



GLI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO NEGLI ATTUALI DATA-CENTER

BEST PRATICE E NORME DI RIFERIMENTO

Ing. Angelo Priolo

5 novembre 2025



INDICE DEGLI ARGOMENTI

- Introduzione al concetto di PUE
- Le Attuali Tecnologie di Condizionamento dei Data-Center
- L'infrastruttura
- Classificazione dei Data-Center Secondo TIER
- Requisiti e best practice delle computer room
- Requisiti dei locali tecnici dei Data-Center
- La Documentazione

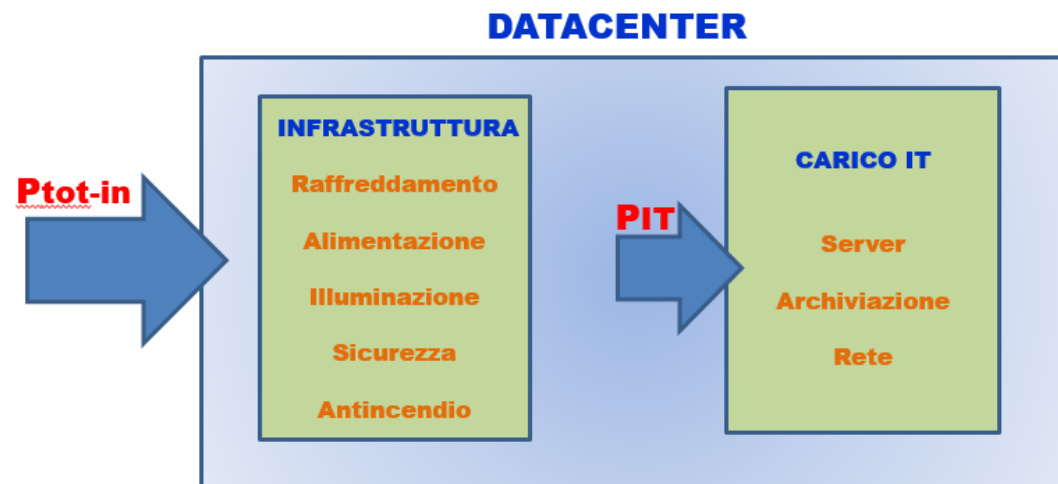




IL PUE FRA I PRINCIPALI FATTORI DI EFFICIENZA ENERGETICA

Esso è un parametro che rende l'idea di quanta potenza elettrica sia dedicata alle alimentazioni degli apparati IT rispetto ai servizi ausiliari. Tale parametro lo si utilizza per calcolare l'efficienza energetica di un centro di calcolo ed è data dal rapporto fra tutta la potenza assorbita dall'infrastruttura rispetto a quella assorbita dai soli apparati IT:

$$PUE = \frac{\text{Potenza totale}}{\text{Potenza IT}}$$



PUE	DCIE	PERDITE	EFFICIENZA DEL SITO
3	33%	67%	Molto Bassa
2,5	40%	60%	Bassa
2	50%	50%	Media
1,5	67%	33%	Buona
1,2	83%	17%	Ottima

Fonte ENEA Prestazione Fornita da Green Greed



ATTUALI TECNOLOGIE DI CONDIZIONAMENTO DEI DATA CENTER

CONDIZIONAMENTO AD ESPANSIONE DIRETTA

Il sistema di condizionamento a **espansione diretta (DX)** rappresenta la configurazione più tradizionale e diffusa nei data center di piccole e medie dimensioni.

In questa architettura, il calore prodotto dalle apparecchiature IT viene rimosso tramite unità di condizionamento dedicate (CRAC – Computer Room Air Conditioner) che utilizzano un circuito frigorifero autonomo, composto da compressore, evaporatore, condensatore e gas refrigerante. L'aria calda aspirata dalla sala server attraversa la batteria di raffreddamento dell'unità, dove il refrigerante assorbe il calore e lo trasferisce all'esterno alle unità condensanti.

Il sistema funziona in ciclo chiuso, garantendo temperature e umidità controllate all'interno della computer room.

- **Vantaggi:** semplice, affidabile, adatta a piccoli/medi data center
- **Svantaggi:** efficienza limitata, difficoltà di modulazione e scalabilità





ATTUALI TECNOLOGIE DI CONDIZIONAMENTO DEI DATA CENTER

FREE COOLING

L'efficienza energetica nei sistemi ad espansione diretta la si può ottenere tramite il **free-cooling**

Freecooling diretto (Direct Free Cooling)

L'aria esterna, quando le condizioni di temperatura e umidità lo permettono, **viene introdotta direttamente nella sala IT** per raffreddare l'ambiente, bypassando il ciclo frigorifero.

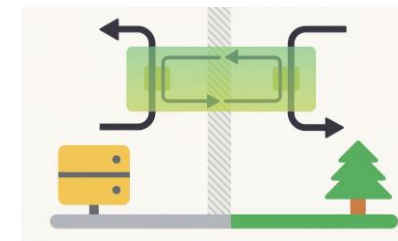
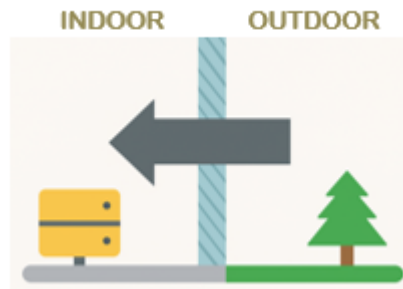
I compressori del circuito DX vengono quindi **spenti o ridotti al minimo**, con un risparmio energetico significativo.

È usato soprattutto in **climi freddi o temperati**, con sistemi di filtrazione e controllo umidità molto precisi.

Freecooling indiretto a refrigerante pompato (Pumped Refrigerant Free Cooling)

Non si immette aria esterna nel data center, ma si usa un **circuito chiuso di refrigerante pompato** che trasferisce calore verso l'esterno tramite uno **scambiatore aria/refrigerante**.

Quando la temperatura esterna è sufficientemente bassa, il calore viene dissipato **senza azionare i compressori**, usando solo pompe e ventilatori.





ATTUALI TECNOLOGIE DI CONDIZIONAMENTO DEI DATA CENTER

CONDIZIONAMENTO AD ACQUA REFRIGERATA

Il sistema di raffreddamento nei data center moderni di medie e grandi dimensioni, dell' ambiente è affidato principalmente a sistemi ad acqua refrigerata, in cui l'energia termica viene trasferita attraverso un circuito idronico alimentato da uno o più gruppi frigoriferi (chiller).

L'acqua refrigerata, prodotta dai chiller e distribuita tramite pompe dedicate, raggiunge le unità di condizionamento di sala (CRAH – Computer Room Air Handler), dove, attraversando la batteria di scambio termico, assorbe il calore generato dalle apparecchiature IT. L'acqua surriscaldata ritorna quindi ai chiller tramite l'impianto idronico dedicato, dove il calore viene dissipato verso l'esterno mediante torri evaporative o condensatori ad aria.

Questa soluzione consente di ottenere elevata efficienza energetica, soprattutto quando integrata con sistemi free-cooling o con chiller a portata variabile, e garantisce maggiore flessibilità e ridondanza grazie alla separazione tra la produzione e la distribuzione del freddo.





ATTUALI TECNOLOGIE DI CONDIZIONAMENTO DEI DATA CENTER

CONDIZIONAMENTO AD ACQUA REFRIGERATA

Compressori oil-free a levitazione magnetica: eliminano l'olio di lubrificazione e riducono gli attriti meccanici, aumentando l'efficienza soprattutto ai **carichi parziali**, tipici del funzionamento reale dei data center.

Controllo modulante e inverter su compressori, ventilatori e pompe: consente una regolazione continua della potenza frigorifera, adattandola al carico termico effettivo della sala IT, con un notevole risparmio energetico.

Integrazione del free cooling (raffreddamento gratuito): quando le condizioni climatiche esterne lo permettono, il chiller utilizza **l'aria o l'acqua esterna fredda** per smaltire il calore, riducendo o escludendo il funzionamento dei compressori.

Progettazione modulare e ridondanza intelligente: i chiller vengono configurati in moduli indipendenti che operano solo quando richiesto, **limitando il consumo di energia** e garantendo comunque continuità operativa (N+1).



Ing. Angelo Priolo



ATTUALI TECNOLOGIE DI CONDIZIONAMENTO DEI DATA CENTER

CONDIZIONAMENTO AD ACQUA REFRIGERATA

Tecnologia	Descrizione	Risparmio medio annuo rispetto a chiller a vite tradizionale (senza PWM / inverter)	Note
Vite inverter (modulazione PWM)	Compressore a vite con controllo di velocità variabile	≈ 20–30%	Riduzione dei cicli on/off e miglioramento efficienza a carichi parziali
Scroll inverter / multi-scroll	Compressori scroll con inverter o logiche tandem	≈ 25–35%	Maggiore efficienza ai carichi intermedi
Centrifugo a levitazione magnetica (oil-free)	Compressore magnetico a giri variabili, senza olio	≈ 30–45%	Eliminazione attriti meccanici e perdite da olio
Magnetico + Free-Cooling integrato	Stessa tecnologia con scambio aria/acqua diretto in condizioni favorevoli	≈ 45–60%	Possibile spegnimento totale del compressore per migliaia di ore/anno



ATTUALI TECNOLOGIE DI CONDIZIONAMENTO DEI DATA CENTER

SISTEMA DUAL-FLUID

Il **sistema Dual Fluid** rappresenta una soluzione ibrida che combina i vantaggi dei sistemi a espansione diretta (DX) e di quelli ad acqua refrigerata, con l'obiettivo di garantire continuità operativa e ridondanza termica.

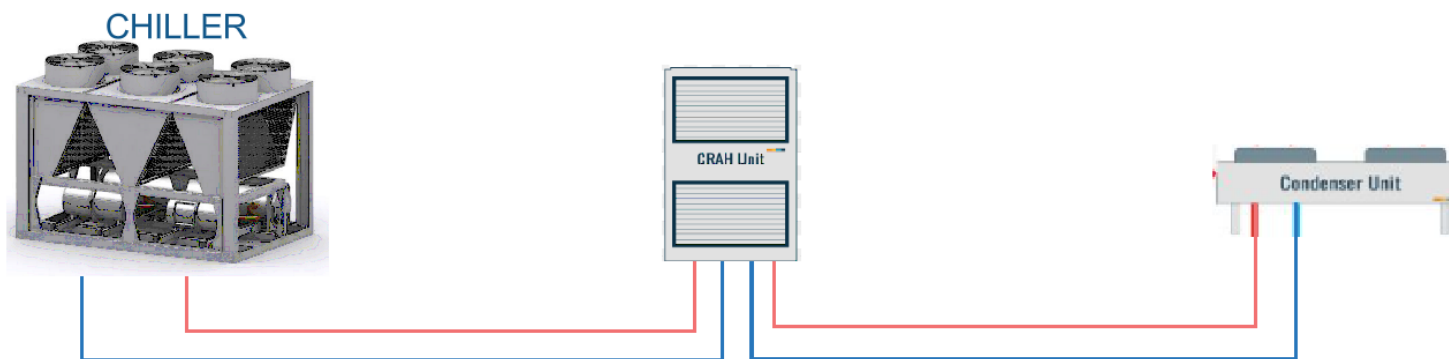
In questa configurazione, le unità di condizionamento di sala (CRAC/CRAH dual fluid) sono equipaggiate con due circuiti di raffreddamento indipendenti:

Un circuito ad acqua refrigerata, alimentato da chiller centralizzati, utilizzato come sistema primario per il funzionamento ordinario,

Un circuito a espansione diretta (DX) con compressori e gas refrigerante, che entra in funzione automaticamente in caso di guasto, manutenzione o insufficienza del circuito idronico.

Questa architettura consente di mantenere la climatizzazione anche in caso di interruzione del sistema principale, aumentando l'affidabilità complessiva (uptime) del data center.

- **Vantaggi:** alta affidabilità, ridondanza, efficienza ottimizzabile
- **Svantaggi:** maggiore complessità impiantistica e costi superiori

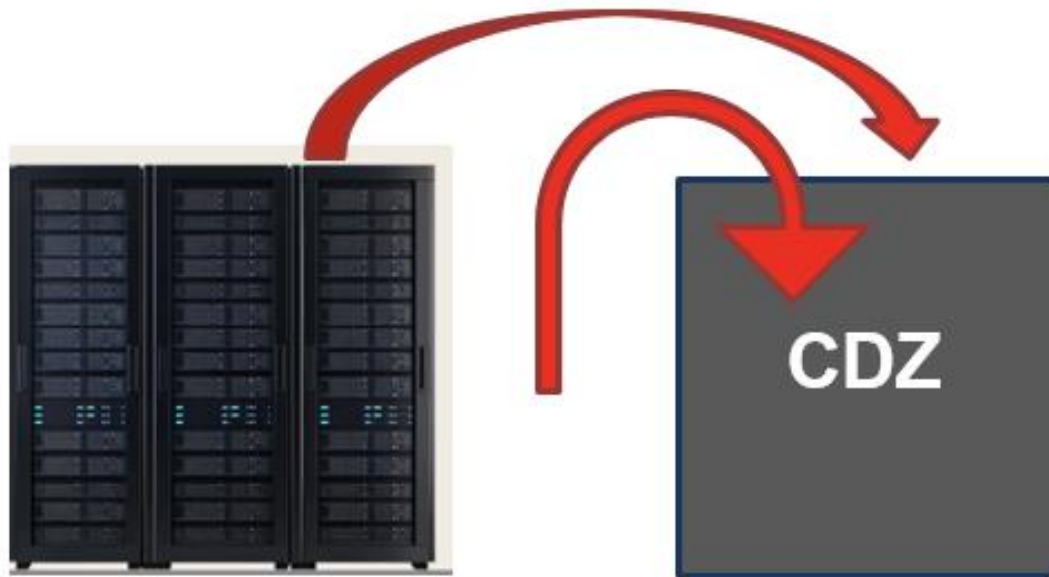




ATTUALI TECNOLOGIE DI CONDIZIONAMENTO DEI DATA CENTER

SISTEMA DUAL-FLUID

Il sistema dual fluid entra in funzione automaticamente sia in caso di guasto, manutenzione o insufficienza del circuito idronico quindi nel momento in cui il sistema rilevi la necessità di fornire una maggiore potenza frigorifera.



Regolare con precisione il **setpoint** di intervento del **sistema ad espansione diretta nelle unità dual fluid** è fondamentale per garantire un funzionamento efficiente del sistema di climatizzazione: ciò permette di sfruttare prioritariamente il circuito ad acqua refrigerata e di attivare il circuito DX solo quando realmente necessario, con un netto miglioramento dell'efficienza energetica complessiva.



L'INFRASTRUTTURA

Nell'ambito della progettazione, gestione o adeguamento delle Computer Room, la norma **ANSI/TIA-942** definisce specifici vincoli infrastrutturali che le sale devono rispettare. Tali requisiti hanno l'obiettivo di **garantire la continuità operativa e la sicurezza delle apparecchiature**, prevenendo rischi legati a guasti, perdite o condizioni ambientali non controllate.





L'INFRASTRUTTURA

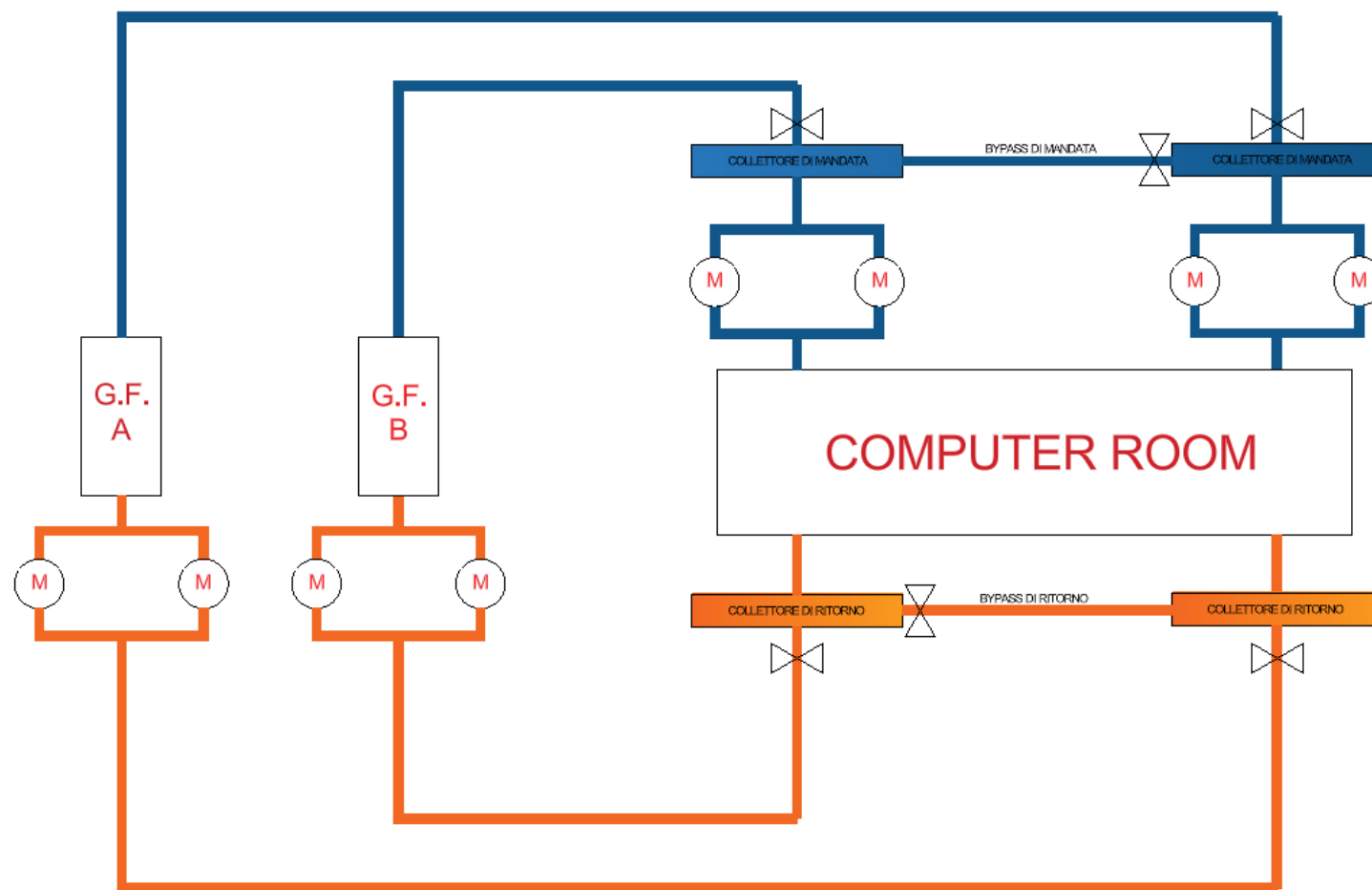
CLASSIFICAZIONE SECONDO TIER

TIER	Ridondanza	Continuità operativa	Cosa significa nella pratica
TIER I	Nessuna ridondanza (livello N)	Bassa: anche un singolo guasto o manutenzione causa interruzione	Un solo percorso per alimentazione e raffreddamento; se un'unità si ferma, i server rischiano surriscaldamento o outage. DOWNTIME 28,8 h/anno
TIER II	Ridondanza componenti (N+1) su parti critiche (UPS, chiller, pompe)	Migliore rispetto al Tier I, ma manutenzione può richiedere downtime parziale	C'è un componente in più per ogni sistema critico, ma la distribuzione spesso resta singola; in caso di interventi critici, si può avere interruzione. DOWNTIME 22/h anno
TIER III	Ridondanza completa (N+1), percorsi multipli per alimentazione e raffreddamento	Alta: attività di manutenzione possono essere svolte senza interrompere il servizio IT	Si possono spegnere o sostituire singoli componenti (pompe, unità HVAC, gruppi di raffreddamento); riduce il rischio operativo. DOWNTIME 1,6 h/anno
TIER IV	Ridondanza massima 2N N+N, sistemi full fault-tolerant	Molto alta: tolleranza ai guasti singoli o multipli, continuità anche durante eventi imprevisti o manutenzioni	Nessun punto singolo di fallimento; sistemi indipendenti e paralleli; il data center resta operativo anche se un intero percorso o componente fallisce DDOWNTIME 0,4 h/anno



L'INFRASTRUTTURA

ESEMPIO SEMPLIFICATO DI UN IMPIANTO IDRONICO TIER III





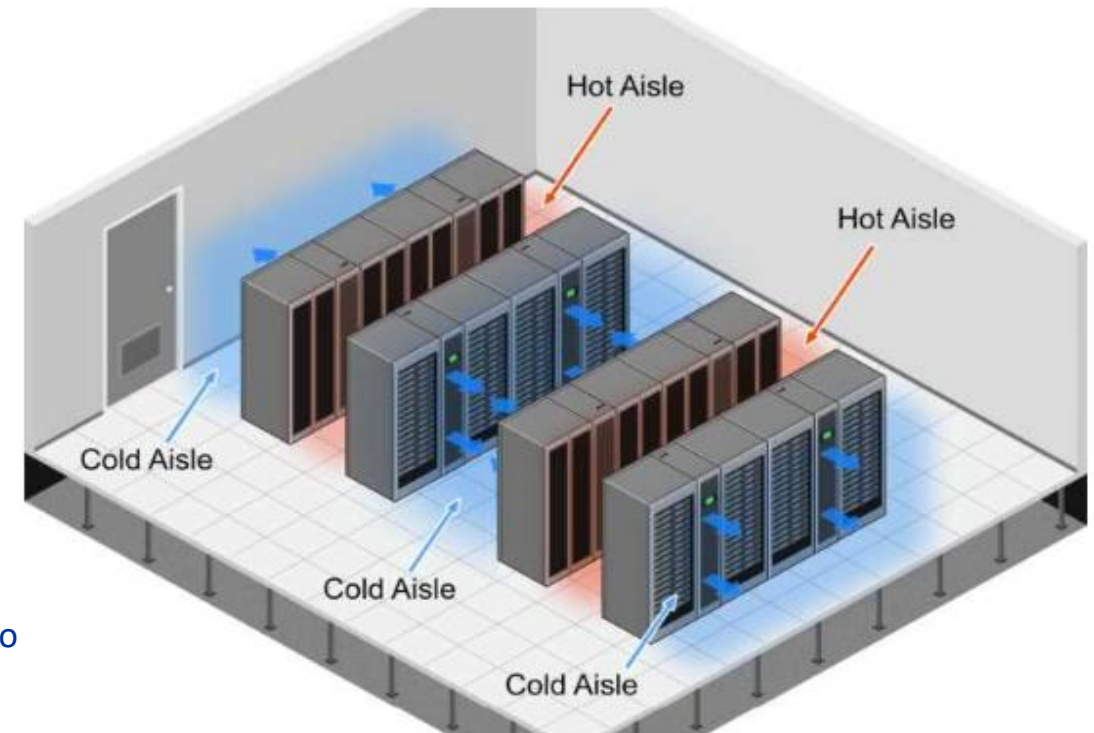
L'INFRASTRUTTURA

REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

Per ANSI TIA 942 I rack devono essere disposti in configurazione alternata, con i frontali degli armadi/rack contrapposti in file, al fine di creare **corsie calde** e **corsie fredde**.

Metodi più efficienti di contenimento migliorano l'efficienza energetica dei data center perché impediscono il mescolamento tra l'aria fredda di mandata e l'aria calda di ritorno possono anche non richiedere l'orientamento degli armadi/rack secondo una configurazione a corsie calde/fredde.

Metodi più efficienti di contenimento dell'aria calda o fredda possono non richiedere l'orientamento degli armadi/rack secondo una configurazione a corsie calde/fredde.





L'INFRASTRUTTURA

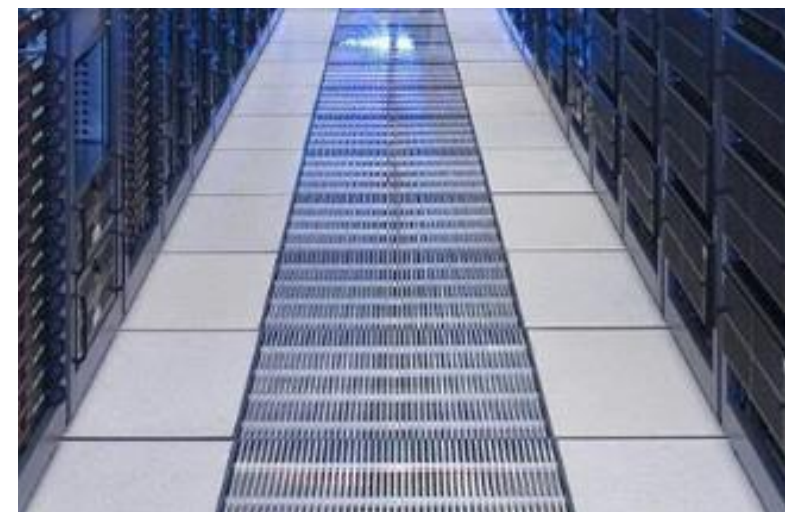
REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

RAFFREDDAMENTO SOTTO PAVIMENTO

Quando viene adottato un sistema di raffreddamento sotto pavimento, i tagli nelle piastrelle devono essere realizzati esclusivamente per:

1. Scarico d'aria dei cabinet o dei sistemi di raffreddamento
2. Permettere il passaggio cavi dal sottopavimento all'area da raffreddare statica

Le aperture nelle piastrelle devono garantire la massima tenuta per ridurre le perdite di pressione nel plenum
Utilizzare spazzole, alette o dispositivi equivalenti per mantenere la pressione





L'INFRASTRUTTURA

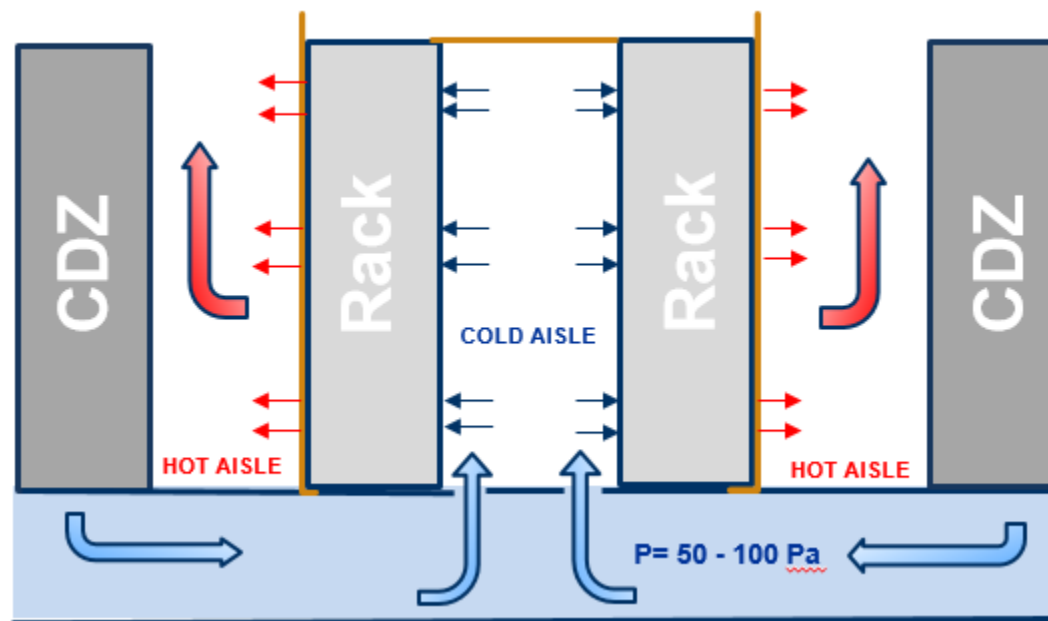
REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

RAFFREDDAMENTO SOTTO PAVIMENTO

Il plenum sotto pavimento funge da **camera di distribuzione dell'aria fredda**.

Una pressione troppo bassa: l'aria non raggiunge uniformemente i rack si formano **zone calde** o flussi preferenziali ("short-circuiting")

Una pressione troppo alta: può causare **turbolenze e ricircolo** può stressare pavimenti sopraelevati o creare perdite di aria dai punti non sigillati.





L'INFRASTRUTTURA

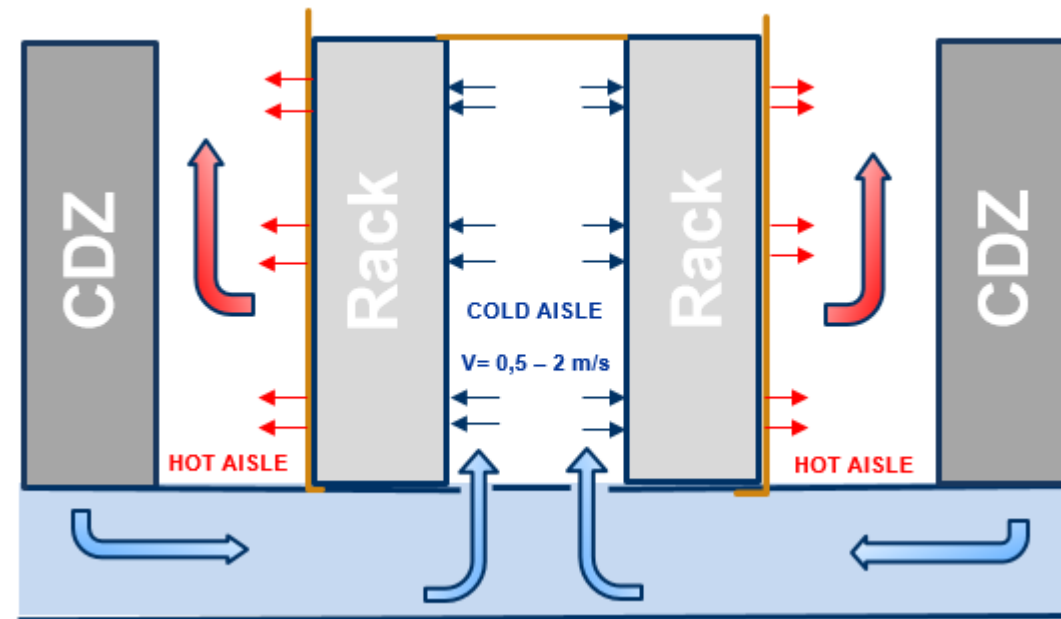
REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

RAFFREDDAMENTO SOTTO PAVIMENTO

La velocità dell'aria che esce dalle piastrelle forate deve essere sufficiente a garantire il raffreddamento dei server. Tipicamente si mira a velocità moderate ($\approx 0,5\text{--}2\text{ m/s}$) per evitare rumore e turbolenze eccessive.

Velocità troppo bassa → insufficiente raffreddamento

Velocità troppo alta → può creare hot spot localizzati se l'aria bypassa il rack





L'INFRASTRUTTURA

REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

Continuità dei Sistemi di Raffreddamento

I sistemi HVAC / di raffreddamento— cioè chiller, pompe, ventilatori, unità CRAC/CRAH, torri evaporative, ecc. — devono poter funzionare anche durante un'interruzione dell'alimentazione elettrica principale, grazie a una fonte di alimentazione di riserva, come: un gruppo elettrogeno o un UPS dedicato per carichi critici



ATS Unità CRAC

Secondo ANSI-TIA 942
è richiesto a tutti i livelli



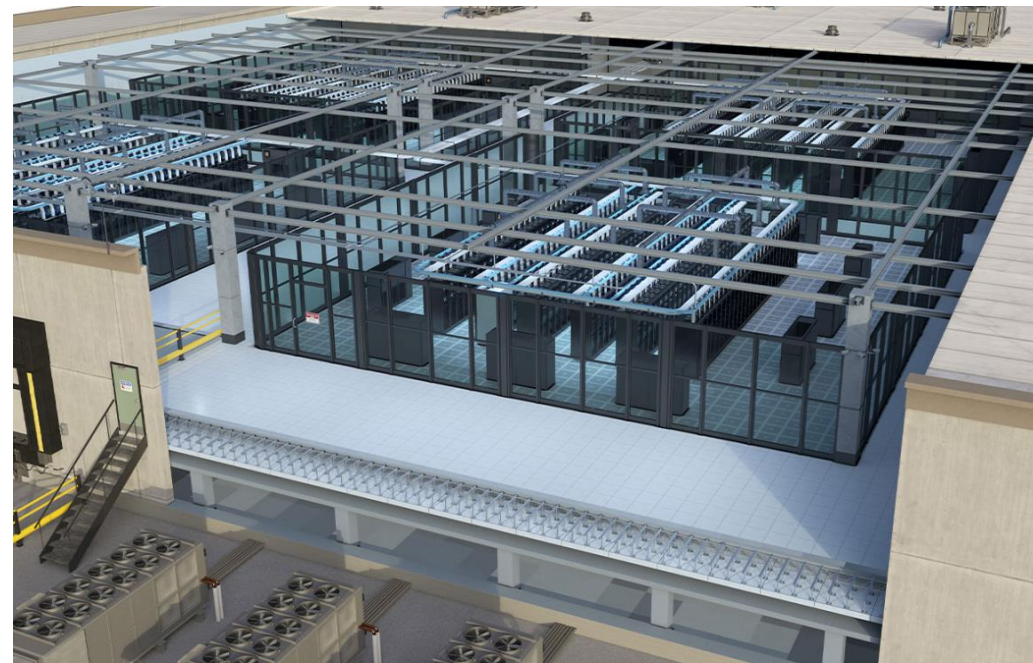
L'INFRASTRUTTURA

REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

Nei locali del data center in cui può sussistere il rischio di infiltrazioni o accumulo d'acqua, è necessario prevedere **un adeguato sistema di evacuazione** — come pozzetti di drenaggio o sistemi di aspirazione — per evitare ristagni che possano compromettere la sicurezza delle apparecchiature.

Sarà quindi necessario prevedere misure di drenaggio e protezione da infiltrazioni provenienti:
da tubazioni o condotte interne,
dal tetto o da piani superiori,
da condensa generata dalle unità HVAC,
da eventi esterni (pioggia, falda, ecc.).

I pozzetti al di sotto del livello del suolo devono essere equipaggiati con dispositivi anti-ritorno. Si raccomanda l'uso di rilevatori di perdite in corrispondenza di tutti i pozzetti di drenaggio. Tutti i liquidi recuperati devono essere smaltiti in maniera ambientalmente sostenibile.



Secondo ANSI-TIA 942 è richiesto a tutti i livelli



L'INFRASTRUTTURA

REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

Divieto di passaggio di tubazioni dell'acqua o di scarico non associate alle apparecchiature del data center negli spazi del data center.

La norma **ANSI/TIA-942** raccomanda che **nessuna tubazione di acqua, scarico, riscaldamento o altri fluidi non direttamente collegata alle apparecchiature del data center** attraversi o sia installata all'interno degli spazi critici (come le **computer room, white space, o locali UPS**).

Questa prescrizione nasce dall'esigenza di:

Prevenire rischi di perdite o infiltrazioni che possano compromettere la continuità operativa o danneggiare le apparecchiature IT;

Evitare la contaminazione ambientale dovuta alla presenza di umidità o condensa;

Ridurre le possibili cause di downtime, in coerenza con i requisiti di affidabilità e disponibilità richiesti.

Questa condizione è:

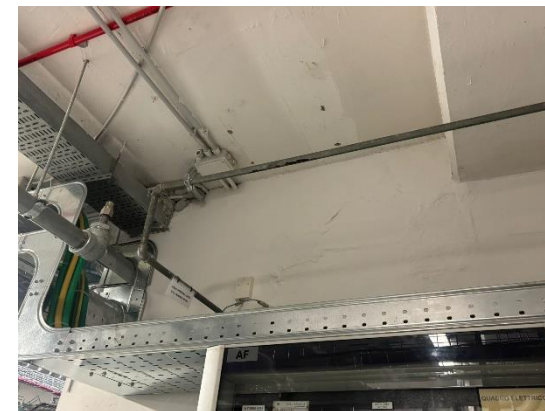
Permessa per TIER I e TIER II anche se sconsigliata

Non Consentita per TIER III e TIER IV

NO



SI





L'INFRASTRUTTURA

REQUISITI DELLE COMPUTERS-ROOM

Water Leak Detection

Al fine di individuare rapidamente perdite da impianti di condizionamento, tubazioni idriche, umidificatori o infiltrazioni, così da prevenire danni alle apparecchiature l'ANSI-TIA 942 raccomanda di installare sistemi di rilevamento perdite d'acqua nelle:

Entrance Rooms locali di ingresso o passaggio che ospitano apparecchiature IT in funzione

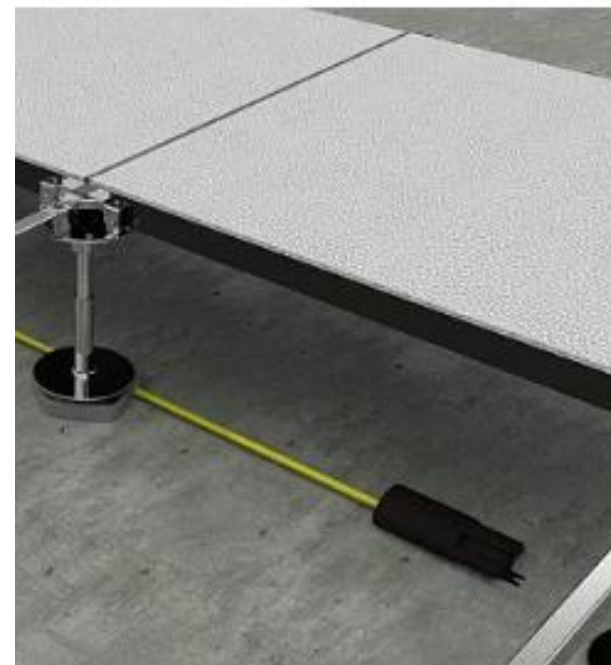
Computer Room Sale server o locali CED

I sistemi di rilevamento perdite d'acqua vanno installati nei punti critici, soprattutto:

Sotto i pavimenti sopraelevati,
Vicino alle unità HVAC,
Lungo percorsi di tubazioni idroniche.

Secondo ANSI-TIA 942 è **richiesto per TIER II , TIER III TIER IV**

- I sensori possono essere puntuali o a cavo, con allarme integrato nel sistema di supervisione.





L'INFRASTRUTTURA

REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

Water Leak Detection

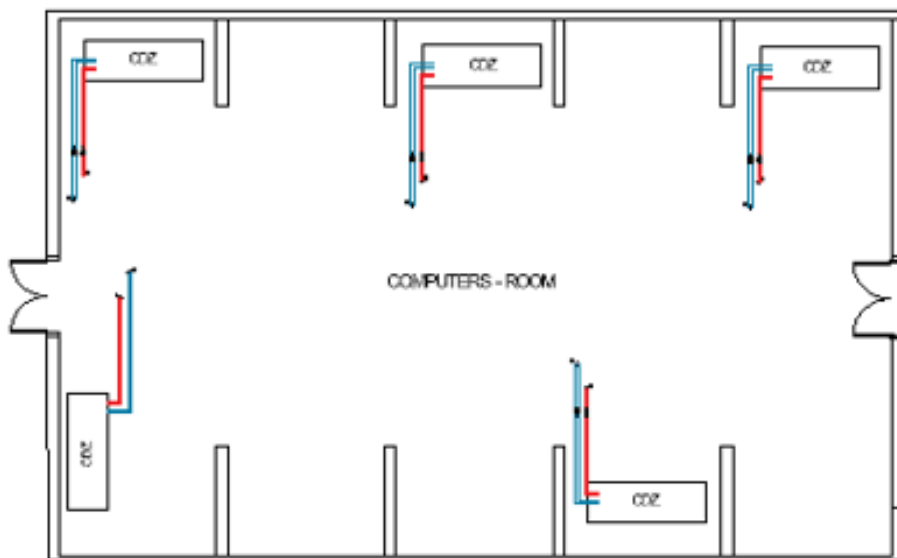
Sistemi di rilevamento perdite d'acqua nei punti critici, soprattutto:

Sotto i pavimenti sopraelevati,

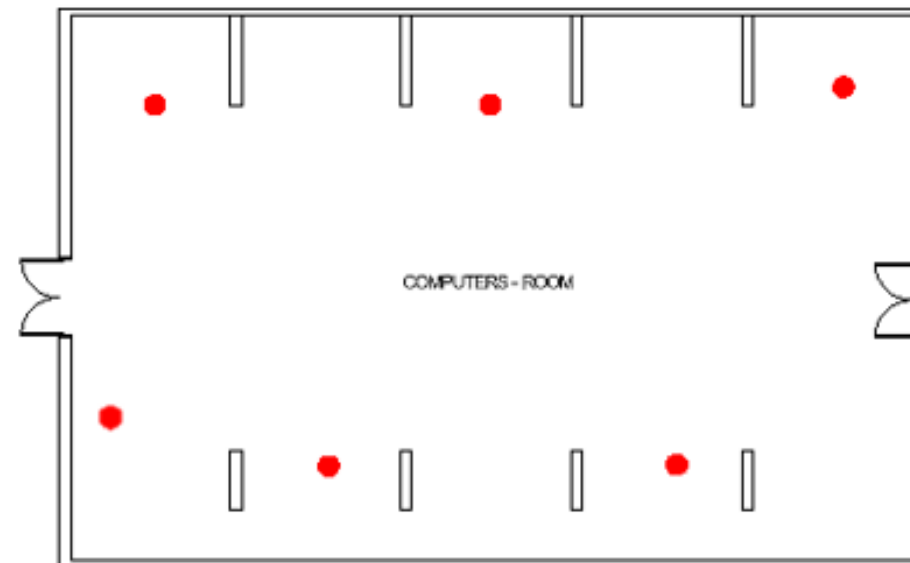
Vicino alle unità HVAC,

Lungo percorsi di tubazioni idroniche.

CDZ DI SALA



POSIZIONAMENTO SENSORI ANTIALLAGAMENTO



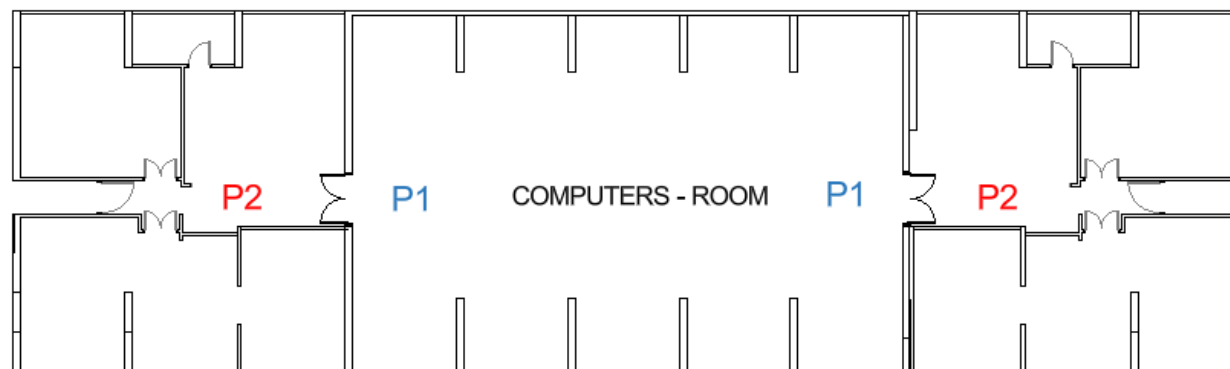


L'INFRASTRUTTURA

REQUISITI DELLE COMPUTER-ROOM

Pressione delle Computer Room

La pressione all'interno delle computer room e negli spazi associati deve essere positiva rispetto all'esterno e agli spazi non appartenenti al data center. Questo lo si ottiene immettendo più aria di quanta ne venga estratta, in modo che l'aria spinga verso l'esterno anziché entrare da fuori. L'Obiettivo è quello di evitare l'ingresso di polvere, umidità o contaminanti, provenienti dall'esterno o da aree non controllate. Questo consente di proteggere apparecchiature e dati in modo da tenere un ambiente pulito e controllato anche in termini di temperatura e umidità.



Secondo ANSI-TIA 942
è richiesto per TIER II , TIER III, TIER IV

$$P1 > P2$$



L'INFRASTRUTTURA

REQUISITI DEI LOCALI TECNICI

I **locali tecnici** del data center (ad es. sale UPS, quadri elettrici, batterie, locali gruppi frigo, corridoi tecnici) ospitano apparecchiature di supporto essenziali al funzionamento dell'infrastruttura IT.

Anche se non direttamente coinvolti nell'elaborazione dati, richiedono un **controllo termico continuo** per garantire affidabilità e durata dei sistemi.

◆ Analisi del carico termico

La progettazione del condizionamento deve partire dal calcolo del **carico termico totale** generato da:
perdite di potenza elettrica delle apparecchiature (UPS, quadri, batterie, trasformatori);
dispersioni dovute alle condizioni ambientali e alla ventilazione.

◆ Ridondanza N+1

Per **TIER II o superiori**, è consigliata una **ridondanza N+1**, ovvero:

la **potenza frigorifera installata** deve essere **superiore al fabbisogno effettivo**, con almeno **una unità aggiuntiva** rispetto al numero minimo necessario (N);

ciò consente di **mantenere le condizioni termiche** anche durante il fermo o la manutenzione di una delle unità operative.



LA DOCUMENTAZIONE

Lo standard ANSI/TIA-942 richiede che la progettazione dei sistemi di condizionamento delle computer room sia documentata in modo da garantire la continuità operativa, l'affidabilità e il rispetto dei requisiti ambientali delle apparecchiature IT.

Planimetria con flussi d'aria (disposizione hot aisle/cold aisle, canalizzazioni, contenimenti).

Calcoli di carico termico delle sale IT e relative curve di dimensionamento

Analisi di ridondanza (N, N+1, 2N) per le unità di raffreddamento.

Specifiche tecniche delle apparecchiature di condizionamento installate

Dichiarazioni di Conformità delle apparecchiature di condizionamento installate e di tutti gli impianti afferenti al condizionamento

Procedure di monitoraggio ambientale (sensori temperatura/umidità, sistemi di allarme)

Piani di manutenzione preventiva e correttiva per gli impianti HVAC.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE