Impatti dell'IA sulla sostenibilità

Nikola Milojevic-Dupont

Scuola estiva Climate Change AI 2026

Immagine:

Ringraziamenti

Grazie a Priya Donti e Shaolei Ren per i contributi e i commenti su questa lezione, e a Lynn Kaack per i materiali precedenti qui inclusi!

Richiamo: una relazione sfaccettata tra ML e clima

Impatti del calcolo e dell'hardware del ML

Applicazioni del ML per la mitigazione del cambiamento climatico

Applicazioni del ML che aumentano le emissioni

Impatti sistemici del ML

Sondaggio n. 1

Quale delle quattro categorie di impatto ritenete possa avere oggi l'impatto più rilevante sul clima?

Impatti del calcolo e dell'hardware del ML

Applicazioni del ML per la mitigazione del cambiamento climatico

Applicazioni del ML che aumentano le emissioni

Impatti sistemici del ML

Valutazione del ciclo di vita

L’intera catena del valore, dalla **culla** (estrazione delle materie prime), attraverso la fase d’uso, fino alla **tomba** (smaltimento)

Valutare i **molteplici** impatti ambientali

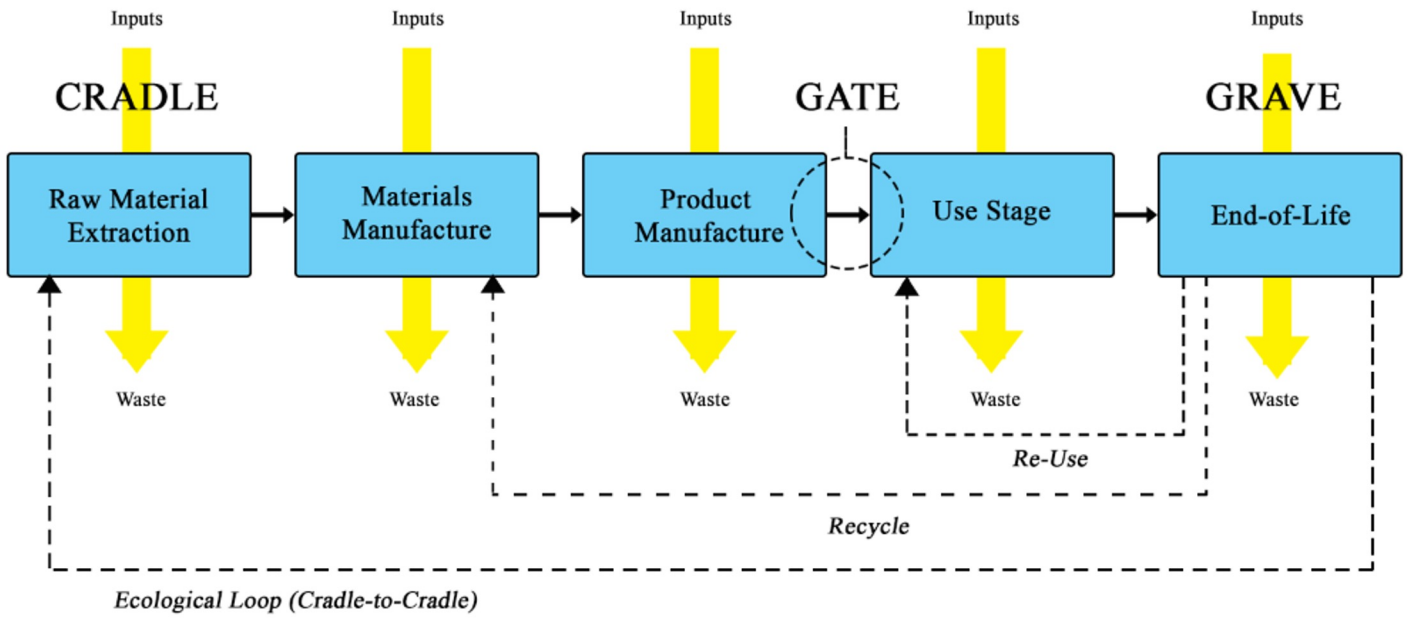


Immagine: Wikipedia

Analisi dell'inventario: GHG Protocol

- Standard globali per misurare le emissioni di gas serra delle attività del settore pubblico e privato, delle catene del valore e delle azioni di mitigazione
- **Scope 1:** emissioni dall'uso diretto di combustibili fossili, es. per riscaldamento, flotte di veicoli
- **Scope 2:** emissioni da elettricità e calore acquistati
- **Scope 3:** emissioni dalle catene del valore, clienti compresi
- Esteso anche all'acqua

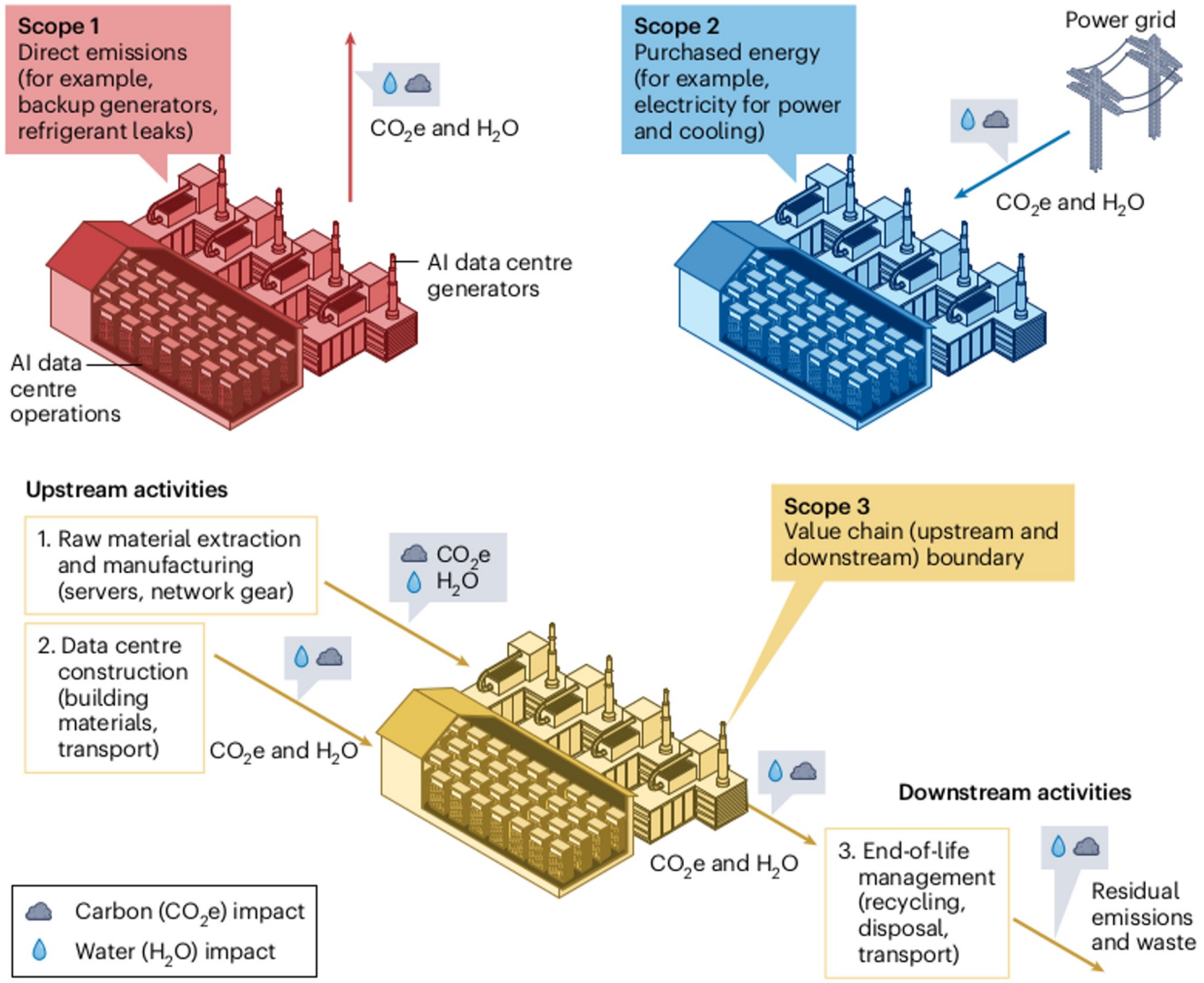
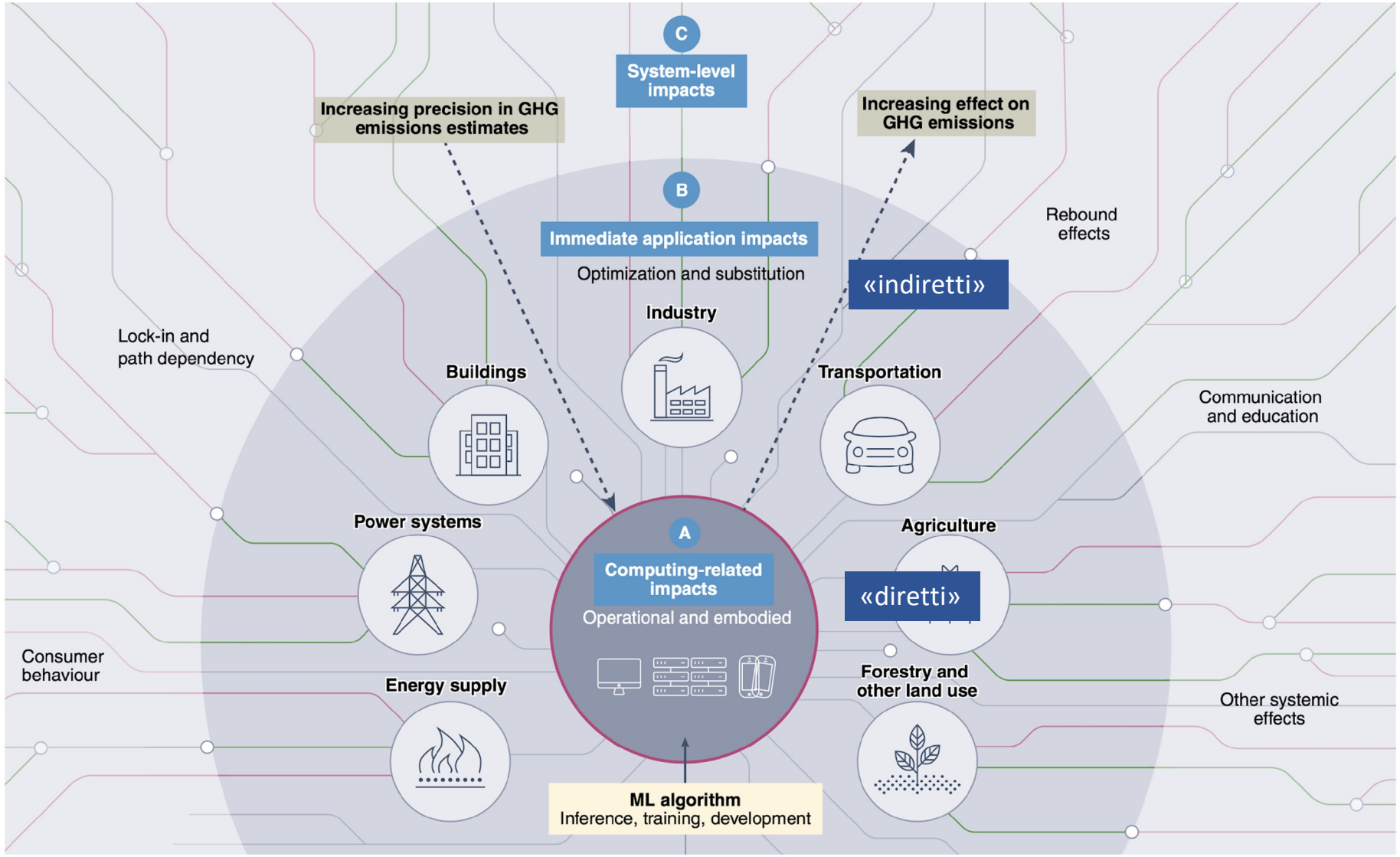


Immagine: Chien et al, 2026, Nature Reviews Clean Technology

Come l'IA incide sulle emissioni di gas serra



Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). Nature Climate Change, 1-10.

Indice della lezione

Impatti legati al calcolo

Impatti delle applicazioni

Impatti sistemici

Considerazioni trasversali

Regolamentare l’uso di energia e risorse dell’IA

Indice della lezione

Impatti legati al calcolo

Impatti delle applicazioni

Impatti sistemici

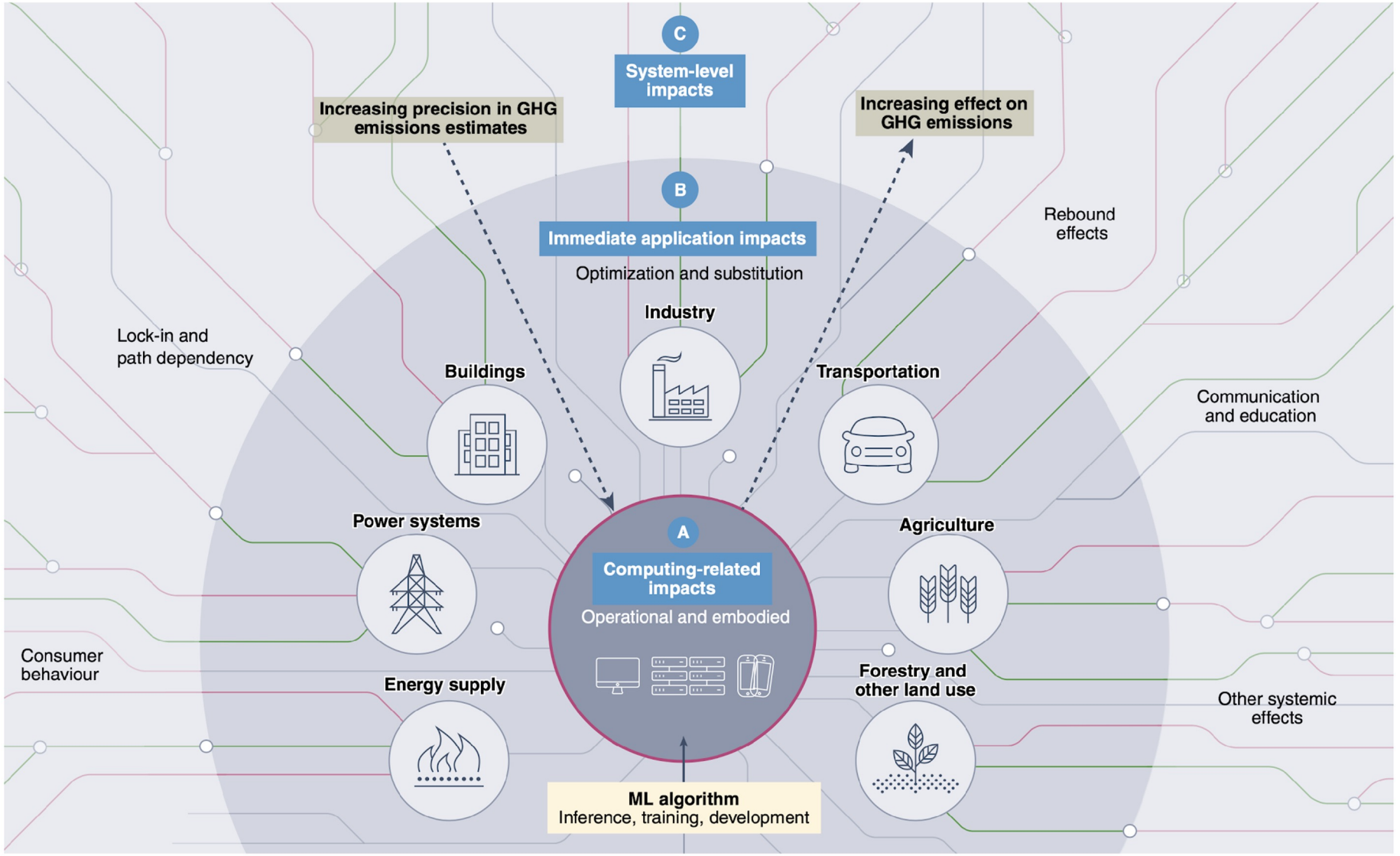
Considerazioni trasversali

Regolamentare l’uso di energia e risorse dell’IA

Addestramento, inferenza

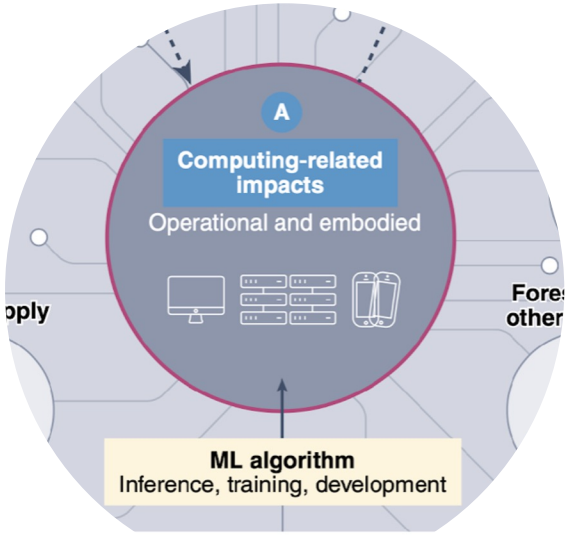
Impatti differenziati per compiti e modelli

Come l'IA incide sulle emissioni di gas serra



Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). Nature Climate Change, 1-10.

Come l'IA incide sulle emissioni di gas serra



Impatti del calcolo e dell'hardware del ML

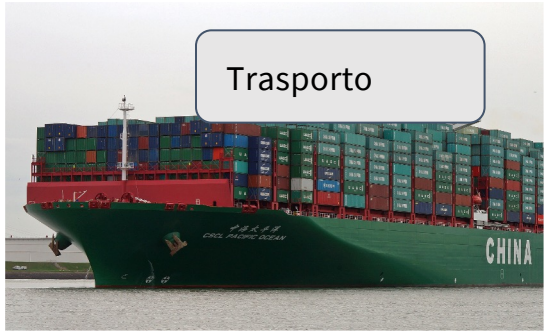
Emissioni operative dall'energia consumata durante il calcolo





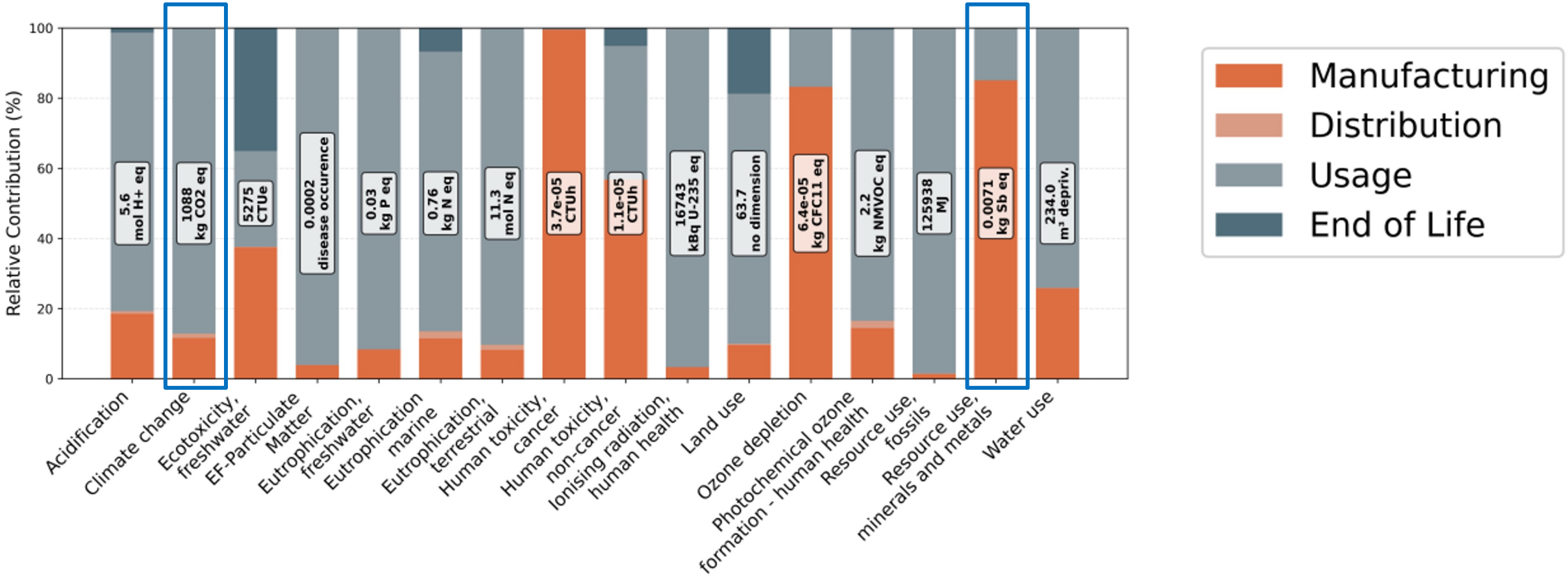
Emissioni incorporate dalla produzione e dal fine vita dell'hardware







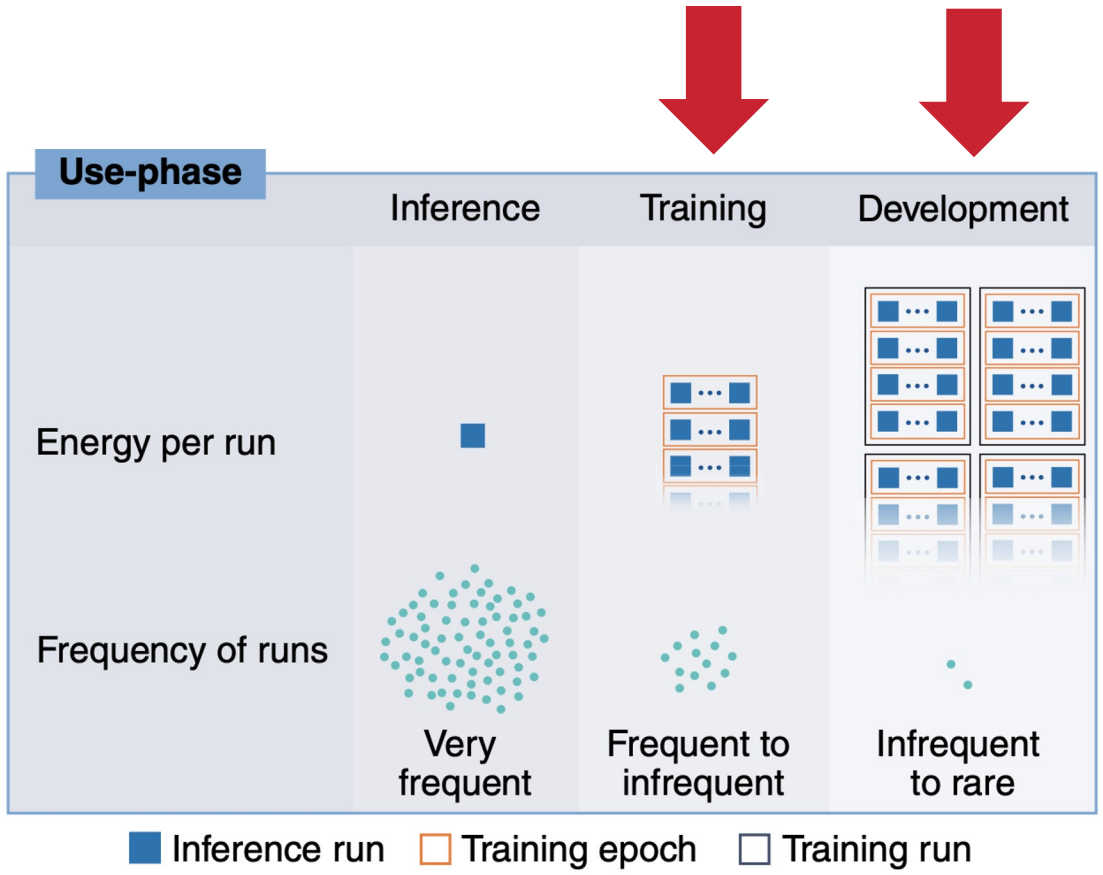
Impatti di una scheda GPU sulla sostenibilità



- Emissioni operative >> emissioni incorporate
- Importanza dell’estrazione mineraria

Fonte: arxiv.org/abs/2509.00093

Emissioni del ML legate al calcolo: Sviluppo e addestramento



Promemoria:

L’IA non è «una cosa sola»

I modelli hanno dimensioni diverse



La dimensione del modello incide sulla domanda di energia per l'addestramento

~ 2 giorni di fabbisogno elettrico di Berlino

Parameters and electricity consumption evaluations for several leading LLMs.

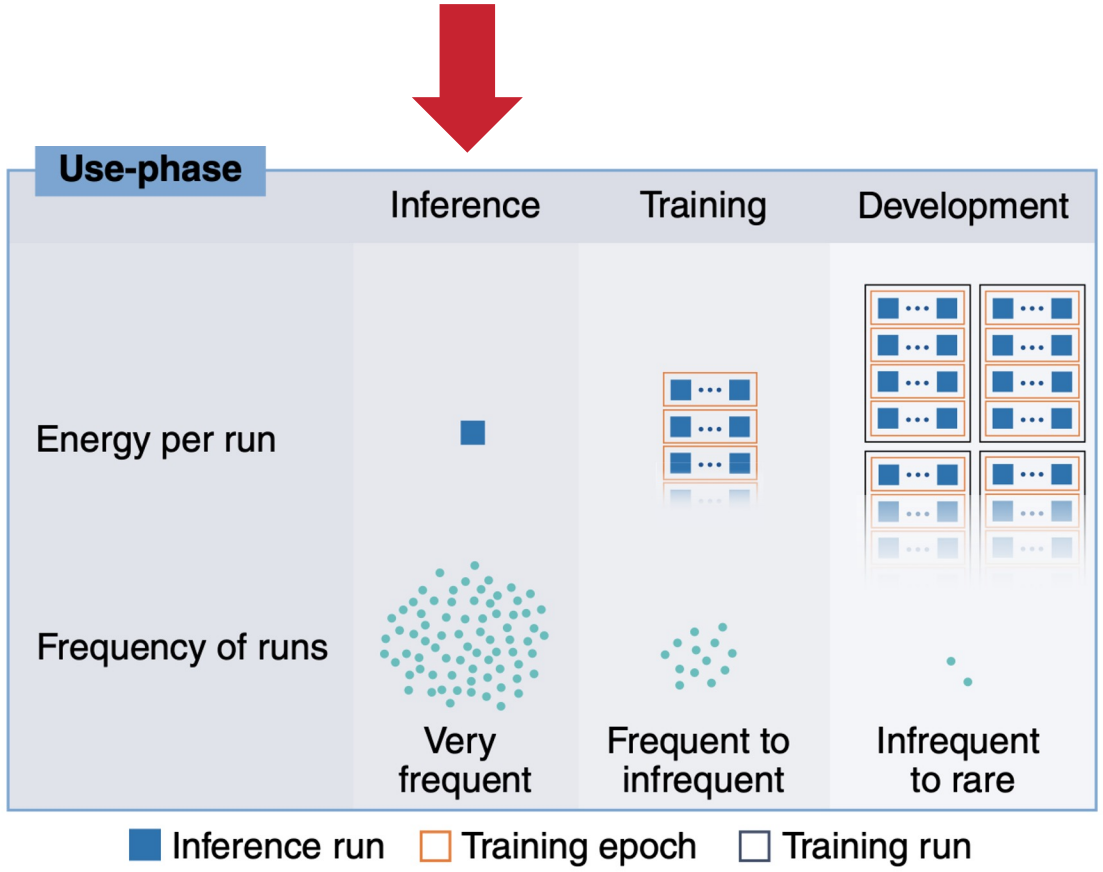
Developer	Model	Released year	Number of parameters (billion)	Accelerator type	Electricity consumption (MWh)	CO_2 emissions (ton)	Literature
Google	BERT	2018	0.1	GPU V100	1.5	0.7	[13,14]
	GLaM	2021	1162	TPU v4	456	40	[19]
	PaLM	2022	540	TPU v4	3436	271.4	[38]
OpenAI	GPT-2	2019	1.5	TPU v3	1.7	0.7	[14,39]
	GPT-3	2020	175	GPU V100	1287	552	[32,40]
	GPT-4	2023	1800	GPU A100	51,772 to 62,318	12,456 to 14,994	[41,42]
Meta	OPT	2022	175	GPU A100	324	75	[43]
	LLaMA 2	2023	7	GPU A100	74	31.2	[44]
			13		147	62.4	[44]
			70		688	291.4	[44]
	LLaMA 3	2024	1	GPU H100	/	107	[45,46]
			3		/	133	[45,46]
			8		/	390 to 420	[45,46]
			70		/	1900 to 2040	[45,46]
			405		/	8930	[45,46]
BigScience	BLOOM	2022	1	GPU A100	159	9.1	[18]
			104		267	15.2	[18]
			176		433	24.7	[18]
DeepMind	Gopher	2021	280	TPU v3	1151	380	[13,47]
				/	1066	352	[4]
TII	Falcon	2023	40	GPU A100	163[b]	8 to 90[b]	[48–50]
			180		2,940[b]	147 to 1,617[b]	[48–50]
Mistral AI	Mixtral 8 × 7B	2024	47[a]	GPU A100	232[b]	6.3[b]	[51–53]
DeepSeek	DeepSeek-V3	2024	671[a]	GPU H800	1,025[b]	550[b]	[54,55]

[a] These values denote the total number of parameters, with different quantities activated depending on the model architecture.

[b] The electricity consumption data of some LLMs lack direct values from open-published literature. Thus, these data are estimated, and the estimation process is provided in Appendix Table A1.

Fonte: Zhenya Ji e Ming Jiang 2026, https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116159.

Emissioni del ML legate al calcolo: Inferenza



Le emissioni dell'inferenza sono in crescita

- Sia Meta sia Google riportano che le emissioni dell'inferenza superano quelle dell'addestramento
- A seconda dell'uso, può prevalere l'addestramento o l'inferenza
- I consumatori hanno bisogno di trasparenza per scegliere tra modelli



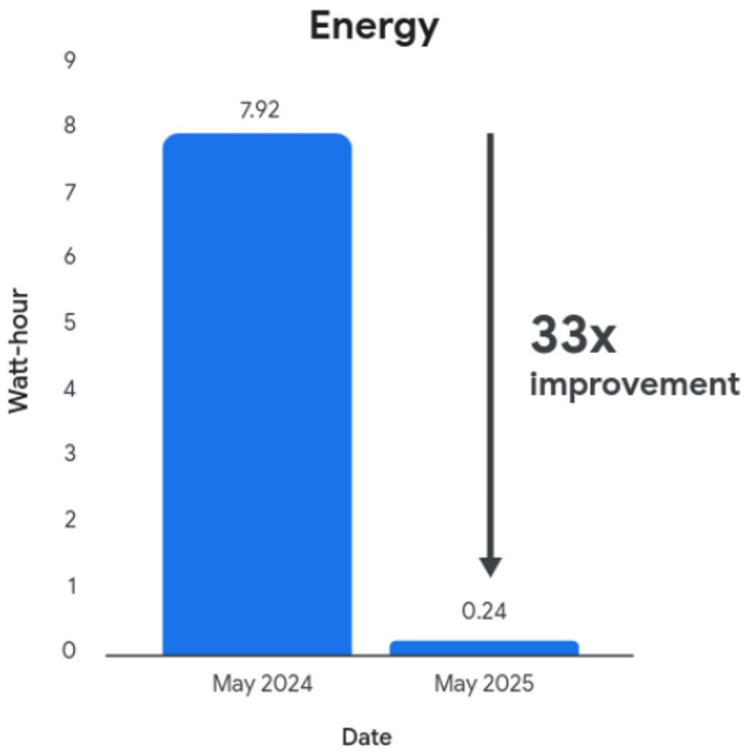
Model		Request freq.	Energy (kWh)	# inf. to equal training
Llama 3.1	8B	∞	0.011	276B
		8	0.051	59.5B
		1	0.333	9.12B
OLMo 2	7B	∞	0.018	20.9B
		8	0.049	7.68B
		1	0.348	1.05B
OLMo 2	13B	∞	0.033	22.1B
		8	0.057	12.8B
		1	0.386	1.89B

Jacob Morrison, Clara Na, Jared Fernandez, Tim Dettmers, Emma Strubell, Jesse Dodge. Holistically Evaluating the Environmental Impact of Creating Language Models. ICLR 2025 (Spotlight).

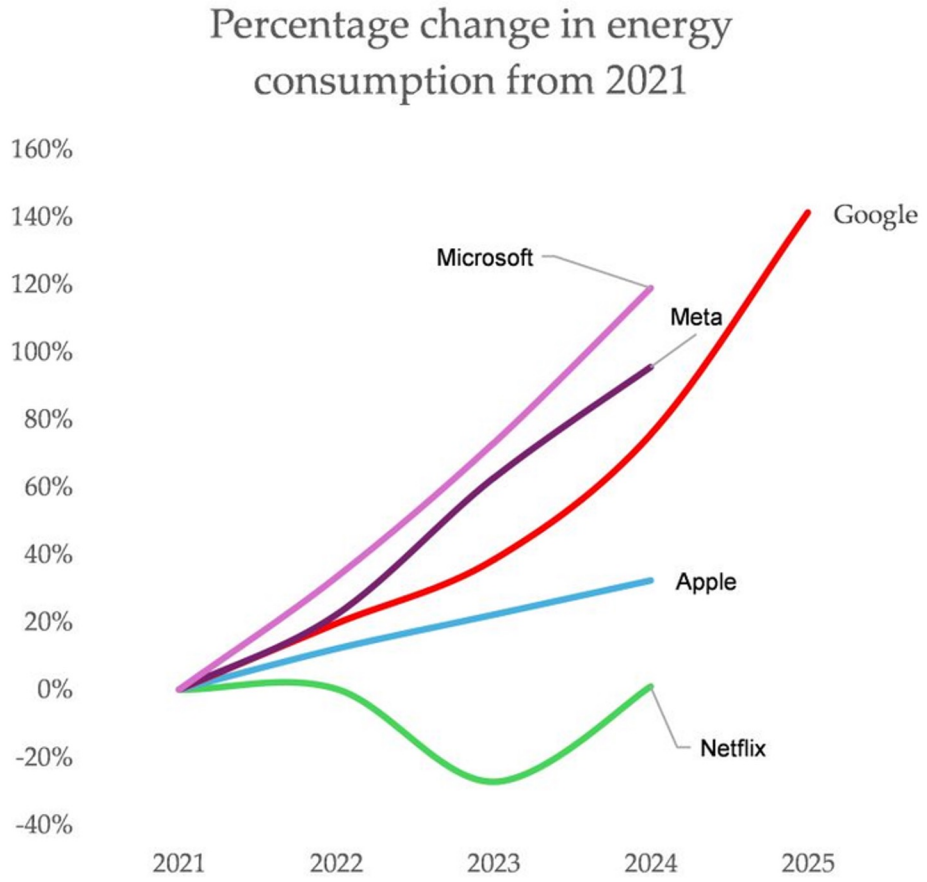
Maggiore efficienza... ampiamente annullata dalla crescita dell'uso

Gemini efficiency improvements

Energy and carbon efficiency improvements per median Gemini Apps text prompt from May 2024 to May 2025.

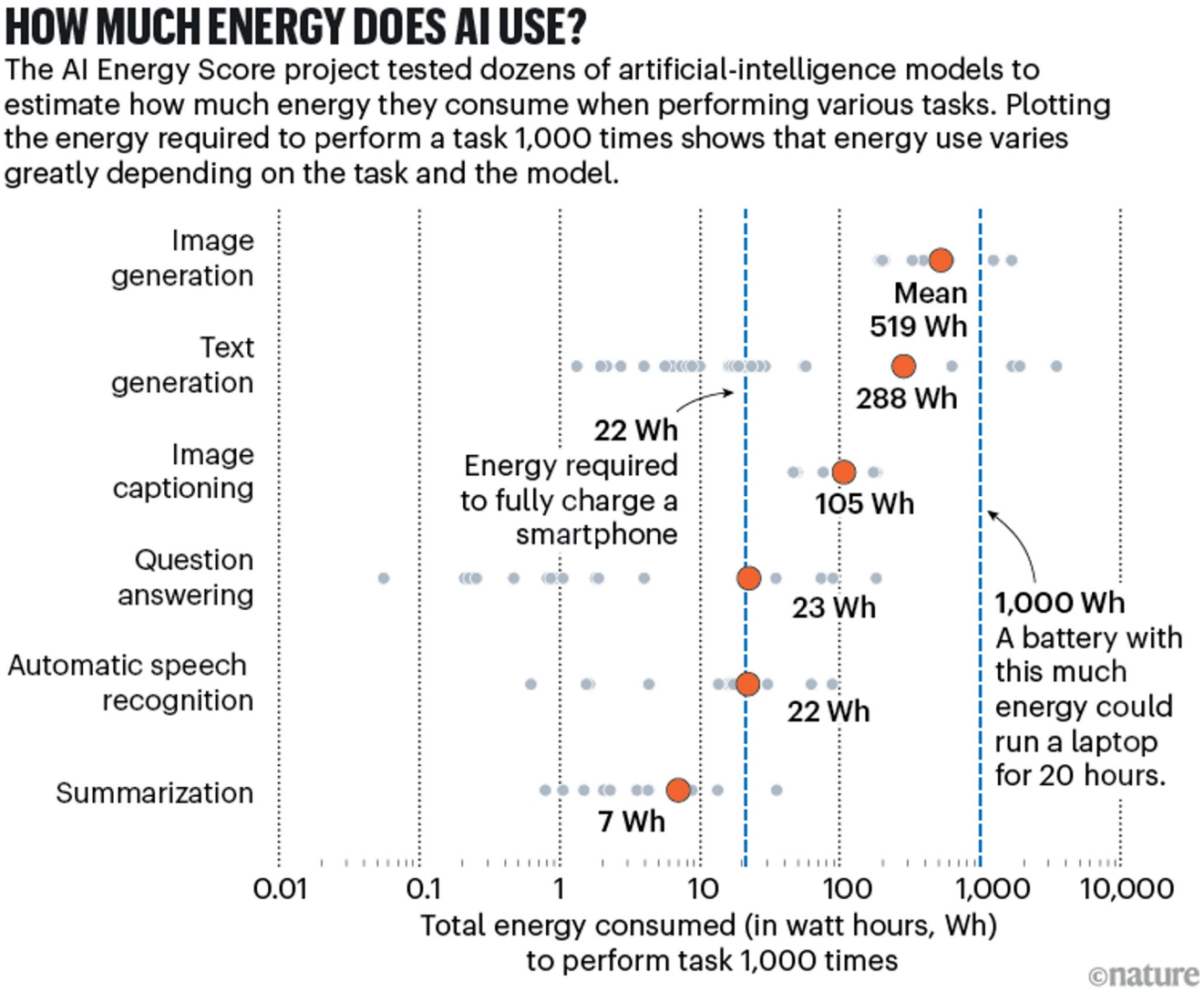






Fonti: Google, Ketan Joshi

Grandi differenze nel fabbisogno energetico dell'inferenza tra compiti



Fonti: https://www.nature.com/articles/d41586-025-00616-z basato su Luccioni et al., Hugging Face Energy Score

Sondaggio n. 2

Qual è l'ordine di grandezza tra

un **prompt**

e un **video di 8 secondi a media definizione**?

a) x 10, b) x 100, c) x 1.000, d) x 10.000

Sustainable AI Group

Lights, Camera, Carbon: Architectural Scaling Laws for Video Generation Energy Consumption

Nidhal Jegham, Boris Gamazaychikov, Sasha Luccioni

Sora 2.0 Pro is gone.
Here's what it cost to run.

OpenAI discontinued Sora in March 2026. We estimated its energy footprint from architecture and API timing alone, with no access to model weights required.

Per 8-second, 720p video generated

418.5 Wh

≈ 1,700× the energy of one Gemini text prompt (0.24Wh)

602.6 GWh

estimated if 4M users generated 2 videos/day for 6 months

~113,000

US households' electricity use during the same period, equivalent

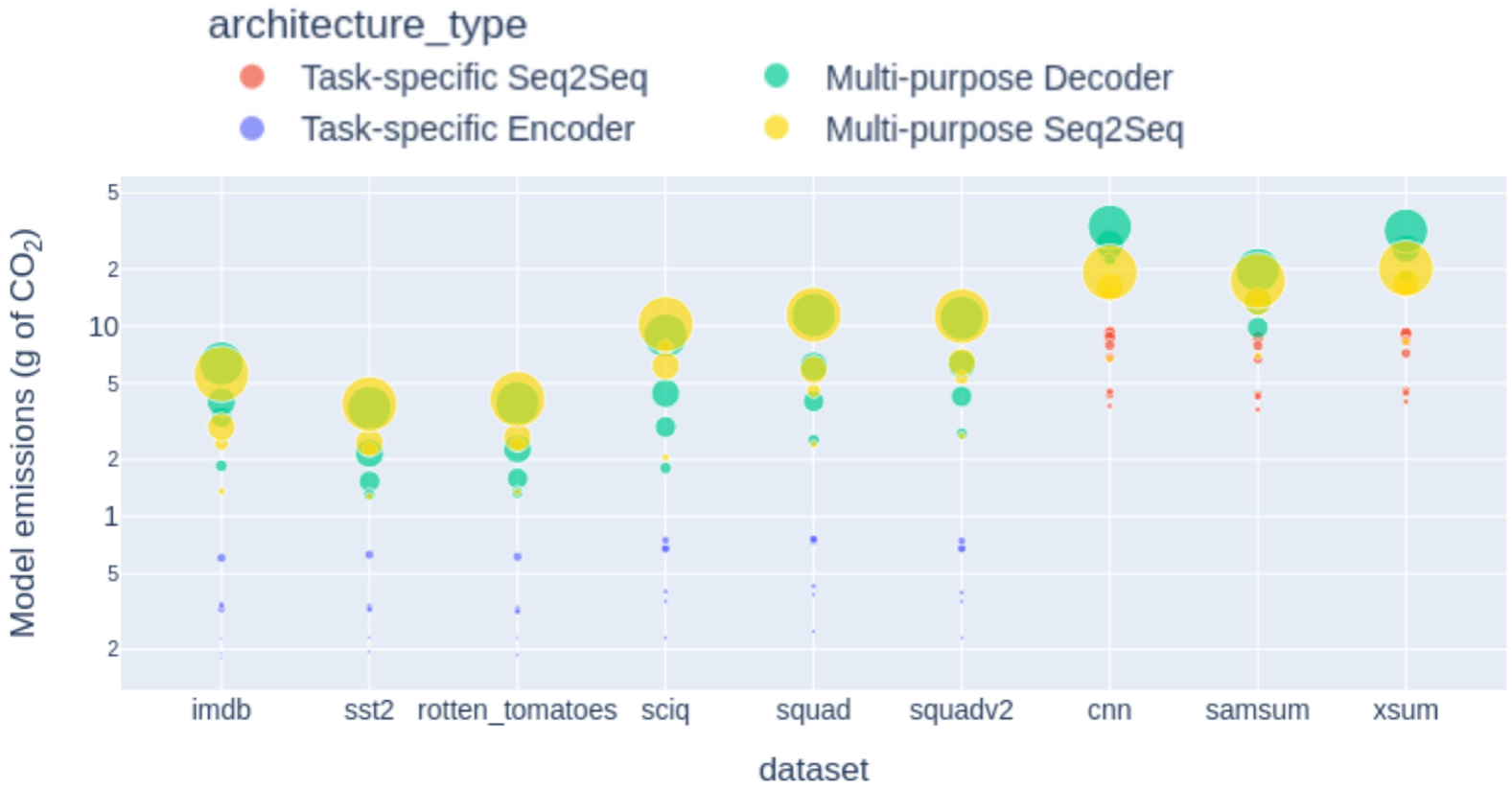
L'IA CON POCHI CONSUMI ENERGETICI È DIFFUSA E POSSIBILE

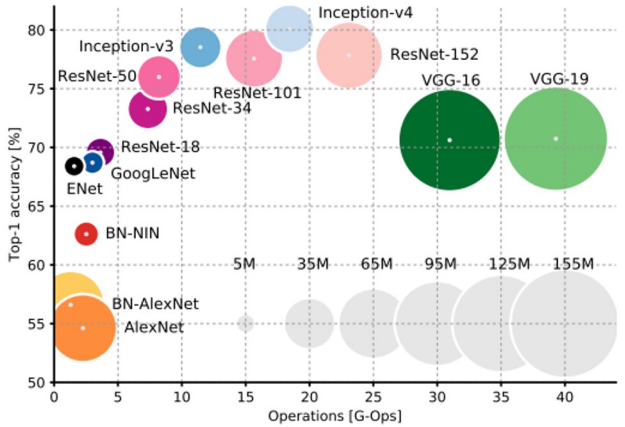
→ IA FRUGALE

Common Myth	Strategic Reality	Takeaways
Frugal AI = Cheap, Low Quality	Frugal AI prioritizes efficient, high-impact solutions, not cutting corners.	Reframe cost-saving as value-maximization through smarter, leaner AI investments.
Low-tech can't scale	Simple tools (WhatsApp, SMS, low-code AI) power platforms used by millions globally.	Embrace context-appropriate scaling – not every solution needs enterprise-grade infrastructure.
Only big tech can do AI	AI is increasingly democratized; startups and small teams build effective, lean models.	Tap into ecosystem partnerships and pilot frugal solutions for niche or underserved markets.
Frugal = Outdated Tech	Frugal AI leverages modern techniques (edge AI, model compression, efficient models).	Integrate Frugal AI metrics (TCO, energy score) into procurement and solution architecture.

White paper «Frugal AI: Driving Sustainable, Inclusive, and Scalable Innovation», 2025

Usare modelli **generalisti** per l'inferenza è **spesso inefficiente** rispetto ai **modelli specifici**





Più parametri

→ più energia

Luccioni, Alexandra Sasha, Jernite, Yacine, and Strubell, Emma. "Power Hungry Processing: ⚡Watts ⚡ Driving the Cost of AI Deployment?" *arXiv preprint arXiv:2311.16863 (2023)*

Più dati ≠ sempre prestazioni migliori

Table 6.1
Overall test set performance of local and global models (the best prediction performance on each local test set is highlighted in bold font).

Model	Trained on	Training epochs	Training samples	Training effort	Test RMSE (↓) on		
					Stanford	SIRTA	DEWA
SUNSET	Stanford	21.2 ± 6.1	125,876	2.67 ± 0.77M	2.68	136.96	155.82
	SIRTA	9.6 ± 1.8	438,172	4.21 ± 0.81M	6.53	96.42	219.79
	DEWA	11.8 ± 2.2	85,278	1.01 ± 0.19M	4.65	160.28	**89.49**
	Stanford+SIRTA	28.6 ± 5.6	564,048	16.13 ± 3.15M	**2.61**	**96.34**	129.21
ConvLSTM	Stanford	11.7 ± 2.7	125,876	1.47 ± 0.34M	2.62	113.05	N/A
	SIRTA	5.6 ± 2.6	438,172	2.49 ± 1.13M	4.39	96.46	N/A
	Stanford+SIRTA	6.0 ± 1.7	564,048	3.36 ± 0.99M	**2.62**	**95.53**	N/A

L'articolo mostra anche che **il fine-tuning di un modello globale sui dati DEWA** (tutti o un sottoinsieme sufficiente) dà **prestazioni simili** per DEWA rispetto al **modello locale DEWA** (ma con un maggiore sforzo complessivo di addestramento)

Nie, Yuhao, et al. "Sky image-based solar forecasting using deep learning with heterogeneous multi-location data: Dataset fusion versus transfer learning." *Applied Energy* 369 (2024): 123467.

Stanford = Stanford University (Stanford, California, USA)
SIRTA = Osservatorio atmosferico SIRTA (Palaiseau, Francia)
DEWA = Dubai Electricity and Water Authority (Dubai, EAU)

Verso modelli locali

Julien Chaumond • 2nd
CTO at Hugging Face
2mo •

Connect

This is where we are right now. And it feels pretty magical 🧚

Qwen3.6 27B running inside of Pi coding agent via Llama.cpp on the MacBook Pro

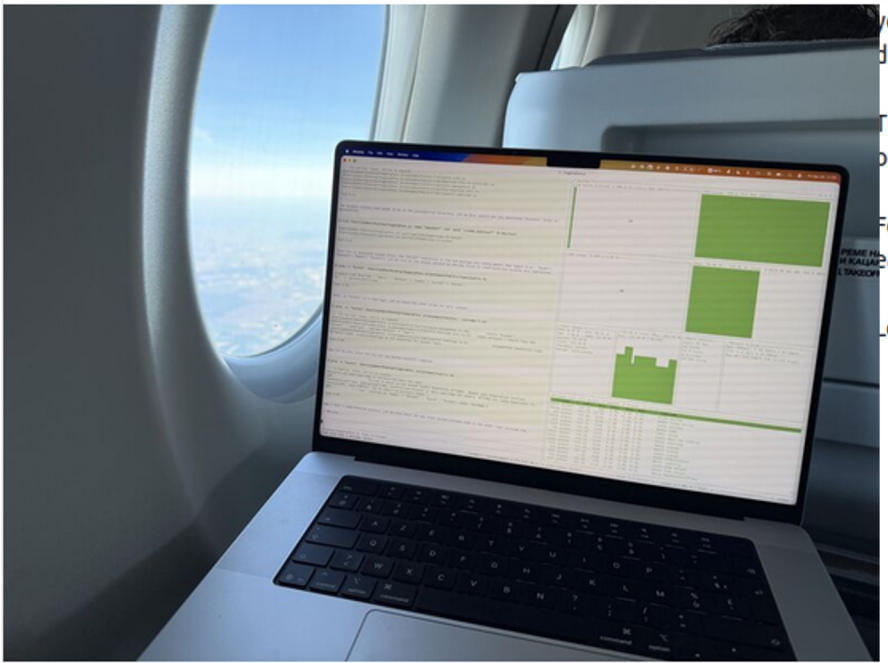
For non-trivial tasks on the **Hugging Face** codebases, this feels very, very close to hitting the latest Opus in Claude Code, or whatever shiny monopolistic closed source API of the day is.

In full airplane mode.

Most people haven't realized this yet.

If you have, it means you have a huge headstart to what I call the second revolution of AI.

Powerful local models for efficiency, security, privacy, sovereignty 🔥



Clem Delangue 🤗 • Following
Co-founder & CEO at Hugging Face
1w •

A study from **Stanford University** showed that 71.3% of chatgpt queries could be accurately answered by a local model. I suspect a major part of enterprise AI workloads could be run locally too for free (compared to the massive costs of frontier API cost).

Also, it reduces the risk of these workloads being taken away from you because you own the models instead of renting them - which sounds like a good idea these days haha.

That's why we're introducing the ability for everyone to filter AI models on **Hugging Face** based on your local hardware.

For me, there are 800k+ public models that fit on my M5 24GB and that I can use easily thanks to llamacpp.

Let's go local AI!

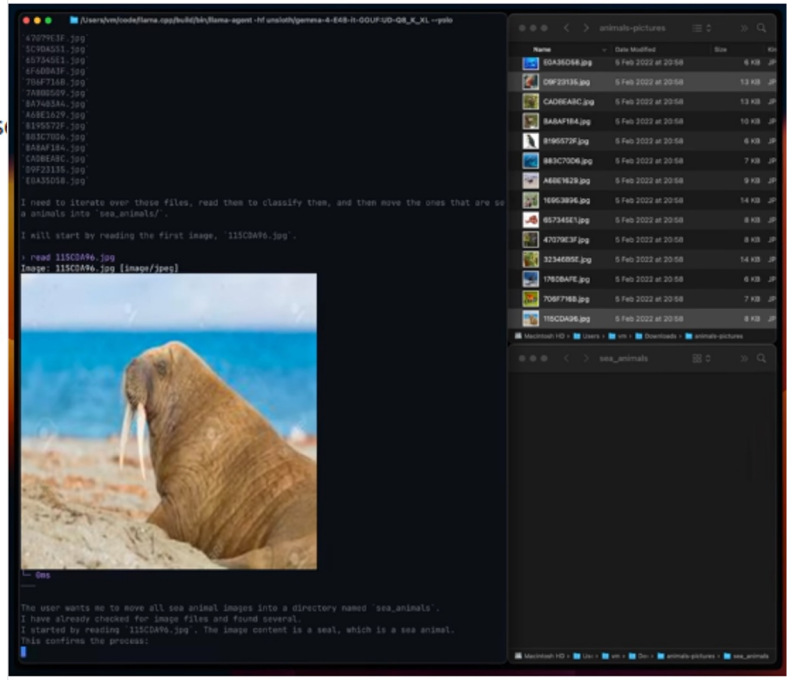
Victor Mustar • 2nd
Head of Product at Hugging Face
3mo •

+ Follow

I just watched the latest Google Gemma 4 open model work on my laptop. No cloud. No API key. No catch.

I pointed Gemma 4 E4B at a folder of mixed photos and asked it to sort the sea animals into their own directory. It opened each image, identified what it saw, and moved the files. All locally, in one agentic session, on a model small enough to fit in 5GB of RAM.

Three years ago this needed a data center. Today it runs while you're offline on a plane.

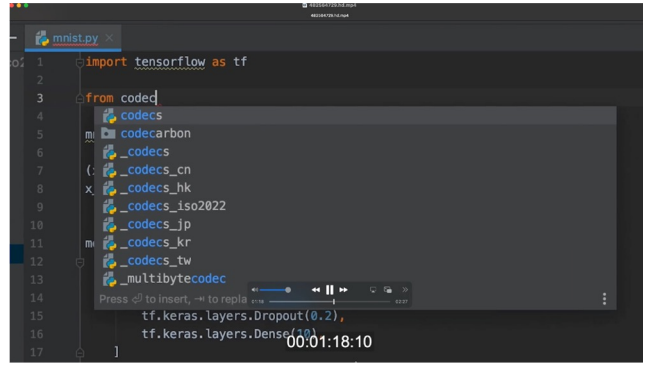


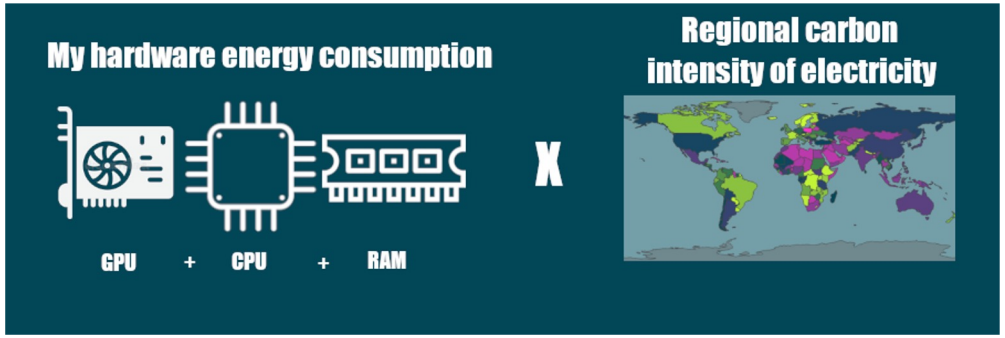
Frugalità nello sviluppo dell'IA

- Frugal AI Challenge: incoraggiare attori accademici e industriali a tenere presente l'efficienza nell'implementare modelli di IA
- Monitorare il consumo di energia **e le** prestazioni
- Incentivare la frugalità nell'implementazione dell'IA affrontando al tempo stesso sfide reali.
- Compiti:
  - Rilevare la disinformazione climatica
  - Classificare le aree a rischio di incendi boschivi,
  - Rilevare la deforestazione illegale.



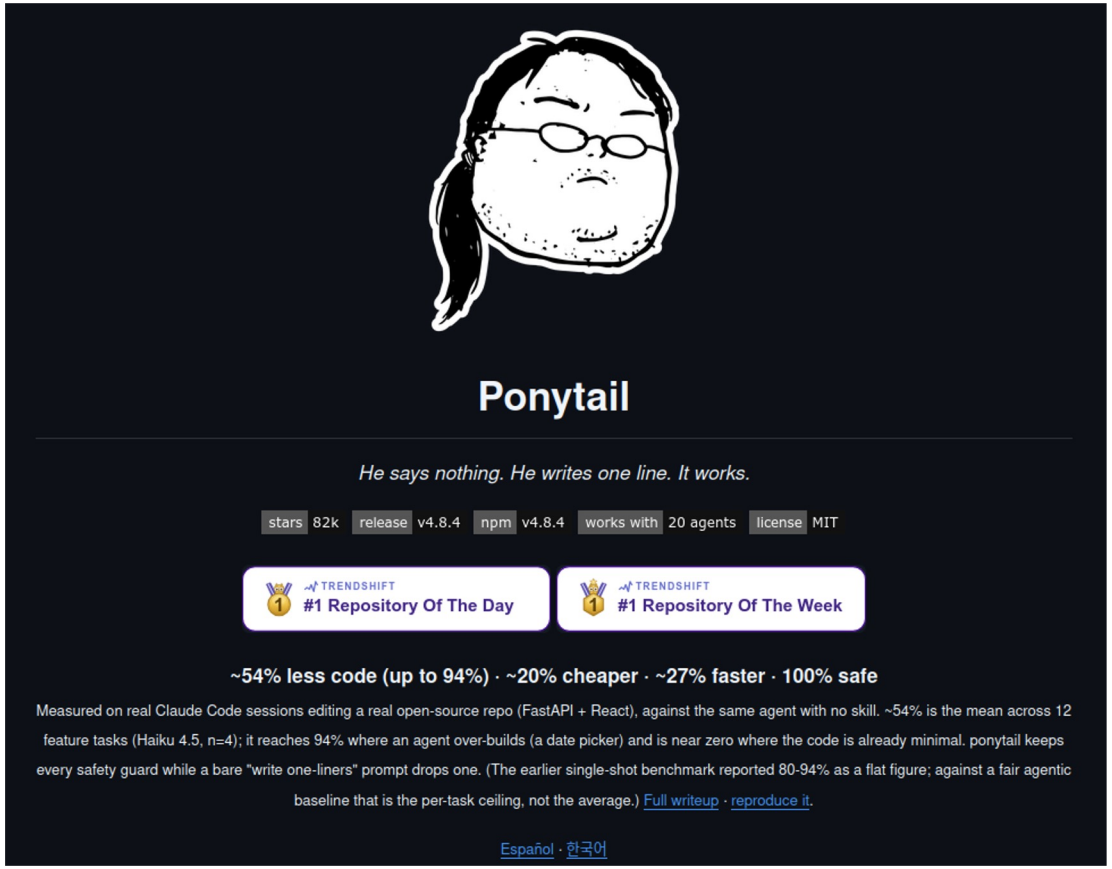
Code Carbon

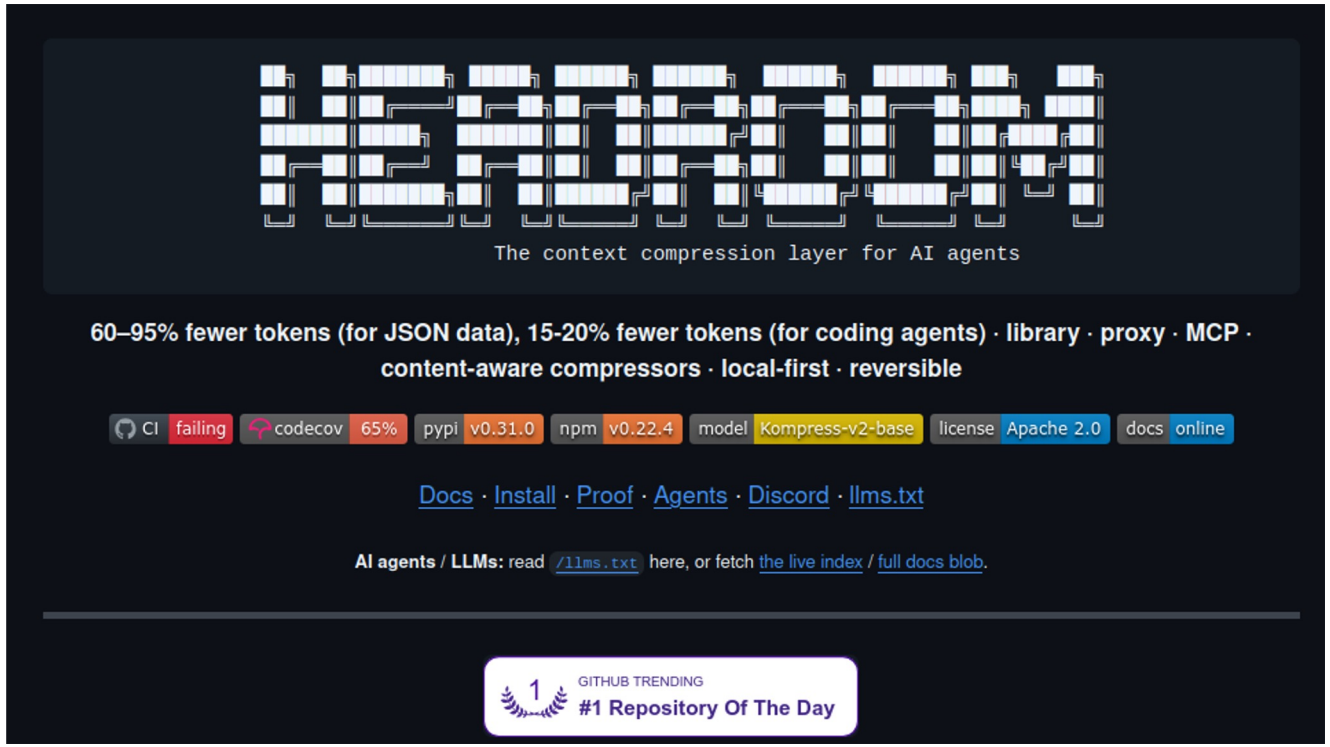




Anche gli strati intorno al modello contano

→ Uscire dal «token maxxing» tramite skill, ecc.





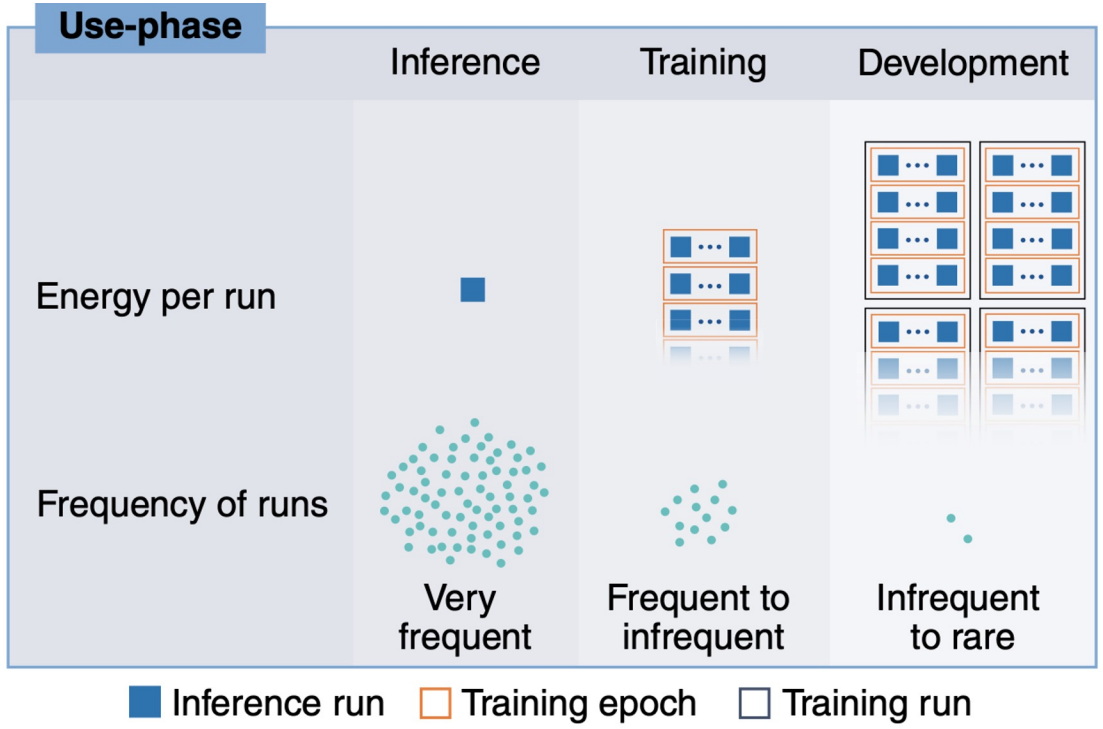
TinyML: eseguire l'IA su microcontrollori

	Cloud AI (NVIDIA V100)		Mobile AI (iPhone 11)		Tiny AI (STM32F746)		ResNet-50	MobileNetV2	MobileNetV2 (int8)
Memory	16 GB	4× →	4 GB	3100× →	**320 kB**	← gap →	7.2 MB	6.8 MB	1.7 MB
Storage	TB~PB	1000× →	>64 GB	64000× →	**1 MB**	← gap →	102MB	13.6 MB	3.4 MB

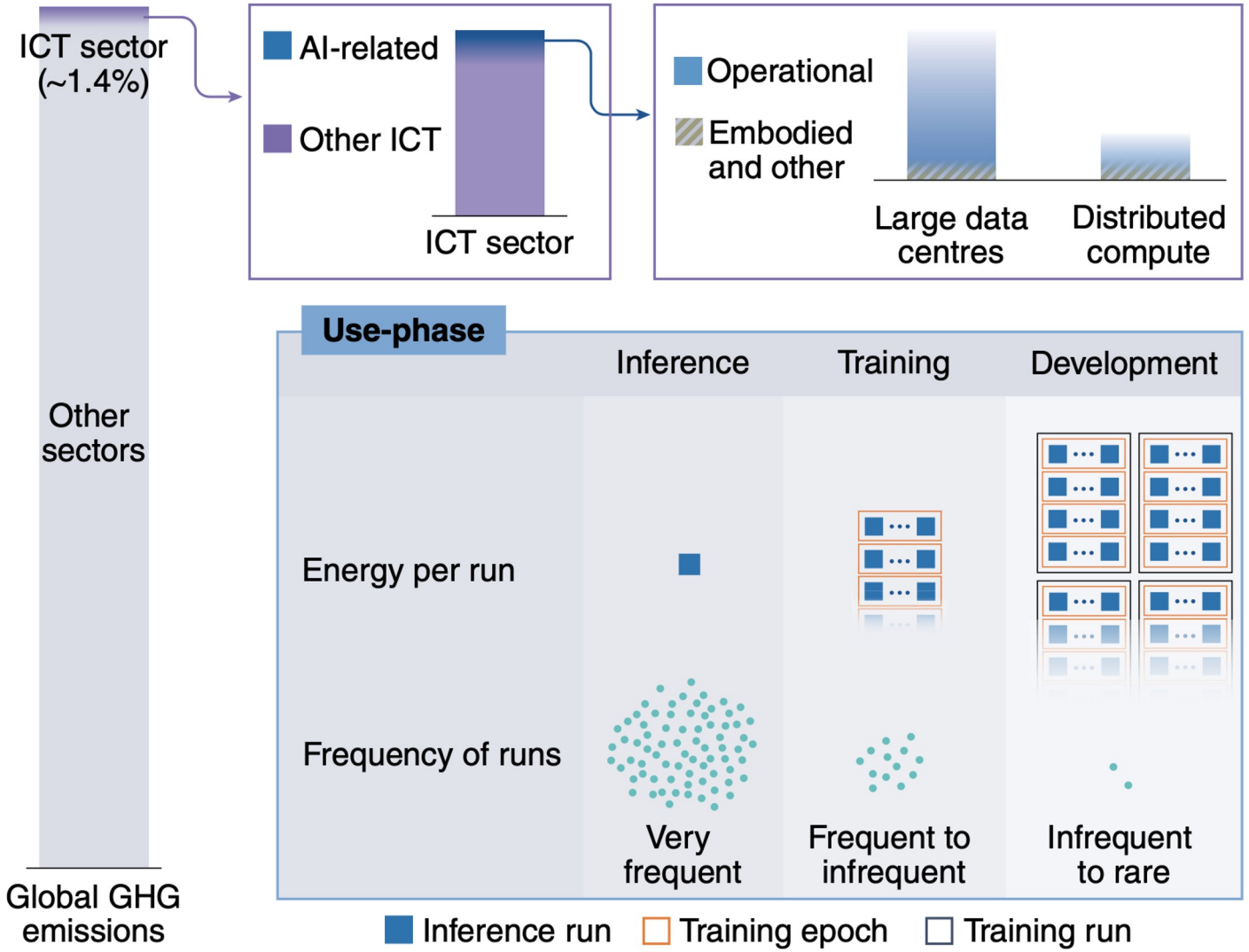


Lin et al 2024 Tiny Machine Learning: Progress and Futures; seedstudio.com

Passare da una **prospettiva dal basso...**

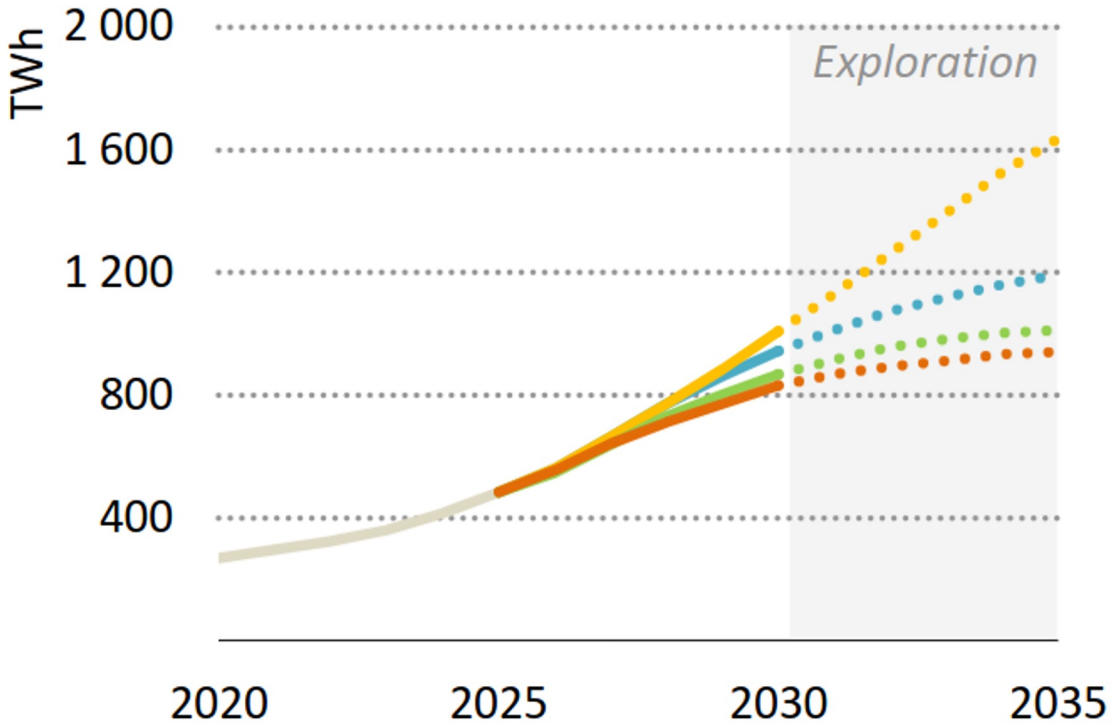


...A UNA **PROSPETTIVA** DALL'ALTO



La domanda di elettricità cresce rapidamente





Aumento del 6%

tra il 2010 e il 2018

(nonostante le istanze di calcolo siano aumentate di 5,5 volte)

Aumento del 250–500%

tra il 2020 e il 2035

Stime approssimative, basate su:
Masanet, Eric, et al. "Recalibrating global data center energy-use estimates." Science (2020)

Fonte: IEA, «Energy and AI» 2026

Sondaggio n. 3

Quale **fonte di energia** si prevede sarà la **più diffusa** per **soddisfare l'aumento della domanda** di elettricità dovuto all'IA?

a) rinnovabili, b) carbone, c) gas, d) nucleare

Offerta aggiuntiva di elettricità:
Intensità di carbonio?
Usi concorrenti?
Impatti associati?



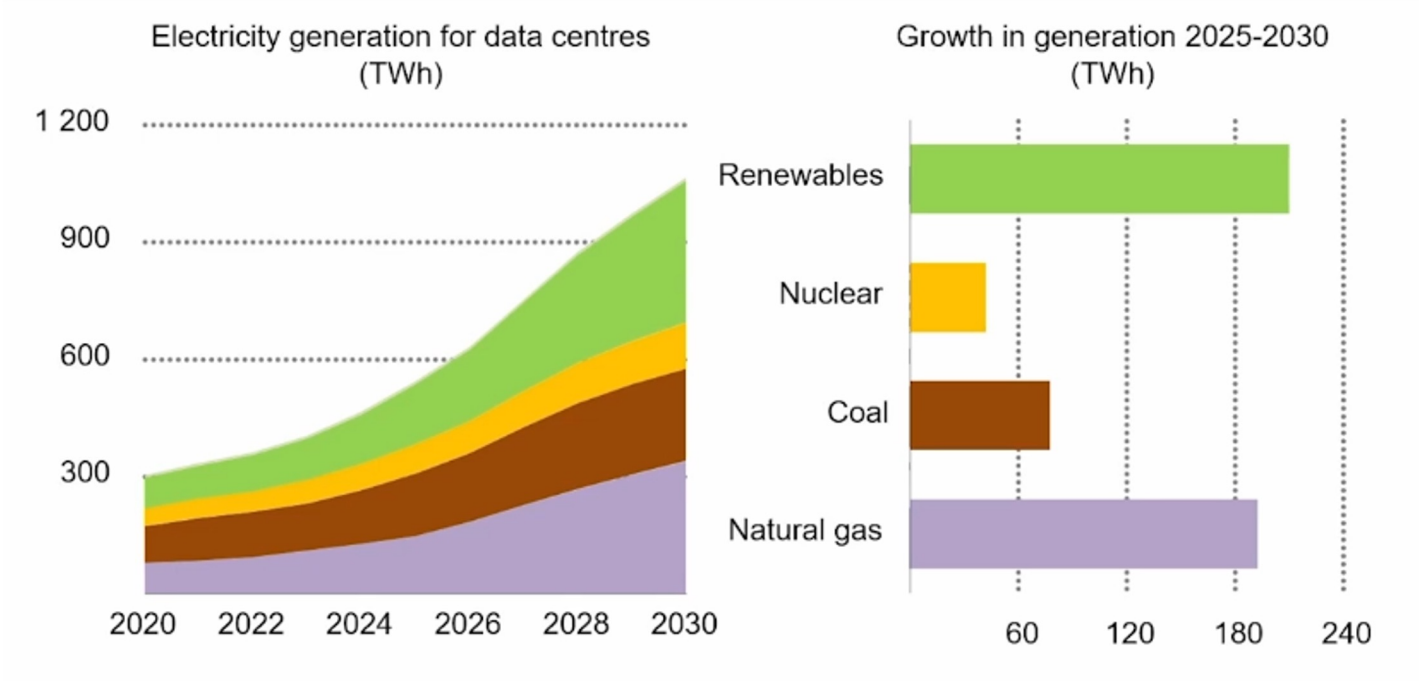
COMPANIES / ENVIRONMENT

Frontier Raises Over $900 Million for Carbon Removal Investments from Google, Anthropic and Others

ENERGY

Chevron to fuel massive Microsoft data center in Texas using natural gas

PUBLISHED MON, JUN 22 2026•7:59 AM EDT | UPDATED MON, JUN 22 2026•3:19 PM EDT



Fonte: IEA, «Energy and AI» 2026

INTEGRAZIONE NELLA RETE DEI DATA CENTER: CONSUMI A PICCHI

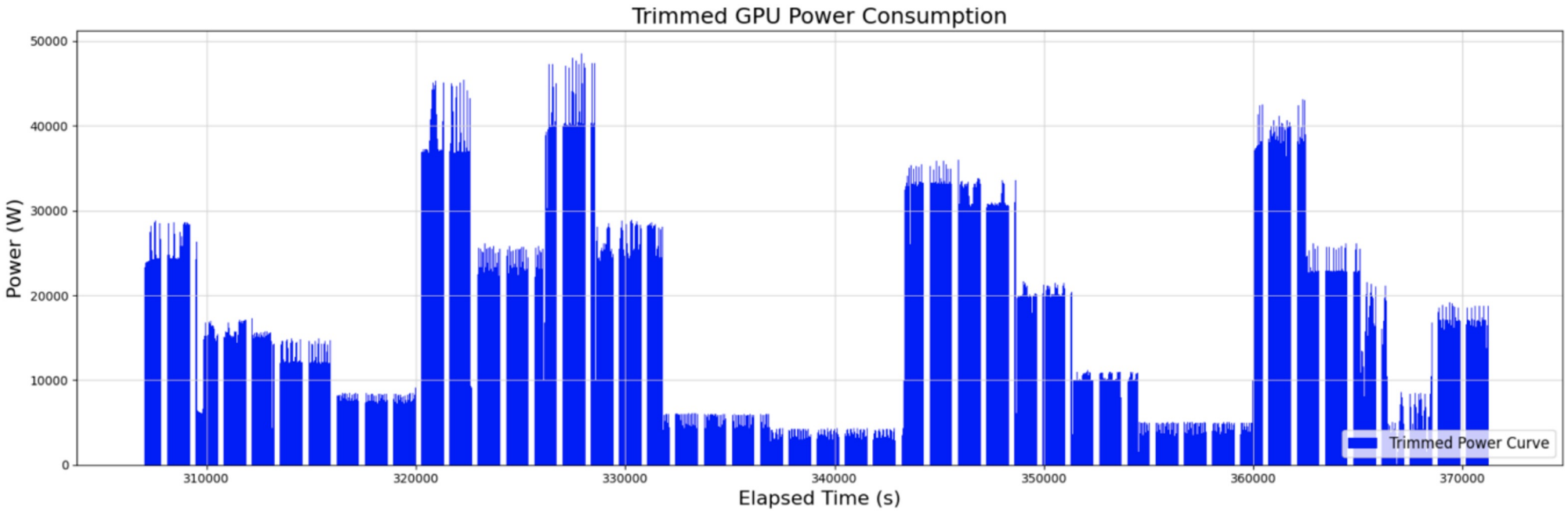


Fig. 6. Power Consumption of BERT in MIT Supercloud Dataset (Peak power consumption of approximately 48.70 kW, with an average consumption of 17.80 kW and a standard deviation of 12.39 kW. The job ran for an extended period of 4 days).

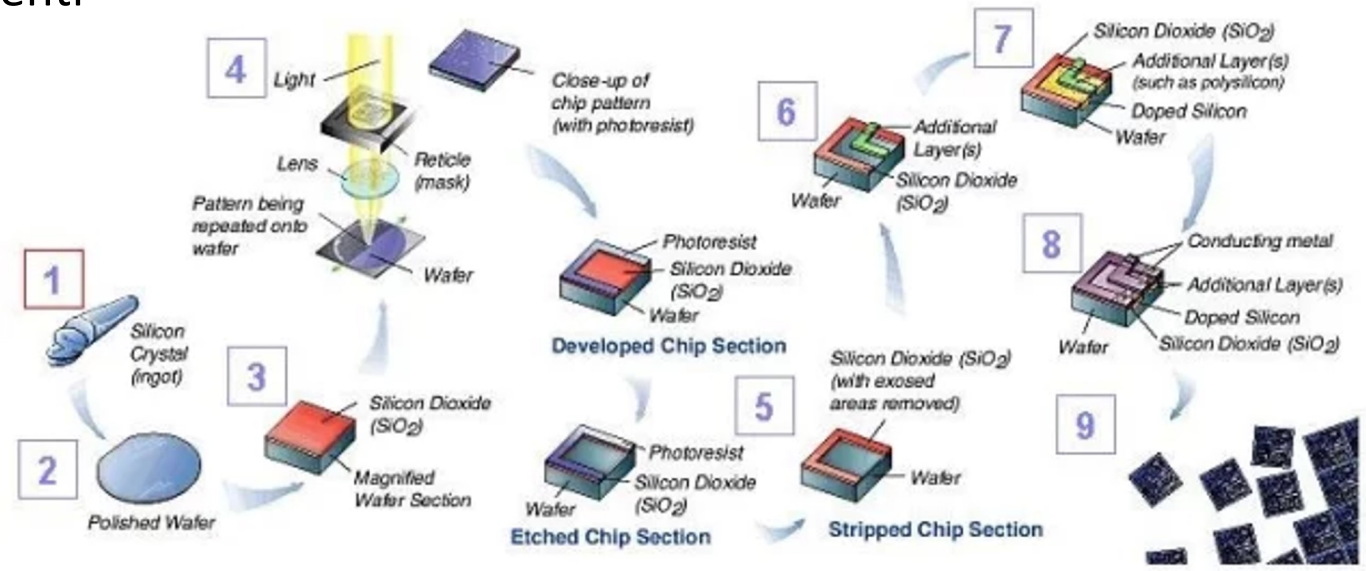
Li, Yuzhuo, et al. "The unseen AI disruptions for power grids: LLM-induced transients." *arXiv preprint arXiv:2409.11416* (2024).

Indicazioni pratiche (energia)

- È importante pensare al fabbisogno energetico dei modelli
- Non tutti i modelli consumano molta energia! Modelli grandi vs piccoli 
- Il consumo dei modelli più grandi non scredita l'IA per il clima nel suo insieme
- Usate un modello piccolo / specifico quando possibile: notevoli guadagni di efficienza
- Riflettete su quali compiti hanno più impatto e quali sono potenzialmente uno spreco
- Esistono strumenti per calcolare gli impatti energetici/di gas serra del vostro progetto, es. Code Carbon

Impatti sulla sostenibilità non legati ai gas serra: materie prime

Le materie prime usate per produrre i chip provengono da 50 dei 90 elementi naturali presenti sulla Terra. Per alcuni, le riserve si stanno esaurendo rapidamente.



Impatti sulla sostenibilità non legati ai gas serra: **acqua**

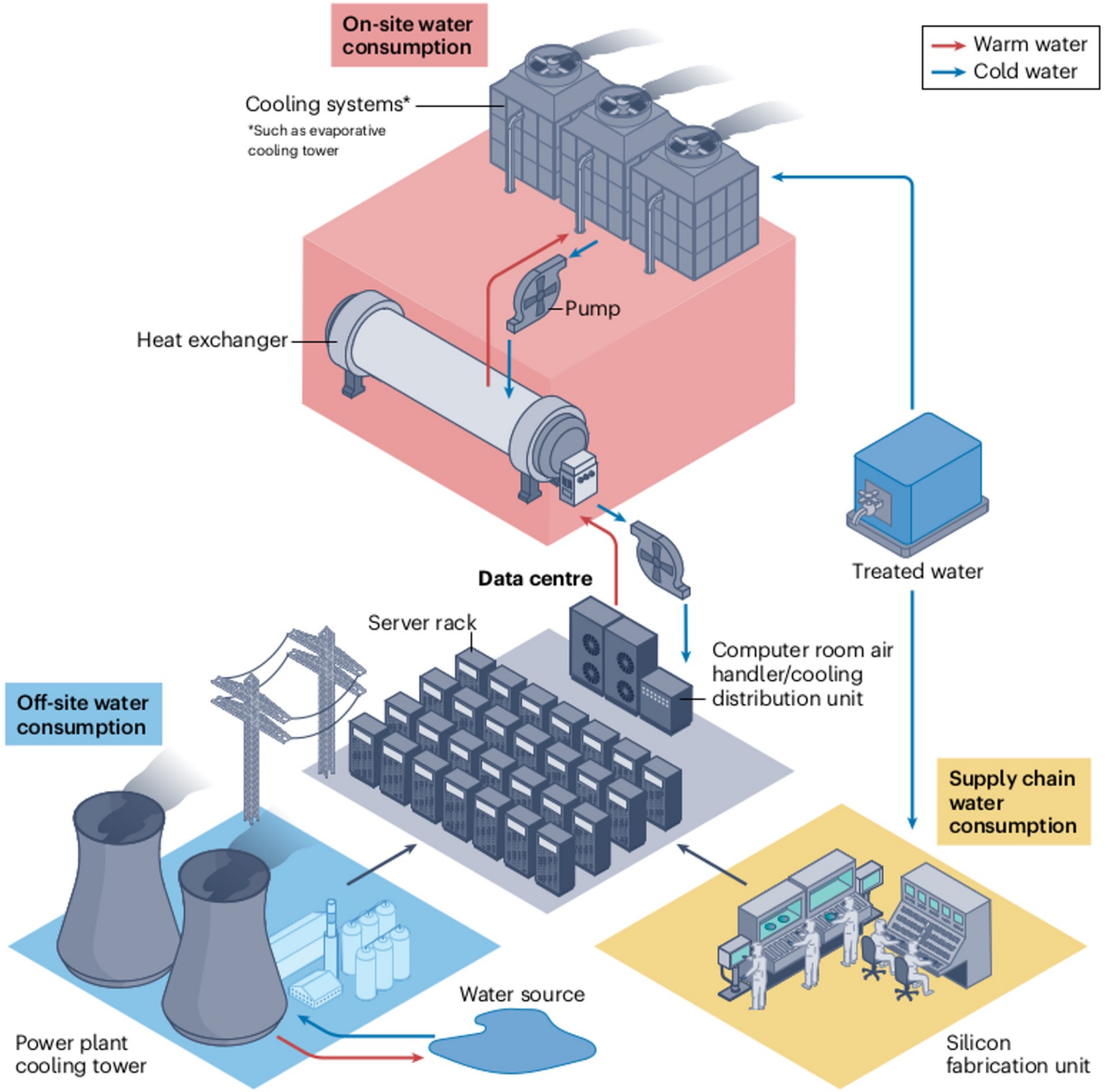


Immagine: Chien et al, 2026, Nature Reviews Clean Technology

Sondaggio n. 4

È maggiore l’uso **diretto** o **indiretto** di acqua dei data center?

a) diretto, b) indiretto, c) simile

Acqua: impatti differenziati

- **Prelievo d’acqua** vs **consumo d’acqua** vs **scarico d’acqua**
- Circa il 50% è consumo; l’uso diretto oggi è meno dello 0,5% del consumo idrico degli USA

- **Uso indiretto >>> uso diretto** (fino all’80%)
- Prelievo idrico globale previsto (scope 1 + 2) nel 2027:
  - 4,2–6,6 miliardi di metri cubi (più di 4–6 volte la Danimarca o metà del Regno Unito)

- **Impatto/stress locale:** il problema riguarda spesso più i **picchi** che i totali annui;
- Secondo Bloomberg News, circa due terzi dei data center costruiti negli USA dal 2022 si trovano in aree ad alto stress idrico.



The Bottle: Annual Use. National totals seem modest and manageable on paper.



The Pipe: Peak Demand. Massive withdrawals on hot days strain local infrastructure.

Immagine: Shaolei Ren

Acqua: soluzioni per ridurre il fabbisogno?



- Il raffreddamento a liquido «**a circuito chiuso**» (senza evaporazione) riduce l'uso d'acqua quasi a zero, ma richiede più energia (e può creare più picchi)

- È sempre più possibile **programmare** o **alternare** meglio diversi metodi di raffreddamento, ma non necessariamente per tutte le parti del data center

- **Il consumo indiretto** è più difficile da ridurre. Dipende dalla tecnologia di generazione elettrica (es. gas/nucleare >> solare) e dal clima locale



Immagine: The Guardian, Wikimedia

Quando gli impatti sono peggiori… nello stesso momento: ondate di calore

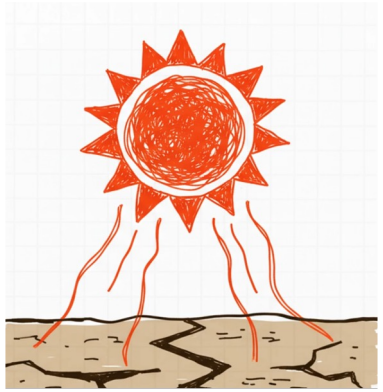
- **Quando** avviene il consumo/prelievo d'acqua conta: è peggio nella stagione secca / con stress termico

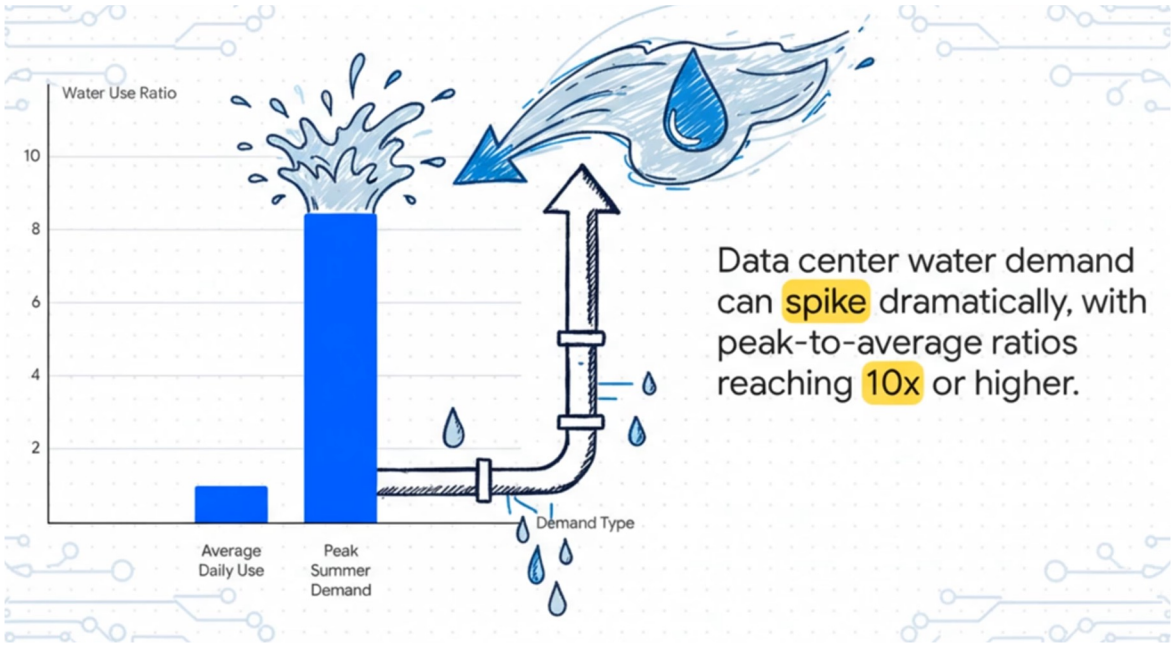
- Lo stesso vale per l'energia: durante le ondate di calore, i condizionatori mettono sotto pressione la rete

- **Dilemma**: per raffreddare i data center si può sostituire un raffreddamento ad alto consumo d'acqua con uno ad alto consumo di energia, ma entrambi possono essere sotto pressione

- L'acqua può ridurre i picchi di carico, ma l'allocazione delle risorse è un problema: molte comunità non hanno acqua in eccesso
  → serve una pianificazione della resilienza







Immagini: Shaolei Ren, Wikimedia

Caso di studio situato: l'espansione dei data center in Brasile

Un'ondata enorme di investimenti in infrastrutture trainata dall'IA, oltre 25 miliardi di R$

L'89% del mix elettrico brasiliano è **rinnovabile**, quasi metà idroelettrico → **ideale per i data center?**

Le siccità crescenti mettono sotto pressione l'acqua necessaria sia all'idroelettrico sia al raffreddamento, mentre l'**accesso all'acqua è già un problema** per le comunità

Persiste la **povertà energetica**: oltre 1,3 milioni di persone sono ancora prive di elettricità affidabile



Esempio: nuovi data center nel Ceará e nel Rio Grande do Sul minacciano l'accesso all'acqua delle comunità locali

Indice della lezione

Impatti legati al calcolo

Impatti delle applicazioni

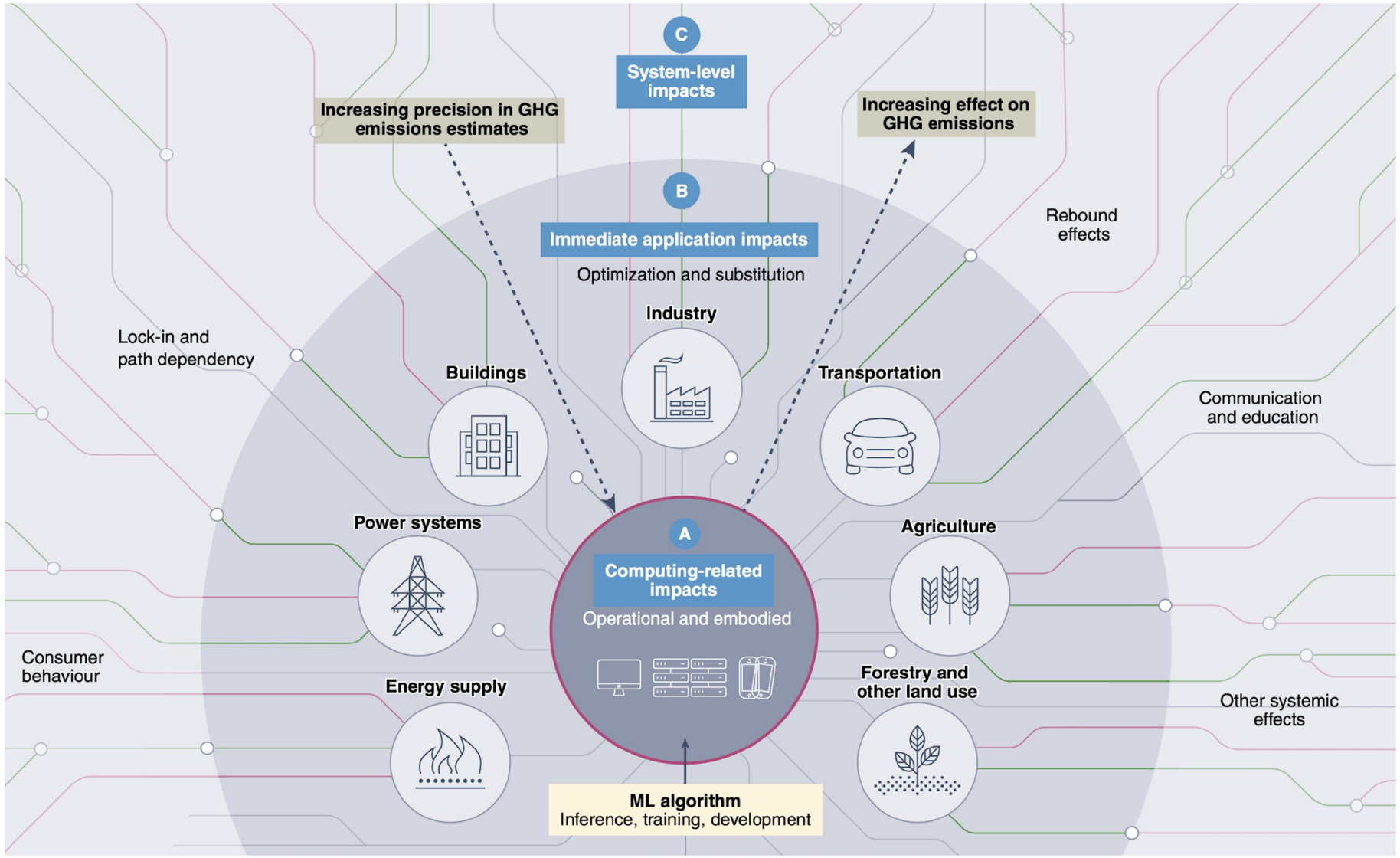
- Impatti positivi
- Impatti negativi

Impatti sistemici

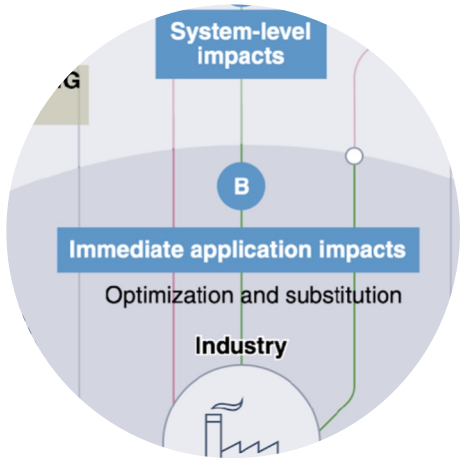
Considerazioni trasversali

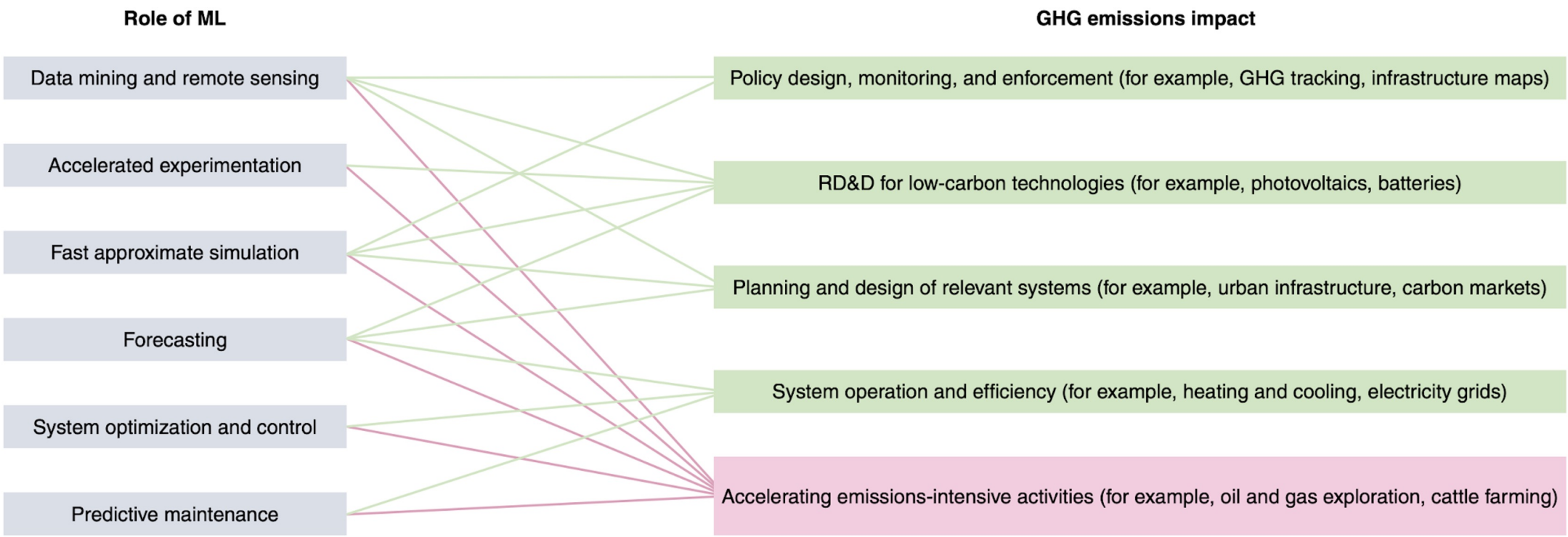
Regolamentare l’uso di energia e risorse dell’IA

Come l'IA incide sulle emissioni di gas serra



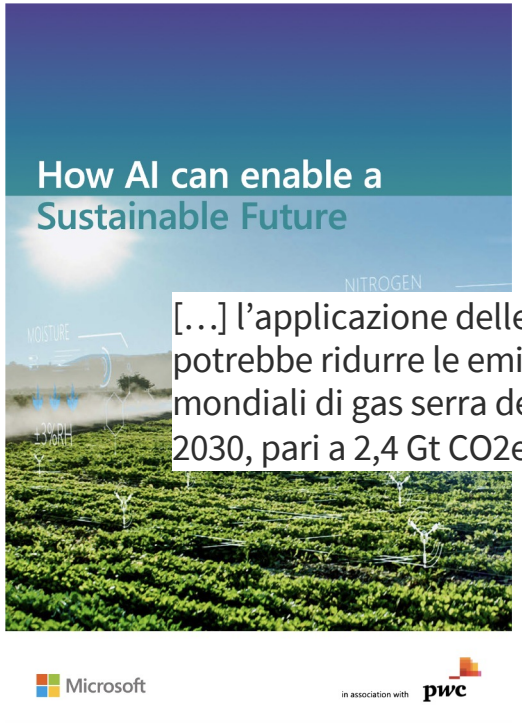
Come l'IA incide sulle emissioni di gas serra





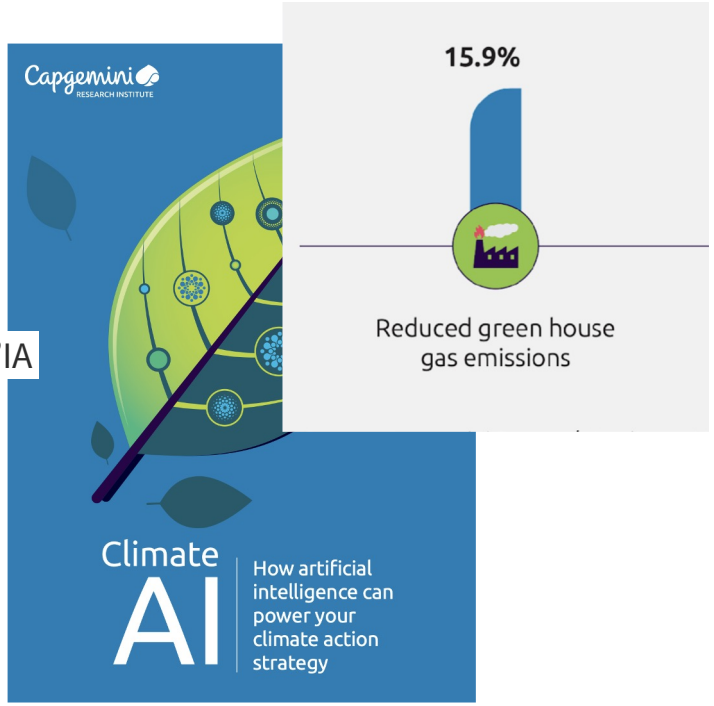
Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). *Nature Climate Change*, 1-10.

Le stime del **potenziale di riduzione delle emissioni di gas serra** sono **inaffidabili**

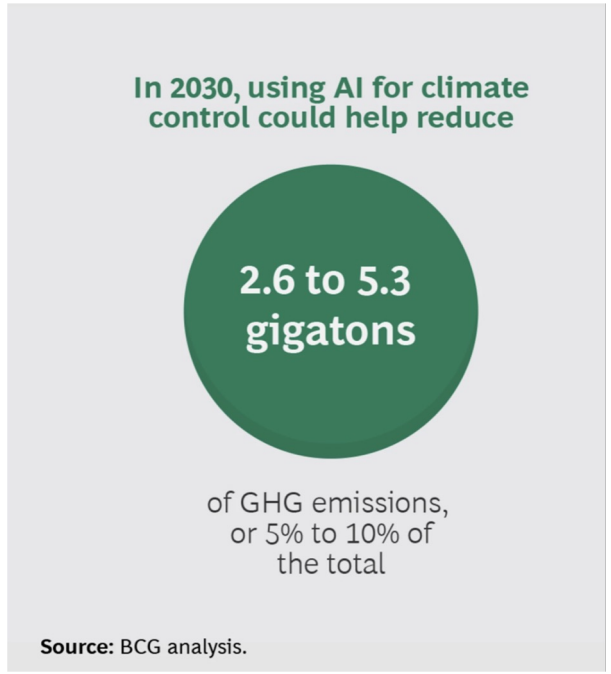


[…] l'applicazione delle leve dell'IA potrebbe ridurre le emissioni mondiali di gas serra del 4% nel 2030, pari a 2,4 Gt CO2e […]

2019



2020



2021

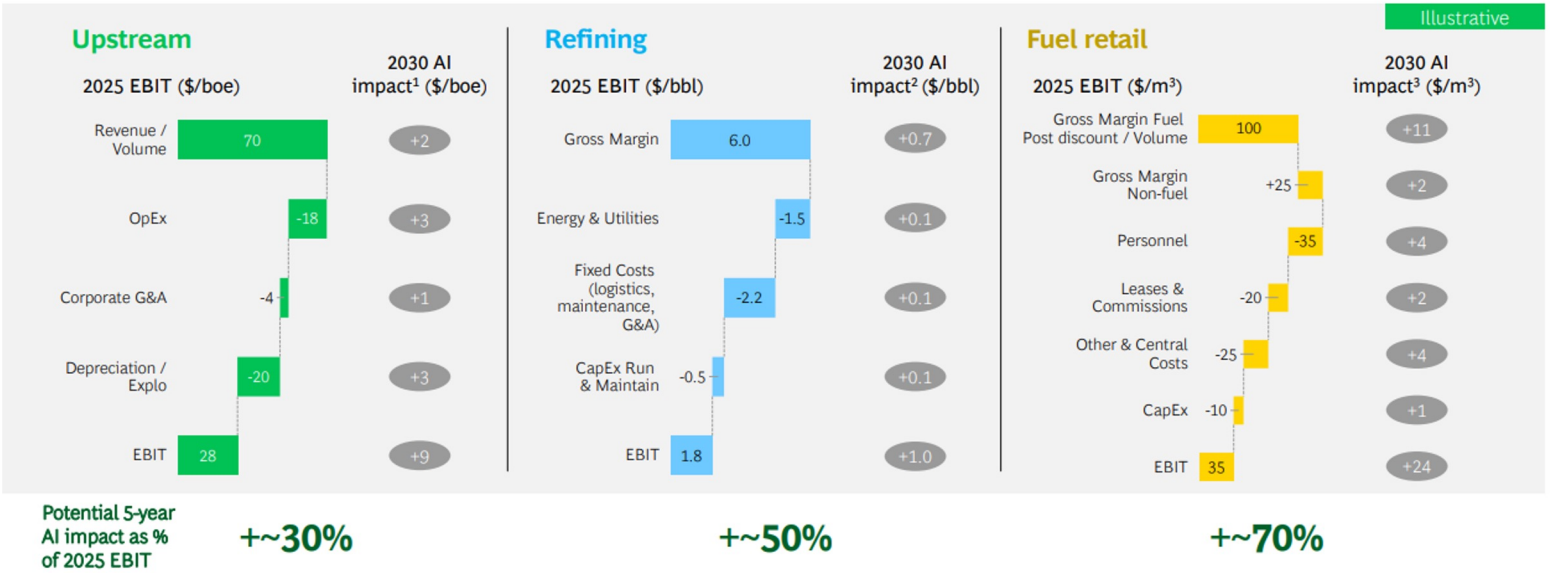
Le stime di società di consulenza e aziende tecnologiche si basano spesso su modelli non divulgati o sull'estrapolazione di interviste agli stakeholder → **interessi in gioco che probabilmente sovrastimano gli impatti positivi**

Applicazioni dell'IA che aumentano le emissioni



L'IA usata per accelerare le **industrie ad alte emissioni**

Esempio: applicazioni in petrolio e gas



L'IA che aumenta impatti ed emissioni (e oltre): trivellazioni petrolifere

Upstream

Case study | A real-time prescriptive tool provides drilling field personnel with continuous AI guidance

Instructions' compliance from rig

RT sensor data from rig



Architecture and models

Customized screen



1

The **office** sets up the AI system and configures key technical inputs

2

- Rig sensor data is contextualized with planning information, DDRs, and any third-party software available
- AI adaptive models are executed and retrained in RT

Superior analytical performance with high adaptability

Real-time AI and physical models for one truth recommendations

Bespoke solution, not a black box

Fully tailored to client rules, org, and data

3

The **tool** assists at all moments by sending a recommendation of optimal parameters and time targets for each field activity

Simplified information

Easy-to-use interface showing only relevant data – no field engineer needed to interpret complex inputs

4

Field personnel follow recommendations, saving minutes from each activity

They also send any feedback as part of the continuous improvement process

End-to-end process taking < 5s to allow for immediate action from the field

Existing platform with total rig integration

10-20%

Capex reduction potential

Focus on optimizing ILT (invisible lost time)

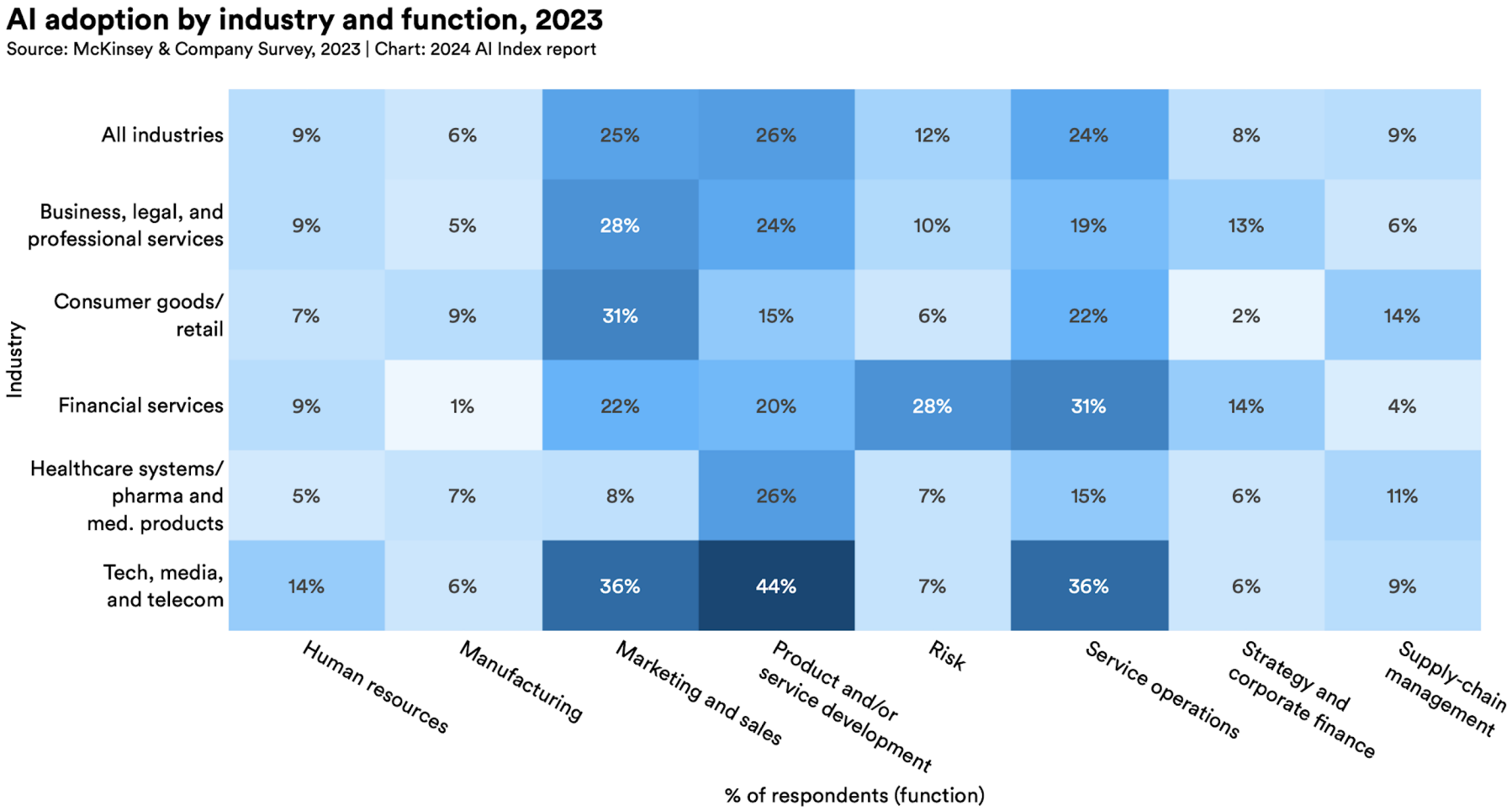
ILT represents +35% of the drilling time

Real-time prescriptive solution that connecting to any field service software

13

Copyright © 2025 by Boston Consulting Group. All rights reserved.

La maggior parte dell'uso dell'IA nella società riguarda applicazioni non climatiche



Finora, l'IA per il clima è piuttosto IA tradizionale

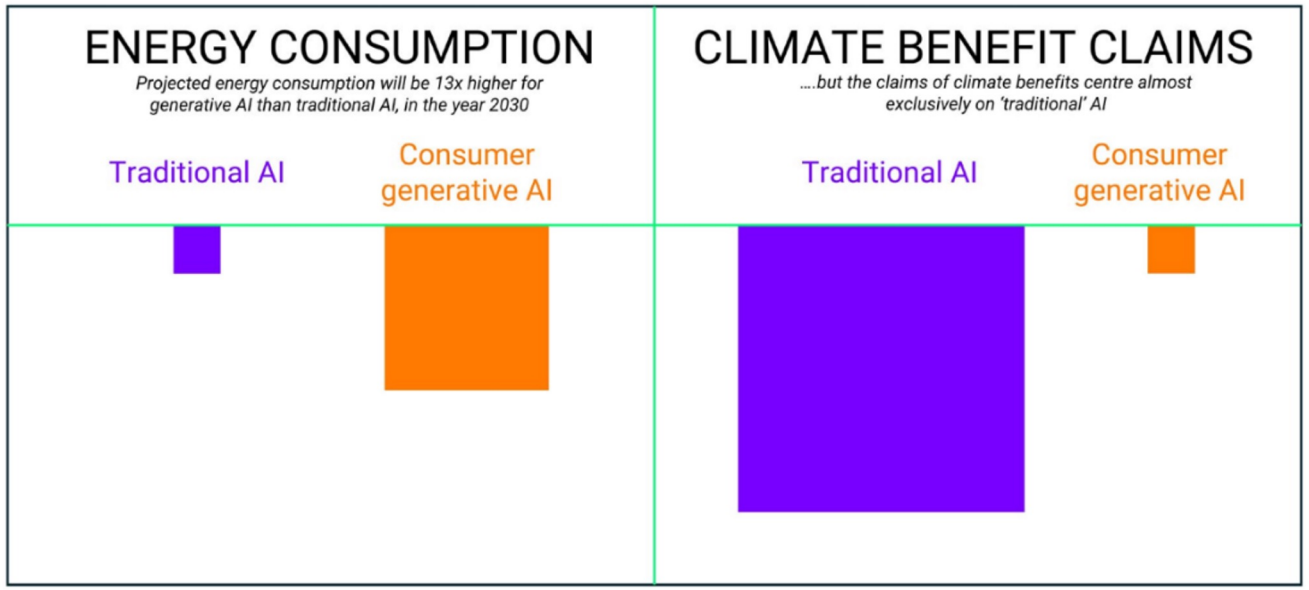


FIGURE 1 - CLIMATE BENEFIT versus DAMAGE
This graphic illustrates how most climate benefit claims relate to traditional AI, whereas most harm will relate to consumer generative AI. The first compares the projected electricity consumption in a central 2030 scenario, also represented by the area of each square. The second comparison shows the number of claims by AI type, represented by the area of each square.

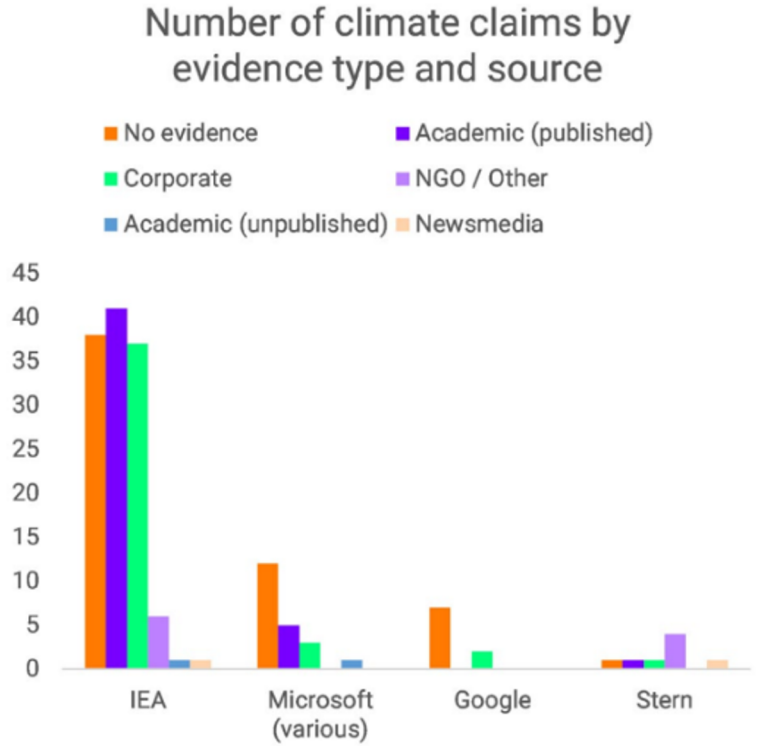


FIGURE 7 - TYPES OF EVIDENCE FOR CLIMATE CLAIMS
This graphic shows the distribution of evidence types by source. Corporate sources tended to rely on no evidence or corporate sites. The IEA's claims drew from a mix of academic, corporate and no evidence.

Immagini: Ketan Joshi, The AI Climate Hoax: Behind the Curtain of How Big Tech Greenwashes Impacts, 2026

Indice della lezione

Impatti legati al calcolo

Impatti delle applicazioni

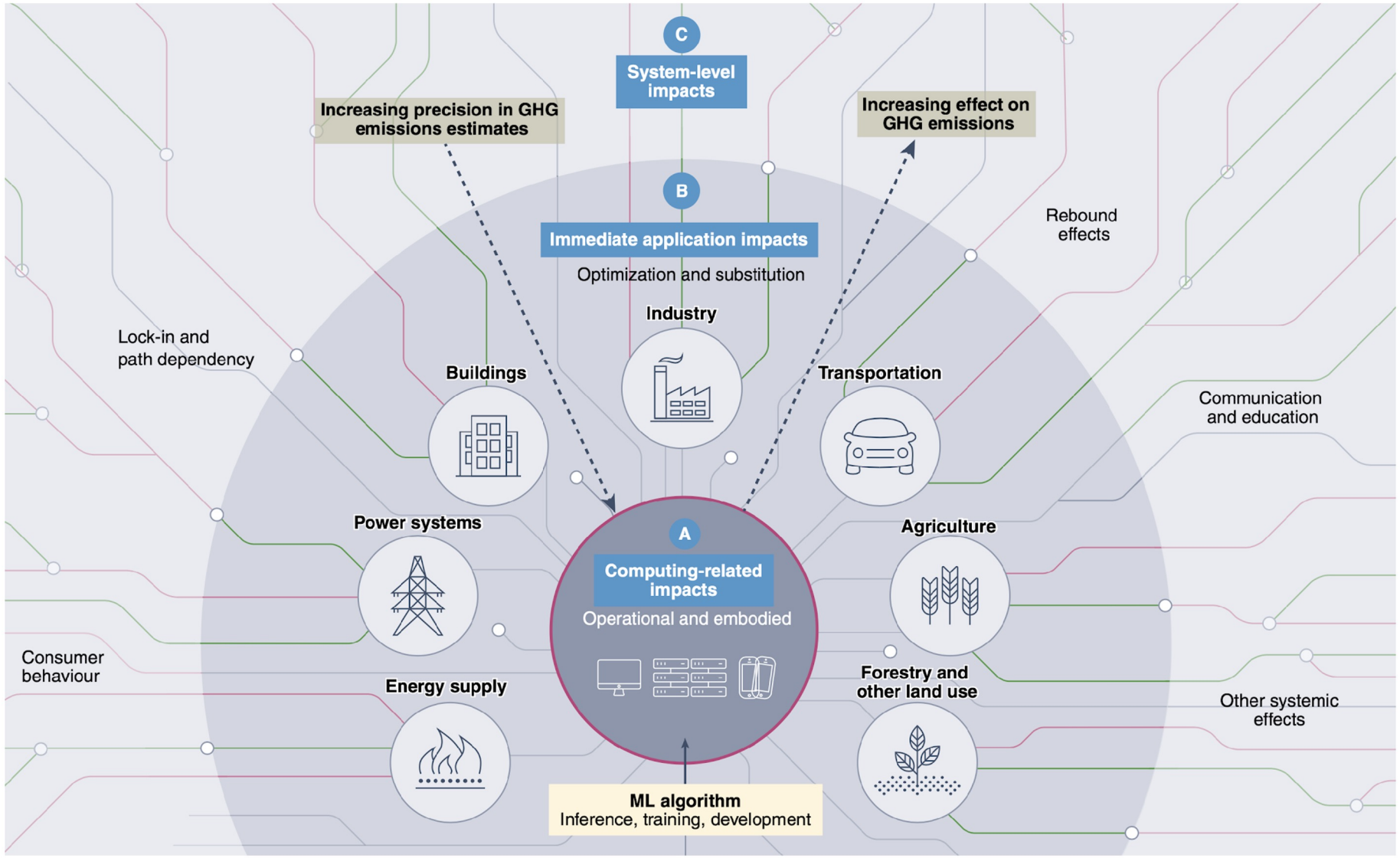
Impatti sistemici

- Effetti rimbalzo
- Spostamenti di potere nella società

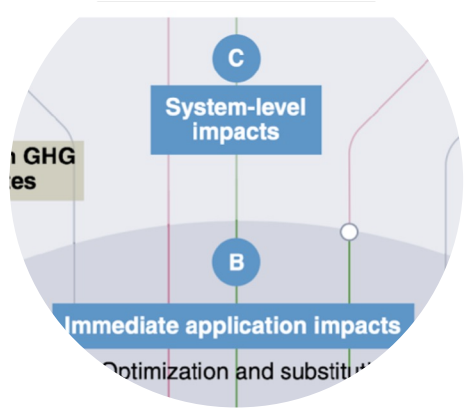
Considerazioni trasversali

Regolamentare l’uso di energia e risorse dell’IA

Come l'IA incide sulle emissioni di gas serra



Come l'IA incide sulle emissioni di gas serra

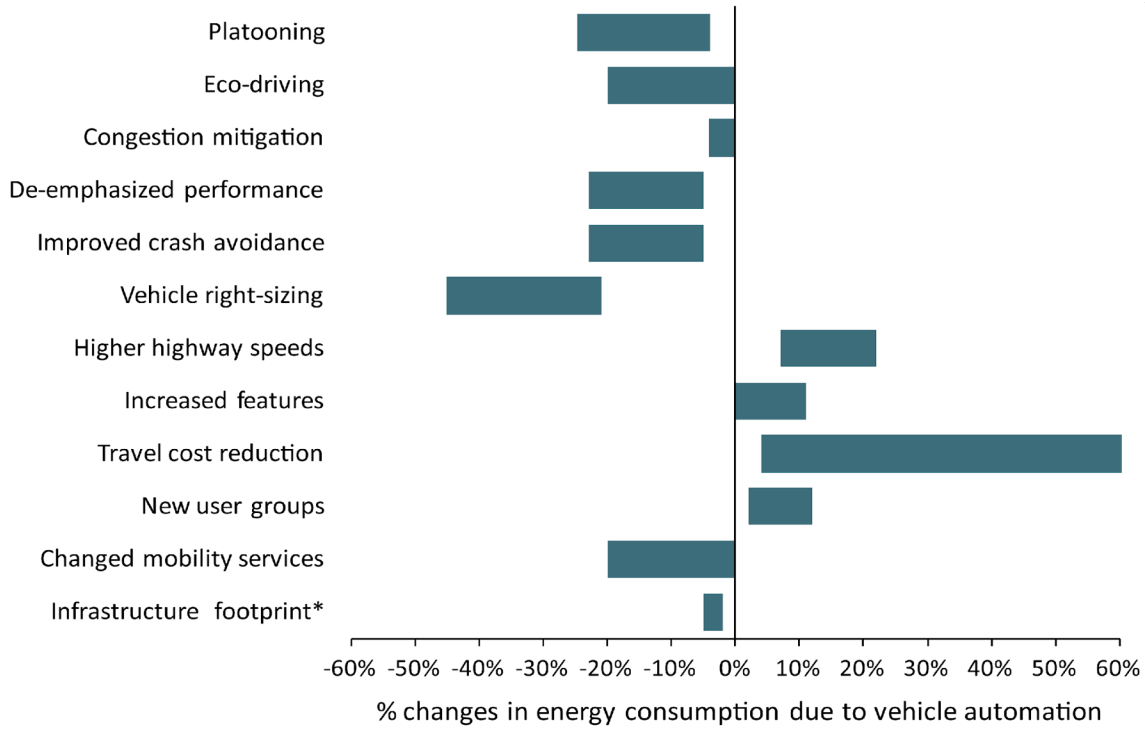


Impatti sistemici delle applicazioni dell'IA

Possibili effetti **rimbalzo** e di **lock-in**

- Veicoli autonomi, ride-sharing





Fonte dell'immagine: Wadud et al. 2016

Impatti sistemici delle applicazioni dell'IA

Possibili effetti **rimbalzo** e di **lock-in**

- Veicoli autonomi, ride-sharing

Aumento dei **consumi nella società**

- Pubblicità personalizzata, consegne su richiesta



Crediti immagine: Megan_Rexazin_Conde / Pixabay.com

Impatti sistemici delle applicazioni dell'IA

Possibili effetti **rimbalzo** e di **lock-in**

- Veicoli autonomi, ride-sharing

Aumento dei **consumi nella società**

- Pubblicità personalizzata, consegne su richiesta

(Dis)informazione e **polarizzazione**

- Personalizzazione/amplificazione dei contenuti



Crediti immagine: Rose Wong / per NBC News

Impatti sistemici delle applicazioni dell'IA

Possibili effetti **rimbalzo** e di **lock-in**

- Veicoli autonomi, ride-sharing

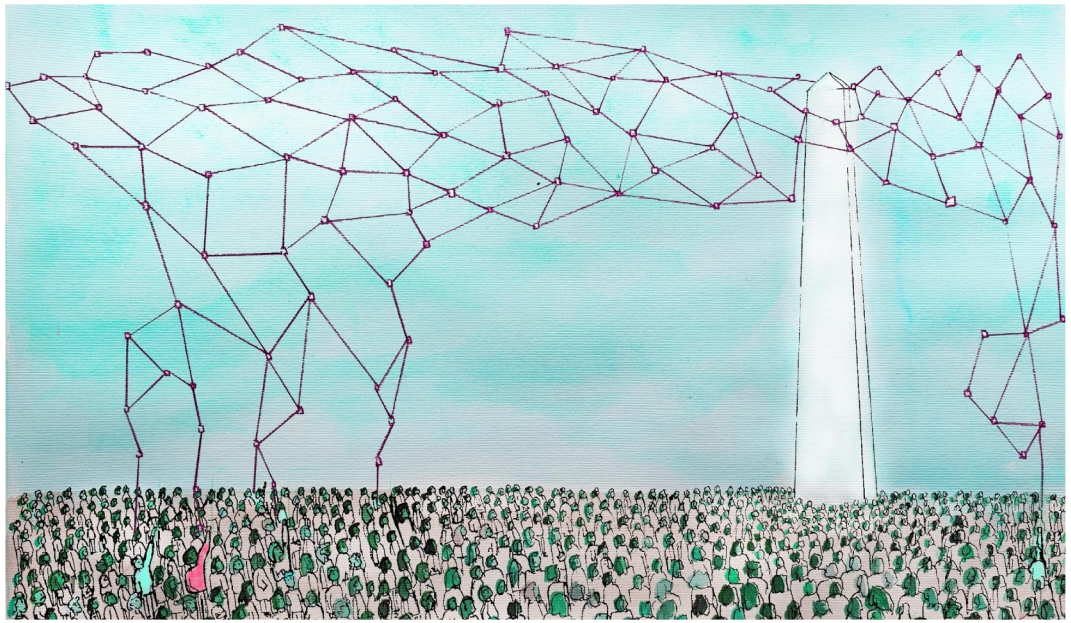
Aumento dei **consumi nella società**

- Pubblicità personalizzata, consegne su richiesta

(Dis)informazione e **polarizzazione**

- Personalizzazione/amplificazione dei contenuti

Indurre **spostamenti di potere nella società** legati all'accesso e alla capacità di agire



Crediti immagine: Jamillah Knowles & We and AI / Better Images of AI / People and Ivory Tower AI / CC-BY 4.0

Sondaggio n. 5

Condividete un esempio di impatto sistemico dell'IA che, secondo voi, ha o avrà un impatto significativo sul clima, per una delle categorie:

a) effetto rimbalzo, b) aumento dei consumi,
c) disinformazione e polarizzazione, d) spostamenti di potere nella società

Indice della lezione

Impatti legati al calcolo

Impatti delle applicazioni

Impatti sistemici

Considerazioni trasversali

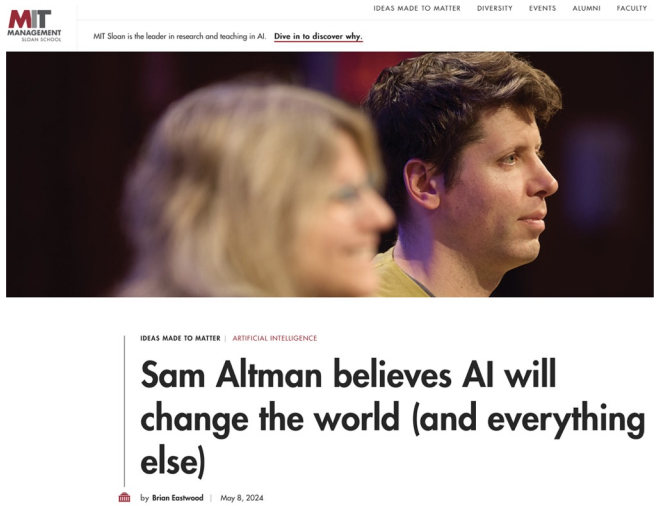
Regolamentare l’uso di energia e risorse dell’IA

Narrazioni

Stime

La «fallacia della GenAI»: usare l'IA per il clima come giustificazione per i grandi modelli

- Per giustificare il consumo energetico dei data center per grandi modelli come gli LLM, le applicazioni di IA per il clima sono una **narrazione comoda** per le aziende tecnologiche
- Ma gran parte dell'IA applicata ai settori rilevanti per il clima non consiste in grandi modelli
- Possiamo far progredire l'IA per il clima **senza** grandi costi energetici di calcolo



«Anche se dovessimo spendere l'1% dell'elettricità mondiale per addestrare un'IA potente, se quell'IA ci aiutasse a passare a energie non basate sul carbonio o a catturare meglio il carbonio, sarebbe una vittoria enorme»

Affermazione fuorviante di Sam Altman

«Potenzialite cronica»

- Concetto di Vlad Coroamă: molto dibattito sul potenziale…
- Ma ci sono ostacoli significativi all'implementazione dell'IA nei settori legati al clima
- Gli attori presentano il potenziale di risparmio dell'IA costruendo **scenari di adozione ottimali**
- Visualizzazioni e sintesi trasmettono **eccessiva fiducia** nel raggiungere stime ipotetiche

Messaggi chiave degli Energy Security Scenarios 2025 di Shell



1. In a world where artificial intelligence (AI) brings societal change and catalyses economic growth, demand for energy increases and the transition to low-carbon energy accelerates.

Fonte: https://www.shell.com/news-and-insights/scenarios/the-2025-energy-security-scenarios.html

Stime olistiche?

Fonte	Tipo	Calcolo	Applicazioni (riduzioni)	Applicazioni (aumenti)	Siste-mico
Stern et al. 2025	Articolo scientifico	Aumento totale dei data center	Elettricità, carne e latticini, veicoli stradali leggeri	No	No
IEA 2025	Rapporto tecnico	Totale dei data center	Alcune applicazioni energetiche	No	Solo rimbalzo
PWC 2025	Rapporto di consulenza	Aumento totale dei data center	Intera economia	No	No
Schneider Electric 2024	Rapporto tecnico	IA	No	No	No
de Vries 2023	Articolo scientifico	IA	No	No	No

Nessun aumento legato alle applicazioni né effetti sistemici valutati

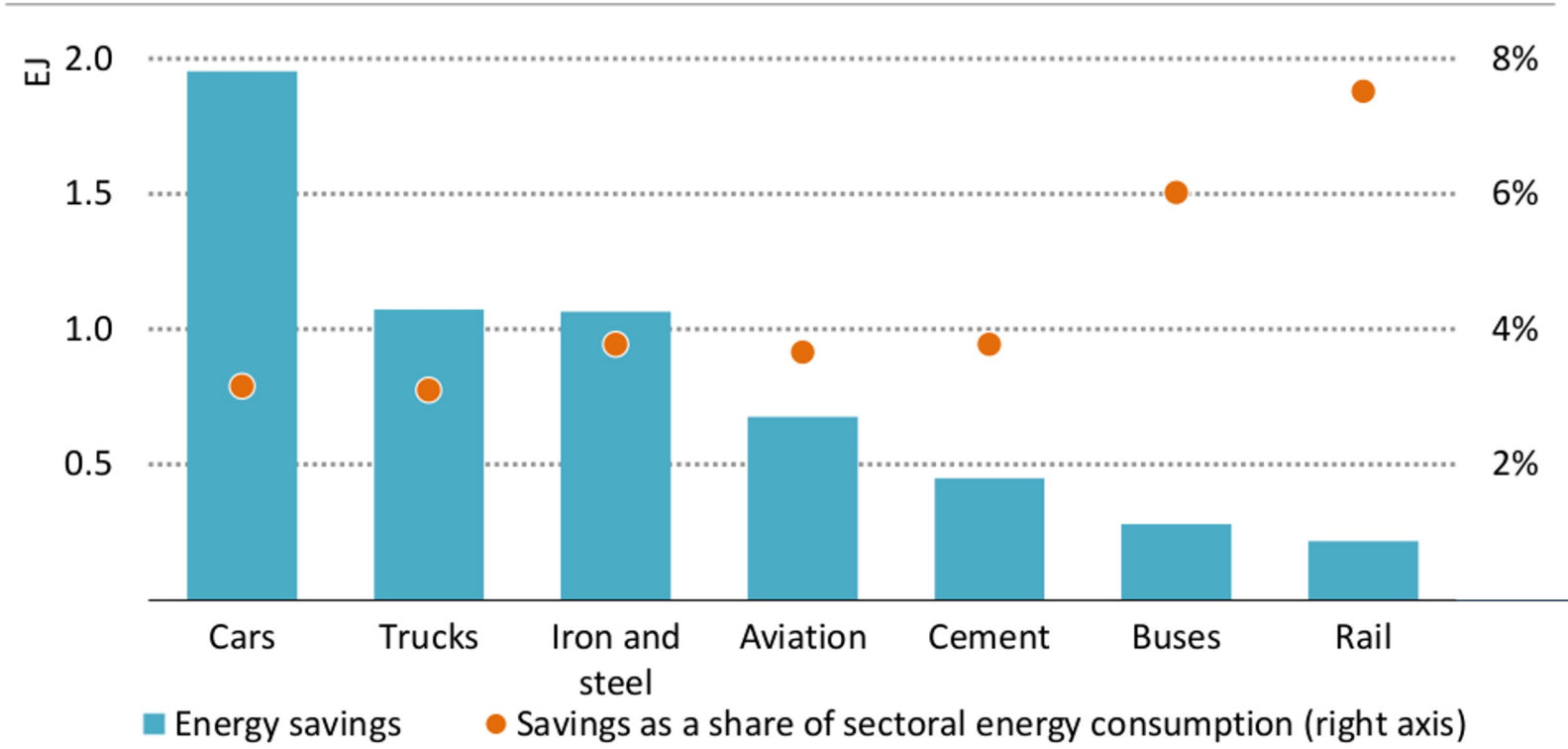
Il pericolo delle fallacie nei (mancati) confronti
Tra impatti **positivi** e **negativi** dell'IA

«*Il consumo energetico dell'IA vale i benefici climatici*?»
è una domanda **mal posta**

potenziali risparmi energetici in certi settori

≠ beneficio climatico netto

≠ un grande acceleratore globale per gli obiettivi climatici.



IEA. CC BY 4.0.

Widespread adoption of known AI applications has the potential to save 13.5 EJ across all end-use sectors in 2035, greater than Indonesia's annual energy consumption today

Note: This energy savings potential is estimated using existing AI applications only and does not factor in solutions that might emerge in the future. A detailed discussion of this approach is available in IEA (2025a).

Adozione diffusa dell'IA in tutti i settori

Fonte: IEA 2026, Energy and AI

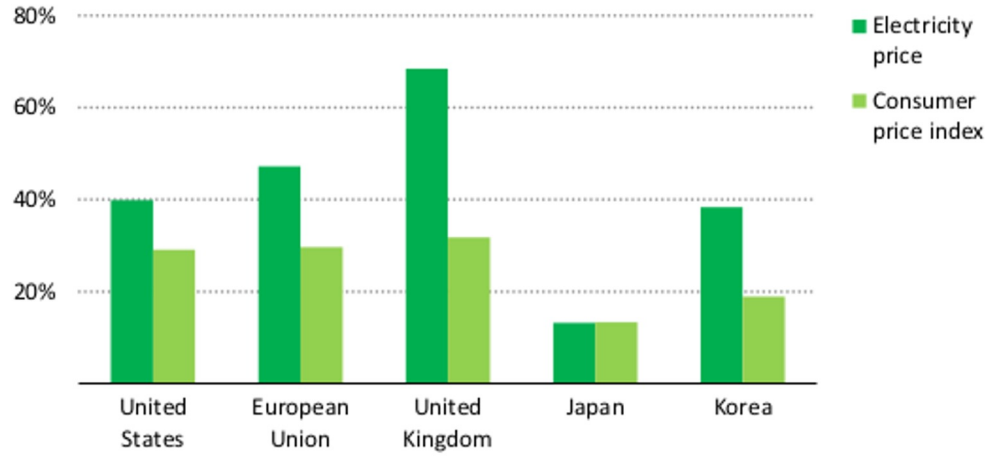
Rendere più verde la rete non basta

- Il pianeta non può sostenere una crescita sfrenata dell'IA
- ha già impatti sociali

Il percorso verso le emissioni nette zero è stretto: restarvi richiede l'impiego immediato e massiccio di tutte le tecnologie energetiche pulite ed efficienti disponibili. Nella traiettoria a emissioni nette zero presentata in questo rapporto, nel 2030 l'economia mondiale è più grande di circa il 40% rispetto a oggi ma usa il 7% di energia in meno. Un forte impulso mondiale all'efficienza energetica è parte essenziale di questi sforzi, con un miglioramento annuo medio dell'intensità energetica del 4% fino al 2030, circa tre volte il tasso medio degli ultimi due decenni.

Fonte: IEA, «Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector» (2021)

Figure 8.1 ▷ Change in nominal residential electricity price and consumer price index by country or region, January 2019-December 2025



IEA. CC BY 4.0.

Residential electricity prices have risen faster than headline inflation in several markets in recent years

Fonte: IEA, «Energy and AI» 2026

Indice della lezione

Impatti legati al calcolo

Impatti delle applicazioni

Impatti sistemici

Considerazioni trasversali

Regolamentare l’uso di energia e risorse dell’IA

Promuovere l’IA per il clima

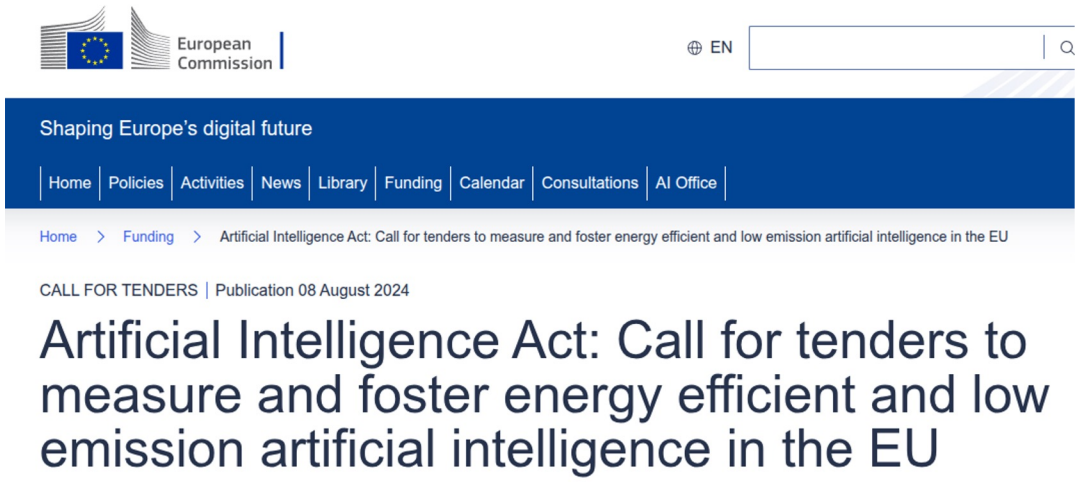
Richiedere trasparenza

Richiamo: lezioni su politiche e regolamentazione di IA e clima

DA FARE: aggiungere slide di sintesi se ottengo accesso alle altre presentazioni

Iniziative esistenti per promuovere le applicazioni

- Finanziamenti pubblici dedicati a ricerca e sviluppo (UE, Germania, Austria, Svezia, USA, ecc.)
- Grandi programmi di ricerca e monitoraggio (Copernicus, Nasa Harvest, ecc.)
- Alcune strategie sull'IA e l'AI Act dell'UE (2024) indicano il cambiamento climatico come ambito di applicazione



Incentivare

le applicazioni frugali

afnor NORMALISATION

General framework for frugal AI

Measuring and reducing the environmental impact of AI

IA et environnement : 12 territoires sélectionnés pour concevoir l'IA frugale au service de la transition écologique

Publié le 13 septembre 2024 , par Olivier Devillers, pour Localtis

Environnement, Numérique

La Banque des Territoires a accueilli le 10 septembre 2024 les 8 nouveaux lauréats de l'appel à projets démonstrateur d'IA frugale pour la transition écologique des territoires, rejoignant les 4 territoires déjà labellisés. L'occasion de découvrir, avec des exemples variés et concrets, la notion de frugalité appliquée à l'intelligence artificielle.



Iniziative esistenti che richiedono trasparenza

- L'AI Act dell'UE (2024)

  Rendicontazione delle risorse di calcolo e del consumo di energia dei sistemi ad alto rischio e dei grandi modelli

- Proposta di legge USA Artificial Intelligence Environmental Impacts Act (2024)

  Richiedere valutazioni di impatto ambientale (da parte di EPA e NIST)

  Impatti delle applicazioni e del calcolo



Official Journal of the European Union — EN, L series

2024/1689 — 12.7.2024

REGULATION (EU) 2024/1689 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 13 June 2024

laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act)

(Text with EEA relevance)

Annex IV: Technical Documentation
[for high-risk AI systems]
(c) […] the computational resources used to develop, train, test and validate the AI system;

Annex XI: Section 1 – Information to be provided by all providers of general-purpose AI models
(d) the computational resources used to train the model (e.g. number of floating point operations), training time, and other relevant details related to the training;
(e) known or estimated energy consumption of the model. With regard to point (e), where the energy consumption of the model is unknown, the energy consumption may be based on information about computational resources used.

Sondaggio n. 6

L’AI Act dell’UE richiede la pubblicazione del consumo di energia dell’IA per finalità generali per:

a) addestramento, b) inferenza, c) entrambi, d) nessuno

Le omissioni contano



Esempio nell'**AI Act dell'UE**:

- Per l'**IA per finalità generali**: lacuna significativa, perché copre solo l'energia usata nella fase di sviluppo del modello e **tralascia la fase di inferenza**
- Dove l'AI Act impone di comunicare il consumo di energia, queste **informazioni sono riservate alle autorità e non accessibili ai fornitori a valle** → ciò riduce molto trasparenza e responsabilità, indebolendo il controllo pubblico e le risposte del mercato.
- L'AI Act non affronta le emissioni di gas serra generate **dalle** applicazioni dell'IA
- Il consumo d'acqua non è affrontato
- In teoria l'ambiente potrebbe essere un criterio per i sistemi ad alto rischio, ma non è esplicitato.

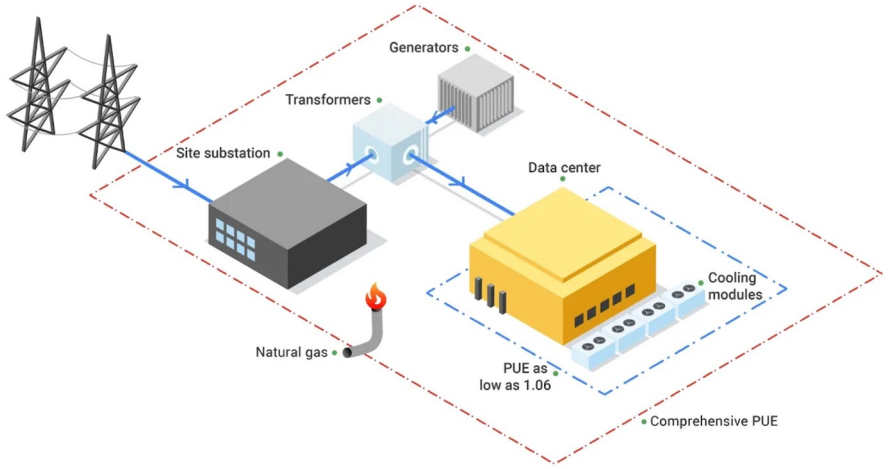
Regolamentare i data center

- Direttiva sull'efficienza energetica UE/2023/1791 («EED») e Regolamento delegato della Commissione UE/2024/1364

  si applica a tutti i data center dell'UE con una potenza di almeno 500 kW, compresi quelli di piccole dimensioni.

  I gestori devono raccogliere, rendere pubbliche e comunicare a una banca dati UE le informazioni, con cadenza annuale.

  I dati richiesti comprendono consumo di energia, potenza utilizzata, temperature di riferimento, recupero del calore di scarto, uso dell'acqua e uso di energie rinnovabili



Power Usage Effectiveness, PUE (immagine: Google)

- Legge tedesca sull'efficienza energetica del 2023

  obbliga i gestori di data center a informare ogni anno i clienti sul consumo di energia direttamente attribuibile a loro

Serve una supervisione integrata della **localizzazione dei data center**

- Trasformare la governance delle infrastrutture di dati, da sfida puramente energia-acqua, in leva per una pianificazione territoriale equa e una visione politica centrata sulle persone.
- Interazione con l'uso del suolo: la localizzazione ha varie implicazioni per l'interazione con la zonizzazione locale, il valore degli immobili e le priorità di ripristino degli ecosistemi
- Dibattito in corso sui meccanismi di compensazione; servono quadri di benefici per le comunità
- **→ Serve una supervisione integrata tra energia, ambiente ed economia digitale.**





Sintesi

📝 Gli impatti dell'IA sulla sostenibilità riguardano l'intero ciclo di vita dell'IA e diverse categorie di impatto

→ Considerare calcolo, applicazioni e impatti sistemici

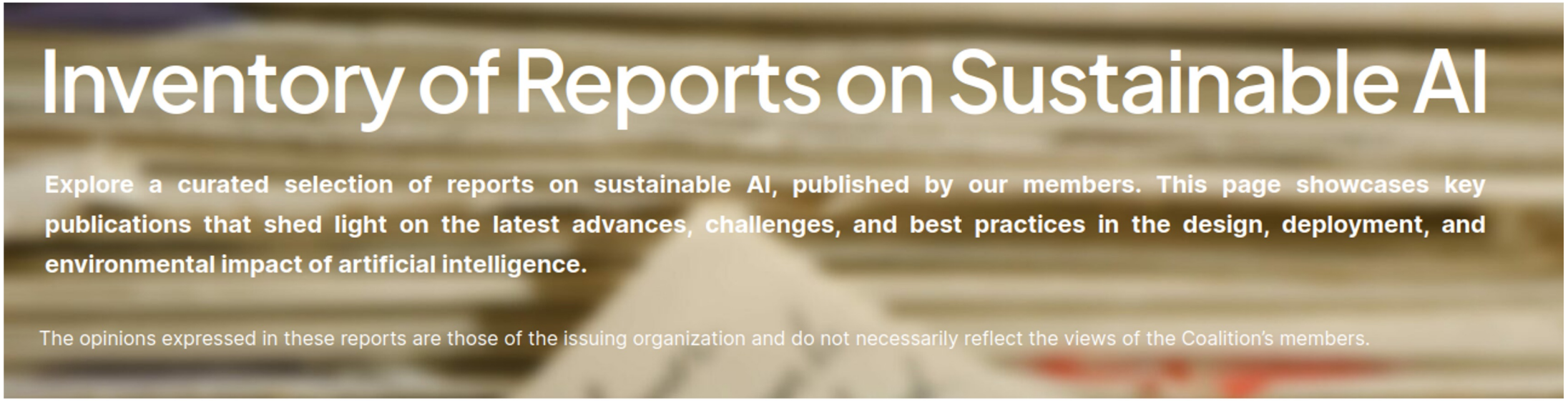
📝 Gli impatti dei grandi modelli vanno affrontati meglio con azioni basate su evidenze

📝 Sì alle applicazioni frugali di IA per il clima!

📝Le stime restano incerte; prospettive e narrazioni devono essere caute

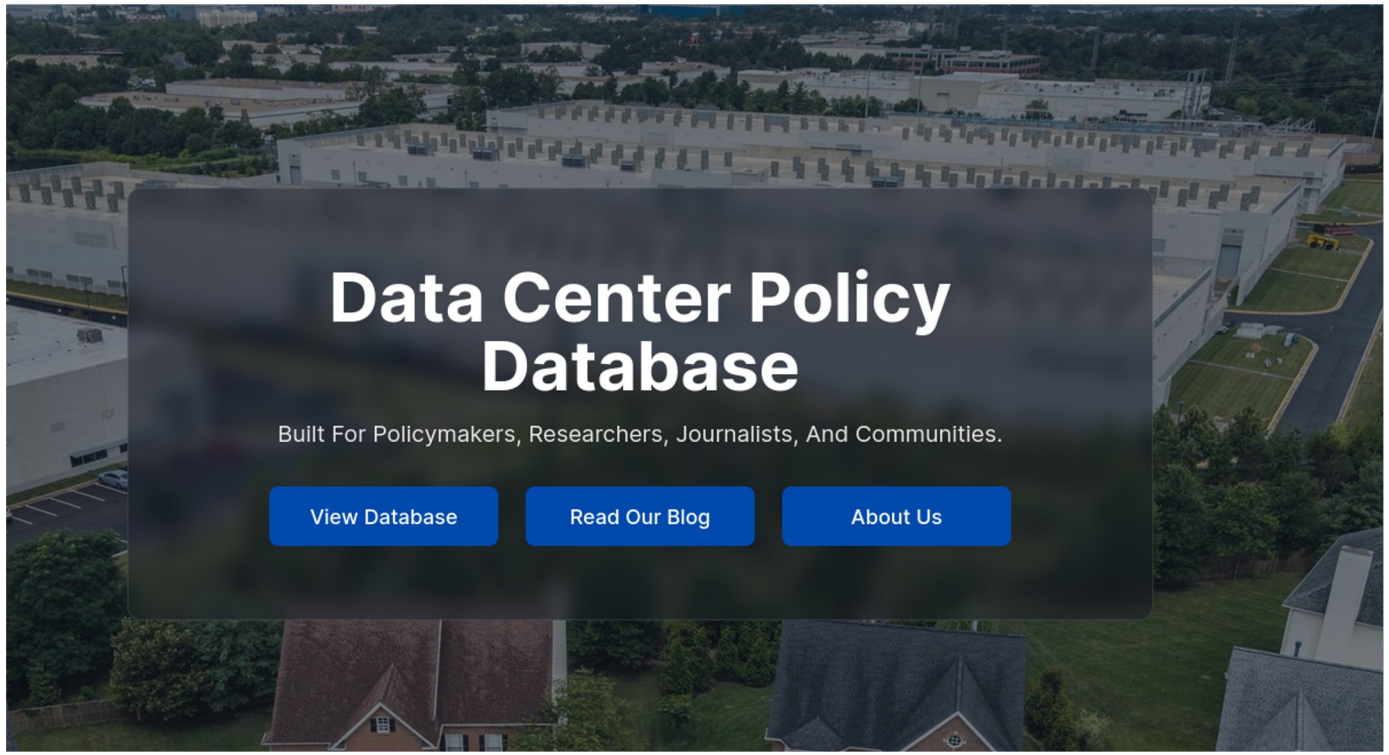
📝 Regolamentare l'IA, oltre agli incentivi di mercato, può aumentare la trasparenza, fondamentale per il dibattito pubblico

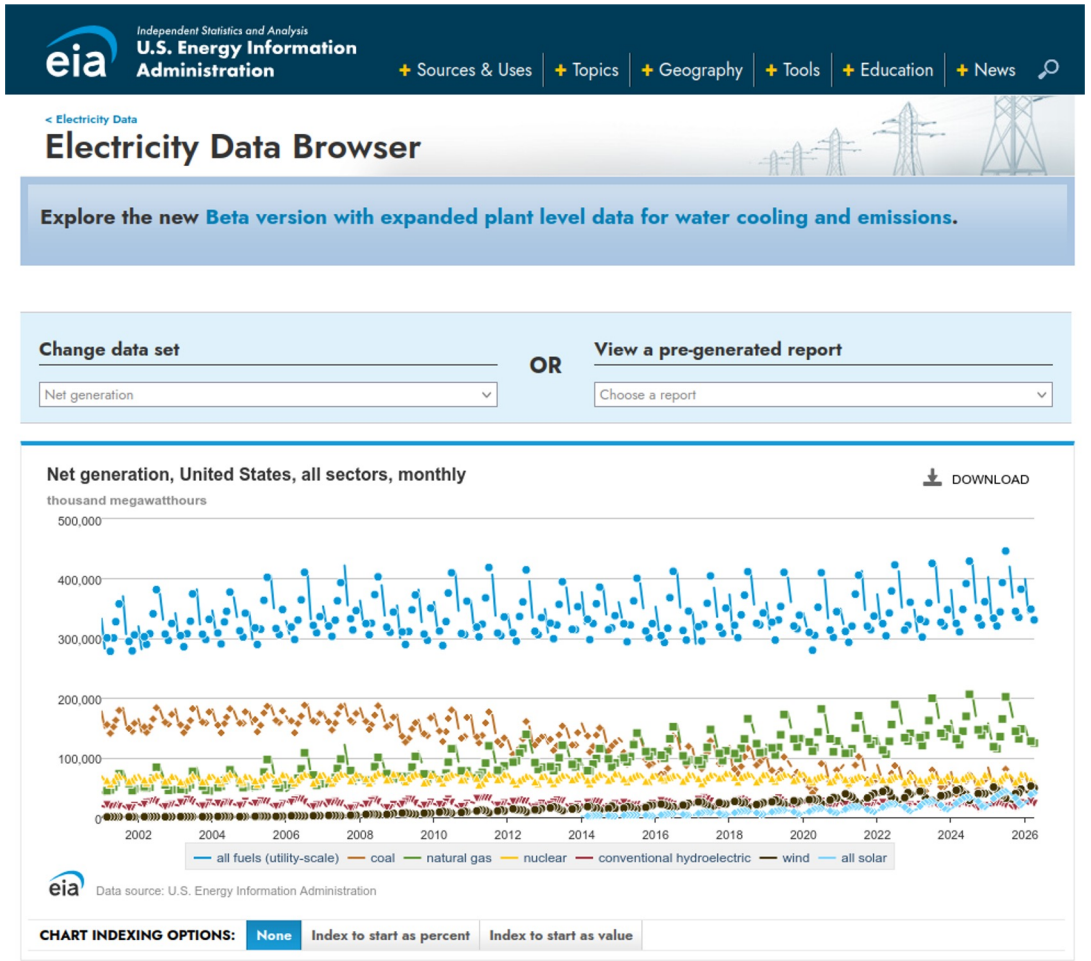
Altre risorse



https://www.sustainableaicoalition.org/inventory-of-key-reports-on-sustainable-ai/

DATI


Data Center Policy Database
Built For Policymakers, Researchers, Journalists, And Communities.
View Database
Read Our Blog
About Us


eia
Independent Statistics and Analysis
U.S. Energy Information Administration
+ Sources & Uses
+ Topics
+ Geography
+ Tools
+ Education
+ News
< Electricity Data
Electricity Data Browser
Explore the new Beta version with expanded plant level data for water cooling and emissions.
Change data set
Net generation
OR
View a pre-generated report
Choose a report
Net generation, United States, all sectors, monthly
DOWNLOAD
thousand megawatthours
500,000
400,000
300,000
200,000
100,000
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022
2024
2026
all fuels (utility-scale)
coal
natural gas
nuclear
conventional hydroelectric
wind
all solar
Data source: U.S. Energy Information Administration
CHART INDEXING OPTIONS:
None
Index to start as percent
Index to start as value

Domande e risposte

Quiz n. 1

Per i principali grandi modelli linguistici commerciali, il consumo di energia più importante è quello per

a) l’addestramento, b) l’inferenza?

Quiz n. 2

I modelli più grandi danno sempre risultati migliori di quelli più piccoli nei compiti rilevanti per il clima?

a) Vero, b) Falso

Quiz n. 3

Disponiamo di stime scientifiche solide sull'

impatto netto futuro dell'IA sul clima?

a) Vero, b) Falso

Quiz n. 4

Qualitativamente,

l’impatto netto *attuale* dell’IA sul clima è:

a) negativo, b) positivo?

Quiz n. 5

Usare più energie rinnovabili è la soluzione all'aumento della domanda di elettricità dell'IA?

a) Vero, b) Falso

Letture preliminari

- Aligning artificial intelligence with climate change mitigation, Kaack et al 2022 https://www.nature.com/articles/s41558-022-01377-7
- The AI Climate Hoax: Behind the Curtain of How Big Tech Greenwashes Impacts, Ketan Joshi, 2026 https://drive.google.com/file/d/12l1W4W25b-_ff6yFNJABkfal9_9oevxe/view
- The Real Story on AI's Water Use–and How to Tackle It, Shaolei Ren & Amy Luers, 2025 https://spectrum.ieee.org/ai-water-usage