



AI e HPC un circolo virtuoso

Workshop INFN 2025

Ing. Maurizio Giordano

Solution Architect and KAN for strategic Account



Perché l'AI ha bisogno dell'HPC?

L'addestramento dei modelli di IA richiede enormi quantità di dati e potenza di calcolo.

Gli algoritmi di machine learning e deep learning possono impiegare giorni o settimane per essere addestrati, a meno che non si usi una infrastruttura HPC.

HPC per l'AI e AI per l'HPC:

HPC per AI : l' HPC consente di addestrare modelli IA più velocemente e su scala maggiore.

AI per l'HPC: l'IA può ottimizzare le prestazioni dei supercomputer, prevedere errori o gestire il carico di lavoro in modo intelligente.

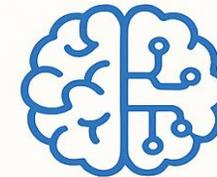
Dunque possiamo affermare che l'AI e l'HPC si potenziano a vicenda.

L'HPC permette all'IA di crescere in potenza e capacità, mentre l'IA rende l'HPC più efficiente e intelligente.

Insieme, aprono la strada a innovazioni prima impensabili.

Intelligenza Artificiale e HPC: un legame sempre più forte

Cos'è l'AI
(Intelligenza Artificiale)



Sistemi capaci di apprendere, ragionare e prendere decisioni

Cos'è l'HPC
(High Performance Computing)

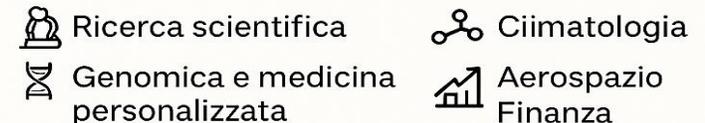


Supercomputer o cluster che elaborano calcoli complessi

Perché l'AI ha bisogno dell'HPC

- Addestramento dei modelli AI
- Gestione di Big Data
- Simulazioni AI-driven

Settori dove AI + HPC fanno la differenza



AI per l'HPC: un circolo virtuoso

- Ottimizzazione delle risorse
- Manutenzione predittiva
- Efficienza energetica

Progettare una infrastruttura per l' HPC

Progettare un'infrastruttura per ospitare un sistema HPC (High Performance Computing) dedicato all'AI richiede un bilanciamento tra potenza di calcolo, efficienza energetica, raffreddamento e connettività.

📦 Hardware specializzato per AI GPU e/o TPU di ultima generazione (es. NVIDIA H100, AMD Instinct MI300, Google TPUv5) Necessarie per l'addestramento e l'inferenza di modelli AI. CPU ad alte prestazioni (es. AMD EPYC, Intel Xeon) per orchestrare i task e gestire I/O. RAM molto abbondante e veloce (512 GB - diversi TB a nodo). Storage ad alta velocità: SSD NVMe + parallel file systems (es. Lustre, GPFS) per il training su big data. Capacità anche nell'ordine dei petabyte. 2.

🌐 Rete ultra-veloce e bassa latenza

Interconnessione interna tra nodi HPC tramite: InfiniBand HDR/NDR/NVLink/NVSwitch per collegamento diretto tra GPU. Rete 100G/400G verso il mondo esterno per carico/scarico dati. 3.

❄️ **Raffreddamento avanzato**

Le GPU AI consumano molto (>700W ciascuna).

Necessario un sistema di: Liquid cooling (raffreddamento a liquido diretto o immersione).

Monitoraggio termico in tempo reale per evitare colli di bottiglia o shutdown

⚡ **Efficienza energetica e alimentazione**

Alimentazione ridondata (UPS, generatori).

Design conforme a standard di efficienza (es. PUE < 1.3).

Possibilmente alimentazione da fonti rinnovabili (solare, eolico) se AI = sostenibilità.

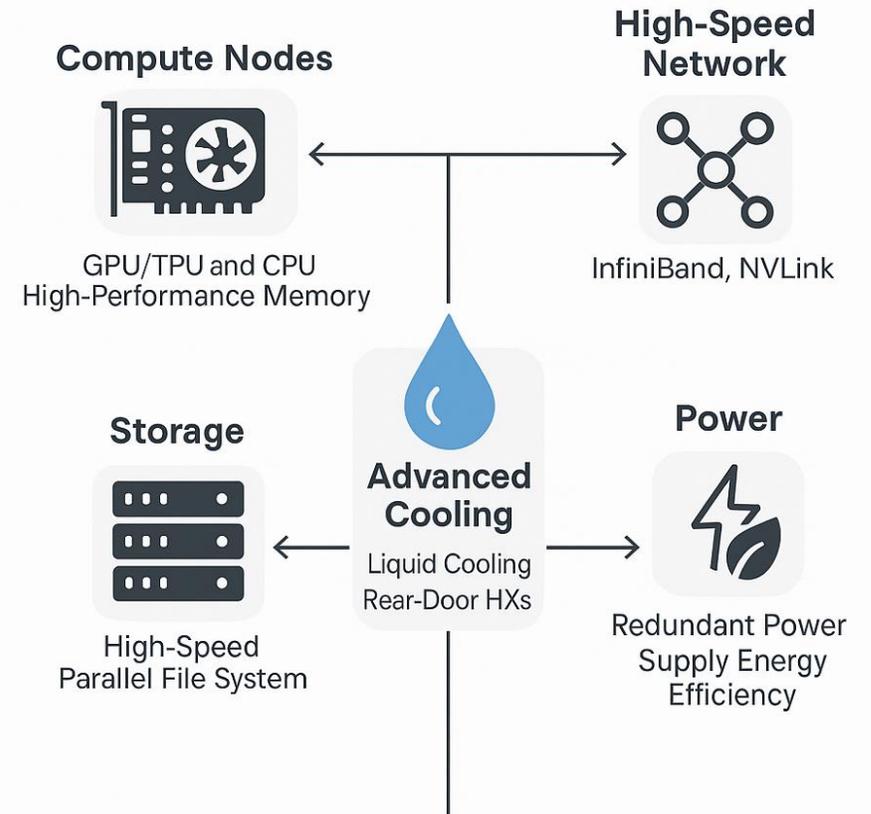
🏢 **Spazi fisici e sicurezza**

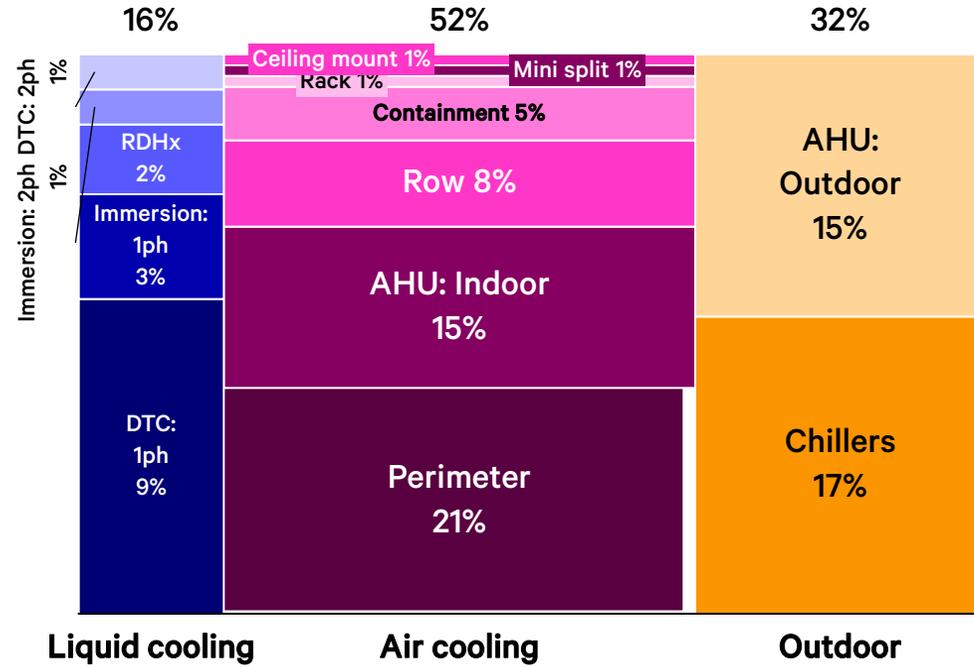
Sala server con: Pavimento flottante - Sistemi anti-incendio e controllo accessi biometrici.

Area separata per sviluppo, test e gestione remota.

Un'infrastruttura per AI + HPC non è solo potente: è equilibrata, raffreddata intelligentemente, connessa a velocità estreme, e pensata per il lungo termine.

Infrastructure for AI HPC



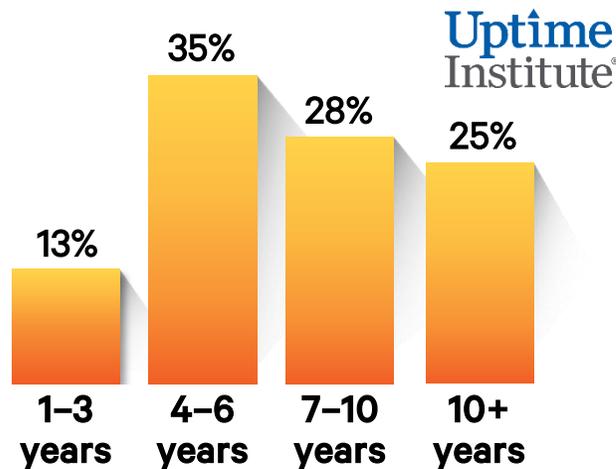


Il raffreddamento a liquido rappresenta già **un settimo** dell'intero mercato del raffreddamento dei data center e si prevede che entro il 2027 diventerà un terzo del totale.

Il raffreddamento a liquido non è una tecnologia del futuro.

Si prevede che il raffreddamento a liquido diventerà **più importante dell'aria** come tecnologia di raffreddamento primaria per i data center più grandi. Acquisirà importanza senza sostituire il raffreddamento ad aria.

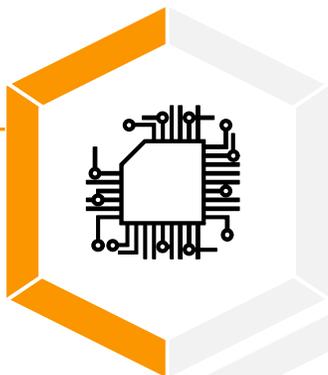
È già disponibile e si prevede che la sua adozione continuerà a crescere negli anni a venire.



TDP Thermal Design Power

I chip hanno un TDP superiore a 700-800 W?

Il raffreddamento ad aria inizia a essere inefficiente o non riesce a raccogliere il calore per i chip con potenza superiore a 700-800 W. Il flusso d'aria e il costo dei materiali per i dissipatori di calore che estraggono il calore dall'aria diventano proibitivi.



La regola empirica di 40-60 kW per rack richiederà il passaggio a sistemi a liquido. I requisiti di flusso d'aria per soddisfare le esigenze di sola aria sarebbero troppo costosi.

Le densità dei rack sono superiori a 40-60 kW per rack?

Rack density



IT compatibility

L'IT è stato progettato o adattato al raffreddamento a liquido?

Una volta installate le piastre di raffreddamento e rimossi i dissipatori di calore, il server non può più essere raffreddato esclusivamente ad aria.



Gli operatori di data center possono iniziare a sperimentare il raffreddamento a liquido in piccoli lotti per prepararsi a quando questa tecnologia diventerà inevitabile.

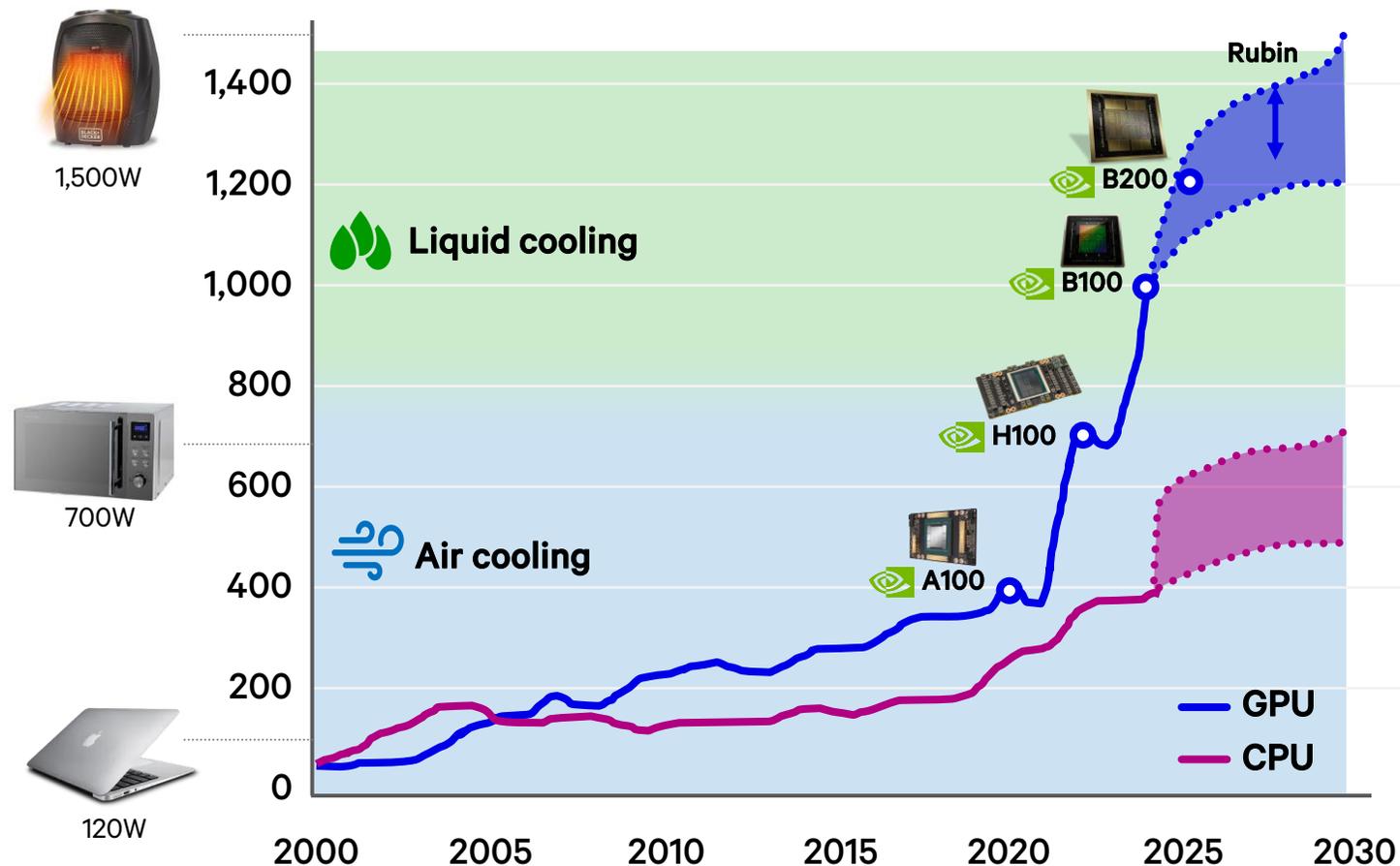
È previsto che il data center passi presto al raffreddamento a liquido?

Readiness

Quando avrai bisogno del raffreddamento a liquido nella tua data hall? Sono quattro i fattori chiave che stanno spingendo verso il raffreddamento a liquido in questo momento.

L'elevato TDP (Thermal Design Power) dei chip AI è un fattore chiave che spinge all'adozione della tecnologia di raffreddamento a liquido.

Previsione del consumo energetico di CPU e GPU Thermal Density Power - TDP (watts)



Oltre i 700-800 W di TDP per chip, il raffreddamento a liquido diventa rapidamente una necessità.

Anche tra i server ad alte prestazioni commercializzati per l'intelligenza artificiale, i modelli continueranno a essere un mix di raffreddamento ad aria e a liquido nel prossimo futuro.

Anche tra i server di fascia alta destinati ai carichi di lavoro basati sull'intelligenza artificiale, non tutti i sistemi IT sono compatibili con il raffreddamento a liquido direct-to-chip.

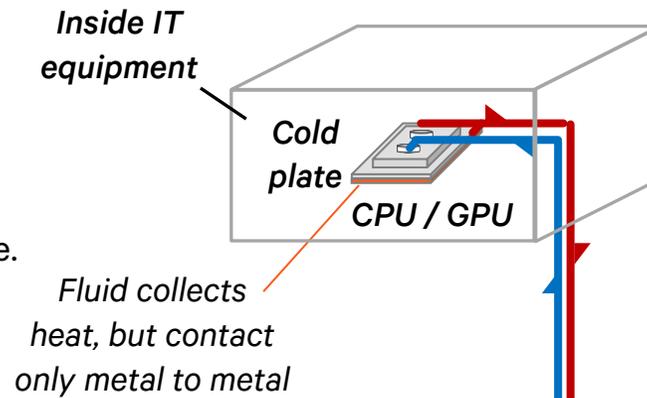
Alcuni esempi di marchi leader, aggiornati a settembre 2024:

	 Compatibile con il raffreddamento ad aria standard	 Compatibile con il raffreddamento a liquido standard
	DGX H100  8U 10.2kW	A100 for PCIe single slot 
	PowerEdge XE9680  6U 10.8kW	PowerEdge XE9640 ⁽¹⁾  2U 4.5kW
	ThinkSystem SD630 V2  2U 2.9kW	ThinkSystem SD650-N V3  1U 2.5kW
	ProLiant DL380 Gen11 	ProLiant DL325 Gen11 
	GPU SuperServer 821GE-TNHR  8U 6.5kW	GPU SuperServer 421GE-TNHR2-LCC  4U 6.5kW

(1) Dell has announced their new liquid-cooled server XE9680L in May-2024, but product is not available as of yet.

Cold plate

- ✓ Metallo altamente conduttivo a contatto con le apparecchiature IT, perforato da microcanali che consentono al fluido di passare e raccogliere il calore.
- ✓ Considerevole varietà di design.
- ✓ Critico, con poco spazio per la ridondanza.

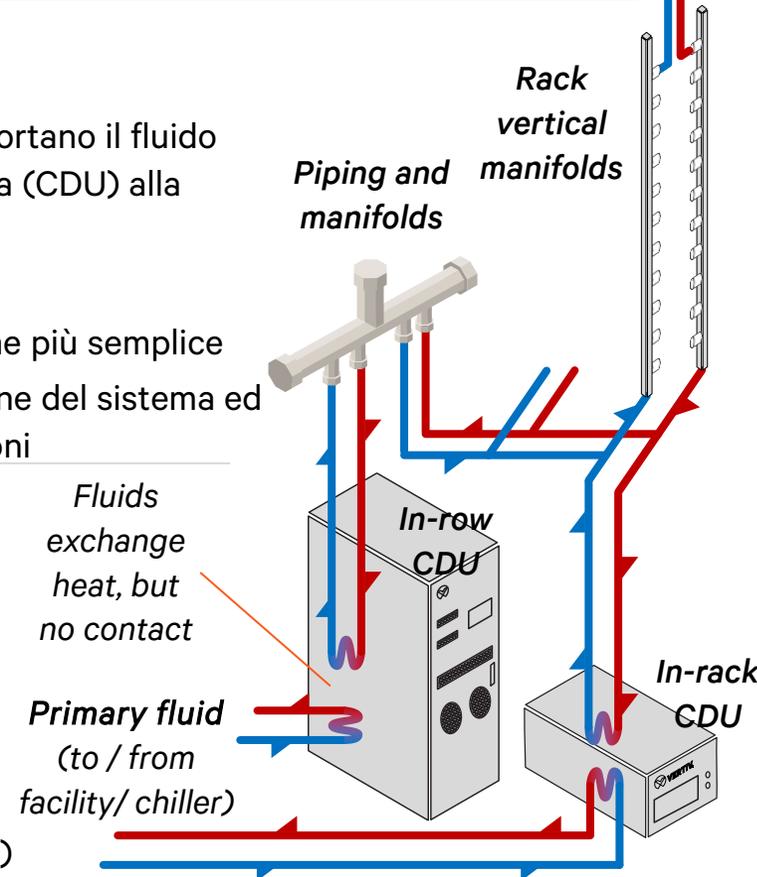


Secondary fluid network

- ✓ Tubazioni, tubi flessibili e collettori che trasportano il fluido secondario dall'unità di controllo centralizzata (CDU) alla piastra fredda
- ✓ Circuito chiuso con carico di fluido minimo
- ✓ Dotati di attacchi rapidi per una manutenzione più semplice
- ✓ Requisito per la capacità di gestire la pressione del sistema ed essenziale per evitare perdite e contaminazioni

Coolant distribution unit

- ✓ Calore proveniente dalle piastre fredde trasferito al circuito del fluido primario
- ✓ Ruolo cruciale nel controllo della portata, della pressione del sistema e della filtrazione
- ✓ Ridondanza garantita con più pompe e collegamento a un gruppo di continuità (UPS)



Il raffreddamento a liquido diretto sul chip introduce tre nuove apparecchiature essenziali nella sala server.

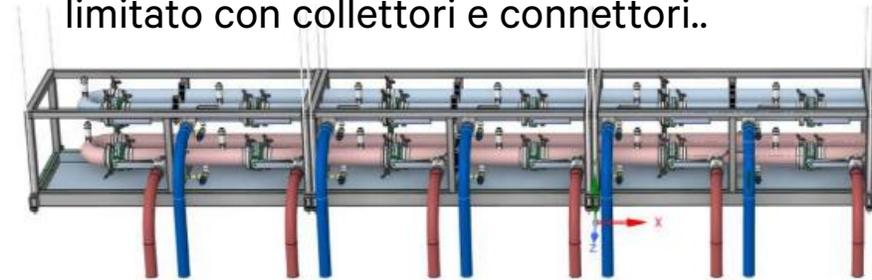
I collettori e le tubazioni nelle reti di fluidi secondari sono **componenti critici**, parte delle soluzioni di raffreddamento a liquido.

- ✓ Costruito con materiali non reattivi per **prevenire la corrosione e la degradazione dei fluidi** (spesso di grado alimentare o medicale).
- ✓ Progettato per basse **cadute di pressione** e distribuzione uniforme del flusso.
- ✓ Rilevamento delle perdite, **espandibilità e facilità di installazione/manutenzione** sono fondamentali.



In-rack manifolds

- ✓ Distribuzione dei fluidi nel rack collegata ai server tramite tubi flessibili o collegamento diretto.
- ✓ Tipi e dimensioni delle connessioni determinate sia dalle piastre di raffreddamento che dai collettori di riga.
- ✓ Spazio nella parte posteriore del rack limitato con collettori e connettori..



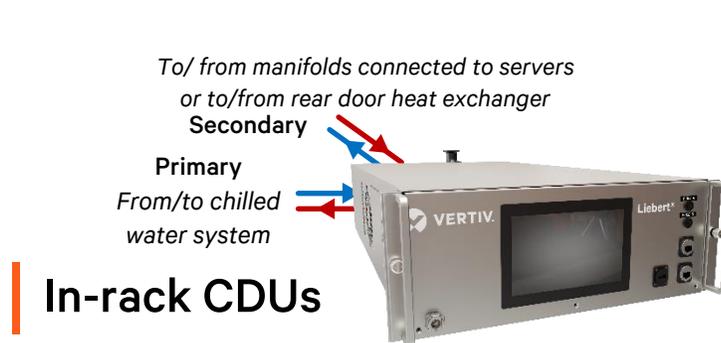
In-row manifolds

- ✓ Distribuzione di fluidi che collega più rack alle unità di elaborazione dei dati.

Tubi e collettori "semplici", ma la criticità delle SFN richiede elevata ingegneria e competenze di installazione e funzionamento.

Le CDU sono il cuore pulsante dei sistemi di raffreddamento a liquido: raccolgono il calore dai SFN e lo trasferiscono ai circuiti del fluido primario.

- ✓ Componente critico che distribuisce il refrigerante all'intero sistema tramite la rete SFN alle piastre di raffreddamento.
- ✓ Intelligenza nella soluzione di raffreddamento che controlla le portate, garantendo portate e temperature di ingresso costanti all'IT con monitoraggio e controlli integrati.
- ✓ Filtrazione per l'estrazione delle impurità dalla rete SFN.
- ✓ Pompa e alimentazione sono punti chiave di ridondanza nella rete di fluidi secondari (piastra di raffreddamento e collettori sono spesso singoli punti di guasto).



In-rack CDUs

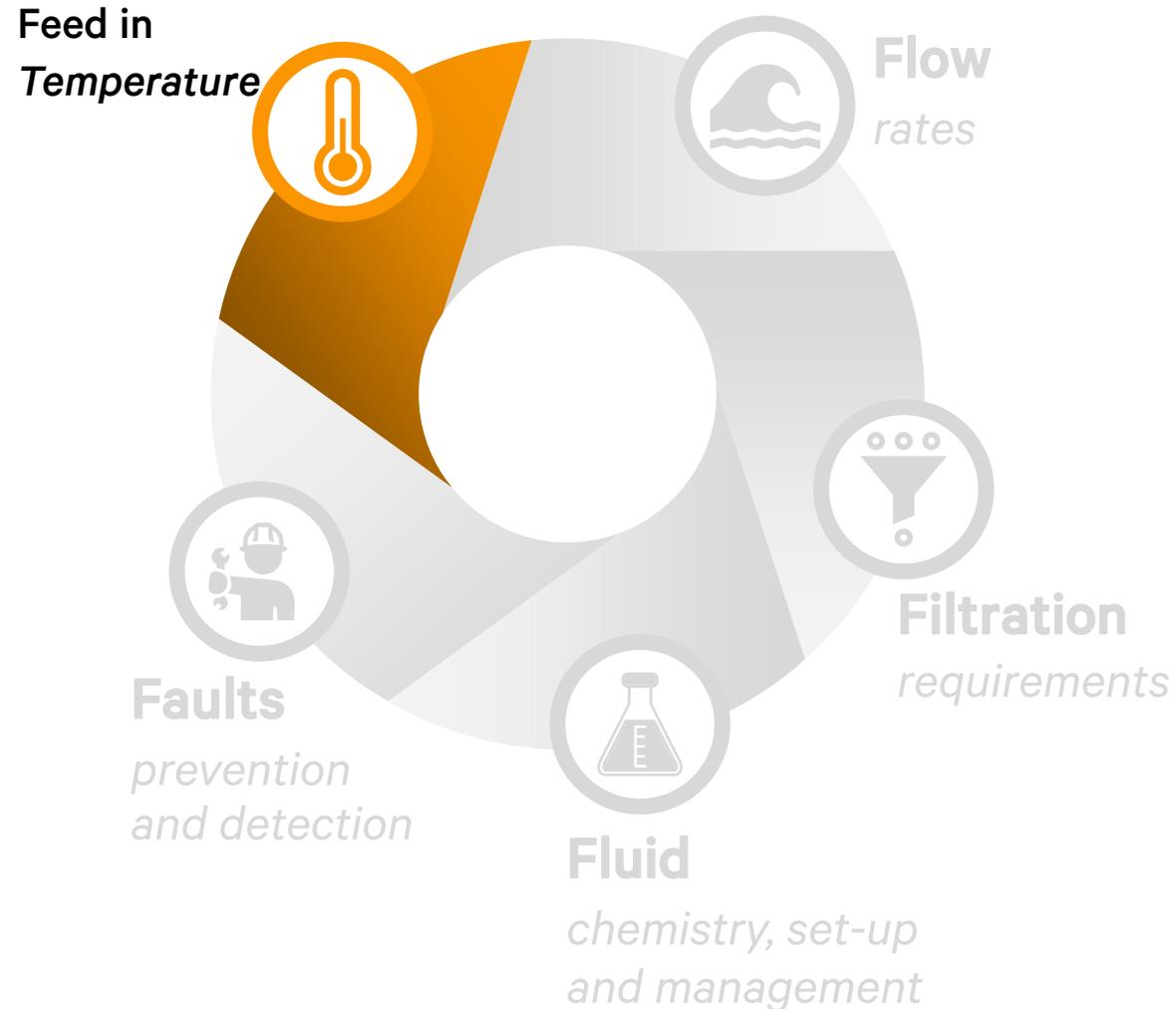
- ✓ Progettato per carichi più piccoli o per scale-up modulari.
- ✓ In grado di contenere le velocità di scoppio in caso di guasti.

In-row CDUs

- ✓ Applicazioni più grandi con CDU in grado di alimentare il liquido in più rack



Per progettare e gestire un sistema di raffreddamento a liquido è necessario conoscere le **5F del raffreddamento a liquido.**



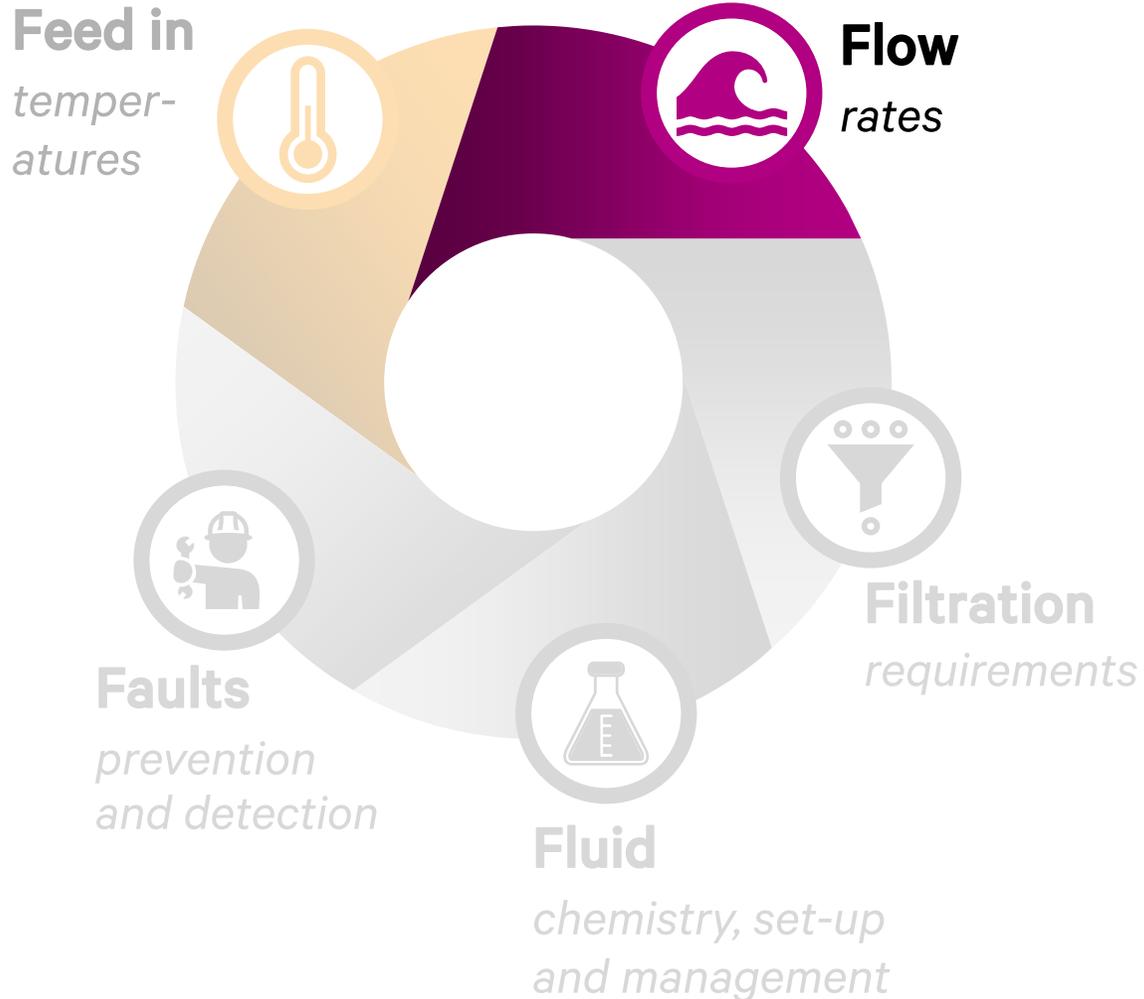
- ✓ Le **temperature di alimentazione** possono variare notevolmente a seconda del produttore del chip o del server:

32°C feed in temperature (or maybe higher)¹

25-45°C feed in temperature²

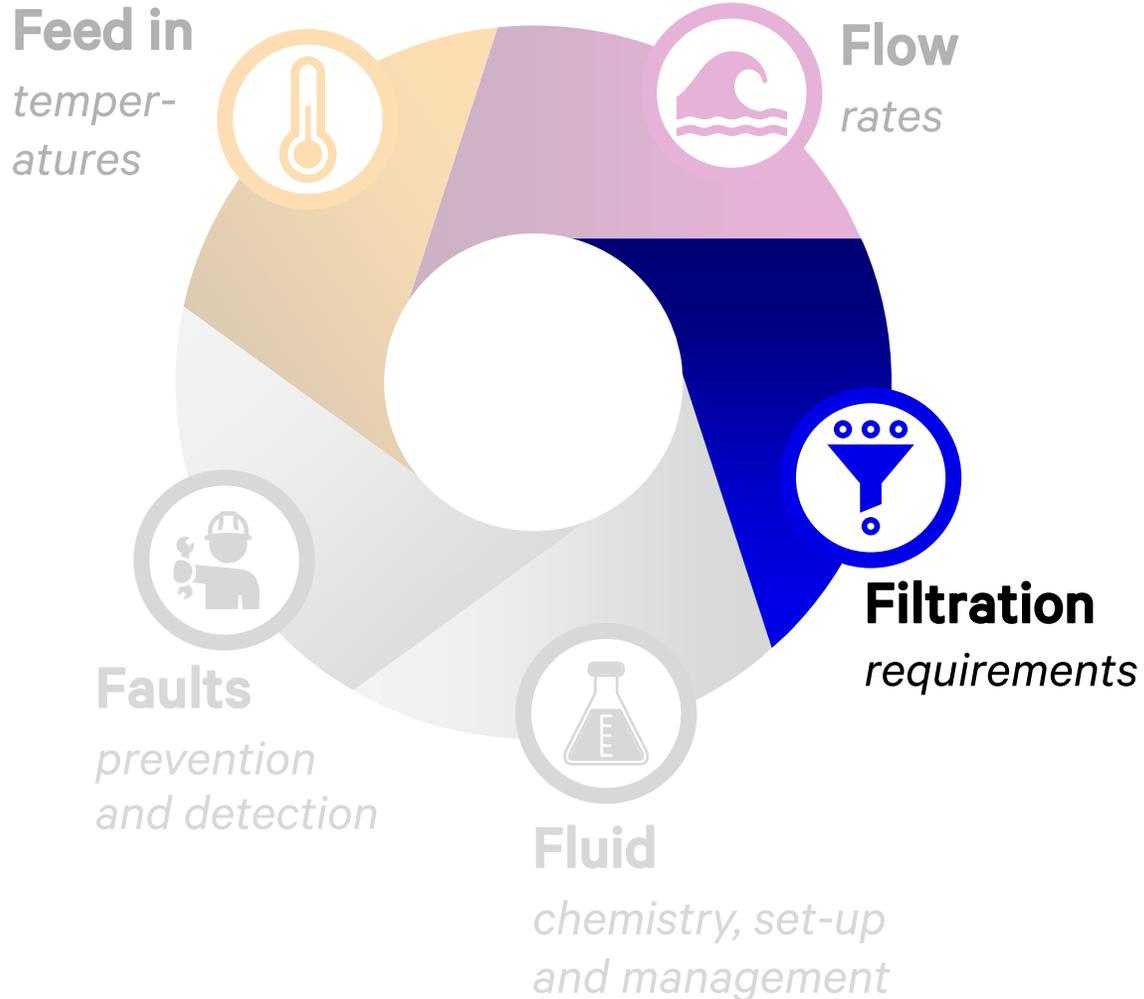
- ✓ È necessario evitare temperature molto basse, altrimenti aumenta il rischio di condensazione del vapore acqueo e di danneggiamento delle apparecchiature IT.
- ✓ Le CDU controllano lo scambio di calore tra le reti di fluidi primarie e secondarie e garantiscono una temperatura costante nell'alimentazione delle piastre fredde, anche se i ΔT variano nel tempo per adattarsi a diversi livelli di carico.

Per progettare e gestire un sistema di raffreddamento a liquido è necessario conoscere le **5F del raffreddamento a liquido.**

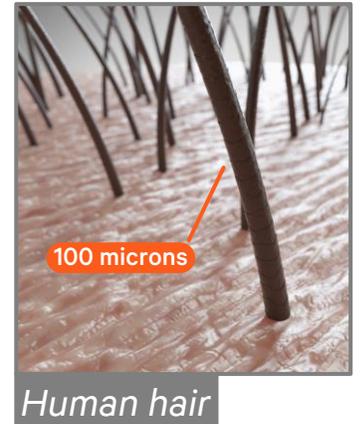


- ✓ Le unità di controllo centralizzato (CDU) sono fondamentali per il controllo dei flussi di fluidi primari e secondari.
- ✓ Il fluido secondario deve essere mantenuto a portata costante a temperatura costante di ingresso IT, progettato per estrarre calore dalle piastre fredde al massimo carico.
- ✓ Il fluido primario ha una portata variabile in base alla quantità di calore da scambiare, regolata all'aumentare della temperatura nella CDU.
- ✓ Controllo del flusso applicato con fluido secondario ΔP e monitorato per garantire che le cadute di pressione non siano causate da perdite nel sistema.
- ✓ Flusso critico per la missione con ridondanza della pompa all'interno della CDU e ridondanza dell'alimentazione.

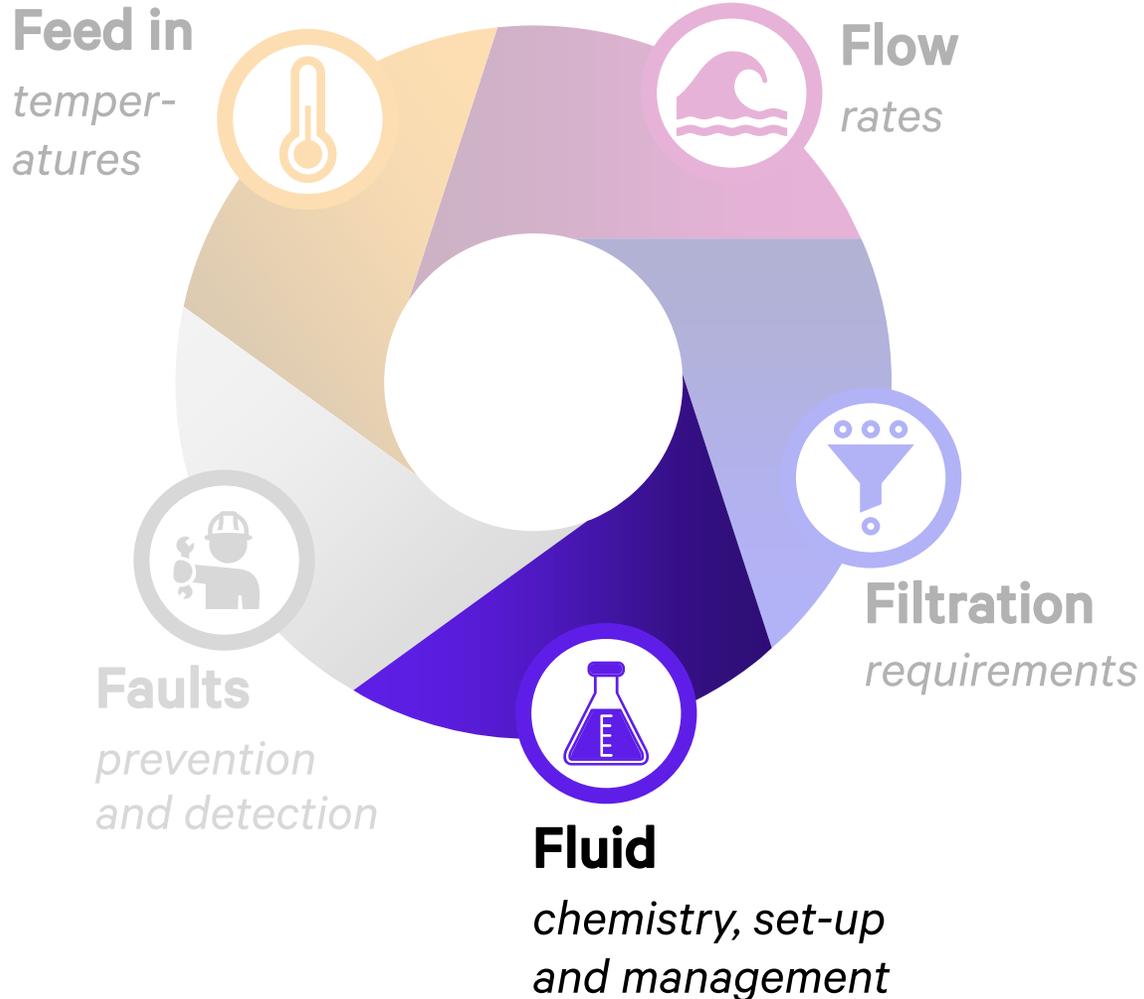
Per progettare e gestire un sistema di raffreddamento a liquido è necessario conoscere le **5F del raffreddamento a liquido.**



- ✓ Il refrigerante scorre attraverso microcanali in piastre fredde che possono raggiungere una larghezza di 27 micron.
- ✓ Piastre fredde sporche possono ostruire la regolazione del flusso o arrestare le apparecchiature IT, aumentando i costi di manutenzione.
- ✓ La filtrazione deve essere inferiore alla dimensione del canale della piastra fredda (la progettazione empirica converge verso 25 micron).
- ✓ La filtrazione continua presso la CDU è fondamentale per mantenere il sistema pulito dalle impurità.



Per progettare e gestire un sistema di raffreddamento a liquido è necessario conoscere le **5F del raffreddamento a liquido**.



- ✓ La corretta composizione chimica del fluido e il fornitore sono decisioni fondamentali fin dalle prime fasi di progettazione: modificare la strategia del fluido è costoso e richiede spurgo e decontaminazione.
- ✓ Il fluido crea una notevole complessità nella messa in servizio dell'intera soluzione e di ciascun server, inclusi il circuito del fluido di prova, il lavaggio per rimuovere le impurità e l'eliminazione ciclica delle bolle d'aria dal sistema.
- ✓ Il fluido richiede notevole attenzione durante tutto il suo ciclo di vita per garantirne buone condizioni: test periodici di pH, aspetto visivo, concentrazione di inibitore e livelli di contaminanti.
- ✓ Tutti i fluidi refrigeranti necessitano di stoccaggio e smaltimento specifici e la loro movimentazione richiede DPI adeguati.

Opzioni di fluido più comuni per il raffreddamento diretto al chip monofase

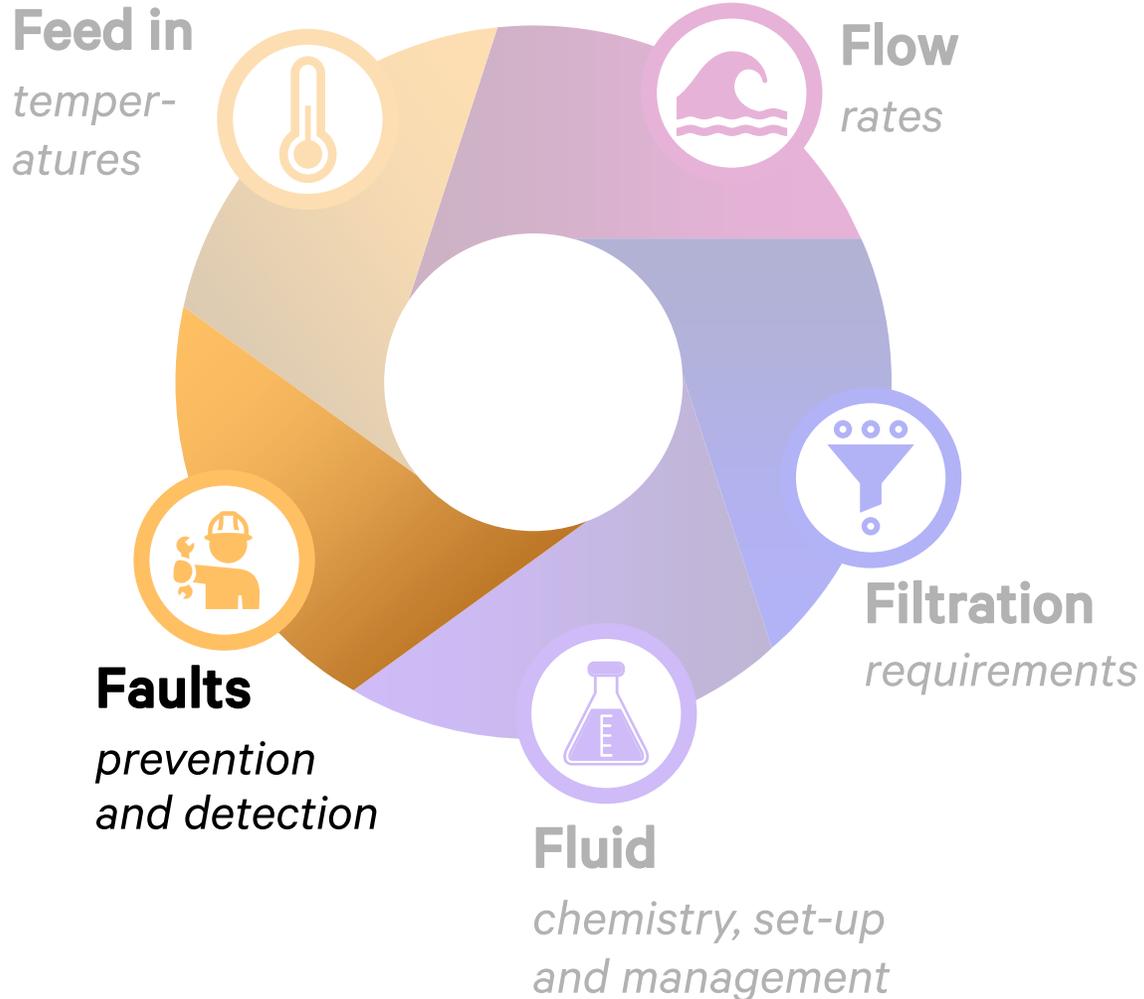
	PG-25	PG-55	Treated water	Dielectric fluids
Specific heat	~ 3.9 J/g·K	~ 3.4 J/g·K	~ 4.2 J/g·K	Vary
Thermal conductivity	~ 0.49 W/m·K	~ 0.34 W/m·K	~ 0.61 W/m·K	Vary
Additives	Inhibitors, anti-foam	Inhibitors, anti-foam	Inhibitors, anti-foam, biocides	Vary
Pros / Cons	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Easier to maintain ▲ Packaged solution ▼ Higher ΔViscosity with ΔT 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Easier to maintain ▲ Packaged solution ▼ Higher ΔViscosity with ΔT ▼ Lower heat transfer properties 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Good heat transfer properties ▼ Harder to maintain with more frequent checks needed 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ No short circuit risk posed by leaks ▼ Higher weight ▼ Higher cost ▼ Higher GWP ▼ Limited suppliers

Emerging as industry consensus

L'industria sta iniziando a convergere verso PG25 come fluido di scelta per la tecnologia monofase direct-to-chip, ma sono disponibili altre opzioni.

Note: fluid properties can vary with temperature, approximate values given at 25°C or 50°C for comparison only.

Per progettare e gestire un sistema di raffreddamento a liquido è necessario conoscere le **5F del raffreddamento a liquido.**



- ✓ Il monitoraggio e la gestione delle unità di controllo centralizzato (CDU), oltre ad altri sensori nella rete di fluidi secondaria, sono fondamentali per garantire l'identificazione tempestiva dei guasti.
- ✓ La principale preoccupazione dei responsabili dei data center sono le perdite:
 - ✓ La maggior parte delle perdite attualmente osservate nel raffreddamento a liquido si trova in prossimità di attacchi a sgancio rapido tra il collettore e il tubo flessibile del server e comporta un rischio limitato per l'IT.
 - ✓ Le perdite all'interno dello chassis del server (tra collettori interni, tubi flessibili e piastre di raffreddamento) rappresentano il pericolo maggiore per le apparecchiature IT.
- ✓ Sistema a prova di errore con filtrazione aggiuntiva e sensori per ridurre il rischio di errori umani che aggiungano contaminanti o manchino i controlli di qualità del fluido mentre le proprietà di scambio termico si degradano.

Ecco alcune applicazioni concrete in cui l'intelligenza artificiale (AI) viene gestita e potenziata da sistemi HPC (High Performance Computing).

Modelli climatici:

Studio dei modelli climatici: l'AI, gestita da un sistema HPC migliora i modelli climatici, riduce l'errore nelle previsioni, anticipa eventi estremi.

Concrete Applications of AI Powered by HPC



Advanced Climate Forecasting

AI: Improves climate models and predicts extreme events

HPC: Simulates atmosphere and oceans on global scale

Fusione Nucleare: MIT + CFS + SPARC

Il progetto SPARC, condotto dal MIT e dalla startup Commonwealth Fusion Systems, sviluppa un minireattore a fusione compatto.

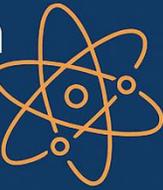
Hanno utilizzato simulazioni HPC + AI per:

- Prevedere il comportamento del plasma.
- Validare modelli fisici prima ancora di costruire il reattore.
- Ridurre i costi e i tempi di progettazione.

Risultati concreti:

- Riduzione del tempo di progettazione di un reattore da 10 anni a meno di 3.
- Maggiore accuratezza nella previsione del comportamento del plasma.
- Prototipi più efficienti e più sicuri, più rapidamente testabili.

AI + HPC nella Ricerca sulla Fusione Nucleare e Minireattori



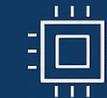
Obiettivo scientifico:

- Progettare reattori a fusione più piccoli, efficienti e stabili

**Dove interviene
l'Intelligenza Artificiale**



Previsione di instabilità nel plasma
Ottimizzazione dei campi magnetici



Progettazione avanzata dei materiali

**Dove entra
in gioco l'HPC**

Uso di simulazioni HPC + IA per validare modelli fisici del reattore SPARC



Esempio reale: MIT + CFS + SPARC

- Uso di simulazioni HPC + IA per validare modelli fisici del reattore SPARC

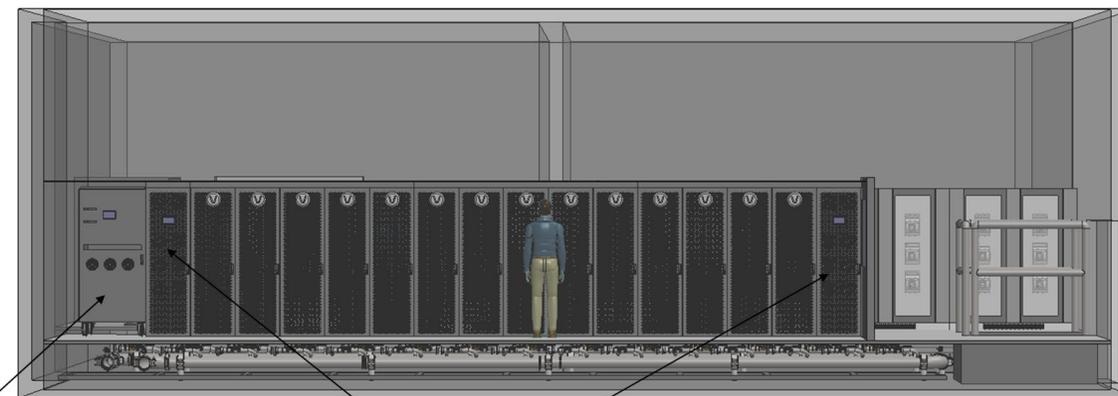
Risultati concreti:

- Riduzione del tempo di progettazione
- Maggiore accuratezza nella previsione del plasma
- Prototipi più efficienti e sicuri

Il progetto **ENEA CRESCO8** rappresenta uno dei maggiori sistemi di **High Performance Computing (HPC)** in Italia, ed è parte della piattaforma CRESCO (**Computational RESearch Center On**), sviluppata da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile).

CRESCO8 è un supercalcolatore di nuova generazione, installato presso il Centro ENEA di Portici (NA), progettato per supportare:

- Simulazioni scientifiche e ingegneristiche complesse
- Applicazioni di **intelligenza artificiale (AI)** e **machine learning**
- Ricerca in ambiti come: energia, ambiente, materiali, clima, fusione nucleare



CDU (Coolant Distribution Unit)
modello **XDU 1350** per smaltire il
calore dalle cold plate dei rack
server

Unità di condizionamento (**CRV**)
In Row per lo smaltimento del
calore residuo 5%

Obiettivi e utilizzi

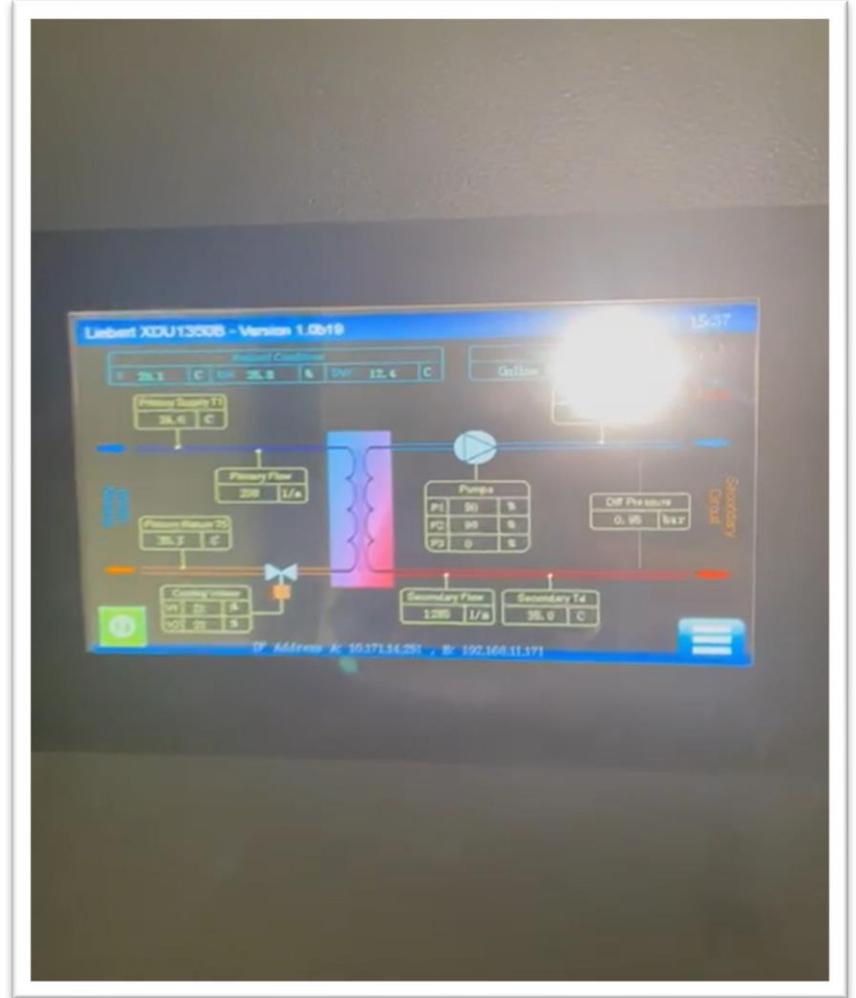
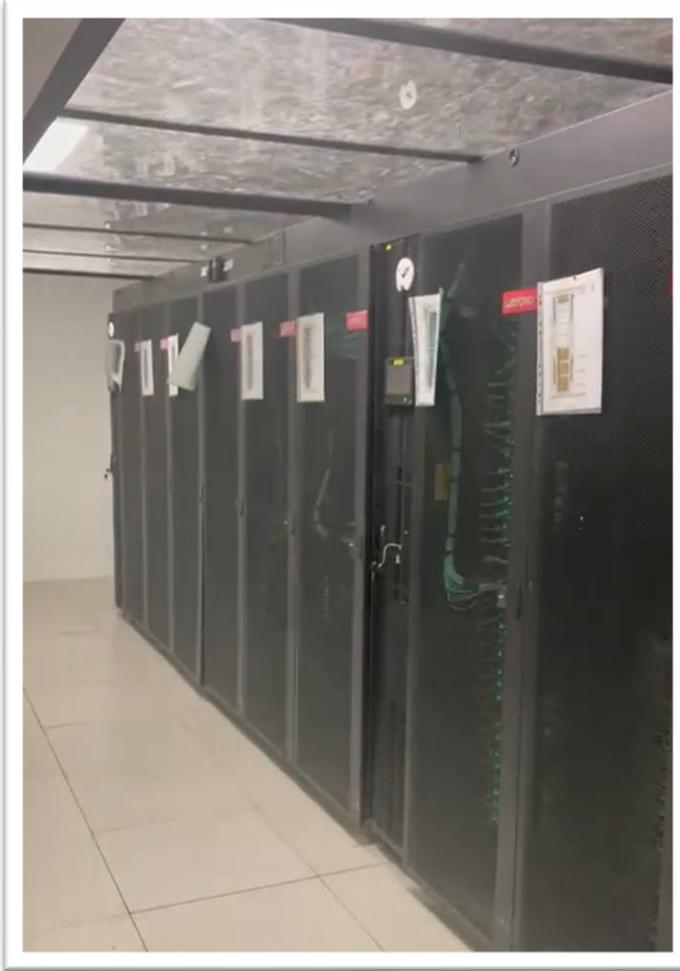
Simulazioni per la fusione nucleare (es. esperimenti ITER, DTT)

Modellazione di flussi atmosferici, incendi boschivi, qualità dell'aria

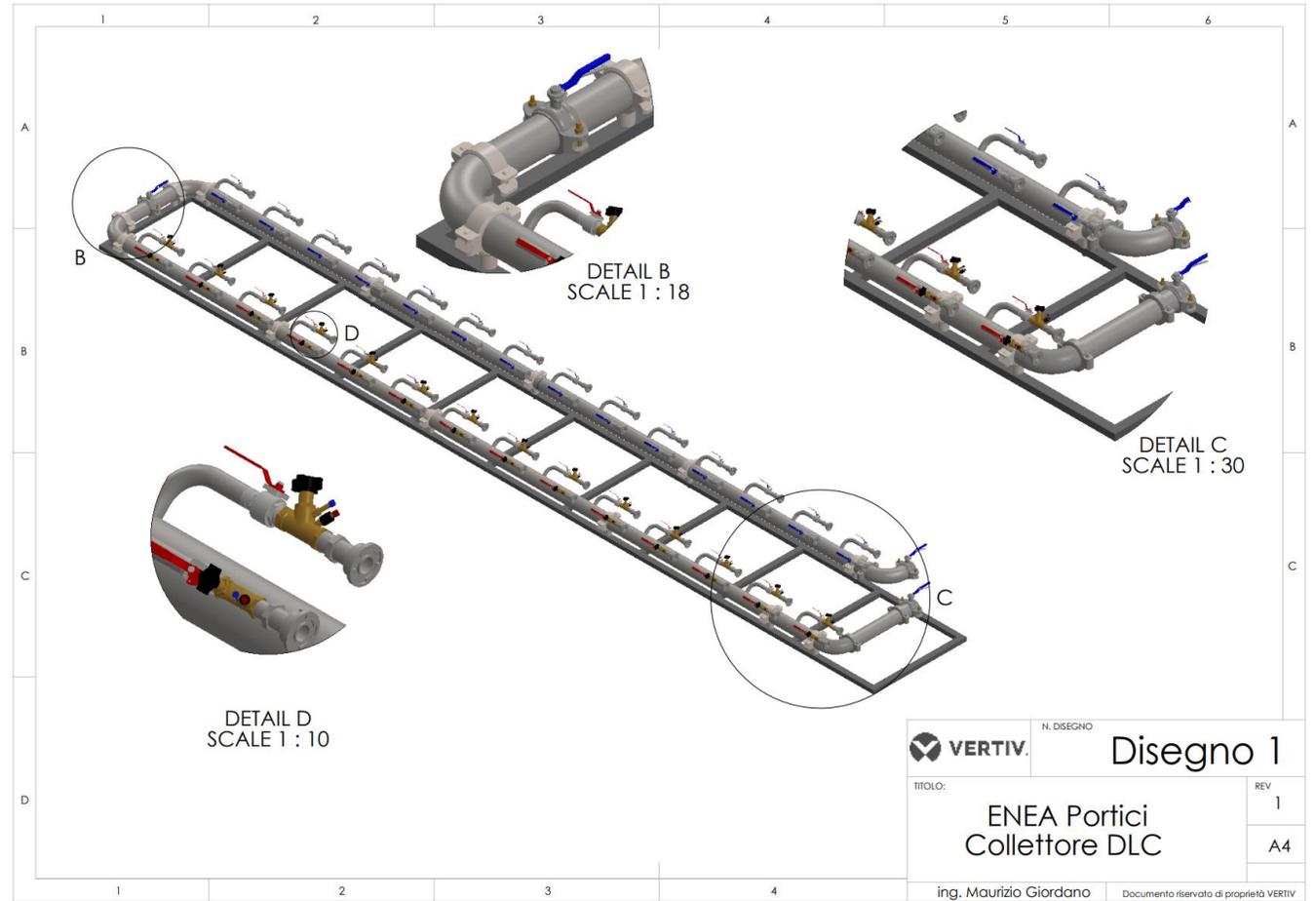
Studio di materiali avanzati per la sostenibilità

Supporto all'industria 4.0 con gemelli digitali

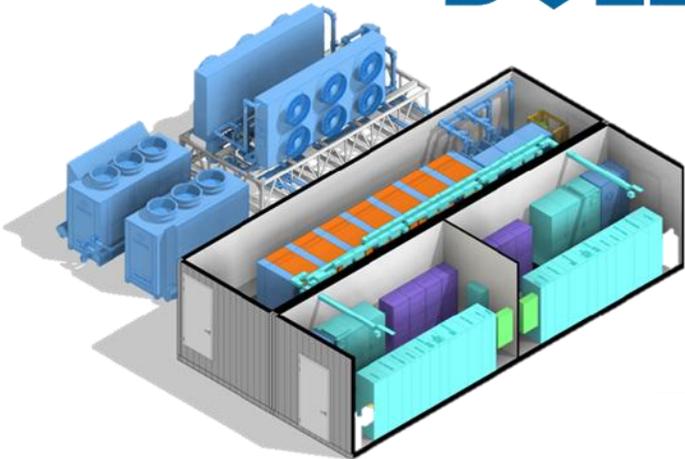
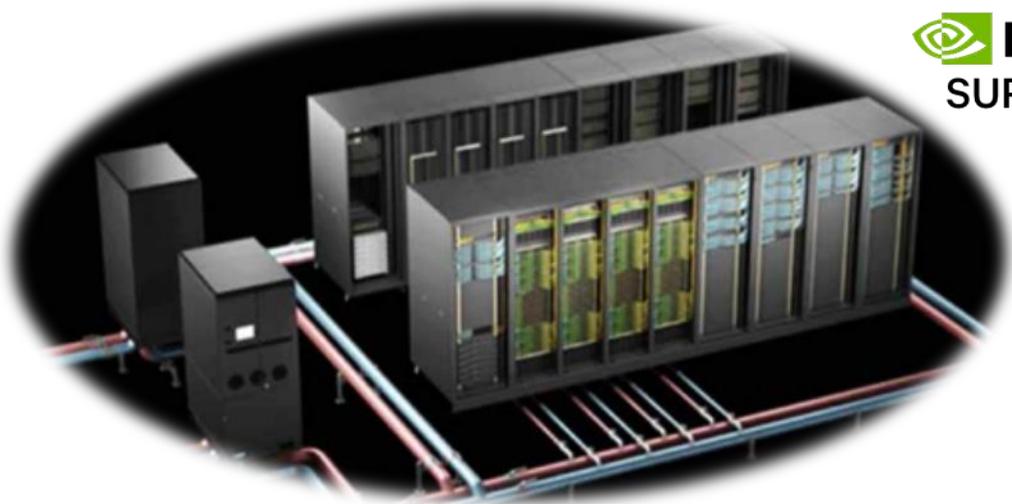
Addestramento di modelli di AI e deep learning su larga scala



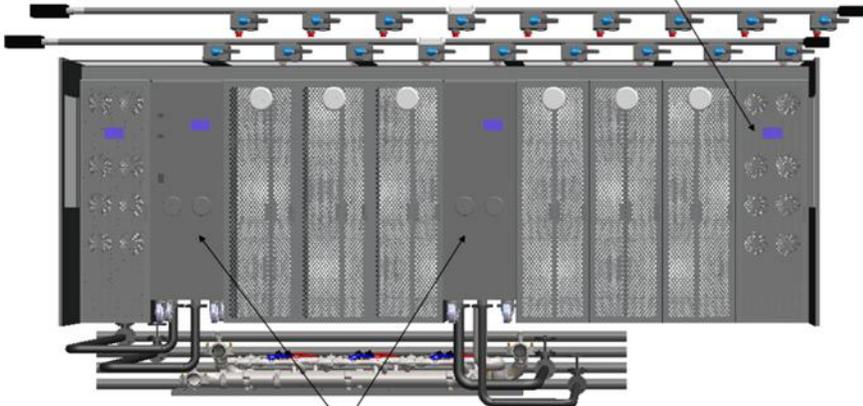
Case study Vertiv



VERTIV sviluppa e realizza Sistemi a fronte di un dialogo continuo con I Vendor



Unità di condizionamento (CRV) In Row per lo smaltimento del calore residuo 5%



CDU (Coolant Distribution Unit) modello XDU 450 per smaltire il calore dalle cold plate dei rack server, in configurazione 2N



Hewlett Packard Enterprise



Vertiv ringrazia tutti i partecipanti e vi aspetta al prossimo incontro