POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
In Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi e progettazione dei sistemi di climatizzazione a servizio di centri di elaborazione dati

Relatore

Prof. Marco Carlo Masoero

Candidato

Claudio D'Amico

A.A 2018/2019

Indice

1. Introduzione 1
2. Struttura di un Data Center 4
   2.1 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers – ANSI/TIA-942 6
   2.2 Sistemi di alimentazione 8
   2.3 Classificazione di un data center 10
3. Climatizzazione di un Data Center 13
   3.1 Guidelines 15
      3.1.1 ASHRAE 15
      3.1.2 The Green Grid 19
      3.1.3 Energy Star 21
      3.1.4 American Power Conversion (APC) 25
   3.2 Principi di condizionamento dell'aria per ambienti IT 28
      3.2.1 Tipologie di distribuzione dell'aria 29
      3.2.2 Sistemi di raffreddamento basati su sala, fila o rack 33
   3.3 Tipologie di climatizzazione 36
   3.4 Free Cooling 45
      3.4.1 Free Cooling ad aria 46
      3.4.2 Free Cooling ad acqua 48
4. Calcolo dei consumi termici di due tipologie di raffreddamento .. 52
   4.1 Chilled Water System 57
   4.2 Liquid Cooling Rack System – Conductive (cold plate) 67
   4.3 Interventi di risparmio energetico 75
      4.3.1 Innalzamento della Temperatura interna del CED 75
      4.3.2 Economizzatore 79
      4.3.3 Free Cooling con innalzamento della Temperatura interna 82
   4.4 Valutazione posizione geografica 87
5. Conclusioni 90
6. Indice Figure 94
7. Indice Tabelle 96
8. Bibliografia 98

1. Introduzione

Il presente lavoro di tesi, svolto in collaborazione con la società di ingegneria "Prodim Srl – Progettazione di Impianti", nasce con l'esigenza di analizzare le diverse linee guida che governano il mondo della progettazione dei centri di elaborazione dati, per poi stabilire di conseguenza le migliori soluzioni di progettazione termotecnica applicabili a questi locali.

Nel seguente elaborato, verranno inizialmente esaminate le principali best practice, cercando di trarre laddove possibile una guide-line indicativa in grado di fornire un quadro generale di quelle che sono le fasi di realizzazione e di mantenimento delle apparecchiature IT.

Per far ciò, sarà necessario approfondire il funzionamento di queste apparecchiature, lo scopo per cui vengono utilizzate, ed infine i parametri ambientali necessari per governarli.

Prima di tutto, bisogna capire cosa sono i data center. Un data center consente non solo di immagazzinare un numero crescente di dati, ma anche di proteggerli e di garantire la continuità elaborativa. Per far fronte a queste necessità un data center viene visto come un complesso apparato informativo aziendale composto da server, storage (o anche sistemi di archiviazione), gruppi di continuità detti UPS, router e altri componenti atti a garantire la continuità operativa.

Il Data Center è quindi una struttura, o un gruppo di strutture, dedicata all'alloggio concentrato, all'interconnessione e al funzionamento delle tecnologie dell'informazione e delle apparecchiature di telecomunicazione di rete che forniscono servizi di archiviazione, elaborazione e trasporto dei dati, a cui vanno aggiunte le strutture e infrastrutture necessarie per la distribuzione dell'energia, il controllo ambientale e i sistemi di sicurezza abili a fornire la disponibilità del servizio desiderato. Di seguito, in Figura 1, viene illustrato un layout schematico di un tipico edificio adibito al contenimento delle apparecchiature IT e dei suoi componenti ausiliari.

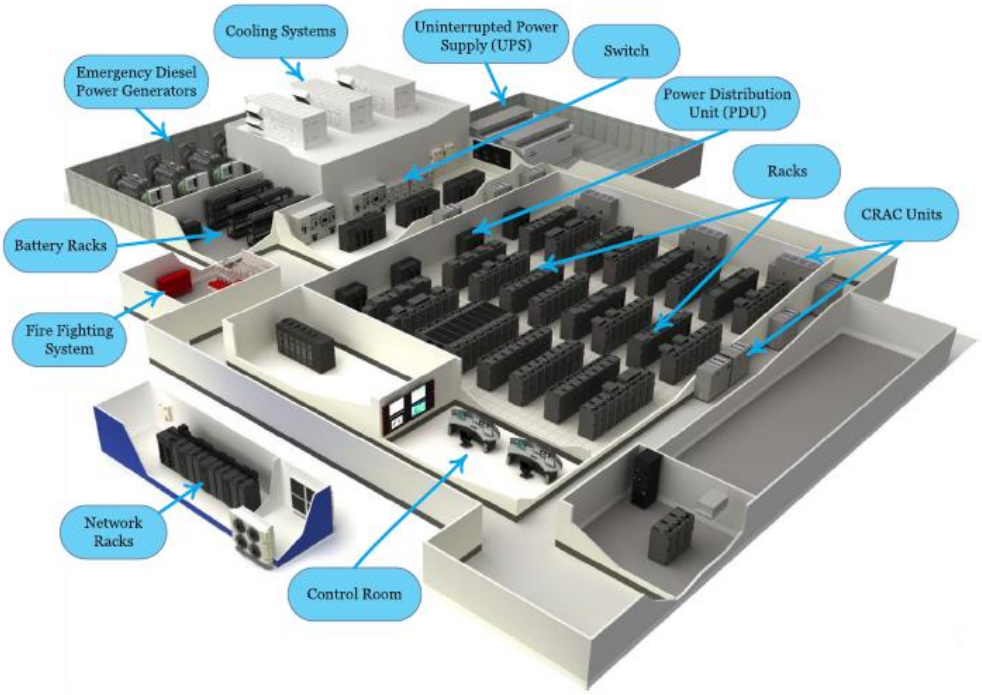


Figura 1. Layout di un tipico edificio contenente Data Center

Negli ultimi anni, il mondo ICT (Information and Communications Technology) sta entrando sempre di più nell'occhio del ciclone. Ciò è dovuto alla crescita esponenziale della domanda di server. A cavallo del nuovo millennio, le apparecchiature IT avevano un consumo annuale elettrico di circa 50 TWh annui che sono dapprima raddoppiati tra il 2000 ed il 2005 per poi giungere a 185 TWh nel 2010, dove rappresentavano l'1,5% del consumo di energia elettrica globale.

A tal proposito, risulta di fondamentale importanza lo studio di Andres S.G Andrae, un noto ricercatore di Huawei, colosso cinese delle telecomunicazioni, il quale ha analizzato dei possibili scenari sui consumi energetici dell'ICT. *[1]*

Nel suo elaborato viene inizialmente illustrata la situazione risalente al 2015, in cui dei 22000 TWh consumati in elettricità nel mondo, la quota parte imputabile al mondo ICT fosse pari a 1700 TWh per un totale circa del 7%.

Considerando che tra il 2010 ed il 2015 vi è stato un aumento del 9% del consumo energetico da parte dei soli data center, si ricava il dato iniziale di 203 TWh annui. Partendo da questo dato il ricercatore ha quindi delineato due possibili scenari, visibili qui di seguito in Figura 2, in cui vengono confrontate due previsioni di consumo elettrico differenti, dove l'unica differenza tra la linea blu e la linea rossa consiste nell'utilizzo di migliorie di risparmio energetico.

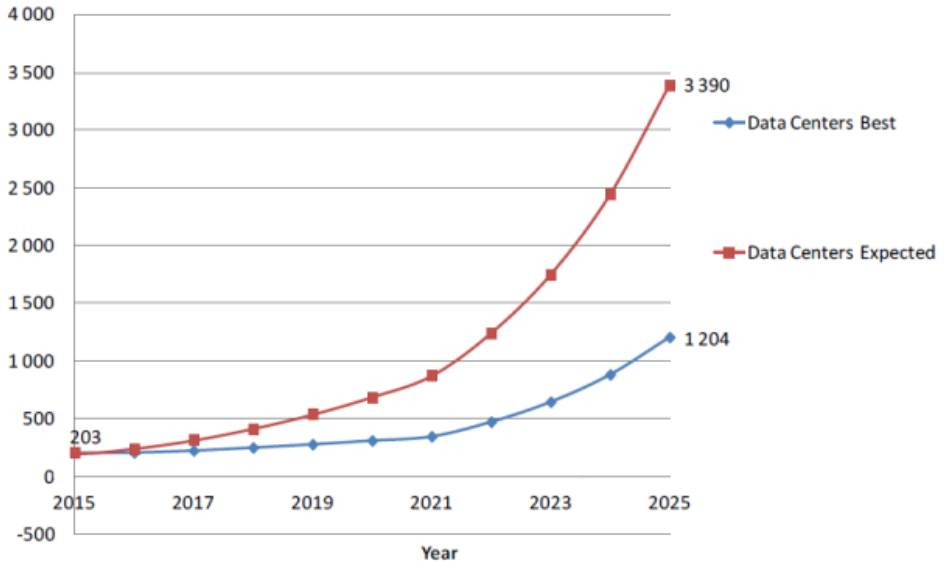


Figura 2. Trend del consumo elettrico (TWh) dei Data Centers 2015-2025

Un aspetto significativo, che si evince dal grafico, risiede nel valore finale di consumo elettrico annuale. Di fatti, anche se alla fine del 2025 si riuscissero a contenere i consumi energetici scaturiti dai datacenter, ci si avvicinerebbe parecchio al valore attuale del consumo elettrico dell'intero parco ICT, di contro questo valore potrebbe essere raddoppiato. Per di più, dall'analisi di Andreas, si nota un progressivo incremento del consumo energetico dei data center a discapito delle altre utenze tecnologiche, come è possibile vedere nella seguente immagine.

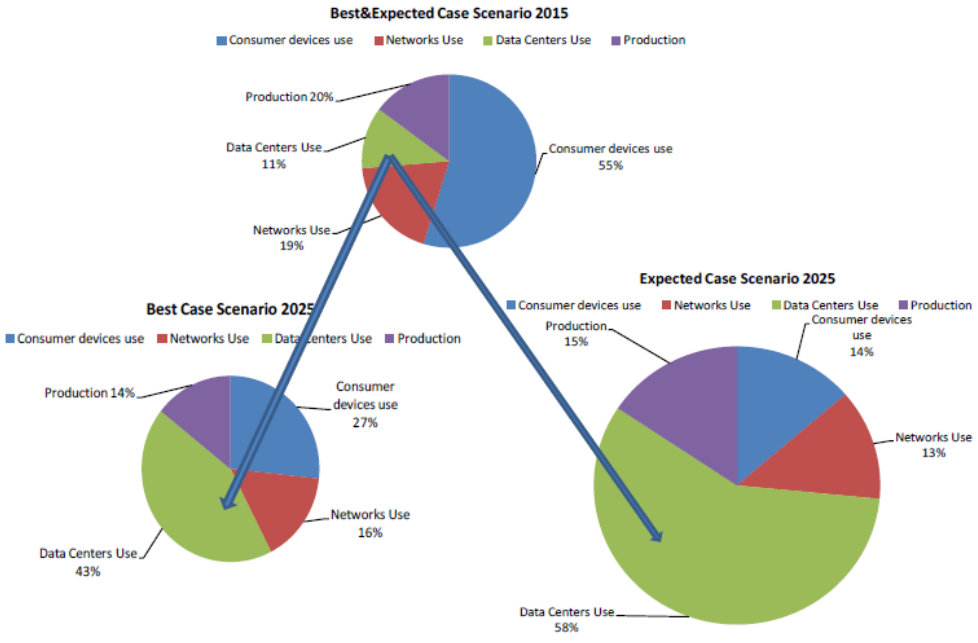


Figura 3. Ripartizione dei consumi globali ICT per i due possibili scenari

2. Struttura di un Data Center

Come già accennato, un Centro di Elaborazione Dati, detto anche CED, è un luogo dove si raccolgono sistemi di connessione il cui compito principale è quello di garantire sicurezza ed affidabilità. Bisogna dunque preservare la continuità elaborativa, la protezione dei dati ospitati e la salubrità dell'ambiente.

Un altro aspetto rilevante riguarda la suddivisione fisica tra sala dati e sala alimentazione, come visibile nella figura 1 di pagina 4, e ciò viene stabilito in base a criteri di sicurezza in caso di incendio o sinistri.

Per centro di elaborazione dati si intende, nell'immaginario comune, una sala adibita al contenimento di armadi rack, dette comunemente cabine, in cui vengono impilati uno sopra l'altro i server. Un rack mediamente può ospitare all'incirca 42 unità. L'utilizzo di questi armadi consente di facilitare le operazioni di gestione e manutenzione. Ogni server consuma all'incirca 250 W, quantità di calore che deve essere smaltita.

Componenti	Potenza massima assorbita [W]
CPU	80
RAM (Memoria)	36
Hard Disk	12
Prese Periferiche	50
Scheda Madre	25
Ventole	10
Perdite Sistema di alimentazione	38
Totale	**251**

Tabella 1. Consumi di picco dei componenti in un tipico server

Dal 2006, sono invece in circolazione i "Blade Server", server di dimensioni ridotte in grado di consumare all'incirca il 10% in meno rispetto ai server tradizionali, nonostante abbiano dimensioni ridotte. Ciò consente perfino di raddoppiare il numero di unità inseribili all'interno di un rack, anche se solitamente ne vengono disposte circa 64, per una potenza totale che può essere molto al di sopra di 25kW, per armadi ad alta densità di potenza. *[2]*

Viene dimostrato come il costo di alimentazione e raffreddamento di questi server sia pari a circa la metà del costo di acquisto della macchina stessa. Andando nello specifico, si possono distinguere tre macro-componenti di consumi elettrici:

- Apparecchiature IT: server, dispositivi di storage e di network, desktop, monitor, stampanti ecc., per l'elaborazione ed il trattamento dei dati.
- Sistemi di alimentazione: tra queste ritroviamo unità UPS (Uninterruptible Power Supply), PDU (Power Distribution Unit) e PSU (Power Supply Unit).
- Sistemi ausiliari: ovvero impianti di raffreddamento della sala, illuminazione, sistemi di sicurezza quali antincendio e gruppi elettrogeni.

Per quanto riguarda le apparecchiature IT, come possibile vedere dalla precedente tabella, il componente che assorbe più energia è la CPU, inteso come il cuore pulsante di un server ed il luogo in cui avvengono tutte le operazioni di calcolo. Dopo la CPU, troviamo la memoria RAM che assorbe sempre la stessa energia elettrica non dipendendo dall'utilizzazione del server. Non si registrano alti consumi invece per gli hard disk. In particolare, negli ultimi anni stanno prendendo piede le memorie SSD che garantiscono maggiori efficienze, riducendo contemporaneamente le dimensioni del server e garantendo un risparmio in dimensioni del 90% rispetto agli hard disk.

Il sistema di alimentazione trasforma la corrente da alternata a continua comportando la dissipazione di una parte di energia in base all'efficienza dell'alimentatore che varia con il carico richiesto. I gruppi UPS garantiscono, solo per brevi periodi, continuità e qualità elettrica al carico in alimentazione rendendolo indipendente dalle caratteristiche di tensione e corrente fornite dalla rete, mentre generatori di backup si avviano in caso di vero e proprio guasto dell'alimentazione. Generalmente l'alimentazione viene fornita alle apparecchiature IT tramite PDU, la quale ha il compito di regolare le tensioni al di sotto di 1kV, a seconda della richiesta del rack server.

Tra i sistemi ausiliari, infine, troviamo il sistema di condizionamento e raffreddamento, ovvero uno dei maggiori responsabili del consumo energetico in un data center, che sarà il principale oggetto di attenzione nei prossimi capitoli, e per finire il sistema di controllo e sicurezza, il cui consumo energetico è invece una piccola percentuale dell'intero sistema. Questa unità

è responsabile del controllo e della gestione dei dati e del flusso di potenza, nonché di prendere decisioni critiche sui dati al momento dell'emergenza.

2.1 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers – ANSI/TIA-942

Nel voler fornire informazioni più dettagliate riguardo alla struttura di un data center, entra sicuramente in gioco lo standard offerto da TIA in collaborazione con l'"American National Standard Institute" (ANSI). Il documento si propone di fornire una linea guida di come dovrebbe comporsi nel dettaglio una struttura informatica, offrendo svariati consigli da diversi punti di vista, quali strutturali, elettrici, di sicurezza o affidabilità e anche termotecnici.

Nella sua prima pubblicazione, avvenuta nel 2005, vennero trattati quattro aspetti fondamentali, quali:

- Spazio e layout del sito
- Cablaggio delle infrastrutture
- Affidabilità
- Considerazioni ambientali

Vengono quindi fornite delle raccomandazioni su come organizzare diverse specifiche aree funzionali, suddivise in base alla tipologia ed incarico o mansione che deve svolgere quel particolare locale o elemento informatico. Ad esempio, si consiglia di localizzare la sala d'ingresso al di fuori della sala computer per motivi di sicurezza, come si può vedere nella seguente figura. *[3]*

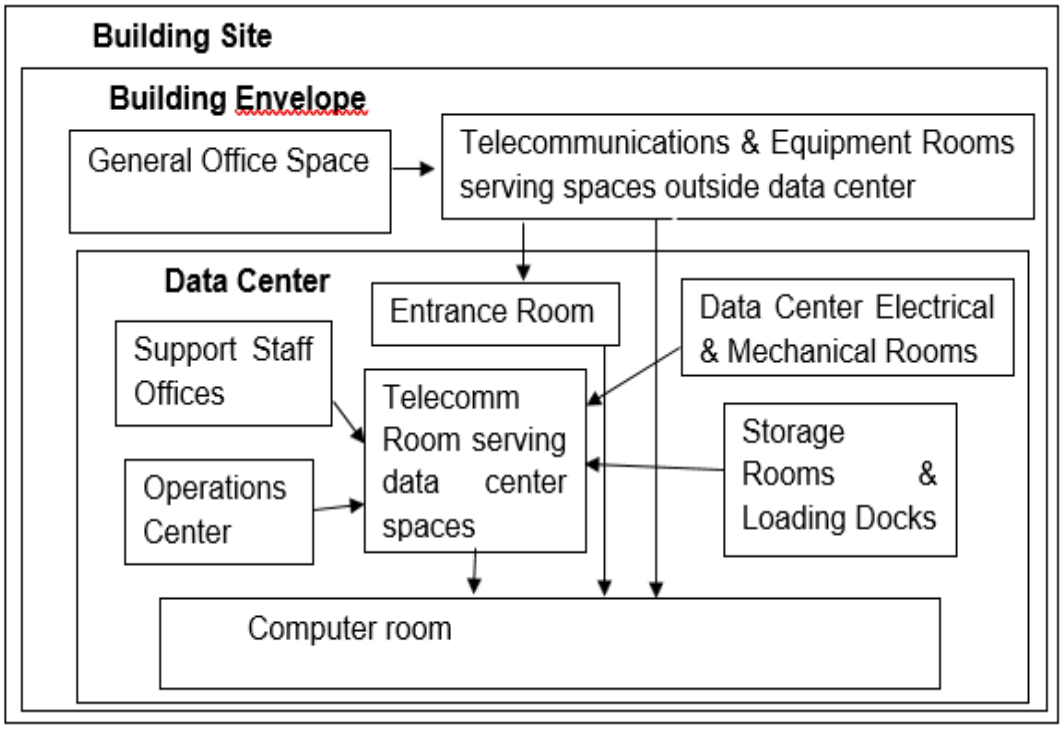


Figura 4. Spazio e layout del sito

Oltre alla sala di ingresso, si può vedere come verranno posti all'esterno della sala computer anche gli uffici, le aree di supporto e i dispositivi ausiliari quali quelli di emergenza. La separazione in diverse aree funzionali specifiche aiuta non solo a poter programmare in anticipo un possibile ampliamento del sito, ma consente di organizzare in maniera più efficace i sistemi di cablaggio che andranno poi direttamente ai rack. A tal proposito, TIA-942 fornisce approfondite considerazioni. In un data center, infatti, si possono identificare diversi elementi principali:

- Sala d'ingresso
- L'area di distribuzione principale, detta anche MDA
- L'area di distribuzione intermedia o IDA
- L'area di distribuzione orizzontale, HDA
- L'area di distribuzione delle zone, ZDA
- L'area di distribuzione delle apparecchiature EDA

La sala d'ingresso, come già accennato viene collocata all'esterno della sala computer, ed è anche possibile ritrovarne più di una in un data center, per motivi di sicurezza. È di fatto uno spazio utilizzato per interconnettere il sistema di cablaggio dell'edificio con quello del CED vero e proprio, ovvero l'MDA, che può essere definito come il punto centrale di distribuzione. Ogni

data center deve avere almeno un MDA che può trovarsi in una stanza dedicata o all'interno della stessa sala computer. Da quest'ultimo si diramano poi una serie di sistemi di cablaggi che hanno il compito di interconnettersi con le varie aree di distribuzione precedentemente nominate, fino all'EDA che rifornisce direttamente i vari rack.

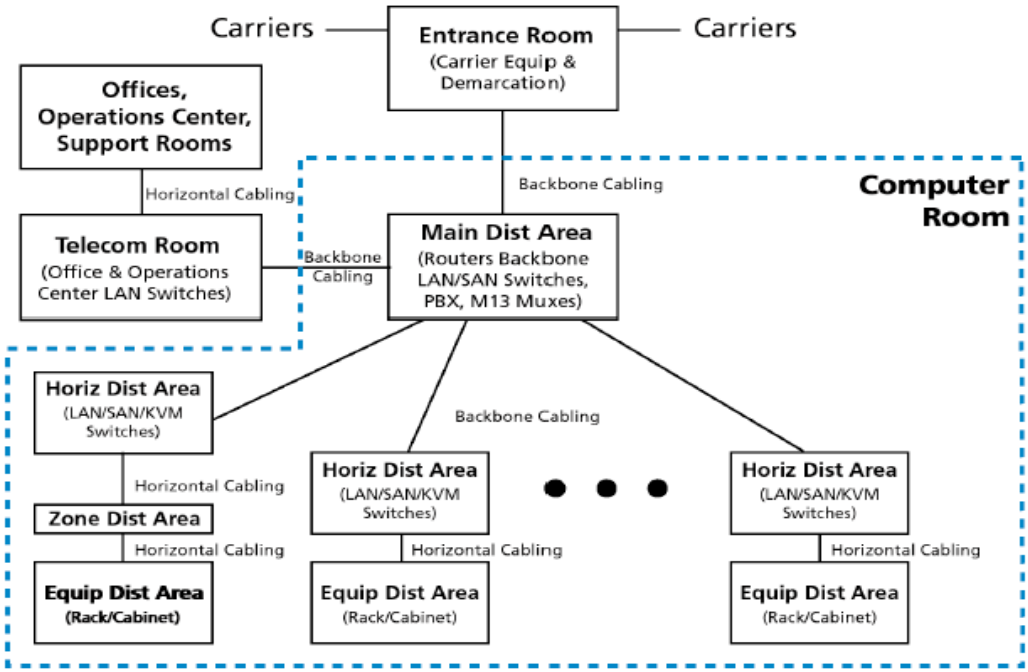


Figura 5. Ramificazione del sistema di cablaggio

2.2 Sistemi di alimentazione

Nelle precedenti pagine, è stata accennata l'importanza dei sistemi di alimentazione e distribuzione elettrica, ai cui componenti occorre dedicare una maggiore attenzione. Ciò è dovuto non solo al considerevole peso energetico che essi occupano, ma anche al delicato ruolo svolto. Di fatti, bisogna sempre ricordare come uno dei prerequisiti fondamentali di un centro di elaborazione dati sia quello di garantire la continuità elaborativa.

Stabilendo come obiettivo l'alimentazione elettrica del rack, è possibile distinguere i principali componenti rintracciabili nella catena di distribuzione come sinteticamente rappresentato nella figura che segue.

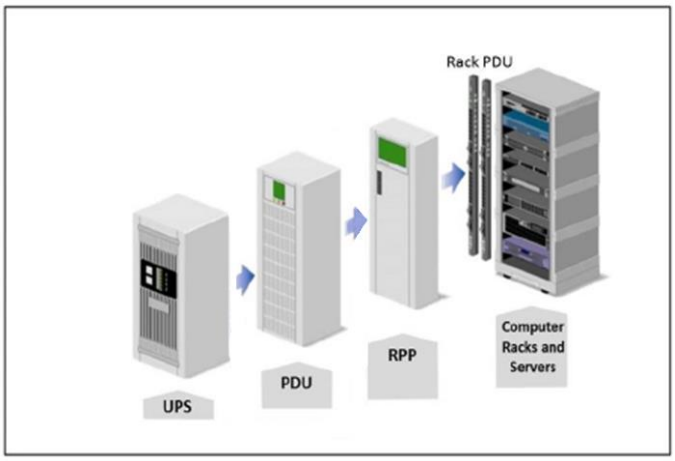


Figura 6. Catena di distribuzione elettrica

I primi elementi che si riscontrano sono le unità UPS (Uninterruptible Power Supplies), o alimentatori continui. Poste solitamente al di fuori della sala computer, hanno lo scopo di fornire alimentazione di emergenza quando la fonte principale in ingresso si interrompe. A differenza di un sistema di alimentazione ausiliaria, o di emergenza, fornisce una protezione dalle interruzioni tramite energia immagazzinata in batterie, volani o super-condensatori. La durata di alimentazione, tramite UPS, può variare da pochi secondi, per sistemi a volano o super-condensatori, fino ad 8 ore, grazie a particolari batterie. Sintetizzando, queste unità vengono utilizzate per proteggere i data center da interruzione impreviste, in attesa che poi arrivino in soccorso i generatori di emergenza.

Dopo le unità UPS, si trovano quelle PDU (Power Distribution Unit) o anche dette unità di distribuzione dell'alimentazione. Generalmente vengono installate all'interno della sala computer così da trovarsi in prossimità delle apparecchiature IT. Possedendo al proprio interno trasformatori integrali per abbassare la tensione a valori accettabili per le apparecchiature informatiche, il compito di questi dispositivi è infatti quello di distribuire alimentazione a corrente alternata. Nonostante le PDU possano trovarsi all'interno della sala computer, e quindi in prossimità dei server, è ugualmente necessario far passare i cavi al di sotto del pavimento o dall'alto.

Alimentato da una PDU, vi è poi il Remote Power Panel, RPP, il quale è un pannello di alimentazione remota, o di distribuzione. Molto simili alle unità PDU, rispetto alle quali non hanno un trasformatore, hanno il compito di individuare il punto di distribuzione di una capacità di corrente moderatamente alta, vicino ai carichi delle apparecchiature IT. Un RPP può contenere fino a

quattro pannelli ed è possibile installarvi all'interno un sistema di monitoraggio. Infine, distribuiscono energia all'interno dei rack.

Per ultima, vi è l'unità di distribuzione dell'alimentazione su rack, rPDU (rack Power Distribution Units). È un dispositivo con più prese per la distribuzione di energia elettrica alle apparecchiature IT, presenti all'interno di un rack, che consente allo stesso tempo di monitorare i flussi energetici in ingresso. Sono quindi l'ultimo elemento della catena nel sistema di distribuzione di energia, ed è qui che le spine dei singoli componenti delle apparecchiature IT sono collegate all'alimentazione del data center. Si trova solitamente nella parte posteriore del rack dove, come verrà discusso ampiamente nei prossimi capitoli, la temperatura dell'aria è la più alta presente nella sala computer.

2.3 Classificazione di un data center

Come visto nelle pagine precedenti, lo standard TIA-942 fornisce le linee guida per la realizzazione di un data center, offrendo indicazioni sulla definizione degli spazi e il design dei CED, sulla posa e realizzazione dei cablaggi e sulle condizioni ambientali. Insieme a queste, viene effettuata una classificazione dei data center in base all'affidabilità dell'infrastruttura di telecomunicazione.

Nelle prime edizioni di TIA, la voce affidabilità viene trattata ma non approfondita adeguatamente, e fu così che già nell'edizione del 2012, si decise di inserire la classificazione dell'*"Uptime Institute, un ente statunitense dedicato al miglioramento delle prestazioni, dell'efficienza e dell'affidabilità delle infrastrutture critiche attraverso certificazioni indipendenti di livello per i data centers."* *[4]*

A differenza di Uptime Institute, dove la pianificazione dell'impianto è rivolta all'obiettivo finale del progetto rendendosi così più flessibile, lo standard TIA stabilisce caratteristiche tecniche abbastanza rigide, considerando diversi aspetti della progettazione nella classificazione finale del livello di affidabilità del data center.

Così nell'allegato F dello standard TIA-942-A si trovano quattro "Tiers", o gradi, relativi a diversi livelli di resilienza dell'infrastruttura del data center, in cui i livelli più elevati non solo corrispondono ad una maggiore resilienza, ma

si traducono anche in costi più elevati. Bisogna stabilire in cosa consiste la resilienza del data center, TIA ne identifica quattro aspetti:

- Telecomunicazione
- Sistema elettrico
- Infrastruttura architettonica
- Infrastruttura meccanica

Ad ognuno di questi sottosistemi viene assegnato un livello da 1 a 4. Aree diverse all'interno di un data center vengono progettate a seconda delle esigenze operative, ad esempio potrebbe risultare necessario un TIER II ma con livello di telecomunicazione 3. Tuttavia, se non tutte le parti dell'infrastruttura si trovano allo stesso livello, la valutazione complessiva si basa sul componente più debole.

Occorre prestare attenzione a mantenere la capacità degli impianti meccanici ed elettrici man mano che il carico del data center aumenta nel tempo. Ciò può, ad esempio, avvenire in seguito all'istallazione di nuove apparecchiature informatiche comportando un degrado da un TIER ad uno più basso.

I livelli di affidabilità vengono quindi classificati nel seguente modo:

- TIER I: solitamente si riscontra in piccoli data center. Ogni anno, il data center, deve essere completamente chiuso per eseguire lavori di manutenzione e riparazione preventiva. Può quindi essere sprovvista di unità UPS con arresti frequenti. Viene garantita una continuità operativa del 99,671%
- TIER II: rispetto al primo livello si intravedono alcuni componenti ridondanti, con la conseguenza di meno interruzioni derivanti da attività non pianificate. Gli UPS sono presenti in pianta stabile e vi sono anche generatori di emergenza. Anche in questo caso durante le operazioni di manutenzione il data center viene completamente chiuso. La continuità operativa si estende al 99,749%
- TIER III: le attività pianificate includono attività preventive e programmabili che consentono di non interrompere in alcun modo il funzionamento dell'hardware. Tuttavia, attività non pianificate, come ad esempio errori di funzionamento, possono causare un'interruzione del data center. Il grado di ridondanza sale a N+1 garantendo un'affidabilità del 99,982%

- TIER IV: non vi sono molte differenze rispetto al livello 3 se non per il grado di ridondanza che aumenta a 2N+1 arrivando così al 99,995% ovvero un fermo di soli circa 25 minuti all'anno. Riesce a sopperire ad almeno un errore o un evento non pianificato senza alcun impatto critico sul carico.

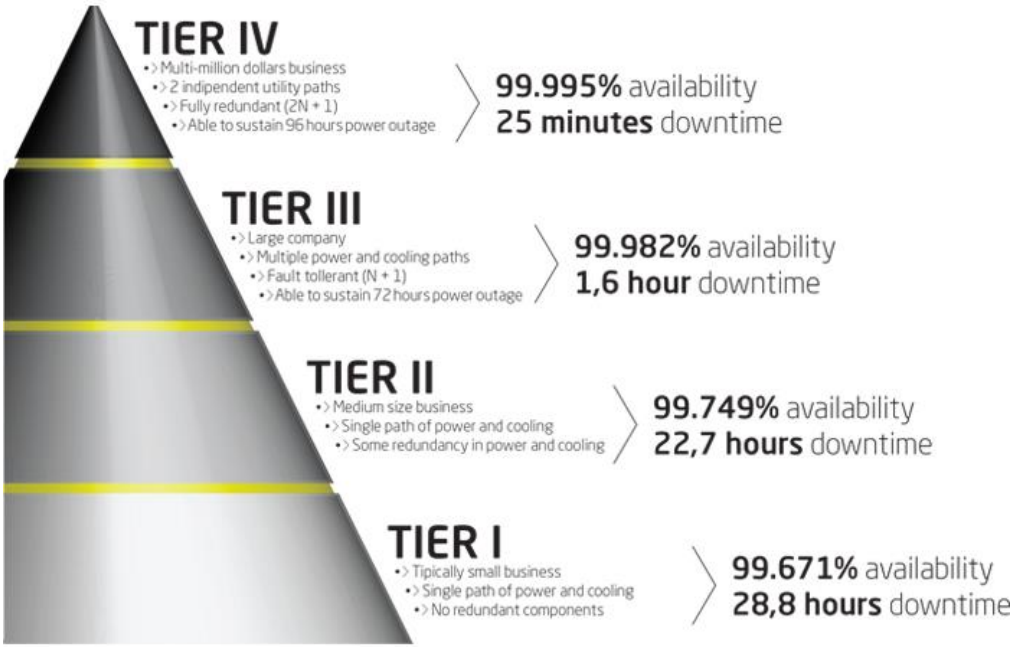


Figura 7. Classificazione TIER

3. Climatizzazione di un Data Center

Nelle pagine precedenti, è stato illustrato un quadro generale dell'argomento, tralasciando il soggetto di interesse della tesi, ovvero il sistema di raffreddamento a servizio di un data center e le condizioni necessarie affinché esso possa esercitare la propria attività con la massima affidabilità.

Il sistema di raffreddamento e ventilazione di un data center consuma in media tra il 30% ed il 40% del consumo totale di energia. Di questa quota parte, un'elevata porzione di energia è dovuta generalmente ad inefficienze imputabili al processo di rimozione del calore, per cui, migliorare la gestione termica del centro di elaborazione dati può tradursi in benefici economici diretti e significativi. Di fatti, bisogna sempre tenere conto di come un tipico ambiente IT, operi in modo continuo per 24 ore al giorno, anche se lo spazio non è occupato continuamente dal personale.

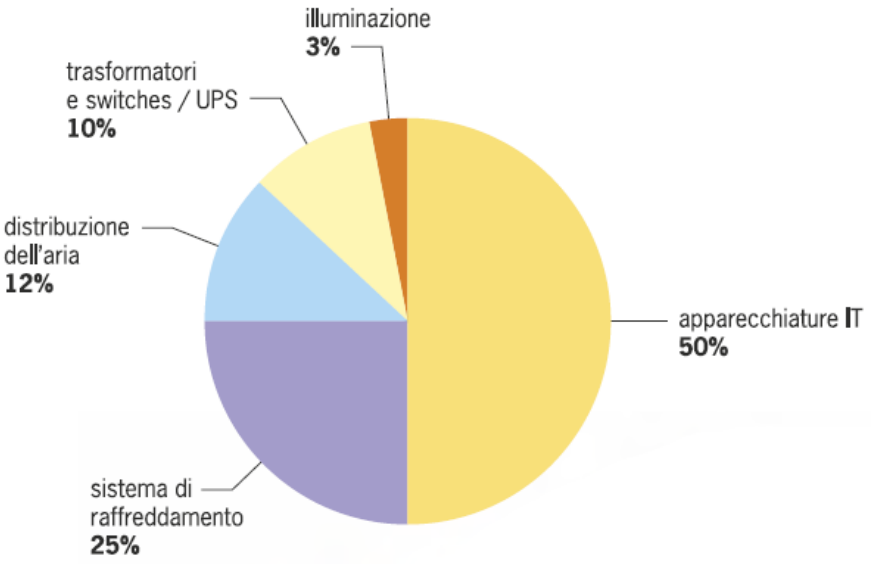


Figura 8. Domanda di energia in un Data Center

In quest'ottica occorre un sistema di climatizzazione dedicato, che sia in grado, non solo di rimuovere lo scarico termico da ogni rack, ma di mantenere costante temperatura interna e umidità del locale.

Banalmente si può dire che ogni watt elettrico assorbito da un apparecchio IT genera in dissipazione un watt termico. A tal proposito, diventa necessario citare la legge di Moore, secondo cui *"i sistemi IT hanno dei cicli di circa due anni dopo i quali diventa necessario effettuare degli aggiornamenti o introdurre transistor e quindi aumentare il numero di apparecchiature"*. Ciò comporta quindi, un incremento del calore generato, e di conseguenza un ampliamento del carico fornito dal sistema HVAC. Quanto appena riportato, permette di capire come sia difficile calcolare il dimensionamento della potenza frigorifera della sala, poiché se da una parte bisogna prevedere un aumento futuro del carico, dall'altra è facile cadere in sprechi di energia attraverso eccessivi sovradimensionamenti degli impianti di climatizzazione.

Tuttavia, è possibile risalire rapidamente al valore nominale totale dell'impianto di alimentazione e del sistema di raffreddamento, il quale è dato dalla somma della potenza utilizzata dai diversi sistemi di alimentazione, citati precedentemente, e quindi, con qualche approssimazione, della potenza frigorifera.

Al contrario, i problemi principali, correlati alle variazioni future dei data center, riguardano i valori della densità di potenza del singolo rack o di una determinata zona della sala. Per di più il concetto stesso di densità di potenza non risulta preciso o univoco ma viene solitamente espresso come W/m^2 o come W/rack. In un data center, la potenza può variare da un armadio all'altro e dipende da diversi fattori quali ad esempio la tipologia del sistema di climatizzazione o la disposizione dei server all'interno della sala computer. È comune che la potenza media effettiva per armadio sia maggiore del valore di progetto per unità di superficie, anche se di contro si può tranquillamente affermare che i rack lavorano quasi sempre ad una potenza inferiore al valore progettato. *[5]*

La riduzione del consumo energetico dei sistemi di raffreddamento, attraverso tecniche di gestione termica diventa una priorità elevata nel funzionamento di un data center.

Il parametro principale che influenza la spesa energetica, indipendentemente dal sistema di raffreddamento, è quindi il mantenimento di determinate condizioni ambientali, che va a concludersi poi con lo smaltimento del calore in eccesso verso l'esterno. Considerando che la temperatura della sala computer deve essere mantenuta quasi costante, le condizioni climatiche del sito del data center svolgono un ruolo chiave nel carico di raffreddamento.

Al fine di ottimizzare il consumo energetico, e prevedere efficienze elevate, già in fase di progettazione diventa necessario avere, in mancanza di manuali ufficiali e di una normativa a cui affidarsi, delle metriche da seguire.

3.1 Guide-line

Sebbene negli ultimi anni l'argomento data center sia sempre più entrato nel vivo della ricerca tecnologica, attirando l'attenzione di nuovi produttori di centri di elaborazione dati, tutt'oggi non esistono sia da un punto di vista ambientale che energetico negli USA, all'interno dell'Unione Europea, ben che meno da parte delle altre nazioni, delle normative che ne regolamentino la progettazione. Tuttavia, negli ultimi anni sono stati diffusi, da parte di diversi enti ed aziende produttrici di apparecchiature IT, dei modelli di riferimento.

Come già ampiamente accennato, l'obiettivo di questo elaborato è quello di fornire delle best practice da seguire durante la fase di progettazione ed il mantenimento di un centro di elaborazione dati. Pertanto, nelle seguenti pagine, verranno analizzati i diversi standard presenti nel panorama internazionale, mettendo in risalto i criteri di progettazione di ognuno di essi e stilare di conseguenza una sorta di manuale.

3.1.1 ASHRAE

Tra tutti gli standard quello che ha riscontrato maggiori successi è senza dubbio il "Thermal Guidelines for Data Processing Environments" redatto dai membri del Technical Committee 9.9 di ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), con l'intento, per l'appunto, di porre una linea guida per la realizzazione ed il mantenimento delle apparecchiature IT. *[6]*

Venne stilato per la prima volta nel 2004 con lo scopo di individuare i parametri ambientali, ovvero temperatura e umidità, necessari per garantire performances e affidabilità nel rispetto dell'efficienza. Dopo qualche anno, nel 2008, viene pubblicata la seconda edizione, dove grazie al rapido progresso tecnologico delle apparecchiature IT, si definisce un nuovo metro di misura dell'efficienza ovvero il PUE (Power Usage Effectiveness). A differenza della prima, in questa seconda edizione, ASHRAE cerca di soffermarsi molto più sul

tema dell'efficienza, e laddove possibile trovare un ottimo compromesso per garantire alta affidabilità coniugata ad elevate efficienze.

Andando nello specifico la linea guida di ASHRAE si basa su quattro capisaldi:

1. Range di temperatura
2. Range di umidità
3. Distinzione di quattro classi, di cui due riferite ai datacenter
4. Caratteristiche dell'aria in ingresso, con specifiche sulla misurazione di temperatura e umidità

Class	Equipment Environment Specifications									
	Product Operation [a, b]							Product Power Off [b, c]		
	Dry Bulb Temperature (°C)		Humidity Range, Non Condensing		Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/h)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
	Allowable	Recommended	Allowable (% RH)	Recommended						
1	15 to 32 [d]	18 to 27 [e]	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	17	3050	5/20 [f]	5 to 45	8 to 80	27
2	10 to 35 [d]	18 to 27 [e]	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	21	3050	5/20 [f]	5 to 45	8 to 80	27
3	5 to 35 [d, g]	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
4	5 to 40 [d, g]	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

Tabella 2. ASHRAE 2008 Thermal Guidelines

Prima di tutto occorre precisare come le specifiche di questa seconda edizione siano molto meno rigorose rispetto a quelle stilate nel 2004. Ciò è dovuto in particolare all'attenzione rivolta verso il tema dell'efficienza ed allo stesso progresso tecnologico dove i componenti riescono a supportare temperature più elevate.

	Versione del 2004	Versione del 2008
Temperatura minima	20°C	18°C
Temperatura Massima	25°C	27 °C
Umidità minima	40% RH	5.5 °C DP
Umidità massima	55% RH	60% RH e 15°C DP

Tabella 3. Differenza parametri tra la versione 2004 e 2008

Il range di temperatura e di umidità tra le due versioni si è ampliato nettamente, consentendo di utilizzare nuove soluzioni nel campo della climatizzazione. Un altro aspetto molto importante, poi, risiede nella valutazione dell'umidità che in questa seconda versione si riferisce alla Temperatura di Rugiada (DP).

Si giunge così alla terza edizione, stilata nel 2011, in cui la modifica più importante riguarda la nuova classificazione delle apparecchiature IT. Come si evince dalla tabella seguente, in questa edizione le classi riferite ai datacenter sono quattro.

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications							
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off (c) (d)		
	Dry-Bulb Temperature (°C) (e) (g)	Humidity Range, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change(°C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
Recommended (Applies to all A classes; individual data centers can choose to expand this range based upon the analysis described in this document)								
A1 to A4	18 to 27	5.5ºC DP to 60% RH and 15ºC DP						
Allowable								
A1	15 to 32	20% to 80% RH	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A2	10 to 35	20% to 80% RH	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 85% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 85	27
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 90% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 90	27
B	5 to 35	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
C	5 to 40	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

Tabella 4. ASHRAE 2011 Thermal Guidelines

Le nuove classi A3 ed A4, sono soggette a controlli meno severi rispetto alle prime due, sottoposte invece a operazioni di tipo critiche e di primaria importanza, in quanto si riferiscono ad ambienti di lavoro con apparecchiature più semplici.

Sin dall'edizione del 2008, ciò che salta all'occhio è la differenziazione tra la voce "Recommended" e "Allowable", o anche consigliati e accettabili. Per valori consigliati si intendono quei range di temperatura e umidità ai quali le apparecchiature IT riescono ad operare nel modo più affidabile, pur continuando a realizzare operazioni al massimo della loro efficienza. Con il termine accettabile vengono delineati i confini ambientali, testati dai produttori di apparecchiature, sul funzionamento a basso consumo energetico dei data center, mantenendo comunque una buona affidabilità.

Quanto riportato in tabella è visibile nella figura che segue, rappresentante un diagramma psicrometrico in cui si evincono gli intervalli di temperatura e umidità che identificano le diverse classi per gli ambienti data center.

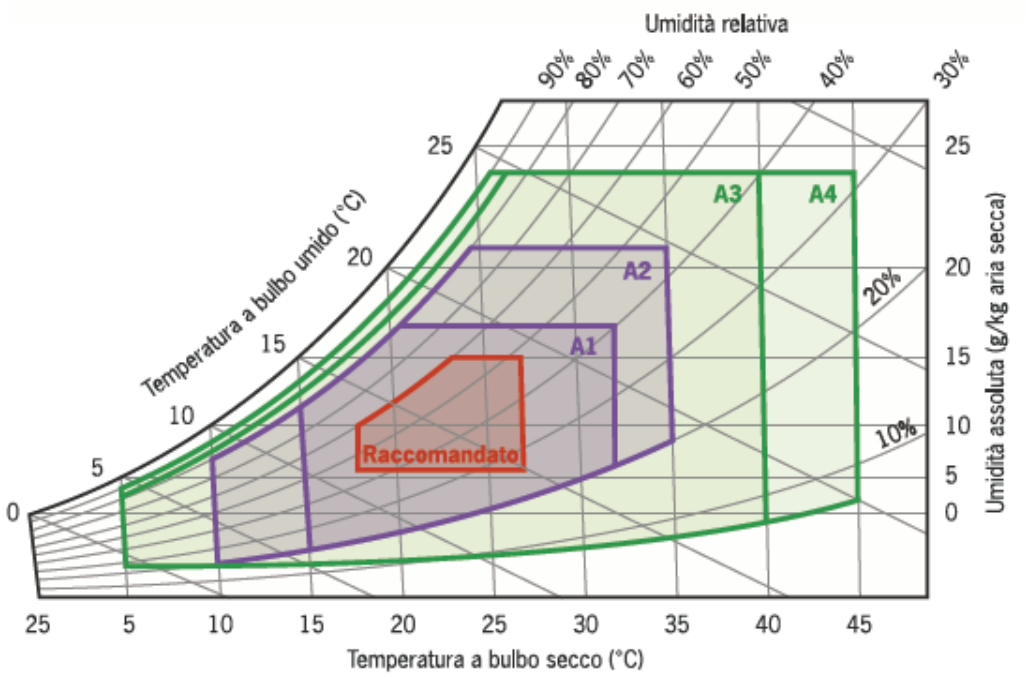


Figura 9. Diagramma psicrometrico con intervalli di umidità e temperatura per classi A1-A4

L'estensione dei limiti di temperatura in ingresso alle apparecchiature della sala computer, sono state chiaramente effettuate per consentire, dunque, maggiori risparmi energetici, grazie all'uso di economizzatori, specificando nuovamente come i valori raccomandati non siano obbligatori.

Partendo da questi valori, ASHRAE fornisce diversi suggerimenti su come, riferendosi allo stato contemporaneo dei data center, possa essere ottimizzato il processo. Pone quindi l'attenzione sulla gestione del flusso d'aria o sulla strategia di controllo del sistema di raffreddamento, individuando diversi fattori chiave quali:

1. Andamento della potenza del server in funzione della temperatura ambiente
2. Livello del rumore acustico rispetto alla temperatura ambiente
3. Andamento dell'affidabilità rispetto alla temperatura ambiente
4. Affidabilità dei server rispetto a umidità, contaminazioni ed altri effetti di temperatura

5. Andamento delle performance del server rispetto alla temperatura ambiente
6. Andamento dei costi dei server rispetto alla temperatura ambiente

In ognuno di questi parametri, si tende a giustificare l'aumento della temperatura in ingresso ai rack, che ancora una volta si dimostra la condizione principale. Vengono riportati diversi esempi su come è possibile ottenere maggiori risparmi o efficienze variando di poco la temperatura, sempre nel rispetto dell'affidabilità o anche del comfort del personale nel caso dei livelli acustici.

Infine, nella quarta ed ultima edizione pubblicata nel 2016, il TC 9.9, dopo aver trattato abbondantemente le apparecchiature IT, si sofferma sulle apparecchiature di potenza, le quali essendo predisposte a supportare temperature più elevate offrono maggiori manovre di risparmio. In questo caso ASHRAE non ha l'intento di classificare le apparecchiature, quanto di definirne lo scopo, cercando di determinare la loro posizione lungo la catena di alimentazione elettrica, concedendo così la possibilità individuare diverse aree principali, seguendo lo schema tipo, riportato nella precedente Figura 1.

3.1.2 The Green Grid

Con l'obiettivo di definire delle metriche, ed un vero e proprio benchmark di efficienza energetica, nasce la Green Grid, definita come un consorzio industriale no profit, in cui produttori e proprietari collaborano al fine di migliorare l'efficienza delle risorse dei data center.

Viene così definito il PUE, un parametro in grado di decretare quanta potenza elettrica è necessaria per alimentare l'insieme degli apparati IT, dei servizi ausiliari e delle perdite elettriche. Il PUE è definito come il rapporto tra il consumo totale di energia in un data center ed il consumo energetico delle apparecchiature IT dello stesso.

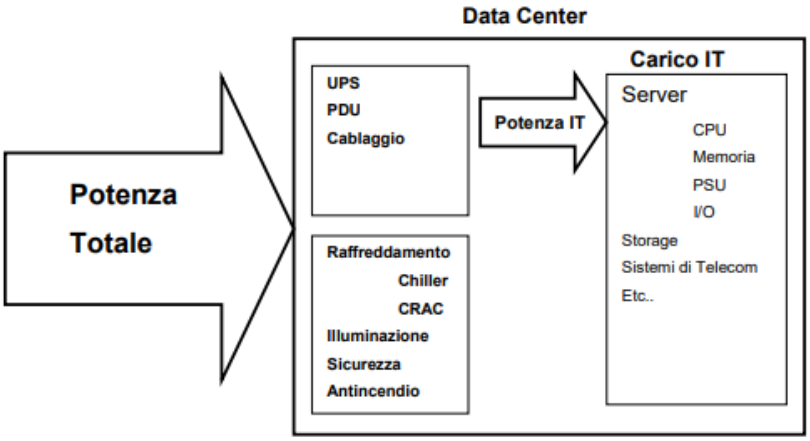


Figura 10. Valutazione dei carichi che contribuiscono al PUE

$$PUE = \frac{POTENZA\ TOTALE\ [W]}{POTENZA\ IT\ [W]}$$

Il valore che si ricava da questo rapporto, risulta ovviamente maggiore dell'unità, mentre il suo valore ottimale corrisponde ad 1, cioè quando tutta l'energia assorbita dall'impianto viene utilizzata per gli apparati IT. Ad oggi il valore medio si aggira all'incirca ad 1,8 e ciò significa che i consumi energetici dei servizi ausiliari con le rispettive perdite sono circa l'80% del valore degli apparati IT e quindi pari al 45% dell'energia complessivamente assorbita dal data center. *[7]*

Contemporaneamente Green Grid, propone il DCiE (Data Center infrastructure Efficiency), corrispondente all'inverso del PUE, dove i valori vengono stavolta espressi in percentuale con quello ottimale corrispondente al 100%.

Oggigiorno, il data center che presenta l'efficienza migliore, con PUE pari a 1,08 appartiene a Yahoo, ed è sito nei pressi delle Cascate del Niagara, laddove le condizioni climatiche risultano particolarmente favorevoli.

Bisogna comunque chiarire che questi due parametri non definiscono l'efficienza complessiva del data center ma solo l'efficienza delle apparecchiature a supporto dello stesso. Le valutazioni devono quindi essere effettuate con molta cautela ma soprattutto su base annuale, sia perché l'assorbimento elettrico di gran parte dei dispositivi varia continuamente nel tempo, sia perché c'è una stretta dipendenza dal clima che risulta variabile durante le stagioni. Pertanto, questo parametro non può essere utilizzato per paragonare due data center tra loro, a causa delle varie differenze climatiche.

3.1.3 Energy Star

L'argomento data center ha attirato anche l'attenzione del programma governativo statunitense "Energy Star", il cui scopo è quello di aiutare le aziende e gli individui a risparmiare denaro e proteggere il clima, attraverso azioni di efficienza energetica nel mondo dell'informatica.

Nella sostanza, Energy Star, rilascia specifiche certificazioni, una delle quali, ad esempio, può essere trovata su diversi laptop tramite il logo della società. In questa direzione, è stata creata una certificazione anche per i data center, espressa tramite un punteggio, con l'obiettivo di fornire una valutazione delle prestazioni energetiche. In questo conteggio si tiene conto del clima, del tempo e delle attività commerciali della proprietà che di conseguenza vengono poi soppesate al consumo energetico.

Come nel caso degli enti di cui sopra citati, anche la certificazione di Energy Star non è obbligatoria, seppur garantisca un'ottima immagine al compratore. Anche qui, lo scopo è quello di aiutare i professionisti IT ad identificare le opportunità di risparmio energetico ed economico.

Partendo da questi presupposti, Energy Star, analizza tre aspetti diversi di una sala server, e per ognuno di questi identifica alcune azioni da compiere per ottenere questo risparmio. *[8]*

- **Opportunità IT**

Consolidamento, disattivazione e virtualizzazione del server: i tre processi sono accomunati dalla possibilità di ridurre il numero di server tramite la loro ottimizzazione. Il ragionamento parte dal presupposto che un server solitamente assorbe solo il 10% di energia elettrica, al fine di svolgere la propria funzione, mentre il resto dell'energia viene assorbita per mantenere il server inattivo.

Andando in ordine, tramite il consolidamento si rende il parco server molto più produttivo, oltre ad ottenere dei risparmi sui costi derivanti da minori consumi energetici, raffreddamento e manutenzione. Occorre però prestare attenzione alla possibile formazione di Hotspot. Un esempio di consolidamento può essere il server di clustering, in cui si riduce il numero di server di backup o standby, migliorando la disponibilità ed utilizzando un hardware molto più efficiente.

Tramite delle recenti statistiche, si è poi visto che in alcuni centri sono presenti server obsoleti, i quali risultano ancora in esecuzione nonostante non siano utilizzati. Questi prendono il nome di "server comatosi" comportando un consumo di elettricità senza che venga effettuato nessuno computing. Per cui sarebbe opportuno fare un inventario per tracciare di continuo i server a disposizione.

Una volta effettuato l'inventario dei server a disposizione, eliminati quelli comatosi ed analizzato il carico a cui sono sottoposti, è possibile effettuare la virtualizzazione dei server. In sostanza, i server virtuali sono delle implementazioni software in grado di eseguire contemporaneamente diversi programmi su un unico host fisico. Il vantaggio, come è possibile sintetizzare nella seguente immagine, è quello di utilizzare un numero inferiore di server in grado di eseguire più operazioni.

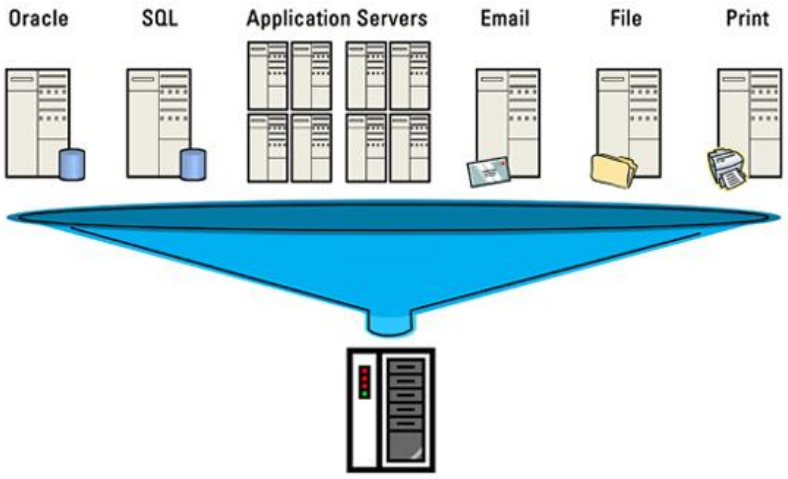


Figura 11. Virtualizzazione del server

Migliore gestione dello storage dei dati: un dato preoccupante, risiede nel tasso di crescita annua di stoccaggio. Esistono diverse tecniche per aumentare l'efficienza dei dati di storage, come ad esempio la compressione dei dati, la decuplicazione, che consente di trovare ed eliminare le copie inutili, o il thin provisioning, in cui l'archiviazione avviene sul momento ovvero allocando lo spazio solo quando le applicazioni lo richiedono. Negli ultimi anni, poi, sono ormai diffusissime le unita a stato solido, dette anche semplicemente SSD, le quali sono più prestanti rispetti ai dischi rigidi.

Acquisto di server, UPS e PDU ad alta efficienza energetica: è una delle specifiche di Energy Star che comprende alimentatori più efficienti con capacità di misurare l'uso di energia in tempo reale, l'utilizzo del processore e

la temperatura dell'aria. Bisogna infatti, che la potenza del processore venga commisurata alle esigenze del carico di lavoro, istante per istante.

- **Strategie di gestione del flusso d'aria**

Disposizione corridoio caldo / corridoio freddo: seguendo la classica disposizione odierna, energy star consiglia di disporre i server in righe, con la parte anteriore dei rack che raccoglie il flusso di aria fredda derivante dal sistema HVAC, per poi espellere aria più calda dalla parte posteriore. Affinché il calore uscente da un rack, non rischi di andare in ingresso al rack della fila successiva, si dispongono le file in modo che le parti anteriori e posteriori si affaccino l'una all'altra, andando così a creare, come rappresentato nella figura seguente, dei corridoi di aria calda ed aria fredda.

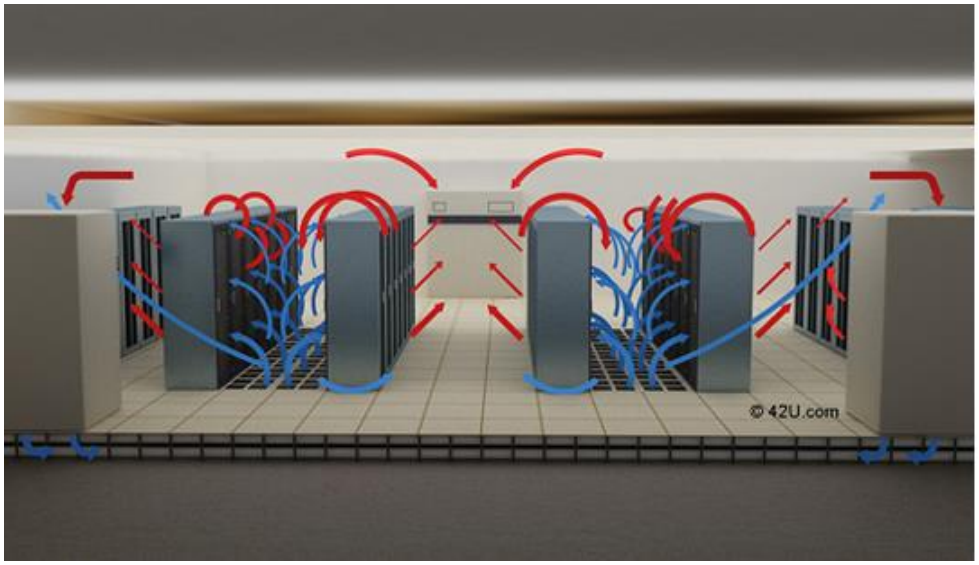


Figura 12. Separazione corridoio caldo / freddo

Contenimento / recinzioni: adottando la disposizione a corridoio, questa soluzione offre la possibilità di incrementare la temperatura in ingresso ai rack, eliminando la miscelazione dell'aria, con la conseguenza di avere un risparmio energetico. Consiste semplicemente nel porre delle barriere fisiche o sul corridoio caldo (che risulta più conveniente) o su quello freddo.

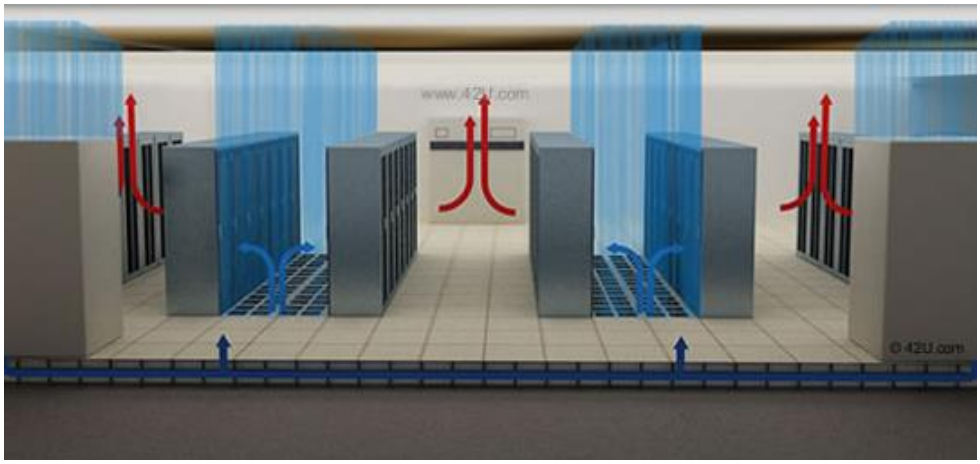


Figura 13. Contenimento dei corridoi

Azionamenti del ventilatore a velocità variabile: i ventilatori delle unità di raffreddamento sono tra i dispositivi più energivori in un data center, per cui l'adozione di ventilatori a velocità variabili, conosciuti anche come VSDs, offre l'opportunità di risparmiare energia variando la velocità della ventola con il carico del server del data center, il quale cambia costantemente.

Dispositivi di gestione flusso d'aria correttamente distribuiti: l'obiettivo è quello di evitare la formazione di hotspot e quindi di zone in cui si registrano densità di potenza più elevate tra i rack. Si ricorre, dunque, ad alcuni accorgimenti che possono risultare fondamentali, come una buona disposizione dei diffusori di invio dell'aria di raffreddamento, l'utilizzo di pannelli di blanking, in cui semplicemente si coprono zone vuote del rack così da evitare miscelazione dell'aria, o riducendo ostacoli al flusso d'aria che possono essere dati dalla cattiva disposizione dei cavi di alimentazione. Rivolgendo queste banali attenzioni è possibile avere anche risparmi del 5-10%.

- **Regolazioni HVAC**

Regolazione della temperatura e dell'umidità all'ingresso del server: seguendo le direttive di ASHRAE, viene consigliato di non tenere i controlli su l'umidità. In passato si riteneva che potessero essere causate scariche elettrostatiche per umidità troppo basse, ed effetti condensanti in caso di umidità elevate. In realtà, come per l'appunto esaminato da ASHRAE, è difficile raggiungere condizioni tali per cui avvengano questi fenomeni. Per questo motivo è consigliabile effettuare maggiori controlli sulla temperatura. Prima di tutto, la temperatura deve essere misurata all'aspirazione dei server, e soppesata al tipo di strategia del flusso d'aria utilizzata. Ad esempio, nel caso

di contenimento dei corridoi, potrebbero essere registrate temperature più elevate e quindi i controlli automatici effettuati dal sistema di raffreddamento devono essere impostati caso per caso.

Energy Star suggerisce di utilizzare sistemi di umidificazione adiabatica, i quali si dimostrano molto efficienti garantendo umidificazione ed al contempo raffreddamento.

Queste soluzioni, insieme ad un'ottima distribuzione dei sensori di temperatura e umidità, garantisce di non cadere in sprechi di energia da parte del sistema di climatizzazione della sala server, e laddove possibile, consente di lavorare ad una temperatura maggiore. Nello specifico, secondo una statistica effettuata dalla stessa Energy Star, l'innalzamento di un solo grado centigrado, può comportare un risparmio del 4-5% dei costi energetici di un data center. Tuttavia, l'elevato innalzamento della temperatura potrebbe essere controproducente, ad esempio potrebbe aumentare la velocità delle ventole interne ai server, le quali si surriscalderebbero, giungendo al guasto degli stessi.

Economizzatore lato aria / lato acqua: quanto appena detto, favorisce l'utilizzo degli economizzatori, i quali possono sfruttare l'aria fredda esterna. Logicamente, l'economizzatore lavorerà più ore nei climi freddi e secchi, ma può risultare energeticamente conveniente durante la notte o l'inverno, anche in luoghi caldi. In base alla tipologia del sistema di raffreddamento, l'economizzatore può essere ad aria o ad acqua, dove seppur quest'ultimo risulti più conveniente, lavorano meno ore rispetti ai primi.

3.1.4 American Power Conversion (APC)

American Power Conversion è una filiale, specializzata nella produzione e ricerca dei data center, di Schneider Electric. Nonostante non sia un consorzio industriale o un ente istituito da una nazione, APC ha svolto un ruolo importante nella definizione delle diverse metriche da seguire, soprattutto grazie alle sue numerose pubblicazioni.

Tra le più importanti, sicuramente rientra il White Paper n.25, in cui viene indicato come calcolare la produzione di calore di apparecchiature IT per determinare le dimensioni dei sistemi di condizionamento dell'aria. *[9]* Partendo dal presupposto che tutte le apparecchiature elettriche producono

calore, bisogna valutare la quantità di calore totale prodotta dall'insieme dei componenti così da poter dimensionare il carico dell'impianto di climatizzazione. Trascurando la potenza trasmessa attraverso le linee dati dalle apparecchiature IT, è possibile affermare con buona approssimazione che la produzione termica delle apparecchiature IT in Watt equivale al consumo elettrico in Watt. Analizzando la struttura di un centro di elaborazione dati, si rintracciano: sistemi UPS, dispositivi di distribuzione dell'alimentazione, unità di condizionamento dell'aria, dispositivi di illuminazione e persone. Quindi, compilando la tabella seguente è possibile calcolare la semplice somma di questi fattori per ottenere la produzione totale di un data center.

ELEMENTO	DATI NECESSARI	CALCOLO PRODUZIONE CALORE	SUBTOTALE PRODUZIONE CALORE
Apparecchiature IT	Totale potenza di carico IT in Watt	Equivale al totale della potenza di carico IT	..... [W]
UPS con batteria	Potenza nominale del sistema di alimentazione in Watt	(0,04 x potenza del sistema) + (0,06 x totale potenza di carico IT)	..... [W]
Distribuzione dell'alimentazione	Potenza nominale del sistema di alimentazione in Watt	(0,02 x potenza del sistema) + (0,02 x totale potenza di carico IT)	..... [W]
Illuminazione	Area del pavimento (m^2)	21,53 x area pavimento (m^2)	..... [W]
Persone	N. max di addetti	100 x numero max di addetti	..... [W]
TOTALE			..... [W]

Tabella 5. Calcolo della produzione di calore di un data center

Come si può notare i sistemi UPS e di distribuzione dell'alimentazione hanno una perdita fissa ed una proporzionale alla potenza operativa, diversamente da illuminazione e persone in cui si hanno dei valori standard.

Tra gli altri studi interessanti effettuati si ritrova l'inefficienza dell'adozione di pavimenti sollevati, ormai di consuetudine nei data center, o l'istallazione di pannelli di blanking, come suggerito anche da Energy Star, e rispettivamente trattati nei white papers n.19 *[10]* e n.44 *[11]*. Nel primo caso si può affermare come molte esigenze, che magari si riscontravano una decina di anni fa, sono ormai state superate, per cui si risente più dei suoi difetti che dei pregi. Ad esempio, la difficoltà di fare manutenzione così come le perdite dovute al sistema di raffreddamento in cui il flusso d'aria viene ostacolato dai cavi di alimentazione, che passano proprio sotto al pavimento. Per quanto riguarda invece i pannelli blanking, di cui si è discusso nelle precedenti pagine,

si è visto come l'assenza di questi pannelli possa causare un riciclaggio nella portata dell'apparecchiatura e quindi un riscaldamento non voluto dei server.

Al fine di poter mantenere una buona gestione di un centro di elaborazione dati, APC afferma, all'interno del White Paper 107 *[12]*, che oggigiorno risulta fondamentale dotarsi di strumenti software DCIM (Data Center Infrastructure Management). Questi strumenti di gestione hanno lo scopo di identificare e risolvere i problemi, semplificando e limitando l'intervento umano. Tutto ciò, viene attuato tramite un controllo continuo dell'intera infrastruttura, correlando le risorse di alimentazione, raffreddamento e spazio ai singoli server. Così facendo, diventa più semplice pianificare e simulare l'effetto di modifiche future, migliorando l'efficienza operativa del data center. Gli strumenti di pianificazione monitorano l'intera catena di alimentazione nonché l'insieme delle strutture, dall'unità di raffreddamento al rack, per finire ai singoli elementi all'interno della cabina. Permettono quindi di segnalare l'utilizzo medio e massimo dell'energia in base al rack e a identificarne la capacità in eccesso. In base ai dati raccolti, è poi possibile valutare lo spegnimento di un rack, o lo spostamento per le macchine virtuali del carico di lavoro da un server all'altro. Si può così generare un PUE su base giornaliera e tenere traccia di uno storico, da cui poi sarà possibile analizzare se la strategia di risparmio utilizzata sta avendo successo.

Come si è visto, in queste pubblicazioni, la società American Power Conversion, esamina più o meno tutti i vari aspetti utili per il mantenimento e la progettazione di un centro di elaborazione dati. Di fatti, per via dell'accuratezza degli elaborati proposti, si è scelto non solo di basare i calcoli che verranno in seguito effettuati nella parte progettuale della tesi, ma anche di riportare alcuni aspetti, oltre a quelli già presentati, fondamentali per la progettazione, come ad esempio la strategia di gestione del flusso d'aria, le tipologie di climatizzazioni più utilizzate e gli interventi migliorativi che possono essere effettuati. Si può comunque dire che la ricerca di APC, nel suo insieme, rappresenti una valida linea guida per i produttori di data center.

3.2 Principi di condizionamento dell'aria per ambienti IT

Dopo aver analizzato i principali standard presenti in circolazione, e aver stabilito di prendere come valido, quello proposto da American Power Conversion, si possono affrontare dettagliatamente le basi su cui si fonda la climatizzazione di un centro di elaborazione dati.

Per far ciò occorre introdurre la funzione dei componenti di base di un sistema di condizionamento, oltre al loro generico funzionamento.

Come già accennato, e spiegato nel dettaglio da APC nel White Paper 57 *[13],* il calore generato viene prodotto quando un'apparecchiatura IT consuma elettricità. Questa energia termica viene rilasciata per lo più dai server, all'interno dei quali una ventola muove un flusso di aria raffreddata, attirata in ingresso nella parte anteriore del rack esaurendola da quella posteriore. Per rimuovere questa energia termica, deve essere consumata a sua volta energia elettrica azionando un sistema HVAC, in grado di pompare il calore all'esterno dell'edificio contenente i server. Il principio termodinamico su cui si basa l'impianto termico è il ciclo di refrigerazione, un ciclo chiuso in cui un refrigerante subisce delle trasformazioni termodinamiche come visibile in Figura 14.

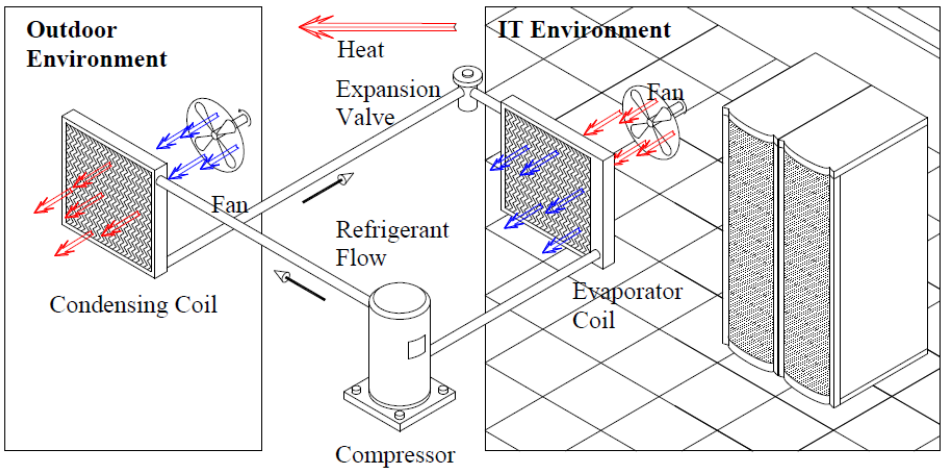


Figura 14. Ciclo di Refrigerazione

Andando nello specifico, il refrigerante subirà in ordine le seguenti trasformazioni termodinamiche:

1. Evaporazione: l'aria calda presente nella sala viene soffiata, attraverso la bobina sita nell'evaporatore, da una ventola. All'interno

della bobina scorre il refrigerante, presente ad una temperatura di circa 7-8 °C, che evapora fino a diventare gassoso.
2. Compressione: il refrigerante vaporizzato si allontana dalla sala, giunge all'interno del compressore innalzandosi oltre i 52 °C.
3. Condensazione: il refrigerante raggiunge la bobina presente nel condensatore e cede il proprio calore all'esterno tramite una seconda ventola.
4. Espansione: ritornato allo stato liquido, occorre poi una valvola di espansione che ne abbassi pressione e temperatura, così da poter ricominciare il ciclo.

Facendo una stima grossolana, l'energia elettrica consumata durante il ciclo è approssimativamente imputabile alla sola presenza delle ventole dell'evaporatore e del compressore, rispettivamente per una quota pari a circa il 5-10% ed il 20-30% della capacità di raffreddamento nominale. Tuttavia, per sistemi mal gestiti questi valori possono innalzarsi notevolmente realizzando proporzioni negative dove l'energia elettrica effettiva per far funzionare i vari componenti è vicina alla capacità di raffreddamento.

Da qui l'esigenza di adottare dei sistemi di raffreddamento di precisione, che differiscono dai tipici sistemi di condizionamento in commercio. In tal senso le configurazioni più diffuse prevedono l'utilizzo di condizionatori d'aria per sale computer CRAC (Computer Room Air Conditioning) e di sistemi di gestione dell'aria per sale computer CRAH (Computer Room Air Handler).

3.2.1 Tipologie di distribuzione dell'aria

Al fine di rimuovere il calore generato dalle apparecchiature IT, è utile conoscere l'architettura di un sistema di raffreddamento, la quale viene descritta da:

- Un metodo di rimozione del calore
- La posizione dell'unità di raffreddamento
- Una tipologia di distribuzione dell'aria

Quest'ultimo aspetto viene descritto nel White Paper 55 *[14]*, all'interno del quale vengono illustrate nove tipologie di distribuzione dell'aria.

Innanzitutto, esistono tre approcci di base per distribuire l'aria in un data center:

- Flooded
- Targered
- Contained

In un sistema di distribuzione flooded sia in mandata che in ritorno, si verifica una miscelazione pesante dei flussi di aria calda e fredda per via dei vincoli dati da pareti, soffitto e pavimento della stanza.

In un sistema di distribuzione del tutto targered, il flusso d'aria viene diretto tramite un meccanismo di condotti di lunghezza contenuta, solitamente non oltre i 3 metri.

Infine, in un sistema di distribuzione contained, in mandata e ritorno, si elimina del tutto la miscelazione dell'aria, con flussi che sono completamente chiusi, e quindi non comunicanti tra l'aspirazione e la fuoriuscita d'aria.

Dalla combinazione di questi tre approcci è quindi possibile risalire alle nove tipologie tradizionali di distribuzione dell'aria perseguibili, come si evince dalla tabella 6.

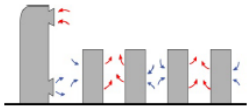
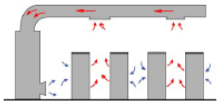
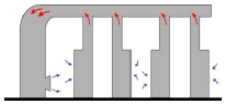
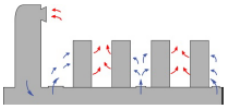
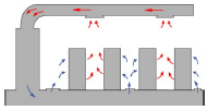
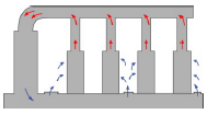
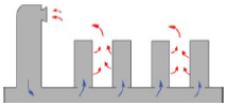
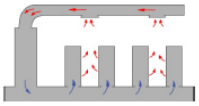
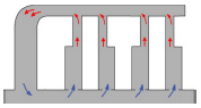
	Flooded return	Targered return	Contained return
Flooded supply	 Costi bassi ed installazione semplice, grande mescolamento dell'aria mandata/ritorno, temperatura dell'aria imprevedibile, densità di potenza 3kW/rack	 Costi bassi, più efficiente del flooded return e minor mescolamento dell'aria, temperatura supply più prevedibile, densità di potenza 6kW/rack	 Efficiente e implementabile, consente di mantenere temperature più elevate in mandata, densità di potenza 30kW/rack
Targered supply	 Non consigliato per nuovi data center, più efficiente del flooded supply, densità di potenza 6kW/rack	 Più efficiente del flooded return poiché cattura più aria di ritorno e consente minor mescolamento, densità di potenza 8kW/rack	 Più efficiente del targered supply e return, nessun mescolamento temperature più elevate in ingresso, densità di potenza 30kW/rack
Contained supply	 Più efficiente del targered supply ma meno efficiente del contained return, limita il numero di ore di economizzazione, densità di potenza 30kW/rack	 Più efficiente del targered supply ma meno efficiente del contained return, forza la stanza ad avere un "hot aisle", densità di potenza 30kW/rack	 Leggermente meno efficiente del contained return con flooded o targered supply poiché richiede più ventilatori, aumenta il numero di ore di economizzazione, densità di potenza 30kW/rack

Tabella 6. Tipologie tradizionali di distribuzione dell'aria

Partendo dal presupposto, che l'obiettivo principale di un sistema di distribuzione dell'aria in un data center è quello di evitare il surriscaldamento delle apparecchiature IT, è doveroso considerare, come già ampiamente discusso nei precedenti capitoli, l'aumento della densità di potenza dei rack scaturito dai progressi tecnologici quali consolidamento e virtualizzazione dei server che se da una parte riducono le dimensioni del parco rack, dall'altra ne aumentano il calore generato dagli stessi.

L'incombenza della possibile generazione di hotspot dinamici all'interno della sala computer, dovuto senza dubbio da questo incremento della densità

di potenza, comporta dunque delle modifiche alle tipologie tradizionali appena descritte. Per questo motivo APC, riporta alcune implementazioni, riportate nella seguente tabella e ormai utilizzate comunemente nei data center.

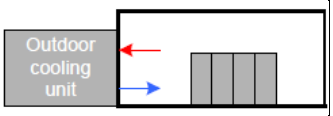
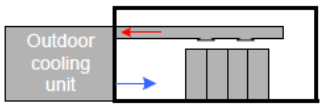
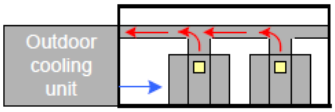
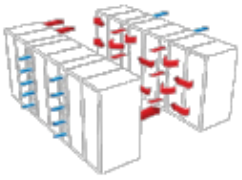
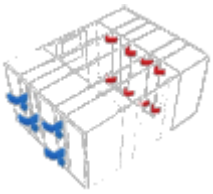
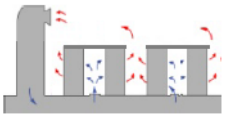
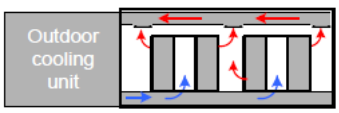
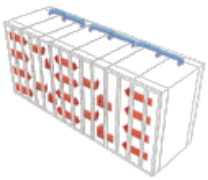
	Flooded return	Targered return	Contained return
Flooded supply	 Poco raccomandato, non efficace perché la miscelazione dell'aria impedisce temperature in ingresso prevedibili	 Poco raccomandato, non efficace perché la miscelazione dell'aria impedisce temperature in ingresso prevedibili	 Raccomandato per nuovi data center, ventole a velocità variabile in funzione della temperatura
Targered supply	Non esiste una implementazione alla tipologia tradizionale	 Raccomandato per data center con potenze inferiore a 1MW, ventole a velocità variabile in funzione della temperatura	 Raccomandato per data center con potenze inferiore a 1MW, ventole a velocità variabile in funzione della temperatura
Contained supply	 Non raccomandato per nuovi data center ma ottimo per esistenti, ventole a velocità variabile in funzione della pressione	 Non raccomandato poiché non apporta miglioramenti con contained supply, ventole a velocità variabile in funzione della pressione	 Raccomandato solo per ambienti con alte densità di potenza o per data center esistenti, ventole a velocità variabile in funzione della temperatura

Tabella 7. Implementazioni alle tradizionali tipologie di distribuzione dell'aria

3.2.2 Sistemi di raffreddamento basati su sala, fila o rack

La scelta della tipologia di distribuzione di aria è sicuramente dipendente dai flussi presenti all'interno della sala, a loro volta condizionati dalle dimensioni della stessa o dagli ostacoli che vi sono presenti.

Il metodo tradizionalmente impiegato prevede unità di condizionamento posizionate perimetralmente, in cui l'aria di raffreddamento scorre all'interno di un pavimento flottante, senza alcuna forma di contenimento, o come precedentemente visto targered supply e flooded return. Quest'ultimo offre ottimi risultati laddove la miscelazione dell'aria non diventa un problema per i server. All'aumentare della densità di potenza, per valori superiori ai 10 kW/rack, il sistema inizia ad assorbire quantità eccessive rispetto al totale consumo energetico del data center.

Al fine di superare questo ostacolo si ricorre dunque alle implementazioni illustrate in tabella 7, con metodi di progettazione che si concentrano sul posizionamento delle unità di raffreddamento basate su sala, fila o rack. *[15]*

Innanzitutto, occorre chiarire che ogni sistema di condizionamento in un data center ha due funzioni chiave:

1. Fornire la capacità complessiva di raffreddamento, ovvero esaurire il carico di potenza totale delle apparecchiature IT, in kW, e deve essere applicato a tutti i sistemi di raffreddamento per sala, fila o rack.
2. Distribuire l'aria ai carichi IT, cioè stabilire in che modo indirizzare i flussi d'aria ai server, che per l'appunto varia per i tre metodi sopracitati.

Le possibilità riguardanti questa seconda funzione sono visibili nella Figura 15, nella quale le unità CRAH sono associate, rispettivamente a sala, fila o rack, tramite le frecce che convogliano sui quadratini rappresentati i rack.

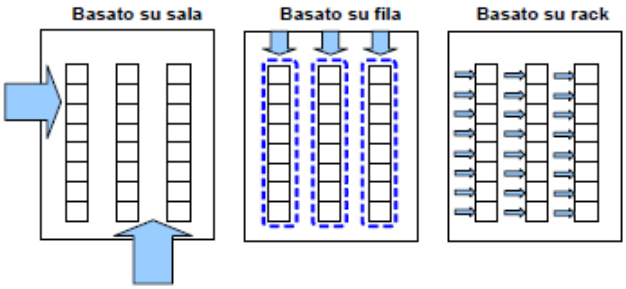


Figura 15. Sistema di raffreddamento basato su sala, fila e rack

a) Raffreddamento basato su sala

Le unità CRAH sono associate all'intera sala lavorando simultaneamente al fine di rimuovere l'intero carico termico. Per carichi maggiori di 200 kW devono essere implementati con contenimento del corridoio caldo.

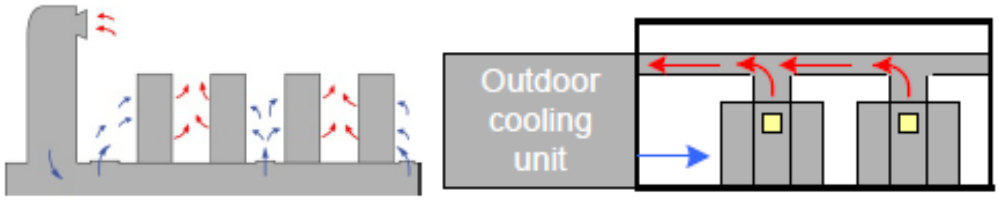


Figura 16. Raffreddamento basato su sala con e senza pavimento sollevato o contenimento

b) Raffreddamento basato su fila

Ogni unità CRAH viene associata alla fila di propria competenza, venendo posizionate tra i rack o montate a soffitto. I percorsi dei flussi d'aria sono quindi molto più prevedibili avendo percorsi più brevi rispetto al caso precedente. Le unità di raffreddamento sono più facilmente dimensionabili potendo usare piena capacità e presentano anche una minore energia assorbita dalle ventole.

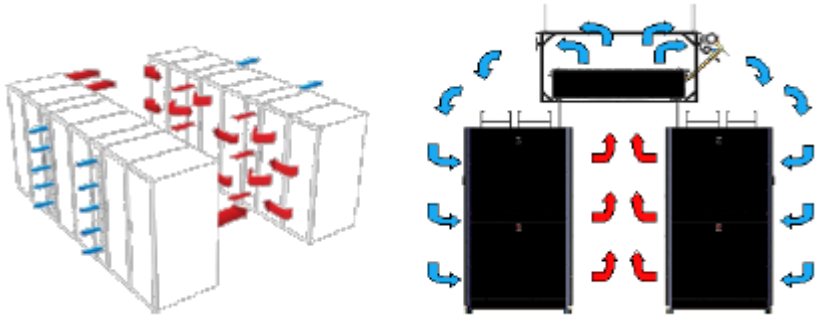


Figura 17. Raffreddamento in row montato rispettivamente a pavimento e a soffitto

c) Raffreddamento basato su rack

Le unità CRAH vengono direttamente installate sui rack con il beneficio di essere totalmente immuni a mutamenti futuri del data center. In questo caso si riescono a supportare anche carichi di potenza elevati sfruttando al massimo le potenzialità delle unità di raffreddamento.

Figura 18. Raffreddamento basato su rack

d) Raffreddamento ibrido

Una valida alternativa potrebbe essere quella di utilizzare all'interno della stessa sala le tre tipologie di raffreddamento, in modo da poter suddividere diverse zone in base alla densità di potenza.

Il vantaggio è quello di poter avere maggiori manovre nel caso in cui, in futuro, si volesse ampliare il parco server della sala senza intaccare l'attuale disposizione.

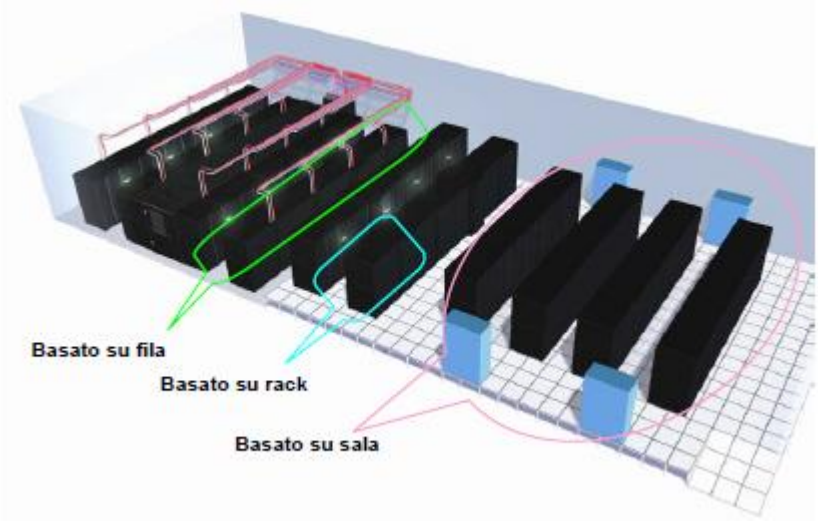


Figura 19. Raffreddamento ibrido

Confrontando le tre tipologie di architettura, si dimostra che il raffreddamento su rack rappresenta la soluzione più flessibile, seppur vi siano costi maggiori. Quello su sala viceversa offre vantaggi in termini di costo, ma come detto non consente il supporto di densità di potenza riscontrate nei data center di oggi. Il miglior compromesso viene ritrovato nella scelta di una soluzione in row, la quale garantisce una buona flessibilità e smaltisce carichi importanti contenendo i costi.

3.3 Tipologie di climatizzazione

Quanto specificato nei precedenti capitoli, dà modo di capire ragioni per cui non è possibile utilizzare dei comuni sistemi di climatizzazione. Ciò viene riportato nel White Paper n. 56 *[16]*, nel quale viene spiegato come le sale tecnologiche richiedano ambienti precisi e stabili.

I sistemi di precisione utilizzati nei data center sono progettati per mantenere un controllo costante della temperatura e dell'umidità nel rispetto di quell'affidabilità richiesta tramite la classificazione TIER. Bisogna dunque sopperire alle rapide oscillazioni di temperatura e umidità. Un sistema di precisione viene progettato per consentire variazioni di temperatura e umidità rispettivamente inferiori a 0,56 °C e 3-5 % RH.

È inoltre risaputo come i tradizionali sistemi di climatizzazione debbano sopperire a carichi sia sensibili che latenti. Differentemente quelli utilizzati nelle sale server affrontano un carico prevalentemente sensibile per via della poca presenza di personale o di aria esterna, per cui utilizzando condizionatori di aria comuni si rimuoverebbe troppa umidità.

La densità di carico all'interno di una stanza computer può essere anche cinque volte superiore a quella di un tipico ufficio. Per questa serie di motivi, si giunge alla terza, ed ancora mancante, parte dell'architettura di un sistema di climatizzazione, ovvero i metodi di rimozione del calore.

La reiezione del calore è quel processo di trasporto di energia termica dall'ambiente IT all'esterno. Solitamente, questo "movimento" è realizzato tramite uno scambiatore di calore capace di trasferire l'energia da un fluido all'altro, ad esempio dall'aria all'acqua.

Oggigiorno i sistemi raffreddati ad aria rappresentano l'approccio più diffuso all'interno dei data center, comportando, in tendenza con l'aumento dei carichi di lavoro, di flussi di aria maggiormente localizzati e separati tra loro. Ciò però non basta più a supportare le crescenti densità di potenza delle sale, con conseguente comparsa di nuovi sistemi di raffreddamento a liquido.

Fondamentalmente, si possono distinguere due grandi famiglie:

- Sistemi raffreddati ad aria
- Sistemi raffreddati a liquido

Nei primi, senza ancora entrare nel dettaglio, troviamo solitamente dei sistemi di gestione dell'aria della sala computer, ovvero i CRAH, dove l'aria refrigerata viene fatta circolare tradizionalmente nel pavimento sollevato e restituita da delle prese presenti sul soffitto. L'utilizzo dei sistemi ad aria presenta diversi disagi, il primo dei quali è il basso coefficiente di trasferimento di calore convettivo dell'aria che causa la formazione di un grande gradiente di temperatura all'interno del server. È importante dunque ricorrere alle strategie di gestione dell'aria anticipate nei capitoli precedenti.

Per quanto riguarda invece il raffreddamento a liquido, potrebbe essere necessario spendere qualche parola in più, riportando un elaborato di GreenGrid. *[17]* In esso, vengono riportati i vantaggi dell'utilizzo di sistemi a liquido, nonché una dettagliata distinzione tra i vari metodi in circolazione. Tra i vantaggi sicuramente vi è la possibilità, grazie a temperature più elevate, di utilizzare il calore di scarto. Ciò è dovuto ai diversi ordini di grandezza in più di capacità di trasferimento di calore che garantiscono l'utilizzo di processori più potenti ed allo stesso tempo una maggiore capacità di rimozione del calore. Un altro grande vantaggio è la diminuzione del numero di ventole presenti all'interno dei rack, con la conseguenza che le vibrazioni vengono meno.

Il raffreddamento a liquido può avvenire in diversi modi, con due grandi distinzioni, può essere:

- Conduttivo o Coinvolgente
- Monofase o a Cambiamento di fase

Il raffreddamento conduttivo è solitamente praticato utilizzando acqua o fluidi conduttivi, e nel caso in cui il server all'interno dal rack non venga raffreddato dall'aria si dice diretto. Viceversa, si ha raffreddamento ibrido aria-liquido (o anche indiretto), quando il fluido scorre all'interno del rack

scambiando calore con l'aria che soffia poi attraverso i server. Viene detto invece coinvolgente quando il liquido, solitamente un fluido dielettrico come il silicio, è in contatto fisico diretto con l'elettronica rimuovendo il 100% del calore dissipato dai componenti.

Allo stesso tempo, il liquido può o meno subire un cambiamento di fase. Ciò dipende da come è composto l'impianto di reiezione del calore stesso, e quindi ad esempio dalla presenza di una piastra fredda per il raffreddamento monofase, o di un evaporatore per quello bifase.

Tuttavia, nonostante i grandi vantaggi accennati, il raffreddamento a liquido non viene molto sostenuto dai proprietari per via delle difficoltà dovute alla manutenzione e modifica del CED stesso, oltre che per paura che il liquido possa causare danni ai server.

Avendo mostrato una panoramica generale dell'intero processo di rimozione del calore, è possibile adesso presentare ed analizzare le sue diverse fasi anche da un punto di vista prettamente impiantistico. Osservando Figura 20, si possono distinguere le soluzioni disponibili per i vari stadi del sistema di rimozione del calore, il quale solitamente prevede la presenza di:

- Sistema finale di reiezione del calore
- Un impianto centrale di energia
- Un sistema di distribuzione di raffreddamento
- Metodo di distribuzione

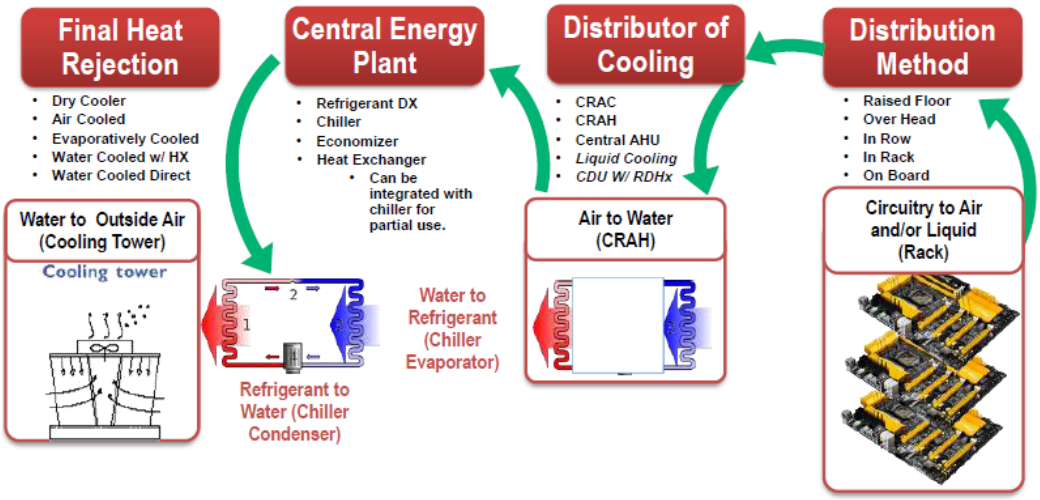


Figura 20. Fasi del processo di rimozione del calore

Dalla combinazione, laddove compatibili tra loro, delle diverse soluzioni impiantistiche è possibile ottenere una tipologia di climatizzazione ben definita.

Di seguito, al fine di discutere degli impianti di raffreddamento maggiormente utilizzati si farà riferimento a due documenti. Ancora una volta, verrà utilizzato un White Paper di American Power Conversion, il n. 59 *"The Different Technologies for Cooling Data Centers" [18]*, a cui verrà affiancato un documento, *"Rittal White Paper 507" [19]*, pubblicato dalla "The Rittal Corporation", famosa azienda costruttrice di prodotti IT, racks e controlli climatici di ambienti informatici.

Nella figura 21, è possibile osservare quali sono le tecnologie più usate oggigiorno, partendo dall'impianto di climatizzazione presente all'interno dell'ambiente, passando dal fluido di trasporto e giungendo all'impianto finale che smaltisce poi il calore all'esterno dell'ambiente. Di seguito, ciascuna di esse verrà esposta.

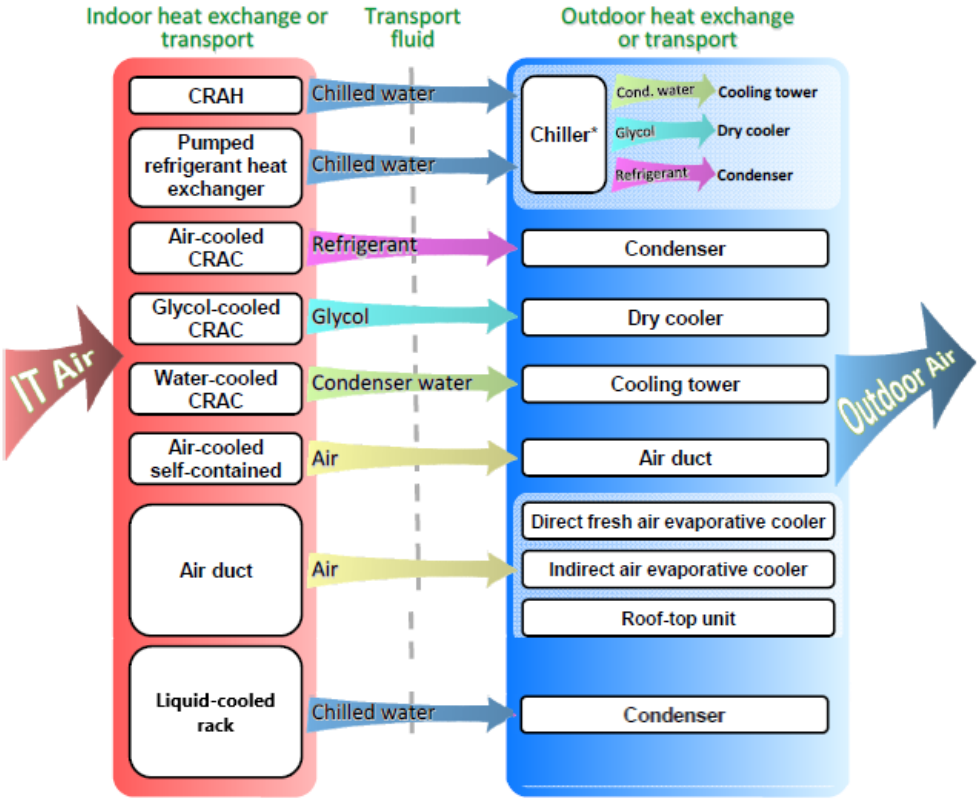


Figura 21. Tipologie di climatizzazione

1. Chilled Water System – CRAH cooled system

Un sistema ad acqua refrigerata utilizza un gestore di aria, ovvero un'unità CRAH, all'interno del quale sono presenti delle bobine di acqua refrigerata che rimuovono calore dall'aria. L'acqua quindi si scalda e ritorna al chiller, scambiando calore con il fluido presente nel condensatore per giungere infine in una torre di raffreddamento che può smaltire così il calore all'esterno.

Come si evince dalla figura, ci sono tre tipi di refrigeratori:

- Refrigeratori raffreddati ad acqua
- Refrigeratori raffreddati a glicole
- Refrigeratori raffreddati ad aria

La differenza più importante consiste nel dispositivo finale di smaltimento. Se come già detto, per i primi si ha una torre di raffreddamento, per gli altri due occorrerà utilizzare rispettivamente un Dry Cooler ed un condensatore ad aria.

Questo sistema lavora molto bene ad alte densità, si adatta con ottimi risultati alla modalità free cooling e risulta sconveniente a livello economico per CED con potenza totale sotto i 100kW.

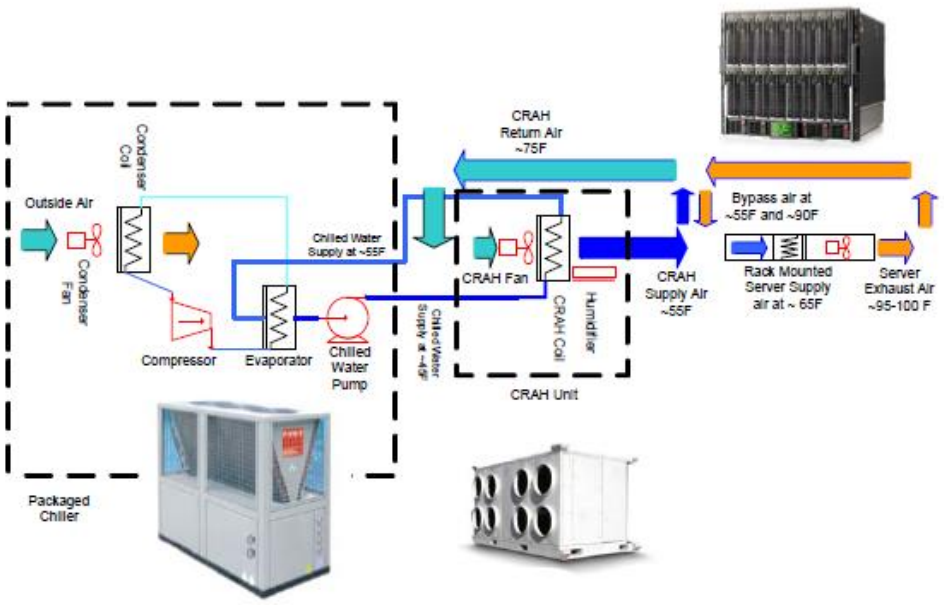


Figura 22. Chilled water system

2. Pumped Refrigerant for chilled water system

Un sistema di refrigerazione pompato per sistemi di acqua refrigerata si avvale dell'utilizzo di uno scambiatore di calore e di un'unità di pompaggio centrale. Nella pratica il fluido di raffreddamento che scorre all'interno del data center è separato dal sistema del refrigerante pompato, tipicamente un fluido R134a.

Solitamente vengono preferiti per alte densità e tipologie di distribuzione dell'aria a righe, per lo più tramite unità di raffreddamento "Overhead", rack o raffreddamento a direttamente a livello di chip dentro il rack. Si registrano ottime efficienze, bilanciate sfortunatamente da costi elevati dovuti alla presenza di pompe.

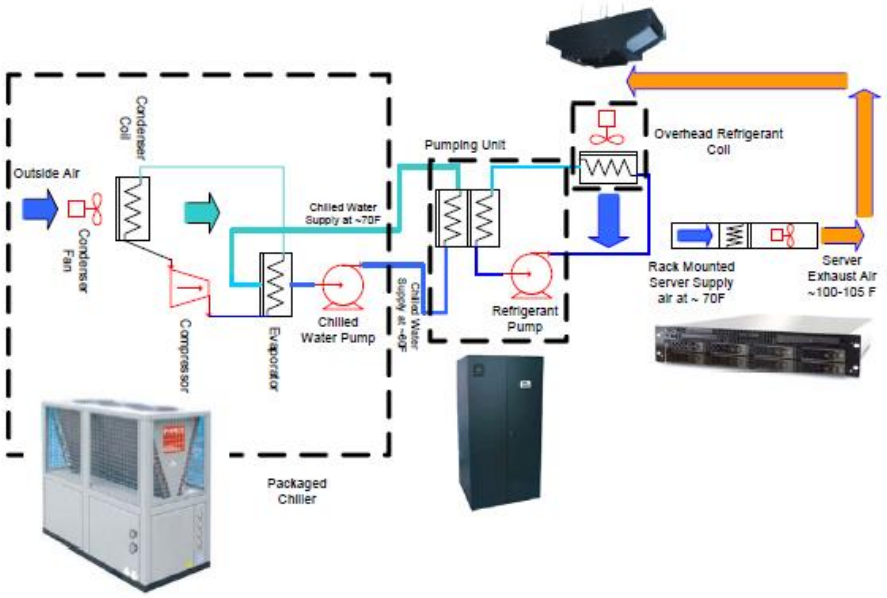


Figura 23. Refrigerant Pumped system

3. Air cooled DX system -CRAC cooled system

Soluzione conosciuta come Sistema CRAC DX raffreddato ad aria. È una delle tipologie di climatizzazione più diffuse in cui la sigla "DX" sta per espansione diretta, la quale avviene direttamente all'interno dell'unità CRAC che ospita anche il compressore. Riscuote parecchio successo tra le sale CED di piccole e medie dimensioni per via di costi complessivi e di manutenzione più bassi. Tuttavia, un solo condensatore non è sufficiente per più unità CRAC.

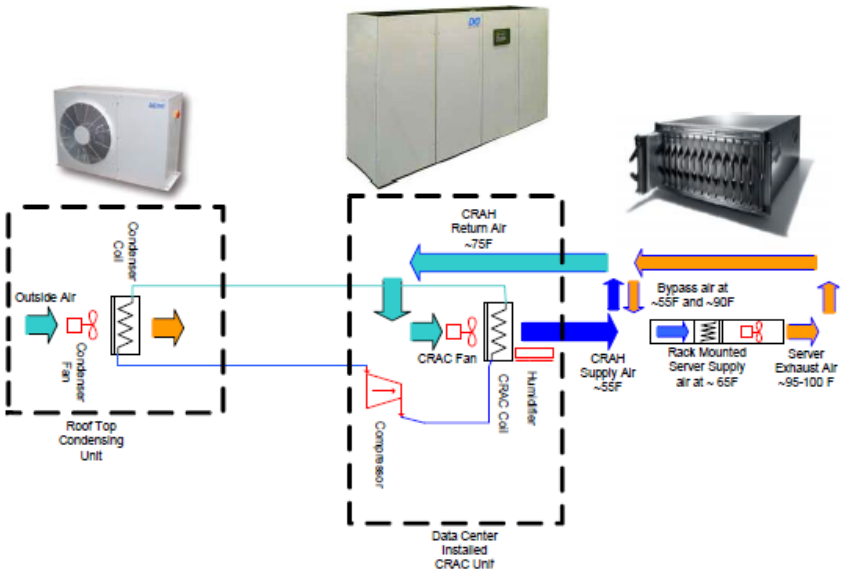


Figura 24. CRAC DX cooled system

4. Glycol-cooled system

Il sistema raffreddato a glicole è molto simile al precedente, se non per la presenza del Dry Cooler, il quale consente di avere dei componenti parecchio meno ingombranti di quelli del condensatore ad aria. All'interno dell'unità CRAC la bobina di condensazione viene sostituita da uno scambiatore di calore, mentre al suo esterno è presente un pacchetto di pompe che lo separa dal Dry Cooler. La presenza di queste ultime comporta ovviamente spese maggiori che vengono compensate dalla presenza di tubazioni più piccole.

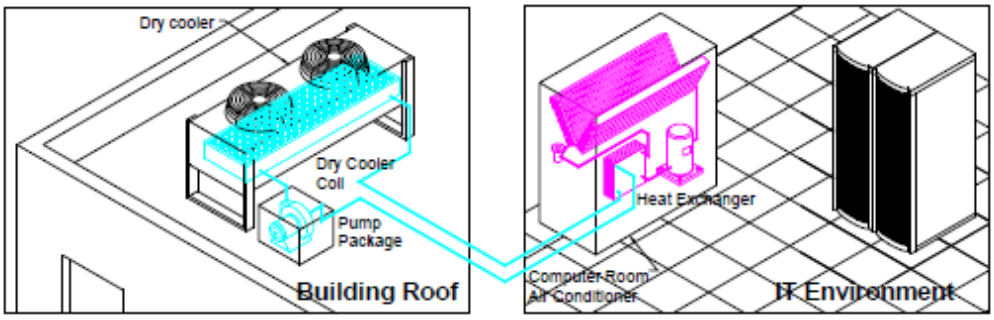


Figura 25. Glycol-cooled system

5. Water-cooled system

Quasi identico al glycol-cooled system, il sistema raffreddato ad acqua propone una torre di raffreddamento al posto del Dry Cooler. Il calore viene trasportato lontano dall'ambiente IT, tramite un loop di acqua fino a

raggiungere la torre di raffreddamento, la quale è in grado, a differenza del condensatore ad aria, di supportare più unità CRAC. Il costo complessivo dell'utilizzo di acqua condensata anziché quella refrigerata è molto più basso, anche se di contro aumenta il prezzo sia in manutenzione che in istallazione della torre di raffreddamento.

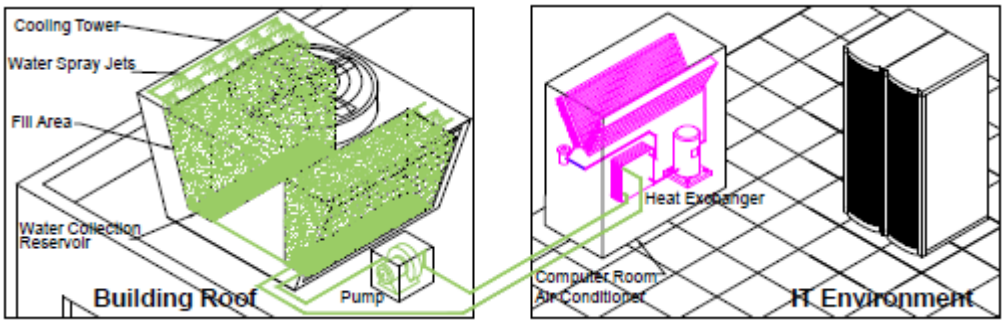


Figura 26. Water-cooled system

6. Air-cooled self-contained system

Il sistema autonomo raffreddato ad aria ripone tutti i componenti del ciclo di refrigerazione in un involucro presente nell'ambiente IT. Sono presenti dei condotti, i quali possono essere anche controsoffitto, che collegano il condensatore al dispositivo di climatizzazione. Viene utilizzato per carichi davvero molto bassi e necessita costantemente del supporto di un sistema HVAC. I costi sono pressoché nulli in quanto non si hanno ventilatori o pompe.

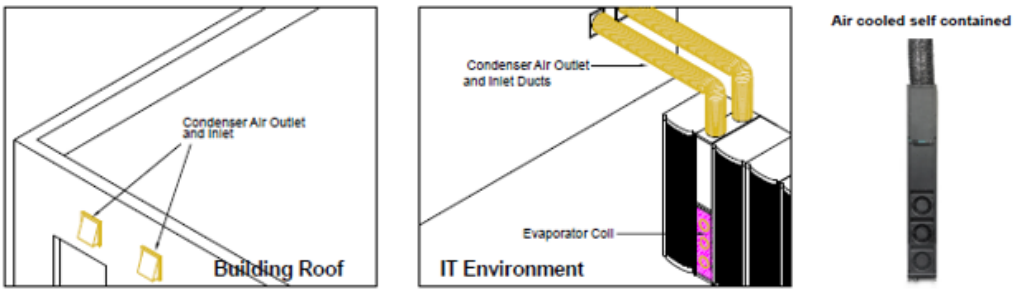


Figura 27. Air-cooled self-contained system

7. Air evaporative cooled system

Di larga diffusione, negli ultimi anni stanno prendendo il sopravvento i sistemi di raffreddamento evaporativo ad aria, i quali si suddividono in diretto ed indiretto. La modalità di funzionamento principale è quella a modalità di raffreddamento libero con ventilatori, feritoie e filtri per inviare aria fresca al

CED. La differenza tra i due sistemi risiede nella sola presenza di uno scambiatore di calore che "spezza" il ciclo, con la conseguenza che nel caso indiretto l'aria presente all'interno dell'ambiente IT non viene contaminata. Nella pratica, l'aria esterna attraversa un materiale mesh bagnato evaporando e raffreddandosi. Il vantaggio si registra in climi secchi con sostanziali risparmi energetici. Il prezzo lievita a causa delle continue sostituzioni dei filtri.

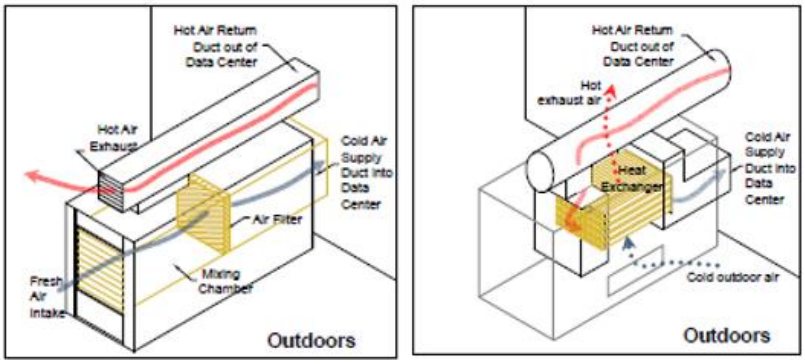


Figura 28. Direct and Indirect air evaporative cooled system

8. Liquid-cooled Rack system

Tra le tipologie di climatizzazione a liquido, la più comune è rappresentata dal sistema rack raffreddato a liquido con le unità CRAH che vengono montate direttamente nella riga con i rack. Ciò comporta una riduzione della distanza percorsa dal flusso d'aria, supportando così, grazie all'utilizzo di acqua refrigerata, delle temperature maggiori. L'impianto di climatizzazione è quindi formato da un chiller compatto che invia acqua refrigerata all'interno dei rack, dove l'unità CRAH tramite ventilatore esaurisce l'aria calda.

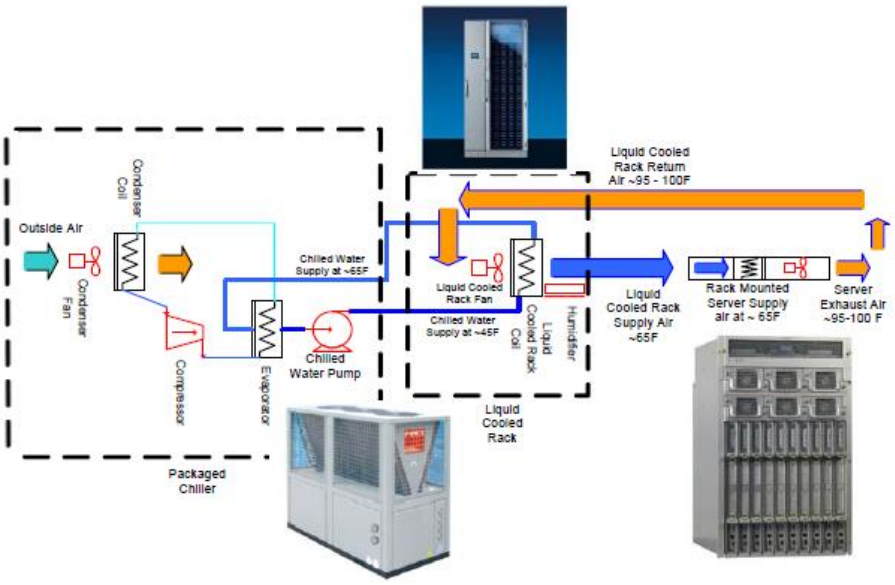


Figura 29. Liquid cooled rack system

3.4 Free Cooling

Seguendo ancora una volta le linee guida fornite da ASHRAE 90.1, viene stabilito un benchmark di riferimento nella progettazione di un data center che qualsiasi sistema di raffreddamento di nuova costruzione deve soddisfare o superare in prestazioni. Tra questi vi è sicuramente la previsione di una modalità in funzione economizzatore che, se prima veniva definito come integrazione secondaria, adesso deve essere pensata come tipico sistema di base. I sistemi di economizzazione, di fatto, consentono in media un risparmio del 70% dei costi annuali in energia elettrica consumata, abbassando il valore del PUE. Muovendosi in questa direzione vengono riportati alcuni esempi tratti dal White Paper n. 132 di APC. *[20]*

Come già visto, un sistema di raffreddamento può utilizzare aria, acqua o un refrigerante per condurre il calore in eccesso al di fuori dell'ambiente IT. Da qui nascono i termini economizzatore lato acqua e lato aria citati precedentemente.

Le diverse tipologie di climatizzazione descritte sono prevalentemente accomunate da quattro elementi di base:

- Un trasporto termico, tramite ventilatori o pompe
- Uno scambio di calore, tramite bobine o prese d'aria

- Un compressore, con refrigerante a bassa o alta pressione
- Un'assistenza all'evaporatore, tramite torri di raffreddamento o filtri bagnati

Al fine di ottenere dei risparmi energetici, tramite la modalità economizzatore, si cerca di bypassare parzialmente o del tutto il lavoro svolto dal compressore e ciò viene consentito quando la temperatura dell'aria esterna si trova in condizioni favorevoli rispetto a quella presente all'interno del CED. Tuttavia, occorre chiarire che, anche se il compressore viene totalmente bypassato, non si parla mai di consumo energetico nullo, in quanto gli elementi rimanenti svolgono ugualmente il proprio lavoro.

Esistono due configurazioni principali: in serie o in parallelo. Nella prima il componente, in serie con il compressore consente un'economizzazione parziale, così anche quando le condizioni ambientali esterne non sono troppo favorevoli viene ugualmente garantito un preraffreddamento. In una configurazione in parallelo si può invece attuare solo un bypass completo.

APC identifica 15 modalità utilizzate oggigiorno nei data center, di cui sei tipi ad aria e 9 ad acqua.

3.4.1 Free Cooling ad aria

Nella seguente figura vengono illustrate le tre modalità ad aria, le quali prevedono bypass completo o parziale, e l'utilizzo o meno di assistenza evaporativa.

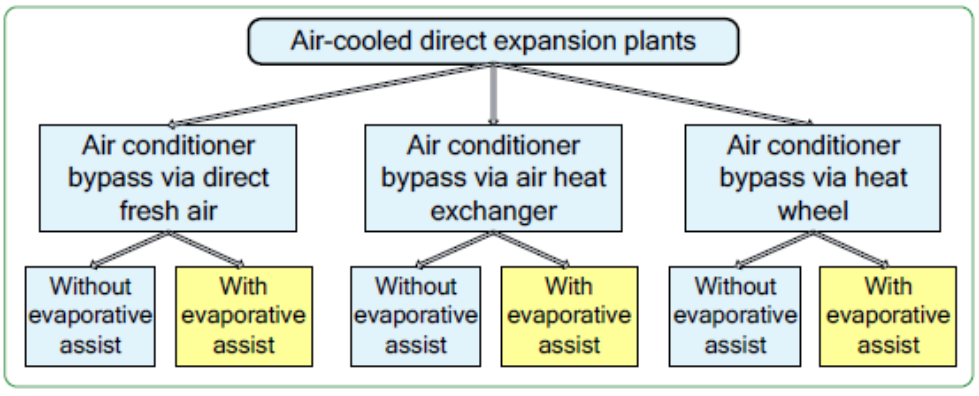


Figura 30. Modalità di free cooling lato aria

- Bypass con aria diretta

La presenza di feritoie e di smorzatori consente il controllo dei limiti di set point. Nonostante la presenza dei filtri non si riesce ad eliminare tutti i contaminanti. Il sistema è compatibile all'utilizzo di assistenza evaporativa, che soprattutto in climi asciutti consente di aumentare le ore di free cooling, anche se di contro si registra un aumento di umidità.

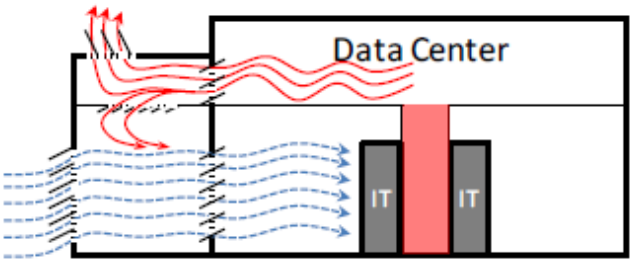


Figura 31. Free Cooling con aria diretta

- Bypass con scambiatore di calore ad aria

Detto anche ad aria indiretta, prevede la presenza di uno scambiatore di calore che isola del tutto l'aria interna del CED rispetto a quella esterna. Anche in questo caso è previsto l'utilizzo dell'assistenza evaporativa, con la differenza che i valori di umidità non vengono intaccati.

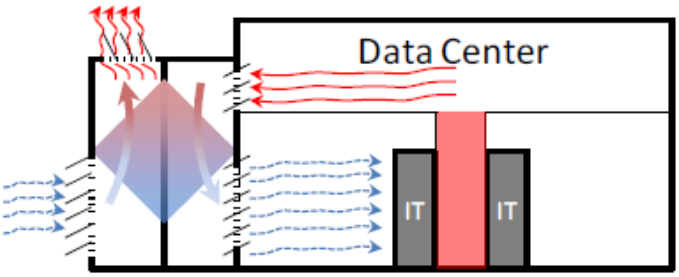


Figura 32. Free Cooling con aria indiretta

- Bypass con ruota termica

Lo scambiatore di calore rotante permette di conservare le condizioni dell'aria secca presente nel CED grazie al materiale di cui è fatto che non consente l'ingresso di contaminanti.

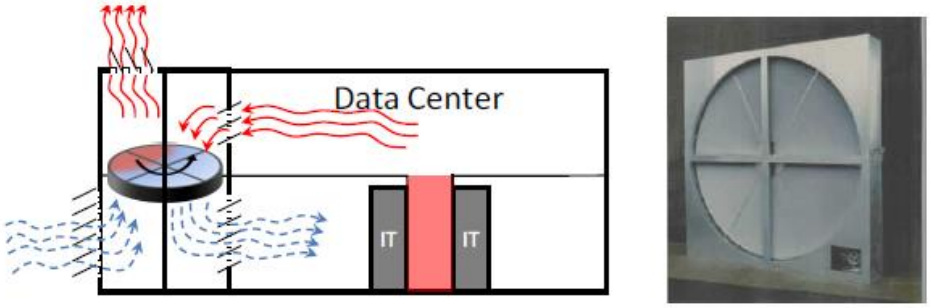


Figura 33. Free Cooling ad aria con scambiatore di calore rotante

3.4.2 Free Cooling ad acqua

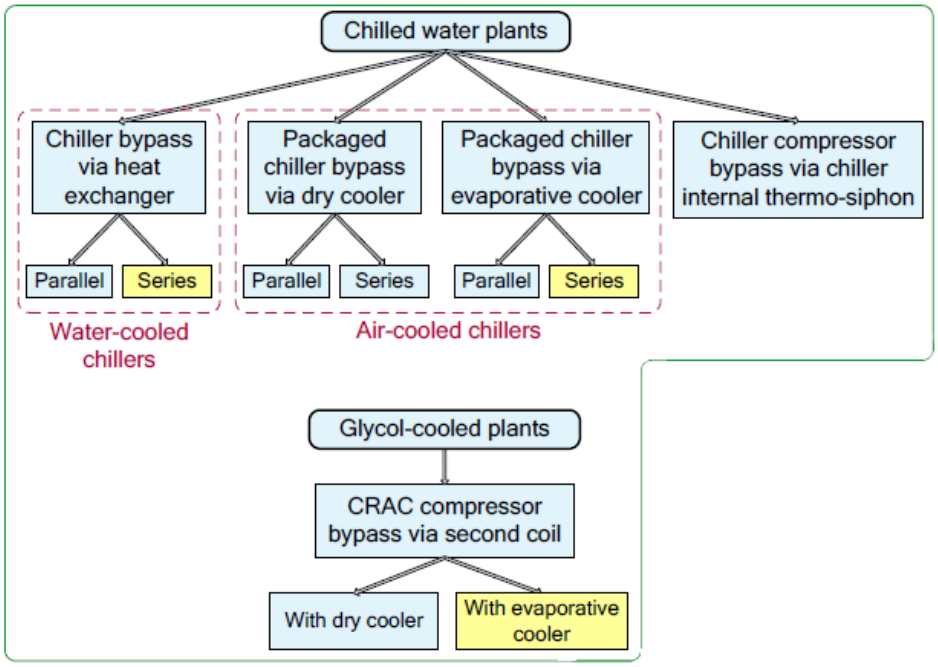


Figura 34. Modalità di free cooling lato acqua

Per quanto riguarda le modalità di free cooling lato acqua, invece non è sempre possibile utilizzare l'assistenza evaporativa. Per questi impianti, si ha solitamente il bypass del chiller o del compressore presente all'interno dell'unità di raffreddamento.

- Bypass del chiller con scambiatore di calore

L'acqua refrigerata del data center viene indirettamente raffreddata dall'acqua del condensatore tramite uno scambiatore di calore. Quest'ultimo fa sì che l'acqua refrigerata dell'unità CRAH non si mescoli con quella condensata. Il bypass infine è concesso dalla presenza di valvole, la cui

attivazione è determinata da sistemi di controllo della temperatura dell'acqua. Questo metodo offre l'opportunità di utilizzare come fonte di acqua fredda laghi, corsi d'acqua o acqua di pozzo.

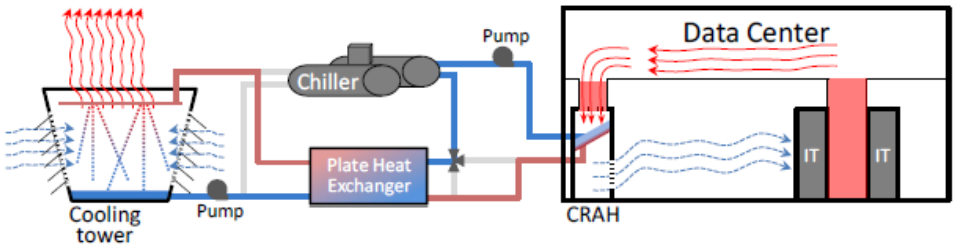


Figura 35. Free Cooling ad acqua con scambiatore di calore

- Bypass del compressore del chiller

In questa modalità il chiller agisce come un normale scambiatore di calore, basandosi sul principio del termosifone. Il refrigerante freddo per effetto di gravità torna alla bobina dell'evaporatore, raffreddando l'acqua refrigerata del data center. Scaldandosi poi si muove spontaneamente verso il condensatore. Lo svantaggio principale è di non poter sfruttare la modalità parziale dovendo spegnere del tutto il compressore.

- Bypass del chiller con Dry Cooler

L'acqua refrigerata viene raffreddata, tramite Dry Cooler, dall'aria esterna. Si hanno così delle pompe che muovono l'acqua refrigerata attraverso il Dry Cooler, dove l'aria la raffredda, per finire poi all'interno dell'unità CRAH. Le valvole intervengono sia per un funzionamento parziale che totale del bypass del chiller. L'assistenza evaporativa prevede la sostituzione del Dry Cooler con un evaporatore.

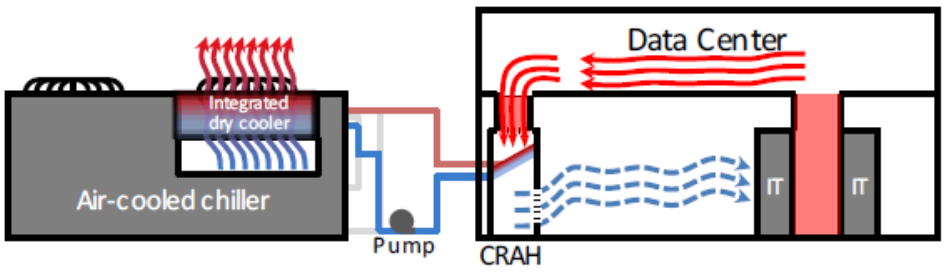


Figura 36. Free Cooling ad acqua con Dry cooler

- Bypass del compressore CRAC

Nel caso in cui vi sia un CRAC DX ad espansione diretta che include una seconda bobina indipendente, è possibile, quando le condizioni climatiche esterne lo consentono, bypassare la bobina del CRAC a favore di questa seconda. Le pompe quindi muovono l'acqua del condensatore attraverso un Dry Cooler, che come prima viene raffreddato dall'aria esterna, fino a giungere nella seconda bobina.

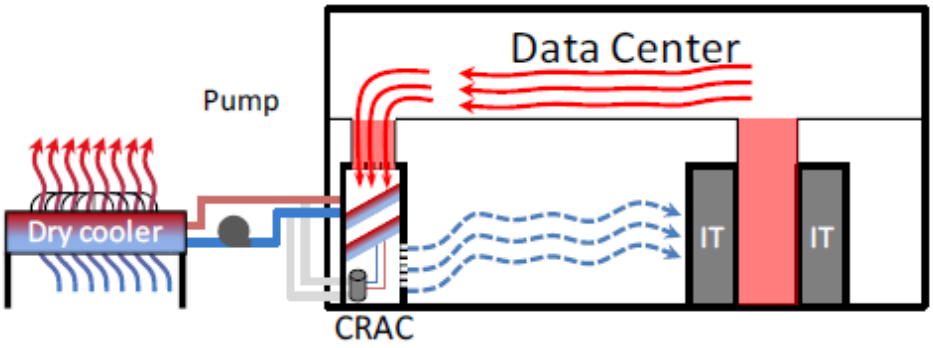


Figura 37. Free Cooling ad acqua con seconda bobina all'interno del CRAC

L'obiettivo del Free Cooling è principalmente quello di consentire al compressore di svolgere meno lavoro possibile sfruttando l'aria fredda esterna. Affinché ciò avvenga è necessario che le condizioni climatiche esterne siano favorevoli e quindi con temperature inferiori a quelle presenti nella sala computer. Risulta evidente che la posizione geografica rappresenta un fattore predominante. Per questo motivo in fase di progettazione è necessario svolgere un calcolo delle ore possibili di funzionamento in free cooling, così da poter valutare la convenienza della modalità scelta.

Le condizioni ambientali come facilmente comprensibile in questo capitolo, svolgono un ruolo importante anche per scelta o meno della funzione di assistenza evaporativa. Questa dà la possibilità di sfruttare la temperatura di bulbo umido che risulta sempre più bassa di quella secca così da ampliare il numero di ore in funzionamento "libero".

Essendo la differenza di temperatura tra ambiente esterno ed interno del CED, il valore che determina l'azionamento o meno della funzione free cooling, si può infatti agire sulla temperatura di set point interna.

Si tratta di aumentare la temperatura di progettazione all'ingresso dei server, così come già previsto da ASHRAE, nel cui elaborato viene indicato un aumento di temperatura massima raccomandata da 25 a 27 °C.

Affinché sia possibile innalzare la temperatura in ingresso ai rack occorre, come specificato nei precedenti capitoli, ottimizzare la gestione del flusso d'aria, ed è proprio a tale scopo che risulta importante attuare la separazione dei flussi di aria caldi e freddi. Questa suddivisione spesso prevede il contenimento di un corridoio, preferibilmente di quello caldo, che aiuta il processo di raffreddamento libero.

Si può concludere dicendo che il Free Cooling rappresenta un intervento migliorativo dal punto di vista energetico ed economico, che non solo dipende dalla tipologia impiantistica di raffreddamento presente all'interno del CED, ma anche dalla gestione del flusso e distribuzione d'aria che avviene all'interno della stessa sala server. Per far sì che il raffreddamento libero risulti efficace è necessario, prima di tutto, che vengano seguite alla regola le indicazioni fornite dai diversi enti e produttori di data center.

4. Calcolo dei consumi termici di due tipologie di raffreddamento

Dopo aver delineato in modo dettagliato il processo di progettazione, in funzione degli standard presenti nel panorama internazionale, ed aver stabilito una linea guida generale da seguire, nelle prossime pagine verranno analizzati i sistemi di raffreddamento più utilizzati, al giorno d'oggi, in un data center collocato a Roma.

Prima di procedere con l'analisi delle diverse tipologie occorre presentare l'ambiente IT di riferimento, per il quale sono state considerate le seguenti ipotesi di base:

- Non vi sono scambi o dispersioni termiche verso gli ambienti adiacenti, per cui l'ambiente risulta totalmente coibentato
- I rack sono tutti sottoposti alla stessa densità di potenza, la quale non varia nel tempo
- Lo spazio dedicato ai server rack all'interno della sala è stabilito in base al *"WP 120, Linee guida per calcolare la densità di potenza dei Data Center"* di APC. *[21]*

Per quanto riguarda quest'ultima ipotesi, risulta necessario spendere qualche parola in più. Di fatti in base alla densità di potenza media registrata tra le cabinet varia lo spazio a disposizione di queste ultime, che si riduce per dar spazio alle strutture di alimentazione e raffreddamento. Per di più, queste strutture risentono anche dei livelli di ridondanza, a cui sono soggetti per rispettare le condizioni imposte da TIER con i suoi livelli, con la conseguenza di una maggiore riduzione dello spazio disponibile degli armadi server.

A tal proposito, la figura 38 illustra in modo efficace la percentuale di spazio disponibile per le apparecchiature IT in funzione dell'alimentazione media specificata per rack.

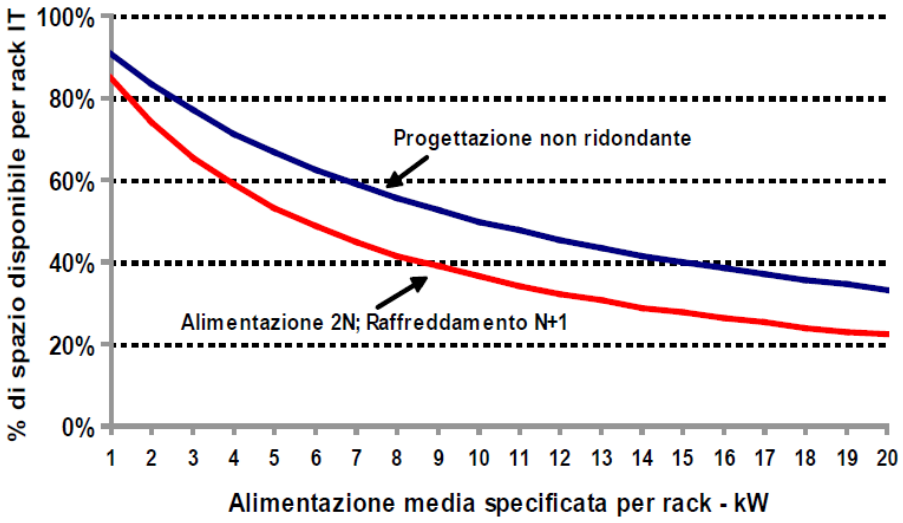


Figura 38. Effetto della densità di potenza sulla percentuale di spazio disponibile per i rack

Tramite questo grafico sarà possibile disporre gli armadi all'interno della sala, per la quale è stato previsto un carico complessivo di 400 kW in alimentazione a piena potenza.

Si è quindi scelto di disporre i server rack in un ambiente di circa 160 m^2, al cui interno sono presenti dei server di dimensioni standard di altezza 1U, come descritto nel capitolo 2 del seguente elaborato, e di rack anch'essi di dimensioni standard aventi all'interno 42 U per un totale di circa 180 cm di altezza. Le caratteristiche dimensionali della sala e dei rack vengono riassunte nella seguente tabella.

Caratteristiche Data Center		
Sala IT	Lunghezza [m]	14
	Larghezza [m]	11,4
	Altezza [m]	2,6
	Superficie [m^2]	159,6
	Volume [m^3]	414,96
Server	Lunghezza [cm]	100
	Larghezza [cm]	50
	Altezza [cm]	4,44
Rack	Altezza [m]	1,865
	# rack	32
	Superficie [m^2]	0,5

Tabella 8. Caratteristiche dimensionali Sala Server

Collocando dunque i rack secondo la classica disposizione corridoio caldo/ corridoio freddo, le cui misure anche in questo caso sono standardizzate, e seguendo le regole di TIA-942-A, secondo cui bisogna disporre le file di armadi a 2 metri di distanza dalle pareti della sala, si ottiene una configurazione dell'ambiente IT, identica a quanto presentato nella prossima immagine.

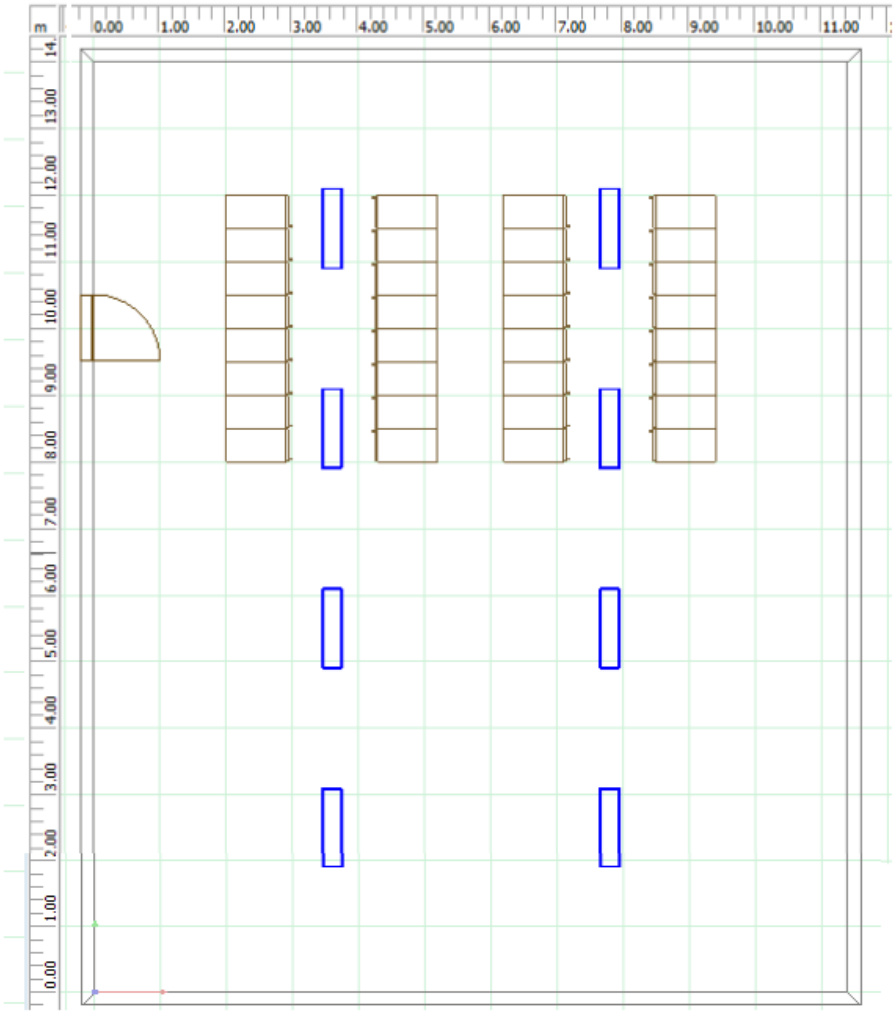


Figura 39. Planimetria Sala Server

Dalla planimetria illustrata si evince come i server rack non siano distribuiti uniformemente in tutta la sala, e ciò viene fatto in funzione di un possibile ampliamento futuro del centro di elaborazione dati, il quale potrebbe anche raddoppiare.

Per chiarirne la disposizione viene mostrata anche una rappresentazione tridimensionale della stanza, come mostrato nella figura 40.

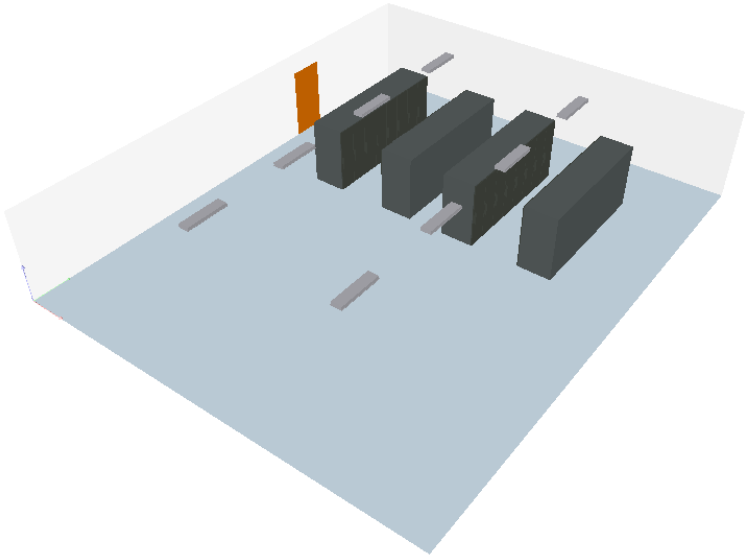


Figura 40. Rappresentazione 3D del CED

Questa immagine mostra quanto detto, ovvero la disposizione degli armadi server in file in modo che le parti anteriori e posteriori si affaccino l'una all'altra.

Delineate le caratteristiche dimensionali dell'ambiente, bisogna a questo punto definire il carico di alimentazione e quindi calcolarne la produzione di energia termica dei diversi dispositivi. Avendo definito una potenza di alimentazione dei dispositivi informatici, di 400 kW a pieno carico, è stato preso come riferimento un Data Center Cloud Computing, il quale offre servizi on demand tramite rete Internet e mostra, genericamente, un profilo di carico di potenza giornaliero come segue.

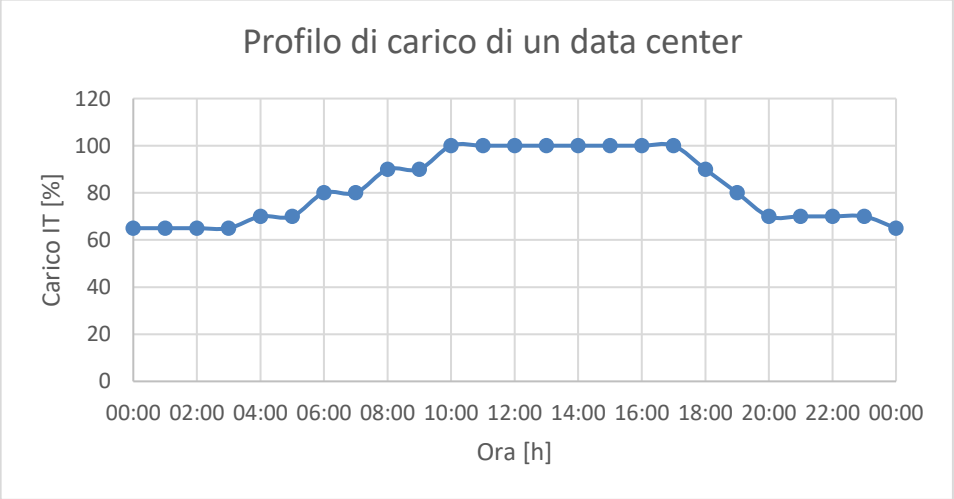


Figura 41. Profilo di carico giornaliero di un Data Center Cloud Computing

Il grafico appena presentato offre la possibilità di definire, secondo quanto riportato in precedenza tramite tabella 5, la produzione di calore dei dispositivi informatici che bisogna rimuovere.

Calcolo produzione di calore Data Center					
Percentuale di carico IT	65%	70%	80%	90%	100%
Carico IT [kW]	260	280	320	360	400
UPS batterie [kW]	31,6	32,8	35,2	37,6	40
Distribuzione alimentazione [kW]	13,2	13,6	14,4	15,2	16
Illuminazione [kW]	3,44				
Persone [kW]	1				
TOTALE [kW]	**309,24**	**330,84**	**374,04**	**417,24**	**460,44**

Tabella 9. Produzione di calore in funzione del profilo di carico IT

I calcoli sono stati effettuati in base a quanto previsto da APC, soppesando i primi tre termini secondo una quota fissa ed una proporzionale al carico presente, mentre i rimanenti termini, come si evince dalla tabella, restano fissi poiché dipendenti dalla superficie illuminata e dal numero di persone impiegate all'interno, supposte pari a 10.

Partendo dunque dal presupposto che a pieno carico ci si ritrova ad affrontare una densità di potenza media dei rack pari a 12.5 kW/rack, il che colloca il data center oggetto dell'analisi tra i centri di elaborazione dati di media potenza, è possibile adesso analizzare le diverse configurazioni di climatizzazione.

In base a quanto detto finora si è scelto di presentare una delle tipologie di raffreddamento più diffuse ai giorni d'oggi, come il sistema di climatizzazione ad acqua refrigerata e confrontarlo con un sistema d'avanguardia, ovvero un sistema di raffreddamento a liquido diretto ai rack, così da evidenziare pregi e difetti di un vettore energetico o di un dispositivo di raffreddamento piuttosto che di un altro.

4.1 Chilled Water System

Come descritto nelle precedenti pagine, un sistema ad acqua refrigerata è composto da un chiller, ovvero un refrigeratore, il quale può essere ad aria, ad acqua o glicole. Questo refrigeratore, che a seconda della tipologia può essere alimentato da una torre di raffreddamento o da un condensatore, ha il compito di inviare fluido refrigerato ad un terminale presente all'interno della sala CED, che funzionerà così da gestore d'aria.

Nel caso in esame si è scelto di utilizzare un packaged chiller del tipo aria-acqua, al cui interno vi è quindi presente un condensatore ad aria.

Partendo dunque dalle condizioni interne dell'ambiente, la cui temperatura viene fissata a 22°C, bisogna selezionare un'unità CRAC in grado di gestire il flusso d'aria richiesto dai server, ma soprattutto determinare il carico totale di raffreddamento in grado di smaltire la produzione di calore sopracitata.

L'unità CRAC in questione appartiene alla casa costruttrice "Vertiv" del gruppo Liebert, la "PX104ED", avente la funzione multicool in grado di funzionare sia in espansione diretta che con l'ausilio di un chiller.

Nel caso qui presente si ipotizza che la CRAC scelta sia in grado di funzionare in sola modalità refrigerata, mediante l'utilizzo per l'appunto di acqua refrigerata fornita dal chiller scelto precedentemente, il "TRCS2-Z/SL-CA 0452" della casa produttrice "Mitsubishi Electric Hydronics & IT Cooling Systems S.p.a".

DATI CRAC unit			
$T_{ambiente}$ [°C]	22	$T_{H2O,utenza}$ [°C]	7
RH %	50	$T_{H2O,uscita}$ [°C]	12
$portata_{aria}$ [m^3/h]	25000	Perdita carico fluido	45
$T_{aria,ingresso}$ [°C]	13,8	# fan	3
$Q_{totale,lorda}$ [kW]	68.9	$P_{el,assorbita,fan}$ [kW]	2,12
Q_{netta} [kW]	62,5	velocità di rotazione [rpm]	1198
$P_{el,assorbita,CRAC}$ [kW]	6,39	Larghezza [mm]	2550
EER	9,8	Profondità [mm]	890
$portata_{H2O}$ [l/s]	3,29	Altezza [mm]	1370

Tabella 10. Dati nominali unità CRAC

Partendo dai dati nominali riscontrati nella precedente tabella è possibile definire il numero di unità CRAC da disporre all'interno dell'ambiente. In conformità poi con le direttive dell'Uptime Institute, verrà adottato un sistema di ridondanza di N+1.

Così in base alla produzione totale di calore da parte dei rack, che varia in funzione del profilo di carico IT richiesto dall'intero data center, si può osservare come sia necessario disporre di sette unità CRAC, otto considerando il sistema di ridondanza, al fine di sopperire ad una richiesta massima del 100% da parte dei server.

Per una migliore gestione del flusso queste unità verranno disposte in corrispondenza dei corridoi freddi, adottando una predisposizione "downflow", come illustrato nelle seguenti immagini.

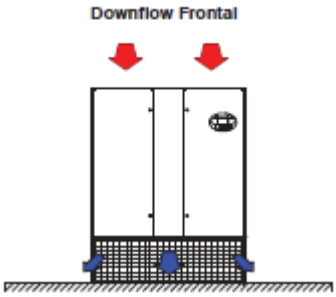


Figura 42. Distribuzione d'aria del CRAC PX104ED

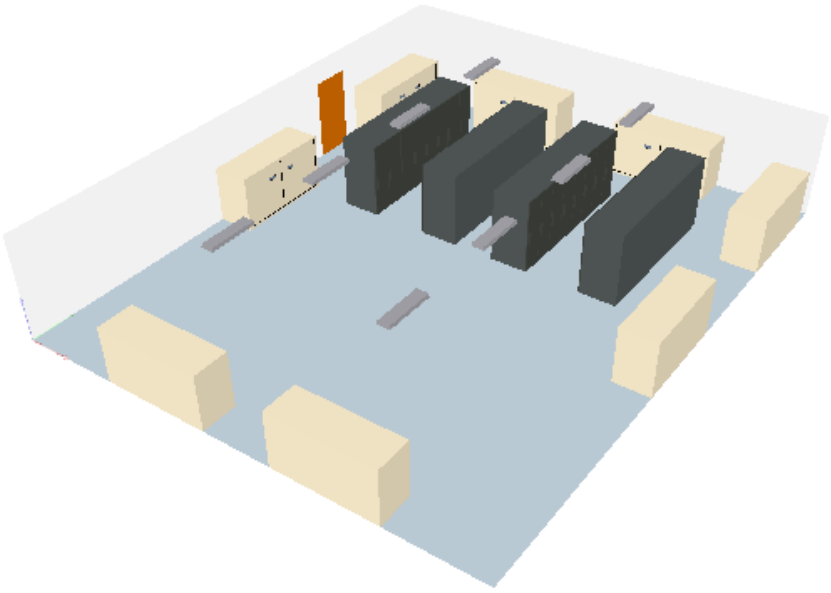


Figura 43. Posizionamento delle CRAC unit all'interno della sala IT

Avendo stabilito che le CRAC unit siano in grado di fornire la portata richiesta dai singoli server, durante i calcoli sono state effettuate le seguenti ipotesi:

- Temperatura dell'ambiente IT costante e pari a 22°C
- Temperatura di mandata dal CRAC pari a 13,8°C
- Temperatura di ritorno alle CRAC pari alla temperatura ambiente IT
- Portata in uscita dalle CRAC pari a quella nominale

Quest'ultima ipotesi, indica come le unità CRAC non saranno in grado di lavorare a carico parziale, bensì verranno spente laddove ad esempio con un carico IT pari al 65% basterà mantenere solo cinque unità in funzione.

Risulta intuibile, osservando il profilo di carico IT, valutare il numero di unità CRAC funzionanti e la potenza frigorifera totale fornita durante il giorno, riassunto nella Tabella 11.

Determinazione numero di unità CRAC funzionanti					
Percentuale di carico IT	65%	70%	80%	90%	100%
Calore da rimuovere [kW]	309,24	330,84	374,04	417,24	460,44
Rapporto Calore da rimuovere su potenza frigorifera lorda unità CRAC	4,4882	4,8017	5,4287	6,0557	6,6827
# unità CRAC	**5**	**5**	**6**	**7**	**7**
Potenza frigorifera totale [kW]	344,5	344,5	413,4	482,3	482,3

Tabella 11. Numero di unità CRAC su profilo di carico IT

Poste le basi per il calcolo relativo ai CRAC, occorre adesso installare il chiller a supporto dei condizionatori d'aria. Il refrigeratore scelto consente di fornire una temperatura dell'acqua all'utenza pari a 7°C, sfruttando un salto termico di solo 5°C, mantenendo dei valori di efficienza molto validi.

AMBIENTE	SCAMBIATORE UTENZA Tu [°C] 7			
Ta [°C]	Ti [°C]	Tu [°C]	Pf [kW]	EER [kW/kW]
-5	11,27	7,0	378,9	8,6
0	11,6	7,0	407,8	7,8
5	11,93	7,0	436,7	7,0
10,0	12,3	7,0	465,6	6,2
15,0	12,6	7,0	494,5	5,4
20,0	12,7	7,0	506,6	4,8
25,0	12,7	7,0	501,9	4,2
30,0	12,4	7,0	480,5	3,7
35,0	12,0	7,0	442,3	3,2
40,0	11,7	7,0	417,6	2,8

Tabella 12. Dati nominali packaged chiller

Tramite questi dati, effettuando delle interpolazioni, è quindi possibile calcolare la temperatura di ritorno al chiller in base alla temperatura esterna della città scelta, ovvero Roma, ora per ora. Attraverso lo stesso ragionamento si hanno anche le varie potenze frigorifere e le efficienze del chiller, calcolate rispetto alla differenza di temperatura tra la temperatura di utenza, che resta invariata, e quella esterna.

Dopo di che, occorre valutare se la potenza frigorifera fornita dal chiller è in grado di supportare quella richiesta da ciascuna unità CRAC in funzione. Durante lo svolgimento dei calcoli infatti, in alcune ore, risulta insufficiente l'utilizzo di un solo chiller, che deve essere quindi affiancato da un secondo scambiatore con le stesse caratteristiche, che entrerà in funzione solo quando richiesto.

	T_a [°C]	T_i [°C]	T_u [°C]	$P_{f,chiller}$ [kW]	EER [kW/kW]	$P_{el,chiller}$ [kW]	$Q_{f,CRAC}$ [kW]	**#Chiller**
00:00	6,7	12,042	7	446,526	6,758	66,07	344,5	**1**
01:00	6,9	12,055	7	447,682	6,726	66,56	344,5	**1**
02:00	7	12,062	7	448,26	6,710	66,80	344,5	**1**
03:00	7,1	12,069	7	448,838	6,694	67,05	344,5	**1**
04:00	7,1	12,069	7	448,838	6,694	67,05	344,5	**1**
05:00	7,3	12,082	7	449,994	6,662	67,55	344,5	**1**
06:00	8,6	12,168	7	457,508	6,454	70,89	413,4	**1**
07:00	8,8	12,181	7	458,664	6,422	71,42	413,4	**1**
08:00	9	12,194	7	459,82	6,390	71,96	482,3	**2**
09:00	9,2	12,207	7	460,976	6,358	72,50	482,3	**2**
10:00	11	12,326	7	471,38	6,070	77,66	482,3	**2**
11:00	12,8	12,445	7	481,784	5,782	83,32	482,3	**2**
12:00	14,6	12,564	7	492,188	5,494	89,59	482,3	**1**
13:00	14,7	12,570	7	492,766	5,478	89,95	482,3	**1**
14:00	14,9	12,583	7	493,922	5,446	90,69	482,3	**1**
15:00	15	12,590	7	494,5	5,430	91,07	482,3	**1**
16:00	14	12,524	7	488,72	5,590	87,43	482,3	**1**
17:00	13	12,458	7	482,94	5,750	83,99	482,3	**1**
18:00	12	12,392	7	477,16	5,910	80,74	482,3	**2**
19:00	11,5	12,359	7	474,27	5,990	79,18	413,4	**1**
20:00	11,1	12,333	7	471,958	6,054	77,96	344,5	**1**
21:00	10,6	12,300	7	469,068	6,134	76,47	344,5	**1**
22:00	9,9	12,253	7	465,022	6,246	74,45	344,5	**1**
23:00	9,1	12,201	7	460,398	6,374	72,23	344,5	**1**

Tabella 13. Valutazione potenza frigorifera fornita da chiller e CRAC in una tipica giornata

Al fine di vagliare tutti i componenti che agiscono all'interno del circuito relativo all'acqua refrigerata occorre considerare il sistema di pompaggio del refrigerante stesso.

Questo collegamento tra le due unità può essere schematizzato tramite un semplice circuito chiuso, come abbozzato nella figura che segue.

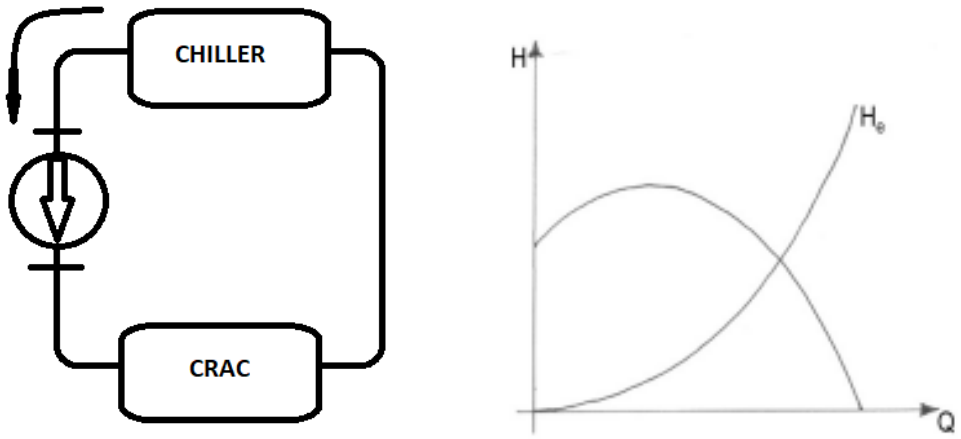


Figura 44. a) Schema circuito chiuso e relativa b) curva caratteristica della pompa

Se la pompa, come nel caso in esame, ha lo scopo di far circolare il fluido all'interno di un circuito chiuso, la prevalenza che deve fornire la pompa sarà uguale alle sole perdite di carico del circuito, le quali risultano essere proporzionali al quadrato della portata. Ciò viene spiegato dalla curva di prevalenza, il cui punto di partenza si trova nell'origine.

$$H = \Delta p = k \cdot Q^2$$

Il calcolo della potenza elettrica assorbita dalla pompa si pone sulle seguenti ipotesi:

- Rendimento medio di una generica pompa da letteratura: $\eta_p = 0{,}55$
- Potenza frigorifera CRAC lato chiller costante: $P_{CW} = 68{,}9$ kW
- Calore specifico dell'acqua costante: $c_{p,H2O} = 4{,}186 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

Prima di tutto occorre quantificare l'indice caratteristico della curva di prevalenza k, che servirà successivamente a calcolare le perdite di carico che variano di ora in ora.

$$k = \frac{\Delta p_n}{{Q^2}_n} = \frac{45\ kPa}{0{,}00329^2\ \frac{m^3}{s}} = 4{,}16 \cdot 10^6$$

Da queste ipotesi di base è possibile, dunque, ricavare la portata circolante all'interno del circuito, che varia in funzione della temperatura di ritorno al chiller e quindi della temperatura esterna.

$$Q = \frac{P_{CW}}{c_{p,H2O} \cdot (T_i - T_u)} \quad \left[\frac{l}{s}\right]$$

Determinata quindi la nuova portata circolante all'interno del circuito, sarà possibile dapprima trovare la perdita di carico ed infine la potenza meccanica della pompa.

$$\Delta p = k \cdot \left(\frac{Q}{1000}\right)^2 \quad [kPa]$$

$$P_{id,pompa} = \frac{\Delta p \cdot Q}{1000} \quad [kW]$$

Dopo aver valutato la potenza meccanica necessaria per far fluire l'acqua refrigerata, occorre determinare la quantità di pompe sufficiente a rifornire le unità CRAC funzionanti, le quali dipendono come già detto dal profilo di carico IT. Fatto ciò è finalmente possibile determinare la potenza elettrica totale assorbita dalle pompe, tramite l'efficienza della pompa supposta in precedenza.

$$P_{el,ass} = \frac{P_{id,pompa} \cdot \#CRAC}{\eta_P} \quad [kW]$$

Nella seguente tabella vengono riassunti i valori relativi ai calcoli effettuati durante una giornata.

	Ti [°C]	Tu [°C]	Q [l/s]	Δp [kPa]	$P_{id,pompa}$ [kW]	#CRAC	**$P_{el,ass}$ [kW]**
00:00	12,042	7	3,262	44,250	0,144	5	**1,312**
01:00	12,055	7	3,254	44,019	0,143	5	**1,302**
02:00	12,062	7	3,250	43,904	0,143	5	**1,297**
03:00	12,069	7	3,245	43,790	0,142	5	**1,292**
04:00	12,069	7	3,245	43,790	0,142	5	**1,292**
05:00	12,082	7	3,237	43,563	0,141	5	**1,282**
06:00	12,168	7	3,183	42,128	0,134	6	**1,463**
07:00	12,181	7	3,175	41,914	0,133	6	**1,452**
08:00	12,194	7	3,167	41,701	0,132	7	**1,681**
09:00	12,207	7	3,159	41,490	0,131	7	**1,668**
10:00	12,326	7	3,089	39,660	0,122	7	**1,559**
11:00	12,445	7	3,021	37,948	0,115	7	**1,459**
12:00	12,564	7	2,956	36,345	0,107	7	**1,368**
13:00	12,570	7	2,953	36,259	0,107	7	**1,363**
14:00	12,583	7	2,946	36,087	0,106	7	**1,353**
15:00	12,590	7	2,943	36,002	0,106	7	**1,348**
16:00	12,524	7	2,978	36,868	0,110	7	**1,397**
17:00	12,458	7	3,014	37,765	0,114	7	**1,449**
18:00	12,392	7	3,051	38,695	0,118	7	**1,502**
19:00	12,359	7	3,070	39,173	0,120	6	**1,312**
20:00	12,333	7	3,085	39,562	0,122	5	**1,109**
21:00	12,300	7	3,104	40,056	0,124	5	**1,130**
22:00	12,253	7	3,131	40,764	0,128	5	**1,160**
23:00	12,201	7	3,163	41,595	0,132	5	**1,196**

Tabella 14. Valutazione potenza elettrica assorbita dal sistema di pompaggio in una tipica giornata

Al fine di valutare la potenza elettrica totale assorbita dall'intero impianto di climatizzazione, che servirà in seguito per calcolare il Power Usage Effectiveness, bisogna considerare la potenza elettrica assorbita dalle ventole dei CRAC.

Dalla scheda tecnica dell'unità CRAC selezionata, risulta l'utilizzo di tre ventole installate su ogni dispositivo. Poiché in fase preliminare di calcolo, è stato stabilito un flusso costante della portata d'aria e pari al valore nominale presente in tabella 10, la velocità di rotazione di ogni ventola resterà sempre la stessa, con la conseguenza che la potenza assorbita dalle stesse resterà costante. Ancora una volta, questa potenza dipenderà esclusivamente dal numero di unità CRAC funzionanti.

$$P_{el,fan} = 3 \cdot \#CRAC \ \ [kW]$$

La potenza elettrica assorbita dall'impianto sarà così pari alla somma dei componenti precedentemente valutati.

$$P_{el,tot} = P_{el,chiller} + P_{el,CRAC} + P_{el,fan} + P_{el,pompa} \ [kW]$$

	#chiller	$P_{el,chiller}$ [kW]	#CRAC	$P_{el,CRAC}$ [kW]	$P_{el,fan}$ [kW]	$P_{el,pompa}$ [kW]	**$P_{el,tot}$ [kW]**
00:00	1	66,074	5	31,95	31,80	1,312	**131,136**
01:00	1	66,560	5	31,95	31,80	1,302	**131,612**
02:00	1	66,805	5	31,95	31,80	1,297	**131,852**
03:00	1	67,051	5	31,95	31,80	1,292	**132,093**
04:00	1	67,051	5	31,95	31,80	1,292	**132,093**
05:00	1	67,546	5	31,95	31,80	1,282	**132,578**
06:00	1	70,887	6	38,34	38,16	1,463	**148,850**
07:00	1	71,421	6	38,34	38,16	1,452	**149,373**
08:00	2	143,919	7	44,73	44,52	1,681	**234,850**
09:00	2	145,007	7	44,73	44,52	1,668	**235,925**
10:00	2	155,315	7	44,73	44,52	1,559	**246,124**
11:00	2	166,650	7	44,73	44,52	1,459	**257,359**
12:00	1	89,586	7	44,73	44,52	1,368	**180,204**
13:00	1	89,954	7	44,73	44,52	1,363	**180,566**
14:00	1	90,694	7	44,73	44,52	1,353	**181,298**
15:00	1	91,068	7	44,73	44,52	1,348	**181,667**
16:00	1	87,427	7	44,73	44,52	1,397	**178,075**
17:00	1	83,989	7	44,73	44,52	1,449	**174,688**
18:00	2	161,475	7	44,73	44,52	1,502	**252,228**
19:00	1	79,177	6	38,34	38,16	1,312	**156,989**
20:00	1	77,958	5	31,95	31,80	1,109	**142,817**
21:00	1	76,470	5	31,95	31,80	1,130	**141,350**
22:00	1	74,451	5	31,95	31,80	1,160	**139,362**
23:00	1	72,231	5	31,95	31,80	1,196	**137,177**

Tabella 15. Potenza elettrica totale assorbita in una tipica giornata

Nella precedente tabella la potenza elettrica assorbita dalle unità CRAC è stata valutata come rapporto tra la potenza frigorifera totale fornita e l'efficienza del dispositivo stesso, presente nella tabella 10 sotto la voce EER.

A questo punto, valutata la potenza elettrica assorbita dall'impianto di climatizzazione non resta che effettuare il calcolo del PUE. Per far ciò, si ricorrerà ai calcoli espressi a pagina 20 sotto la guida di Green Grid, in cui il PUE viene espresso come il rapporto tra la potenza totale assorbita dall'intero data center e la potenza richiesta dal solo carico IT.

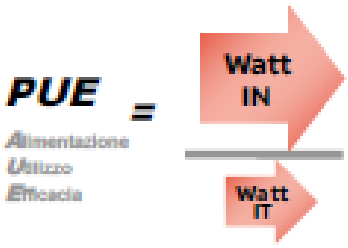


Figura 45. Calcolo PUE

A tal scopo, ciò che ancora risulta assente all'appello è la voce relativa ai seguenti componenti:

- UPS o alimentatori continui
- PDU, ovvero l'unità di distribuzione dell'alimentazione
- Illuminazione e cablaggi elettrici
- Generatori ausiliari

Al fine di calcolare questi valori, è stato preso come riferimento il White Paper di APC, *"n.113, Modelli di efficienza elettrica delle sale CED"*. *[22]* Poiché la valutazione di questi valori non è oggetto dello studio di questo elaborato, seguendo le indicazioni di American Power Conversion, sono stati considerati dei valori approssimativi di consumo in percentuale sul totale della potenza in alimentazione, composta dunque da carico IT e da impianto di climatizzazione.

Prendendo quindi dei valori fissi, per i vari componenti, è stata calcolata una media, sulle 8760 ore annuali, della potenza elettrica in ingresso.

	UPS [kW]	PDU [kW]	Illuminazione [kW]	Gen. Ausiliari [kW]
Valore percentuale	6%	3%	2%	1%
$\overline{(CaricoIT + Pel,tot)}$	510,553			
Totale	**30,633**	**15,317**	**10,211**	**5,106**

Tabella 16. Valutazione della potenza elettrica assorbita da sistemi di alimentazione ed ausiliari

Mantenendo i valori ricavati costanti ora per ora, è finalmente possibile effettuare il calcolo del PUE su base annuale, tramite la seguente formula.

$$PUE = \frac{\sum_{8760}(P_{el,tot} + CaricoIT + UPS + PDU + Illum. + Gen.\,Ausiliari)}{\sum_{8760} CaricoIT} = 1.74$$

4.2 Liquid Cooling Rack System – Conductive (cold plate)

Trattato il primo caso, adesso è possibile soffermarsi su una diversa tipologia di impianto, che ai giorni d'oggi riscuote sempre più successo. Differentemente dal chilled water system in cui l'ambiente IT viene raffrescato tramite le CRAC unit che fungono da gestori d'aria, in questa circostanza si cerca di potenziare lo scambio termico con i singoli server tramite un altro fluido, ovvero l'acqua.

Oltre alla tipologia di fluido, tramite il quale si riesce a sfruttare la maggiore capacità di trasferimento di calore, a cambiare è proprio la metodologia di scambio termico, passando da uno scambio convettivo ad uno di tipo conduttivo.

Ciò viene reso possibile grazie alla presenza della CDU, Cooling Distribution Unit, ovvero uno scambiatore liquido-liquido, che collega l'impianto tradizionale, nel caso in esame viene mantenuto lo stesso chiller usato per la situazione precedente, ad i singoli server.

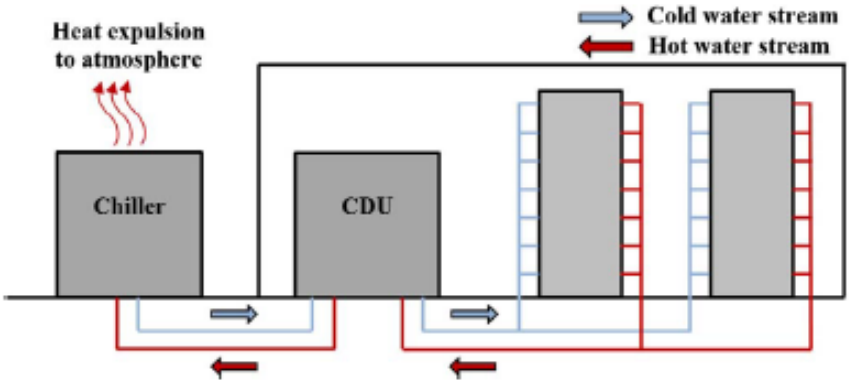


Figura 46. Schematizzazione e componenti principali del Liquid cooling rack system

La MCDU-75-6-60 presa in esame, appartiene alla casa produttrice "Motivair Corporation" ed è composta da uno scambiatore di calore a piastre che suddivide il circuito primario, lato chiller, da quello che alimenta i server. Questo circuito secondario viene controllato per mantenere delle condizioni igrometriche che consentano di evitare formazioni di condensa lungo le tubature di acqua, quindi avere delle temperature maggiori di quella di rugiada.

MCDU-75-6-60		
Altezza [mm]	1828,8	
Larghezza [mm]	787,4	
Profondità [mm]	990,6	
$Q_{CDU,nom}$ [kW]	272	
$P_{el,CDU}$ [kW]	5,5	
EER	49,45	
Circuito	Primario	Secondario
$portata_{H2O}$ [m3/h]	42	27,3
Δp [kPa]	53,09	22
Tu [°C]	7	15,43
Ti [°C]	12,57	24

Tabella 17. Dati nominali MCDU-75-6-60

Come osservabile dalla Tabella 17, la temperatura di ritorno alla CDU anche in questo caso viene supposta pari alla temperatura dell'ambiente IT risulta pari a 24°C. Al fine di mantenere una situazione analoga al caso precedente, si è deciso di riportate la temperatura della sala alla temperatura di 22°C. Ciò comporta una variazione della differenza di temperatura rispetto al circuito secondario, all'interno del quale la portata nominale viene mantenuta, e di conseguenza una riduzione della potenza frigorifera fornita dalla CDU stessa, che passa così da 272kW a circa 208 kW.

$$Q_{CDU} = \frac{\dot{m}_{2,H2O} \cdot \rho_{H2O} \cdot (T_{22°C} - T_{15,43°C})}{3600}$$

dove la densità dell'acqua è supposta pari a 1000 kg/m^3.

Adottando questo metodo impiantistico occorre ancora un dispositivo in grado di gestire l'aria all'interno della sala IT. Per far fronte a questa condizione, si è deciso di mantenere attiva l'unità CRAC valutata nel precedente caso, che verrà collocata perifericamente al centro della sala. La presenza della CRAC unit ha una duplice efficacia poiché, se da un lato consente di distribuire l'aria circolante all'interno dell'ambiente, offre l'opportunità di sopperire al carico termico richiesto quando la domanda in alimentazione ai server si trova nella condizione massima.

Nella figura 47 viene presentata un'immagine 3D della sala, identica alla precedente, dove vi sono le due unità di distribuzione, disposte il più vicino possibile alle file dei rack server, insieme alla CRAC unit che come già accennato verrà posizionata in una posizione centrale.

Determinazione numero CDU e potenza frigorifera totale					
Percentuale di carico IT	65%	70%	80%	90%	100%
Calore da rimuovere [kW]	309,236	330,836	374,036	417,236	460,436
Q_{CRAC} [kW]	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9
Carico in eccesso [kW]	240,336	261,936	305,136	348,336	391,536
Q_{CDU} [kW]	208,56				
Rapporto carico in eccesso su potenza frigorifera CDU	1,152	1,256	1,463	1,670	1,877
#CDU	**2**				
$Q_{F,TOT}$ [kW]	**486,014**				

Tabella 18. Determinazione numero CDU e potenza frigorifera totale

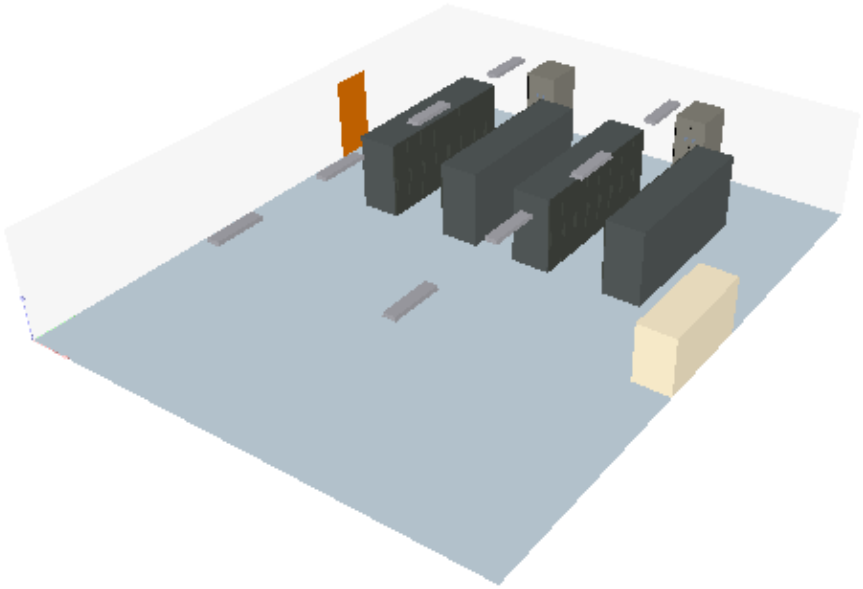


Figura 47. Disposizione delle unità CDU all'interno della sala IT

Se per quanto riguarda i calcoli relativi all'unità CRAC non occorre riportare nuovamente i vari procedimenti, in quanto sono identici al caso precedente, se non per l'utilizzo di una solo unità CRAC, al cui servizio lavorano solamente una pompa e le tre ventole, il discorso cambia per le procedure di calcolo relative alla CDU.

In quest'ottica conviene analizzare meglio i componenti interni alla CDU e capirne il funzionamento. Nella seguente figura, si può infatti osservare come all'interno dell'unità siano presenti sia lo scambiatore a piastre, che come già detto collega i due circuiti, sia la pompa a servizio del circuito lato server.

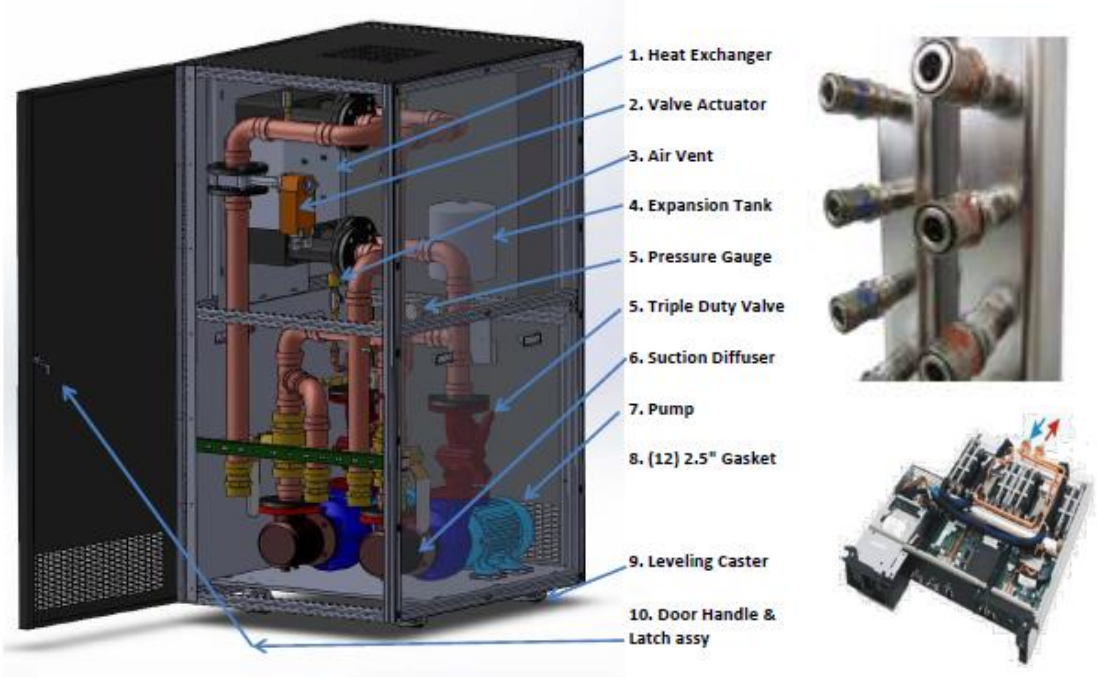


Figura 48. a) MCDU-75-6-60. b) Manifold system. c) Cold plate server

Quest'ultimo componente ha il compito di far fluire l'acqua ai 1344 server presenti nella sala CED. Le tubature d'acqua vengono posizionate sotto il pavimento fino alla parte posteriore del rack dove è presente il cosiddetto "Manifold system", un collettore, raffigurato nell'immagine in alto a destra, che si sviluppa in altezza ed al quale si agganciano i piccoli tubi che vanno all'interno del server dove è presente il cold plate, ovvero una piastra conduttiva.

Esaminati i diversi componenti, occorre effettuare un'analisi pressoché identica a quanto fatto nel caso precedente, quindi capire quali tra questi assorbono energia elettrica.

Nel calcolo della potenza elettrica richiesta in alimentazione devono essere considerati:

- Chiller
- Sistema di pompaggio della CRAC unit
- Ventole della CRAC unit
- CRAC unit
- Sistema di pompaggio del circuito primario
- CDU

Ciò che salta all'occhio è l'assenza del sistema di pompaggio del circuito secondario. Come è possibile osservare dall'ultima immagine, all'interno della CDU è presente una pompa, il cui compito è per l'appunto quello di far fluire l'acqua, per cui la potenza elettrica richiesta dalla CDU prevede già l'assorbimento da parte di questa pompa, che è dimensionata per supportare le perdite di carico dei vari collettori e tubature.

Per quanto riguarda il calcolo relativo al chiller, ciò che deve essere valutato è ancora una volta il numero di refrigeratori che devono essere impiegati. Dunque, variando la sola potenza frigorifera del refrigeratore che presenta valori diversi in base alla temperatura dell'ambiente esterno, sarà sufficiente confrontarla con la potenza frigorifera delle due unità CDU e della CRAC.

	T_a [°C]	T_i [°C]	T_u [°C]	P_F [kW]	EER	P_{el} [kW]	$Q_{F,TOT}$[kW]	**#chiller**	**$P_{el,chiller}$ [kW]**
00:00	6,7	12,042	7	446,526	6,758	66,073	486,014	**2**	**132,147**
01:00	6,9	12,055	7	447,682	6,726	66,559	486,014	**2**	**133,120**
02:00	7	12,062	7	448,260	6,71	66,804	486,014	**2**	**133,610**
03:00	7,1	12,068	7	448,838	6,694	67,050	486,014	**2**	**134,102**
04:00	7,1	12,068	7	448,838	6,694	67,050	486,014	**2**	**134,102**
05:00	7,3	12,081	7	449,994	6,662	67,546	486,014	**2**	**135,093**
06:00	8,6	12,167	7	457,508	6,454	70,887	486,014	**2**	**141,775**
07:00	8,8	12,180	7	458,664	6,422	71,420	486,014	**2**	**142,841**
08:00	9	12,194	7	459,820	6,39	71,959	486,014	**2**	**143,919**
09:00	9,2	12,207	7	460,976	6,358	72,503	486,014	**2**	**145,007**
10:00	11	12,326	7	471,38	6,07	77,657	486,014	**2**	**155,315**
11:00	12,8	12,444	7	481,784	5,782	83,324	486,014	**2**	**166,650**
12:00	14,6	12,563	7	492,188	5,494	89,586	486,014	**1**	**89,586**
13:00	14,7	12,570	7	492,766	5,478	89,953	486,014	**1**	**89,954**
14:00	14,9	12,583	7	493,922	5,446	90,694	486,014	**1**	**90,694**
15:00	15	12,59	7	494,5	5,43	91,068	486,014	**1**	**91,068**
16:00	14	12,524	7	488,72	5,59	87,427	486,014	**1**	**87,428**
17:00	13	12,458	7	482,94	5,75	83,989	486,014	**2**	**167,979**
18:00	12	12,392	7	477,16	5,91	80,737	486,014	**2**	**161,475**
19:00	11,5	12,359	7	474,27	5,99	79,176	486,014	**2**	**158,354**
20:00	11,1	12,332	7	471,958	6,054	77,958	486,014	**2**	**155,916**
21:00	10,6	12,299	7	469,068	6,134	76,470	486,014	**2**	**152,940**
22:00	9,9	12,253	7	465,022	6,246	74,451	486,014	**2**	**148,902**
23:00	9,1	12,200	7	460,398	6,374	72,230	486,014	**2**	**144,461**

Tabella 19. Determinazione numero di chiller e relativa potenza elettrica assorbita in una tipica giornata

Determinata la potenza elettrica assorbita dal chiller, si può adesso dimensionare il circuito relativo all'unità CRAC. Quindi come fatto per il chilled water system si valuteranno sistema di pompaggio, ventilazione e la stessa CRAC unit.

Se per gli ultimi due elementi si avranno valori costanti, considerando sempre che il condizionatore di precisione funzioni con valori nominali, per il sistema di pompaggio si adotteranno i calcoli visti in precedenza.

Basando i calcoli sulle ipotesi già trattate e trovato l'indice caratteristico di prevalenza, pari sempre a $k = 4{,}16 \cdot 10^6$, si calcoleranno nuovamente le varie portate con annesse perdite di carico.

	T_a [°C]	T_i [°C]	T_u [°C]	Q_{H2O} [l/s]	Δp [kPa]	$P_{id,pompa}$ [kW]	$P_{el,pompa}$ [kW]	$P_{el,fan}$ [kW]	$P_{el,CRAC}$ [kW]	**$P_{el,CRAC,TOT}$ [kW]**
00:00	6,7	12,042	7	3,262	44,25	0,144	0,262	6,36	6,39	**13,01**
01:00	6,9	12,055	7	3,254	44,019	0,143	0,260	6,36	6,39	**13,01**
02:00	7	12,062	7	3,250	43,904	0,143	0,259	6,36	6,39	**13,01**
03:00	7,1	12,068	7	3,245	43,79	0,142	0,258	6,36	6,39	**13,01**
04:00	7,1	12,068	7	3,245	43,79	0,142	0,258	6,36	6,39	**13,01**
05:00	7,3	12,081	7	3,237	43,563	0,141	0,256	6,36	6,39	**13,01**
06:00	8,6	12,167	7	3,183	42,128	0,134	0,244	6,36	6,39	**12,99**
07:00	8,8	12,180	7	3,175	41,914	0,133	0,242	6,36	6,39	**12,99**
08:00	9	12,194	7	3,167	41,701	0,132	0,240	6,36	6,39	**12,99**
09:00	9,2	12,207	7	3,159	41,49	0,131	0,238	6,36	6,39	**12,99**
10:00	11	12,326	7	3,089	39,66	0,122	0,223	6,36	6,39	**12,97**
11:00	12,8	12,444	7	3,021	37,948	0,115	0,208	6,36	6,39	**12,96**
12:00	14,6	12,563	7	2,957	36,345	0,107	0,195	6,36	6,39	**12,95**
13:00	14,7	12,570	7	2,953	36,259	0,107	0,195	6,36	6,39	**12,94**
14:00	14,9	12,583	7	2,946	36,087	0,106	0,193	6,36	6,39	**12,94**
15:00	15	12,59	7	2,943	36,002	0,106	0,193	6,36	6,39	**12,94**
16:00	14	12,524	7	2,978	36,868	0,110	0,200	6,36	6,39	**12,95**
17:00	13	12,458	7	3,014	37,765	0,114	0,207	6,36	6,39	**12,96**
18:00	12	12,392	7	3,051	38,695	0,118	0,215	6,36	6,39	**12,96**
19:00	11,5	12,359	7	3,070	39,173	0,120	0,219	6,36	6,39	**12,97**
20:00	11,1	12,332	7	3,085	39,562	0,122	0,222	6,36	6,39	**12,97**
21:00	10,6	12,299	7	3,104	40,056	0,124	0,226	6,36	6,39	**12,98**
22:00	9,9	12,253	7	3,131	40,764	0,128	0,232	6,36	6,39	**12,98**
23:00	9,1	12,200	7	3,163	41,595	0,132	0,239	6,36	6,39	**12,99**

Tabella 20. Valutazione potenza elettrica totale assorbita dall'unità CRAC in una tipica giornata

Infine, non resta che effettuare i calcoli relativi all'unità CDU, per la quale come ampiamente specificato occorrerà valutare il sistema di pompaggio del circuito primario collegato al chiller e considerare la richiesta in alimentazione della CDU stessa.

Risulta evidente come, utilizzando due unità di distribuzione dell'acqua, sarà necessario raddoppiare il valore risultante di potenza che il sistema di pompaggio deve fornire. Nella seguente tabella, le voci portata, perdita di carico e potenza ideale verranno considerate per la singola pompa, mentre il valore di potenza elettrica assorbita corrisponderà al dato finale e comprensivo dei due sistemi di pompaggio.

	T_a [°C]	T_i [°C]	T_u [°C]	$Q_{H2O,1°}$ [l/s]	$\Delta p_{1°}$ [kPa]	$P_{id,pompa,1°}$ [kW]	$P_{el,pompa,1°}$ [kW]	$P_{el,CDU}$ [kW]	**$P_{el,CDU,TOT}$ [kW]**
00:00	6,7	12,042	7	9,881	38,083	0,376	1,368	8,434	**9,80**
01:00	6,9	12,055	7	9,855	37,884	0,373	1,358	8,434	**9,79**
02:00	7	12,062	7	9,842	37,785	0,372	1,352	8,434	**9,79**
03:00	7,1	12,068	7	9,830	37,687	0,370	1,347	8,434	**9,78**
04:00	7,1	12,068	7	9,830	37,687	0,370	1,347	8,434	**9,78**
05:00	7,3	12,081	7	9,804	37,491	0,368	1,337	8,434	**9,77**
06:00	8,6	12,167	7	9,641	36,257	0,349	1,271	8,434	**9,71**
07:00	8,8	12,180	7	9,617	36,072	0,347	1,261	8,434	**9,70**
08:00	9	12,194	7	9,592	35,889	0,344	1,252	8,434	**9,69**
09:00	9,2	12,207	7	9,568	35,707	0,342	1,242	8,434	**9,68**
10:00	11	12,326	7	9,355	34,132	0,319	1,161	8,434	**9,60**
11:00	12,8	12,444	7	9,150	32,659	0,299	1,087	8,434	**9,52**
12:00	14,6	12,563	7	8,955	31,279	0,280	1,019	8,434	**9,45**
13:00	14,7	12,570	7	8,944	31,205	0,279	1,015	8,434	**9,45**
14:00	14,9	12,583	7	8,923	31,058	0,277	1,008	8,434	**9,44**
15:00	15	12,59	7	8,913	30,984	0,276	1,004	8,434	**9,44**
16:00	14	12,524	7	9,019	31,729	0,286	1,041	8,434	**9,47**
17:00	13	12,458	7	9,128	32,501	0,297	1,079	8,434	**9,51**
18:00	12	12,392	7	9,240	33,302	0,308	1,119	8,434	**9,55**
19:00	11,5	12,359	7	9,297	33,713	0,313	1,140	8,434	**9,57**
20:00	11,1	12,332	7	9,343	34,048	0,318	1,157	8,434	**9,59**
21:00	10,6	12,299	7	9,401	34,473	0,324	1,178	8,434	**9,61**
22:00	9,9	12,253	7	9,484	35,082	0,333	1,210	8,434	**9,64**
23:00	9,1	12,200	7	9,580	35,798	0,343	1,247	8,434	**9,68**

Tabella 21. Valutazione della potenza elettrica totale assorbita dalla CDU

Sotto la voce $P_{el,CDU}$ appare un valore relativo al totale della richiesta di entrambe le unità di distribuzione, ricavato tramite l'efficienza del dispositivo presente nella scheda tecnica ed il valore di potenza frigorifera precedentemente calcolato.

$$P_{el,CDU} = 2 \cdot \frac{Q_{CDU}}{EER_{CDU}} = 2 \cdot \frac{208{,}56\ kW_{th}}{49{,}455\ \frac{kW_{th}}{kW_{el}}} = 4{,}217\ [kW_{el}]$$

Adesso si hanno a disposizione le richieste in alimentazione dei diversi dispositivi lungo tutto l'arco dell'anno, per cui si può procedere alla valutazione del PUE annuale allo stesso modo di come fatto per il Chilled Water System.

Così facendo svolgendo le due equazioni, di seguito riportate, sarà possibile ottenere il valore desiderato.

$$P_{el,tot} = P_{el,chiller} + P_{el,CRAC,TOT} + P_{el,CDU,TOT}\ \ [kW]$$

$$PUE = \frac{\sum_{8760}(P_{el,tot} + CaricoIT + UPS + PDU + Illum. + Gen.\ Ausiliari)}{\sum_{8760} CaricoIT} = 1.64$$

Si può facilmente osservare come il PUE appena calcolato sia più basso rispetto al caso precedente di circa 0.1, che si traduce in un miglioramento, con le stesse condizioni, del 5,5%.

Occorre precisare però che sono stati mantenuti alcuni dati che hanno portato ad un sovradimensionamento importante sull'energia assorbita dai dispositivi ausiliari e dagli altri componenti presenti all'interno del CED, quali UPS e PDU. Questi componenti sono stati stimati in base a valori standard presenti in diversi paper, i quali rappresentano una quota parte rilevante nel calcolo del PUE. Gli effetti di questo sovradimensionamento si fanno sentire soprattutto in questo caso poiché, per l'appunto, stimati in base ai risultati ricavati nella prima tipologia di raffreddamento.

Si può quindi affermare con buona certezza che tramite calcoli più precisi, non effettuati poiché non oggetto di interesse di questo elaborato, e l'adozione di tecnologie avanzate, abbastanza diffuse e consigliate da ASHRAE, si sarebbe giunti ad un valore del PUE più basso di quello ritrovato.

Il dato più significante però riguarda il consumo annuo di energia elettrica che passa da 1574 MWh ad un valore di 1274 MWh, corrispondente ad un risparmio esatto di 300 MWh, ovvero circa il 19% in meno.

I risultati appena ottenuti dimostrano, come già anticipato nei precedenti capitoli, quanto il Power Usage Effectiveness debba essere solo un parametro indicativo e non assoluto, poiché non si riesce a quantificare i diversi consumi energetici.

4.3 Interventi di risparmio energetico

Dopo aver analizzato le due diverse tipologie di climatizzazione, si cercherà di trovare delle soluzioni di risparmio energetico, al fine di apportare in entrambi i casi, risparmi nei consumi energetici ed osservare conseguentemente, confrontandoli, come varia il PUE.

Tra i diversi metodi citati, si è scelto di valutare l'innalzamento della Temperatura ambiente della sala IT, accompagnato da un incremento delle condizioni di utenza del chiller, e l'utilizzo di un economizzatore.

4.3.1 Innalzamento della Temperatura interna del CED

L'obiettivo di questa analisi è quello di dimostrare come spingendosi ai limiti delle temperature raccomandate da ASHRAE sia possibile ottenere notevoli risparmi energetici.

Sebbene vi siano diverse strategie di miglioramento, le quali potrebbero anche comportare efficienze più elevate, nel seguente elaborato si è deciso di analizzare nello specifico il comportamento, non solo dei condizionatori di precisione e relativi rack serviti, ma anche del chiller stesso, il quale è bene ricordare ancora una volta lavora in funziona della temperatura esterna dell'ambiente.

Per cui volendo, come già detto, mantenere costante la temperatura interna della sala pari a 27°C, ovvero la massima temperatura raccomandata, non si è variato semplicemente il delta presente tra la temperatura di mandata e di ricezione delle unità CRAC o CDU, bensì è stato valutato anche un comportamento più efficiente del chiller.

Entrando nel dettaglio, occorre prima di tutto chiarire alcune ipotesi fondamentali. Quando si parla di innalzamento della temperatura della sala IT, la prima cosa che ci si aspetta è un aumento della portata, soprattutto nel

primo caso dove l'ambiente è esclusivamente servito da unità CRAC, e quindi un maggiore flusso d'aria richiesto dai server per asportare il calore prodotto. Di contro, nell'analisi condotta si è scelto di mantenere costante la portata, giustificando le attese tramite un aumento della temperatura di mandata dalle CRAC unit. Ciò vuol dire che, le uniche condizioni a subire delle variazioni sono le sole temperature poiché anche la potenza frigorifera resta invariata.

Se l'aumento delle temperature registrate sulle unità CRAC non comporta un miglioramento in termini di efficienza, poiché le potenze elettriche assorbite dall'insieme CRAC-ventole sono rimaste invariate, lo stesso non si può dire del refrigeratore.

Di fatti, per supportare queste modifiche, si è deciso di variare le condizioni di utenza del refrigeratore, il cui modello selezionato consente di lavorare sia a 7-12 °C, come visto in precedenza, sia a 11-16 °C.

AMBIENTE	SCAMBIATORE UTENZA Tu [°C] 11			
Ta [°C]	Ti [°C]	Tu [°C]	Pf [kW]	EER [kW/kW]
-5	15,87	11,0	429,2	8,8
0	16,17	11,0	456,0	8,2
5	16,47	11,0	482,8	7,5
10,0	16,77	11,0	509,6	6,8
15,0	17,1	11,0	536,4	6,1
20,0	17,4	11,0	563,2	5,4
25,0	17,4	11,0	566,8	4,8
30,0	17,2	11,0	547,2	4,2
35,0	16,7	11,0	504,2	3,6
40,0	16,4	11,0	474,9	3,2

Tabella 22. Condizioni del chiller per Temperatura di utenza di 11°C

Osservando la Tabella 22, il dato più significativo riguarda la potenza frigorifera che può essere fornita, con le stesse condizioni climatiche esterne.

Il dato si traduce in un miglior utilizzo del chiller, il quale è adesso in grado di fornire maggiore potenza in raffreddamento utilizzando una minore potenza elettrica, e quindi un aumento anche dell'EER.

A fine di rafforzare il concetto, può essere utile sintetizzare i risparmi ottenuti tramite un grafico che consenta di osservare come le potenze elettriche assorbite dall'intero sistema varino lungo l'intero anno.

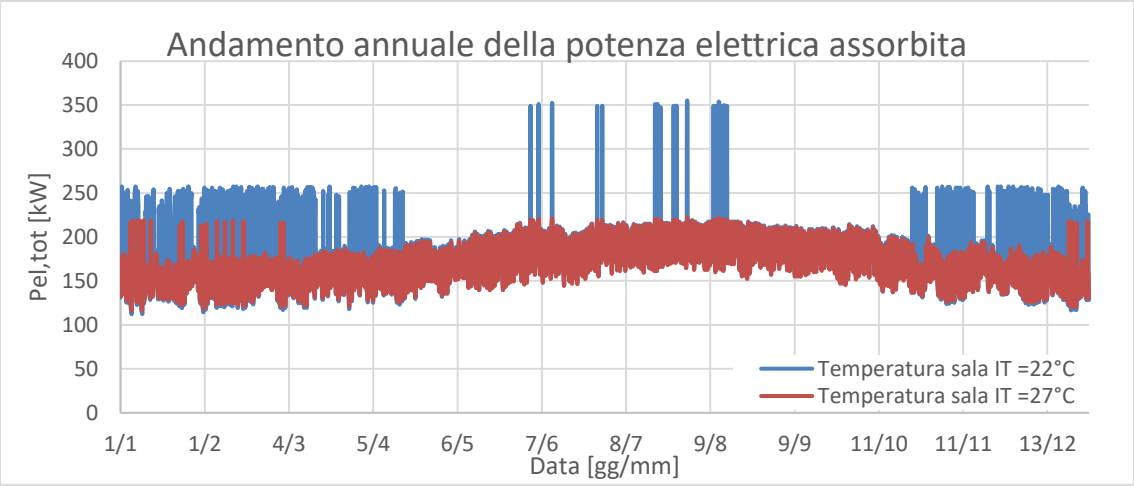


Figura 49. Confronto potenza elettrica totale assorbita durante l'anno, nel caso CWS, per temperatura della sala IT di 22 e 27 °C

Dal grafico si evince come si registrino evidenti risparmi durante i periodi più freddi dell'anno. Infatti, le potenze elettriche assorbite nei mesi che vanno da fine ottobre alla metà di aprile, a seguito dell'innalzamento delle temperature, sono all'incirca un terzo rispetto al caso precedente. Ciò è dovuto al fatto che avendo a disposizione potenze frigorifere superiori, non sia necessario avvalersi dell'utilizzo del secondo chiller. In quest'ottica non si registrano più i picchi presenti a causa delle condizioni climatiche sfavorevoli verificatesi durante il periodo estivo.

Confronto Chilled Water System		
	$P_{el,tot}$ [MWh]	PUE
T_{salaIT} 22°C	1574,34	1,737
T_{salaIT} 27°C	1486,82	1,710
Differenza	**87,52**	**0,03**
Energy saving %	**5,56%**	**1,52%**

Tabella 23. Confronto dei risultati CWS per temperatura della sala IT di 22 e 27 °C

Per quanto riguarda invece la seconda tipologia di climatizzazione trattata, ovvero il Liquid Cooling System, non vi sono particolari condizioni di base nell'innalzamento delle temperature. Se l'unica unità CRAC presente segue le stesse ipotesi appena discusse, per le CDU risulta più semplice variare le temperature dell'acqua refrigerata circolante all'interno dei tubi.

Quindi, mantenendo anche in questo caso le potenze frigorifere delle CDU, innalzando le temperature di mandata e ritorno del circuito secondario con annessa portata circolante costante, si nota solo una variazione della portata

sul circuito primario che si dimezza a causa, per l'appunto, della maggior efficienza del refrigeratore.

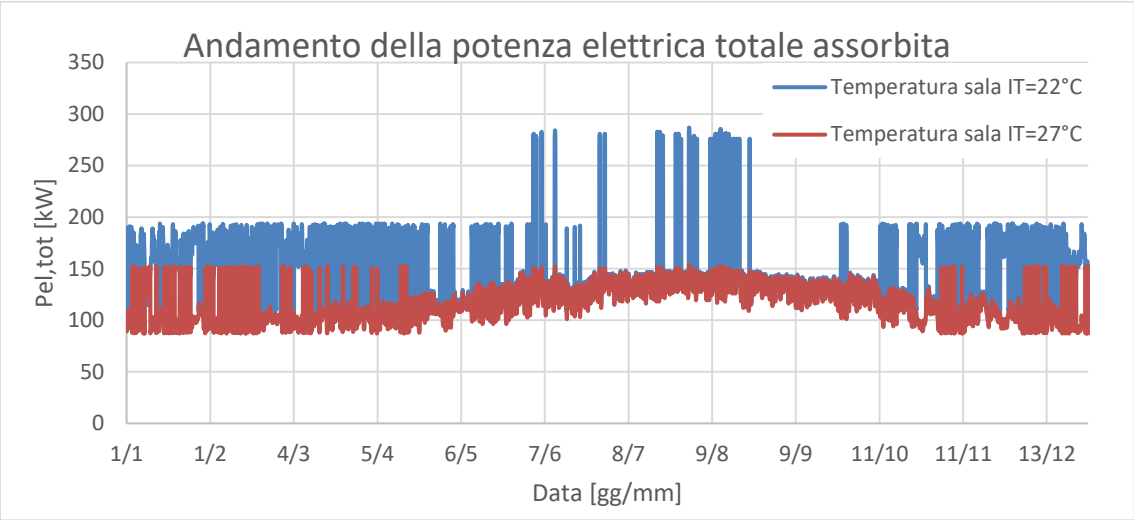


Figura 50. Confronto potenza elettrica totale assorbita durante l'anno, nel caso LCS, per temperatura della sala IT di 22 e 27 °C

Sulla stessa scia del Chilled Water System, anche in questo caso si verifica una situazione simile. Le differenze tra le potenze elettriche assorbite però vengono ancora più accentuate lungo tutto l'arco dell'anno. Ciò che si può notare è che si allunga il periodo in cui viene richiesto che i due chiller entrino in funzione contemporaneamente, come si può notare anche nei mesi di maggio, giugno e settembre. Di contro, le differenze tra le temperature della sala IT sono ancora più marcate e ciò è nettamente visibile nella tabella che segue, dove l'improvement fornisce un risparmio netto che sfiora i 250 MWh accompagnato da un buon miglioramento del PUE, che per la prima volta scende sotto la soglia del 1,6.

Risulta dunque evidente come in questo caso si ottengano dei risparmi sostanziosi, in particolare per la potenza elettrica richiesta dalle apparecchiature che si riduce di quasi il 20%.

Confronto Liquid Cooling System		
	$P_{el,tot}$ [MWh]	PUE
T_{salaIT} 22°C	1274,36	1,643
T_{salaIT} 27°C	1027,97	1,555
Differenza	**246,39**	**0,09**
Energy saving %	**19,33%**	**5,37%**

Tabella 24. Confronto dei risultati LCS per temperatura della sala IT di 22 e 27 °C

4.3.2 Economizzatore

Dopo aver effettuato una ricerca di risparmio energetico giocando sulla temperatura interna della sala CED, in questo caso occorre andare a valutare una soluzione che si adatti al funzionamento del chiller.

Come ampiamente discusso nella prima parte dell'elaborato, ai giorni d'oggi durante la fase di progettazione viene sempre richiesta una predisposizione all'utilizzo del Free Cooling. Proprio per questo motivo la scelta del chiller, sopra descritta, è stata incanalata in questa direzione.

Di fatti il chiller selezionato ha la capacità, sfruttando un numero ridotto di valvole, di raffreddare il circuito primario utilizzando aria esterna a temperature molto basse. In questa modalità, quindi, il liquido viene raffreddato dall'aria esterna, abbassando così il carico dei compressori.

Figura 51. Chiller TRCS-FC-Z/CA 0452

Il refrigeratore, qui riportato sarà dunque del tipo "Free Cooling ad acqua con bypass del compressore del chiller" come descritto nel capitolo 3.4.2, il quale quindi potrà utilizzare solo un economizzazione totale.

Quanto detto sta a significare che quando la temperatura dell'ambiente esterno sarà inferiore ad un determinato valore, i compressori smetteranno di funzionare, dando così spazio allo scambiatore ad aria presente all'interno del packaged chiller.

Descritto, il suo funzionamento si può procedere alla valutazione delle caratteristiche del refrigeratore stesso durante questa funzione, presentate nella seguente tabella.

AMBIENTE	SCAMBIATORE UTENZA Tu [°C] 7			
Ta [°C]	Ti [°C]	Tu [°C]	Pf [kW]	EER [kW/kW]
-5	11,27	7,0	378,9	40,4
-0,5	**11,567**	**7,0**	**404,9**	**39,7**
0	11,6	7,0	407,8	7,8
5	11,93	7,0	436,7	7,0
10,0	12,3	7,0	465,6	6,2
15,0	12,6	7,0	494,5	5,4
20,0	12,7	7,0	506,6	4,8
25,0	12,7	7,0	501,9	4,2
30,0	12,4	7,0	480,5	3,7
35,0	12,0	7,0	442,3	3,2
40,0	11,7	7,0	417,6	2,8

Tabella 25. Dati nominali del chiller in modalità Free Cooling

Osservando rapidamente la Tabella 12, e confrontandola con quest'ultima, si nota come compaia il dato relativo alla Temperatura esterna di -0,5°C che corrisponde alla temperatura al di sotto della quale si attiva il funzionamento a raffreddamento libero. In particolare, ciò che salta all'occhio è l'elevato valore di EER a parità di potenza frigorifera fornita, come si vede nel caso di temperatura esterna pari a -5°C, che è ovviamente dovuto all'assenza del lavoro da parte dei compressori.

A questo punto risulta immediato svolgere i calcoli, poiché identici ai precedenti, con la differenza che come già ribadito bisognerà considerare una potenza elettrica inferiore laddove la temperatura sia minore di quelle di Free Cooling.

Per quanto riguarda i condizionatori di precisione, invece, non si nota alcun cambiamento rispetto ai valori registrati in precedenza, in quanto l'utilizzo dello scambiatore riesce ugualmente a fornire la stessa potenza frigorifera garantita dai compressori. Per lo stesso motivo non vi verificano neanche variazioni sul numero di chiller.

Al fine di chiarire il concetto viene presentata una tabella all'interno della quale si verifica lo sfruttamento del Free Cooling in una tipica giornata.

	T_a [°C]	T_i [°C]	T_u [°C]	P_F [kW]	EER	P_{el} [kW]	EER_{FC}	$P_{el,FC}$ [kW]
00:00	**-1,6**	11,4944	7	398,552	8,1532	49,289	39,871	9,996
01:00	**-2,2**	11,4548	7	395,084	8,2744	48,287	39,967	9,885
02:00	**-2,8**	11,4152	7	391,616	8,3956	47,308	40,063	9,775
03:00	**-3,4**	11,3756	7	388,148	8,5168	46,351	40,159	9,665
04:00	**-3,3**	11,3822	7	388,726	8,4966	46,509	40,143	9,683
05:00	**-3,1**	11,3954	7	389,882	8,4562	46,827	40,111	9,720
06:00	**-3**	11,402	7	390,46	8,436	46,987	40,095	9,738
07:00	**-2,5**	11,435	7	393,35	8,335	47,795	40,015	9,830
08:00	**-2**	11,468	7	396,24	8,234	48,618	39,935	9,922
09:00	1	11,666	7	413,58	7,67	53,922	7,67	53,922
10:00	1	11,666	7	413,58	7,67	53,922	7,67	53,922
11:00	4,7	11,9102	7	434,966	7,078	61,453	7,078	61,453
12:00	8,4	12,1544	7	456,352	6,486	70,359	6,486	70,359
13:00	9,2	12,2072	7	460,976	6,358	72,503	6,358	72,503
14:00	10	12,26	7	465,6	6,23	74,735	6,23	74,735
15:00	9,6	12,2336	7	463,288	6,294	73,608	6,294	73,608
16:00	9,1	12,2006	7	460,398	6,374	72,230	6,374	72,230
17:00	8,5	12,161	7	456,93	6,47	70,623	6,47	70,623
18:00	8	12,128	7	454,04	6,55	69,319	6,55	69,319
19:00	7	12,062	7	448,26	6,71	66,805	6,71	66,805
20:00	7,7	12,1082	7	452,306	6,598	68,552	6,598	68,552
21:00	8,4	12,1544	7	456,352	6,486	70,359	6,486	70,359
22:00	8,6	12,1676	7	457,508	6,454	70,887	6,454	70,887
23:00	8,8	12,1808	7	458,664	6,422	71,421	6,422	71,421

Tabella 26. Confronto tra funzionamento chiller e modalità Free Cooling in una tipica giornata dell'anno

È possibile dunque osservare come in una tipica giornata fredda, tramite il funzionamento in modalità Free Cooling, siano stati risparmiati circa 355 kWh.

	CWS		LCS	
	$P_{el,tot}$ [MWh]	PUE	P [MWh]	PUE
Tradizionale	1574,342	1,7366	1274,362	1,6433
Free Cooling	1572,637	1,7359	1271,801	1,6423
Differenza	**1,705**	**0,0007**	**2,561**	**0,0010**
Energy saving %	**0,11%**	**0,04%**	**0,20%**	**0,06%**

Tabella 27. Confronto risultati Free Cooling per le due diverse tipologie di climatizzazione

Dalla Tabella 27, si può osservare come l'adozione del Free Cooling non abbia apportato notevoli vantaggi, in controtendenza sia con quanto ci si

aspettava, sia in confronto a quanto esaminato nel primo intervento di risparmio energetico effettuato.

Tuttavia, c'è da dire però che il risultato ottenuto non è del tutto inaspettato. Un primo avvertimento, in realtà, era già stato fornito nei capitoli precedenti, tramite gli elaborati di Green Grid e della stessa APC, nei quali viene dichiarato che non sempre i vantaggi procurati dall'utilizzo del Free Cooling risultano netti.

Nell'analisi del Free Cooling, bisogna sempre considerare diversi aspetti, ad esempio la possibilità di poter far funzionare il compressore del chiller a carico parziale sfruttando l'aria esterna, operazione che il refrigeratore selezionato non consente di effettuare, o l'utilizzo di un raffreddamento evaporativo che consentirebbe di sfruttare la temperatura di bulbo umido.

4.3.3 Free Cooling con innalzamento della Temperatura interna

Nel voler ottenere dei risparmi netti ed ancora più vantaggiosi, ciò che può ancora essere analizzato è la combinazione delle due implementazioni appena discusse.

Per far ciò, l'unica modifica da compiere rispetto a quanto fatto precedentemente nei due casi riguarda la Temperatura di Free Cooling. Infatti, considerando che la modalità di raffreddamento dipende dalle temperature di funzionamento del chiller, risulta banale giungere alla temperatura ricercata.

Poiché nel caso di innalzamento della temperatura interna del CED si è passati da condizioni termiche di utenza al chiller di 7-12°C circa a 11-16°C, consentite dal refrigeratore stesso, si può con facilità rintracciare la nuova temperatura di Free Cooling, che per lo stesso salto termico, diventa pari a 3,5°C.

Determinata, quindi, la nuova condizione per cui si attiva la modalità di raffreddamento libero, riseguendo le stesse operazioni di calcolo applicate ad ognuno dei due casi e combinandole tra loro si può infine ottenere la potenza elettrica totale assorbita dal sistema nonché il PUE annuale medio.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche del refrigeratore ed un confronto delle potenze elettriche assorbite dallo stesso rispetto al caso precedente.

AMBIENTE	SCAMBIATORE UTENZA Tu [°C] 11			
Ta [°C]	Ti [°C]	Tu [°C]	Pf [kW]	EER [kW/kW]
-5,0	15,87	11,0	429,2	45,2
-0,5	16,14	11,0	453,3	44,4
0	16,17	11,0	456,0	44,4
3,5	**16,38**	**11,0**	**474,8**	**43,8**
5,0	16,47	11,0	482,8	7,5
10,0	16,77	11,0	509,6	6,8
15,0	17,1	11,0	536,4	6,1
20,0	17,4	11,0	563,2	5,4
25,0	17,4	11,0	566,8	4,8
30,0	17,2	11,0	547,2	4,2
35,0	16,7	11,0	504,2	3,6

Tabella 28. Valori caratteristiche chiller in Free Cooling per utenza 11-16°C

	T_a [°C]	T_u [°C]	P_F [kW]	EER_{FC}	$P_{el,FC}$[kW]	T_u[°C]	P_F [kW]	EER_{FC}	$P_{el,FC}$ [kW]
00:00	**-1,6**	7	398,55	39,871	9,996	11	447,424	44,617	10,028
01:00	**-2,2**	7	395,08	39,967	9,885	11	444,208	44,713	9,934
02:00	**-2,8**	7	391,61	40,063	9,775	11	440,992	44,809	9,841
03:00	**-3,4**	7	388,14	40,159	9,665	11	437,776	44,905	9,748
04:00	**-3,3**	7	388,72	40,143	9,683	11	438,312	44,889	9,764
05:00	**-3,1**	7	389,88	40,111	9,720	11	439,384	44,857	9,795
06:00	**-3**	7	390,46	40,095	9,738	11	439,920	44,841	9,810
07:00	**-2,5**	7	393,35	40,015	9,830	11	442,600	44,761	9,888
08:00	**-2**	7	396,24	39,935	9,922	11	445,280	44,681	9,965
09:00	**1**	7	413,58	7,67	53,922	11	461,360	44,201	10,437
10:00	**1**	7	413,58	7,67	53,922	11	461,360	44,201	10,437
11:00	4,7	7	434,96	7,078	61,453	11	481,192	7,501	64,150
12:00	8,4	7	456,35	6,486	70,359	11	501,024	7,017	71,395
13:00	9,2	7	460,97	6,358	72,503	11	505,312	6,908	73,140
14:00	10	7	465,6	6,23	74,735	11	509,6	6,8	74,941
15:00	9,6	7	463,28	6,294	73,608	11	507,456	6,854	74,033
16:00	9,1	7	460,39	6,374	72,230	11	504,776	6,922	72,919
17:00	8,5	7	456,93	6,47	70,623	11	501,56	7,004	71,610
18:00	8	7	454,04	6,55	69,319	11	498,88	7,072	70,543
19:00	7	7	448,26	6,71	66,805	11	493,52	7,208	68,468
20:00	7,7	7	452,30	6,598	68,552	11	497,272	7,112	69,912
21:00	8,4	7	456,35	6,486	70,359	11	501,024	7,017	71,395
22:00	8,6	7	457,50	6,454	70,887	11	502,096	6,990	71,826
23:00	8,8	7	458,66	6,422	71,421	11	503,168	6,963	72,261

Tabella 29. Confronto modalità Free Cooling per diverse temperature di utenza al chiller

Se da un lato come già descritto, l'utilizzo di utenze al chiller più elevate, consente un risparmio di energia elettrica assorbita dall'intero sistema, sia in termini di prestazioni del refrigeratore stesso e di conseguenza potenze frigorifere più elevate, dall'altro si registra un incremento delle ore di funzionamento in modalità Free Cooling. Per avere un'idea più precisa della potenzialità del raffreddamento libero in seguito a condizioni in utenza del chiller più favorevoli, basti pensare che si passa da un tempo di funzionamento di 33 ad uno di 277 ore annue.

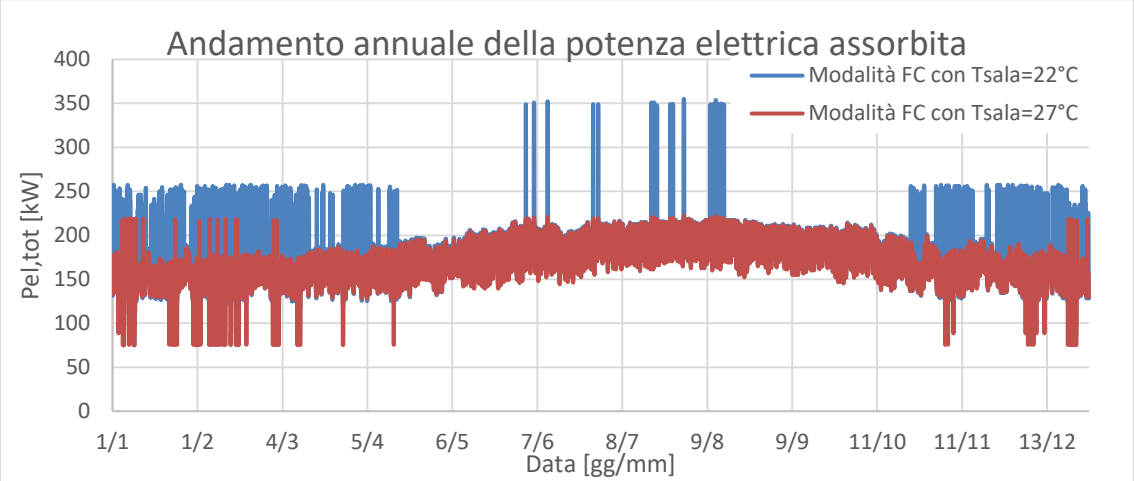


Figura 52. Confronto potenza elettrica assorbita durante l'anno tra le modalità Free Cooling con temperatura della sala IT rispettivamente di 22 e 27°C

Dal grafico è possibile notare come il migliore dimensionamento del chiller permetta di risparmiare una maggiore quantità di potenza elettrica totale assorbita. Ciò si nota in particolare durante i periodi più freddi dell'anno, differentemente dal periodo estivo dove, eccetto i picchi presenti in queste stagioni e dovuti soprattutto all'innalzamento della temperatura interna della sala, si registrano degli andamenti di potenza simili.

Detto questo, poiché gli andamenti di potenza osservati tra il sistema Chilled Water System e Liquid Cooling System sono simili, si può infine presentare la situazione di risparmio ottenuta per entrambe le tipologie, attraverso gli interventi di risparmio attuati.

Confronto Chilled Water System				
	$P_{el,tot}$ [MWh]	Energy saving %	PUE	Energy saving %
T_{salaIT} =22°C	1574,34	-	1,7366	-
FC T_{salaIT} =22°C	1572,637	0,11%	1,7359	0,04%
T_{salaIT} =27°C	1486,82	5,56%	1,710	1,52%
FC T_{salaIT} =27°C	1466,055	6,88%	1,7020	1,99%

Tabella 30. Confronto della potenza elettrica assorbita e del PUE per Chilled Water System

Confronto Liquid Cooling System				
	$P_{el,tot}$ [MWh]	Energy saving %	PUE	Energy saving %
T_{salaIT} =22°C	1274,36	-	1,6433	-
FC T_{salaIT} =22°C	1271,801	0,20%	1,6423	0,06%
T_{salaIT} =27°C	1027,97	19,33%	1,555	5,37%
FC T_{salaIT} =27°C	993,335	22,05%	1,5412	6,21%

Tabella 31. Confronto della potenza elettrica assorbita e del PUE per Liquid Cooling System

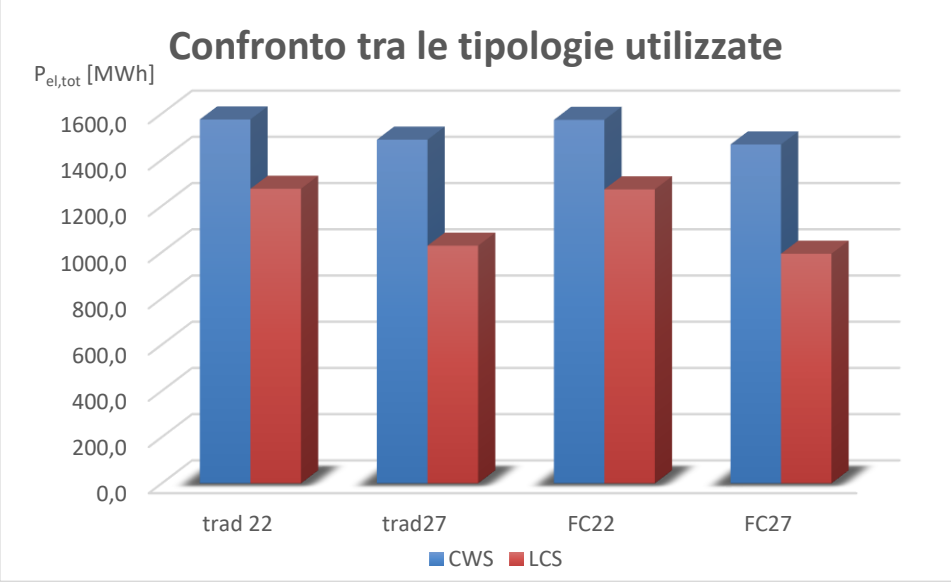


Figura 53. Confronto tra le potenze totali assorbite dalle tipologie di climatizzazione utilizzate

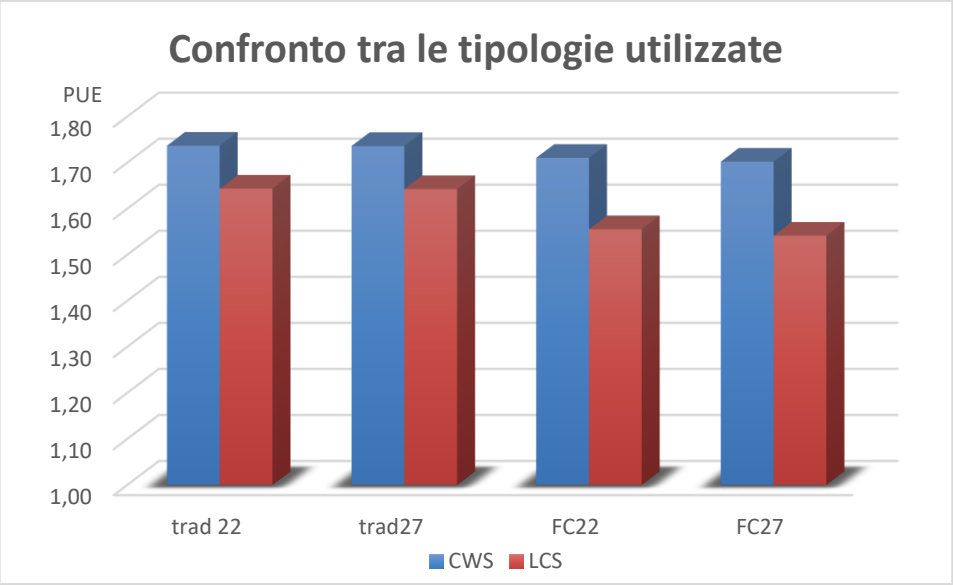


Figura 54.Confronto tra i PUE delle tipologie di climatizzazione utilizzate

Osservando le tabelle ed i bar charts è possibile notare come, in termini di Power Usage Effectiveness, risulti maggiore l'impatto dovuto all'utilizzo del Free Cooling rispetto all'innalzamento della temperatura interna della sala IT.

Di contro, quanto appena detto viene smentito qualora vengano analizzate le potenze elettriche assorbite nei due diversi metodi, dove avviene esattamente il contrario.

Ancora una volta, viene dimostrato quanto il PUE non possa essere considerato come parametro unico ed assoluto di misura e di confronto di Centri di elaborazione dati con diversi sistemi di raffreddamento.

Tuttavia, tramite il PUE si riescono ad ottenere previsioni di consumo indicativamente buone. Di fatti, se si osservano rispettivamente, i valori dei consumi del Chilled Water System senza implementazioni e di quelli del Liquid Cooling System provvisto di entrambi gli interventi migliorativi, si nota una differenza sostanziale dell'energia elettrica assorbita durante l'intero anno che si riduce addirittura di 580 MWh, con un 35% di risparmio abbondante.

4.4 Valutazione posizione geografica

Le analisi finora svolte hanno messo in luce come abbia maggior peso la tipologia di climatizzazione utilizzata piuttosto che gli interventi migliorativi applicati ai CED stessi.

Per avere un'idea più chiara delle loro reali potenzialità però occorre ancora valutarne la collocazione geografica. Come già accennato nei capitoli precedenti, e soprattutto notato durante lo svolgimento dei calcoli, il clima esterno assume un ruolo fondamentale, poiché condizione di base delle prestazioni del chiller.

Al fine di studiare nuovamente gli effetti di questi interventi di risparmio energetico oltre che mettere in luce la convenienza nel collocare il centro di elaborazione dati in un clima più favorevole, si è deciso di installare gli stessi componenti in un CED di Londra, dove il locale mantiene le stesse dimensioni e caratteristiche.

Eseguendo le stesse operazioni svolte in precedenza si ottengono dunque i profili di carico di potenza elettrica assorbita lungo l'anno, mostrati nella seguente figura.

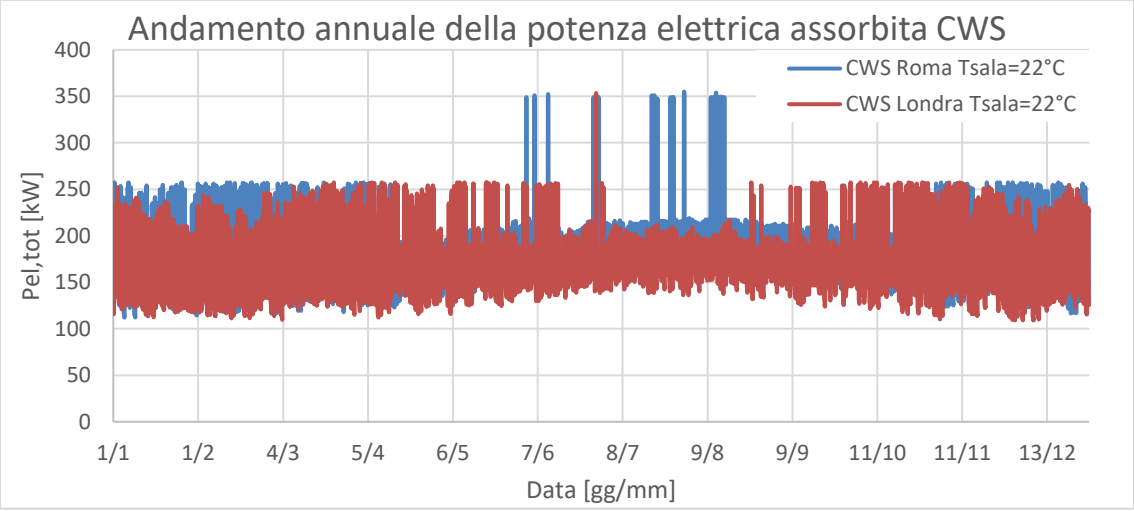


Figura 55. Andamento potenza elettrica totale assorbita durante l'anno con CWS e Temperatura sala IT di 22°C

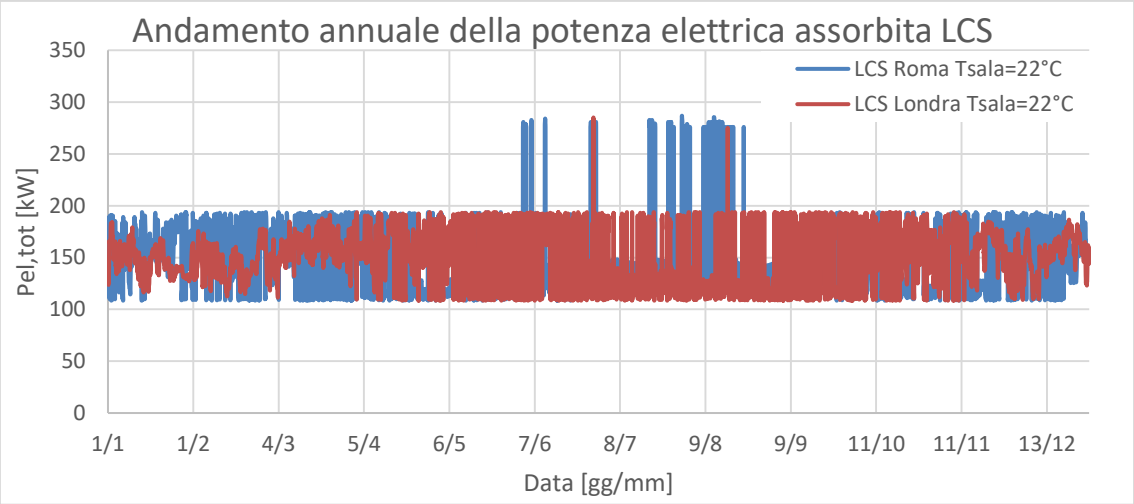


Figura 56.Andamento potenza elettrica totale assorbita durante l'anno con LCS e Temperatura sala IT di 22°C

Gli andamenti di potenza elettrica durante l'anno mostrano comportamenti molto diversi tra loro, sia in base al luogo che alla tipologia di climatizzazione utilizzata.

Nel primo grafico infatti, seppur l'andamento sia pressappoco lo stesso si nota come il clima più mite londinese riduca i picchi giornalieri durante il periodo invernale ma in controtendenza aumenti in ampiezza la stagione fredda, eliminando tuttavia la maggior parte delle anomalie estive.

Il secondo grafico, inerente al Liquid Cooling System, presenta un andamento totalmente diverso. Se nel periodo invernale i picchi giornalieri quasi scompaiono, in quello estivo risultano anche eccessivi. Infatti, volendo andare a presentare il valore di energia elettrica annuale consumato si evidenzia un risultato inaspettato.

	CWS		LCS	
	$P_{el,tot}$ [MWh]	PUE	$P_{el,tot}$ [MWh]	PUE
Roma	1574,342	1,737	1274,362	1,643
Londra	1520,788	1,711	1302,258	1,655
Differenza	**53,553**	**0,0256**	**-27,896**	**-0,0119**
Energy saving %	**3,40%**	**1,47%**	**-2,19%**	**-0,72%**

Tabella 32. Confronto Roma-Londra dell'energia elettrica totale assorbita e del PUE

Il Chilled Water System presenta ottimi risultati, in tendenza con quanto aspettato, al contrario del Liquid Cooling System dove un cattivo utilizzo del

sistema chiller-CDU ha fatto sì che i miglioramenti tra le due tipologie di climatizzazione non mantenessero lo stesso trend registrato a Roma.

Attuando i diversi interventi migliorativi trattati in questo elaborato, la situazione, soprattutto per quanto riguarda il Liquid Cooling System varia.

Confronto Chilled Water System				
	$P_{el,tot}$ [MWh]	Energy saving %	PUE	Energy saving %
T_{salaIT} =22°C	1520,79	-	1,71	-
FC T_{salaIT} =22°C	1504,228	1,1%	1,704	0,41%
T_{salaIT} =27°C	1387,65	8,8%	1,67	2,16%
FC T_{salaIT} =27°C	1300,863	14,5%	1,643	3,99%

Tabella 33. Confronto della potenza elettrica assorbita e del PUE per Chilled Water System Londra

Confronto Liquid Cooling System				
	$P_{el,tot}$ [MWh]	Energy saving %	PUE	Energy saving %
T_{salaIT} =22°C	1302,26	-	1,6552	-
FC T_{salaIT} =22°C	1277,190	1,92%	1,6453	0,60%
T_{salaIT} =27°C	979,08	24,82%	1,539	7,01%
FC T_{salaIT} =27°C	853,968	34,42%	1,4919	9,87%

Tabella 34. Confronto della potenza elettrica assorbita e del PUE per Liquid Cooling System Londra

Le tabelle mettono in evidenza come gli interventi di risparmio energetico offrano dei miglioramenti maggiori rispetto al caso studio di Roma. Il dato sorprendente riguarda per l'appunto il Liquid Cooling System funzionante con modalità Free Cooling e temperatura della sala CED di 27°C, il quale è stato in grado di ottenere un risparmio di energia elettrica del 34% ed un valore di PUE che è finalmente sceso al di sotto del 1,50, con un progresso del 10%.

Volendo sottolineare ancora di più i risultati ottenuti a Londra è possibile paragonare, come fatto per il CED sito a Roma, il caso peggiore, ovvero il Chilled Water System con funzionamento tradizionale, con il Liquid Cooling System funzionante con modalità Free Cooling e massima temperatura raccomandata. Si ottiene quindi un risparmio di più di 650 MWh di energia elettrica e di quasi 0,22 di PUE, con riduzioni finali, rispettivamente, del 45% e del 13%.

5. Conclusioni

Lo scopo dello studio effettuato era quello di mettere in luce le reali problematiche riguardanti un centro di elaborazione dati.

In ordine, si può notare come si sia partiti dalla mancanza di una chiara procedura, in grado di accompagnare il produttore, o proprietario, di data center nella fase progettazione e costruzione della sala tecnologica, per poi analizzare un caso studio, in cui il CED di medie dimensioni e densità di potenza, potesse evidenziare le differenze presenti tra due tipologie di climatizzazione.

Nel dettaglio, la prima parte dell'elaborato offre l'opportunità di focalizzare i passaggi necessari da seguire prima di procedere con l'installazione dei rack server e del relativo sistema di climatizzazione. Sebbene si sia deciso di utilizzare come guide-line i vari elaborati di APC, risulta evidente come sia stato necessario comporre una sorta di collage delle diverse pubblicazioni. Ciò dà modo di capire come se da un lato non vi sia troppa difficoltà nel rintracciare, e soprattutto affidarsi, agli enti specializzati nel settore, dall'altro si rischia di commettere errori in progettazione per via di incoerenze presenti tra i diversi istituti. Dunque, il rischio è quello di fraintendere o seguire in modo errato la specifica indicazione, in assenza di una procedura ufficiale, e incombere in una progettazione errata accompagnata da una cattiva gestione delle risorse e dei consumi energetici.

Di contro, facendo attenzione alle varie definizioni, è possibile creare in linea di massima una guida basata su ASHRAE per quanto riguarda le caratteristiche che deve mantenere l'ambiente informatico sul quale poi si fondano le fasi salienti di progettazione espresse da APC e i relativi parametri di controllo ideati da Green Grid.

In particolare, si è visto come una volta determinate le caratteristiche ambientali e di potenza di carico della sala CED sia possibile seguendo i paper di APC progettare l'intera architettura di raffreddamento. Ciò ha permesso di trattare, seguendo un ordine ben preciso, tre fasi distinte necessarie per portare a termine l'installazione del sistema di climatizzazione. In ognuna delle fasi si possono riscontrare sia procedure standard riguardanti la maggior parte dei data center in commercio che interventi innovativi e di avanguardia con consigli relativi a soluzioni di abbattimento dei consumi energetici.

Nella seconda parte dell'elaborato, dopo aver delineato una guida generale, è stato analizzato un caso studio con l'obiettivo di confrontare una situazione comunemente diffusa, come il Chilled Water System, e mettere in evidenza i vantaggi raggiungibili utilizzando sistemi d'avanguardia, che stanno sempre più prendendo piede soprattutto nei grandi centri di elaborazione dati dove i consumi energetici risultano maggiori.

Paragonando i due sistemi di climatizzazione si evince come si è in grado di ottenere una notevole differenza di energia elettrica assorbita nonostante il refrigeratore impiegato fosse lo stesso.

Tuttavia, considerando le varie ipotesi semplificative e i diversi sovradimensionamenti effettuati, si è notato che anche nei casi peggiori si ottengono buoni risultati. Questo concetto può essere rappresentato dal valore di Power Usage Effectiveness ottenuto, il quale può essere confrontato con i valori di riferimento enunciati da Green Grid e rappresentati in tabella 35.

		Range di valutazione del PUE			
		Cattivo	**Standard**	**Buono**	**Ottimo**
Metodo	PUE	PUE>2,2	2,2<PUE<1,8	1,8<PUE<1,5	PUE<1,5
Chilled Water System	1,71	-	-	✓	-
Liquid Cooling System	1,6552	-	-	✓	-

Tabella 35. Range di valutazione del PUE

Osservando la tabella, è dunque possibile stabilire come i due sistemi applicati nel caso studio abbiano ricondotto a buoni valori di utilizzo dell'energia, soprattutto in riferimento al valore medio presente in circolazione che come annunciato nel capitolo 3.1.2 è di circa 1,8. Sicuramente qualora fosse stato analizzato un sistema di climatizzazione del tipo Air Cooled System, il valore di PUE ottenuto sarebbe stato superiore a quello medio, appena citato ricadendo nel range di PUE Standard.

Nonostante i risultati ottenuti fossero comunque soddisfacenti, si è poi deciso di apportare delle migliorie, sempre affini alle raccomandazioni degli istituti citati precedentemente. Gli interventi previsti non hanno riguardato una strategia di gestione del flusso d'aria o di disposizione di contenimenti fisici, quanto di implementazioni sull'unità di raffreddamento, ovvero del chiller.

Si è cercato di capire quali potessero essere i vantaggi di spingersi ai limiti di temperatura raccomandati e di valutare i benefici di un minore, e al contempo

migliore, utilizzo del refrigeratore stesso. In quest'ottica, si è visto quanto l'utilizzo della modalità Free Cooling se non viene accompagnata da un'oculata gestione del chiller non dia apporti significativi. A tal proposito, osservando attentamente i risultati ottenuti per entrambe le tipologie di climatizzazione, si nota come l'aumento delle condizioni di utenza al chiller abbia comportato dei risparmi più sostanziosi, i quali chiaramente sono raggiunti soprattutto per merito di un aumento delle ore in cui è possibile far funzionare il refrigeratore in modalità Free Cooling, ma anche per un funzionamento più efficiente del chiller stesso.

Analizzando quanto appena detto, si dimostra come un utilizzo più efficiente del chiller consenta di ottenere risparmi più di dieci volte maggiori rispetto ad un errato dimensionamento dell'unità refrigerante.

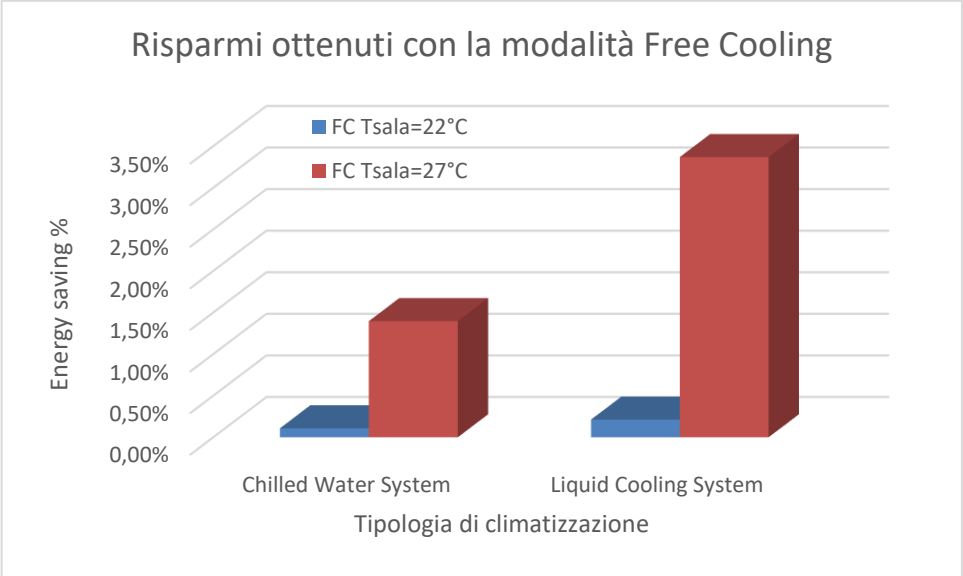


Figura 57. Confronto dei risparmi ottenuti con la modalità Free Cooling

I risultati evidenziati dal grafico vengono confermati anche nella valutazione della posizione geografica, in cui è stato svolto un confronto tra il data center studiato con uno identico collocato a Londra. In quest'ultimo caso si nota ancora di più la dipendenza dell'impianto considerato dalla temperatura dell'ambiente esterno, dove climi più freddi hanno consentito l'impiego minore di energia elettrica totale assorbita. Il dato che più spicca all'interno di questa implementazione riguarda senza dubbio il numero di ore di raffreddamento libero. Infatti, come riassunto nella seguente tabella, si riesce a sfruttare più raffreddamento "gratuito" a Londra mantenendo la Temperatura della sala IT a 22°C, che non a Roma nonostante si innalzi la temperatura interna a 27°C.

	N° ORE Free Cooling	
	ROMA	LONDRA
Tsala=22°C	33	316
Tsala=27°C	277	1198

Tabella 36. Numero di ore di Free Cooling in funzione della Temperatura della sala IT e della posizione geografica

In questo senso è da sottolineare il valore di PUE finale, raggiunto con temperatura della sala IT pari a 27°C e modalità Free Cooling, dove si è ottenuto un valore al di sotto di 1,5 che colloca il data center sito a Londra nel range di valutazione del PUE "Ottimo".

Infine, un'ultima considerazione da fare, riguarda il rapporto sussistente tra energia elettrica totale assorbita durante l'anno ed il valore del PUE, il quale, come già visto e ribadito, non è sempre in grado di rappresentare con esattezza la situazione, ma fornisce solo valori indicativi. Ciò è stato dimostrato dai risultati ottenuti confrontando il caso peggiore analizzato a Roma ed il migliore osservato a Londra, dove un risparmio di consumo di energia elettrica annuale del 45% ha visto una riduzione solamente del 12% in termine di PUE.

In conclusione, a quanto descritto in quest'ultimo capitolo, e nell'intero elaborato, risulta chiaro come vi sia l'esigenza di redigere un protocollo unico a cui i progettisti sono tenuti far fede. A tale scopo potrebbe essere produttivo creare una normativa, ben specifica, in grado di evitare cattive gestioni delle risorse energetiche. All'interno di questo protocollo deve essere sicuramente imposta un'analisi CFD che possa offrire la possibilità di prevedere le direzioni dei flussi dell'aria interna alla sala e le variazioni di densità di potenza tra i rack server, che nella presente tesi sono stati supposti costanti, oltre che l'obbligo ad utilizzare strategie di contenimento per ridurre il miscelamento dell'aria stessa insieme alla modalità Free Cooling. Inoltre, risulta poi chiaro come sia conveniente per i progettisti direzionarsi verso strategie di raffreddamento innovative, come raffreddamento con assistenza evaporativa o a liquido di tipo immersivo, che rappresenta la migliore soluzione esistente ad oggi in commercio, e abbandonando sistemi che ormai risultano antiquati oltre che sconvenienti come i sistemi raffreddati ad aria.

6. Indice Figure

Figura 1. Layout di un tipico edificio contenente Data Center 2
Figura 2. Trend del consumo elettrico (TWh) dei Data Centers 2015-2025 ... 3
Figura 3. Ripartizione dei consumi globali ICT per i due possibili scenari 3
Figura 4. Spazio e layout del sito..... 7
Figura 5. Ramificazione del sistema di cablaggio 8
Figura 6. Catena di distribuzione elettrica 9
Figura 7. Classificazione TIER 12
Figura 8. Domanda di energia in un Data Center 13
Figura 9. Diagramma psicrometrico con intervalli di umidità e temperatura per classi A1-A4 18
Figura 10. Valutazione dei carichi che contribuiscono al PUE 20
Figura 11. Virtualizzazione del server 22
Figura 12. Separazione corridoio caldo / freddo..... 23
Figura 13. Contenimento dei corridoi 24
Figura 14. Ciclo di Refrigerazione 28
Figura 15. Sistema di raffreddamento basato su sala, fila e rack..... 34
Figura 16. Raffreddamento basato su sala con e senza pavimento sollevato o contenimento..... 34
Figura 17. Raffreddamento in row montato rispettivamente a pavimento e a soffitto 34
Figura 18. Raffreddamento basato su rack..... 35
Figura 19. Raffreddamento ibrido..... 35
Figura 20. Fasi del processo di rimozione del calore 38
Figura 21. Tipologie di climatizzazione 39
Figura 22. Chilled water system 40
Figura 23. Refrigerant Pumped system 41
Figura 24. CRAC DX cooled system 42
Figura 25. Glycol-cooled system 42
Figura 26. Water-cooled system 43
Figura 27. Air-cooled self-contained system..... 43
Figura 28. Direct and Indirect air evaporative cooled system 44
Figura 29. Liquid cooled rack system 45
Figura 30. Modalità di free cooling lato aria 46
Figura 31. Free Cooling con aria diretta 47

Figura 32. Free Cooling con aria indiretta 47
Figura 33. Free Cooling ad aria con scambiatore di calore rotante..... 48
Figura 34. Modalità di free cooling lato acqua..... 48
Figura 35. Free Cooling ad acqua con scambiatore di calore 49
Figura 36. Free Cooling ad acqua con Dry cooler 49
Figura 37. Free Cooling ad acqua con seconda bobina all'interno del CRAC 50
Figura 38. Effetto della densità di potenza sulla percentuale di spazio disponibile per i rack..... 53
Figura 39. Planimetria Sala Server 54
Figura 40. Rappresentazione 3D del CED 55
Figura 41. Profilo di carico giornaliero di un Data Center Cloud Computing 55
Figura 42. Distribuzione d'aria del CRAC PX104ED 58
Figura 43. Posizionamento delle CRAC unit all'interno della sala IT..... 58
Figura 44. a) Schema circuito chiuso e relativa b) curva caratteristica della pompa 62
Figura 45. Calcolo PUE 66
Figura 46. Schematizzazione e componenti principali del Liquid cooling rack system 67
Figura 47. Disposizione delle unità CDU all'interno della sala IT 69
Figura 48. a) MCDU-75-6-60. b) Manifold system. c) Cold plate server 70
Figura 49. Confronto potenza elettrica totale assorbita durante l'anno, nel caso CWS, per temperatura della sala IT di 22 e 27 °C..... 77
Figura 50. Confronto potenza elettrica totale assorbita durante l'anno, nel caso LCS, per temperatura della sala IT di 22 e 27 °C..... 78
Figura 51. Chiller TRCS-FC-Z/CA 0452 79
Figura 52. Confronto potenza elettrica assorbita durante l'anno tra le modalità Free Cooling con temperatura della sala IT rispettivamente di 22 e 27°C 84
Figura 53. Confronto tra le potenze totali assorbite dalle tipologie di climatizzazione utilizzate..... 85
Figura 54.Confronto tra i PUE delle tipologie di climatizzazione utilizzate 86
Figura 55. Andamento potenza elettrica totale assorbita durante l'anno con CWS e Temperatura sala IT di 22°C..... 87
Figura 56.Andamento potenza elettrica totale assorbita durante l'anno con LCS e Temperatura sala IT di 22°C 88
Figura 57. Confronto dei risparmi ottenuti con la modalità Free Cooling .. 92

7. Indice Tabelle

Tabella 1. Consumi di picco dei componenti in un tipico server 4
Tabella 2. ASHRAE 2008 Thermal Guidelines 16
Tabella 3. Differenza parametri tra la versione 2004 e 2008 16
Tabella 4. ASHRAE 2011 Thermal Guidelines 17
Tabella 5. Calcolo della produzione di calore di un data center 26
Tabella 6. Tipologie tradizionali di distribuzione dell'aria 31
Tabella 7. Implementazioni alle tradizionali tipologie di distribuzione dell'aria 32
Tabella 8. Caratteristiche dimensionali Sala Server 53
Tabella 9. Produzione di calore in funzione del profilo di carico IT 56
Tabella 10. Dati nominali unità CRAC 57
Tabella 11. Numero di unità CRAC su profilo di carico IT 59
Tabella 12. Dati nominali packaged chiller 60
Tabella 13. Valutazione potenza frigorifera fornita da chiller e CRAC in una tipica giornata 61
Tabella 14. Valutazione potenza elettrica assorbita dal sistema di pompaggio in una tipica giornata 64
Tabella 15. Potenza elettrica totale assorbita in una tipica giornata 65
Tabella 16. Valutazione della potenza elettrica assorbita da sistemi di alimentazione ed ausiliari 66
Tabella 17. Dati nominali MCDU-75-6-60 68
Tabella 18. Determinazione numero CDU e potenza frigorifera totale 69
Tabella 19. Determinazione numero di chiller e relativa potenza elettrica assorbita in una tipica giornata 71
Tabella 20. Valutazione potenza elettrica totale assorbita dall'unità CRAC in una tipica giornata 72
Tabella 21. Valutazione della potenza elettrica totale assorbita dalla CDU 73
Tabella 22. Condizioni del chiller per Temperatura di utenza di 11°C 76
Tabella 23. Confronto dei risultati CWS per temperatura della sala IT di 22 e 27 °C 77
Tabella 24. Confronto dei risultati LCS per temperatura della sala IT di 22 e 27 °C 78
Tabella 25. Dati nominali del chiller in modalità Free Cooling 80

Tabella 26. Confronto tra funzionamento chiller e modalità Free Cooling in una tipica giornata dell'anno 81
Tabella 27. Confronto risultati Free Cooling per le due diverse tipologie di climatizzazione 81
Tabella 28. Valori caratteristiche chiller in Free Cooling per utenza 11-16°C 83
Tabella 29. Confronto modalità Free Cooling per diverse temperature di utenza al chiller 83
Tabella 30. Confronto della potenza elettrica assorbita e del PUE per Chilled Water System..... 85
Tabella 31. Confronto della potenza elettrica assorbita e del PUE per Liquid Cooling System 85
Tabella 32. Confronto Roma-Londra dell'energia elettrica totale assorbita e del PUE 88
Tabella 33. Confronto della potenza elettrica assorbita e del PUE per Chilled Water System Londra 89
Tabella 34. Confronto della potenza elettrica assorbita e del PUE per Liquid Cooling System Londra..... 89
Tabella 35. Range di valutazione del PUE..... 91
Tabella 36. Numero di ore di Free Cooling in funzione della Temperatura della sala IT e della posizione geografica 93

8. Bibliografia

[1] *Anders S.G. Andrae, "Total Consumer Power Consumption Forecast", October 2017*

[2] *M.Bramucci, D.Di Santo, D. Forni, "Uso Razionale dell'energia nei centri di calcolo", Settembre 2010*

[3] *"Telecommunications Infrastructure Standard or Data Centers, ANSI/TIA-942-A", Agosto 2012*

[4] *https://popinga.it/gli-standard-per-progettare-e-realizzare-un-data-center-tier-iv-5058c476ab68*

[5] *"Speciale Data Center – L'evoluzione dei data center", RCI giugno 2017*

[6] *"Thermal Guidelines for Data Processing", ASHRAE, TC 9.9*

[7] https://www.zerounoweb.it/techtarget/searchdatacenter/guida-al-data-center-cos-e-come-funziona-classificazione-e-vantaggi/

[8] https://www.energystar.gov/products/low_carbon_it_campaign/12_ways_save_energy_data_center

[9] *Neil Rasmussen, "White Paper n.25, Calcolo totale requisiti di raffreddamento dei data center", 2003*

[10] *American Power Conversion, "White Paper n.19, Raised Floors vs Hard Floors for Data Center Application", anno*

[11] *Neil Rasmussen, "White Paper n.44, Miglioramento del raffreddamento dei rack mediante l'uso di pannelli fittizi", anno*

[12] *Torben Karup Nielsen, Dennis Bouley, "White Paper n.107, How Data Center Infrastructure Management Software Improves Planning and Cuts Operational Costs", anno*

[13] *Tony Evans, "White Paper n.57, Fundamental Principles of Air Conditioners for Information Technology", 2014*

[14] *Neil Rasmussen, "White Paper n.55, The Different Types of Air Distribution for IT Environments", 2017*

[15] *Kevin Dunlap, Neil Rasmussen, "White Paper n.130, The Advantages of Row and Rack-Oriented Cooling Architectures for Data Center", 2006*

[16] *Tony Evans, "White Paper n.56, How and Why Mission-critical Cooling Systems Differ from Common Air Conditioners", 2011*

[17] *Julius Neudorfer, Michael J. Ellsworth, Devdatta P. Kulkarni, Herb Zien, "White Paper n.70, Liquid Cooling Technology Update", 2016*

[18] Tony Evans, "White Paper n.59, The Different Technologies for Cooling Data Centers", 2012

[19] Daniel Kennedy, "Rittal White Paper n.507, Understanding Data Center Cooling Energy Usage & Reduction Methods", 2009

[20] John Niemann, John Bean, Victor Avelar, "White Paper n.132, Economizer Modes of Data Center Cooling Systems", 2011

[21] Neil Rasmussen, "White Paper n.120, Linee Guida per calcolare la densità di potenza dei Data Center", 2012

[22] Neil Rasmussen, "White Paper n.113, Modelli di efficienza elettrica delle sale CED", 2011