



# *Frontiers*

Le tendenze tecnologiche  
che **plasmano il futuro** del  
data center

2026



# Contenuti

**Executive summary** ..... 06

**Le tendenze tecnologiche  
che definiscono l'impatto sul mercato** ..... 08

Trend 1: Powering up for AI ..... 10

Trend 2: AI distribuita ..... 12

Trend 3: L'autonomia energetica accelera ..... 14

Trend 4: Design e operazioni guidate da digital twin ..... 16

Trend 5: Raffreddamento a liquido adattivo e resiliente ..... 18

**Guardando al futuro:  
tendenze future attese** ..... 20

Variazione quantica e neuromorfica ..... 22

Data center per ambienti estremi ..... 22

AI fisica e robotica ..... 23

Impatto di AGI su scala, progettazione e operazioni ..... 23

Innovazione del silicio e del calcolo ..... 23

**Riepilogo** ..... 25

**Riferimenti** ..... 26

“L’evoluzione dell’AI dipende da un’infrastruttura digitale altamente integrata, distribuita a una velocità e su una scala senza precedenti. Il settore dei data center deve continuare a spingere i confini dell’innovazione, guidando progressi dalla rete al chip e dal chip al riutilizzo del calore, preparandosi al contempo alla prossima ondata di breakthrough, dall’AI fisica al quantum computing.”

**Scott Armul**

Executive Vice President, Global Portfolio and Business Unit, Vertiv

# Executive summary

## Il settore dei data center sta avanzando verso una nuova era definita da innovazione, scalabilità e opportunità.

Dopo due decenni di evoluzione costante, durante i quali il cloud computing ha ridefinito localizzazione e scalabilità, mentre l'infrastruttura di base è rimasta in gran parte invariata, la prossima ondata di trasformazione sta accelerando a una velocità senza precedenti.

Trainata dall'AI e dal calcolo accelerato, questa nuova era sta ridefinendo il modo in cui l'infrastruttura digitale viene progettata, distribuita e scalata. Il ritmo del cambiamento è senza paragoni e apre nuove possibilità per spingere i confini dell'innovazione.

Vertiv Frontiers offre un punto di vista sul futuro: un'esplorazione delle tendenze tecnologiche e delle macro forze che stanno rimodellando l'infrastruttura digitale. Riunisce l'esperienza degli specialisti Vertiv nei settori dell'energia, del raffreddamento, dei sistemi IT, delle infrastrutture modulari prefabbricate, dei servizi avanzati e dell'infrastruttura AI, rafforzando la posizione di Vertiv come voce di riferimento nella guida del futuro dell'infrastruttura digitale critica.

## Le macro forze guidano l'innovazione dei data center

Il settore dei data center è rimodellato da potenti macro forze alimentate dall'ascesa dell'AI e del calcolo accelerato. Queste forze influenzano ogni livello dell'infrastruttura digitale, attraversando tecnologie, architetture e segmenti di mercato.

Al centro di questa trasformazione c'è la **densificazione estrema**, la forza macro dominante, i cui effetti si riflettono sull'intero panorama dei data center e delle tecnologie. Le altre macro forze si allineano a questo cambiamento, rappresentando trasformazioni che si estendono dal livello del chip all'integrazione di sistema e alla progettazione completa delle strutture.

### Densificazione estrema

La densificazione è un driver critico dei data center moderni, accelerata dai carichi di lavoro AI e HPC che spingono la potenza per rack ben oltre i 25 kW, spesso fino a valori a tre cifre. Sistemi che in passato occupavano un'intera sala ora rientrano in un'unica unità simile a un rack o a un pod. Questo aumento di densità introduce maggiore complessità in termini di alimentazione, raffreddamento e spazio.

### Scalabilità a gigawatt ad alta velocità

I data center vengono ora costruiti su scala gigawatt senza precedenti. I blocchi infrastrutturali modulari costruiti in fabbrica, che combinano alimentazione, raffreddamento e IT, sono progettati per scalare da decine di megawatt a campus multi-gigawatt. Tutto questo deve avvenire rapidamente per soddisfare le tempistiche compresse delle esigenze di capacità dell'era dell'AI.

### Data center come unità di calcolo

L'era dell'AI richiede sempre più che il data center sia costruito e gestito come un unico sistema. L'"unità di calcolo" non è più solo un chip, ma è l'intero sistema. L'alimentazione, il raffreddamento e l'elaborazione devono essere altamente integrati in un'unica architettura, dal rack alla fila fino al sito. Le offerte a livello di singolo componente non sono più strategiche e l'aumento della densità di potenza sta guidando la necessità di maggiore efficienza e integrazione più stretta.

### Diversificazione del silicio

I chip che alimentano l'AI si stanno diversificando, includendo non solo GPU ma anche TPU, silicio custom e altri form factor. Un'analogia utile è l'industria automobilistica, passata dai soli motori a benzina a ibridi, elettrici e persino all'idrogeno. L'infrastruttura dei data center futuri deve essere progettata e ottimizzata per supportare l'intero spettro di chip e capacità di calcolo.

## Le tendenze tecnologiche che definiscono l'impatto sul mercato

In risposta a queste macro forze, Vertiv ha identificato cinque tendenze chiave che stanno plasmando il panorama tecnologico dei data center. Ogni tendenza è stata valutata per il suo impatto specifico sulle aree tecnologiche critiche e sui segmenti di mercato, e classificata in base a scala potenziale, probabilità e orizzonte temporale di impatto. Vertiv Frontiers approfondisce queste tendenze.

Questo report esplora le cinque tendenze chiave che Vertiv ha identificato come le più importanti per i data center in questo momento. Le tendenze tecnologiche identificate e classificate da Vertiv sono:

Classifica	Trend	
1	Potenziare l'alimentazione per l'AI	I sistemi ibridi AC e DC sono diffusi ma la distribuzione in DC ad alta tensione è destinata a dominare sempre più.
2	AI distribuita	L'AI diventerà sempre più critica per le imprese, ma il come e il dove verranno erogati i servizi dipenderà dai requisiti specifici.
3	Accelerazione dell'autonomia energetica	Gli operatori stanno espandendo la generazione in loco nonostante la rete sia l'opzione preferita da molti. È probabile che gli investimenti in loco continuino fino all'espansione e alla trasformazione della capacità della rete.
4	Progettazione e operazioni guidate dal digital twin	I data center possono essere mappati e specificati virtualmente, utilizzando Digital Twin, e l'IT e l'infrastruttura saranno integrati e implementati come unità di calcolo. Questo approccio sarà fondamentale per raggiungere gli sviluppi su scala gigawatt necessari per i futuri progressi dell'AI.
5	Raffreddamento a liquido adattivo e resiliente	Con il passare del tempo, i sistemi di raffreddamento a liquido potrebbero diventare analoghi ai sistemi circolatori con la capacità di monitorare e adattarsi. Nuovi moduli di raffreddamento a liquido emergerà man mano che la tecnologia continuerà a maturare.

## Guardando al futuro: tendenze future attese

Oltre l'orizzonte di breve periodo, sta emergendo un'ulteriore ondata di tecnologie con il potenziale di ridefinire l'infrastruttura digitale. Sebbene meno immediate, queste innovazioni potrebbero guidare cambiamenti significativi nel modo in cui i data center vengono alimentati, raffreddati e scalati negli anni a venire.

- Quantum e neuromorphic: salto di paradigma
- Data center in ambienti estremi
- AI fisica e robotica
- Impatto dell'AGI su scala, progettazione e operazioni
- Innovazione nel calcolo e nel silicio

## Le tendenze tecnologiche che definiscono l'impatto sul mercato

- 1 / Powering up for AI
- 2 / AI distribuita
- 3 / L'autonomia energetica accelera
- 4 / Design e operazioni guidate da digital twin
- 5 / Raffreddamento a liquido adattivo e resiliente

Queste tendenze stanno già influenzando gli operatori di data center avanzati e probabilmente saranno adottate dal resto del settore man mano che le tecnologie e i fattori trainanti maturano.

# 1 / Powering up for AI

Nel breve termine, i sistemi ibridi AC e DC saranno diffusi, tuttavia, con la maturazione degli standard e delle apparecchiature full DC, la distribuzione in DC ad alta tensione è destinata a dominare sempre più negli hyperscale e nelle AI Factory.

**Trend correlato:** *l'autonomia energetica accelera.*

Il **raffreddamento a liquido (Trend 5)** è diventato strettamente legato alla crescita dei carichi AI e del calcolo accelerato. Tuttavia, le innovazioni nella gestione dell'energia, altrettanto critiche per l'evoluzione delle prestazioni dei data center, hanno ricevuto meno attenzione. Un'area chiave di innovazione è il passaggio a livelli di tensione più elevati nella distribuzione dell'energia all'interno delle strutture. La maggior parte dei data center legacy utilizza ancora una distribuzione ibrida AC/DC dalla rete ai rack IT, con tre o quattro stadi di conversione e le conseguenti inefficienze. Questo approccio è sotto pressione con l'aumento delle densità, trainato soprattutto dai carichi AI.

Le piattaforme di calcolo basate sull'AI stanno spingendo rapidamente le densità dei rack oltre i 300 kW. In questi ambienti ad alte prestazioni, le architetture tradizionali da 415 VAC o 480 VAC devono affrontare limitazioni in termini di volume di rame, perdita termica ed efficienza dello spazio. Queste limitazioni creano potenziali vincoli per ottenere le densità necessarie per supportare le unità di calcolo grafica (GPU). Il passaggio ad architetture DC ad alta tensione consente riduzioni significative di corrente, conduttori e stadi di conversione, centralizzando la conversione dell'energia a livello di sala.

Sono già in corso innovazioni, incluse le recenti iniziative su architetture a 800 VDC annunciate da NVIDIA con il supporto di Vertiv e altri player del mercato. La tecnologia 800 VDC permette una distribuzione dell'energia più efficiente.

Molti analisti, tra cui Uptime Institute Intelligence, concordano sul fatto che l'AI (e in particolare la densificazione) guiderà l'adozione di architetture DC ad alta tensione nei data center. "Le attuali catene di alimentazione e le apparecchiature elettriche dei data center sono altamente efficienti e supportano un'ampia gamma di capacità", ha affermato Daniel Bizo, Senior Research Director di Uptime Institute Intelligence.<sup>1</sup> "Tuttavia, nonostante i migliori sforzi di progettisti e produttori, i sistemi LV restano subottimali per un futuro ad alta densità".

Guardando avanti, l'energia AC sarà usata in modo più selettivo, ad esempio all'interfaccia con la rete, che in alcuni scenari potrebbe diventare un backup, mentre la DC diventerà l'approccio ottimale per la distribuzione interna. Le architetture DC ad alta tensione sono allineate anche alla crescita dello storage energetico nei data center e a livello di rete. Questi temi sono approfonditi nel **Trend 3: L'autonomia energetica accelera**, dove alcuni data center possono evolversi in microgrid DC integrando generazione on-site e accumulo.

Altre innovazioni future nell'alimentazione dei sistemi AI potrebbero includere anche una transizione verso architetture basate su sistemi di potenza più integrati, comprendendo l'integrazione della media tensione (MV), dei sistemi di accumulo energetico a batteria (BESS), dei gruppi di continuità (UPS) e di controlli di potenza avanzati. Queste soluzioni consentirebbero di gestire le sfide specifiche dei profili di carico dell'AI, la scala e la densità delle infrastrutture dedicate ad addestramento e inferenza, nonché i requisiti in continua evoluzione di compatibilità e interazione con la rete elettrica e le utility.



“Le architetture DC a più alta tensione sono già in fase di sviluppo con implementazioni pianificate che supportano l'aumento delle densità di potenza del rack GPU e del POD. Gli operatori delle strutture e i responsabili decisionali possono adottare misure immediate per pianificare AI Factory pronte per il futuro che supporteranno queste generazioni future di server di AI.”

**Kyle Keeper,**  
Senior Vice President, Gestione dell'alimentazione, Vertiv

## Macro forze

- **Densificazione estrema:** la distribuzione dell'alimentazione tradizionale sta raggiungendo i suoi limiti a causa delle densità del calcolo basato sull'AI.
- **Data center come unità di calcolo:** l'implementazione e la gestione di potenza, calore ed elaborazione come un unico sistema migliorano le prestazioni, la resilienza e l'efficienza.

## Segmento interessato

- Hyperscale, cloud e colocation (le strutture legacy potrebbero dover affrontare sfide di retrofit).

## Driver

- Minori perdite di conversione significano maggiore efficienza. I sistemi di alimentazione AC tradizionali subiscono perdite di energia significative a causa di più fasi di conversione.
- Sfrutta le competenze sviluppate per reti di telecomunicazione globali, microreti integrate e altre applicazioni.
- Integrazione con energia alternativa. Fonti di energia alternative come pannelli solari o celle a combustibile producono in modo nativo alimentazione DC.

## Sfide

- Una maggiore distribuzione della tensione può richiedere procedure e protocolli di sicurezza più rigorosi.
- Alcuni operatori potrebbero dover affrontare una mancanza di personale qualificato per l'installazione e la manutenzione.
- Costi iniziali potenzialmente più elevati fino a quando la tecnologia non matura ulteriormente.

## Tecnologie correlate/esempi

- Sistemi UPS ad alta tensione, busway DC ad alta efficienza, convertitori DC-DC a livello di rack e sistemi di backup compatibili DC.
- Microreti DC, storage energetico.

## Azioni suggerite

- Gli hyperscale e gli early adopter dovrebbero valutare l'adozione DC ad alta tensione, soprattutto in combinazione con generazione on-site o microgrid.
- L'accesso anticipato a progetti e roadmap consente ai clienti di convalidare e implementare l'infrastruttura di supporto in parallelo con i sistemi GPU emergenti.
- Gli operatori aziendali e i provider di colocation più piccoli devono indagare e cercare opportunità per testare la tecnologia, potenzialmente all'interno di aree ad alta densità nelle strutture esistenti. Le architetture DC a più alta tensione possono essere implementate nelle architetture AC tradizionali odierne.

<sup>1</sup> Bizo, D., 2024. Uptime Institute Intelligence.

## 2 / AI distribuita

L'AI diventerà sempre più critica per le imprese, ma il come e il dove verranno erogati i servizi dipenderà dai requisiti specifici.

**Trend correlato:** progettazione e operazioni guidate dai digital twin

I miliardi investiti finora nei data center AI per i modelli linguistici di grandi dimensioni (LLM) sono guidati dall'aspettativa che queste tecnologie vedranno un'adozione diffusa sia da parte dei consumatori che delle aziende. Invece di essere una tecnologia sperimentale utilizzata da poche organizzazioni, l'AI diventerà uno strumento vitale. La capacità del data center di inferenza AI necessaria per supportare questo cambiamento potrebbe addirittura superare, di diverse volte, gli attuali sviluppi per supportare l'addestramento di modelli di grandi dimensioni.<sup>2</sup>

Studi recenti hanno indicato alcune sfide relative all'adozione dell'AI aziendale, ma vi sono anche indicazioni che ciò stia cambiando. Uno studio della Wharton School dell'Università della Pennsylvania ha rilevato che il 74% delle aziende che misurano il ritorno sull'investimento (ROI) dall'uso dell'AI generativa (GenAI) ha registrato un rendimento positivo.<sup>3</sup>

Tuttavia, è probabile che il modo esatto in cui viene fornita l'AI business-critical differisca tra aziende, business unit o anche applicazioni specifiche. I settori altamente regolamentati, come finanza, difesa e sanità, spesso devono mantenere ambienti di AI privati o ibridi per vincoli di residenza dei dati, sicurezza o latenza. Secondo IDC, si prevede che il settore dei servizi finanziari spenderà di più per soluzioni di AI fino al 2028 e rappresenterà oltre il 20% di tutte le spese di AI.<sup>4</sup> Le organizzazioni possono anche scegliere di investire in data center privati ottimizzati per l'AI per perfezionare i modelli proprietari o elaborare dati riservati su larga scala. In questi casi, le organizzazioni

probabilmente adotteranno architetture ibride o federate che combinano il computing locale con i servizi di AI basati sul cloud.

Secondo l'analista Gartner,<sup>5</sup> ci sarà un passaggio dai modelli specializzati creati dai service provider ai modelli linguistici specifici del dominio (DSLML) creati e posseduti internamente dai fornitori di software, ma anche dalle aziende.

Non è ancora chiaro come questa segmentazione del modello di AI si tradurrà in specifiche strutture di data center, ma una parte dei DSLML potrebbe richiedere un'infrastruttura AI dedicata e di proprietà delle aziende, comprese strutture in loco e colocation. Alcune organizzazioni, anche tramite l'uso di tecnologia modulare, costruiranno una nuova capacità in loco o cercheranno di aggiornare o espandere le strutture esistenti.

Gli investimenti nell'infrastruttura AI sono allineati anche ai cambiamenti nelle strutture di proprietà aziendale e alle strategie cloud-first. Tuttavia, proprio come per i servizi cloud, i costi, il lock-in dei fornitori, la portabilità dei dati e altri problemi determineranno le decisioni su dove e come procurarsi i servizi di AI. Anche la disponibilità di energia rappresenta un problema, e alcune aziende stanno scegliendo di potenziare le infrastrutture esistenti dei data center per l'AI, così da sfruttare al meglio la capacità di potenza già disponibile. La questione della sovranità dei dati e dell'AI avrà anch'essa un ruolo nelle decisioni relative alle infrastrutture AI di proprietà.



“ L'AI fornisce le basi da cui le aziende possono creare valore. Ci aspettiamo che fattori come la gravità dei dati e la regolamentazione guidino le decisioni su se tale base sia meglio erogata tramite provider di servizi oppure attraverso investimenti in data center di proprietà”.

**Martin Olsen**

Vice President, Segment Strategy & Deployment,  
Vertiv

### Macro forze

- **Diversificazione del silicio:** è probabile che l'inferenza si basi su i chip più appropriati per l'applicazione, il carico di lavoro.
- **Densificazione estrema:** Le aziende dovranno probabilmente accogliere zone ad alta densità all'interno di strutture data center.

### Segmento interessato

- Data center Enterprise (edifici misti a strutture complete) e fornitori di colocation retail (incentrati sulle aziende).

### Driver

- Sovranità e privacy dei dati. Le normative possono impedire ai dati sensibili di lasciare determinate giurisdizioni o ambienti controllati dall'azienda, aumentando gli investimenti in loco.
- Requisiti di latenza e prestazioni. Le applicazioni che richiedono una latenza ultra bassa (ad es. controllo in tempo reale, trading finanziario, analisi Edge) possono richiedere funzionalità di inferenza locale piuttosto che l'elaborazione remota del cloud.
- Prevedibilità dei costi. Per carichi di lavoro prevedibili e ad alto volume, la proprietà dell'infrastruttura potrebbe comunque offrire un TCO inferiore.

### Sfide

- L'adozione dell'AI può continuare a essere frammentata e guidata dai singoli dipendenti e dipartimenti senza la supervisione richiesta della leadership e del reparto IT.
- L'integrazione dell'AI nelle applicazioni aziendali deve essere ulteriormente prioritaria.

### Tecnologie correlate/esempi

- Acceleratori avanzati.
- Data center modulari prefabbricati.
- Server AI ad alta densità raffreddati a liquido.

### Azioni suggerite

- Molte aziende utilizzano già l'AI in una certa misura, sia tramite implementazione deliberata che tramite l'uso da parte dei dipendenti. Le organizzazioni con i più alti livelli di privacy dei dati, sicurezza e fattori correlati probabilmente stanno già esplorando, o anche sperimentando, i servizi di AI legati a infrastruttura locale.
- Per altri, la decisione dovrebbe far parte di una valutazione continua del valore dei data center in loco esistenti, compreso l'accesso all'alimentazione, e dei costi e delle complessità dell'aggiornamento di tali siti per una densità più elevata.

<sup>2</sup> Noffsinger, J., Patel, M. e Sachdeva, P., 2025. McKinsey & Co.

<sup>3</sup> Korst, J., Puntoni, S. e Tambe, P., 2025. Università della Pennsylvania

<sup>4</sup> IDC, 2024.

<sup>5</sup> Gartner, 2025.

# 3 / L'autonomia energetica accelera

Gli operatori stanno espandendo la generazione in loco nonostante la rete sia l'opzione preferita da molti. È probabile che gli investimenti in loco continuino fino all'espansione e alla trasformazione della capacità della rete.

**Trend correlato:** *powering up for AI.*

Generazione di energia in loco (sotto forma di generatori diesel) è essenziale per la maggior parte dei data center autonomi da decenni. Tuttavia, le persistenti difficoltà di disponibilità dell'alimentazione stanno rendendo la piena "autonomia energetica" un requisito quasi inevitabile per gli operatori.

I data center si trovavano ad affrontare una crisi energetica ancora prima dell'avvento dell'AI. I grandi operatori cloud hanno più che raddoppiato il loro consumo di elettricità dal 2017 al 2021,<sup>6</sup> l'anno prima dell'introduzione di ChatGPT. Nel 2018, i data center hanno consumato l'1,9% di tutta l'elettricità prodotta negli Stati Uniti.<sup>7</sup> Oggi, tre anni dopo l'era dell'AI, questo numero è del 4,5%, e potrebbero arrivare al 6% nel 2026.<sup>8</sup>

Secondo Deloitte, la domanda di energia dai data center AI negli Stati Uniti potrebbe aumentare di oltre 30 volte entro il 2035, passando da quattro gigawatt nel 2024 a 123 gigawatt tra un decennio.<sup>9</sup>

Di conseguenza, si prevede che la quota del settore del consumo energetico totale negli Stati Uniti salirà fino al 9,1% entro il 2030.<sup>10</sup> In Virginia, ad esempio, i data center rappresentano il 25% dell'elettricità totale dello stato.<sup>11</sup>

Di conseguenza, i data center stanno passando all'autogenerazione, di solito per colmare un divario, prima che la nuova capacità della rete possa essere messa online. Anche la variazione regionale è un

fattore che ha spinto gli operatori di alcuni Paesi, in particolare quelli delle regioni in via di sviluppo, a investire in una significativa generazione in loco (spesso tramite generatori diesel) a causa dell'instabilità della rete.

Gli approcci ibridi all'alimentazione in loco includono le microreti, che si collegano alla generazione eolica e solare, in combinazione con generatori diesel, UPS e immagazzinamento dell'energia delle batterie sistema (BESS).

Le tecnologie di generazione in loco adottate dai data center AI includono turbine a gas naturale e motori a movimento alternativo per fornire energia termica e scalabile per il raffreddamento combinato (CCHP, calore ed energia). Queste tecnologie possono essere implementate insieme a soluzioni e servizi di alimentazione e raffreddamento, confezionati come blocchi modulari pre-progettati, per ridurre i cicli di progettazione e standardizzare l'implementazione.

Altre tecnologie che potrebbero aiutare a soddisfare le sfide di disponibilità dell'alimentazione includono le celle a combustibile a idrogeno e l'energia nucleare sotto forma di piccoli reattori modulari (SMR). Anche il geotermico potrebbe essere un'opzione in alcune regioni. Nella maggior parte dei casi, la scelta dei sistemi di alimentazione in loco sarà un esercizio di mix and match dato il trifetto di costi, sicurezza e disponibilità.



**Le aziende di data center non hanno fretta di entrare nel settore energetico, ma l'incredibile crescita dell'AI e le relative richieste di alimentazione continueranno a costringerli a trovare soluzioni creative. In ultima analisi, ciò include l'autogenerazione anche se si tratta di una tecnologia di bridging, mentre la capacità futura della rete rimane incerta."**

**Peter Panfil**

Distinguished Engineer & Vice President of Technical Business Development, Vertiv

## Macro forze

- **Data center come unità di calcolo:** la gestione dell'intera rete elettrica, dalla rete al chip, come sistema integrato, contribuirà a far fronte alle sfide di disponibilità ed efficienza dell'alimentazione.
- **Scalabilità in Gigawatt:** la generazione di energia in loco è diventata sempre più necessaria per portare rapidamente l'energia ai siti più grandi.

## Segmento interessato

- Gli hyperscale e i grandi operatori di colocation avranno la scala e le esigenze necessarie per investire nella generazione di energia on-site.
- Alcune strutture edge più piccole possono emergere collocate vicino alle fonti di generazione di energia.

## Driver

- Proliferazione dell'AI e conseguente aumento delle richieste e dei costi energetici dei data center.
- Limitazioni e instabilità della rete elettrica.
- Necessità di raggiungere obiettivi aziendali responsabili.

## Sfide

- Carenze nelle apparecchiature di generazione in loco e manodopera qualificata.
- Resistenza/complicanze normative correlate a implementazioni nucleari.

## Tecnologie correlate/esempi

- Turbine a gas e relative tecnologie.
- Microreti DC che utilizzano energia solare, batterie e celle a combustibile.
- Interesse per la generazione nucleare in loco. I piccoli reattori modulari (SMR) hanno una capacità media di 300 MW, offrendo soluzioni flessibili e scalabili per data center di grandi dimensioni o piccoli cluster.

## Azioni suggerite

- Le strategie di autoproduzione BYOP&C (bring your own power and cooling) possono essere applicate lungo l'intero spettro dei data center, da quelli enterprise fino agli hyperscale. Possono anche essere adattati a esigenze specifiche, dalle batterie a lunga durata e ai sistemi BESS, ai generatori e alle turbine a gas naturale a basso impatto, fino alle celle a combustibile a base di idrogeno a basso impatto. Inizia con un progetto pilota che costruisce e integra la protezione dell'alimentazione esistente e infrastrutture di backup.

<sup>6,10,11</sup> EPRI, 2024.

<sup>7</sup> Shehabi, A., Newkirk, A., Smith, S., et. Al., 2024. Lawrence Berkeley National Laboratory.

<sup>8,9</sup> Stansbury, M., Marchese, K., Hardin, K. e Amon, C., 2025. Deloitte.

# 4 / Progettazione e operazioni guidate dai digital twin

I data center possono essere mappati e specificati virtualmente, utilizzando Digital Twin, e l'IT e l'infrastruttura saranno integrati e implementati come unità di calcolo. Questo approccio sarà fondamentale per raggiungere gli sviluppi su scala gigawatt necessari per i futuri progressi dell'AI.

**Trend correlato:** raffreddamento a liquido adattivo e resiliente.

Le forme di tecnologia Digital Twin sono state utilizzate selettivamente nel data center per oltre un decennio, ma solitamente per evitare punti caldi o inefficienze di raffreddamento, utilizzando la fluidodinamica computazionale (CFD) e altri approcci. È stato uno strumento tattico, ma raramente strategico.

I modelli virtuali basati sull'AI stanno ora diventando trasformativi per l'ingegneria e la produzione. Il potenziamento dei CFD convenzionali e dell'ingegneria assistita da computer (CAE) con tecnologie come la piattaforma di simulazione fisicamente accurata di NVIDIA Omniverse,<sup>12</sup> basata sulle GPU più recenti, può consentire la visualizzazione in tempo reale, promettendo cicli di sviluppo più brevi e maggiore precisione.

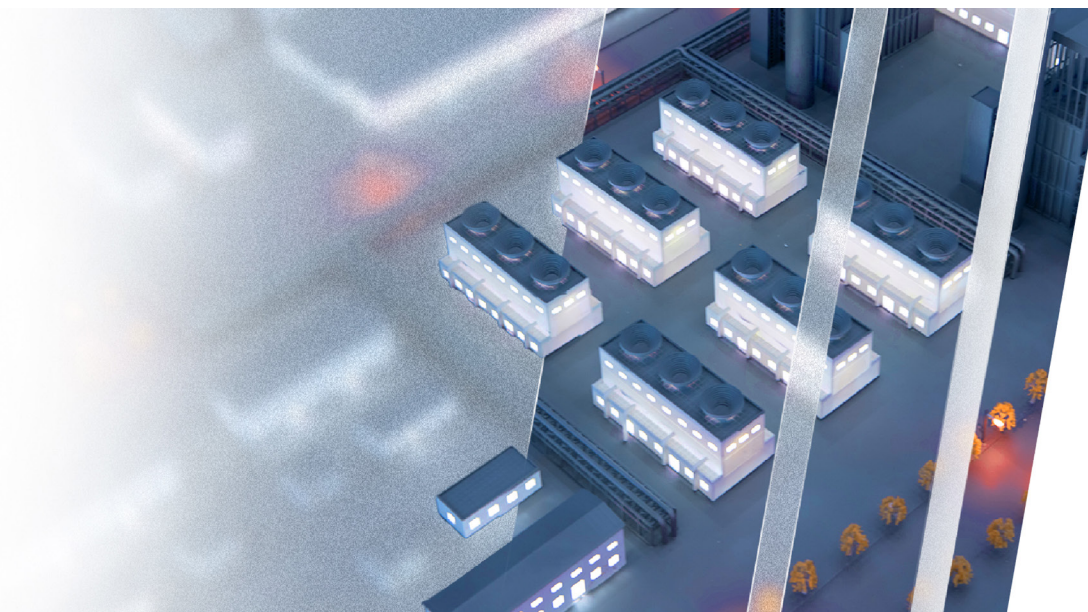
I Digital Twin possono essere utilizzati per creare modelli fotorealistici basati sulla fisica dell'architettura di riferimento. Ciò consente la collaborazione in tempo reale con architetti, ingegneri e operatori, consentendo una rapida iterazione e convalida della progettazione prima dell'implementazione. Il Digital Twin simula virtualmente le prestazioni dell'infrastruttura, testando le variabili e gli scenari di guasto, risparmiando tempo e riducendo i rischi dei progetti. Questa capacità si estende alle operazioni,

fornendo l'ottimizzazione a ciclo chiuso e controlli feed-forward per migliorare continuamente le prestazioni del sistema, rendendolo uno strumento dinamico per decisioni più intelligenti sull'infrastruttura durante tutto il ciclo di vita.

Uno dei maggiori vantaggi potenziali della tecnologia dei Digital Twin nel data center è che consente di simulare le decisioni di progettazione o implementazione in uno spazio virtuale prima di essere eseguita nel mondo fisico. Ciò ha il potenziale di ridurre il costo o qualsiasi impatto negativo sulla resilienza o sull'efficienza.

I Digital Twin devono anche essere aggiornati sulla base dei dati in tempo reale, quindi l'integrazione con il software di gestione dei data center e i servizi digitali fa anche parte degli sviluppi in corso.

Combinando un approccio di progettazione dell'unità di calcolo con la tecnologia dei Digital Twin, gli operatori dei data center saranno in grado di progettare, implementare e gestire strutture con livelli crescenti di efficienza e resilienza. I data center non saranno più edifici progettati manualmente e popolati di IT, ma unità di calcolo progettate e gestite digitalmente.



“ La tecnologia dei Digital Twin consente di simulare, monitorare e ottimizzare l'intera infrastruttura in tempo reale prima e dopo la costruzione. L'infrastruttura non opera più indipendentemente dalle piattaforme di computing; un data center deve operare come un sistema che si adatta continuamente al variare dei carichi di computing.”

**Steve Blackwell**

Vice President, Engineering, Vertiv

## Macro forze

- **Data center come unità di calcolo:** tecnologia Digital Twin può essere utilizzata per gestire la complessità dell'implementazione sistemi integrati.
- **Diversificazione del silicio:** l'infrastruttura del data center dovrà essere progettata e ottimizzata intorno a una gamma crescente di chip che possono essere supportati da simulazioni di Digital Twin.

## Segmento interessato

- Hyperscale, AI Factory e colocation di grandi dimensioni. Alcuni siti specifici di proprietà aziendale, come i laboratori di calcolo ad alte prestazioni (HPC) accademici e di ricerca.

## Driver

- Una pianificazione più accurata della capacità grazie alla possibilità di modellare le build e i cambiamenti prima che vengano effettuati nel mondo reale.
- Visualizzazione in tempo reale, con cicli di sviluppo più brevi e maggiore precisione.

## Sfide

- L'adozione della tecnologia dei Digital Twin sta accelerando ma è ancora in fase di sviluppo.
- I data center ancora progettati e implementati lungo i prodotti tradizionali, le linee tecnologiche e la divisione IT/strutture possono inibire gli approcci olistici.

## Tecnologie correlate/esempi

- Piattaforma NVIDIA Omniverse.
- Tecnologie modulari prefabbricate in linea con l'approccio dell'unità di calcolo.

## Azioni suggerite

- Le organizzazioni dovrebbero indagare sulla tecnologia dei Digital Twin dei data center per comprendere le proprie capacità di migliorare sia la progettazione che il funzionamento. Il concetto di data center come prossima unità di calcolo, pur essendo più astratto, dovrebbe essere utilizzato per identificare le opportunità di promuovere l'efficienza attraverso una più stretta integrazione dei livelli di alimentazione, termici e IT in tutta la struttura.

<sup>12</sup> Vertiv, 2025.

# 5 / Raffreddamento a liquido adattivo e resiliente

Con il passare del tempo, i sistemi di raffreddamento a liquido potrebbero diventare analoghi ai sistemi circolatori con la capacità di monitorare e adattarsi. Nuovi moduli di raffreddamento a liquido emergerà man mano che la tecnologia continuerà a maturare.

**Trend correlato:** progettazione e operazioni guidate dai digital twin

L'AI ha accelerato l'adozione del raffreddamento a liquido. È passata da una tecnologia di nicchia unica, implementata principalmente nei laboratori HPC, a un sistema termico chiave per le AI Factory. Secondo una recente ricerca condotta dagli analisti del settore Dell'Oro, il raffreddamento a liquido è destinato a crescere significativamente con l'aumentare della densità dei rack e il liquido diventa la tecnologia dominante per la dissipazione del calore. "Liquid sta passando dalla nicchia alla necessità", ha affermato Alex Cordovil, direttore della ricerca Dell'Oro.<sup>13</sup>

Tuttavia, anche se molta attenzione è stata rivolta all'AI come fattore trainante per l'adozione del raffreddamento a liquido, l'AI può anche essere utilizzata per ottimizzare la progettazione e il funzionamento dei sistemi di raffreddamento a liquido. Man mano che il raffreddamento a liquido diventa sempre più mission-critical, l'AI potrebbe consentire l'emergere di funzionalità "adattive" come il rilevamento di guasti (manutenzione preventiva) prima che si verifichino o il reindirizzamento del fluido sulle fonti di perdite. Le funzionalità adattive avanzate richiedono innovazioni come l'integrazione di sensori nei circuiti di raffreddamento per monitorare temperatura, pressione, qualità del refrigerante e portate. Anche un software specializzato per la gestione dei data center e i servizi digitali associati saranno importanti per fornire funzionalità di manutenzione predittiva.

In futuro potrebbero anche esserci progressi verso una qualche forma di capacità di "auto-riparazione", ma ciò richiederà ulteriori

progressi in materiali intelligenti, potenzialmente metalli liquidi<sup>14</sup>, per consentire autoriparazione (probabilmente non per gravi guasti o danni). L'AI potrebbe anche manifestarsi sotto forma di AI fisica, come i robot autonomi per la manutenzione e l'ispezione delle apparecchiature della catena termica, specialmente nelle aree difficili da raggiungere della struttura.

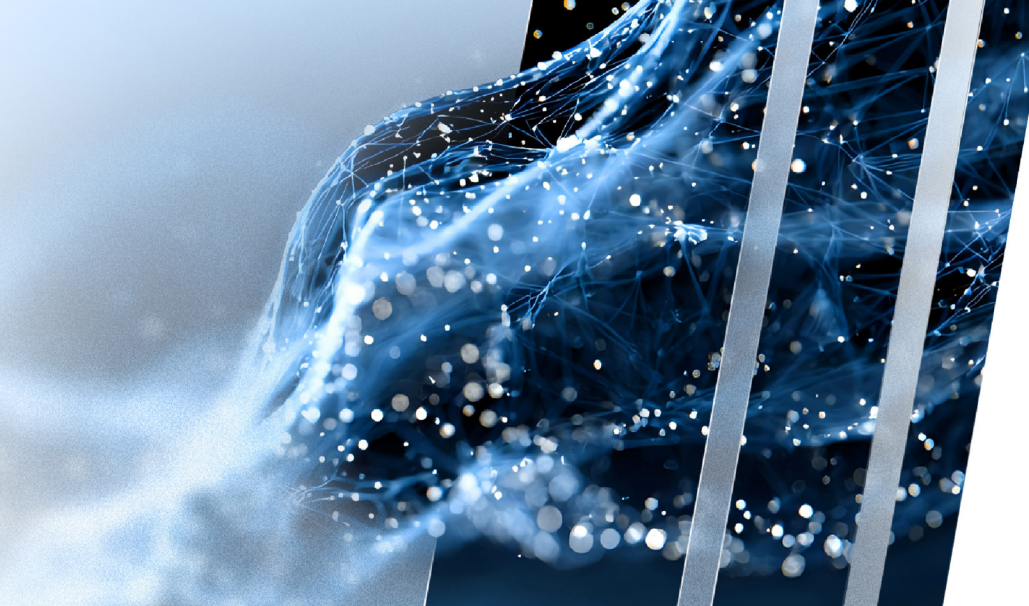
Tuttavia, nonostante i potenziali progressi nell'assistenza adattiva e automatizzata, l'installazione del raffreddamento a liquido può essere un processo complesso. I team dei data center continueranno a richiedere partner di assistenza qualificati per affrontare problemi chiave, come requisiti idraulici, distribuzione del raffreddamento, elementi di progettazione personalizzati, strategie di mitigazione del rischio e l'architettura della soluzione dei sistemi integrati all'interno del circuito liquido.

Guardando al modo in cui la tecnologia di raffreddamento a liquido si evolverà in modo più ampio nei prossimi cinque anni e oltre, potrebbe includere approcci come il cambiamento di fase, diversi tipi di refrigeranti, nonché il potenziale di immersione completa.<sup>15</sup> L'assorbimento fino ad oggi è stato limitato a causa di alcune delle complessità e dei costi coinvolti. Come suggerisce il nome, l'immersione implica l'immersione dei server in un liquido conduttivo, eliminando la necessità di raffreddamento ad aria e ventilatori. L'immersione rimane la forma più pura di raffreddamento a liquido, in termini fisici, ma la sua adozione a lungo termine dipenderà dal superamento delle sfide pratiche e dei costi.

<sup>13</sup> Dell'Oro Group, 2025.

<sup>14</sup> Yu M., Zhang, C., Feng, J., et. Al., 2025. Scienza e ingegneria dei materiali.

<sup>15</sup> Ebermann, H., 2024. Vertiv.



“ La tecnologia di raffreddamento a liquido è in circolazione fin dall'era del mainframe e continua a evolversi in quel periodo. In futuro vedremo un'adozione ancora più diffusa del raffreddamento a liquido, accompagnata da innovazioni tra cui capacità adattive e approcci come l'immersione completa”.

**Nigel Gore**

Vice President,  
High Density & Liquid Cooling,  
Vertiv

## Macro forze

- **Diversificazione del silicio:** i sistemi di raffreddamento a liquido dovranno essere ottimizzati per un'ampia gamma di chip e sistemi di calcolo.
- **Densificazione estrema:** l'aumento delle densità dei rack è uno dei fattori chiave per l'adozione del raffreddamento a liquido rispetto al raffreddamento ad aria tradizionale.

## Segmento interessato

- Hyperscale, AI Factory e colocation di grandi dimensioni. Alcuni siti specifici di proprietà aziendale, come i laboratori HPC accademici e di ricerca.

## Driver

- Le funzionalità adattive possono aumentare l'efficienza e ridurre i tempi di fermo grazie a una gestione predittiva e proattiva.
- Maggiore dissipazione del calore. Il raffreddamento a liquido sfrutta le maggiori capacità di trasferimento termico dell'acqua o di altri fluidi, che sono ordini di grandezza più efficaci rispetto all'uso dell'aria, per raffreddare in modo efficiente i rack ad alta densità.
- Ingombro ridotto. Il raffreddamento a liquido massimizza anche l'utilizzo dello spazio consentendo una maggiore densità all'interno dello stesso ingombro fisico.

## Sfide

- Le capacità e i materiali adattivi e auto-risananti sono ancora molto emergenti.
- Alcune forme di raffreddamento a liquido, come l'immersione bifase, rimangono relativamente di nicchia al di fuori dell'HPC.
- Il raffreddamento tradizionale ad aria, o approcci ibridi, può essere adatto per alcuni requisiti di calcolo accelerati dall'AI aziendale (inferenza AI) a breve e medio termine.

## Tecnologie correlate/esempi

- Sensori integrati intelligenti per il monitoraggio e il rilevamento dei guasti.
- Software di gestione e controllo avanzato.
- Materiali intelligenti per l'autoriparazione.
- Robot autonomi per la manutenzione e la riparazione.

## Azioni suggerite

- Gli operatori che hanno già implementato liquidi devono continuare a monitorare i progressi nelle nuove tecnologie, ma soprattutto gli standard in aree come fluidi e rack/architetti. Gli operatori, principalmente quelli enterprise, che non hanno implementato questa tecnologia dovrebbero monitorare i continui progressi nel raffreddamento ad aria, ma anche la crescente gamma di tecnologie ibride di raffreddamento ad aria e liquido disponibili. È inoltre fondamentale un'analisi approfondita del TCO dei sistemi di raffreddamento a liquido.

## Guardando al futuro: tendenze future attese

- / Variazione quantica e neuromorfica
- / Data center per ambienti estremi
- / AI fisica e robotica
- / Impatto di AGI su scala, progettazione e operazioni
- / Innovazione del silicio e del calcolo

Oltre all'orizzonte a breve termine, sta emergendo un'ulteriore ondata di tecnologie con il potenziale di ridefinire l'infrastruttura digitale. Anche se meno immediate, queste innovazioni potrebbero guidare il cambiamento nel modo in cui i data center vengono alimentati, raffreddati e scalati negli anni a venire.

## Variazione quantica e neuromorfica

Le tendenze tecnologiche che hanno la capacità di riprogettare la progettazione e le operazioni dei data center non sono limitate al lato delle strutture. L'AI e l'AGI sono ovviamente principalmente guidate dall'IT, anche se dipendono dall'alimentazione e dall'innovazione termica. Tuttavia, esistono altre innovazioni lato computing che, sebbene allineate all'AI, potrebbero avere un impatto simile. Oltre all'AI stessa, il quantismo è probabilmente l'area di innovazione del computing più nota, ma anche meno compresa. Analyst Gartner definisce il quantum computing come "un tipo di computing non classico che utilizza bit quantici (qubit) per rappresentare le informazioni, invece degli 0s o 1s utilizzati nei computer classici".<sup>16</sup>

L'impatto specifico del quantum sulla progettazione e sulle operazioni dei data center è ancora in discussione. Al di fuori degli hyperscaler che lavorano per fornire computing quantistico come servizio, è probabile che i sistemi quantici rimangano all'interno di strutture HPC e super computing specializzate almeno nel breve termine. Questi sistemi richiedono tecnologie avanzate di alimentazione e termiche, compreso l'uso di sistemi di raffreddamento criogenici. L'integrazione dei sistemi quantici nei data center che sono già stati rigenerati dal computing accelerato fornirà sfide ma anche opportunità di ulteriore innovazione.

Il computing neuromorfo mira a sviluppare hardware e software di computing con funzioni simili a quelle del cervello umano. L'approccio, che risale agli anni '80, migliora l'efficienza dell'elaborazione riducendo il movimento dei dati e ha applicazioni nella computer vision, nella robotica e nei veicoli autonomi.<sup>17</sup> Ha anche il potenziale per migliorare le prestazioni e l'utilizzo dell'alimentazione. La tecnologia neuromorfica potrebbe anche essere applicata nelle applicazioni edge, riducendo la necessità di servizi cloud distribuiti centralmente in alcuni scenari.

L'integrazione delle unità di calcolo neuromorfiche (NPU) trasformerà i requisiti architettonici dalla capacità statica alla reattività dinamica. Queste unità creano carichi di lavoro "dinamici" altamente volatili che richiedono telemetria granulare della potenza e circuiti di controllo inferiori a millisecondi. Anche se l'elaborazione stessa è efficiente, la risultante integrazione ad alta densità richiederà strategie di raffreddamento localizzate e adattive per gestire efficacemente gli hotspot termici.

<sup>16</sup> Gupta, G., 2024. Gartner.

<sup>17</sup> Vertiv, 2025.

<sup>18</sup> Microsoft, n.d.

<sup>19</sup> Samsung, 2025.

<sup>20</sup> Pollina, E., e Piovaccari, G., 2025. Reuters.

<sup>21</sup> Kelkar, A. e Jansen, C., 2025. McKinsey & Co.

<sup>22</sup> Jyoti, R., Lava, S., Murat, M., et. Al., 2023. IDC.

<sup>23</sup> Davis, S., 2025. Semiconduttore Digest.

## Ambiente estremo data center

Negli ultimi anni, gli operatori dei data center hanno sperimentato implementazioni in ambienti non convenzionali, spesso estremi. Microsoft ha implementato con successo i primi data center subacquei con il suo Progetto Natick<sup>18</sup> e altri hanno seguito questo esempio, in particolare il cluster di data center subacquei in Cina, Highlander. OpenAI e Samsung hanno anche recentemente annunciato piani per le strutture galleggianti.<sup>19</sup> In tutti i casi, queste strutture utilizzano il loro ambiente per ridurre i costi di raffreddamento e gestire il consumo di risorse. Tuttavia, ad oggi, la domanda di questi tipi di strutture è stata limitata, il che significa che questi esempi rimangono valori anomali, agendo in modo efficace come progetto pilota funzionante. Guardando al futuro, la domanda di AI e carichi di lavoro correlati potrebbe guidare la crescita delle strutture sottomarine, sotterranee e persino nello spazio. Questa potrebbe essere una risposta ai crescenti problemi di alimentazione e disponibilità del terreno. L'idea dei data center basati sullo spazio sta passando dal campo della fantascienza a quello delle implementazioni pratiche, anche con le più grandi aziende tecnologiche che prendono sul serio questo concetto. "Questi enormi cluster di formazione saranno meglio integrati nello spazio, perché abbiamo energia solare 24 ore su 24, 7 giorni su 7. Di recente non ci sono nuvole, pioggia e meteo", ha affermato il fondatore di Amazon Bezos.<sup>20</sup> Anche il fondatore di Tesla Elon Musk ha fatto proiezioni simili. Nonostante questo slancio, i costi costituiranno un problema significativo che dovrà essere superato per raggiungere una scala reale.



## AI fisica e robotica

L'AI fisica si riferisce all'uso dei sistemi di AI per interagire con il mondo reale, da fotocamere intelligenti, veicoli autonomi e persino robot. Il connubio tra questi sistemi e il software avanzato di gestione dei data center e i servizi digitali ha il potenziale di promuovere ulteriori innovazioni nella progettazione e nelle operazioni dei data center (soprattutto se in linea con i progressi in AGI). Da oltre un decennio si assiste a un graduale spostamento verso il concetto di data center "acceso" o non presidiato per determinate classi di strutture. L'uso di software di gestione remota e di servizi light-touch consente di ridurre al minimo l'intervento umano. La prospettiva di progressi nell'AI fisica e nella robotica potrebbe accelerare questo processo. Secondo McKinsey, l'AI sta promuovendo lo sviluppo di robot generici in grado di completare attività diverse e non correlate in diversi contesti.<sup>21</sup> Una struttura che richiede meno personale umano dedicato, tranne forse in circostanze eccezionali, avrebbe un aspetto molto diverso anche dalle strutture più avanzate di oggi. Tutto, dalla temperatura allo spazio del corridoio e all'altezza del soffitto, alle misure di sicurezza, è in qualche misura basato sull'accesso umano. La sostituzione degli esseri umani con sistemi fisici di AI, compresi robot compatti, potrebbe accelerare ulteriormente la densificazione della progettazione dei data center basata sull'AI.

## Impatto di AGI su scala, progettazione e operazioni

L'intelligenza generale artificiale (AGI) - machine intelligence a livello umano - è un obiettivo chiave di molti laboratori di AI. Il tempo necessario per emergere, e in quale forma, è soggetto a dibattito, ma potrebbero essere necessari diversi anni. Secondo IDC, entro il 2028 il 30% delle aziende del G2000 sperimenterà sistemi AGI (attualmente speculativi) che avranno un effetto trasformativo sulla società.<sup>22</sup> Ciò richiederà probabilmente il continuo investimento in AI Factory su scala gigawatt per la formazione, anche se potrebbero emergere nuovi approcci in quel periodo. Oltre a promuovere la costruzione continua di data center, AGI potrebbe anche avere un impatto sulle operazioni dei data center. Se le funzionalità simili ad AGI potessero essere integrate nei sistemi software di gestione e controllo dei data center, ciò potrebbe migliorare ulteriormente le prestazioni, la resilienza e l'efficienza. Ciò richiederebbe anche l'implementazione di rigorosi protocolli di sicurezza.

## Calcola, innovazione del silicio

In linea con la forza macro della diversificazione del silicio e con la tendenza specifica del cambiamento di passo quantico e neuromorfo, stanno emergendo anche altre forme di computing e innovazione del silicio che potrebbero avere un impatto significativo sull'infrastruttura del data center. Una di queste aree è costituita dai cosiddetti chip in scala di wafer. Questi acceleratori sono ordini di grandezza superiori alle CPU o GPU tradizionali. Secondo i ricercatori<sup>23</sup>, potrebbero consentire ai modelli di AI di funzionare in modo più rapido ed efficiente rispetto ai progetti di chip tradizionali riducendo la quantità di comunicazioni chip-to-chip. L'impatto specifico sull'infrastruttura critica del data center sarebbe quello di consentire AI Factory più compatte con densità estremamente elevate e raffreddamento a liquido integrato. Anche nuovi fattori di forma a livello di rack possono evolversi con il potenziale di progetti modulari ottimizzati per wafer. Con la maturazione della tecnologia emergeranno maggiori dettagli.



## Riepilogo

Gli impatti dell'AI stanno diventando sempre più tangibili: rapida trasformazione dovuta a una maggiore densificazione, rapida espansione su scala gigawatt, diversificazione del silicio e l'emergere dei data center come unità di calcolo. Le implicazioni per i data center si ripercuotono su progettazione, alimentazione, thermal management, sistemi IT, servizi e software.

Vertiv prevede che le organizzazioni dovranno affrontare queste sfide adottando tecnologie come Digital Twin, generazione di energia in loco, distribuzione DC ad alta tensione, raffreddamento a liquido avanzato e nuovi fattori di forma per l'implementazione dell'AI. Inoltre, Vertiv continua a impegnarsi a consentire agli stakeholder di prevedere le prossime novità, fornendo una prospettiva sulle tecnologie emergenti, guidando decisioni di investimento più intelligenti e supportando lo sviluppo di infrastrutture resilienti e pronte per il futuro.

**Vertiv Frontiers** mira a fornire alla comunità dei data center le conoscenze e le prospettive necessarie per navigare in un mondo definito dall'AI, dal computing avanzato e da innovazioni senza precedenti.

Segui **Vertiv Frontiers** su:  
[www.vertiv.com/frontiersreport](http://www.vertiv.com/frontiersreport)

Per ulteriori informazioni sulle ultime innovazioni nell'infrastruttura digitale critica a supporto dell'AI, visita il **Vertiv AI Hub** all'indirizzo:  
[www.vertiv.com/en-us/solutions/ai-hub/](http://www.vertiv.com/en-us/solutions/ai-hub/)

# Riferimenti

1. Bizo, D. (2024). Uptime Institute Intelligence. *L'AI attiverà una revisione radicale dell'elettrificazione dei data center*. <https://www.scribd.com/document/932099216/AI-to-Trigger-Radical-Overhaul-of-Data-Center-Electrification>.
2. Butler, G. (2024). Dinamica del data center. *Google testa i robot per la gestione dei dischi rigidi e delle apparecchiature dei data center*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/google-tests-robots-for-managing-data-center-hard-drives-and-equipment/>.
3. Davis, S. (2025). Semiconduttore Digest. *Gli acceleratori su scala di wafer potrebbero ridefinire l'AI*. <https://www.semiconductor-digest.com/wafer-scale-accelerators-could-define-ai/>.
4. Gruppo Dell'Oro. (2025). Secondo Dell'Oro Group, la gestione termica e l'armadio PDU e busway guidano la crescita; il raffreddamento a liquido è destinato a quintuplicarsi entro il 2029, l'integrazione dell'AI porterà il mercato delle infrastrutture fisiche dei data center a 63,1 miliardi di dollari entro il 2029. <https://www.delloro.com/news/ai-build-out-to-propel-data-center-physical-infrastructure-market-to-63-1-billion-by-2029/>.
5. Ebermann, H. (2024). Vertiv. *Sistemi di raffreddamento a immersione: Vantaggi e strategie di implementazione per data center IA e HPC*. <https://www.vertiv.com/en-emea/about/news-and-insights/articles/blog-posts/advancing-data-center-performance-with-immersion-cooling/>.
6. EPRI. (2024). *Intelligenza energetica: Analisi dell'intelligenza artificiale e del consumo energetico dei data center*. <https://www.epri.com/research/products/000000003002028905>.
7. Gartner. (2025). *Gartner prevede che la spesa IT mondiale crescerà del 9,8% nel 2026, superando per la prima volta i 6.000 miliardi di dollari*. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-10-22-gartner-forecasts-worldwide-it-spending-to-grow-9-point-8-percent-in-2026-exceeding-6-trillion-dollars-for-the-first-time>.
8. Gupta, G. (2024). Gartner. *Che cos'è il quantum computing? E perché i dirigenti dovrebbero preoccuparsi*. <https://www.gartner.com/en/articles/quantum-computing>.
9. IDC. (2024). *Secondo una nuova guida alla spesa IDC, la spesa mondiale per l'intelligenza artificiale dovrebbe raggiungere i 632 miliardi di dollari nel 2028*. <https://my.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52530724>.
10. Jyoti, R., Lava, S., Murat, M., Gens, A., Iisaka, N., Schubmehl, D., Ward-Dutton, N., Hamel, J., Arcaro, M., Kuppaswamy, R., Sutherland, H., Cooke, J., Giri, D. e Lange, K. (2023). IDC. *IDC FutureScape: Previsioni globali sull'intelligenza artificiale e l'automazione per il 2024*. [https://www.idc.com/wp-content/uploads/2025/03/IDC\\_FutureScape\\_Worldwide\\_Artificial\\_Intelligence\\_and\\_Automation\\_2024\\_Predictions\\_-\\_2023\\_Oct.pdf](https://www.idc.com/wp-content/uploads/2025/03/IDC_FutureScape_Worldwide_Artificial_Intelligence_and_Automation_2024_Predictions_-_2023_Oct.pdf).
11. Kelkar, A. e Jansen, C. (2025). McKinsey & Co. *Un salto nell'automazione: La nuova tecnologia dei robot per uso generico*. <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/a-leap-in-automation-the-new-technology-behind-general-purpose-robots>.
12. Korst, J., Puntoni, S. e Tambe, P. (2025). Wharton Human AI Research, Università della Pennsylvania. *Report sull'adozione dell'AI 2025: La generazione dell'AI accelera l'azienda*. [https://ai.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2025/10/2025-Wharton-GBK-AI-Adoption-Report\\_Full-Report.pdf](https://ai.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2025/10/2025-Wharton-GBK-AI-Adoption-Report_Full-Report.pdf).
13. Microsoft (n.d.). *Project Natick Fase 2*. <https://natick.research.microsoft.com/>.
14. Noffsinger, J., Patel, M., e Sachdeva, P. (2025). McKinsey & Co. *Il costo del calcolo: Una corsa da 7.000 miliardi di dollari per scalare i data center*. <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/the-cost-of-compute-a-7-trillion-dollar-race-to-scale-data-centers>.
15. Pollina, E. e Piovaccari, G. (2025). Reuters. *Data center nello spazio? Jeff Bezos afferma che è possibile*. <https://www.reuters.com/business/energy/data-centres-space-jeff-bezos-thinks-its-possible-2025-10-03/>.
16. Samsung. (2025). *Samsung e OpenAI annunciano una partnership strategica per accelerare i progressi nell'infrastruttura IA globale*. <https://news.samsung.com/global/samsung-and-openai-announce-strategic-partnership-to-accelerate-advancements-in-global-ai-infrastructure>.
17. Shehabi, A., Newkirk, A., Smith, S., Hubbard, A., Lei, N., Siddik, M., Holecek, B., Koomey, J., Masanet, E., e Sartor, D. (2024). Lawrence Berkeley National Laboratory. *Report sul consumo energetico dei data center negli Stati Uniti del 2024*. <https://doi.org/10.71468/P1WC7Q>.
18. Smith, M. (2025). Vertiv. *Prepararsi alla prossima evoluzione energetica con HVDC*. <https://www.vertiv.com/en-us/about/news-and-insights/articles/blog-posts/preparing-for-the-next-energy-evolution-with-hvdc/>.
19. Stansbury, M., Marchese, K., Hardin, K., e Amon, C. (2025). Deloitte. *L'infrastruttura statunitense può stare al passo con l'economia dell'AI?* <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/data-center-infrastructure-artificial-intelligence.html>.
20. Vertiv. (2025). *Dalla simulazione alla realtà: I Digital Twin basati sull'intelligenza artificiale ridefiniscono il design*. <https://www.vertiv.com/en-emea/about/news-and-insights/articles/blog-posts/from-simulation-to-reality-ai-driven-digital-twins-define-design/>.
21. Vertiv. (2025). *L'edge dell'intelligenza: In che modo il computing neuromorfico sta cambiando l'AI*. <https://www.vertiv.com/en-emea/about/news-and-insights/articles/educational-articles/the-edge-of-intelligence-how-neuromorphic-computing-is-changing-ai/>.
22. Yu, M., Zhang, C., Feng, J., Sun, Q., Yang, C., Zeng, X., Chu, P. e Tian, Y. (2025). *Scienza e ingegneria dei materiali. Alchimia dei metalli liquidi: Sbloccare materiali a base di gallio auto-riparanti per l'elettronica di nuova generazione*. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2025.101073>.



# *Frontiers*

**Vertiv.it** | Vertiv S.r.l., Via Leonardo da Vinci 16-18, 35028 Piove di Sacco (PD), Italia, P.IVA IT00230510281

© 2025 Vertiv Group Corp. Tutti i diritti riservati. Vertiv™ e il relativo logo sono marchi o marchi registrati di Vertiv Group Corp. Tutti gli altri nomi e loghi menzionati sono nomi commerciali, marchi o marchi registrati dei rispettivi titolari. Anche se sono state adottate tutte le precauzioni per garantire la precisione e la completezza di questa documentazione, Vertiv Group Corp. declina qualsiasi responsabilità in generale e in relazione a eventuali danni risultanti dall'uso di queste informazioni, oltre che in relazione a eventuali errori e omissioni. Le specifiche, gli sconti e le altre offerte promozionali sono soggetti a modifiche a sola discrezione di Vertiv, previa notifica.