

[Home](#) » [Approfondimenti](#) » [BIM e progettazione](#) » Come si progett...

Come si progetta un Data Center? Guida essenziale per ingegneri e architetti nell'era BIM

I Data Center come nuovi orizzonti architettonici e ingegneristici: fondamenti fisici e logici, i pilastri della progettazione, il ruolo del BIM, standard e best practice

di [Redazione Tecnica](#) / 24 luglio 2025

Tempo di lettura stimato: 10 minuti



Nel panorama tecnologico contemporaneo, i data center sono emersi come **infrastrutture critiche**, veri e propri **motori dell'economia digitale globale**.

La loro funzione trascende la semplice conservazione dei dati; essi sono il cuore pulsante che abilita l'**intelligenza artificiale (AI)**, il **5G**, l'**Internet delle Cose (IoT)** e il **cloud computing**, tecnologie che permeano ogni aspetto della vita moderna.

La domanda di questi complessi edifici è in **crescita esponenziale**, con stime che prevedono un consumo energetico globale superiore ai 1.000 TWh entro il 2026, evidenziando la loro importanza strategica e la loro frequenza crescente come tipologia edilizia.

A differenza delle costruzioni tradizionali, i data center sono progettati primariamente per le macchine, non per le persone, presentando esigenze estreme in termini di alimentazione, raffreddamento, ridondanza e sicurezza.

Questa complessità intrinseca richiede un'**integrazione profonda di competenze** che abbracciano l'**ingegneria civile, meccanica, elettrica e informatica**. La progettazione di data center non è più una nicchia specialistica, ma una competenza fondamentale e ineludibile per gli ingegneri e gli architetti che intendono operare nel futuro del settore delle costruzioni.

Questa guida si propone di offrire un quadro esaustivo per la progettazione di data center, coprendo tutti gli aspetti critici, dalle fondamenta strutturali alle tecnologie più avanzate. Un focus particolare sarà dedicato al ruolo trasformativo del Building Information Modeling (BIM),

inteso sia come metodologia di modellazione che di gestione dei processi su un Common Data Environment (CDE), una risorsa indispensabile per affrontare la complessità e garantire l'efficienza di queste infrastrutture mission-critical.

Nell'ambito della progettazione di data center, le esigenze di integrazione, precisione e coordinamento multidisciplinare sono particolarmente elevate. Grazie alla **modellazione 3D/4D**, all'**integrazione con la progettazione MEP** e alle forme di **collaborazione interdisciplinare** offerte, l'utilizzo di un [software di progettazione edilizia BIM](#) consente di affrontare le sfide progettuali tipiche di infrastrutture critiche.

Comprendere l'architettura dei Data Center: fondamenti fisici e logici

L'architettura di un data center definisce il **layout fisico e logico** dei suoi componenti e dell'infrastruttura sottostante. Essa comprende l'**organizzazione di server, sistemi di storage, apparecchiature di rete, sistemi di alimentazione e raffreddamento e misure di sicurezza**.

In sostanza, rappresenta la blueprint che descrive come un data center è costruito e come le sue risorse sono organizzate per gestire le massicce quantità di dati e la potenza di calcolo richieste dalle moderne attività.

La comprensione di un data center richiede una chiara distinzione tra la sua configurazione fisica e quella logica, due aspetti intrinsecamente interconnessi ma concettualmente distinti.

Layout Fisico

Il layout fisico si riferisce alla disposizione tangibile degli elementi hardware all'interno della struttura. Questo include la sistemazione dei server e dei rack, la gestione dei cavi, la configurazione dei sistemi di alimentazione e raffreddamento, la struttura stessa dell'edificio e le misure di sicurezza perimetrali. La progettazione fisica deve ottimizzare lo spazio, il flusso d'aria e l'accessibilità per la manutenzione.

Layout Logico

Il layout logico, d'altra parte, riguarda l'organizzazione virtuale e funzionale delle risorse IT. Comprende la configurazione della rete (ad esempio, VLAN, segmentazione), l'implementazione della virtualizzazione (macchine virtuali, container), la definizione delle politiche di sicurezza e l'ottimizzazione dei flussi di dati.

Questo strato software-definito consente flessibilità e automazione, essenziali per adattarsi rapidamente alle mutevoli esigenze di carico di lavoro.



Pilastri fondamentali della progettazione di un data center

La progettazione di un data center si basa su diversi pilastri interdipendenti, ciascuno dei quali richiede un'attenzione meticolosa e una profonda competenza multidisciplinare.

Infrastruttura Fisica e Struttura Edilizia

La fondazione di qualsiasi data center risiede nella sua infrastruttura fisica e nella struttura edilizia, elementi che devono essere progettati per resistere a condizioni estreme e supportare tecnologie in continua evoluzione.

Selezione del sito: Criteri critici

La scelta del sito è la decisione iniziale e forse la più critica nella progettazione di un data center. Fattori chiave includono la stabilità geografica, valutando il rischio di disastri naturali come terremoti o inondazioni; il clima, che può offrire opportunità per l'adozione di sistemi di raffreddamento a basso consumo energetico (free cooling); l'accessibilità per il personale e le consegne; e la vicinanza a fonti di energia affidabili e abbondanti, nonché a risorse idriche, se necessarie per i sistemi di raffreddamento. La disponibilità di infrastrutture di rete in fibra ottica ad alta capacità è altrettanto cruciale per garantire la connettività. La prossimità a grandi centri abitati può inoltre offrire vantaggi in termini di disponibilità di manodopera qualificata e riduzione della latenza per gli utenti finali.

La crescente domanda di data center sta tuttavia limitando la disponibilità di siti ideali, spingendo gli sviluppatori a considerare opzioni meno convenzionali, come la costruzione verticale, che può comportare tempi di realizzazione più lunghi e costi più elevati. Questa situazione introduce sfide significative legate alla supply chain, con lunghi tempi di consegna per componenti specializzati.

Inoltre, le preoccupazioni delle comunità locali riguardo al rumore e alla vicinanza di grandi serbatoi di diesel possono portare a proteste e azioni legali, come accaduto in Francia con la revoca di licenze operative.

Ciò implica che la selezione del sito non è più solo una questione tecnica, ma una decisione strategica e logistica che richiede un'analisi approfondita delle normative locali, un'attenta valutazione dell'impatto ambientale e un dialogo proattivo con le comunità. Gli ingegneri e gli architetti devono integrare l'engagement comunitario e la navigazione normativa nelle fasi iniziali di pianificazione, andando oltre le sole valutazioni tecniche del sito. Le ripercussioni sui costi e sui tempi di progetto, dovute a questi fattori esterni, rendono una pianificazione olistica e precoce ancora più indispensabile.

Progettazione della struttura: involucro, planimetria, capacità di carico, resistenza al fuoco e insonorizzazione

La progettazione della struttura di un data center deve considerare l'involucro edilizio, la planimetria interna, la capacità di carico, la resistenza al fuoco e l'insonorizzazione, ognuno con requisiti specifici.

- **Involucro e Planimetria:** l'ottimizzazione dello spazio per i rack server, la distribuzione dell'energia e dell'aria, e la garanzia di percorsi chiari per i cavi e la manutenzione sono fondamentali. I data center, essendo progettati per le macchine, focalizzano l'attenzione sull'efficienza dello spazio IT e dei sistemi di supporto, piuttosto che sulle comodità per gli occupanti umani.
- **Capacità di Carico:** è un aspetto critico, dato il peso elevato delle apparecchiature IT, specialmente in presenza di pavimenti sopraelevati. I singoli rack possono pesare fino a 3.000 libbre, richiedendo strutture portanti robuste.

- **Resistenza al Fuoco (Fireproofing):** standard come NFPA 75 e NFPA 76 sono essenziali per la sicurezza antincendio, imponendo sistemi di allarme precoce, rilevatori di fumo e sensori di temperatura e vibrazione nei server rack. L'uso di materiali non combustibili e sistemi di sigillatura delle penetrazioni è imprescindibile per prevenire la propagazione del fuoco e del fumo.
- **Insonorizzazione (Soundproofing):** i data center generano livelli di rumore considerevoli a causa dei server e delle ventole di raffreddamento. L'insonorizzazione è necessaria per proteggere l'udito dei tecnici e per mantenere relazioni positive con le comunità circostanti, spesso dovendo rispettare standard locali che impongono livelli di rumore inferiori di 10dB rispetto al rumore di fondo notturno alla residenza più vicina. Le soluzioni includono involucri acustici, isolamento dei condotti e l'installazione di pannelli fonoassorbenti.

La combinazione di queste esigenze estreme (capacità di carico, resistenza al fuoco, controllo del rumore) impone un approccio olistico alla progettazione strutturale. Ad esempio, la necessità di insonorizzazione non è un semplice "comfort" ma un requisito normativo e di sostenibilità sociale, che influisce sulla scelta dei materiali e sulla configurazione dell'involucro edilizio fin dalle prime fasi. Una progettazione strutturale che non consideri adeguatamente l'isolamento acustico potrebbe infatti portare a problemi di conformità e opposizione da parte della comunità, con conseguenti ritardi e costi aggiuntivi.

La selezione di materiali certificati per la resistenza al fuoco e l'isolamento acustico, come i pannelli in lana di roccia, diventa un criterio di selezione primario.

Pavimento Sopraelevato: vantaggi per la gestione cavi e il flusso d'aria

Il pavimento sopraelevato rappresenta un'innovazione cruciale nella progettazione e costruzione delle infrastrutture moderne, in particolare all'interno dei data center. Questa caratteristica architettonica crea uno spazio elevato al di sopra della superficie originale dell'edificio, fornendo un vuoto nascosto per varie utenze.

I vantaggi dei pavimenti sopraelevati sono molteplici:

- **Miglioramento dell'Efficienza del Raffreddamento:** facilitano la distribuzione dell'aria sotto il pavimento, consentendo un raffreddamento mirato direttamente ai punti caldi. Questo migliora significativamente l'efficienza del raffreddamento dei rack server, assicurando prestazioni ottimali delle apparecchiature e contribuendo alla conservazione dell'energia. Eliminano inoltre le ostruzioni al flusso d'aria che si verificherebbero con cavi e apparecchiature a pavimento.
- **Gestione Cavi Ottimizzata:** consentono una gestione organizzata dei cavi, riducendo il disordine e rendendo i cavi facilmente accessibili per manutenzione o riconfigurazione.
- **Flessibilità Aumentata:** la natura modulare dei pavimenti sopraelevati offre una flessibilità senza pari nella progettazione dei data center. Le singole piastrelle

o pannelli possono essere sostituiti o aggiornati senza la necessità di rimuovere l'intero pavimento, consentendo una facile riconfigurazione e aggiornamenti senza significative alterazioni strutturali.

- **Conformità a Codici e Standard:** l'installazione di pavimenti sopraelevati aiuta i data center ad aderire a rigorosi codici edilizi e standard di sicurezza e efficienza energetica.

Il pavimento sopraelevato non è un semplice elemento funzionale, ma un componente abilitante per l'ottimizzazione termica e la flessibilità operativa. La sua progettazione influisce direttamente sull'efficienza energetica complessiva del data center (PUE) e sulla capacità di adattarsi a future densità di calcolo, rendendolo un investimento strategico per la "future-proofing". La scelta del pavimento sopraelevato può, ad esempio, facilitare l'implementazione futura di sistemi di raffreddamento a liquido, consentendo ai circuiti di acqua refrigerata di passare sotto il pavimento, riducendo i rischi di perdite in ambienti sensibili.

Questa decisione architettonica iniziale ha quindi profonde conseguenze a lungo termine sull'ingegneria e sui costi operativi totali del data center.



Infrastruttura Energetica e Ridondanza

L'alimentazione è la linfa vitale di un data center, e la sua continuità è garantita da un'infrastruttura energetica robusta e da strategie di ridondanza avanzate.

Alimentazione primaria e sistemi di backup (UPS, generatori)

Un'infrastruttura energetica robusta è essenziale per la continuità operativa dei data center. Essa include fonti di alimentazione primarie, sistemi di alimentazione ininterrotta (UPS) e generatori di backup, tutti progettati per garantire un'erogazione stabile e continua. I data center richiedono quantità enormi di energia, tanto che in alcuni casi la costruzione di sottostazioni elettriche dedicate è necessaria per assicurare una fornitura stabile.

Strategie di ridondanza (N, N+1, 2N, 2N+1) e impatto sui Tier

La ridondanza è la pratica di duplicare i componenti critici – come alimentazione, raffreddamento e rete – per minimizzare il rischio di tempi di inattività.

I livelli di ridondanza sono definiti come segue:

- **N:** rappresenta la capacità base necessaria per far funzionare il data center a pieno regime, senza alcun componente di backup. È suscettibile a singoli punti di guasto.
- **N+1:** aggiunge un singolo componente di backup a ogni N richiesto, fornendo un livello minimo di resilienza. Se un componente si guasta, l'extra subentra nel carico.
- **N+2:** fornisce due componenti extra, offrendo un ulteriore strato di protezione rispetto a N+1.
- **2N:** crea un'immagine speculare del sistema primario, offrendo una piena tolleranza ai guasti. Se un intero sistema primario si guasta, il sistema duplicato può subentrare.
- **2N+1:** combina l'architettura 2N con un componente extra, rappresentando il massimo livello di protezione disponibile.

Questi livelli di ridondanza sono direttamente correlati ai **Tier dell'Uptime Institute**, un sistema di classificazione ampiamente riconosciuto che valuta i data center in base alla loro infrastruttura e capacità di mantenere le operazioni.

La scelta del livello di ridondanza è un equilibrio cruciale tra costo, complessità e obiettivi di disponibilità. Un livello di ridondanza più elevato, come il 2N, garantisce un

uptime superiore ma comporta costi significativamente maggiori, sia in termini di spese in conto capitale (CAPEX) per le apparecchiature che di spese operative (OPEX) per l'energia necessaria ad alimentare i componenti ridondanti.

Gli ingegneri devono quindi condurre un'analisi costi-benefici approfondita, allineando la strategia di ridondanza agli obiettivi di business e ai Service Level Agreements (SLA) definiti. La relazione diretta tra i requisiti aziendali (obiettivi di tempo di recupero RTO e obiettivo di punto di recupero RPO) e le scelte di progettazione ingegneristica per l'alimentazione e il raffreddamento è chiara: non si tratta semplicemente di raggiungere il Tier più alto, ma di ottimizzare la progettazione per soddisfare specifiche esigenze di continuità operativa, gestendo al contempo le spese.

Ciò richiede che ingegneri e architetti collaborino strettamente con gli stakeholder aziendali per comprendere la tolleranza al rischio e i vincoli finanziari, traducendo le esigenze aziendali in specifiche tecniche.

Sistemi di Trasferimento Automatico (ATS)

I Sistemi di Trasferimento Automatico (ATS) sono dispositivi intelligenti e auto-azionanti, governati da logiche di controllo dedicate, che trasferiscono automaticamente il carico dall'alimentazione primaria a una fonte di backup (come un generatore o un'altra utility) in caso di interruzione. Sono essenziali per minimizzare le interruzioni e garantire la continuità operativa.

Gli ATS possono essere configurati per diversi scenari, inclusi Utility-Generator, Utility-Utility o Generator-Generator, fornendo flessibilità nella gestione delle fonti di alimentazione.

L'implementazione degli ATS non è solo una misura di backup, ma un componente chiave per l'automazione della resilienza. La loro efficacia dipende dalla corretta integrazione con i sistemi di monitoraggio e controllo dell'edificio (Building Management Systems – BMS) e dalla capacità di gestione logica per evitare singoli punti di guasto a monte. Non è sufficiente avere un ATS; l'intero percorso di distribuzione dell'energia, inclusi i componenti a monte come i "power whips", deve essere progettato con ridondanza (ad esempio, 2N) e integrato con un BMS sofisticato in grado di monitorare e rispondere alle condizioni in tempo reale. Questo approccio olistico è fondamentale per eliminare i punti di guasto nascosti e garantire una continuità operativa senza interruzioni.

Caratteristica	UPS Statico	UPS Rotante (DRUPS)
Principio di Funzionamento	Connessione DC link, semiconduttori (IGBTs), batterie/flywheel/ultracapacitors	Albero motore meccanico, generatore accoppiato a sistema di accumulo rotante (volano)
Peso (es. IMVA)	Circa 2 tonnellate	Circa 25 tonnellate
Spazio Occupato (Footprint)	Minore	Maggiore, spesso richiede installazione esterna o enclosure dedicata

Efficienza Energetica (Doppia Conversione)	Fino a 97.4%	Circa 92% (efficienza si riduce con carichi ridotti)
Costi (CAPEX)	Inferiore	Maggiore, costoso da sostituire
Costi (OPEX/Manutenzione)	Minori, meno invasiva	Maggiori, più invasiva (richiede manutenzione meccanica)
Flessibilità/Scalabilità	Maggiore, architetture modulari	Minore
Applicazioni Tipiche	Maggior parte delle applicazioni, fino a 1MW, flessibilità	Oltre 1MW, ambienti difficili, isolamento armonico, stazioni satellitari
Componenti Chiave	Batterie, volani, ultracondensatori	Motore, generatore, volano

Tabella 1: Confronto tra UPS Statici e Rotanti

Sistemi di Raffreddamento e Ottimizzazione dell'Efficienza

Il raffreddamento è un aspetto critico della progettazione dei data center, poiché il calore generato dalle apparecchiature IT può rapidamente comprometterne le prestazioni e la durata.

Unità CRAC/CRAH e sistemi ad acqua refrigerata

I sistemi di raffreddamento sono fondamentali per mantenere le temperature operative ottimali, data la notevole quantità di calore prodotta dai server.

- **CRAC (Computer Room Air Conditioning):** sono unità che utilizzano refrigeranti per raffreddare l'aria e controllarne l'umidità all'interno della sala server.
- **CRAH (Computer Room Air Handler):** a differenza dei CRAC, i CRAH utilizzano acqua refrigerata proveniente da un chiller esterno per raffreddare l'aria. Sono tipicamente impiegati in strutture di grandi dimensioni e ad alta efficienza energetica.
- **Sistemi ad acqua refrigerata:** in questi sistemi, l'acqua fredda circola attraverso tubazioni verso unità di trattamento aria o serpentine di raffreddamento. Questo metodo offre un controllo preciso della temperatura e dell'umidità, oltre a una notevole scalabilità, rendendolo adatto per data center su larga scala.

Contenimento delle corsie calde/fredde (Hot/Cold Aisle Containment)

Una configurazione fondamentale per l'efficienza del raffreddamento è il contenimento delle corsie calde/fredde. I rack sono disposti in file alternate, con le prese d'aria fredda dei server rivolte verso una corsia (cold aisle) e gli scarichi d'aria calda verso l'altra (hot aisle). Il contenimento sigilla queste corsie per prevenire la miscelazione dell'aria calda e fredda, aumentando l'efficienza e la capacità di raffreddamento.

L'efficacia del contenimento delle corsie è direttamente collegata alla precisione della progettazione del flusso d'aria. Anche piccole miscalcolazioni possono causare hotspot e spreco di energia.

L'integrazione di simulazioni Computational Fluid Dynamics (CFD) con i modelli BIM è cruciale per ottimizzare questi schemi di flusso d'aria e validare i layout dei rack, garantendo un'efficienza termica superiore e supportando gli standard di sostenibilità. Questo significa che, sebbene il concetto di contenimento delle corsie sia semplice, la sua implementazione efficace richiede strumenti avanzati di modellazione e simulazione come il BIM con CFD.

Il successo di questa configurazione architettonica non è garantito dalla sua mera presenza, ma dalla precisione della sua progettazione. Ingegneri e architetti devono sfruttare questi strumenti digitali per prevedere e ottimizzare le prestazioni termiche *prima* della costruzione, influenzando direttamente l'efficienza energetica (PUE) e la longevità dell'hardware.

Tecnologie di raffreddamento avanzate: Liquid Cooling (Direct-to-Chip, Immersion Cooling), Adiabatic Cooling, Free Cooling

L'aumento delle densità di calcolo, in particolare quelle spinte dall'intelligenza artificiale, sta spingendo i limiti dei sistemi di raffreddamento tradizionali. Ciò ha portato all'adozione di soluzioni di raffreddamento avanzate:

- **Liquid Cooling (Raffreddamento a Liquido):** l'acqua o altri fluidi dielettrici conducono il calore in modo molto

più efficace dell'aria.

- **Direct-to-Chip:** il liquido refrigerante circola direttamente attraverso piastre fredde fissate ai processori o ad altri componenti elettronici ad alta potenza all'interno del rack.
- **Immersion Cooling:** i server sono completamente immersi in un liquido termicamente conduttivo (come olio minerale o fluidi dielettrici). Questo elimina la necessità di ventole e riduce significativamente il consumo energetico. È considerato il futuro del raffreddamento per data center ad altissima densità.
- **Adiabatic Cooling (Raffreddamento Adiabatico):** questa tecnologia migliora i sistemi di raffreddamento ad aria tradizionali utilizzando il processo naturale di evaporazione dell'acqua per pre-raffreddare l'aria esterna. È particolarmente efficace in climi secchi e può ridurre il consumo di acqua rispetto ai metodi evaporativi tradizionali.
- **Free Cooling (Raffreddamento Gratuito):** sfrutta l'aria esterna (Direct Fresh Air Cooling) o l'acqua fredda (Water-based Free Cooling) quando le temperature ambientali lo consentono. Questo riduce significativamente i costi energetici, poiché si minimizza l'uso di compressori e chiller.

La transizione verso soluzioni di raffreddamento avanzate è una risposta diretta alla "AI revolution" e all'aumento delle densità di calcolo, ma è anche intrinsecamente

legata agli obiettivi di sostenibilità e riduzione dell'impatto ambientale.

Gli ingegneri devono progettare sistemi flessibili che possano integrare queste tecnologie emergenti. Ad esempio, l'integrazione di un circuito ad acqua refrigerata fin dall'inizio della progettazione può facilitare l'implementazione futura del raffreddamento a liquido. Questo approccio proattivo nella progettazione minimizza i costosi retrofit e assicura la vitalità e la competitività a lungo termine del data center.

Metriche di efficienza energetica: PUE e WUE

L'efficienza energetica e idrica sono metriche fondamentali nella progettazione e gestione dei data center moderni.

- **PUE (Power Usage Effectiveness):** misura l'efficienza energetica di un data center, calcolando il rapporto tra l'energia totale consumata dalla struttura e l'energia effettivamente utilizzata dalle apparecchiature IT. Un PUE ideale è 1.0, indicando che tutta l'energia è destinata all'IT. Un PUE di 1.5, ad esempio, significa che per ogni Watt di carico IT, 0.5 Watt aggiuntivi sono consumati per il raffreddamento, le perdite di conversione energetica e altre utenze minori come l'illuminazione.
- **WUE (Water Usage Effectiveness):** valuta l'efficienza dell'uso dell'acqua in relazione all'energia consumata dalle apparecchiature IT.

PUE e WUE non sono solo metriche di performance, ma driver chiave per la progettazione sostenibile e la riduzione dei costi operativi (OPEX). L'ottimizzazione di questi valori influenza direttamente la scelta di tecnologie di raffreddamento (come il raffreddamento adiabatico o il free cooling) e di alimentazione, e diventa un fattore competitivo nel mercato dei data center. L'efficienza energetica non è più un gesto simbolico; si stima che i data center consumeranno fino al 4% dell'elettricità globale entro il 2030, rendendo le soluzioni a basso PUE/WUE imperative. Ciò significa che architetti e ingegneri devono integrare le considerazioni sull'efficienza energetica e idrica fin dalle prime fasi di progettazione, selezionando attivamente tecnologie e layout che minimizzino il consumo, facendo della sostenibilità un principio progettuale fondamentale.



Architettura di Rete e Connettività

L'architettura di rete è il sistema nervoso di un data center, responsabile del trasferimento efficiente e sicuro dei dati.

Conessioni ridondanti e ad alta velocità

Una rete ben progettata deve includere connessioni ridondanti e ad alta velocità per garantire un trasferimento dati efficiente e senza interruzioni. La domanda di fibra ottica ad alta densità è in costante aumento per gestire volumi di dati sempre maggiori a velocità superiori.

Architettura a tre livelli (Core, Aggregation, Access Layer) e Spine-Leaf

Tradizionalmente, l'architettura di rete dei data center si basava su un modello a tre livelli, mentre le esigenze moderne hanno favorito l'emergere dell'architettura Spine-Leaf.

- **Architettura a tre livelli (Tradizionale):** composta da strati di Core, Aggregation (o Distribution) e Access. Ogni strato ha funzioni specifiche: l'Access Layer connette i dispositivi finali, l'Aggregation Layer aggrega il traffico e implementa le policy, e il Core Layer gestisce il traffico backbone ad alta velocità.
- **Architettura Spine-Leaf (Moderna):** questa topologia più orizzontale migliora le prestazioni e la scalabilità, riducendo la latenza e i colli di bottiglia. È composta da switch "leaf" (top-of-rack) che connettono server e

dispositivi di storage, e switch "spine" che interconnettono tutti gli switch leaf.

La transizione dall'architettura a tre livelli alla Spine-Leaf riflette una risposta diretta alle crescenti esigenze di scalabilità orizzontale, bassa latenza e throughput elevato imposte dalle applicazioni moderne, come l'AI e i Big Data, e dai modelli di traffico "east-west" (tra server all'interno del data center). Il modello a tre livelli era ottimizzato per il traffico "north-south" (client-server), ma i data center moderni, in particolare quelli che supportano virtualizzazione, cloud e AI, generano un traffico "east-west" significativo. La progettazione Spine-Leaf, più piatta e interconnessa, fornisce intrinsecamente una latenza inferiore, un migliore bilanciamento del carico e una scalabilità più semplice per questo tipo di traffico, il che è cruciale per l'high-performance computing e le applicazioni distribuite. Ciò implica che gli ingegneri di rete devono progettare per una maggiore densità di interconnessioni e una gestione del traffico più dinamica, allontanandosi dai modelli gerarchici tradizionali.

Cablaggio in fibra ottica: Single-mode, Multi-mode e connettori VSFF

Il cablaggio è un elemento fondamentale per la connettività di rete e la distribuzione dell'energia all'interno di un data center.

- **Single-mode (SMF):** caratterizzata da un nucleo molto stretto che consente un'unica via di trasmissione della luce. È ideale per lunghe distanze e applicazioni ad alta larghezza di banda, offrendo un'attenuazione e una

dispersione del segnale minime. Viene spesso utilizzata per le interconnessioni tra data center (DCI).

- **Multi-mode (MMF):** possiede un nucleo più grande che permette la trasmissione simultanea di più vie di luce. È generalmente più economica e facile da installare, rendendola adatta per distanze più brevi, tipicamente all'interno di edifici o campus.
- **Connettori VSFF (Very Small Form Factor):** come i connettori CS, SN e MDC, sono progettati per densità elevate. Offrono una densità di fibra tre volte superiore rispetto ai connettori LC tradizionali, massimizzando la densità delle porte per i ricetrasmittitori moderni (QSFP-DD, OSFP) e supportando velocità di 200/400/800 Gbps.

La spinta verso i connettori VSFF e la fibra ad alta densità è una conseguenza diretta della necessità di supportare le crescenti velocità dei dati e le densità di calcolo, in particolare per l'AI, all'interno di spazi fisici limitati nei data center.

Questo ha implicazioni significative per la gestione dei cavi, sia orizzontale che verticale, e per la supply chain, che deve garantire la disponibilità di questi componenti specializzati. La domanda di fibra ad alta densità e connettori VSFF è una risposta diretta alla crescita esponenziale del volume di dati e della velocità di elaborazione, in particolare guidata dall'AI e dall'high-performance computing.

Ciò si traduce in una sfida di progettazione critica: come gestire un volume di cablaggio senza precedenti all'interno di spazi fisici finiti. Costringe architetti e ingegneri a ripensare le strategie di gestione dei cavi (sotto il pavimento, sopraelevate, all'interno dei rack) e a considerare le complessità logistiche nell'approvvigionamento di componenti specializzati, che possono influenzare i tempi e i costi del progetto.

Software-Defined Networking (SDN): Vantaggi e implementazione per flessibilità e automazione

Il Software-Defined Networking (SDN) è un approccio rivoluzionario alla gestione della rete che separa il piano di controllo (dove vengono prese le decisioni di routing) dal piano dati (dove il traffico viene inoltrato), consentendo una configurazione di rete dinamica e programmabile.

I vantaggi dell'SDN sono numerosi:

- **Gestione Centralizzata:** Permette un controllo centralizzato dell'intera rete, semplificando la configurazione, la gestione e il monitoraggio.
- **Maggiore Flessibilità e Agilità:** decouplando il piano di controllo e il piano dati, l'SDN consente configurazioni di rete dinamiche e flessibili, permettendo alle reti di rispondere rapidamente alle mutevoli esigenze.
- **Efficienza di Rete Migliorata:** ottimizza il flusso del traffico di rete, riducendo la congestione e migliorando le prestazioni complessive, con conseguente riduzione della latenza e aumento del throughput.

- **Sicurezza Potenziata:** consente l'applicazione centralizzata delle politiche di sicurezza e una rilevazione e mitigazione delle minacce più efficaci. Attraverso l'isolamento di diversi segmenti di rete e l'applicazione dinamica delle politiche di sicurezza, l'SDN migliora la sicurezza complessiva.
- **Innovazione Rapida e Virtualizzazione di Rete:** supporta l'innovazione rapida fornendo un ambiente programmabile per lo sviluppo e l'implementazione di nuovi servizi e applicazioni di rete. Facilita la virtualizzazione della rete, consentendo a più reti virtuali di coesistere sulla stessa infrastruttura fisica.
- **Riduzione dei Costi:** contribuisce a ridurre sia le spese in conto capitale (CAPEX) che quelle operative (OPEX) eliminando la necessità di acquistare costosi dispositivi di rete fisici.

L'implementazione dell'SDN si basa su un controller SDN centralizzato che comunica con i dispositivi di rete (come switch e router) tramite protocolli (ad esempio, OpenFlow) o API. Questo permette l'automazione delle attività di rete e una risposta in tempo reale ai cambiamenti.

L'SDN è un fattore chiave per la "future-proofing" dei data center, consentendo alle infrastrutture fisiche di adattarsi rapidamente alle esigenze di carico di lavoro in evoluzione, in particolare quelle guidate dall'AI e dal cloud computing.

La sua capacità di virtualizzare la rete e applicare politiche di sicurezza granulari, come la micro-segmentazione, direttamente a livello di workload, trasforma il paradigma di sicurezza da perimetrale a intrinseco. Questo riduce la

superficie di attacco e limita il movimento laterale degli attaccanti. L'SDN rappresenta un cambiamento di paradigma dalla progettazione di rete statica, incentrata sull'hardware, a un approccio dinamico e programmabile, guidato dal software.

Per architetti e ingegneri, ciò significa che l'intelligenza della rete si sposta dai singoli dispositivi a un controller centralizzato, consentendo livelli senza precedenti di automazione, provisioning rapido e applicazione delle politiche in tempo reale. Fondamentalmente, permette una postura di sicurezza più granulare e adattiva attraverso la micro-segmentazione, alterando radicalmente il modo in cui la sicurezza è integrata nell'architettura di rete.

Questo cambiamento richiede una comprensione più profonda dei principi del software e una collaborazione più stretta tra i team IT e quelli dell'infrastruttura.

Architettura di calcolo e archiviazione

L'architettura di calcolo e archiviazione è fondamentale per l'efficienza e le prestazioni di un data center, determinando come i dati vengono elaborati, archiviati e resi disponibili.

Organizzazione di server e storage rack

L'organizzazione efficiente di server e dispositivi di storage all'interno dei rack è cruciale per massimizzare l'utilizzo dello spazio e facilitare la gestione. I rack forniscono una

piattaforma robusta per le apparecchiature, rendendo più agevole l'accesso per la manutenzione e gli aggiornamenti.

Nella progettazione, si devono considerare diversi fattori:

- **Dimensioni:** l'altezza (espressa in unità "U"), la larghezza e la profondità dei rack devono essere scelte in base al tipo e alla quantità di dispositivi da alloggiare.
- **Capacità di Peso:** i rack devono essere in grado di sostenere il peso considerevole delle apparecchiature IT, con modelli heavy-duty che possono supportare fino a 3.000 libbre.
- **Gestione Cavi:** una gestione sistematica e ordinata dei cavi è fondamentale. Riduce il disordine, migliora il flusso d'aria all'interno dei rack, minimizza il rischio di surriscaldamento e guasti alle apparecchiature, e semplifica le operazioni di troubleshooting.
- **Pannelli di Chiusura (Blanking Panels):** l'uso di questi pannelli per chiudere gli spazi vuoti nei rack migliora il controllo della temperatura e l'efficienza del flusso d'aria, prevenendo la miscelazione dell'aria calda e fredda.

L'organizzazione dei rack non è solo una questione di ordine, ma un elemento critico per l'ottimizzazione del raffreddamento e la prevenzione degli hotspot, influenzando direttamente l'efficienza energetica e la longevità dell'hardware. Una pianificazione precisa del layout dei rack deve considerare la configurazione hot/cold aisle e l'integrazione con i sistemi di raffreddamento per massimizzare il flusso d'aria.

La corretta gestione del flusso d'aria all'interno dei rack è forse l'aspetto più importante del loro funzionamento, contribuendo a mantenere i server freschi, prevenendo danni da temperature estreme e garantendo prestazioni ottimali.

Per architetti e ingegneri, questo significa integrare layout dettagliati dei rack e analisi del flusso d'aria nelle prime fasi di progettazione, spesso sfruttando gli strumenti BIM per la precisione.

Dimensionamento e interconnessione dei componenti (DCI – Data Center Interconnect)

I componenti di calcolo, storage e rete devono essere dimensionati e interconnessi in modo appropriato per soddisfare le esigenze specifiche del data center. Questo è particolarmente vero per la Data Center Interconnect (DCI).

La **DCI** è la tecnologia che connette due o più data center, sia su brevi che su medie o lunghe distanze, utilizzando connettività ottica ad alta velocità. È un elemento cruciale per la condivisione di dati, la gestione dei backup per la ridondanza e l'implementazione di strategie di disaster recovery.

I vantaggi della DCI includono:

- **Riduzione della Latenza:** stabilisce percorsi diretti e più brevi tra le reti o i data center, con conseguente latenza inferiore e tempi di trasferimento dati più rapidi.
- **Affidabilità Migliorata:** permette di bypassare le reti pubbliche, eliminando potenziali punti di guasto e

migliorando l'affidabilità della rete.

- **Scalabilità della Larghezza di Banda e Flessibilità:** offre la capacità di scalare la larghezza di banda e la capacità in base alle esigenze, consentendo una crescita efficiente e l'adattamento ai requisiti aziendali in evoluzione.

La crescente adozione di architetture distribuite, come l'edge computing, e la necessità di resilienza globale rendono la DCI un componente infrastrutturale sempre più critico. Non è più sufficiente progettare un singolo data center; gli ingegneri devono considerare come più data center si interconnettono per formare un ecosistema coeso, supportando strategie di disaster recovery geograficamente diversificate e l'ottimizzazione delle risorse.

Ciò implica che architetti e ingegneri devono progettare non solo le singole strutture, ma anche le interconnessioni ad alta velocità e bassa latenza tra di esse, considerando fattori come i tipi di fibra ottica (single-mode per lunghe distanze) e le apparecchiature di rete in grado di gestire flussi di dati massicci.

Tipologie di storage: SAN, NAS, DAS e le loro implicazioni

La scelta della soluzione di storage è un aspetto critico per le prestazioni e la disponibilità dei dati all'interno di un data center.

Esistono diverse tipologie, ciascuna con implicazioni specifiche:

- **DAS (Direct Attached Storage):** si riferisce a dispositivi di storage collegati direttamente a un singolo server o computer.
 - *Vantaggi:* Semplicità di configurazione, costo iniziale inferiore e alte prestazioni per un singolo utente o workstation.
 - *Limitazioni:* Scalabilità limitata, difficoltà di condivisione delle risorse tra più sistemi e un potenziale singolo punto di guasto se il sistema host fallisce.
- **NAS (Network Attached Storage):** sono sistemi di storage a livello di file accessibili tramite protocolli di rete (es. NFS, SMB/CIFS).
 - *Vantaggi:* Facile accesso ai file da qualsiasi dispositivo connesso alla rete, storage centralizzato che semplifica la gestione e un'opzione conveniente per la condivisione di file e gli ambienti collaborativi.
 - *Limitazioni:* le prestazioni possono essere limitate dalla velocità della rete e la dipendenza dalla rete stessa significa che l'accesso ai file viene perso in caso di interruzione della rete.
- **SAN (Storage Area Network):** è una rete dedicata che fornisce storage a blocchi ad alta velocità a più server. Utilizza protocolli come Fibre Channel o iSCSI.
 - *Vantaggi:* Offre le prestazioni più elevate, cruciali per applicazioni che richiedono accesso rapido a grandi quantità di dati. È altamente scalabile,

permettendo l'aggiunta di più dispositivi di storage senza interrompere le operazioni esistenti. Garantisce affidabilità con funzionalità avanzate di ridondanza e failover, e offre flessibilità nella gestione dello storage a livello di blocco.

- *Limitazioni:* è la soluzione più complessa da implementare e gestire, richiedendo conoscenze specialistiche e un investimento iniziale più elevato.

La scelta tra DAS, NAS e SAN non è binaria, ma dipende dalle esigenze specifiche di workload, performance, scalabilità e budget. La crescente adozione di analisi di Big Data e AI richiede soluzioni di storage ad alte prestazioni e altamente scalabili (come SAN o storage a oggetti), mentre i requisiti di conformità e sovranità dei dati possono influenzare la scelta tra storage on-premises e cloud.

Questo significa che gli ingegneri e gli architetti devono comprendere i flussi di lavoro dei dati, la loro criticità e le proiezioni di crescita per raccomandare la soluzione di storage ottimale, che a sua volta influenzerà la progettazione dell'alimentazione, del raffreddamento e della rete. Ad esempio, le SAN ad alte prestazioni richiederanno un'infrastruttura di alimentazione e raffreddamento più robusta rispetto alle semplici soluzioni DAS.

Caratteristica	DAS (Direct Attached Storage) 63	NAS (Network Attached Storage) 63	SAN (Storage Area Network) 63
Livello di Accesso	Blocco (diretto al server) 63	File (tramite rete) 63	Blocco (tramite rete dedicata) 63
Architettura	Dispositivo collegato direttamente a un singolo server 63	Dispositivo di storage con proprio OS collegato a rete Ethernet 63	Rete dedicata (Fibre Channel, iSCSI) che connette storage a server 63
Prestazioni	Alta per utente singolo/workstation 63	Media, limitata dalla velocità di rete 63	Molto alta, ideale per applicazioni intensive 63
Scalabilità	Limitata, espansione richiede hardware aggiuntivo 63	Moderata, aggiunta di drive o unità NAS 63	Molto alta, integrazione di più dispositivi in un pool unificato 63
Costo	Basso (iniziale) 63	Moderato 64	Alto (iniziale e manutenzione) 64
Complessità di Gestione	Bassa 64	Media 64	Alta, richiede conoscenze specializzate 64
Casi d'Uso Tipici	Workstation singole, backup locali, editing video 63	Condivisione file, backup di piccole imprese, lavoro remoto 63	Database, virtualizzazione, applicazioni critiche, Big Data 63

Tabella 2: Confronto tra Soluzioni di Storage (SAN, NAS, DAS)

Sicurezza e Controllo Accessi

La sicurezza in un data center è un aspetto duale, che comprende sia la protezione fisica della struttura che la difesa cibernetica dei dati.

Sicurezza fisica: Misure multi-livello

La sicurezza fisica è una priorità assoluta per proteggere le informazioni sensibili e le infrastrutture critiche. Si basa su un approccio a più strati, noto come "difesa in profondità":

- **Perimetro:** la prima linea di difesa include recinzioni o muri robusti, telecamere di sorveglianza (CCTV) con analisi video avanzata, tecnologie di rilevamento delle intrusioni e pattuglie di sicurezza regolari. L'obiettivo è scoraggiare gli individui non autorizzati prima che si avvicinino all'edificio.
- **Ingressi:** i punti di accesso sono strettamente controllati da ufficiali di sicurezza. Vengono impiegate verifiche dell'identità e sistemi di autenticazione multi-fattore, che possono includere badge di prossimità, codici PIN e dati biometrici.
- **Mantraps:** sono vestiboli di sicurezza con due serie di porte interbloccate che consentono l'ingresso di una sola persona alla volta, prevenendo il fenomeno del "tailgating" (l'accesso non autorizzato di più persone con un'unica autenticazione). Possono essere manuali o automatici, spesso integrando metal detector.
- **Biometria:** lettori di impronte digitali, scansioni dell'iride e riconoscimento facciale forniscono un livello di autenticazione ad alta sicurezza, garantendo che solo il personale autorizzato possa accedere a determinate aree.
- **CCTV:** sistemi di sorveglianza video avanzati, come telecamere fisheye a 360 gradi, con feed in tempo reale e analisi basata su pattern, allertano il personale di sicurezza in caso di attività sospette.

- **Formazione del Personale:** il personale di sicurezza e operativo deve essere altamente qualificato e formato in procedure di sicurezza fisica, inclusa la gestione degli accessi e la risposta agli incidenti.

La sicurezza fisica non è un'aggiunta, ma un elemento intrinseco della progettazione architettonica e ingegneristica. Un design che limita i punti di accesso, incorpora strutture rinforzate e prevede spazi per sistemi di sorveglianza avanzati riduce intrinsecamente il rischio e la dipendenza da sole misure operative.

Ad esempio, la progettazione di un edificio con un numero limitato di ingressi e finestre rinforzate riduce la superficie di attacco fisica. Inoltre, la formazione continua del personale è altrettanto cruciale quanto la tecnologia, poiché un sistema è forte solo quanto il suo anello più debole. Questo approccio olistico implica che le considerazioni sulla sicurezza influenzano ogni aspetto, dalla selezione del sito (ad esempio, la distanza da potenziali minacce) alle procedure operative quotidiane, rendendola una sfida di progettazione multidisciplinare.

Sicurezza di rete: Firewall, sistemi IDS/IPS, micro-segmentazione e crittografia dei dati

La protezione dei dati da minacce informatiche è altrettanto critica quanto la sicurezza fisica.

- **Firewall:** controllano e filtrano il traffico di rete in entrata e in uscita, bloccando l'accesso non autorizzato in base a porte o indirizzi di origine/destinazione. I firewall di

nuova generazione (NGFW) spesso integrano funzionalità di IDS/IPS.

- **IDS (Intrusion Detection Systems) e IPS (Intrusion Prevention Systems):** i sistemi IDS monitorano il traffico di rete per identificare attività sospette o dannose e generare avvisi. Gli IPS, invece, non solo rilevano ma anche bloccano attivamente le minacce in tempo reale, operando "inline" nel flusso di traffico. Utilizzano analisi basate su firme di minacce conosciute e analisi comportamentale per individuare anomalie.
- **Micro-segmentazione:** questa strategia divide la rete in piccoli segmenti di sicurezza isolati, limitando il movimento laterale degli attaccanti e applicando politiche di sicurezza granulari direttamente a livello di workload o applicazione. Implementata spesso tramite SDN, riduce drasticamente la superficie di attacco.
- **Crittografia dei dati:** protegge i dati sia in transito che a riposo. Protocolli come SSL/TLS (Secure Sockets Layer/Transport Layer Security) e IPsec (Internet Protocol Security) garantiscono riservatezza, integrità e autenticazione delle comunicazioni.

La sicurezza di rete si sta evolvendo da un approccio perimetrale a uno "zero trust" e intrinseco, dove ogni workload è protetto individualmente tramite micro-segmentazione. Questo richiede una progettazione di rete che non si limiti alla connettività, ma che integri la sicurezza a ogni livello, dalla segmentazione logica alla crittografia, e che sia dinamica e automatizzata, spesso tramite SDN. Il passaggio da una difesa basata sul

perimetro a una sicurezza intrinseca significa che gli architetti di rete devono progettare per una protezione inerente, dove ogni percorso di comunicazione e ogni workload sono segmentati e protetti individualmente, piuttosto che fare affidamento esclusivamente su firewall esterni.

L'integrazione dell'SDN è cruciale in questo contesto, poiché abilita l'applicazione programmatica di queste politiche granulari, automatizzando le risposte di sicurezza e adattandosi alle minacce dinamiche. Ciò richiede una collaborazione più profonda tra ingegneri di rete e specialisti di cybersecurity per incorporare la sicurezza nel tessuto stesso dell'architettura di rete.

Scalabilità, Flessibilità e Progettazione Future-Proof

La capacità di un data center di crescere e adattarsi alle esigenze future è un fattore determinante per il suo successo a lungo termine.

Design modulare per espansione e aggiornamenti

I data center devono essere progettati per accomodare la crescita futura e i progressi tecnologici senza interruzioni significative. Il design modulare è una strategia chiave in questo senso, consentendo un'espansione rapida e conveniente attraverso l'aggiunta di moduli prefabbricati.

I vantaggi del design modulare includono:

- **Costi Inferiori:** spesso meno costoso della costruzione

tradizionale di data center.

- **Velocità di Implementazione:** i moduli prefabbricati possono essere dispiegati molto più rapidamente.
- **Flessibilità nel Dimensionamento:** permette di “dimensionare correttamente” la soluzione per un caso d’uso specifico, aggiungendo unità in base alle necessità.
- **Sostenibilità:** contribuisce a ridurre gli sprechi di materiale e i costi nel tempo.
- **Integrazione con Edge Computing:** ideale per la realizzazione di strategie di edge computing, posizionando la potenza di calcolo più vicino agli utenti finali.

Considerazioni per le tendenze future (AI, Edge Computing, Sostenibilità)

La progettazione di un data center deve anticipare e integrare le principali tendenze tecnologiche e di mercato che ne influenzeranno l’evoluzione:

- **AI Revolution:** la domanda di unità di elaborazione grafica (GPU) e hardware ottimizzato per l’AI richiede rack ad alta densità e architetture di rete ottimizzate. L’AI stessa guiderà l’ottimizzazione interna dei data center, riducendo il consumo energetico e abilitando la manutenzione predittiva.
- **Edge Computing:** la proliferazione di IoT e 5G sta spingendo la domanda di edge computing, con la necessità di micro data center distribuiti più vicini alle fonti di dati per ridurre la latenza.

- **Sostenibilità:** le crescenti pressioni normative e gli impegni aziendali (ESG) guidano l'adozione di energie rinnovabili (solare, eolico, piccoli reattori modulari nucleari – SMR), soluzioni di raffreddamento avanzate e sistemi di stoccaggio energetico per ridurre l'impatto ambientale.
- **Problemi di Alimentazione Persistenti:** le sfide di approvvigionamento energetico spingono verso buildout distribuiti e soluzioni di energia in loco (come il gas naturale) per ridurre la dipendenza dalla rete elettrica centrale.
- **Carenza di Manodopera Qualificata:** la carenza di manodopera specializzata nel settore spinge verso la prefabbricazione offsite e l'uso di connettori a più alta densità per accelerare l'implementazione e ridurre la necessità di competenze tecniche sul campo.

La progettazione "future-proof" non è più un lusso, ma una necessità strategica. I data center devono essere intrinsecamente adattabili per affrontare l'evoluzione tecnologica (come l'AI e il quantum computing), le mutevoli esigenze di carico di lavoro e le crescenti pressioni normative sulla sostenibilità.

Ciò significa che gli architetti e gli ingegneri devono integrare la flessibilità (ad esempio, design modulare, alimentazione flessibile 208V/415V) e la capacità di scalare in modo incrementale fin dalle prime fasi del progetto, anticipando le esigenze di 10-15 anni.

Il rapido sviluppo dell'AI e dell'edge computing sta creando richieste senza precedenti per la densità di potenza e la bassa latenza, rendendo la modularità e l'infrastruttura flessibile (ad esempio, distribuzione di potenza adattabile, circuiti di acqua refrigerata pre-integrati per il raffreddamento a liquido) essenziali.

Questo implica un passaggio dalla progettazione per requisiti statici alla progettazione per un'evoluzione dinamica, dove l'investimento iniziale deve tenere conto della scalabilità futura e dell'adattabilità per evitare retrofit proibitivamente costosi. Architetti e ingegneri devono adottare una mentalità di "progettazione per il cambiamento", integrando la modularità e anticipando i cambiamenti tecnologici.

Tendenza	Implicazioni per la Progettazione
L'AI Revolution 41	Richiede rack ad alta densità, architetture di rete ottimizzate (es. Spine-Leaf), automazione AI-driven per l'efficienza interna e la manutenzione predittiva. ³⁹
Sforzi di Sostenibilità: L'ascesa dell'Energia Nucleare 41	Spinge all'uso di energie rinnovabili (solare, eolico, SMR), investimenti in sistemi di stoccaggio energetico e una forte attenzione alla riduzione di PUE/WUE. ²⁶
Soluzioni di Raffreddamento Avanzate 41	Necessità di liquid cooling (direct-to-chip, immersion), raffreddamento adiabatico e gestione del flusso d'aria ottimizzata da AI per affrontare l'aumento delle densità di calcolo. ²⁶
Domanda di Edge Computing 41	Richiede la progettazione di micro data center, soluzioni per bassa latenza e architetture ibride che combinano cloud ed edge. ¹⁸

Diversificazione Geografica e Partnership Locali 41	Spinge all'espansione in nuove regioni, alla collaborazione con utility e municipalità locali per ottimizzare l'approvvigionamento energetico e mitigare i rischi normativi.41
Problemi di Alimentazione Persistenti 1	Porta a buildout distribuiti, soluzioni di energia in loco (es. gas naturale) e innovazioni nel raffreddamento per gestire la crescente domanda elettrica.1
Carenza di Manodopera Qualificata 1	Favorisce lo spostamento verso la prefabbricazione offsite, l'uso di connettori ad alta densità e l'automazione per accelerare l'implementazione.1

Tabella 3: Principali Tendenze nella Progettazione dei Data Center per il 2025

Ridondanza e Disaster Recovery

La resilienza operativa è un obiettivo primario nella progettazione dei data center, garantita attraverso strategie di ridondanza e piani di disaster recovery.

Pianificazione del Disaster Recovery (DRP): RTO e RPO

La pianificazione del Disaster Recovery (DRP) è essenziale per garantire la continuità operativa in caso di interruzioni, siano esse dovute a guasti hardware, disastri naturali o attacchi informatici. Due metriche chiave guidano questa pianificazione:

- **RTO (Recovery Time Objective):** rappresenta il tempo massimo accettabile in cui un'applicazione o un servizio può rimanere offline dopo un incidente.
- **RPO (Recovery Point Objective):** indica la quantità massima di dati che può essere persa a causa di un

incidente. Questo valore varia in base alla frequenza di modifica dei dati e alla loro criticità.

RTO e RPO sono metriche fondamentali che guidano l'intera strategia di disaster recovery e hanno un impatto diretto sui costi. Valori RTO/RPO più bassi, che implicano un recupero più rapido e una minore perdita di dati, richiedono architetture più complesse e costose, come siti di ripristino a caldo con replicazione continua.

La pianificazione deve iniziare con un'analisi dell'impatto sul business (Business Impact Analysis – BIA) per allineare gli obiettivi di recupero con le capacità tecniche e il budget disponibile. L'analisi rivela che RTO e RPO non sono solo obiettivi tecnici, ma fattori che determinano direttamente l'investimento finanziario e la complessità architettonica nel disaster recovery. Ingegneri e architetti devono tradurre la criticità aziendale, definita da RTO/RPO, in requisiti infrastrutturali tangibili. Un RTO/RPO basso richiede soluzioni costose come siti "hot" con mirroring dei dati in tempo reale, influenzando la selezione del sito (diversità geografica), la progettazione della rete (DCI ad alta larghezza di banda) e la ridondanza dell'alimentazione. Ciò sottolinea la necessità di una BIA approfondita prima di intraprendere la progettazione del DR, garantendo che la soluzione tecnica sia allineata alla tolleranza al rischio e al budget dell'organizzazione.

Strategie di siti di ripristino: Hot, Warm e Cold Sites

La scelta del tipo di sito di ripristino è un'altra decisione che bilancia costi e rischi:

- **Hot Site:** è una replica completamente funzionale del data center primario, con dati sincronizzati in tempo reale. Offre il minimo impatto e downtime in caso di disastro, consentendo una ripresa immediata delle operazioni. È la soluzione più costosa.
- **Warm Site:** contiene hardware pre-installato (server, storage, switch) ma richiede il trasporto dei dati e la configurazione dell'ambiente di produzione in caso di disastro. Rappresenta un compromesso tra costo e tempo di recupero.
- **Cold Site:** consiste in uno spazio fisico con alimentazione e raffreddamento, ma senza apparecchiature IT. Richiede il trasporto e l'installazione di hardware e dati, comportando tempi di recupero più lunghi. È l'opzione più economica.

La scelta del tipo di sito di ripristino è un'altra decisione cruciale che bilancia costi e rischi. La crescente adozione del cloud offre nuove opzioni per il Disaster Recovery as a Service (DRaaS), minimizzando la necessità di spazi fisici dedicati e riducendo i costi per le aziende più piccole, pur con considerazioni su sicurezza e larghezza di banda.

L'avvento del cloud computing e del DRaaS sta alterando radicalmente il panorama del disaster recovery. Ciò fornisce maggiore flessibilità ed economicità, in particolare per le piccole e medie imprese, astrattando l'infrastruttura fisica. Per architetti e ingegneri, ciò significa che la pianificazione del DR non riguarda più solo la progettazione di un secondo edificio fisico, ma anche l'integrazione di ambienti cloud, la comprensione delle

tecnologie di virtualizzazione (hypervisor, VM) e la garanzia di interconnessioni sicure e ad alta larghezza di banda tra le risorse on-premises e cloud. Questo amplia la portata della progettazione del DR per includere architetture cloud ibride.

Livello di Ridondanza	Descrizione	Tier Uptime Institute Associato	Disponibilità (%)	Tempo di Downtime Annuale (Max)	Caratteristiche Chiave
N 27	Capacità base, nessun backup, suscettibile a singoli punti di guasto 27	Tier I 4	99.671% 4	28.8 ore 4	Percorso singolo alimentazione raffreddamento nessun componente di ridondanza
N+1 27	Un componente aggiuntivo per ogni N richiesto, resilienza minima 27	Tier II 4	99.741% 4	22 ore 4	Percorso singolo alimentazione raffreddamento alcuni componenti di ridondanza
N+2 27	Due componenti extra, ulteriore protezione 27	(Spesso associato a Tier III)	(Superiore a 99.741%)	(Inferiore a 22 ore)	Più componenti di ridondanza
2N 27	Immagine speculare del sistema primario, piena tolleranza ai guasti 27	Tier IV 4	99.995% 4	26.3 minuti 4	Percorsi attivi per alimentazione raffreddamento componenti completi di ridondanza tolleranza ai guasti 4

2N+1 27	2N più un componente extra, massimo livello di protezione 27	(Superiore a Tier IV)	(Massima disponibilità)	(Minima downtime)	Massima ridondanza protezione
---------	--	-----------------------	-------------------------	-------------------	-------------------------------

Tabella 4: Livelli di Ridondanza e Classificazione Tier Uptime Institute

Il ruolo (indispensabile) del BIM nella progettazione dei Data Center

Il Building Information Modeling (BIM) è diventato un fattore di cambiamento fondamentale nella costruzione di data center. La sua influenza va ben oltre la semplice rappresentazione 3D; il BIM è un modello digitale completo che integra gli attributi fisici e funzionali di una struttura. Questa metodologia trasforma ogni aspetto del progetto, dalla coordinazione iniziale all'esecuzione dettagliata.

BIM come game-changer: Modellazione e gestione dei processi su CDE

Il BIM non è solo uno strumento di modellazione, ma una metodologia che supporta la gestione dei processi su un Common Data Environment (CDE). In un CDE, tutte le informazioni del progetto sono centralizzate e accessibili a tutti gli stakeholder, garantendo una collaborazione fluida e una gestione efficiente dei dati lungo l'intero ciclo di vita



del progetto. Questo approccio è particolarmente vantaggioso per la complessità dei data center, dove la precisione e la coordinazione sono vitali.

Vantaggi del BIM: Coordinamento, rilevamento clash, prefabbricazione, ottimizzazione termica (CFD)

I vantaggi dell'adozione del BIM nella progettazione dei data center sono numerosi e di grande impatto:

- **Coordinamento e Rilevamento Clash:** il BIM integra sistemi architettonici, strutturali e MEP (meccanici, elettrici, idraulici) in un modello unificato. Questo permette di identificare i conflitti (clash) in fase precoce, minimizzando costosi rilavori e ritardi in cantiere.
- **Prefabbricazione e Modulazione MEP:** facilita la prefabbricazione di componenti, come tubazioni, condotti, rack pre-assemblati e persino intere sale dati modulari, che possono essere fabbricati offsite. Questo accelera i tempi di costruzione, riduce gli sprechi di materiale e migliora la sicurezza in cantiere. Richiede modelli BIM dettagliati, spesso a un Level of Development (LOD) 400, che includono specifiche esatte per i componenti.
- **Ottimizzazione Termica (CFD):** i modelli BIM possono essere integrati con simulazioni Computational Fluid Dynamics (CFD) per analizzare e ottimizzare i modelli di flusso d'aria all'interno del data center, in particolare nelle configurazioni a corsie calde/fredde. Questo

migliora l'efficienza energetica del sistema di raffreddamento e prolunga la vita dell'hardware, aiutando anche a raggiungere gli obiettivi di sostenibilità.

- **Gestione Cavi e Pavimento Sopraelevato:** il BIM consente di creare layout dettagliati per i sistemi sotto il pavimento sopraelevato, gestendo condotti, cavi e alimentazione. Questo assicura l'integrità strutturale, il mantenimento di un flusso d'aria ottimale e la definizione di zone di accesso chiare per la manutenzione futura.

BIM per la gestione degli asset a lungo termine (Digital Twin, COBie)

Una volta costruito, il modello BIM si evolve in un potente strumento per la gestione delle strutture e le operazioni. Incorpora dati dettagliati sulle apparecchiature, programmi di manutenzione, garanzie e specifiche di sistema, fungendo da "digital twin" dell'edificio. COBie (Construction Operations Building Information Exchange) facilita il trasferimento di informazioni sugli asset dal processo di costruzione alle operazioni, garantendo un passaggio di consegne senza interruzioni.

Il BIM non è solo uno strumento di progettazione e costruzione, ma una piattaforma abilitante per l'intero ciclo di vita del data center, dal concept alla gestione operativa e alla dismissione. La creazione di un "digital twin" tramite BIM/COBie consente una manutenzione predittiva, una gestione efficiente degli asset e una

pianificazione degli aggiornamenti con piena visibilità delle limitazioni spaziali, riducendo significativamente i tempi di inattività e migliorando l'efficienza a lungo termine.

La capacità di prevedere i guasti delle apparecchiature con maggiore precisione grazie all'analisi predittiva basata sull'AI, integrata con i dati del digital twin, riduce i costi di manutenzione e aumenta l'affidabilità complessiva del sistema. Questo eleva il ruolo di ingegneri e architetti a consulenti strategici per l'intero ciclo di vita dell'infrastruttura, offrendo un valore continuo ben oltre la fase di costruzione.

Standard e best practice per la progettazione di Data Center

La progettazione di data center è regolata da una serie di standard e best practice che ne garantiscono l'affidabilità, l'efficienza e la sicurezza.

Standard di riferimento: Uptime Institute Tiers, ANSI/TIA-942, BICSI-002, ASHRAE, NFPA, LEED

Questi standard forniscono linee guida essenziali per garantire affidabilità, efficienza e sicurezza:

- **Uptime Institute's Tier Standards:** è un sistema ampiamente riconosciuto che classifica i data center in quattro livelli (Tier I, II, III, IV) in base alla loro infrastruttura e capacità di sostenere le operazioni, con

livelli crescenti di disponibilità e tolleranza ai guasti.
(dettagliato nella tabella)

- **ANSI/TIA-942:** sviluppato dalla Telecommunications Industry Association, questo standard fornisce una guida riconosciuta a livello globale per la costruzione di data center efficienti, affidabili e scalabili. Copre aspetti come la selezione del sito, la pianificazione dello spazio, il cablaggio e i requisiti di affidabilità.
- **BICSI-002:** questo standard del Building Industry Consulting Service International offre linee guida complete per la progettazione e l'implementazione dell'infrastruttura dei data center, inclusi la selezione del sito, la pianificazione dello spazio, la progettazione elettrica, i sistemi HVAC, la sicurezza e la protezione antincendio.
- **ISO/IEC 24764:** uno standard congiunto dell'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione e della Commissione Elettrotecnica Internazionale, che delinea le specifiche per i sistemi di cablaggio generici nei data center, garantendo compatibilità e prestazioni.
- **LEED Certification:** gestita dall'U.S. Green Building Council, la certificazione LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) valuta le prestazioni ambientali dei data center, con un focus su aspetti di sostenibilità come l'efficienza energetica, l'uso dell'acqua, la qualità dell'aria e i materiali da costruzione.
- **NFPA 75 e NFPA 76:** questi standard della National Fire Protection Association affrontano specificamente la

protezione delle apparecchiature informatiche (NFPA 75) e delle strutture di telecomunicazione (NFPA 76), coprendo la rilevazione degli incendi, la soppressione e i protocolli di sicurezza complessivi.

- **ASHRAE 90.4:** sviluppato dall'American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, questo standard si concentra sull'efficienza energetica dei data center, fornendo linee guida per la progettazione di sistemi meccanici ed elettrici a basso consumo energetico, inclusi metodi di raffreddamento efficienti come le configurazioni a corsie calde/fredde e le tecnologie di raffreddamento a liquido.

Il Futuro della Progettazione dei Data Center

La progettazione e l'architettura dei data center rappresentano una delle sfide più complesse e dinamiche nel campo dell'ingegneria e dell'architettura moderna. Questi edifici non sono semplici strutture, ma ecosistemi tecnologici complessi, essenziali per il funzionamento dell'economia digitale globale. La loro crescente domanda, guidata dall'espansione dell'intelligenza artificiale, dell'edge computing e del cloud, li rende una tipologia edilizia sempre più frequente e strategicamente vitale.

Per ingegneri e architetti, padroneggiare la progettazione dei data center non è più un'opzione, ma una competenza fondamentale. La natura "machine-centric" di queste strutture impone requisiti estremi per l'infrastruttura fisica, l'alimentazione, il raffreddamento, la rete, la sicurezza e la

resilienza. Ogni decisione progettuale, dalla selezione del sito all'organizzazione dei rack, ha ripercussioni significative sull'efficienza operativa, sui costi totali di proprietà (TCO) e sulla capacità di adattamento a future esigenze tecnologiche.

L'analisi ha rivelato come la progettazione debba essere intrinsecamente integrata e multidisciplinare. La scelta del sito, ad esempio, non è solo una questione tecnica ma logistica e sociale, influenzata da disponibilità energetica, connettività, normative locali e relazioni con le comunità. La struttura edilizia deve essere progettata per carichi elevati, resistenza al fuoco e insonorizzazione, con il pavimento sopraelevato che si configura come un investimento strategico per la flessibilità e l'efficienza termica.

Le strategie di ridondanza e la pianificazione del disaster recovery, guidate dagli obiettivi di RTO e RPO, sono cruciali per garantire la continuità operativa, richiedendo un'attenta analisi costi-benefici. I sistemi di raffreddamento si evolvono rapidamente, con l'adozione di soluzioni avanzate come il liquid cooling e il free cooling, spinti dalla necessità di gestire densità di calcolo crescenti e di raggiungere ambiziosi obiettivi di sostenibilità (PUE e WUE). L'architettura di rete si sta spostando verso modelli più piatti e scalabili come Spine-Leaf, con l'SDN che abilita una gestione flessibile, automatizzata e una sicurezza granulare attraverso la micro-segmentazione.

Il Building Information Modeling (BIM) emerge come uno strumento indispensabile, che trasforma il processo di progettazione e costruzione. Il BIM non solo migliora il coordinamento e il rilevamento dei clash, ma facilita la prefabbricazione e l'ottimizzazione termica tramite simulazioni CFD. Soprattutto, si evolve in un "digital twin" per la gestione degli asset a lungo termine, consentendo manutenzione predittiva e aggiornamenti efficienti, estendendo il valore del progetto ben oltre la fase di costruzione.

I data center in Italia

In Italia, ci sono attualmente 157 data center attivi, con una forte concentrazione nel Nord Italia, in particolare nell'area di Milano. Roma e Torino sono altri centri importanti per la presenza di data center.

Il settore dei data center in Italia sta vivendo un momento di forte crescita, con ingenti investimenti nel periodo 2023-2026. Si stima che siano stati spesi circa 5 miliardi di euro nel biennio 2023-2024 e sono previsti ulteriori 10,1 miliardi per il biennio successivo. Numerosi operatori, sia italiani che internazionali, stanno investendo nella realizzazione di nuovi data center e nell'ampliamento di quelli esistenti.

L'Italian Datacenter Association riunisce i principali attori del settore, tra cui operatori, costruttori e fornitori di servizi. Per avere un quadro completo della situazione, è possibile consultare il [sito web di Datacenter Map](#), che fornisce una mappa dettagliata dei data center presenti in Italia e dei loro operatori.



Raccomandazioni per i Professionisti

- 1. Formazione Continua e Specializzazione:** gli ingegneri e gli architetti devono investire nella formazione continua per acquisire competenze specifiche nella progettazione di data center, coprendo aspetti meccanici, elettrici, strutturali e di rete, con un focus sulle tecnologie emergenti.
- 2. Adozione del BIM e del CDE:** è imperativo adottare il BIM come metodologia di progettazione e gestione, sfruttando appieno le sue capacità di coordinamento, simulazione e gestione del ciclo di vita degli asset su un Common Data Environment.
- 3. Approccio Olistico e Multidisciplinare:** la progettazione deve essere concepita in modo olistico, integrando tutte le discipline fin dalle fasi iniziali e considerando le interdipendenze tra infrastruttura fisica, IT e operativa.

4. **Progettazione "Future-Proof"**: è essenziale progettare con un'ottica di lungo termine, anticipando le tendenze tecnologiche (AI, Edge Computing) e di mercato, e implementando soluzioni modulari e flessibili che consentano una facile scalabilità e aggiornabilità.
5. **Focus sulla Sostenibilità**: la sostenibilità deve essere un principio guida, integrando soluzioni per l'efficienza energetica (PUE, WUE), l'uso responsabile dell'acqua e l'adozione di energie rinnovabili.
6. **Collaborazione Strategica**: collaborare strettamente con gli stakeholder aziendali per comprendere le esigenze di business, gli obiettivi di RTO/RPO e i vincoli di budget, traducendoli in soluzioni tecniche ottimali.

I data center sono il futuro dell'edilizia infrastrutturale. Per gli ingegneri e gli architetti, padroneggiare la loro progettazione significa non solo rispondere a una domanda di mercato crescente, ma anche posizionarsi all'avanguardia dell'innovazione, contribuendo alla costruzione di un'infrastruttura digitale resiliente e sostenibile per le generazioni future.



Indirizzo articolo: <https://biblus.acca.it/come-si-progetta-un-data-center/>

