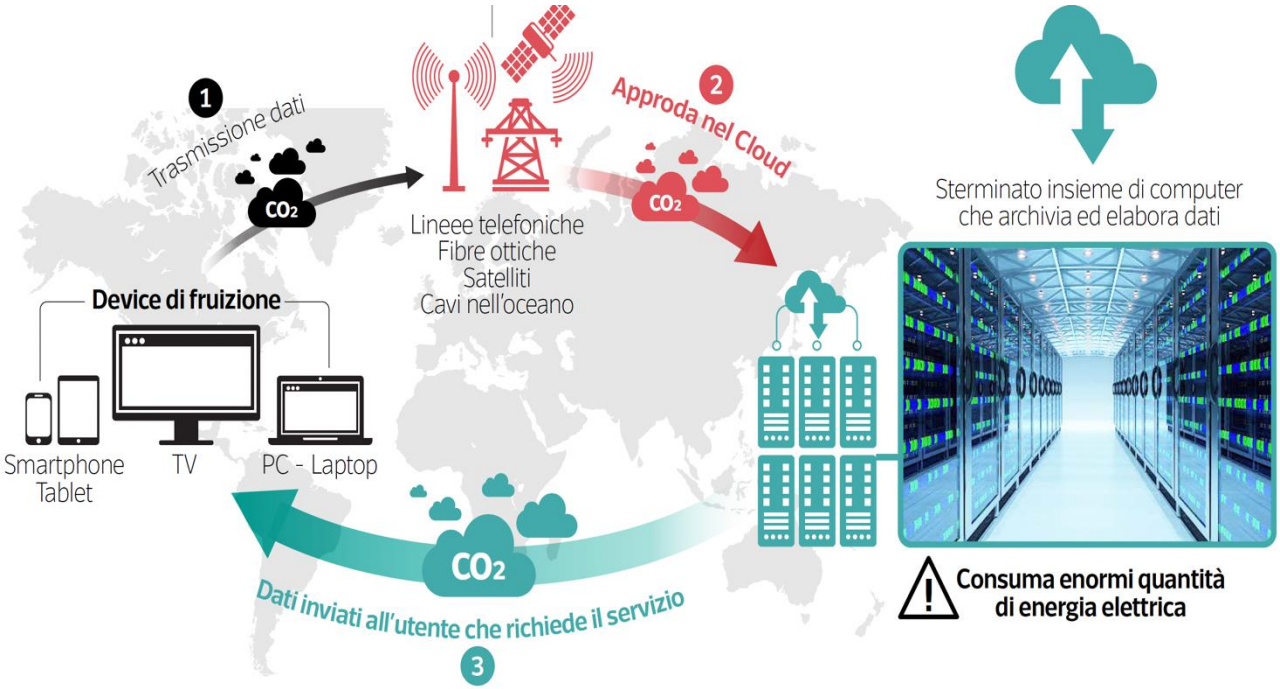
IMPRONTA DI CARBONIO

ICT

La Carbon footprint è un parametro che stima le emissioni gas serra causate da un prodotto o da un servizio, espresse in *tonnellate di CO_2 equivalente, durante*

- Produzione
- Uso
- Fine vita

Lyfe cycle assessment



Emissioni incorporate ed Emissioni operative

Si associano a ogni prodotto o servizio le emissioni di Carbonio che esso causa nel suo ciclo di vita, suddivise in:

Emissioni incorporate (embodied emissions)

utilizzo di **energia primaria** nei processi di produzione, trasporto e smaltimento

Emissioni operative (operational emissions)

consumo di **energia elettrica** in fase di utilizzo

Emissioni GHG (Green House Gases)dell'ICT nell'anno 2020

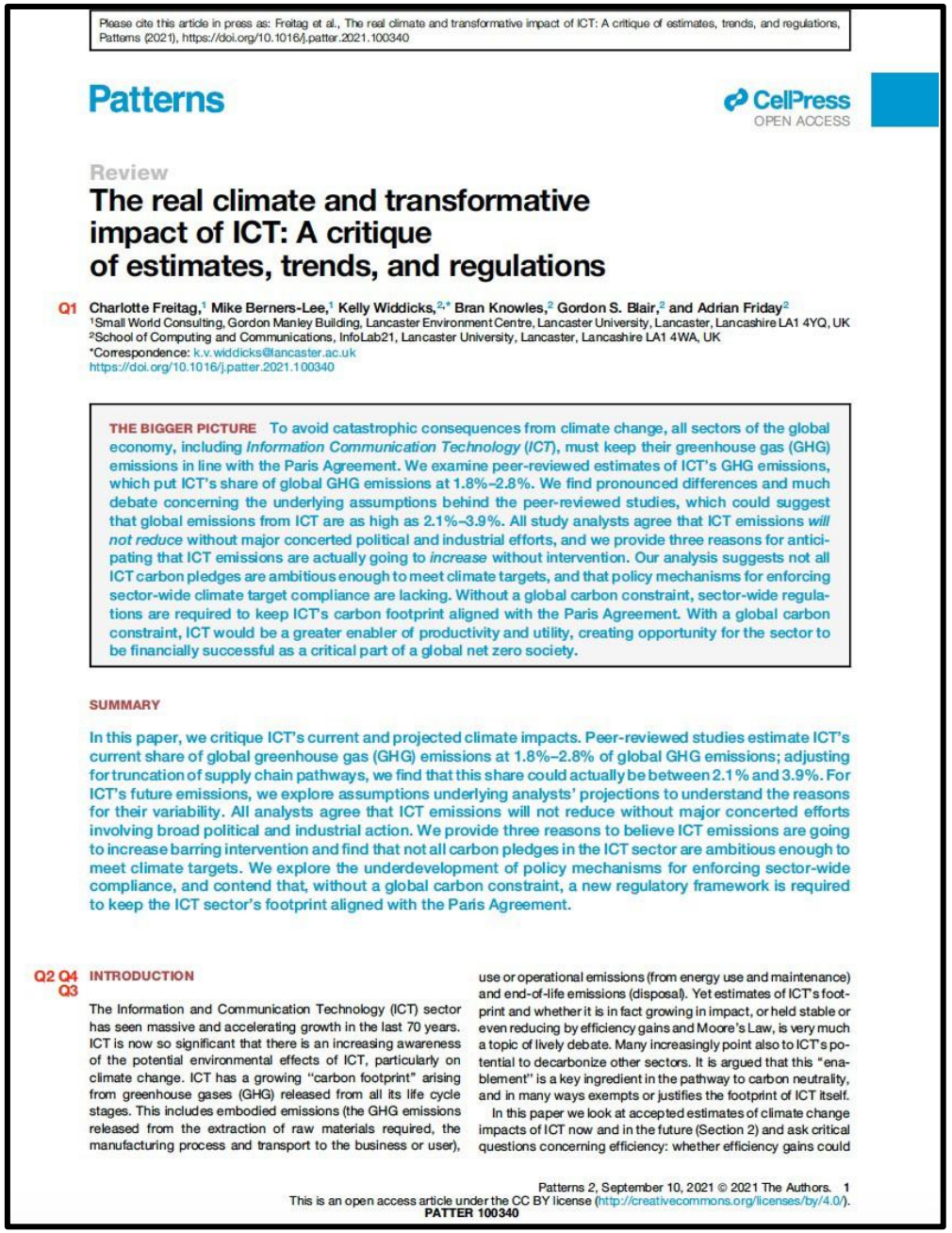
- Emissioni Globali GHG 52 Gt CO2eq
- Emissioni GHG del settore ICT 1.2 - 2.2 Gt CO2eq
- Percentuale emissioni del settore ICT 2,3% - 4,2%

Settore ICT responsabile di circa il 4% delle emissioni

Pari alle emissioni del quarto Stato del mondo….dopo Cina, Usa e India

The real climate and transformati impact of ICT: A critique of estimates, trends and regulations.

Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G.S., and Friday, A. (2021). **The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends and regulations.** *Patterns.* Volume 2, Issue 9, 10 September 2021, 100340 https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340



Please cite this article in press as: Freitag et al., The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations, Patterns (2021), https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340

Patterns

CellPress
OPEN ACCESS

Review

The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations

Q1 Charlotte Freitag,[1] Mike Berners-Lee,[1] Kelly Widdicks,[2,*] Bran Knowles,[2] Gordon S. Blair,[2] and Adrian Friday[2]
[1]Small World Consulting, Gordon Manley Building, Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster, Lancashire LA1 4YQ, UK
[2]School of Computing and Communications, InfoLab21, Lancaster University, Lancaster, Lancashire LA1 4WA, UK
*Correspondence: k.v.widdicks@lancaster.ac.uk
https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340

THE BIGGER PICTURE To avoid catastrophic consequences from climate change, all sectors of the global economy, including *Information Communication Technology* (*ICT*), must keep their greenhouse gas (GHG) emissions in line with the Paris Agreement. We examine peer-reviewed estimates of ICT's GHG emissions, which put ICT's share of global GHG emissions at 1.8%–2.8%. We find pronounced differences and much debate concerning the underlying assumptions behind the peer-reviewed studies, which could suggest that global emissions from ICT are as high as 2.1%–3.9%. All study analysts agree that ICT emissions *will not reduce* without major concerted political and industrial efforts, and we provide three reasons for anticipating that ICT emissions are actually going to *increase* without intervention. Our analysis suggests not all ICT carbon pledges are ambitious enough to meet climate targets, and that policy mechanisms for enforcing sector-wide climate target compliance are lacking. Without a global carbon constraint, sector-wide regulations are required to keep ICT's carbon footprint aligned with the Paris Agreement. With a global carbon constraint, ICT would be a greater enabler of productivity and utility, creating opportunity for the sector to be financially successful as a critical part of a global net zero society.

SUMMARY

In this paper, we critique ICT's current and projected climate impacts. Peer-reviewed studies estimate ICT's current share of global greenhouse gas (GHG) emissions at 1.8%–2.8% of global GHG emissions; adjusting for truncation of supply chain pathways, we find that this share could actually be between 2.1% and 3.9%. For ICT's future emissions, we explore assumptions underlying analysts' projections to understand the reasons for their variability. All analysts agree that ICT emissions will not reduce without major concerted efforts involving broad political and industrial action. We provide three reasons to believe ICT emissions are going to increase barring intervention and find that not all carbon pledges in the ICT sector are ambitious enough to meet climate targets. We explore the underdevelopment of policy mechanisms for enforcing sector-wide compliance, and contend that, without a global carbon constraint, a new regulatory framework is required to keep the ICT sector's footprint aligned with the Paris Agreement.

Q2 Q4 Q3 **INTRODUCTION**

The Information and Communication Technology (ICT) sector has seen massive and accelerating growth in the last 70 years. ICT is now so significant that there is an increasing awareness of the potential environmental effects of ICT, particularly on climate change. ICT has a growing "carbon footprint" arising from greenhouse gases (GHG) released from all its life cycle stages. This includes embodied emissions (the GHG emissions released from the extraction of raw materials required, the manufacturing process and transport to the business or user), use or operational emissions (from energy use and maintenance) and end-of-life emissions (disposal). Yet estimates of ICT's footprint and whether it is in fact growing in impact, or held stable or even reducing by efficiency gains and Moore's Law, is very much a topic of lively debate. Many increasingly point also to ICT's potential to decarbonize other sectors. It is argued that this "enablement" is a key ingredient in the pathway to carbon neutrality, and in many ways exempts or justifies the footprint of ICT itself.

In this paper we look at accepted estimates of climate change impacts of ICT now and in the future (Section 2) and ask critical questions concerning efficiency: whether efficiency gains could

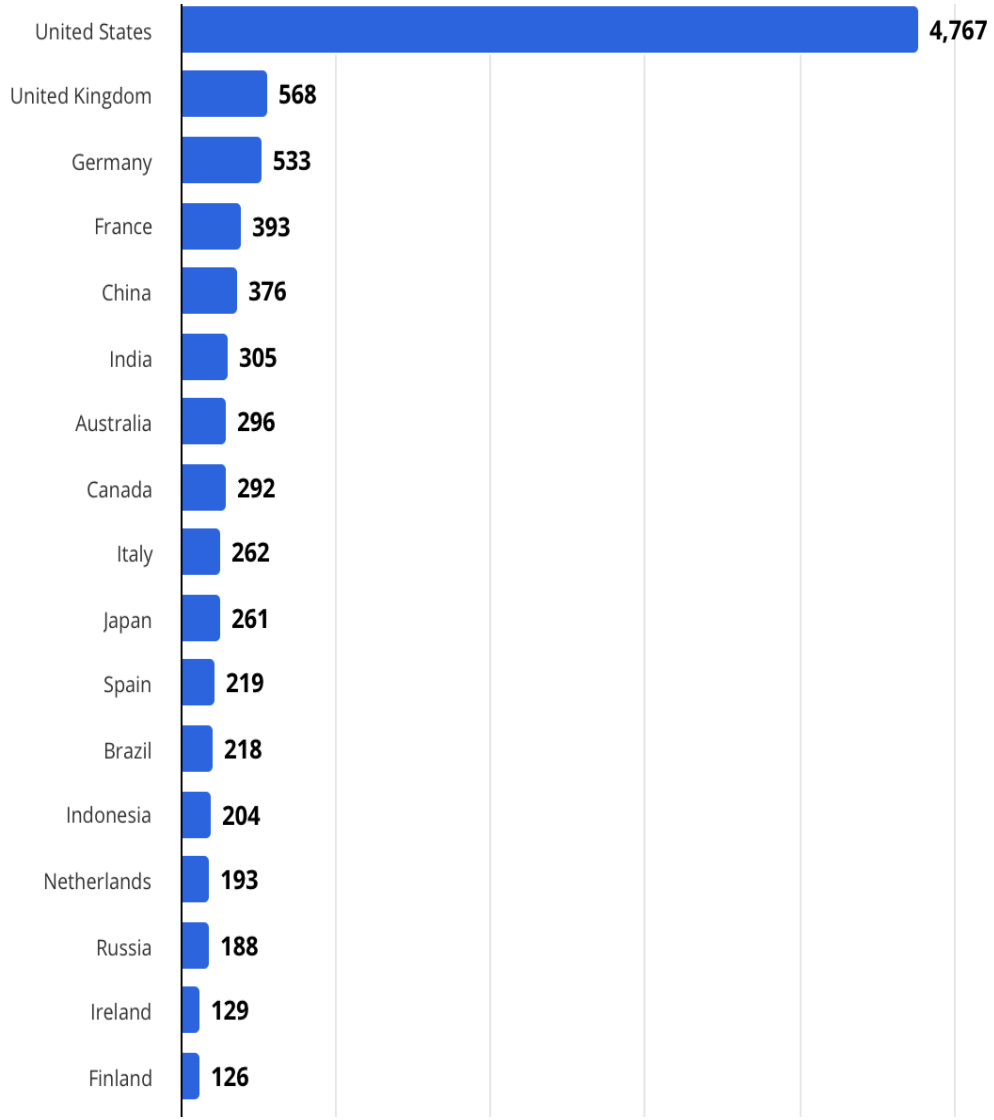
This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

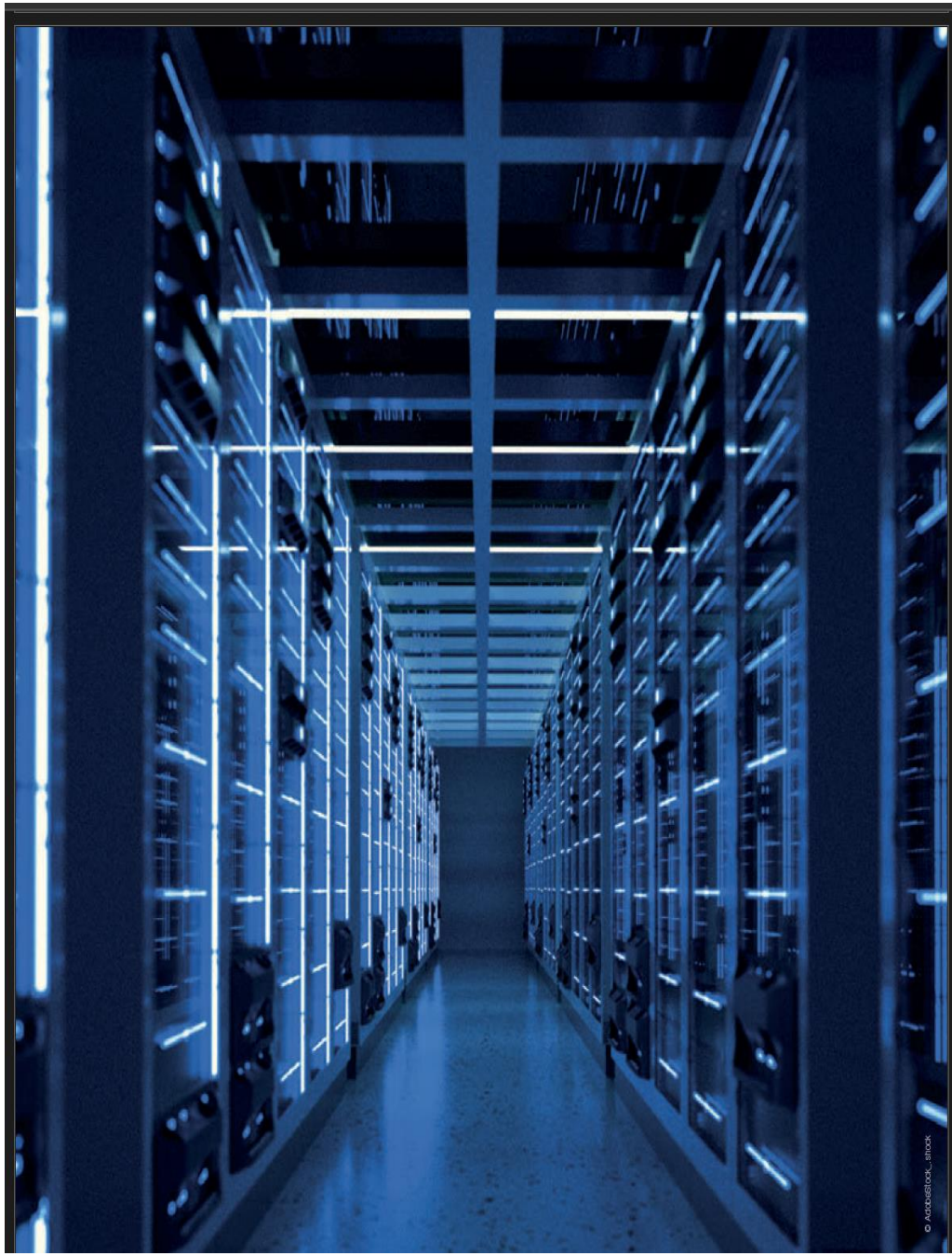
Emissioni operative

Emissioni operative (operational emissions)

consumo di **energia elettrica** in fase di utilizzo

DATA CENTER


United States 4,767
United Kingdom 568
Germany 533
France 393
China 376
India 305
Australia 296
Canada 292
Italy 262
Japan 261
Spain 219
Brazil 218
Indonesia 204
Netherlands 193
Russia 188
Ireland 129
Finland 126



Infrastrutture di calcolo

- I Data Center alimentano, oltre **ai server**, anche **sottosistemi di alimentazione, gruppi di continuità, sistemi di ventilazione e raffreddamento, sistemi antincendio, connessioni alle reti esterne**.

Infrastrutture di calcolo

- I Data Center alimentano, oltre **ai server**, anche **sottosistemi di alimentazione, gruppi di continuità, sistemi di ventilazione e raffreddamento, sistemi antincendio, connessioni alle reti esterne**.

PUE (Power Usage Effectiveness o efficacia di uso della potenza): **rapporto** tra l'**energia totale utilizzata e quella che viene usata dai soli apparati IT** per effettuare elaborazioni - varia fra **1,2 e 2**

Valore medio in Europa: 1,36 (in Italia 1,46)

Infrastrutture di calcolo

- I Data Center alimentano, oltre **ai server**, anche **sottosistemi di alimentazione, gruppi di continuità, sistemi di ventilazione e raffreddamento, sistemi antincendio, connessioni alle reti esterne**.
- I Data Center hyperscale/exascale richiedono **acqua per il raffreddamento** e molto **terreno**, collocato in un'area capace di garantire **elettricità economica, ma affidabile.**

Infrastrutture di calcolo

- I Data Center alimentano, oltre **ai server**, anche **sottosistemi di alimentazione, gruppi di continuità, sistemi di ventilazione e raffreddamento, sistemi antincendio, connessioni alle reti esterne**.
- I Data Center hyperscale/exascale richiedono **acqua per il raffreddamento** e molto **terreno**, collocato in un'area capace di garantire **elettricità economica, ma affidabile.**

Alta concentrazione di computer in funzione → calore che deve essere smaltito in continuazione

Raffreddamento degli edifici:

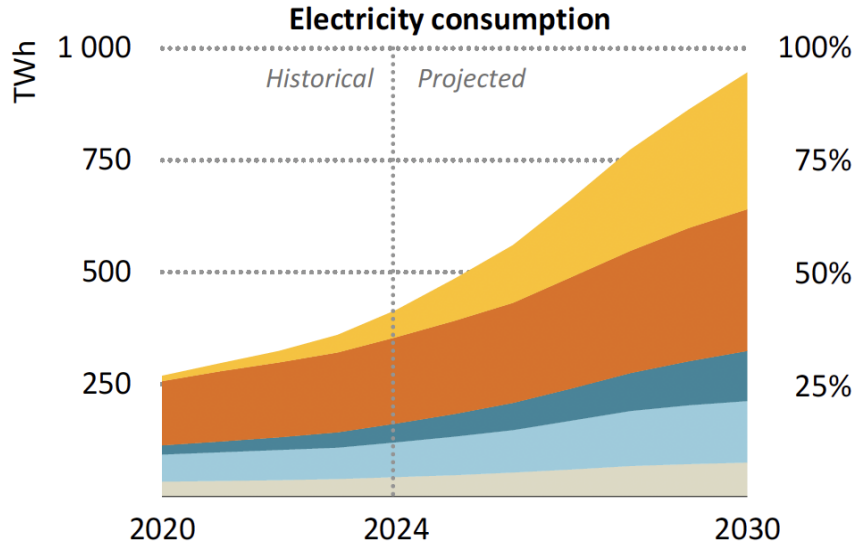
ad aria, consumando ulteriore elettricità,
ad acqua, con un consumo idrico anche importante,
sistemi misti.

Punto di equilibro tra i costi dei sistemi di raffreddamento e l'affidabilità dei componenti.

Infrastrutture di calcolo

- I Data Center alimentano, oltre **ai server**, anche **sottosistemi di alimentazione, gruppi di continuità, sistemi di ventilazione e raffreddamento, sistemi antincendio, connessioni alle reti esterne**.
- I Data Center hyperscale/exascale richiedono **acqua per il raffreddamento** e molto **terreno**, collocato in un'area capace di garantire **elettricità economica, ma affidabile.**
- Possono avere **proprie centrali elettriche** per alimentare le proprie infrastrutture
- I data center sono realizzati in edifici fra i più energivori che esistano, consumando da 10 a 50 volte l'energia per superficie di un tipico edificio per uffici commerciali

Figure 2.11 ▻ Global data centre electricity consumption i
2020-2030



Accelerated servers Conventional servers Other IT equipment Cooling Other infrastructure

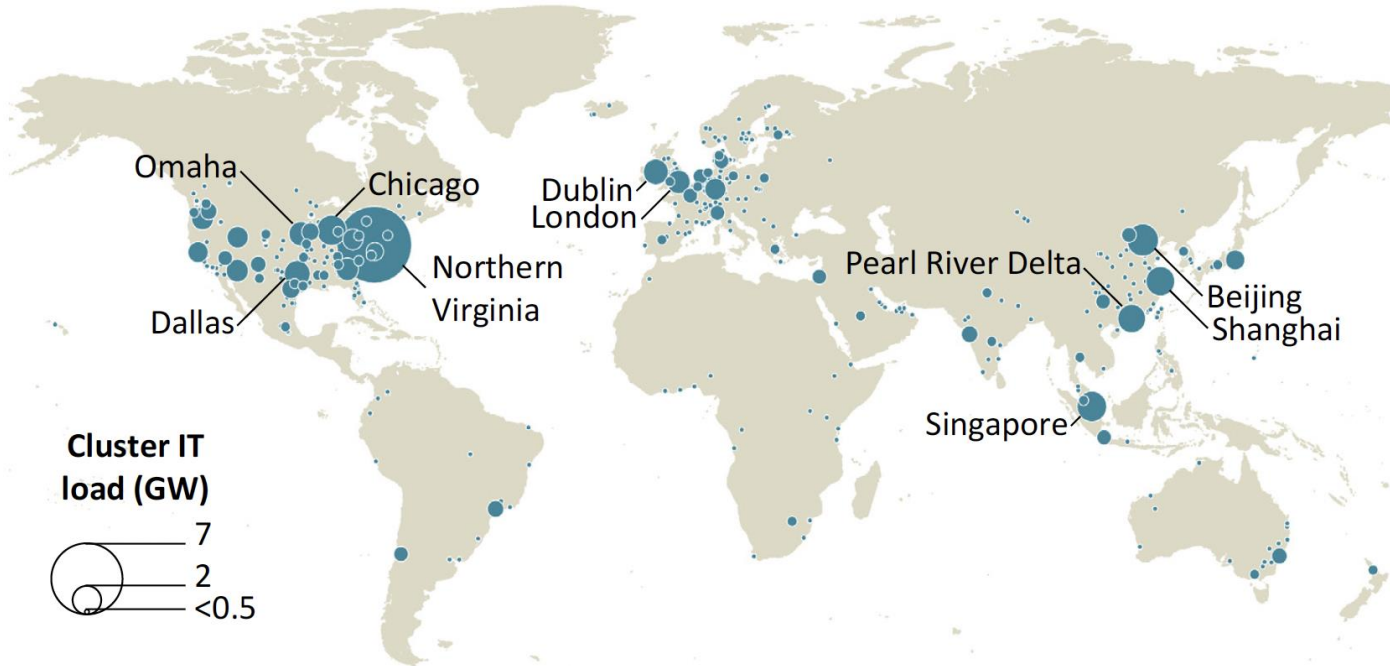
IEA. CC BY 4.0.

Around 70% of the growth in electricity demand from servers between 2025 and 2030 comes from accelerated servers

L'IEA prevede che la **domanda di elettricità dei data center a livello mondiale** è destinata **a più che raddoppiare entro il 2030, raggiungendo circa 945 TWh**.

*Poco meno del **3% del consumo globale totale di elettricità nel 2030***.

Figure 1.13 ▻ Global map of large data centre clusters, 2024



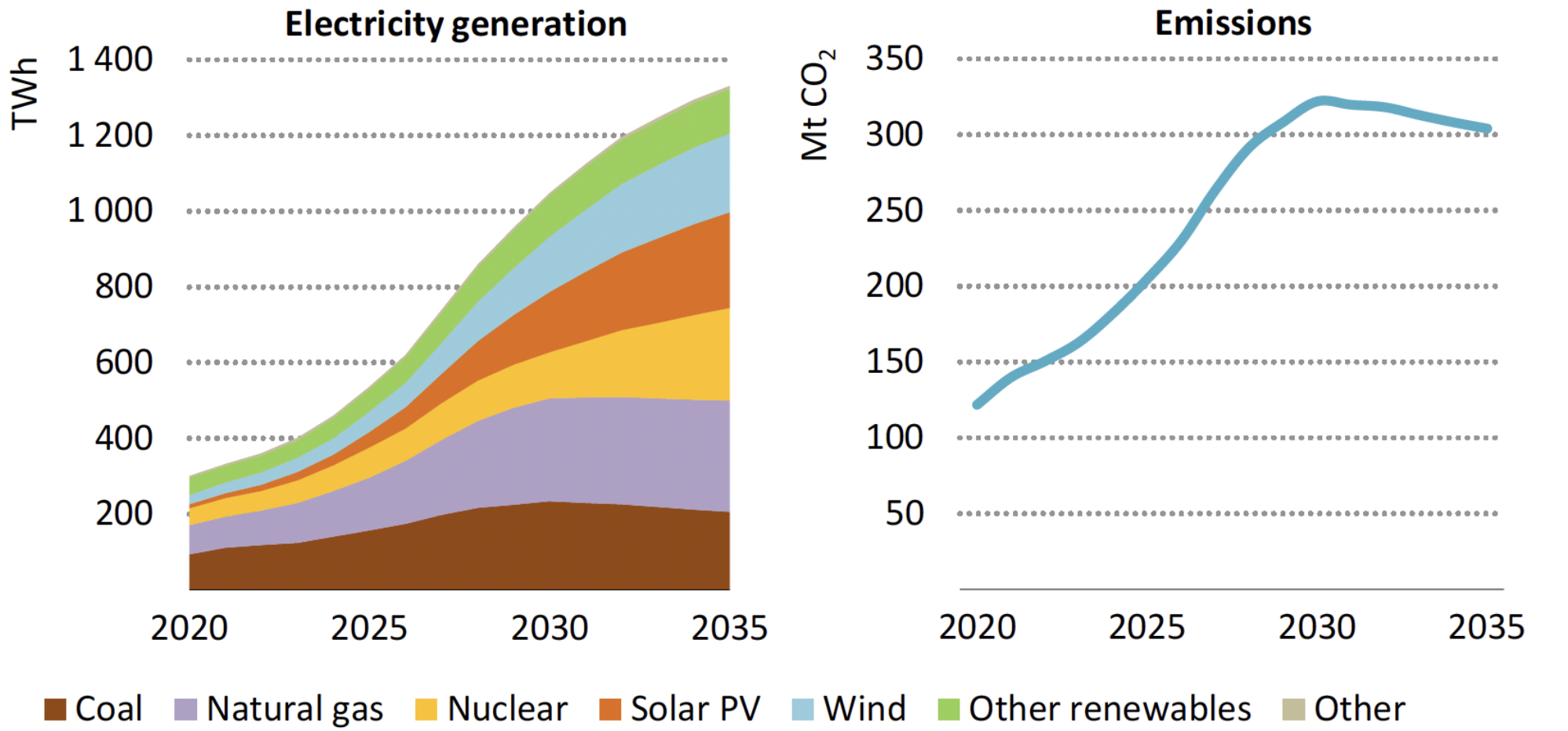
IEA. CC BY 4.0.

Data centres are often located in large clusters, potentially creating challenges for local electricity systems

Notes: GW = gigawatt. We define a data centre cluster as a group of data centres located within 100 km of each other. The ten largest clusters have been named. The Pearl River Delta encompasses the combined capacity of Guangzhou, Shenzhen and Hong Kong (China).

Source: IEA analysis based on data from OMDIA (2025).

Figure 2.20 ▷ Global electricity generation for data centres and the associated CO_2 emissions in the Base Case, 2020-2035



IEA. CC BY 4.0.

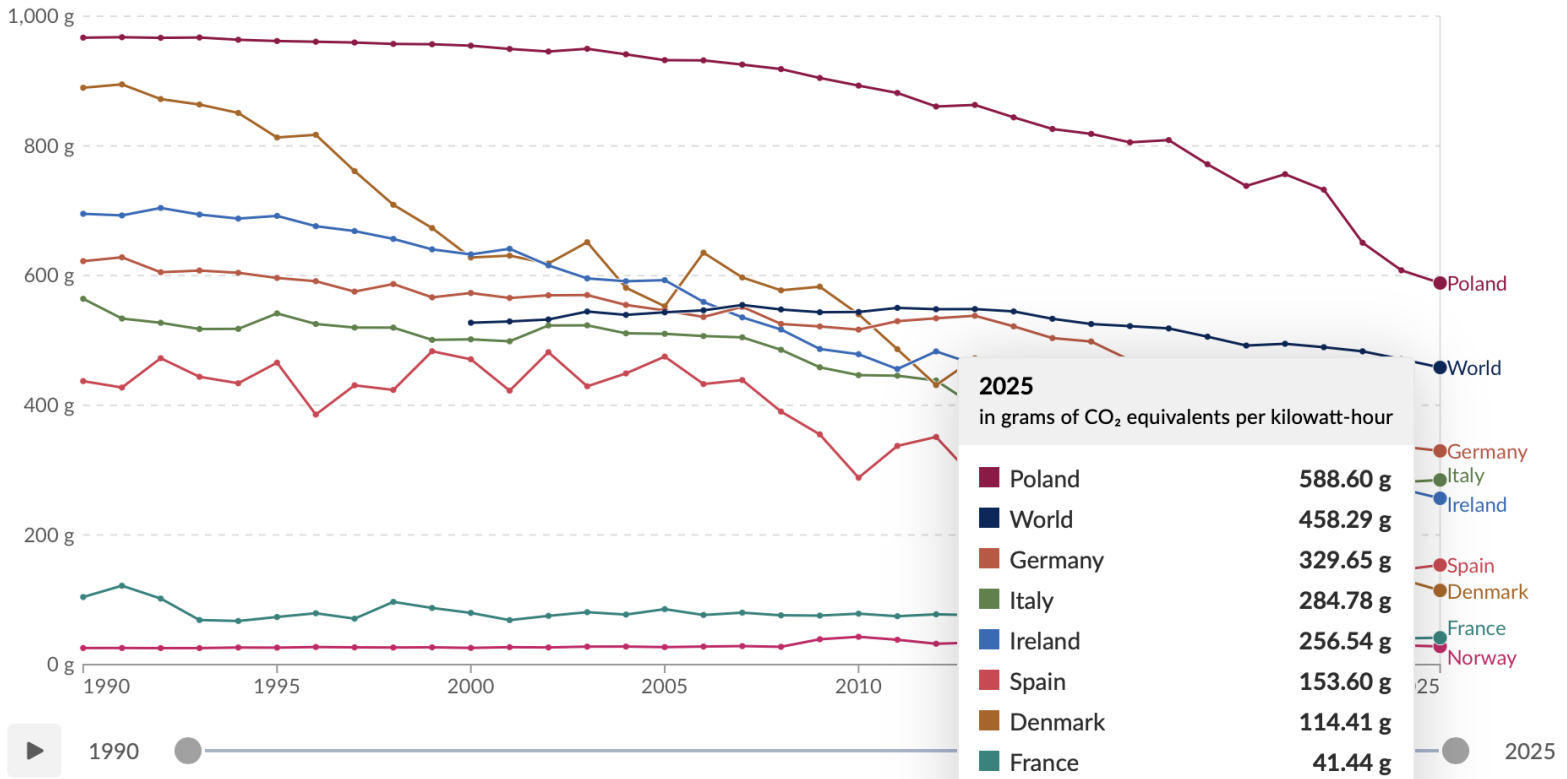
Between now and 2030, renewables meet nearly half of the increase in global data centre electricity demand, followed closely by natural gas and coal-fired electricity generation

Lifecycle carbon intensity of electricity 1990 to 2025

Measured in grams of carbon dioxide-equivalents emitted per kilowatt-hour of electricity generated. Emissions are estimated on a lifecycle basis, including upstream, supply chain and manufacturing stages, and cover all greenhouse gases.

Our World in Data

Table | Map | Line | +3



Data source: Ember (2026) – Learn more about this data

OurWorldinData.org/electricity-mix | CC BY

Download | Share | Enter full-screen

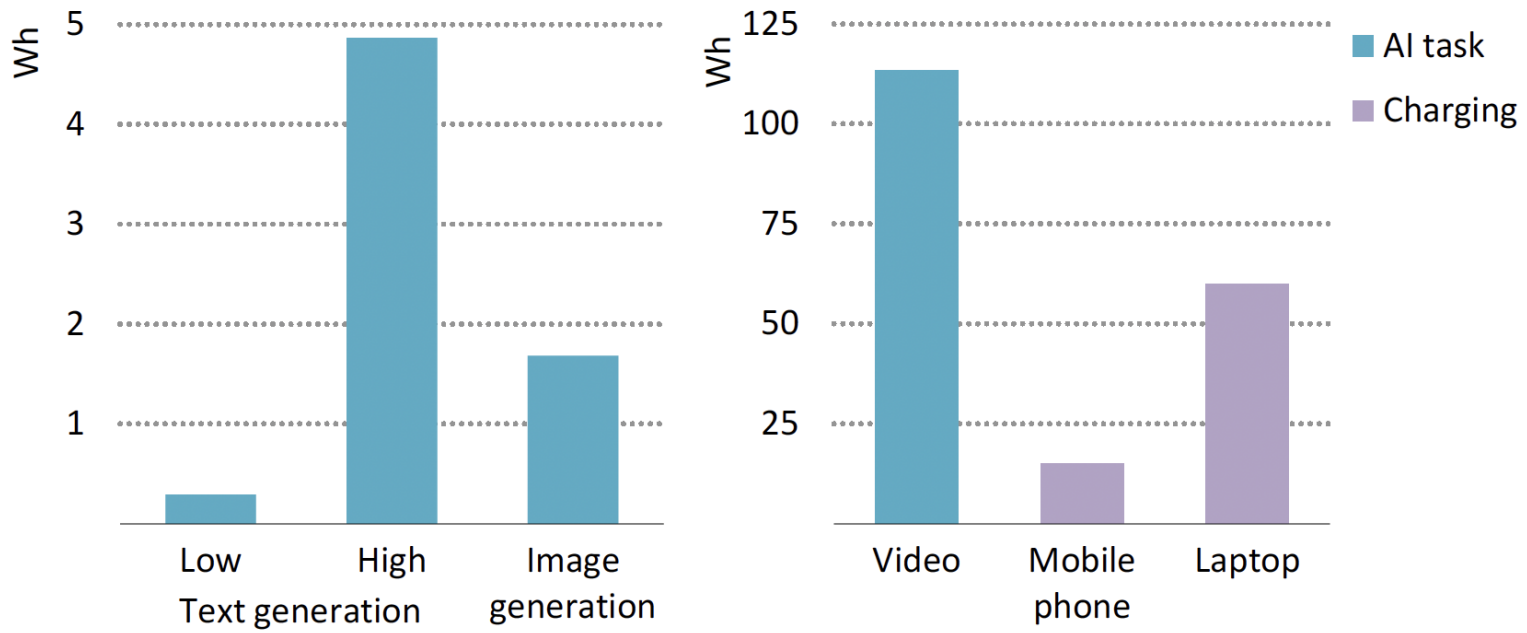
IA e consumi elettrici

L'IA generativa può produrre testi, immagini, programmi informatici, musica e altro ancora. Qualsiasi cosa sia prodotta da un sistema di IA generativa richiede una notevole quantità di elettricità anche quando viene prodotta – e non solo quando viene addestrato il relativo modello.

La generazione di immagini, è molto onerosa in termini energetici, molto di più di quanto lo sia la generazione di testi

L'IA generativa è sempre di più **embedded nei sistemi e servizi digitali** ed è dunque usata (e sempre di più lo sarà) dagli utenti di tali servizi.

Figure 1.16 ▷ Indicative inference electricity consumption for selected generative AI tasks in experimental conditions and the electricity consumption of charging consumer electronics



IEA. CC BY 4.0.

The electricity intensity of different generative AI tasks varies greatly – generating a single short video can be as energy intensive as charging a laptop two times

Notes: Text generation, low = Yi-1.5 9B model with 9 billion parameters. Text generation, high = Llama 3.3 with 70 billion parameters. Image generation = SD-XL 1.0-base model. Video generation = CogVideoX-5b. For video generation, the videos are 6 seconds long and 8 frames per second. Only the GPU electricity consumption is shown in the figure as this is the metric for which the measurement is the most reliable.

[8] We are thankful to Dr Sasha Luccioni for her collaboration on this analysis. All errors, omissions and conclusions drawn from this analysis are those of the IEA alone.

C BY 4.0

Le Intelligenze Artificiali - come le criptovalute – utilizzano hardware specifico (GPU, TPU, ASIC, …)

I processori specializzati offrono prestazioni migliori perchè consentono *compromessi* per *adattare l'hardware* al calcolo

Più si *modifica il design del chip*, maggiori sono i *vantaggi* derivanti dal passaggio a un processore specializzato

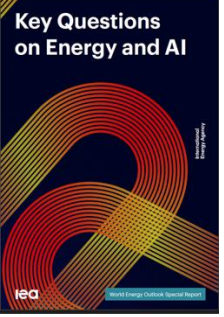
Migliori prestazioni e *maggiore efficienza energetica*

Gli sviluppatori *utilizzano un sempre maggior numero di chip in parallelo* e sono disposti a pagarne costo economico (e ambientale).

I miglioramenti esponenziali, in termini di velocità e precisione, vengono conseguiti sulla scia del *massimalismo computazionale*

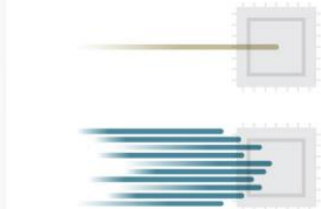
Le precedenti evoluzioni del cloud computing, si concentravano su un **aumento del volume dei dati**

L'IA generativa impone un **aumento dell'intensità computazionale per operazione**



Conventional versus AI data centres

Power density



In the next few years, AI data centres are set to concentrate a peak power demand equivalent to 65 households in a space equal to a household refrigerator.

Load variability



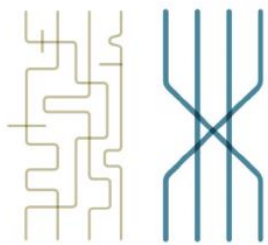
AI data centres see repeated swings of server load of more than 50% of rated capacity within a second.

Energy storage



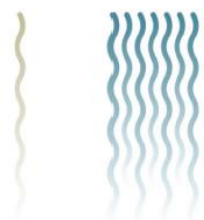
To manage load swings, storage technologies, including lithium-ion batteries, are becoming critical for AI data centres, potentially making them more flexible, grid-friendly assets.

Power distribution



AI data centres are shifting towards high voltage, direct current power distribution, building on technologies pioneered in EVs and renewables.

Heat density



AI data centres need to evacuate the heat equivalent to 30 natural gas boilers per server rack.

Weight



In an AI data centre, a single server rack the size of a refrigerator can weigh more than a pick-up truck.

I Data Center per IA spesso usano la stessa rete elettrica del luogo in cui operano, sovraccaricandola, e si accaparrano gran parte dell'energia disponibile da fonti rinnovabili. I fornitori di elettricità sono a volte costretti a **ricorrere ai combustibili fossili per stabilizzare la rete.**

Si rischia dunque di far **ritardare i piani per abbandonare le fonti fossili**: un paradosso concettuale rispetto agli impegni a favore della sostenibilità presi da aziende come Microsoft, Google, Amazon e Meta, che hanno promesso di cancellare le loro emissioni già dal 2030.



Grazie dell'attenzione