



AIIC – ISACA Rome Chapter

14 Aprile 2026

Artificial Intelligence and Climate Change

Silvano Bari, Glauco Bertocchi, Sandro Bologna*, Luigi Carrozzi, Raffaella D'Alessandro, Tommaso Diddi, Elenio Dursi, Adriana Peduto, Beatrice Rosa, Alberto Stefanini, Cristina Turconi, Maria Cristina Versaci, Lorenzo Vandoni, Gabriele Balzano

AIIC Associazione Italiana esperti in Infrastrutture Critiche, Rome, Italy

**Corresponding author*

s.bologna@infrastrutturecritiche.it

AIIC 2024



Quaderni **IRGRES**
temi e problemi di sostenibilità sociale, economica, ambientale

Cambiamento climatico e sostenibilità:
una visione multidisciplinare

a cura di
Ugo Finardi



Quaderni IRCRES
del CNR
Cambiamento Climatico e Sostenibilità:
una visione multidisciplinare

La Resilienza Climatica è definita come la capacità di un sistema di prevenire, resistere, riprendersi e adattarsi alle minacce imposte dai cambiamenti climatici



Atti della 19^a
Conferenza Internazionale
CRITIS 2024
Critical Information
Infrastructures Security

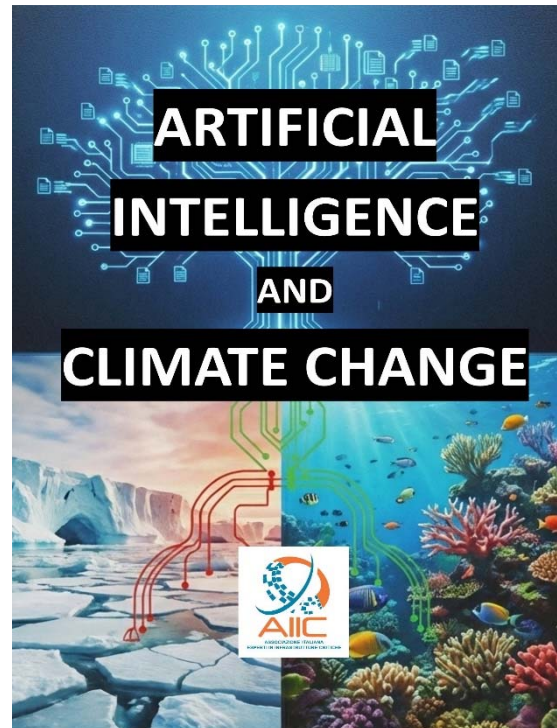


The Report examines the role and impact of Artificial Intelligence (AI) in critical infrastructure, providing a global overview of strategies, standards, ethical considerations, and regulatory frameworks. The aim is to identify best practices and offer recommendations for promoting resilience and sustainability through the responsible use of AI.

The document examines current policies and regulations governing AI use. It identifies regulatory gaps and proposes improvements to balance innovation and safety.



AIIC 2026



The Report explores innovative ways AI can enhance and accelerate climate action with a focus on decision-making and adaptation measures to foster resilience to climate change impacts. Growing investment in AI is fueling a broader debate about sustainability, from the enormous demand for electricity to power data centers to the lifecycle emissions of the hardware needed to enable this technology.

Issues addressed by the Report

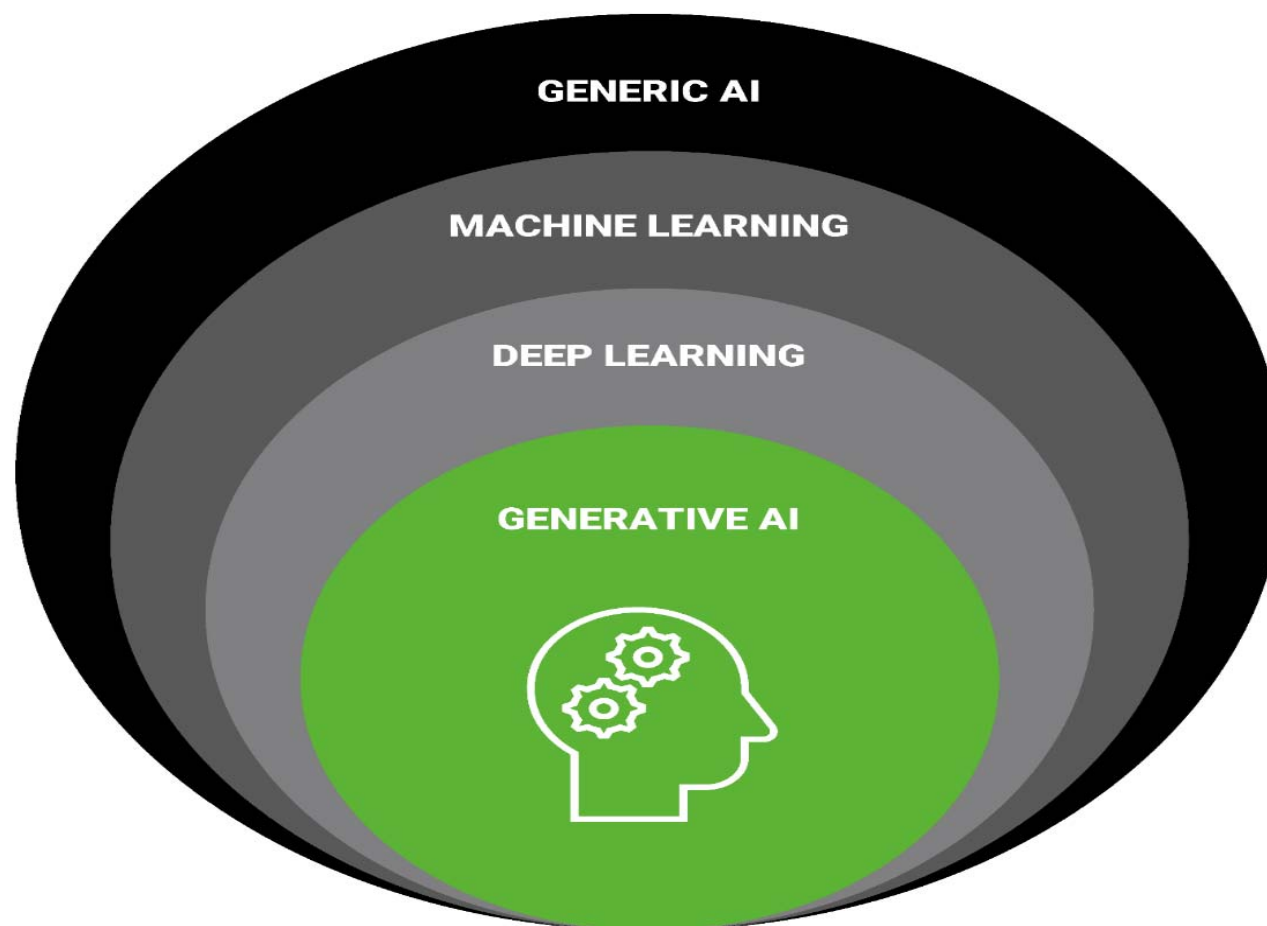
The Report aims to address the following issues:

1. *Which kind of AI and AI for what? AI Standards and Regulations*
2. *Understanding the Energy – Water AI Nexus and the AI Technology Evolution for mitigating the impacts of AI energy and water consumption with consequent climate effects, normally referred as AI's environmental footprint*
3. *Exploring ways AI can be used to provide new insights into our understanding of the climate system*
4. *Exploring ways AI can be used for Energy System Optimisation offering new ways to combine large data flows and make faster, adaptive decisions*
5. *Implication of applying AI technology for the Healthcare sector*
6. *Looking to the future by combining edge computing, renewable energy, heat recovery, distributed data management, and local AI*

It doesn't recommend any specific AI platform because of the continuous evolving of the AI technology

Historical Evolution of AI

Analisi qualitativa delle evoluzioni in atto dell'Intelligenza Artificiale e del loro impatto energetico - Carlo Mario Poli, TOPFORGROWTH, 8 Ottobre 2025



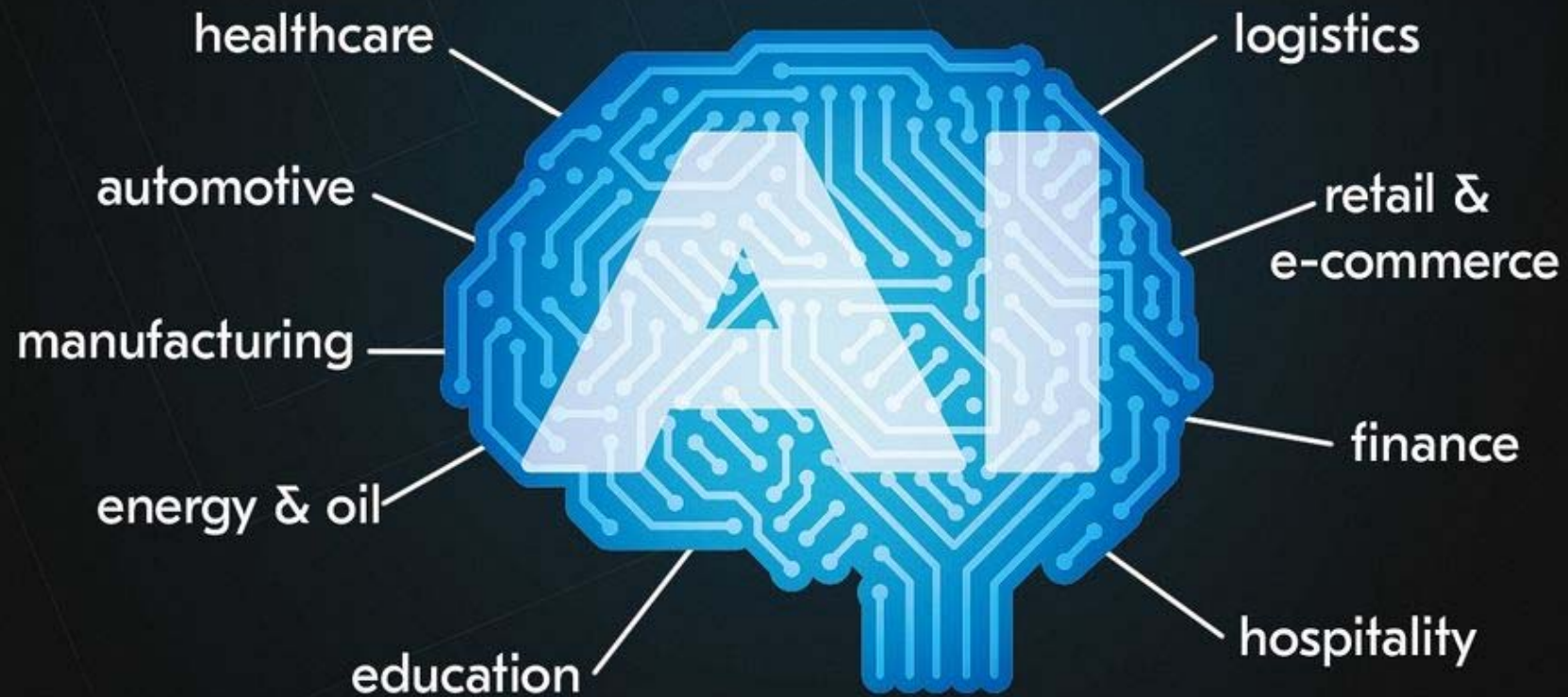
Source: AlixPartners

AI for What?



Possible AI use in major industries

AI Across Industries



The Report aims to address the topic of AI and Climate Change



Governance and Regulatory Models



Policies and Regulations

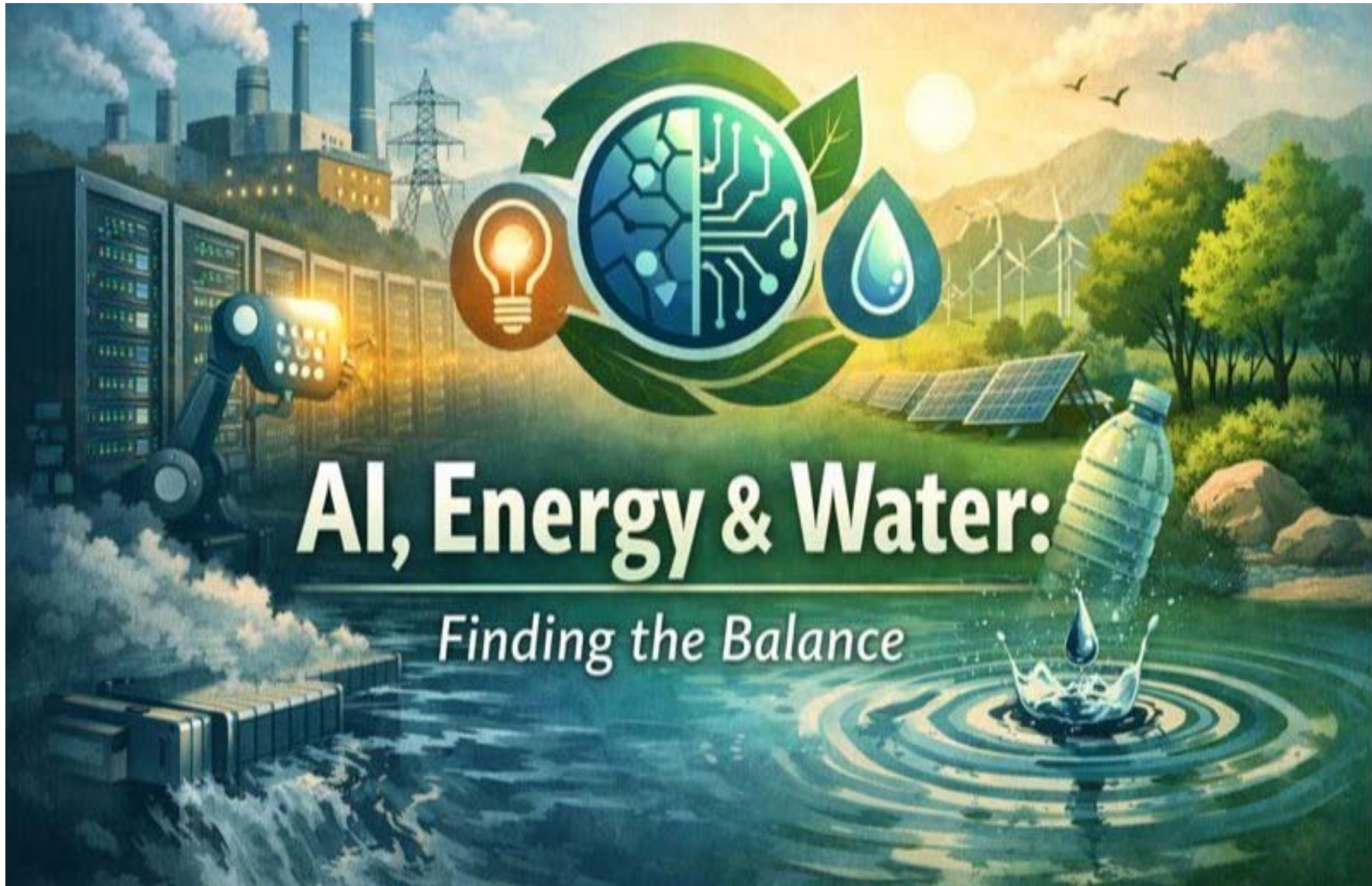
- **Global overview of AI Act EU, NATO, USA, UK, China, Russia**
- **Need for harmonized standards**
- **Impact on critical infrastructures**



EVOLUTION OF TECHNOLOGY HOW IT HAS CHANGED THE WORLD



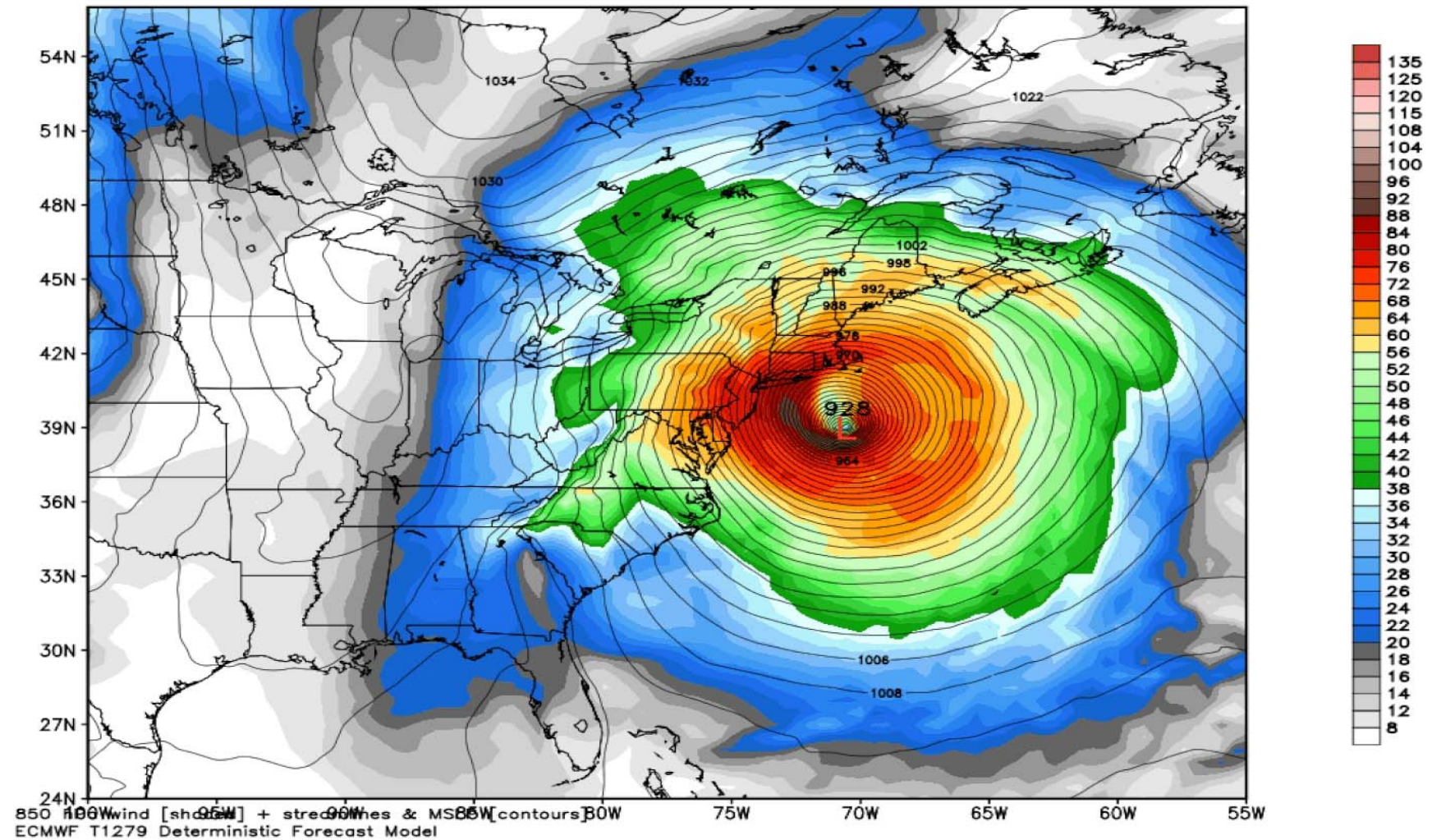
Understanding the Energy-Water AI nexus and the AI Technology Evolution



AI for predicting Climate Change

ECMWF 850 hPa Wind Speed [knots] and MSLP [hPa]
Init: 12Z22OCT2012 -- [216] hr --> Valid Wed 12Z31OCT2012

Min|Max SLP: 927.8 hPa | 1036.6 hPa
MaxWind: 97.0 knots



Most solutions have focused on the supply side, but there is potential for low-cost, low-intrusive interventions focusing on demand



Supply



Demand

AI for Energy System Optimasition

Benefits of AI in the energy industry ↘

pixelplex



Efficient energy production



Reduced carbon emissions



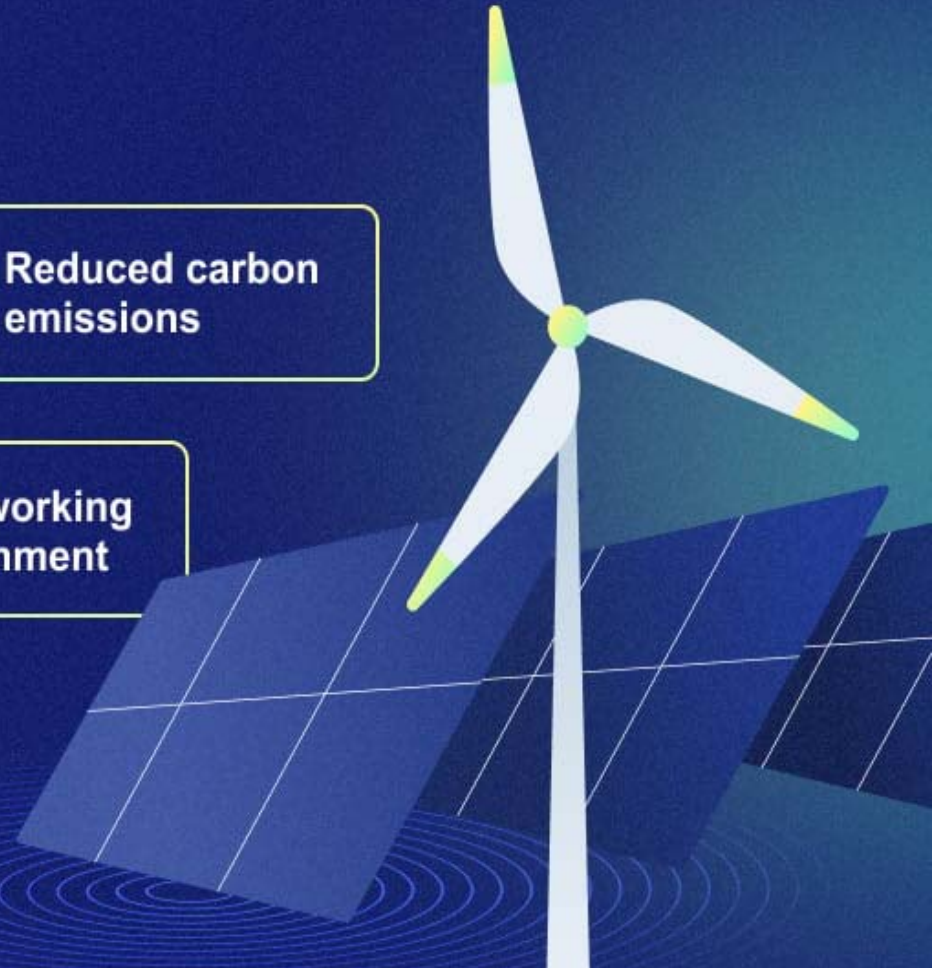
Reduced costs



Safer working environment



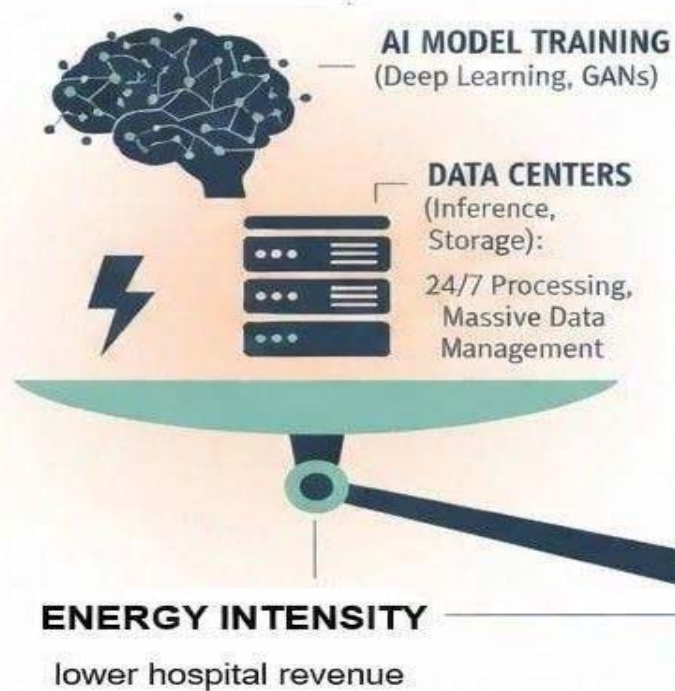
Better customer appeal



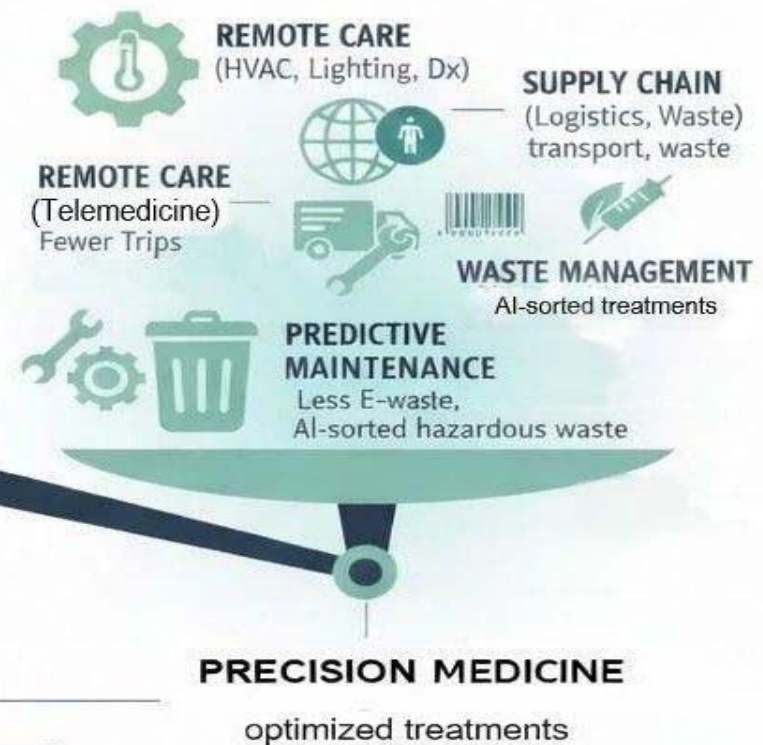
DUAL IMPACT OF AI ON HEALTHCARE'S CARBON FOOTPRINT

Balancing Energy Demand & Operational Savings

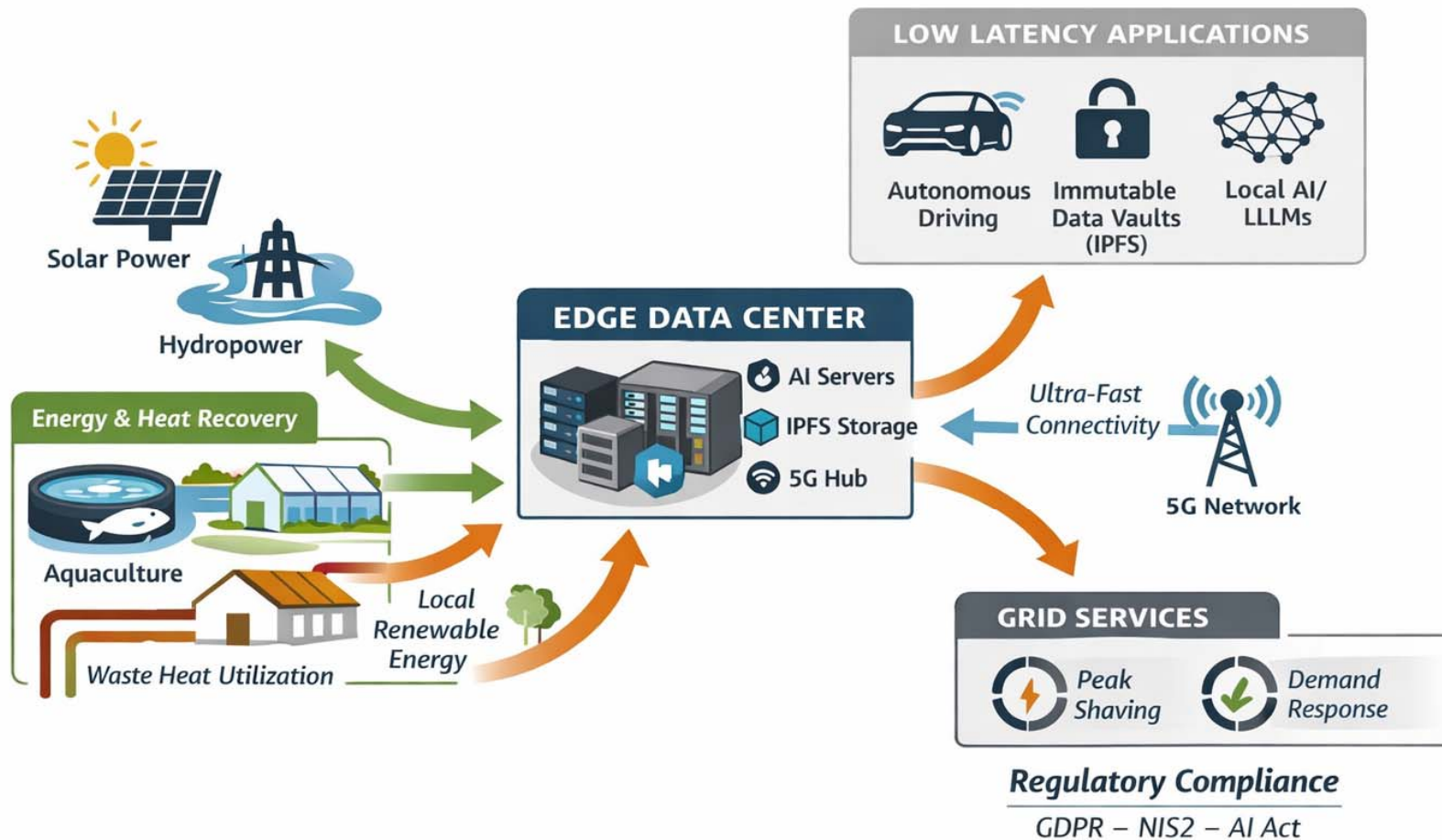
NEGATIVE IMPACT: HIGH ENERGY CONSUMPTION



POSITIVE IMPACT: OPERATIONAL EMISSIONS REDUCTION



Looking to the Future



EDGE COMPUTING ECOSYSTEM

Distributed, Sustainable & Secure Infrastructure

Conclusions and Recommendations

AI strengthens climate science by enhancing the analysis of long-term environmental datasets and improving specific components of climate modelling.

AI is increasingly used in domains where climate change directly interacts with societal needs: healthcare, civil protection, agriculture and early-warning systems.

AI plays a growing role in managing the impacts of climate change on critical infrastructures.

The pilot applications explored in the Report demonstrate that the convergence of AI and critical-infrastructure management is already triggering concrete innovation paths.





AI e Cambiamento Climatico: Il Nesso Energia-Acqua

Un'analisi approfondita dell'impatto ambientale dell'intelligenza artificiale attraverso il consumo di energia e acqua: due risorse fondamentali sempre più sotto pressione nell'era digitale.

*Glauco Bertocchi
Beatrice Versaci
Tommaso Diddi*



Obiettivo del Capitolo

Questo capitolo esplora una relazione spesso trascurata ma cruciale: quella tra l'utilizzo dell'intelligenza artificiale, il consumo energetico e il consumo idrico. Comprendere questa triade è essenziale per valutare l'impatto reale dell'AI sul pianeta.

❑ **Tesi centrale:** L'intelligenza artificiale non è ambientalmente neutra. Ogni modello addestrato, ogni query elaborata, ogni servizio erogato ha un costo in termini di risorse naturali che non può essere ignorato nella transizione verso un futuro sostenibile.

I Tre Pilastri dell'Intelligenza Artificiale

Comprendere l'impatto ambientale dell'AI richiede prima di tutto di conoscerne i fondamenti tecnologici. L'AI moderna poggia su tre elementi inscindibili, ciascuno con una propria impronta ecologica.

Algoritmi

I modelli matematici che definiscono il comportamento dell'AI, dai semplici classificatori ai complessi Transformer con miliardi di parametri. La loro sofisticazione cresce esponenzialmente.

Hardware

Chip specializzati come GPU e TPU, organizzati in data center distribuiti globalmente. La produzione e il funzionamento di questo hardware richiedono enormi quantità di energia e materiali rari.

Big Data

Miliardi di dati su cui i modelli vengono addestrati. Raccogliere, memorizzare, trasmettere e processare questi dati genera un flusso continuo di consumo computazionale e quindi energetico.

Crescita della Domanda Computazionale

L'AI Generativa Cambia le Regole

La diffusione di modelli come GPT, Gemini e altri sistemi generativi ha segnato un punto di svolta: le infrastrutture esistenti non erano progettate per sostenere carichi di questa portata, spingendo verso investimenti colossali: fino a 500 miliardi di dollari per progetti come Stargate, con una capacità complessiva stimata di circa 7 GW distribuita su più siti.

Requisiti Infrastrutturali

- **Elevata capacità di calcolo:** miliardi di operazioni al secondo per ogni inferenza
- **Grandi quantità di memoria:** i modelli più avanzati occupano centinaia di gigabyte
- **Alta velocità di trasferimento dati:** latenza minima tra nodi di calcolo distribuiti
- **Scalabilità dinamica:** capacità di rispondere a picchi improvvisi di domanda globale

Il Ruolo dei Data Center

I data center sono le fondamenta fisiche dell'AI: strutture industriali che aggregano migliaia di server ad alta densità, collegati da reti ultra-veloci e raffreddati da sistemi complessi. Senza di essi, nessun servizio AI su larga scala sarebbe possibile.

Supporto a Cloud e AI

Ogni richiesta a un servizio AI: che si tratti di generare testo, elaborare immagini o analizzare dati; transita attraverso uno o più data center distribuiti nel mondo.

Hardware Specializzato

Le GPU (unità di elaborazione grafica) e le TPU (unità di elaborazione tensoriale) sono progettate specificamente per accelerare i calcoli dell'AI, consumando più energia ma completando operazioni molto più velocemente.

Infrastruttura Critica

I data center moderni devono garantire disponibilità 24/7, ridondanza dei sistemi, sicurezza fisica e connettività a banda larghissima, tutte funzioni che richiedono un apporto energetico costante e significativo.

Energia e Raffreddamento: Le Due Facce del Costo AI

Ogni operazione computazionale genera calore. Più il calcolo è intenso, più calore viene prodotto e più risorse sono necessarie per dissiparlo. L'AI crea dunque una doppia esigenza: energia per calcolare e acqua per raffreddare.

Energia = Alimentazione

L'energia elettrica alimenta direttamente i chip di calcolo, i sistemi di storage, le reti interne e le infrastrutture di sicurezza. La domanda è costante e in rapida crescita, con picchi durante le fasi di training dei modelli più grandi.

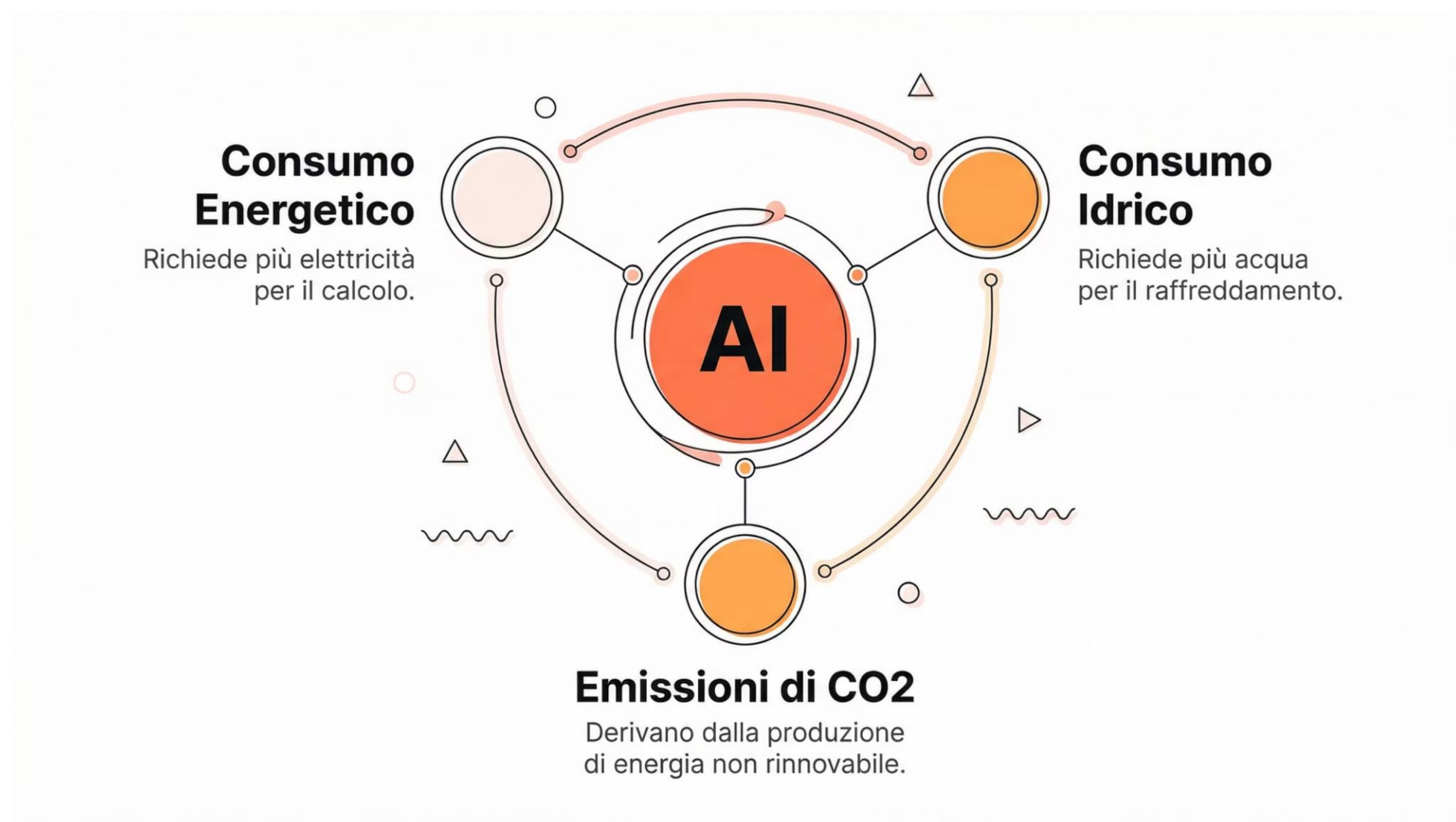
Acqua = Raffreddamento

L'acqua è il vettore termico più efficiente per mantenere i server entro range operativi sicuri. I sistemi di raffreddamento evaporativo e a circuito chiuso consumano milioni di litri al giorno nei data center di grandi dimensioni.

- ❑ Nel contesto di questo capitolo, **energia** e **acqua** sono le due variabili chiave attraverso cui misurare l'impatto ambientale dell'AI. Entrambe sono risorse finite e sempre più contese a livello globale.

Il Nesso Energia-Acqua-AI

Energia e acqua non sono risorse indipendenti: sono profondamente intrecciate in un sistema complesso. La produzione di energia richiede acqua; il raffreddamento dei data center richiede sia acqua che energia. L'AI amplifica questa interdipendenza.



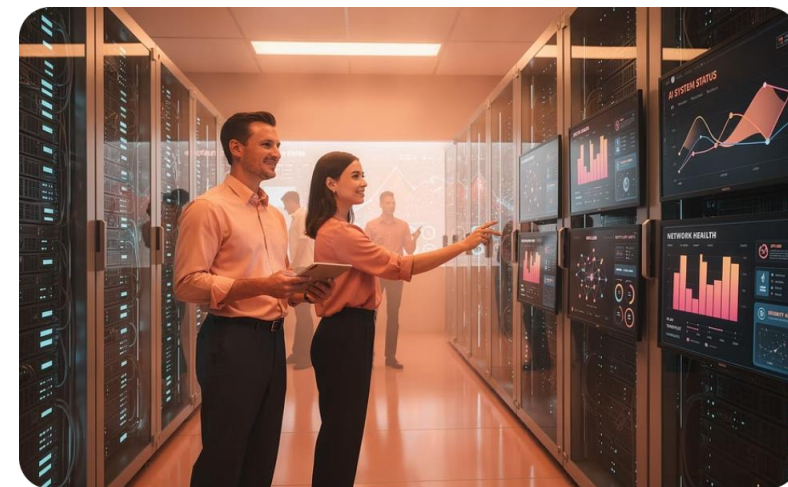
Questo sistema interconnesso rende l'AI un attore rilevante nella sfida climatica globale: ogni espansione dell'AI si traduce in una pressione aggiuntiva su entrambe le risorse, in un momento storico in cui siccità e crisi energetiche sono già all'ordine del giorno.

Tipologie di Utilizzo dell'AI: Impatti a Confronto



Uso Domestico e Individuale

Quando un singolo utente accede a un servizio AI tramite cloud, un chatbot, un assistente vocale, un generatore di immagini, il suo impatto locale è limitato. Il consumo è reale ma distribuito tra milioni di utenti sulle infrastrutture del provider.



Uso Aziendale e Industriale

Le aziende che implementano AI su infrastrutture dedicate o che eseguono training proprietari di modelli possono registrare aumenti significativi e misurabili dei consumi energetici e idrici, con impatti diretti sul proprio bilancio ambientale.

La Dipendenza dai Data Center

L'AI generative, nella sua forma attuale, non è scalabile senza grandi data center. A differenza di applicazioni software tradizionali, i modelli di linguaggio, visione artificiale e generazione multimodale richiedono infrastrutture ad altissima capacità che solo strutture industriali dedicate possono fornire.

→ Infrastrutture ad Alta Densità

I cluster di GPU necessari per addestrare modelli fondazionali richiedono rack ad altissima densità energetica, spesso 10-20 volte superiore a quella dei server tradizionali.

→ Impossibilità di Decentralizzazione Totale

Sebbene esistano modelli "edge" più leggeri, l'AI più avanzata rimane centralizzata: non è replicabile su dispositivi personali su larga scala senza perdita significativa di capacità.

→ Concentrazione Geografica

I principali data center AI sono concentrati in poche regioni del mondo, creando hotspot di consumo energetico e idrico con impatti locali rilevanti.

Le Fasi del Consumo Energetico dell'AI

Il consumo energetico di un sistema AI non è uniforme: si distribuisce in fasi distinte del suo ciclo di vita, ciascuna con caratteristiche e impatti diversi. Comprendere questa distribuzione è fondamentale per identificare dove intervenire.



Le fasi di **training** e **inference** sono le più rilevanti in termini di consumo assoluto. Il software di supporto del data center, sistemi di monitoraggio, rete, storage; contribuisce in modo continuativo ma spesso sottovalutato al bilancio energetico totale.

Training vs. Inference: Due Modi di Consumare

Training

La fase di addestramento è estremamente energivora: i modelli vengono esposti a miliardi di esempi per milioni di iterazioni. Addestrare un grande modello linguistico può richiedere **centinaia o migliaia di MWh**, equivalenti al consumo annuale di centinaia di famiglie europee. Avviene una volta o periodicamente.

Inference

Ogni singola interrogazione a un modello già addestrato consuma molto meno energia rispetto al training. Tuttavia, quando miliardi di query vengono processate ogni giorno su scala globale, il consumo cumulativo diventa enorme e **continuo nel tempo**. È la fase operativa permanente.

- ❑ Entrambe le fasi contribuiscono al consumo totale e devono essere considerate nelle strategie di riduzione dell'impatto ambientale dell'AI. Non basta ottimizzare solo il training.

La Domanda di Raffreddamento

Il raffreddamento è uno dei principali driver del consumo idrico nei data center. Non si tratta di una variabile fissa: dipende da molteplici fattori tecnici e operativi che interagiscono tra loro in modo complesso.



Densità Hardware

Più i rack sono densi e i chip potenti, maggiore è il calore generato per unità di spazio. Le GPU di ultima generazione producono carichi termici che richiedono sistemi di raffreddamento di nuova generazione, spesso a liquido diretto sui chip.



Tempo di Funzionamento

I data center AI operano 24 ore su 24, 365 giorni l'anno. Il raffreddamento deve essere continuo e dimensionato per i picchi di carico, il che implica un consumo idrico costante anche nelle ore di minor utilizzo.



Tecnologia Utilizzata

I sistemi di raffreddamento evaporativo consumano più acqua ma sono più efficienti energeticamente. Quelli a circuito chiuso usano meno acqua ma richiedono più elettricità. La scelta tecnologica determina il profilo ambientale complessivo.



Consumo Energetico Indiretto

Anche la produzione di energia elettrica per i data center richiede acqua per il raffreddamento delle centrali termoelettriche o per i bacini idroelettrici. Questo consumo indiretto spesso supera quello diretto dei sistemi di raffreddamento.

Impatti Ambientali dell'AI: Un Quadro Completo

L'impatto ambientale dell'intelligenza artificiale non si esaurisce nel consumo energetico. Per una valutazione completa è necessario considerare l'intero ciclo di vita della tecnologia, dalla produzione all'obsolescenza.

Consumo Energetico

Training, inference e infrastruttura di supporto richiedono un flusso continuo di elettricità. Con la crescita dell'AI, questo consumo è destinato ad aumentare significativamente nei prossimi anni.

Emissioni di Gas Serra

Se l'energia proviene da fonti fossili, ogni wattora consumato si traduce in emissioni di CO₂ e altri gas climalteranti. Le emissioni operative dei data center AI sono già comparabili a quelle di alcuni settori industriali tradizionali.

Rifiuti Elettronici

I chip AI hanno cicli di vita brevi per stare al passo con le prestazioni richieste. L'obsolescenza rapida di GPU, TPU e server genera volumi crescenti di e-waste contenente materiali tossici e metalli preziosi difficili da recuperare.

Evidenze Empiriche: Numeri Reali

Per comprendere concretamente l'impatto dell'AI è utile confrontare i consumi nelle diverse fasi operative. I dati disponibili rivelano un divario enorme tra singola inferenza e addestramento di un modello complesso.

0,24 Wh

Per Prompt AI

Consumo energetico stimato per una singola query a un modello di linguaggio avanzato: circa 10 volte superiore a una ricerca web tradizionale.

100+ MWh

Training Grande Modello

Energia necessaria per addestrare un modello fondazionale di grandi dimensioni equivalente al consumo annuale di decine di famiglie europee.

× 10

Moltiplicatore AI vs Web

Una query AI consuma mediamente 10 volte più energia di una ricerca sul web tradizionale. Con miliardi di query quotidiane, il cumulo è enorme.

📌 **Nota metodologica:** I dati sul consumo variano significativamente a seconda del modello, dell'hardware utilizzato e dell'efficienza dell'infrastruttura. Il training rimane la fase più critica per singolo evento, ma l'inference domina il consumo totale su base annuale.

Algoritmi e Complessità Computazionale

L'Architettura Transformer

I modelli basati sull'architettura Transformer, come GPT, BERT e i loro successor, sono alla base dell'AI generativa moderna. La loro potenza deriva da meccanismi di "attenzione" che analizzano le relazioni tra ogni elemento di un input rispetto a tutti gli altri, generando un numero di operazioni che cresce quadraticamente con la lunghezza dell'input.

Questo approccio ha prodotto salti qualitativi straordinari nelle capacità dell'AI, ma a un costo computazionale elevatissimo che si traduce direttamente in consumo energetico.

Verso l'Efficienza

La ricerca sulla **Green AI** e sull'efficienza algoritmica sta esplorando:

- Architetture più leggere (modelli sparse, mixture of experts)
- Tecniche di quantizzazione e pruning
- Hardware neuromorfico a basso consumo
- Training distribuito più efficiente

Fonti Energetiche: L'Impatto Dipende da Dove Viene l'Energia

Il consumo energetico dell'AI non è di per sé sinonimo di danno climatico: tutto dipende dalla fonte da cui quell'energia proviene. La composizione del mix energetico dei data center è quindi una variabile critica per valutarne l'impatto reale.



Fonti Rinnovabili

Solare, eolico, idroelettrico e geotermico producono energia con emissioni di CO₂ trascurabili durante l'esercizio. Alcuni grandi provider tech si impegnano ad alimentare i propri data center al 100% da rinnovabili, ma raggiungere questo obiettivo richiede tempo e investimenti enormi.



Fonti Non Rinnovabili

Carbone, gas naturale e petrolio continuano ad alimentare una quota significativa dei data center globali, specialmente in regioni dove le rinnovabili non sono ancora predominanti. Ogni kWh da fonte fossile si traduce in emissioni dirette di gas serra nel computo ambientale dell'AI.

Il Consumo di Acqua: Una Risorsa Spesso Ignorata

Mentre l'energia elettrica è la variabile più discussa, il consumo idrico dell'AI rimane spesso sottovalutato nel dibattito pubblico. Eppure, in molte regioni già soggette a stress idrico, l'espansione dei data center rappresenta una pressione aggiuntiva su una risorsa già scarsa.

Fonti dell'Acqua Utilizzata

- **Risorse superficiali:** fiumi e laghi, spesso soggetti a variabilità stagionale e siccità
- **Falde acquifere:** riserve sotterranee con tempi di ricarica lunghi, a rischio di sovrasfruttamento
- **Sistemi urbani:** la rete idrica cittadina, con potenziale conflitto con l'uso civile

Usi Principali

- **Raffreddamento diretto:** torri evaporative e sistemi a circuito aperto che disperdono acqua nell'atmosfera
- **Produzione di energia:** le centrali termoelettriche che alimentano i data center usano acqua per il raffreddamento dei generatori
- **Umidificazione:** controllo del microclima interno ai data center per proteggere l'hardware

Impatto dei Data Center e Scenari Futuri

Il settore dei data center si trova a un bivio: la crescita dell'AI accelererà inevitabilmente i consumi, ma le scelte tecnologiche e politiche dei prossimi anni determineranno se questa crescita sarà compatibile con gli obiettivi climatici globali.

~2%

Consumo Attuale

Quota dell'energia elettrica globale consumata oggi dai data center, già paragonabile alle emissioni dell'aviazione civile internazionale.

30–40%

Proiezione al 2030

Stima del potenziale aumento della quota di consumo energetico dei data center entro il 2030, trainato dall'esplosione dell'AI generativa e dei servizi cloud.

❑ **La strada da percorrere:** Sono necessarie politiche integrate di sostenibilità che combinino **efficienza energetica, transizione alle rinnovabili, gestione responsabile delle risorse idriche e regolamentazione del ciclo di vita dell'hardware**. L'AI può essere parte della soluzione climatica solo se la sua infrastruttura diventa essa stessa sostenibile.



Grazie.

Tommaso Diddi

SOFTWARE DEVELOPER

T [+39 333 5872255](tel:+393335872255)

E t.diddi@hermesbay.com

W hermesbay.com

Hermes Bay S.r.l.

Via Nazionale, 214 - 00184, Roma (RM)

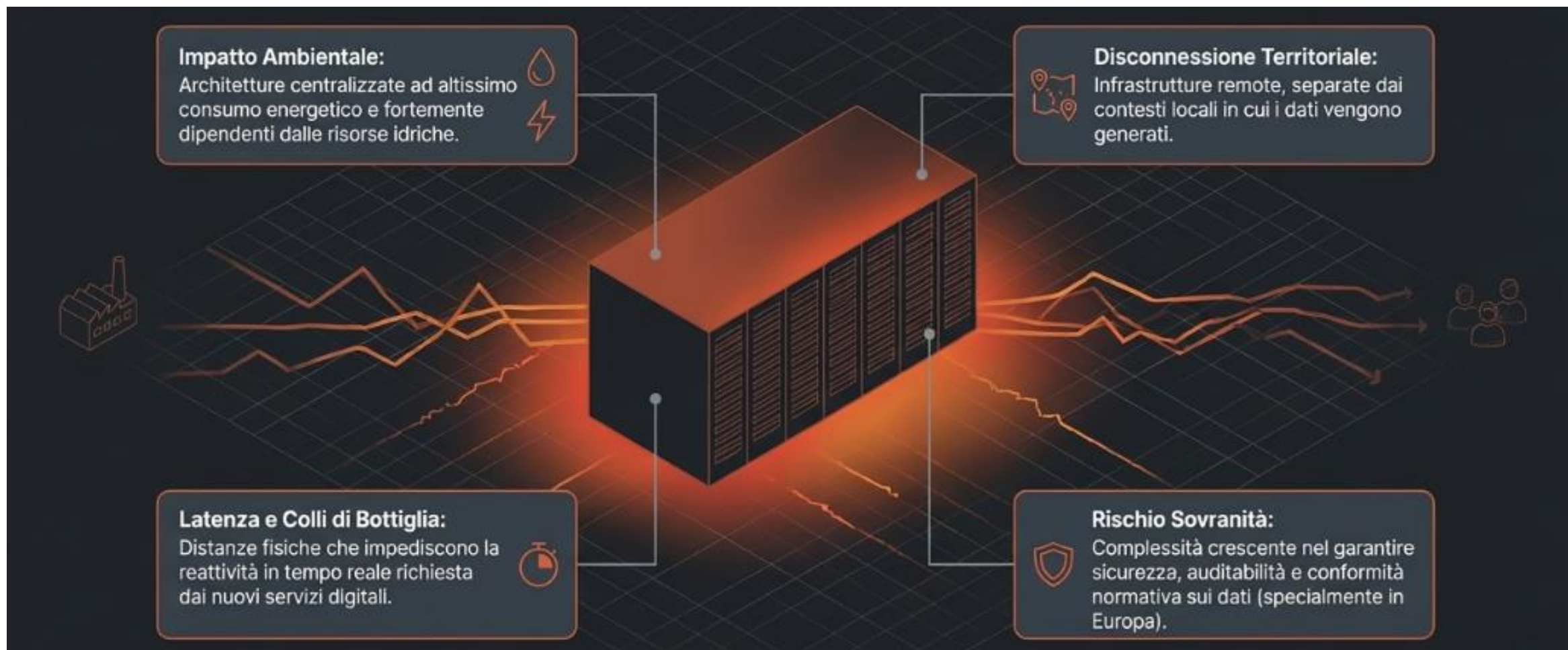


EDGE COMPUTING AND CLIMATE CHANGE

AN INDUSTRIAL PROJECT



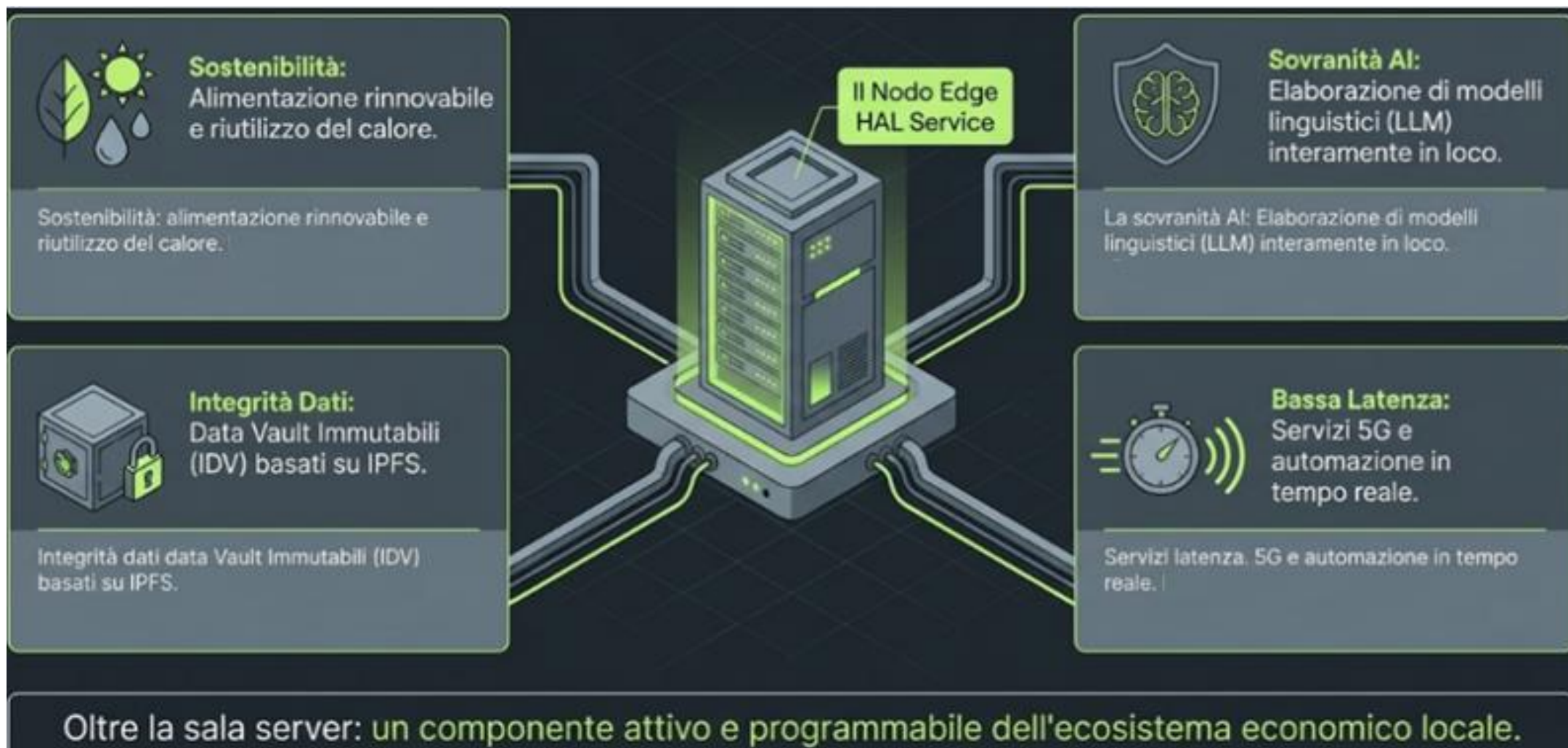
Il punto di rottura del modello Hyperscale



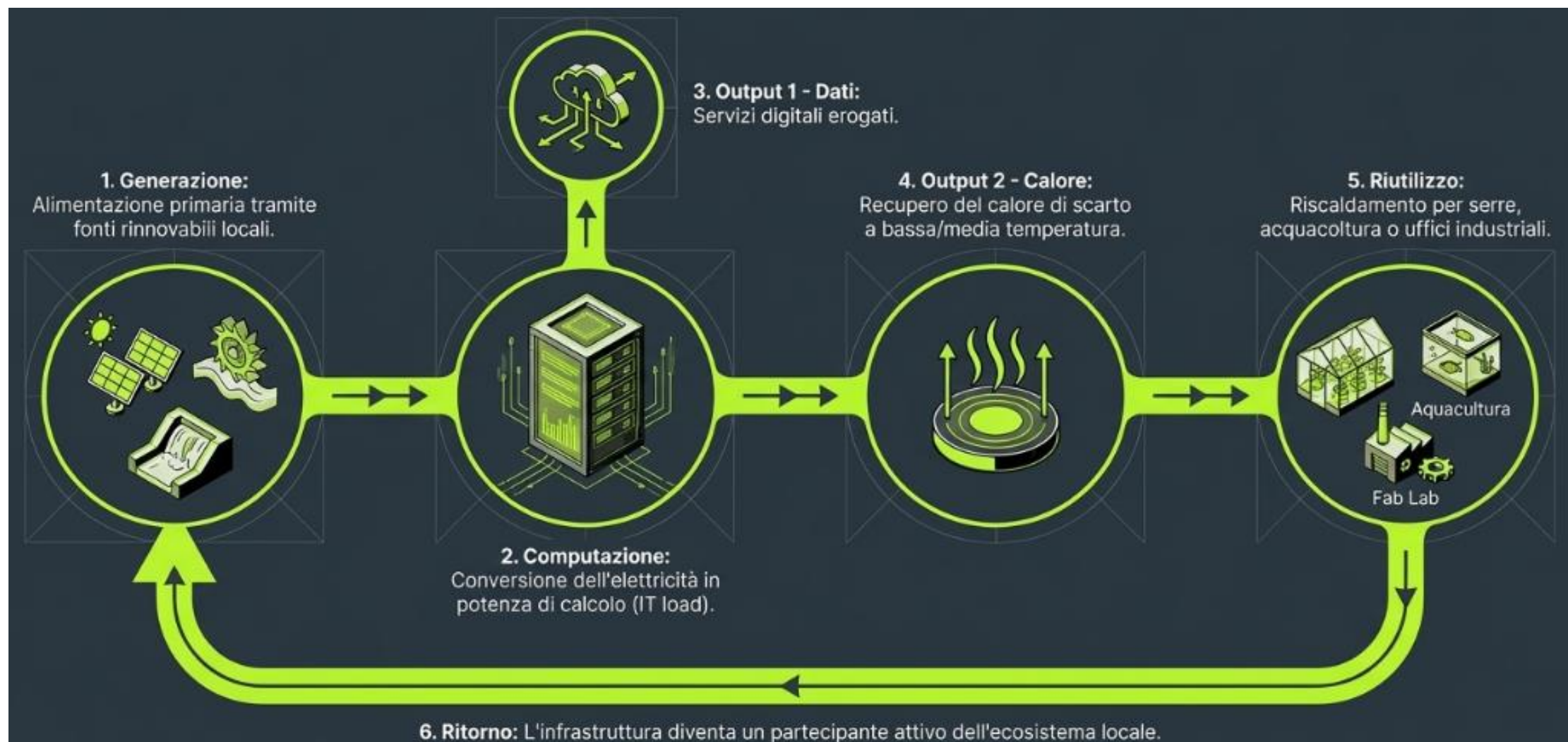
Il cambio di paradigma architetturale

Cloud Centralizzato	Edge Distribuito
Dimensione	
✗ Remoto e isolato	✓ Prossimità territoriale
Latenza	
✗ Variabile e soggetta a congestione	✓ Ultra-bassa e deterministica
Energia	
✗ Rete elettrica intensiva	✓ Fonti rinnovabili locali e auto-consumo
Calore	
✗ Spreco termico dissipato	✓ Recuperato per l'economia circolare
Dati	
✗ Rischio di sovranità e trasferimento	✓ Controllo locale e conformità europea

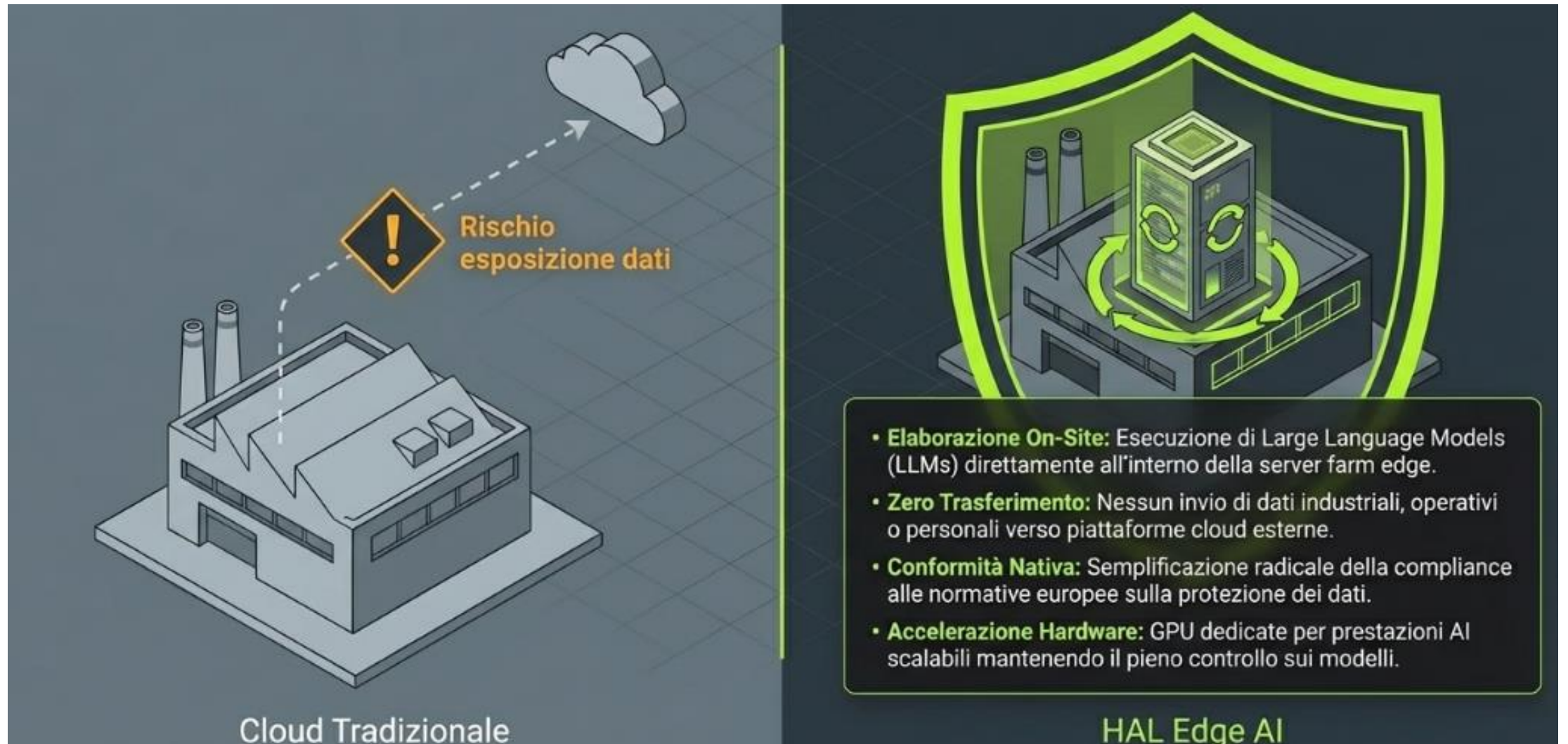
Una nuova infrastruttura digitale



Infrastruttura digitale ed energia

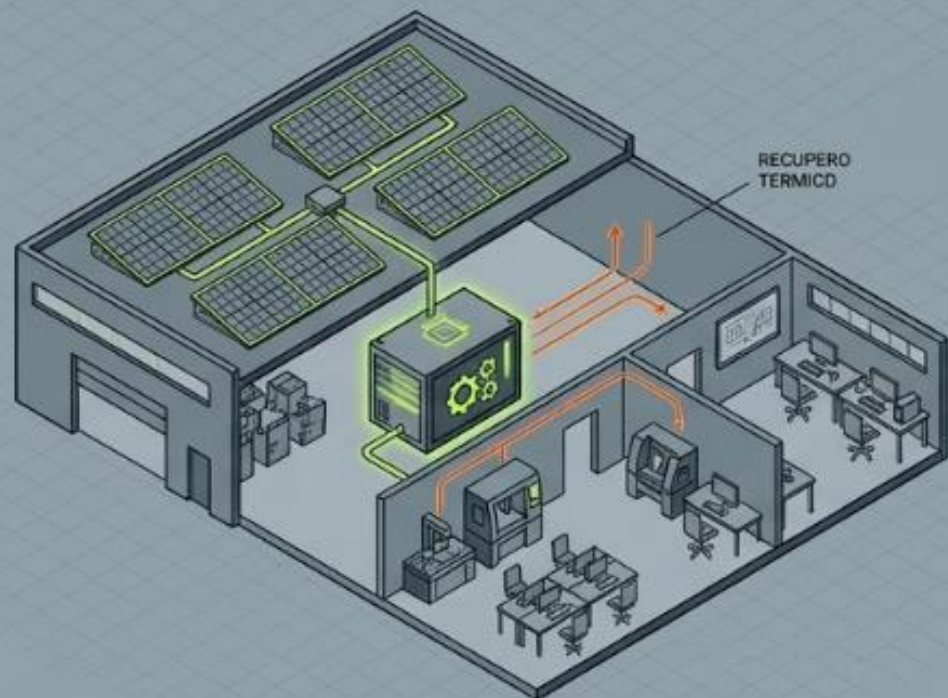


Cloud e sovranità dei dati



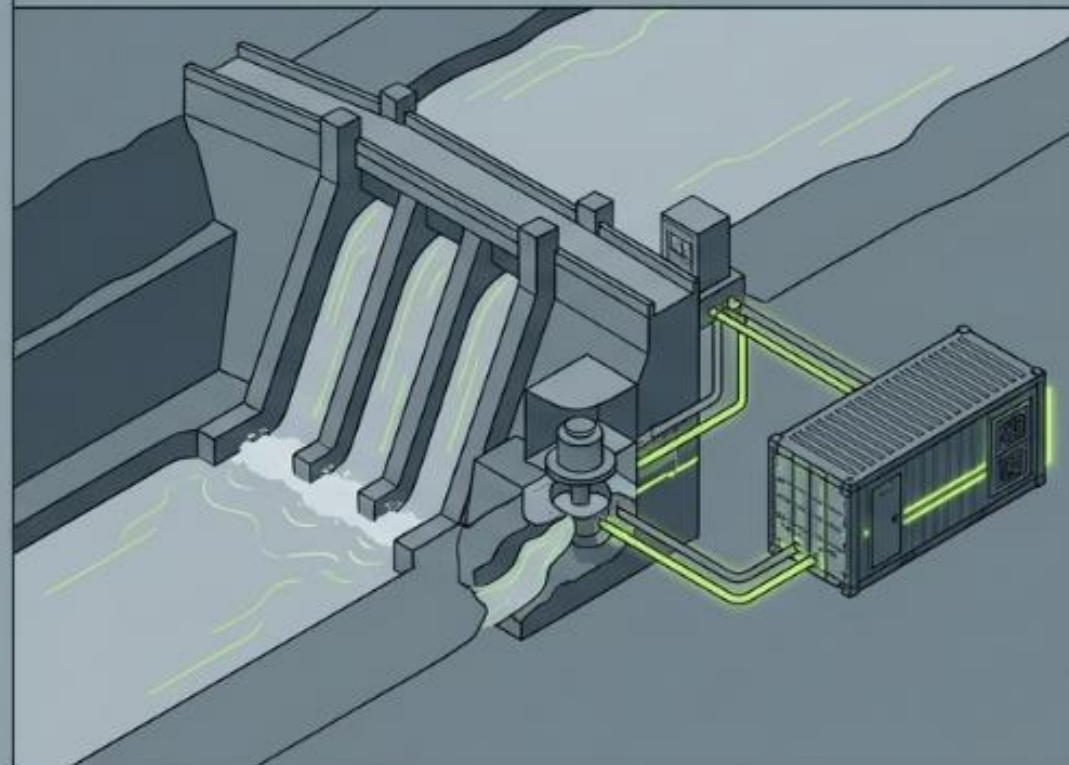
I prototipi pilota

Scenario A: Magazzino Industriale



Fotovoltaico integrato + Fab Lab per prototipazione +
Recupero termico per il riscaldamento degli uffici.
Un modello industriale completamente integrato.

Scenario B: Impianto Idroelettrico



Sfruttamento della generazione rinnovabile continua +
Test di accoppiamento stretto tra carico IT e disponibilità
energetica + Validazione della stabilità di rete.



SEMPLICEMENTE CONNESSI

HAL SERVICE S.p.A.
Regione Torame 16,
13011 Borgosesia (VC)

Tel + 39 0163 22183

www.mywic.it