

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>1 - CONSIDERAZIONI GENERALI SUI DATA CENTER .....</b>	<b>5</b>
1.1 - STRUTTURA DI UN DATA CENTER .....	5
1.1.2 - <i>Principio di funzionamento</i> .....	6
1.2 - APPARECCHIATURE IT .....	9
1.3 - UPS .....	11
1.3.1 - <i>Principio di funzionamento</i> .....	12
1.3.2 - <i>Tipologie di UPS</i> .....	14
1.4 - SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO .....	18
1.4.1 - <i>Tipologie di impianti di raffreddamento</i> .....	18
1.5 - IL PUE .....	21
1.5.1 - <i>Tipologie di PUE</i> .....	24
1.5.2 - <i>Difficoltà e limitazioni nella determinazione del PUE</i> .....	24
<b>2 - ANALISI ENERGETICA DEI DATA CENTER DI ATENEIO.....</b>	<b>29</b>
2.1 - STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	29
2.2 - DATA CENTER DI VIA SAN FRANCESCO .....	31
2.2.1 - <i>Componenti del data center</i> .....	32
2.2.2 - <i>Misura dei consumi</i> .....	36
2.2.3 - <i>Calcolo dell'efficienza</i> .....	38
2.3 - DATA CENTER DI GALLERIA SPAGNA.....	40
2.3.1 - <i>Componenti del data center</i> .....	41
2.3.2 - <i>Misura dei consumi</i> .....	45
2.3.3 - <i>Calcolo dell'efficienza</i> .....	46
2.4 - DATA CENTER DI FISICA .....	49
2.4.1 - <i>Componenti del data center</i> .....	49
2.4.2 - <i>Misura dei consumi</i> .....	51
2.4.3 - <i>Calcolo dell'efficienza</i> .....	55
2.5 - DATA CENTER DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE .....	57
2.5.1 - <i>Componenti del data center</i> .....	57
2.5.2 - <i>Misura dei consumi</i> .....	60
2.5.3 - <i>Calcolo dell'efficienza</i> .....	65
2.6 - DATA CENTER DI INGEGNERIA CIVILE .....	66
2.6.1 - <i>Componenti del data center</i> .....	67
2.6.2 - <i>Misura dei consumi</i> .....	71
2.6.3 - <i>Calcolo dell'efficienza</i> .....	74

2.7 - DATA CENTER DI INGEGNERIA INDUSTRIALE .....	76
2.7.1 - Componenti del data center .....	77
2.7.2 - Misura dei consumi.....	79
2.7.3 - Calcolo dell'efficienza .....	83
2.8 - DATA CENTER DELL'EDIFICIO BOTTA .....	85
2.8.1 - Componenti del data center .....	85
2.8.2 - Schema a blocchi dell'impianto .....	89
2.8.3 - Misura dei consumi.....	90
2.8.4 - Calcolo dell'efficienza .....	93
2.9 DISTRIBUZIONE TOTALE DEI CONSUMI E DEI COSTI.....	96
2.9.1 - Analisi dei consumi .....	96
2.9.2 - Analisi dei costi .....	101
2.9.3 - Interventi di efficienza energetica e tempi di ritorno .....	103
<b>3 - FATTORI DA TENERE IN CONSIDERAZIONE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA.....</b>	<b>109</b>
3.1 - L'IMPORTANZA DEL SISTEMA DI MISURAZIONE .....	110
3.2 - LE APPARECCHIATURE IT .....	113
3.3 - L'UPS .....	115
3.3.1 - Dimensionamento dell'UPS .....	115
3.4 - IL SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO .....	117
3.5 - IL FREE COOLING.....	119
3.6 - LA CENTRALIZZAZIONE .....	121
3.7 - IL SOVRADIMENSIONAMENTO.....	122
3.8 - LA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO .....	123
3.9 - LINEE GUIDA PER LA CORRETTA PROGETTAZIONE DI UN DATA CENTER .....	126
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>129</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>131</b>

## Introduzione

Il presente lavoro di tesi ha preso avvio con lo scopo di scattare una fotografia dello stato dei centri di elaborazione dati dell'Università di Padova, con attenzione particolare verso i consumi energetici, le soluzioni tecnologiche adottate e le caratteristiche delle macchine in uso. L'analisi svolta va di pari passo con il tema della sostenibilità energetica dell'Ateneo, poiché permette di approfondire possibili interventi di efficienza, relativi risparmi e ritorno economico degli eventuali investimenti di adeguamento.

Non a caso questo lavoro si concentra sui centri di calcolo, negli ultimi anni infatti l'Università sta portando avanti un piano di miglioramento dell'efficienza energetica, ed il settore dei data center è particolarmente importante in questo ambito per due principali motivi:

- È cresciuta la consapevolezza del forte impatto che i data center hanno sul totale dei consumi di Ateneo, con la previsione che possa essere in continuo aumento.
- L'energia è spesso impiegata in maniera poco efficiente. La conseguenza diretta è che il settore sia quindi predisposto a concreti margini di miglioramento.

I motivi per cui si stima che i data center occupino una fetta così importante del consumo possono essere imputati alla continua diffusione dei servizi web, dei software di calcolo previsionali utilizzati nei laboratori dai gruppi di ricerca e delle varie applicazioni di storage dei dati.

Allo stesso tempo, le ragioni della bassa efficienza vanno ricercate nel metodo con il quale si organizzano i centri di calcolo e nel modo in cui sono gestiti. Le cause primarie si possono riassumere nei seguenti punti:

- Il modo in cui nascono alcuni data center, specialmente i più piccoli, che non si sviluppano in modo programmato e pianificato, ma sono frutto di un'evoluzione casuale che dipende da ciò di cui si necessita nel presente, senza un'attenta programmazione rivolta al futuro.
- La bolletta può essere inclusa in una bolletta energetica generale e quindi non si riesce a valutare l'effettivo consumo del data center.

- I costi energetici non sono sotto la responsabilità del gruppo operativo del data center.
- Spesso non è presente una diagnostica, cioè un sistema di strumenti di misura, che permetta di capire come e quanto si sta consumando.
- Difficile previsione e pianificazione dell'andamento della potenza di calcolo richiesta nel futuro, con la conseguenza che solitamente per mettersi in condizioni di sicurezza si sovrastima la potenza necessaria. I componenti lavorano quindi ad una potenza inferiore alla nominale, perciò con un peggior rendimento.

Ne consegue dunque che i punti sui quali si può indagare sono vari e numerosi, e che gli ambiti presi in considerazione sono eterogenei, spaziando da un settore più propriamente elettrico ad un settore più informatico.

In questo lavoro per prima cosa si fornirà una presentazione di cos'è un data center, di come funziona, e di quali sono i parametri utilizzati per determinarne l'efficienza. Dopodiché si comincerà l'analisi vera e propria dei centri di calcolo dell'Ateneo, con occhio di riguardo verso i componenti utilizzati e la loro organizzazione del centro, e quindi se ne stimerà l'efficienza.

Infine, dalla presentazione dei risultati ottenuti si evidenzierà quanto i data center possano essere energivori e quanto sia considerevole il loro impatto nella bolletta energetica totale, sottolineando tra l'altro quali sono gli interventi che più potrebbero migliorare la situazione energetica.

# 1 - Considerazioni generali sui data center

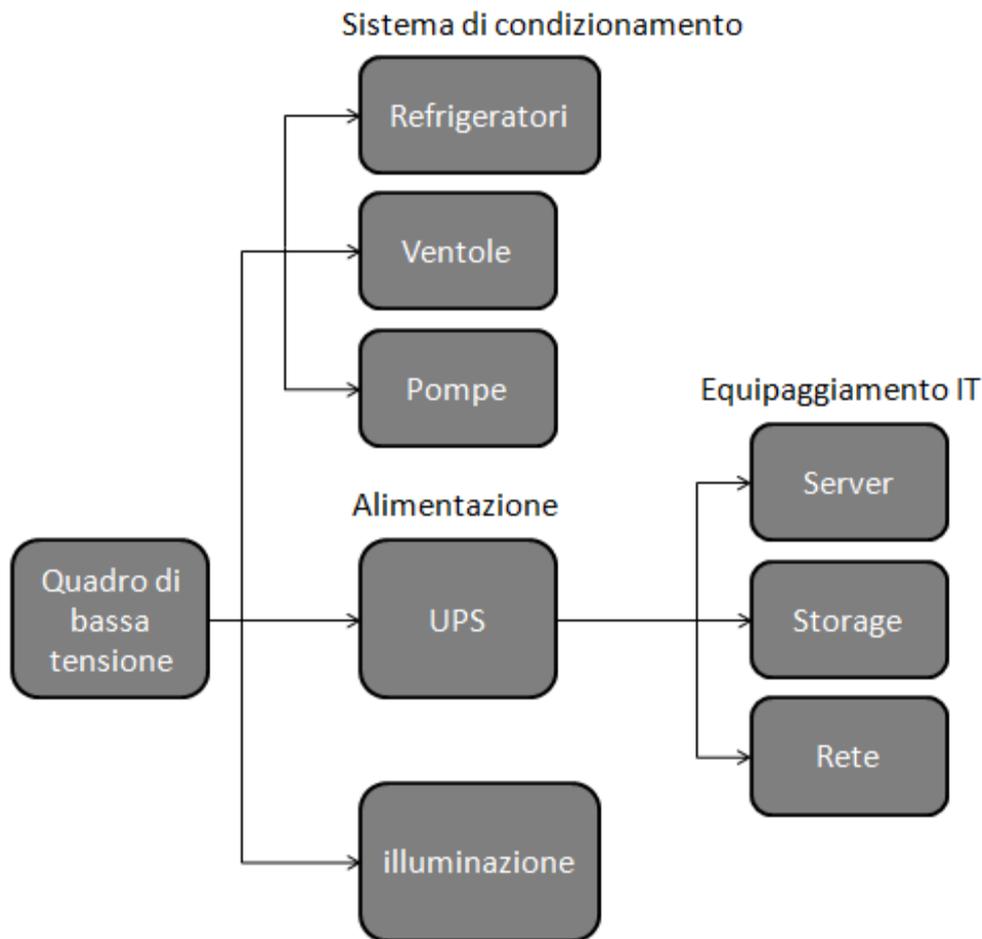
I primi data center nascono negli anni '70 nelle grandi sale computer che contenevano i primi sistemi informatici. Dato l'elevato numero di apparecchiature e di cavi, e a causa della complessità degli impianti, fu da subito necessario costruire appositi locali che contenessero il tutto, in modo da facilitarne l'organizzazione. Tutti questi componenti essendo stipati all'interno di uno spazio ristretto e producendo calore durante il funzionamento, necessitano però di essere refrigerati. Per cui con il crescere della densità di potenza in gioco divenne indispensabile prevedere anche un sistema di raffreddamento, che garantisse le condizioni adeguate all'interno del locale. Dopo il 1980, insieme alla diffusione ed all'evoluzione dell'informatica si è cominciato a porre più attenzione alla gestione di questi locali, cercando una standardizzazione dei componenti ed organizzando il sistema in modo da renderlo sempre più efficiente [1]. Ed è a questo punto che nasce la definizione vera e propria di data center:

Un data center, in italiano “centro elaborazioni dati o CED”, è lo spazio fisico (stanza, edificio, magazzino) che ospita le apparecchiature che elaborano, gestiscono ed archiviano i dati di una qualsiasi azienda od organizzazione.

## 1.1 - Struttura di un data center

Un data center è così composto [3]:

- Apparecchiature IT (Information Technology Equipment), che comprendono server, dispositivi di storage e di network, desktop, monitor, stampanti, ecc. per l'elaborazione ed il trattamento dei dati;
- Sistemi di alimentazione che garantiscono continuità e qualità elettriche alle apparecchiature IT quali unità UPS (Uninterruptible Power Supply o gruppi di continuità), PDU (Power Distribution Unit o unità di distribuzione dell'alimentazione) e PSU (Power Supply Unit o alimentatori);
- Sistemi Ausiliari che comprendono gli impianti di raffreddamento della sala, l'illuminazione, sistemi di sicurezza come quelli antincendio e quelli a garanzia della continuità elettrica (gruppi elettrogeni).



*Figura 1 - Schema a blocchi data center [4]*

### **1.1.2 - Principio di funzionamento**

Il data center è l'unità organizzativa che coordina e mantiene le apparecchiature ed i servizi di gestione dei dati, ovvero l'infrastruttura IT [7]. Le apparecchiature IT devono fornire in ogni istante la potenza di calcolo necessaria a soddisfare i servizi informatici richiesti, e per farlo nel miglior modo devono lavorare nelle loro condizioni ottimali, cioè in un ambiente con temperatura ed umidità adeguate, e privo di sostanze che possono danneggiare i componenti elettronici. Per assicurare queste condizioni i data center sono provvisti di un impianto di refrigerazione e deumidificazione [3].

Inoltre, dev'essere garantita la massima sicurezza nella gestione dei dati, evitando dunque la perdita di informazioni a causa di guasti o spegnimenti improvvisi. Per questo motivo in tutti i data center è previsto un impianto di continuità assoluta, generalmente costituito da un UPS e da un gruppo elettrogeno [1].

Con riferimento alla figura 1, il flusso di energia in un generico data center inizia dal quadro di bassa tensione, da dove viene prelevata dal trasformatore l'energia richiesta. Da qui partono più linee, che servono a sostenere le varie parti del data center. Una prima linea è quella che deve alimentare il data center vero e proprio, cioè le apparecchiature IT. In questo caso, tra il trasformatore ed il data center si interpone un UPS (Uninterruptible Power Supply). Questo dispositivo grazie ad un sistema inverter-raddrizzatore e ad un sistema di batterie possiede due peculiarità [3]:

- Fornisce un'elevata qualità dell'alimentazione: bisogna infatti considerare che i microprocessori digitali lavorano a frequenze di mega o giga Hertz, per cui eseguono miliardi di operazioni al secondo. Un disturbo dell'alimentazione, anche se breve, potrebbe provocare malfunzionamenti e perdita di dati. L'UPS permette al centro di elaborazioni dati di lavorare con un'alimentazione immune ai disturbi della rete di distribuzione;
- Garantisce la continuità assoluta del sistema per un periodo di tempo determinato dalla capacità delle batterie installate.

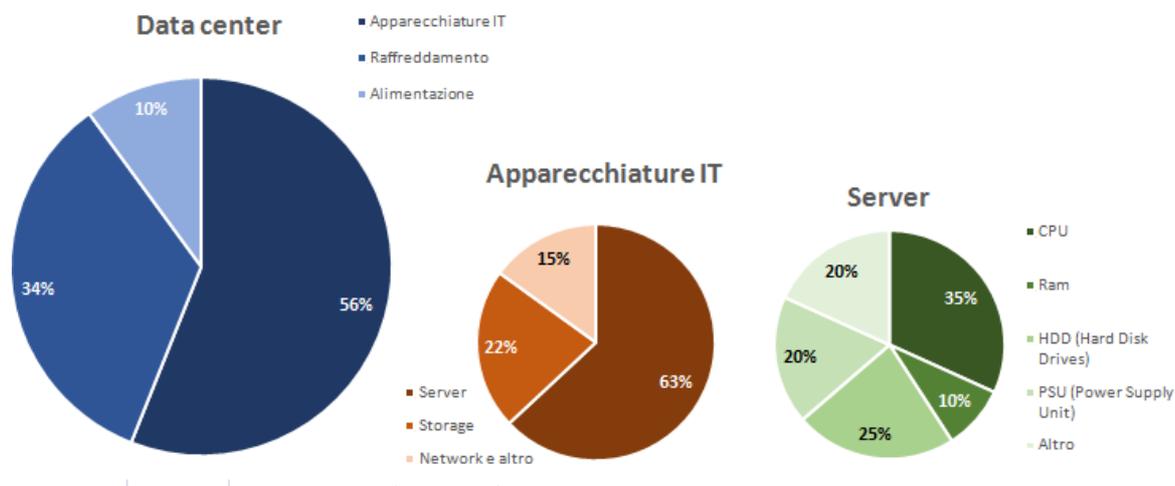
Sempre in relazione alla continuità elettrica del sistema, in aggiunta all'UPS, si può prevedere anche un altro componente: il gruppo elettrogeno diesel. Questo dispositivo interviene nel caso l'interruzione di corrente continui per un periodo di tempo piuttosto lungo, prima dell'esaurimento delle batterie, alimentando direttamente il quadro di bassa tensione a monte del sistema. La presenza del gruppo elettrogeno comunque non è sempre prevista: ad esempio se il data center si trova in centro storico la legge ne proibisce l'uso. Se invece le informazioni trattate non sono particolarmente importanti, lo spegnimento del data center può essere tollerato e in questo caso si considera il gruppo elettrogeno come un investimento non necessario. In queste circostanze, se dovesse occorrere un'interruzione di corrente piuttosto lunga, si preferisce o sovradimensionare le batterie dell'UPS, oppure utilizzare una

procedura automatica di spegnimento sicuro dei server, in modo da salvare i dati sensibili nel tempo di funzionamento assicurato dalle batterie.

Sempre facendo riferimento alla figura 1, una delle linee elettriche che partono dal quadro di bassa tensione è dedicata solo all'alimentazione dei gruppi refrigeranti. Ciò è dovuto al fatto che il calore generato dalle apparecchiature all'interno del locale dev'essere rimosso prima che l'aumento di temperatura risulti dannoso per i componenti elettronici. La potenza refrigerante richiesta deve essere sufficiente a smaltire tutto il calore in eccesso e garantire le condizioni di funzionamento ottimali [8]. Generalmente la linea che alimenta i gruppi frigo è inserita a monte dell'UPS in quanto non è considerata un carico privilegiato. Nel caso di interruzione di corrente la priorità è quella di alimentare i componenti informatici per evitare la perdita dei dati. L'aumento di temperatura dovuto ad un eventuale blocco dei gruppi frigo non risulta essere così repentino da giustificare che la linea del raffreddamento sia protetta da un sistema di continuità assoluta.

Dallo schema a blocchi di figura 1, si può notare che una linea specifica è destinata all'illuminazione del data center. In questo caso la valutazione del carico elettrico è piuttosto difficile. Questo è dovuto principalmente a due fattori: il primo è che bisogna capire se effettivamente l'illuminazione dev'essere compresa nel calcolo dell'efficienza del centro, il secondo motivo invece è la difficoltà nel misurare quest'energia. Queste complicazioni derivano dal fatto che non è detto che l'impianto serva solo per illuminare il data center, ma è possibile che faccia parte di un sistema più ampio [2]. In generale comunque si può ritenere che il carico elettrico dovuto all'illuminazione sia piuttosto modesto, sia per le basse potenze in gioco, sia perché per la maggior parte del tempo le luci sono spente. Per questi motivi in questo lavoro è stato deciso di trascurare questo contributo nel calcolo dell'efficienza.

Ma in che modo si suddivide l'energia all'interno di un data center? Si può far riferimento ad esempio alla figura 2, in cui sono riportate le percentuali di utilizzazione dell'energia nelle varie parti del sistema secondo uno studio condotto dall'ENEA.



**Figura 2 - Percentuali consumi [8][34]**

Il consumo di energia dell'IT equipment è del 56% rispetto al totale, ciò significa che per ogni watt che effettivamente viene usato, quasi un altro è necessario per sostenere i sistemi ausiliari. Il raffreddamento infatti impiega un po' più del 30% dell'energia, mentre l'alimentazione del data center (comprendente le perdite dei trasformatori, dell'UPS e delle PDU) ne utilizza un 10% circa. All'interno delle apparecchiature IT i componenti più energivori sono i server, in questo caso la percentuale è fortemente influenzata dal tipo di data center considerato.

I consumi mostrati in figura 2 sono quelli di un data center tipico del 2014, caratterizzato da un'efficienza del 56% (PUE = 1,8). Attualmente le cose sono leggermente cambiate, principalmente per quanto riguarda il rendimento degli UPS che negli ultimi anni ha subito una consistente evoluzione. Per cui in seguito, durante l'analisi dei data center di ateneo, ci si aspetterà una minore percentuale di consumo relativa all'alimentazione.

Secondo alcuni studi [3] [10], la media mondiale del PUE è compresa tra 2 e 3. Altri studi [34] propongono un valore inferiore, che si aggira intorno a 1,8. I data center dell'università di Padova sono caratterizzati da valori del PUE simili.

## 1.2 - Apparecchiature IT

Le apparecchiature IT, in inglese Information Technology equipment, includono tutti quei componenti informatici come i server, le unità di memoria e

storage, stampanti, fax, scanner, networking, monitor, apparati di rete ecc [2]. Queste apparecchiature costituiscono il basamento vero e proprio del data center, sono difatti quei dispositivi che servono a processare, memorizzare e trasmettere informazioni digitali [1]. Tutto ciò che non rientra in questa categoria risulta essere un componente ausiliario, cioè un componente la cui presenza è necessaria solo per permettere il funzionamento ottimale del IT equipment.

Ognuna di queste apparecchiature ha un suo consumo energetico, che si va a sommare al consumo dell'intero sistema. Anche se il contributo di un singolo dispositivo può essere trascurabile, in un data center di grandi dimensioni la potenza assorbita dall'intero sistema può raggiungere valori considerevoli [2]. Già in fase di progetto è molto importante considerarne la potenza assorbita, in quanto ad essa è direttamente collegata la scelta delle potenze nominali dell'impianto di continuità assoluta e del sistema di raffreddamento.

È fondamentale anche la previsione della richiesta di potenza futura, che consideri eventuali aggiornamenti e l'inserimento di nuovi componenti. È tuttavia particolarmente difficile prevederne l'andamento, difatti sono molti i fattori da valutare per ottenere una stima realistica.

Per quanto riguarda invece la disposizione dei dispositivi IT, bisogna ricordare in primo luogo che essi richiedono un ambiente privilegiato, dove possano essere posizionati e organizzati in modo ottimale, per ridurre il surriscaldamento e per impedire incidenti alle macchine e al personale. Ciò si traduce in una collocazione in appositi locali o stanze che possano garantire le condizioni richieste, e se il loro numero è elevato, si raggruppano in armadi detti "rack"[3].

All'interno della categoria delle apparecchiature IT, i componenti più rilevanti sia da un punto di vista numerico che energetico sono i server, i quali al loro interno racchiudono quasi tutte le componenti di un normale PC. In commercio sono presenti vari tipi di server, che differiscono per dimensioni, potenza di calcolo e caratteristiche informatiche, e siccome quasi tutta l'energia assorbita da questi componenti si trasforma in calore, nel loro acquisto è molto importante scegliere quelli che generano poco calore a parità di potenza di calcolo eseguita, in modo da ottenere un vantaggio sia sui consumi diretti, sia sul sistema di refrigerazione [8].

Oltre ai server le altre unità rilevanti all'interno delle apparecchiature IT, sono i dispositivi di storage, come gli HDD (Hard Disk Drives) e gli SSD (Solid State Drives), ed i molteplici apparati di rete [1].

### **1.3 - UPS**

Sebbene il sistema di distribuzione elettrica pubblica sia piuttosto affidabile nei paesi più sviluppati, può comunque non essere sufficiente a garantire un'adeguata qualità di alimentazione per alcuni tipi di carichi molto critici, come ad esempio alcune apparecchiature mediche o i data center che controllano processi importanti [13]. Idealmente la tensione fornita dalla rete elettrica dovrebbe essere un'onda perfettamente sinusoidale senza alcuna armonica, e caratterizzata dalla sua ampiezza e frequenza nominali. In realtà ci si può scostare in modo significativo da queste condizioni a causa dei seguenti tipi di disturbi [14]:

- Sovratensione. La tensione risulta essere decisamente più alta della nominale per alcuni periodi della tensione stessa;
- Abbassamento di tensione. La tensione risulta essere decisamente più bassa della nominale per alcuni periodi della tensione stessa;
- Interruzione di tensione (blackout). La tensione manca completamente per alcuni periodi o per tempi prolungati;
- Picchi e buchi di tensione. Si sovrappongono alla forma d'onda nominale in modo non periodico;
- Armoniche. Una forma d'onda distorta contiene armoniche di tensione per tempi lunghi.

Le sorgenti che producono questi disturbi sono di diverso tipo, ad esempio improvvise diminuzioni di carico, sovraccarichi, avviamenti di motori asincroni nelle vicinanze, uso di alcuni dispositivi elettronici ecc.

Nel caso dei data center l'effetto di questi disturbi è la compromissione del corretto funzionamento dei dispositivi informatici, che nel caso di gestione di dati importanti può portare a gravi conseguenze [3]. Diviene necessario quindi prevedere un sistema che protegga il data center da questi disturbi e permetta il funzionamento

ottimale e sicuro dei componenti. Nella stragrande maggioranza dei casi il sistema utilizzato è il gruppo di continuità o UPS (Uninterruptible Power Supply) [16].

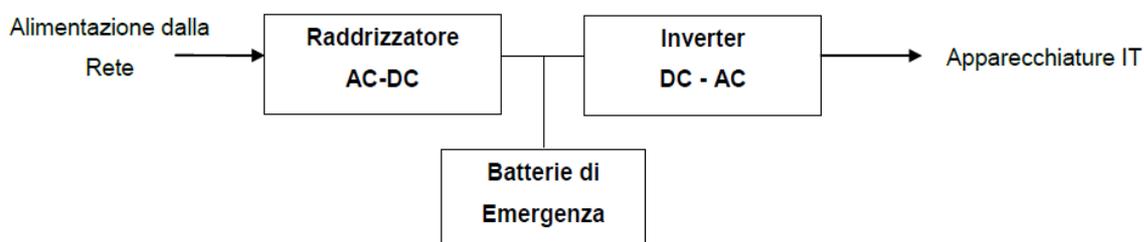
L'UPS è capace di proteggere efficacemente dalle interruzioni di alimentazione, regolare la tensione quando si alza o si abbassa e limitare i transitori della rete e i disturbi legati alle armoniche [14].

Per adattare la tensione al voltaggio di funzionamento del sistema, a monte dell'UPS si trova l'unità PDU (power distribution unit), che può essere collegata in modo semplice, oppure utilizzando due unità separate, in modo da aumentare l'affidabilità dell'impianto. Il grado di ridondanza infatti è una considerazione molto importante da fare, ed è funzione dell'importanza dei dati e delle operazioni che vengono eseguite dal centro di calcolo. Per diminuire la probabilità che il data center rimanga senza energia sono quindi previste varie fonti di alimentazione, batterie di riserva e l'aumento del numero dei componenti. Più il sistema è ridondante maggiore sarà la resistenza alle emergenze ma, allo stesso tempo, i costi d'installazione e di manutenzione saranno più elevati [1].

I vari livelli di ridondanza sono classificati tramite la denominazione TIER I, II, III, IV, e possono essere applicati a tutti i componenti dei centri di calcolo [3].

### ***1.3.1 - Principio di funzionamento***

In figura 3 è rappresentato lo schema a blocchi di un generico UPS. Per convertire la tensione alternata monofase o trifase in continua si utilizza un raddrizzatore, che a sua volta alimenta l'inverter ed il banco batterie, in modo da tenerlo caricato.



**Figura 3 - Schema a blocchi alimentazione data center[3]**

In condizioni di funzionamento normale la potenza fluisce dal raddrizzatore verso l'inverter. Nel caso invece di interruzione di corrente, la potenza proviene dal banco batterie. Prima di essere applicata al carico la tensione viene filtrata [14].

I componenti principali previsti all'interno dell'UPS sono:

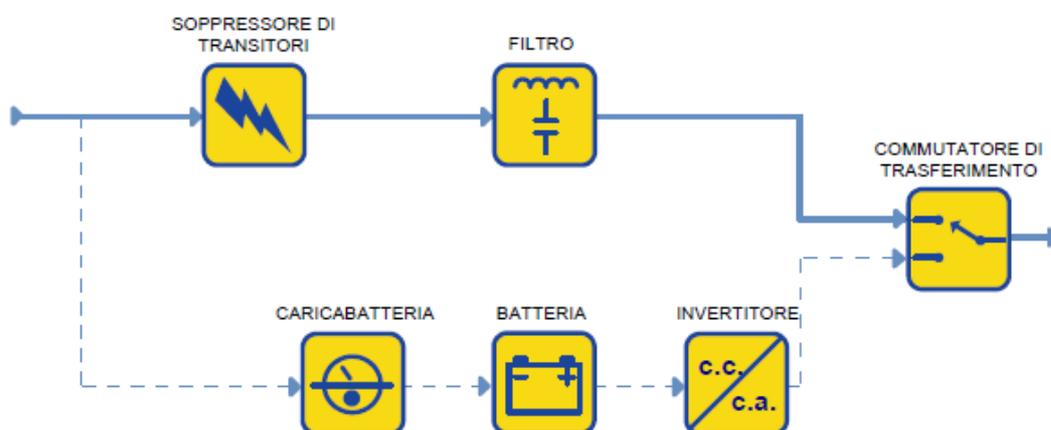
- Il raddrizzatore. Ha lo scopo di convertire la tensione da alternata a continua. Per farlo si possono utilizzare raddrizzatori a tiristori tradizionali, oppure ponti raddrizzatori a diodi in cascata con convertitore DC-DC step down, o ancora convertitori risonanti;
- Le batterie. Nei data center rappresentano uno degli elementi più critici della catena di alimentazione, dal momento che devono intervenire nei momenti di totale interruzione della rete, in casi di emergenza e senza preavviso [3]. Esistono numerosi tipi di batteria, tuttavia nell'ambito delle applicazioni UPS la tipologia più comunemente usata è quella delle batterie tradizionali a piombo acido. Nella modalità normale, quando è presente l'alimentazione di linea, la batteria è sottoposta ad un tensione di mantenimento, che le consente di mantenersi in carica. Nel caso di interruzione di corrente sono le batterie che alimentano il carico, per un tempo che è funzione della loro capacità [14];
- L'inverter. Nonostante nei data center la maggior parte dei carichi sia non lineare, le specifiche tecniche prevedono che l'uscita dell'inverter sia caratterizzata da una distorsione armonica molto bassa. Tipicamente si pretende che il THD (Total Harmonic Distorsion) sia inferiore al 3/5% con fattore di potenza superiore a 0,9 [14]. Per garantire queste prestazioni normalmente si utilizzano gli inverter PWM (Pulse Width Modulation), che ad oggi costituiscono una delle migliori soluzioni [3];
- Filtri. Ce ne sono di due tipi. I filtri passivi sono solitamente condensatori e induttanze che vengono installati prima dell'UPS dando un passaggio a bassa impedenza per le armoniche indesiderate, limitando così l'effetto distorcente sul resto dell'impianto. I filtri attivi invece sono convertitori statici controllati che immettono in rete in tempo reale delle correnti uguali ma con componenti armoniche opposte sulla rete, in modo tale che siano compensate [3].

### 1.3.2 - Tipologie di UPS

Esistono vari tipi di UPS utilizzati nel settore dei data center. In seguito sono elencati e descritti i principali [15].

#### *Standby*

Gli UPS in configurazione standby sono il tipo più comune utilizzato per applicazioni di bassa potenza, come ad esempio i personal computer, le singole workstation ecc. Facendo riferimento allo schema a blocchi di figura 4, lo switch è impostato in modo da utilizzare l'ingresso in corrente alternata come sorgente di alimentazione primaria. Nel caso di guasto lo switch commuta il carico sull'alimentazione di emergenza costituita dal sistema batterie/inverter. Il nome standby deriva proprio dal fatto che l'inverter entra in funzione solamente in caso di guasto. I principali vantaggi di questo sistema sono i volumi ridotti, l'alta efficienza e l'economicità.

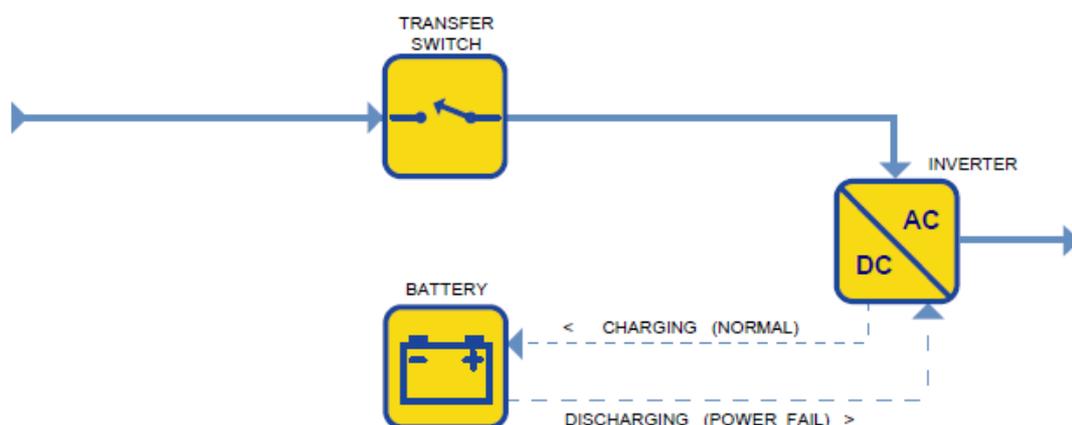


**Figura 4 - Configurazione Standby [15]**

#### *UPS Line Interactive*

L'UPS Line Interactive è il sistema più utilizzato nell'intervallo di potenze comprese tra i 0,5 e 5 kVA, come ad esempio i server delle piccole aziende, server web ed i server dipartimentali. In questo schema l'inverter è sempre collegato all'uscita del gruppo di continuità, alimentando sia il carico sia le batterie anche

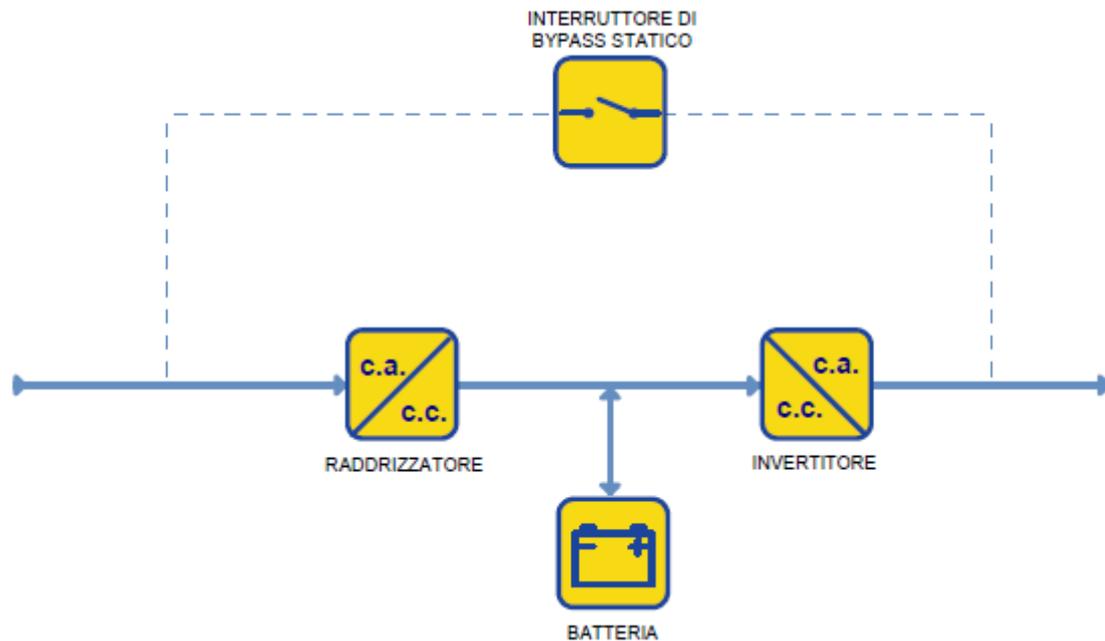
durante il funzionamento normale. Nel momento in cui avviene un'interruzione di corrente, il commutatore apre ed il carico è alimentato dal sistema di batterie attraverso l'inverter. In questo modo, questa tipologia di UPS permette transitori di commutazioni più brevi ed un filtro ulteriore rispetto al sistema precedente.



**Figura 5 - Configurazione Line Interactive [15]**

### *UPS online a doppia conversione*

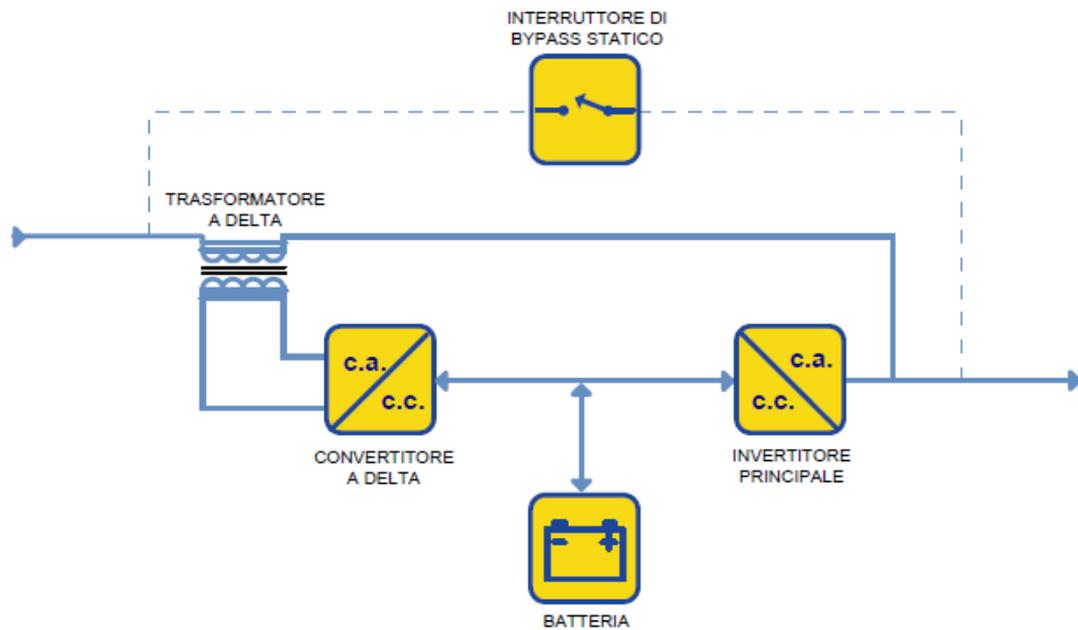
Questo UPS risulta essere il più utilizzato per potenze superiori ai 10 kVA. Come si può vedere dallo schema di figura 6, il percorso primario dell'alimentazione è costituito dall'inverter. Questo significa che in caso di interruzione dell'alimentazione di rete, non interviene l'interruttore switching, perché l'alimentazione viene fornita direttamente dalle batterie d'emergenza collegate all'inverter. La conseguenza è che il tempo di trasferimento dalla condizione di funzionamento normale a quella di funzionamento anomalo è nullo. Per contro, sia il sistema che mantiene in carica le batterie, sia l'inverter, sono sempre in funzione. Il che comporta una minor efficienza e una maggior quantità di calore da smaltire rispetto ai sistemi precedenti. Inoltre, il fatto che i componenti siano sempre attivi ne provoca una maggior usura, con relativa diminuzione dell'affidabilità e necessità di una maggior manutenzione.



**Figura 6 - Configurazione Online a doppia conversione [15]**

#### *UPS online a conversione delta*

È un'evoluzione del sistema precedente, che può essere utilizzata per potenze comprese tra 5 kVA e 1,6 MVA. Nel caso di funzionamento anomalo della rete questo UPS si comporta similmente al gruppo di continuità online a doppia conversione. Tuttavia il convertitore delta, si veda figura 7, durante il funzionamento normale permette di fornire energia direttamente all'uscita dell'inverter aumentando di molto l'efficienza del sistema. Attualmente questa tecnologia di UPS è l'unica ad essere protetta da brevetti, motivo per cui non è venduta da molti fornitori di UPS.



**Figura 7 - Configurazione Online a conversione Delta [15]**

In seguito si può vedere una tabella riassuntiva delle caratteristiche dei vari tipi di UPS.

	<b>Intervallo di potenza (kVA)</b>	<b>Capacità di condizionamento della tensione</b>	<b>Costo per kVA</b>	<b>Efficienza</b>	<b>Inverter sempre attivo</b>
<b>Standby</b>	0 – 0,5	Basso	Basso	Altissima	No
<b>Line Interactive</b>	0,5 – 5	Funzione del progetto	Medio	Altissima	Funzione del progetto
<b>On-line a doppia conversione</b>	3 – 15	Alto	Medio	Medio/bassa	Sì
<b>On-line a conversione delta</b>	5 - 5000	Alto	Medio	Alta	Sì

**Tabella 1 - Caratteristiche dei vari tipi di UPS [15]**

## **1.4 - Sistema di raffreddamento**

Durante il suo funzionamento il data center produce una notevole quantità di calore, il quale dev'essere smaltito per evitare che la temperatura raggiunga valori tali da danneggiare i componenti elettronici. Per questo scopo si utilizza un sistema di raffreddamento che comprende refrigeratori, pompe e ventole [1].

Tra i componenti ausiliari il sistema di raffreddamento è il responsabile maggiore del consumo di energia nel data center [3], motivo per cui è di fondamentale importanza la sua corretta progettazione.

I fattori principali da considerare per un giusto dimensionamento sono [8]:

- La potenza termica totale da dissipare sviluppata da tutte le apparecchiature presenti (apparecchiature IT, UPS, trasformatori, PDU, ecc);
- La distribuzione spaziale della potenza termica da dissipare, con particolare attenzione verso l'individuazione dei "punti caldi" o "hot spot";
- Il tipo di sistema di raffreddamento da utilizzare;
- La temperatura di funzionamento delle macchine.

### **1.4.1 - Tipologie di impianti di raffreddamento**

Si possono avere diverse tipologie di sistemi di refrigerazione, in seguito sono riportate in ordine crescente di complessità e di capacità refrigerante [11]:

- Sistema di raffreddamento tradizionale con l'uso di condizionatori e deumidificatori di tipo civile. Questa tipologia è la più semplice da implementare e quella con il minor costo di investimento, poiché consiste semplicemente nel raffreddare l'intero locale contenente il data center;
- Sistemi di condizionamento della sala CED con corridoi caldi/freddi. In questo caso l'intento è quello di separare il flusso di aria fredda da quello dell'aria calda esausta. La divisione dei flussi permette di ottenere un consistente aumento dell'efficienza energetica;
- Sistema di raffreddamento per unità (rack). È un'evoluzione rispetto al sistema precedente e consiste in un'ancora più spinta divisione dei flussi di aria/calda e fredda all'interno del singolo armadio;

- Sistemi di raffreddamento a liquido di precisione dei componenti. In questo caso l'acqua fredda fluisce direttamente in canali a contatto con i punti caldi all'interno del server. Il sistema viene integrato nell'armadio insieme alle componenti elettroniche ed è trattato come unità indipendente.

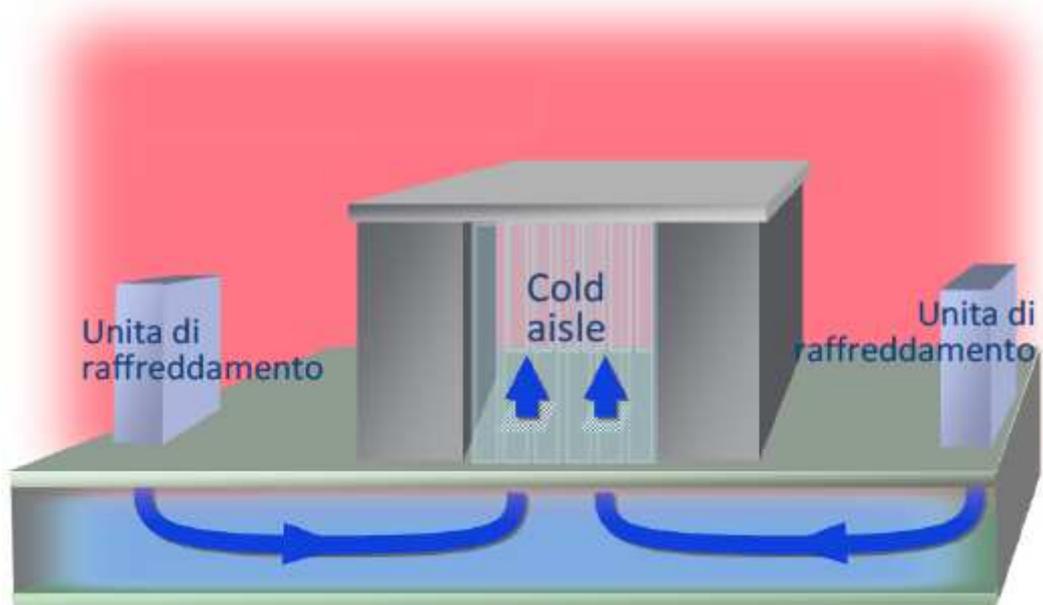
Gli ultimi due sistemi sono caratterizzati da una notevole efficienza energetica e capacità refrigerante, per contro sono decisamente più complessi e presentano un costo di investimento assai superiore rispetto alle altre due tipologie. I sistemi di raffreddamento per rack e a liquido di precisione sono utilizzati in data center caratterizzati da elevatissima densità di potenza, in modo che il maggior costo iniziale sia bilanciato dal risparmio dei consumi dovuto al miglior rendimento. Nel caso dell'Università di Padova le potenze in gioco sono piuttosto basse, motivo per cui la maggior parte dei data center di ateneo è refrigerata con il primo sistema, e solo in qualche caso si arriva al secondo.

Analizzando quindi più in dettaglio queste prime due tipologie, si osserva che la prima categoria consiste semplicemente nel condizionare il locale tramite dei condizionatori di tipo civile ad espansione diretta. Questi condizionatori fungono sia da refrigeratori che da deumidificatori, e generalmente sono del tipo montato a parete. Questo sistema è caratterizzato da un basso costo di investimento ed è facile da implementare, tuttavia presenta un ridotto rendimento energetico, in particolar modo una bassa efficienza della trasmissione del calore. L'uso di questo tipo di raffreddamento ha senso solo per i data center più piccoli e caratterizzati da basse potenze in gioco.

Per consumi e densità di potenza maggiori, indicativamente a partire dai 2-3 kW per rack, risulta conveniente passare alla categoria successiva, quella dei corridoi caldi e freddi [3]. Il costo d'investimento e la complessità dell'impianto sono maggiori, ma in compenso migliora l'efficienza.

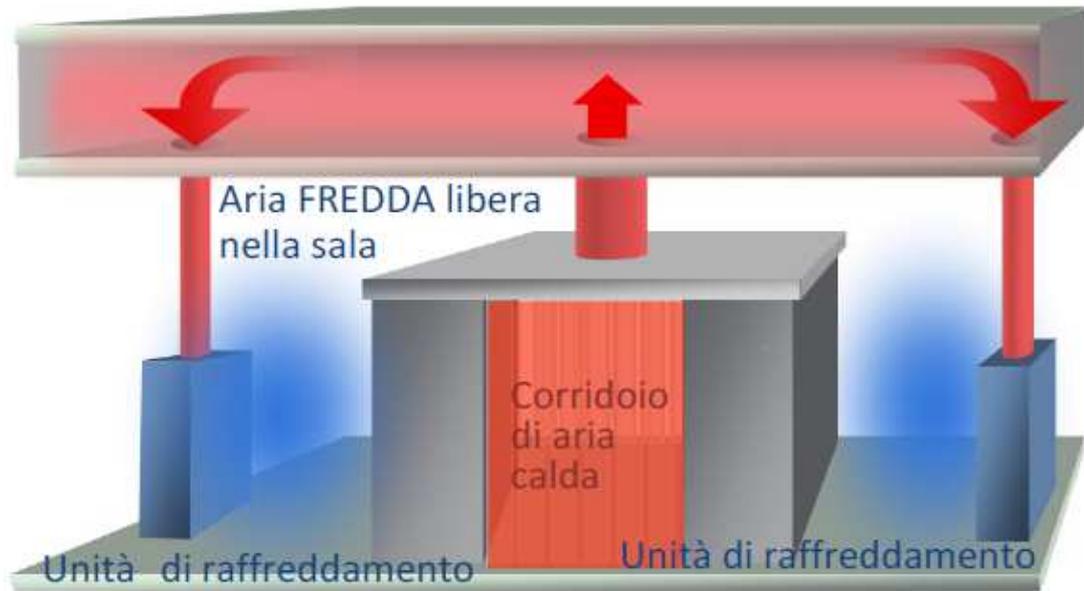
In questo caso l'idea è quella di inviare l'aria fredda proveniente dai condizionatori direttamente alle apparecchiature IT, senza che prima si mescoli con l'aria calda esausta in uscita. Esistono vari modi per implementare questo sistema, l'importante è che ci sia una netta separazione tra il flusso d'aria fredda ed il flusso d'aria calda.

Una prima opzione è quella del pavimento flottante: il locale è caratterizzato da un pavimento rialzato, al di sotto del quale si possono far passare i vari cavi e cablaggi, ma che può anche essere utilizzato come corridoio freddo. Le unità refrigeranti indirizzano il flusso d'aria al di sotto del pavimento flottante, dopodiché l'aria fredda risale all'interno degli armadi rack attraverso delle apposite fessure poste al di sotto di essi, raffreddando quindi i componenti IT. Infine l'aria calda esausta viene rilasciata nel locale. La distinzione tra i due flussi d'aria è netta, con la conseguenza di un aumento del rendimento termico.



**Figura 8 - Confinamento del flusso freddo [28]**

Un'altra soluzione che si può incontrare è quella del contenimento del corridoio caldo. In questo caso la logica è simile alla precedente, ma non c'è più il pavimento flottante. È il flusso d'aria calda ad essere contenuto, raccogliendo l'aria calda di scarico in uscita dalle apparecchiature IT e consentendo al resto della sala di diventare un grande deposito di fornitura dell'aria fredda [28].



**Figura 9 - Confinamento del flusso caldo [28]**

Secondo alcuni studi [28] il contenimento del flusso d'aria calda risulta essere più performante di quello a pavimento flottante, permettendo di raggiungere livelli di PUE e di efficienza migliori, a parità di costo di investimento iniziale. Nel caso in cui si debba progettare un nuovo data center partendo da zero è quindi opportuno considerare l'opzione del contenimento del flusso d'aria caldo. Se invece è già prevista un'infrastruttura a pavimento flottante può risultare più conveniente mantenere il sistema di raffreddamento a contenimento del flusso d'aria freddo.

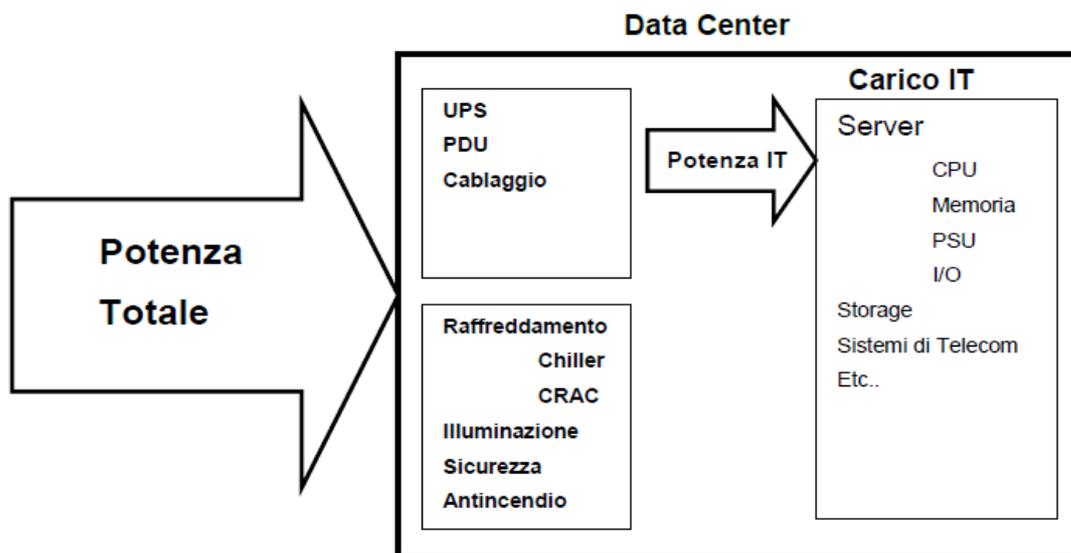
In sistemi con densità di potenza elevatissima (non è il caso dei data center dell'Università di Padova), superiori anche a 15 kW per rack, è d'obbligo passare ad impianti più performanti, quindi a sistemi di raffreddamento per unità specifica e a liquido di refrigerazione [3].

## 1.5 - IL PUE

Lo scopo di questo lavoro è analizzare i data center di ateneo per capire quanta energia consumano, in che modo la consumano e se si possono trovare delle soluzioni per rendere il sistema economicamente più efficiente. Ma quando si parla di data center, cosa si intende per efficienza energetica? Se si fa riferimento solo ad un punto di vista fisico, si può dire che quasi tutta l'energia assorbita dalle

apparecchiature IT si trasformi in calore, visto che solo una piccolissima parte dell'energia utilizzata diventa "informazione". Ci sono infatti alcuni dispositivi, come l'illuminazione, i computer e altri dispositivi informatici che sono considerati zero per cento efficienti [6]. Nell'ambito dei data center, per evitare confusione con il classico concetto di efficienza si è scelto a livello internazionale di introdurre un nuovo parametro, chiamato PUE (Power Usage Effectiveness). Questo parametro aiuta a confrontare tra loro centri di elaborazione diversi e consente di farsi un'idea riguardo alle loro prestazioni [3].

Il PUE è il rapporto tra il totale dell'energia assorbita dall'intero data center e l'energia che effettivamente arriva alle apparecchiature IT. È l'inverso di un'efficienza, per cui è un numero sempre maggiore di 1 e più è piccolo maggiore è l'efficienza energetica.



**Figura 10** – Flusso di potenza in un generico data center [3]

Il PUE è definito come:

$$PUE = \frac{Potenza\ Totale}{Potenza\ IT}$$

Come si può ravvisare dalla figura 10, la Potenza Totale è tutta la potenza elettrica che viene assorbita dall'intero sistema del data center e che quindi comprende la Potenza IT, il condizionamento, l'alimentazione e tutti gli altri sistemi ausiliari.

La Potenza IT è la somma delle potenze assorbite dalle apparecchiature IT (server, unità di memoria, apparati di rete ecc) [3].

Si può inoltre considerare un altro parametro, il DCiE, (Data Center Infrastructure Efficiency), che è il reciproco del PUE.

$$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{Potenza\ IT}{Potenza\ Totale}$$

Tale indice è sempre minore di uno e fornisce valori simili a quelli tipicamente associati al concetto di rendimento, tuttavia il parametro più utilizzato è il PUE [2].

Per maggior chiarezza si faccia riferimento alla seguente tabella [8]:

<b>PUE</b>	<b>DCiE</b>	<b>Grado di efficienza</b>
3,0	33%	Molto inefficiente
2,5	40%	Inefficiente
2,0	50%	Medio
1,5	67%	Abbastanza efficiente
1,2	83%	Efficiente

**Tabella 2 - Conversione PUE e DCiE**

Secondo vari studi [3] [10] [34], il PUE medio mondiale si aggira intorno al valore 2, mentre i valori migliori raggiunti sono intorno al 1,1 [11]. Si capisce dunque che i margini di miglioramento e di evoluzione dell'efficienza energetica sono estremamente alti.

### **1.5.1 - Tipologie di PUE**

In un incontro del 13 gennaio del 2010, un gruppo di aziende americane operanti nel settore energetico ed informatico, ha proposto delle linee guida ed ha affermato che il PUE è il sistema di misurazione preferito per misurare l'efficienza energetica dei data center [9].

Sono state definite quattro categorie del parametro PUE [1], che differiscono in base alla scelta del punto di misurazione ed in base alla grandezza utilizzata per il calcolo, la potenza o l'energia:

- PUE0 = rapporto tra le potenze di picco con misura della potenza IT all'uscita dell'UPS. Basandosi su una lettura istantanea comporta l'incapacità della valutazione delle fluttuazioni di carico, ma è comunque una misura utile che fornisce indicazioni sull'efficienza energetica;
- PUE1 = rapporto tra l'energia totale annuale e quella consumata dalle apparecchiature IT, misurata all'uscita dell'UPS;
- PUE2 = rapporto tra l'energia totale annuale e quella consumata dalle apparecchiature IT, misurata all'uscita delle PDU;
- PUE3 = rapporto tra l'energia totale annuale e quella consumata dalle apparecchiature IT, misurata all'ingresso delle stesse.

La prima categoria, la PUE0, è quella la cui misurazione risulta essere la più facile e veloce, tuttavia ne risente la precisione del calcolo. Per ottenere valori del PUE più accurati bisogna utilizzare metodi di misura di categoria superiore.

L'uso del PUE3 permette di misurare esattamente il consumo delle apparecchiature IT, distinguendole dalle perdite sui cablaggi, sulle PDU e sull'UPS.

### **1.5.2 - Difficoltà e limitazioni nella determinazione del PUE**

Durante questo lavoro di tesi le limitazioni più consistenti alla misurazione sono state:

- Il tempo di misura: a causa del tempo limitato a disposizione non è stato possibile eseguire misurazioni annuali.

- Il numero di strumenti: nei data center non dotati di un proprio sistema di automisurazione, a causa della limitata quantità di strumenti a disposizione non è risultato possibile misurare la potenza assorbita da ogni singolo componente IT. L'esiguo numero di strumenti ha consentito di misurare solo l'energia in uscita dagli UPS.

La conseguenza è che la precisione con la quale è stato calcolato il PUE dei vari data center di ateneo è compresa tra la categoria PUE 0 e PUE1. Essa varia in base alle condizioni di misura ed in base ai dati disponibili per ogni singolo centro di calcolo. Le conseguenze più dirette sono che non è stato possibile separare la quota di energia assorbita dalle apparecchiature IT con le perdite nelle PDU e nei cablaggi, e che non si è riuscito, a causa del tempo limitato, a mostrare le fluttuazioni dei consumi in funzione delle stagioni.

Inoltre, la misurazione del PUE risulta essere un'operazione più difficile di quanto possa apparire in un primo momento, le ragioni sono le seguenti [2]:

- Nei data center sono presenti dispositivi che assorbono energia, ma non è chiaro come (o se) è necessario conteggiare i relativi dati di alimentazione nei calcoli dell'efficienza;
- Alcuni punti pratici per la misurazione dell'energia includono carichi non correlati al data center ma non separabili durante la misurazione;
- Per ottenere una stima adeguata la misura deve essere eseguita su un periodo di tempo piuttosto lungo, e non sempre è possibile farlo;
- Alcuni sistemi supportano una struttura a utilizzo misto e sono condivisi con altri dispositivi non correlati al data center, quindi non è possibile misurare direttamente la percentuale di energia attribuibile al data center [1].

Per quanto riguarda l'esperienza di misurazioni acquisita durante questo lavoro, si è constatato che la grande varietà di tipi di data center incontrati e la complessità degli impianti elettrici di alcuni edifici ha comportato la presenza di praticamente tutti i problemi del calcolo del PUE sopra citati.

In modo particolare la limitazione più consistente è quella dovuta al tempo di misura. Per fornire un valore preciso del PUE bisognerebbe utilizzare nella formula

le energie medie nell'arco di un anno [5]. Questo perché il valore del PUE è direttamente influenzato dalla potenza di condizionamento che è variabile in base alle stagioni e alla temperatura e umidità atmosferiche [6].

Nel caso dell'università di Padova quasi tutti i data center non sono caratterizzati da un sistema di misurazione che registra i dati (ad eccezione di qualche UPS collegato in rete), per cui il calcolo su base annuale del PUE non risulta possibile. Tuttavia dalla misura dell'energia in tempi più brevi si può trovare un valore indicativo del PUE, valido limitatamente al tempo e alle condizioni di misura, ma che comunque fornisce indicazioni importanti riguardo all'efficienza del sistema. Misurando con degli strumenti le energie consumate nell'arco di tempo di qualche giorno, si può fornire una stima abbastanza precisa delle grandezze in gioco. Ovviamente più lungo sarà il tempo di misurazione maggiore sarà l'accuratezza nel calcolo del PUE.

Dall'analisi svolta risulta che l'energia assorbita dalle apparecchiature IT è praticamente costante nel tempo, a parità di numero di componenti installati nel data center. Ciò che può variare in modo consistente al variare del tempo è solo la potenza richiesta dal condizionamento, che è influenzata dalle condizioni atmosferiche, dalla stagione, dall'ora, dall'umidità, dalla logica di funzionamento dei gruppi frigo, ecc. In base a quest'osservazione si deduce che se si riesce a misurare l'energia delle apparecchiature IT, anche solo per un breve periodo, significa che si è trovato comunque un dato preciso anche al variare del tempo. L'approssimazione del calcolo del PUE è limitata dunque al numeratore della formula, cioè solo al condizionamento. Approssimazione comunque considerevole, perché dipendente direttamente dalle condizioni esterne.

Si deduce che l'uso del PUE come strumento di confronto tra i vari data center dev'essere fatto in maniera ragionata, tenendo conto dei vari fattori che influiscono e di come è stato eseguito il calcolo. Ad esempio se si paragona l'efficienza di due data center, uno il cui PUE è stato calcolato in inverno e l'altro in estate, si può intendere facilmente che la comparazione non sia equa ed adeguata.

Per cui in questo lavoro di tesi, che si occupa dei data center dell'ateneo di Padova, non sarà sufficiente paragonare semplicemente i valori del PUE tra due centri di calcolo per capire quale dei due funziona meglio, ma sarà necessario

considerare tutte le condizioni al contorno. Il confronto diretto può essere fatto nel caso il calcolo del PUE sia fatto su base annua ed il metodo e la categoria di PUE siano uguali. Cosa che per motivi legati al tempo limitato e alle difficoltà delle misurazioni non è stato possibile realizzare. I data center presi in considerazione sono diversi l'uno dall'altro, per cui l'approccio per il calcolo dell'efficienza è stato differente in ogni caso. Esso dipende dalle informazioni che si hanno a disposizione, dal tipo di schema elettrico, dalla presenza o meno di un sistema di misurazione, dalla complessità dell'impianto ecc.

Ne consegue che lo scopo di questo lavoro è quello di determinare il valore dell'efficienza, prendendo in considerazione un data center per volta e con particolare occhio di riguardo verso l'analisi delle varie condizioni in cui operano i vari centri di elaborazione dati.

In accordo con il Servizio Manutenzione dell'Università di Padova, in questa tesi sono stati oggetto di attenzione i data center di:

- Via San Francesco
- Galleria Spagna
- Dipartimento di Fisica
- Ingegneria dell'informazione
- Ingegneria industriale
- Ingegneria civile
- Edificio Botta



## **2 - Analisi energetica dei data center di Ateneo**

### **2.1 - Strumentazione utilizzata**

Gli strumenti utilizzati durante l'analisi energetica sono molteplici e la metodologia di misura utilizzata per ottenere i dati è differente da data center a data center. Le condizioni in cui si è dovuto operare e le diversità negli impianti hanno comportato l'uso di più metodi e strumenti di misura, in modo da adattarsi di volta in volta a tali condizioni nel miglior modo possibile.

Gli strumenti utilizzati sono i seguenti:

- Efergy three-phase e2 monitor: è un piccolo strumento dotato di uno schermo di lettura, di tre pinze amperometriche e di un sensore wireless che invia al monitor i dati misurati attraverso le pinze;
- La diagnostica interna di automisurazione degli UPS: molti tra gli UPS più moderni sono dotati di uno strumento di automisurazione interno che può essere connesso in rete. Dalla lettura di questi valori si può risalire alla potenza erogata dall'UPS;
- Sistema di misurazione proprio del data center: è il miglior modo per osservare l'andamento delle varie potenze assorbite ed erogate all'interno del centro di calcolo. Solo uno dei data center ne è dotato;
- Vari strumenti da quadro posizionati all'interno dei quadri elettrici generali. In questo caso non c'è la possibilità di registrare dati, per cui dalla loro lettura si può solamente ricavare il valore istantaneo di potenza. L'uso delle letture di questi strumenti è stato utilizzato come operazione di controllo, oppure solo nel caso non ci fossero altri metodi per procedere con l'analisi del centro.

Particolare attenzione va posta sulla scelta dell'uso dello strumento della Efergy. Questo strumento di misura, che si può vedere in figura 11, è un wattmetro che tramite l'uso di pinze amperometriche permette di misurare la potenza, sia monofase che trifase. La particolarità è che questo strumento nasce come strumento di controllo in ambito civile, per cui non è dotato di un elevato grado di sensibilità. Le pinze amperometriche difatti non misurano la tensione, ma solo la corrente. La

tensione va impostata di default, dopodiché il calcolo della potenza che fornisce in uscita è semplicemente il prodotto tra le due.



**Figura 11** – *Efergy three-phase e2 monitor*

Il funzionamento dell'apparecchio della Efergy è il seguente: il sensore wireless dello strumento determina il valore di corrente ogni 6 secondi e lo invia al monitor. La registrazione dei dati è invece caratterizzata da un'ancor minore sensibilità, in quanto il dispositivo registra solamente la media oraria delle letture eseguite. Dai dati registrati si può pertanto osservare solo l'andamento nel tempo della potenza media oraria, o equivalentemente dei kilowattora assorbiti in un'ora.

Per tutti questi motivi, secondo i dati di targa dello strumento, l'accuratezza è solo di poco superiore al 90%.

Perché dunque è stato deciso di utilizzare questo particolare strumento? Il motivo è legato alle normative sulla sicurezza interna dell'Università di Padova. Per ottenere un valore di PUE sufficientemente buono è necessario utilizzare i consumi dei vari settori del data center in funzione di un periodo abbastanza lungo di tempo. Ciò significa che è necessario lasciare lo strumento in posizione di misura per almeno qualche giorno. Il problema è che la normativa interna di sicurezza di Ateneo impone che i quadri elettrici non possano rimanere in posizione aperta per un lungo periodo di tempo se non c'è un tecnico che presidia il quadro. Generalmente gli strumenti di misura caratterizzati dalla capacità di registrare dati e dalla presenza di

pinze amperometriche sono piuttosto ingombranti, per cui non è possibile inserirli all'interno dei quadri. Lo strumento della Efergy invece ha il pregio di avere dimensioni ridotte, per cui lo si può infilare all'interno del quadro elettrico chiuso, così da poter eseguire le misurazioni in sicurezza e rispettando la normativa. L'aspetto negativo è l'accuratezza dello strumento, che è decisamente bassa. Proprio per questo motivo, quando è stato possibile, si è preferito utilizzare per il calcolo dell'efficienza i dati ricavati dalla diagnostica degli UPS.

## **2.2 - Data center di via San Francesco**

L'attivazione formale di una struttura finalizzata all'erogazione di servizi informatici risale all'inizio del 1970, quando il primo centro di elaborazione dati forniva potenza di calcolo all'Università, e anche a gruppi di ricerca e a strutture esterne all'Ateneo, come ad esempio l'Osservatorio Geofisico di Trieste e i consorzi di bonifica del Veneto. Dopo varie evoluzioni nel corso degli anni, dal 2012 il data center ha raggiunto la configurazione attuale, con una potenza di calcolo nell'ordine del milione di volte superiore a quella degli anni '70 [12].

Il data center di via San Francesco è uno dei data center più importanti dell'università, e insieme al data center di Galleria Spagna fa parte del Centro Servizi Informatici di Ateneo (CSIA). Esso provvede all'erogazione di servizi informatici eterogenei che sono in parte di utilizzo generale per tutto l'Ateneo, in parte destinati all'Amministrazione Centrale o a specifiche strutture e in parte rivolti a istituzioni pubbliche e private esterne all'Ateneo.

Il centro di calcolo, tra uffici e sale server occupa un intero edificio, il palazzo Sala. In particolare il piano interrato è dedicato al nodo GARR con relativo UPS e condizionamento. Nei due piani superiori ci sono le due sale server che contengono le varie apparecchiature IT, l'UPS generale e le unità CRAC. All'ultimo piano dell'edificio sono disposti i quattro gruppi frigo dell'impianto di condizionamento.

Come già accennato, il data center è anche sede di uno dei due nodi GARR (Gruppo per l'Armonizzazione delle Reti della Ricerca) di Padova, dove vengono realizzati i servizi istituzionali rivolti all'Ateneo, alle strutture decentrate e ad alcuni enti esterni convenzionati.

Ma cos'è esattamente il GARR? Il GARR è un ente che collega telematicamente tutte le principali università italiane e i centri di ricerca pubblici. Il suo obiettivo è fornire connettività ad altissime prestazioni tramite avanzate tecnologie ottiche di trasporto, che rendono possibile il supporto ad applicazioni innovative in diversi ambiti disciplinari: come ad esempio fisica, astronomia, calcolo distribuito, energia e ambiente, ricerca biomedica ecc. È collegato con tutte le reti di ricerca europee e mondiali e permette a docenti, studenti e ricercatori di comunicare e collaborare con i colleghi di tutto il mondo [22].

Oltre al nodo GARR, le ulteriori finalità e compiti del Centro sono:

- Progettare, sviluppare e gestire le risorse informatiche dell'Ateneo;
- Costituire un punto di riferimento e di raccordo istituzionale con i Dipartimenti e l'Amministrazione centrale;
- La gestione in continuità ed efficienza dei sistemi informativi esistenti, garantendo la continuità di servizio delle applicazioni informatiche e telematiche di importanza critica per l'Ateneo;
- Il coordinamento, il controllo e la gestione di nuovi sistemi informativi;
- Il controllo di gestione e la razionalizzazione dei costi di Information and Communication Technology (ICT) di Ateneo;
- Il supporto all'innovazione;
- La gestione di rapporti di partenariato con altre Università, Enti pubblici e privati, sia nazionali che internazionali nei settori di interesse dell'Informatica e Telematica;
- L'erogazione di un servizio di consulenza tecnica per lo sviluppo di progetti di particolare complessità da parte delle strutture dell'Ateneo [12].

### ***2.2.1 - Componenti del data center***

#### *Apparecchiature IT*

Gli aspetti dimensionali delle infrastrutture e delle piattaforme gestite dal centro di calcolo sono:

- 57 server fisici e 500 server virtuali

- 582 core (unità di elaborazione centrale) e circa 6,8 TeraByte di memoria centrale (RAM), per i server fisici
- Circa 520 TB (TeraByte) utili di memoria esterna, su vari livelli di storage disco
- 4 robotiche per backup degli storage disco su nastri magnetici, attraverso le quali vengono realizzati circa 10.000 salvataggi al mese e mantenuti dati storicizzati per oltre 700 TeraByte su oltre 1000 nastri (cassette)
- 16 database Oracle, 5 database Mysql, 2 database Mongo DB
- 13 i firewall a protezione del CSIA e delle reti gestite
- 17 i router VPN (Virtual Private Network) per le sedi decentrate dell'Amministrazione Centrale
- 65 apparati di rete
- 43 POP in ambito urbano, 12 in ambito extraurbano, banda aggregata di 300 Gbps (Gigabit per second), più di 10.000 stazioni collegate
- Gestione del link su GARR con banda di 10Gbps
- Circa 11.000 caselle di posta elettronica per il personale (6 TeraByte di posta trattata) e circa 90.000 caselle di posta elettronica per studenti
- Circa 1200 le postazioni desktop gestite centralmente e con possibilità di supporto in loco
- Oltre 2.100.000 il numero di accessi mensili al Single Sign On di Ateneo [12].

### *UPS*

Il data center ha a disposizione due gruppi di continuità. Il primo, più grande, è l'UPS generale, il cui compito è quello di alimentare le sale server principali, mentre il secondo, più piccolo, ha lo scopo di sostenere le apparecchiature del nodo GARR nell'altra sala server.

I dati di targa dell'UPS generale sono i seguenti [24]:

- Modello Emerson Network Power 80 Net
- Potenza nominale di 100 kVA
- Tensione nominale di 400 V trifase
- PF > 0,99

- THD < 3%
- Rendimento massimo 98%

Quest'UPS non è molto recente, ha circa 8 anni di vita. Tuttavia presenta caratteristiche tecniche di ottimo livello. La particolarità di questo gruppo di continuità è la durata delle batterie, che è dell'ordine delle due ore (generalmente le batterie durano qualche decina di minuti). La motivazione di un tempo così lungo sta nel luogo in cui si trova Palazzo Sala, cioè in pieno centro storico. In questo sito, per ragioni legate alla sicurezza non è possibile installare un gruppo elettrogeno diesel, per cui per garantire un discreto tempo di funzionamento del data center in caso di blackout si è scelto di ampliare in modo considerevole il pacco batterie dell'UPS. Le batterie necessitano di essere sostituite periodicamente ogni 5 anni circa, l'ultima sostituzione è avvenuta l'anno scorso.

Il secondo UPS ha invece le seguenti caratteristiche tecniche [25]:

- Modello Emerson Network Power Linear MKII 33
- Potenza nominale di 15 kVA
- Tensione nominale in ingresso 400 V trifase
- Tensione nominale in uscita 230V monofase
- PF > 0,7
- THD < 3%
- Rendimento massimo 91%

Come si può osservare dai dati di targa, questo gruppo di continuità ha caratteristiche decisamente meno performanti dell'altro, ma deve anche gestire una potenza nettamente inferiore. Questo UPS è stato montato nel 2006, un anno prima dell'UPS generale.

### *Sistema di refrigerazione*

Il sistema di refrigerazione è diverso da quello di tutti gli altri data center di ateneo. Prima di tutto bisogna considerare il fatto che con i suoi 25/30 anni è decisamente uno dei più antiquati, ed è inoltre uno dei pochi impianti di ateneo che

prevede l'utilizzo di corridoi d'aria fredda e calda per aumentare l'efficienza della trasmissione del calore. In particolare sfrutta il pavimento flottante delle sale server come corridoio preferenziale dell'aria fredda, che salendo poi attraverso apposite fessure poste al di sotto degli armadi rack produce la refrigerazione delle apparecchiature IT. Il flusso caldo esausto viene successivamente aspirato da delle prese d'aria poste su alcuni aeratori.

L'impianto è costituito da quattro gruppi frigo, posti all'ultimo piano dell'edificio: uno è specifico per gli uffici, due per il data center e uno per aumentare la ridondanza del sistema. I dati di targa dei gruppi frigo sono [26]:

- Modello York YCSA 36T
- tensione nominale di 400 V trifase
- Potenza di raffreddamento di 35,7 kW
- Potenza elettrica assorbita di 16,2 kW
- Indice di Efficienza Energetica (EER) di 2,2
- Refrigerante R407C

Si può notare come l'indice di efficienza energetica sia piuttosto basso se confrontato con gli impianti attuali (la logica utilizzata è la vecchia on/off e non quella basata sulla modulazione ad inverter), tuttavia è degna di considerazione l'affidabilità del sistema, che sta lavorando incessantemente da quasi 30 anni.

Questi gruppi frigo raffreddano l'acqua dell'impianto di raffreddamento fino alla temperatura necessaria, dopodiché la inviano alle 6 unità CRAC (Computer Room Air Conditioner) poste all'interno delle sale server. Sono quindi le unità CRAC, che tramite uno scambiatore di calore producono il condizionamento del locale, soffiando l'aria fredda al di sotto del pavimento flottante attraverso appositi bocchettoni, ed aspirando l'aria calda esausta dalle prese poste nella parte alta del locale. Come i gruppi frigo anche le unità CRAC sono molto vecchie, hanno circa 20/30 anni. Inoltre la ditta che le produce è fallita parecchi anni fa, per cui non è stato possibile trovare le caratteristiche tecniche di questi elementi. Però se ne conosce il modello, che è Hiross Supersaver U27 CW, e la potenza elettrica assorbita da ogni unità, che è di circa 2 kW.

### **2.2.2 - Misura dei consumi**

Nella primavera del 2015, l'azienda STC Group s.r.l. ha condotto una campagna di misurazione del data center situato all'interno del palazzo Sala. Durante questa indagine sono stati misurati i consumi dei vari settori del centro di calcolo tramite l'uso di un wattmetro dotato di pinze amperometriche. Il tempo di misura durante il quale sono stati registrati i dati dipende dal settore analizzato, varia da una alle due settimane.

#### *Consumo delle apparecchiature IT*

La stima del consumo IT del centro di calcolo deriva dalle misurazioni eseguite a monte dell'UPS lo scorso anno dall'azienda STC Group s.r.l. Le misurazioni effettuate sono due, la prima è stata fatta sul quadro generale del nodo GARR, la seconda invece è stata realizzata sul quadro generale a monte dell'UPS generale del centro.

I risultati ottenuti sono che la potenza assorbita è praticamente costante al variare nel tempo per entrambe le misurazioni, ed in particolare la potenza mediamente assorbita dal gruppo di continuità che alimenta il nodo GARR è di 4,5 kW, mentre la potenza assorbita dall'UPS generale è di 42 kW.

Per cui per ottenere una stima dell'assorbimento delle apparecchiature IT è necessario moltiplicare tali valori per il rendimento degli UPS. Nell'ipotesi in cui tutti e due i gruppi di continuità funzionino a massimo rendimento (ipotesi attendibile in quanto i fattori di carico ai quali lavorano non sono troppo bassi) si ha che l'UPS del GARR ha un rendimento del 91%, mentre quello generale del 98%.

La potenza assorbita mediamente dal nodo GARR ( $P_{ITGARR}$ ) vale:

$$P_{ITGARR} = 4,5 * 0,91 = 4,1 \text{ kW}$$

La potenza assorbita mediamente dai dispositivi IT delle sale server ( $P_{IT}$ ) vale:

$$P_{IT} = 42 * 0,98 = 41,1 \text{ kW}$$

### *Consumo del sistema di raffreddamento*

Come per la stima del consumo delle apparecchiature IT, anche per il sistema di raffreddamento del centro sono state utilizzate le misure eseguite lo scorso anno dall'azienda STC Group s.r.l. In questo caso però sussiste il problema che sono disponibili solo le misurazioni dei quattro gruppi frigo, ma non sono disponibili dati per le sei unità CRAC e per l'impianto di condizionamento dedicato al nodo GARR.

Per quanto riguarda i gruppi frigo, dall'indagine eseguita nel periodo di due settimane, si è riscontrato che la potenza mediamente assorbita ( $P_f$ ) è di 24 kW, tuttavia l'andamento è fortemente variabile nel tempo a causa della logica on/off con la quale funzionano i gruppi.

Il consumo delle unità CRAC è invece frutto di una stima legata allo strumento da quadro a cui fanno riferimento e dall'analisi del consumo totale in bolletta del palazzo. Questo a causa del fatto che per motivi di sicurezza non è stato consentito di aprire il quadro ed utilizzare le pinze amperometriche dello strumento della Efergy. In ogni caso dalla stima effettuata la potenza mediamente assorbita da un'unità è 2 kW, ed essendocene 6, il totale è:

$$P_{CRAC} = 12 \text{ kW}$$

Il consumo relativo al condizionamento della sala dedicata al nodo GARR non è stato possibile da determinare, ma ne verrà comunque tenuto conto in modo indiretto attraverso l'uso dei consumi segnati in bolletta, durante il secondo calcolo del PUE eseguito nei prossimi paragrafi.

### *Perdite negli UPS*

Le perdite negli UPS sono direttamente collegate al rendimento degli stessi, per cui in accordo con i paragrafi precedenti si ha che le perdite nell'UPS del nodo GARR valgono:

$$P_{pCRAC} = 0,4 \text{ kW}$$

E la potenza persa mediamente all'interno dell'UPS generale è di:

$$P_p = 0,9 \text{ kW}$$

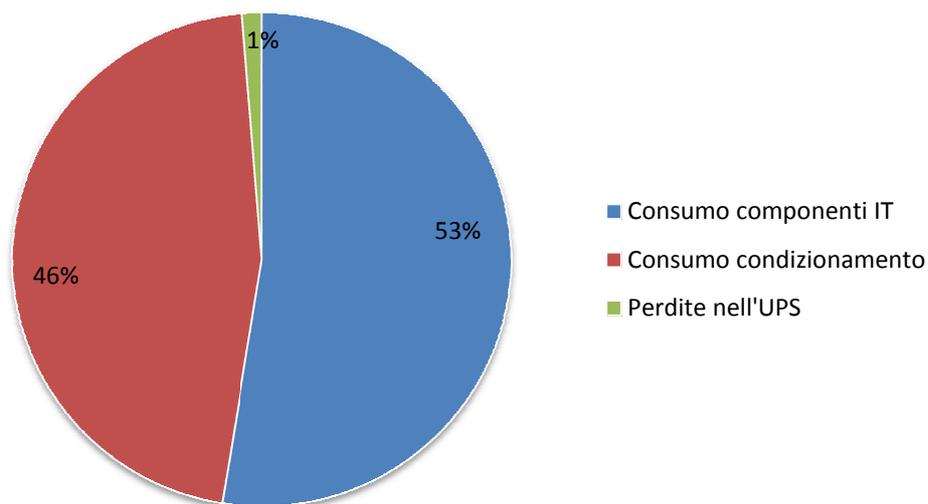
### 2.2.3 - Calcolo dell'efficienza

Le energie medie orarie in gioco nelle varie sezioni del data center sono:

- $E_{IT} = 41,1 \text{ kWh}$ , è il consumo medio orario delle apparecchiature IT;
- $E_f = 24 \text{ kWh}$ , è il consumo medio orario assorbito dai gruppi frigo;
- $E_{CRAC} = 12 \text{ kWh}$ , è il consumo medio orario assorbito dalle unità CRAC;
- $E_p = 0,9 \text{ kWh}$ , è l'energia persa in un'ora all'interno dell'UPS.
- $E_{TOT} = E_{IT} + E_f + E_{CRAC} + E_p = 41,1 + 24 + 12 + 0,9 = 78 \text{ kWh}$ , è il consumo medio orario totale.

Il nodo GARR non è presente in questo primo calcolo dell'efficienza perché non si conosce la potenza del suo impianto di raffreddamento.

In figura 12 è riportata la suddivisione percentuale dei consumi all'interno del data center.



**Figura 12 - Suddivisione consumi percentuale**

Il calcolo del PUE è:

$$PUE = \frac{E_{IT} + E_f + E_{CRAC} + E_p}{E_{IT}} = \frac{41,1 + 24 + 12 + 0,9}{41,1} = 1,9$$

Come si può notare il PUE calcolato è abbastanza alto, significa che per ogni Watt utilizzato dalle apparecchiature IT ne serve quasi un altro per alimentare i servizi ausiliari. In particolar modo risulta essere molto energivoro l'impianto di raffreddamento, che nonostante conti su un efficace sistema di trasmissione dei flussi d'aria a pavimento flottante, è comunque assai vecchio e caratterizzato da un basso indice di efficienza energetica (EER).

Per questo data center è disponibile la bolletta elettrica di Palazzo Sala, il che permette di fare la seguente ipotesi. Se si considera il fatto che tutto il Palazzo ha ragione di esistere solo per il funzionamento del centro di elaborazione dati, si può ritenere che il consumo totale non sia più quello calcolato in precedenza ( $E_{TOT}$ ), che è dato dalla somma del solo consumo delle apparecchiature IT, impianto di condizionamento e perdite nell'UPS. Ma che il consumo totale comprenda tutta l'energia assorbita dal palazzo, quindi che tenga conto degli uffici, del loro condizionamento e del nodo GARR.

In questa ipotesi il consumo totale vale:

- $E'_{TOT} = 93 kWh$ , è il consumo medio orario totale dell'intero Palazzo Sala, considerando che la bolletta elettrica di maggio 2015 indica un consumo totale mensile di circa 67600 kWh.
- $E'_{IT} = E_{IT} + E_{GARR} = 41,1 + 4,1 = 45,2 kWh$ , è il consumo medio orario delle apparecchiature IT, comprese le apparecchiature IT del nodo GARR.

Il calcolo del nuovo PUE' è quindi:

$$PUE' = \frac{E'_{TOT}}{E'_{IT}} = \frac{93}{45,2} = 2,0$$

Si nota che il calcolo del PUE non è variato di molto, è solo aumentato di un punto decimale. Questo è dovuto al fatto che le potenza assorbita dagli uffici e del gruppo GARR sono quasi trascurabili rispetto alla potenza assorbita dal data center, che è uno dei più grandi dell'intero Ateneo di Padova.

In seguito, quasi tutti i data center analizzati non possiederanno una bolletta elettrica specifica da cui poter ricavare la potenza assorbita totale, per cui sarà necessario utilizzare una procedura di calcolo simile a quella del primo PUE analizzato in questo centro di elaborazione. È infatti importante ricordare che per confrontare il PUE di due data center diversi è essenziale che il calcolo con il quale sono stati eseguiti sia lo stesso.

### **2.3 - Data center di Galleria Spagna**

L'Università degli Studi di Padova, attraverso il Centro Servizi Informatici di Ateneo (CSIA) gestisce dal 2009 il data center situato in galleria Spagna 28, anche denominato VSIX.

Il VSIX è un punto d'interscambio e interconnessione, neutrale e senza fini di lucro, tra Internet Service Provider e operatori di rete regionali, nazionali ed internazionali, che si pone come obiettivo lo sviluppo dell'interconnessione tra operatori internet.

Questo data center è sede di uno dei nodi di backbone della rete GARR, oltre a quello situato nel centro di calcolo in via San Francesco. Inoltre, svolge la funzione di sito di disaster recovery per la pubblica amministrazione regionale e fornisce il servizio di Internet Exchange alle istituzioni pubbliche e agli operatori privati, oltre che fornire servizi di collocation per i Carrier (le aziende che si occupano della trasmissione dati tramite fibra) [12].

L'attività principale svolta al VSIX consiste nella gestione del NAP [23], con cui si erogano i servizi di peering pubblico e privato verso tutti gli afferenti. Lo scopo principale è la promozione dell'utilizzo di Internet nel Veneto per mezzo della cooperazione e la comunicazione tra gli Internet Service Provider locali, nazionali ed internazionali. Un NAP (o internet Exchange) è il luogo fisico all'interno del quale avviene l'interconnessione tra le reti di più operatori internet, che consente di razionalizzare questa attività di coesistenza cooperativa.

L'attività di maggior responsabilità del data center è l'housing, che consiste nell'ospitare, vigilare, fornire energia e continuità di servizio alle apparecchiature IT collocate dai clienti all'interno delle sale del centro. Questo implica che la logica di funzionamento di questo data center è differente da quella classica: i tecnici del centro non gestiscono direttamente le apparecchiature IT, ma semplicemente offrono un ambiente adeguato e protetto ai clienti che vogliono posizionare i loro componenti. Ciò comporta l'impossibilità di una standardizzazione dei sistemi informatici, perché ogni cliente installa i componenti che preferisce. La logica del centro è quindi quella di essere capace di adattarsi nel miglior modo possibile alle varie condizioni che si possono presentare.

Il centro di calcolo si trova al sesto piano di un edificio in zona industriale, ed è costituito, oltre ad alcuni uffici, da sei locali che ospitano le apparecchiature IT. Uno di questi contiene l'UPS e il sistema di continuità. Le altre stanze invece sono divise logicamente in base al target di utenza: ci sono due sale dedicate alla Regione Veneto; una è destinata al GARR e ai carrier che la servono; le altre 2 sono ad uso promiscuo di operatori privati ed istituzionali e di carrier locali, nazionali ed internazionali che aderiscono a VSIX.

### ***2.3.1 - Componenti del data center***

Il data center di Galleria Spagna nel suo insieme presenta un'organizzazione standard: è difatti costituito da un UPS generale, da un gruppo elettrogeno, da un impianto di raffreddamento e deumidificazione e dai componenti IT.

#### *Apparecchiature IT*

A differenza dei classici data center, in questo caso le apparecchiature IT sono scelte e montate direttamente dai clienti del centro. I tecnici si occupano solamente dei servizi ausiliari che hanno lo scopo di permettere a queste apparecchiature di funzionare in un ambiente ottimale. Per motivi legati alla privacy non è possibile fornire una lista di tutti i modelli di apparecchiatura IT montati nel centro, tuttavia nella seguente tabella è riportato il numero e la classificazione degli apparati IT.

	<b>RETE DATI</b>	<b>ELABORAZIONE DATI E MEMORIA</b>	<b>RETE ELETTRICA AC/DC</b>	<b>RETE ELETTRICA AC/AC</b>
<b>VSIX INTERNI</b>	12	6	0	2
<b>ADERENTI</b>	132	49	9	3
<b>TOTALE</b>	144	55	9	5

**Tabella 3 - Suddivisione apparecchiature IT**

La suddivisione è fatta in modo da distinguere gli apparati di proprietà del data center da quelli che invece vengono ospitati, ed attraverso le seguenti categorie:

- **RETE DATI:** dispositivi dedicati esclusivamente alla rete dati, come ad esempio gli apparati attivi di trasporto, i router, gli switch, i firewall e l'accesso remoto;
- **ELABORAZIONE DATI E MEMORIA:** apparati dedicati solamente all'elaborazione, al trasporto e allo stoccaggio dati per servizi IT, come ad esempio i server, i SAN switch, i sistemi storage e il backup;
- **SISTEMI AC/DC:** sistemi per la conversione di corrente alternata in corrente continua a 48 V, come ad esempio i raddrizzatori e le relative stazioni di energia complete di batterie ausiliarie. Questi dispositivi sono utilizzati quasi esclusivamente per l'alimentazione di apparati della categoria RETE DATI;
- **SISTEMI AC/AC:** sistemi il cui scopo è il miglioramento della qualità elettrica nella distribuzione periferica, installati direttamente all'interno degli armadi rack, ad esempio UPS di piccola taglia, STS (Static Transfer Switch) e sistemi RPS (Redundant Power System). Tra questi dispositivi non sono stati conteggiati l'UPS generale ed il gruppo elettrogeno, che verranno poi considerati a parte.

Come si può notare dalla tabella, esiste una netta preponderanza delle apparecchiature IT ospitate rispetto a quelle di proprietà del centro, ed anche una

grossa prevalenza dei dispositivi dedicati alla rete dati rispetto a quelli destinati all'elaborazione dati e allo storage.

### *UPS*

L'UPS utilizzato in questo data center è probabilmente uno dei più avanzati dell'ateneo. I dati di targa sono i seguenti:

- Modello Green Power 2.0 Modulys GP
- Potenza nominale di 100 kVA
- Moduli da 25 kVA
- PF = 1
- THD < 3%
- Tensione nominale 400 V trifase
- Rendimento massimo 96,5%
- Durata batterie di circa 10 minuti a funzionamento nominale

Questo UPS è caratterizzato dal fatto di essere completamente modulare e ridondante. L'elemento base è il modulo (o blocco) da 25 kVA, che una volta montato sulla struttura dell'UPS è del tutto indipendente. La logica di questo gruppo di continuità è quella di inserire un numero di moduli sufficiente ad erogare la potenza richiesta. In questa particolare applicazione sono montati quattro blocchi, per ottenere una potenza nominale di 100 kVA, tuttavia è possibile arrivare fino ad otto, per un totale di 200 kVA.

Questo tipo di logica modulare permette di evitare il sovradimensionamento iniziale del progetto, causato dalle incertezze intrinseche delle espansioni future non pianificabili. Il motivo è che nel momento in cui la potenza richiesta dal data center varia, è sufficiente aggiungere o rimuovere alcuni moduli, per poter così lavorare sempre nelle condizioni ottimali. Da ricordare inoltre è che la sostituzione dei vari blocchi può essere fatta "a caldo", cioè senza spegnere l'UPS.

Ciò comporta che in caso di guasto di un modulo o di una sua aggiunta, le operazioni di manutenzione possono essere eseguite senza intaccare la continuità di servizio del centro di calcolo.

### *Gruppo elettrogeno*

Il data center di Galleria Spagna, sede del disaster recovery della regione, del nodo GARR e di altri importanti servizi di telecomunicazione, gestisce una serie di informazioni di enorme importanza, per cui la continuità assoluta dev'essere sempre garantita. Per questo motivo il centro è alimentato da un sistema di continuità costituito sia da un UPS, per far fronte alle brevi interruzioni, sia da un gruppo elettrogeno, nel caso in cui un blackout insista per tempi maggiori.

Il gruppo elettrogeno diesel si avvia automaticamente nell'eventualità in cui il blackout prosegua per più di qualche minuto, ed è dimensionato per garantire almeno mezza giornata di autonomia del centro in modo non presidiato. I dati di targa del gruppo sono i seguenti:

- Potenza nominale di 200 kVA
- Tensione nominale di 400 V trifasi
- Fattore di potenza di 0,8
- Capacità del serbatoio massima di 500 litri.

### *Sistema di refrigerazione*

Ogni sala del data center è raffreddata e deumidificata da una serie di condizionatori trifase di tipo tradizionale ad espansione diretta, che mantengono la temperatura a 22 gradi. In totale ci sono 11 condizionatori, tutti uguali tra loro eccetto qualche piccola differenza di modello e di età. I dati di targa sono i seguenti:

- Modello Daikin FBQ140C8
- tensione nominale di 400 V trifase
- potenza frigorifera nominale di 13,4 kW
- potenza elettrica di 4,02 kW
- Indice di Efficienza Energetica (EER) di 3,33
- Refrigerante R410A

In tutte le sale è presente il pavimento flottante però non è usato per fare da corridoio freddo, ma solo come passaggio per i cavi ed i cablaggi. In alcune sale sono

disposti dei canali per convogliare in maniera più precisa l'aria fredda negli armadi rack, in modo da prevenire la formazione dei cosiddetti "hot spot", o punti caldi.

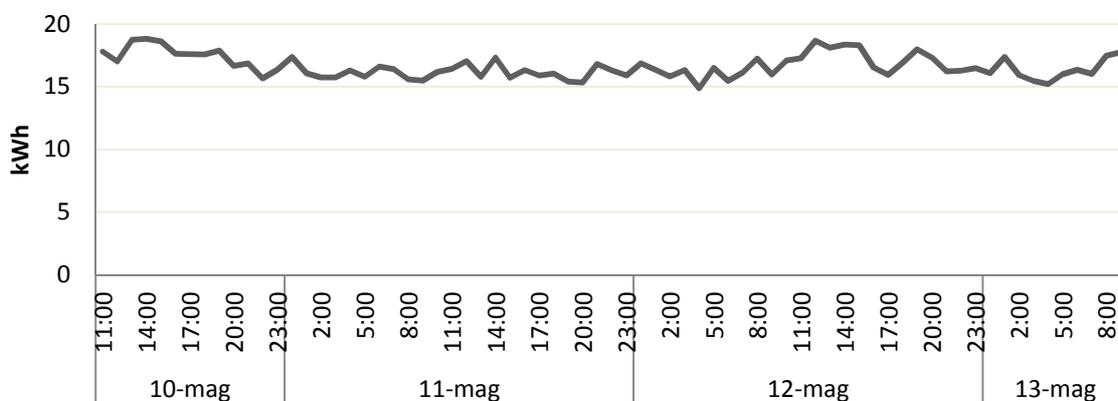
### **2.3.2 - Misura dei consumi**

#### *Consumo delle apparecchiature IT*

L'UPS è dotato di una diagnostica di automisurazione connessa in rete, da cui si può leggere la potenza erogata dal gruppo di continuità e di conseguenza sapere qual è il consumo totale delle apparecchiature IT. I dati ricavati sono registrati dai tecnici del data center, e dall'analisi della potenza erogata dall'UPS nel tempo si è osservato che la potenza assorbita dai componenti IT è praticamente costante e vale 51,5 kW. La fluttuazione di tale potenza è estremamente ridotta, può variare al massimo di 1 kW rispetto al valor medio.

#### *Consumo del sistema di raffreddamento*

La misura del consumo del sistema di refrigeramento è stata eseguita posizionando le pinze amperometriche dello strumento della Efergy nel quadro generale del data center, sull'interruttore denominato "interruttore generale impianto di condizionamento". Il tempo di misura è di quattro giorni, tempo che dovrebbe essere sufficiente a fornire una stima abbastanza precisa del consumo. In figura 13 si può osservare l'andamento nel tempo dei consumi del sistema di refrigerazione.



**Figura 13** - *Andamento consumi del sistema di condizionamento*

Il consumo orario oscilla intorno al valor medio che è di 16,6 kWh, con una punta massima di 18,8 kWh ed un minimo di 14,8 kWh. L'andamento è piuttosto piatto e non si apprezzano differenze tra il giorno e la notte o tra giorni successivi.

### *Perdite nell'UPS*

La potenza nominale dell'UPS è di 100 kW e la potenza media erogata è di 51,5 kW. Per cui il fattore di carico percentuale vale:

$$f_c\% = \frac{\text{Potenza IT} * 100}{\text{Potenza nominale UPS}} = \frac{51,5 * 100}{100} = 51,5\%$$

Il fattore di carico percentuale è sufficientemente alto da poter ritenere che il rendimento al quale funziona l'UPS corrisponda al suo rendimento massimo, che è del 96,5%. È importante notare che uno dei motivi per cui l'efficienza è così alta è la modularità dell'UPS, che permettendo di utilizzare un numero opportuno di blocchi, consente al gruppo di continuità di lavorare nelle sue condizioni di rendimento ottimali.

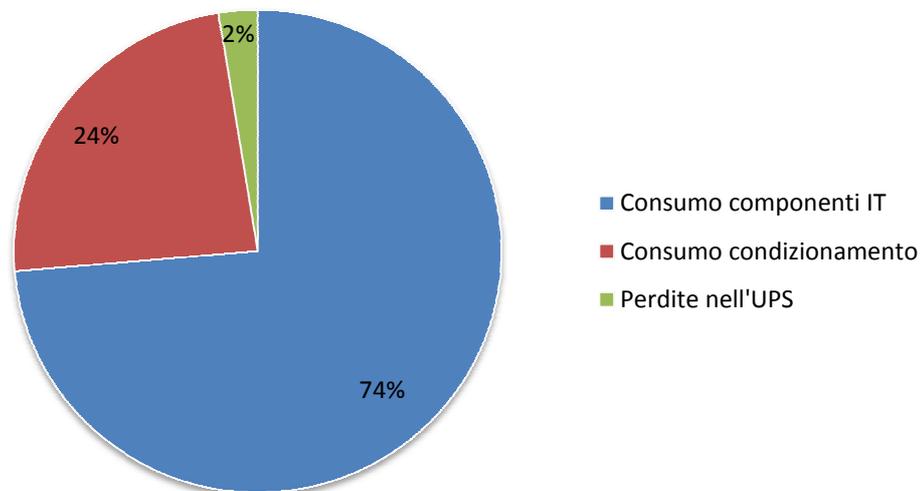
La potenza persa mediamente nell'UPS vale:

$$E_p = \text{Potenza IT} * (1 - \eta_{UPS}) = 51,5 * (1 - 0.965) = 1,8 \text{ kW}$$

### **2.3.3 - Calcolo dell'efficienza**

Le energie orarie medie in gioco nelle varie sezioni del data center sono:

- $E_{IT} = 51,5 \text{ kWh}$ , è il consumo medio orario delle apparecchiature IT;
- $E_f = 16,6 \text{ kWh}$ , è il consumo medio orario assorbito dai gruppi refrigeranti;
- $E_p = 1,8 \text{ kWh}$ , è l'energia persa in un'ora all'interno dell'UPS.



**Figura 14 - Suddivisione consumi percentuale**

In figura 14 è riportata la suddivisione percentuale dei consumi del data center, in cui spicca la preponderanza dell'energia assorbita dai componenti IT rispetto alle altre componenti, e che anticipa ancor prima del calcolo del PUE, un'elevata efficienza del centro.

Il calcolo del PUE è:

$$PUE = \frac{E_{IT} + E_f + E_p}{E_{IT}} = \frac{51,5 + 16,6 + 1,8}{51,5} = 1,4$$

Il valore ottenuto è molto buono, il migliore tra quelli calcolati per i vari data center di Ateneo. I motivi di questo ottimo risultato vanno ricercati anche nella tipologia di apparecchiature IT installate: mentre in un centro di calcolo generico il componente più impiegato è il server, in questo caso a far da padrone sono gli apparati di rete, che per loro natura assorbono meno energia dei server e quindi necessitano di esser refrigerati in misura minore.

Tuttavia bisogna considerare che la gestione di questo data center non è quella tradizionale, ma il settore relativo alle apparecchiature IT è gestito per la maggior parte dagli afferenti. Di conseguenza gli interventi di efficienza energetica da parte

dei tecnici possono essere eseguiti solamente sui sistemi ausiliari e limitatamente alla disposizione dei componenti informatici. Ad esempio, in questo data center non sarà mai possibile prevedere delle file di armadi separate da corridoi di aria calda e fredda (che è un efficiente sistema di distribuzione del flusso d'aria), perché i vari componenti IT, scelti da più clienti e quindi differenti tra loro, avranno le ventole di raffreddamento interno che soffiano in direzioni diverse. Nonostante ciò il data center riesce ad offrire un ambiente adeguato e sicuro a tutte le apparecchiature IT, il tutto con un'elevata efficienza dovuta ad un corretto dimensionamento dei vari sistemi ausiliari che lo compongono.

Anche se il centro di calcolo presenta già un ottimo valore di PUE, esistono comunque degli interventi, che se attuabili, potrebbero aumentarne ancora di più l'efficienza energetica.

Una prima operazione potrebbe essere quella di sfruttare il pavimento flottante come corridoio d'aria fredda per il condizionamento. È comunque necessario prima valutare se l'altezza del pavimento e lo spazio all'interno dei locali siano sufficienti a contenere un sistema di questo tipo. Nel caso in cui il raffreddamento a corridoio d'aria fredda fosse fattibile da implementare, l'aspetto positivo sarebbe lo sfruttamento del già esistente ma non ancora utilizzato pavimento flottante, in modo da ottenere un aumento del rendimento del centro. Gli aspetti negativi sono che l'intervento costringerebbe a spegnere per qualche giorno il data center, operazione non facilmente attuabile. Sarebbe anche necessario cambiare i condizionatori ad espansione diretta di tipo tradizionale con dei gruppi frigo più performanti e dotati di bocchettoni e prese d'aria adatti a questo tipo di sistema di trasmissione del calore. Da valutare ci sarebbe inoltre il sistema di raffreddamento a corridoio d'aria calda, che consiste nel contenimento del flusso d'aria esausto in uscita dagli armadi rack.

Un altro intervento che comporterebbe un notevole miglioramento dell'efficienza energetica è sempre legato all'impianto di raffreddamento, e consisterebbe nell'utilizzo del free cooling. Questo sistema produce un raffreddamento gratuito che permette, quando si hanno temperature esterne basse, lo spegnimento del compressore, e quindi un notevole abbassamento dei consumi del sistema di condizionamento [3]. Gli aspetti negativi sono simili a quelli della soluzione precedente, cioè la necessità dello spegnimento del centro e la sostituzione

dei condizionatori tradizionali. Bisogna inoltre considerare il fatto che l'inserzione delle prese d'aria necessarie allo scambio di calore con l'esterno può compromettere l'estetica dell'edificio, non è quindi sicuro che possa esserne approvata l'installazione.

Pertanto queste soluzioni pare siano difficili da implementare allo stato attuale, ma dovranno essere prese in considerazione qualora in un prossimo futuro ci siano dei grossi interventi di manutenzione o di ammodernamento del data center.

## **2.4 - Data center di Fisica**

Il data center nasce nel 2001 ed è ospitato all'interno dell'edificio del dipartimento di Fisica in via Marzolo 8. Attualmente è il più grande tra tutti i centri di elaborazione dati gestiti dall'Università di Padova, in special modo per quanto riguarda la capacità di calcolo e la potenza assorbita. Le funzioni di questo data center sono da una parte la gestione dei servizi centrali di dipartimento, come ad esempio la rete web, il public log in, il servizio mail ecc. dall'altra invece ci sono le attività legate alla ricerca, che utilizzano la maggior parte dei server, svariati armadi rack e macchine di esperimento. Quasi tutte le apparecchiature IT sono di uso esclusivo del dipartimento di Fisica, esiste solo un esiguo numero di server che fornisce potenza di calcolo per esterni, in particolare per Cloud Veneto.

### ***2.4.1 - Componenti del data center***

Il centro di calcolo del dipartimento di Fisica è organizzato in due locali, uno più piccolo contiene l'UPS ed il condizionatore che lo raffredda. L'altro locale invece è la sala CED vera e propria, caratterizzata da un'organizzazione tipica dei componenti, con le apparecchiature IT disposte su vari rack posizionati al di sopra del pavimento flottante, e un impianto di raffreddamento che mantiene le giuste condizioni di temperatura ed umidità.

#### *Apparecchiature IT*

Il data center di Fisica ospita un'elevatissima quantità di apparecchiature IT, e non è stato possibile fornire un elenco completo che comprenda ognuna di esse.

Tuttavia è stato possibile determinare che tutti questi componenti sono installati su un totale di 41 rack e sono in principal misura server, ma ci sono anche dispositivi di rete e unità di memoria.

### *UPS*

Il gruppo di continuità che alimenta il data center si trova in un piccolo locale in prossimità della sala CED e presenta i seguenti dati di targa:

- Modello Emerson Network Power 80 Net
- Potenza nominale di 200 kVA
- Tensione nominale 400 V trifase
- PF > 0,99
- THD < 3%
- Rendimento massimo 98%
- Durata batterie di circa 30 minuti

L'UPS è un componente piuttosto recente, è stato comprato nel 2012. È lo stesso modello del gruppo di continuità montato nel data center di via San Francesco, per cui valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza: le caratteristiche tecniche sono ottime, anche se però bisogna ricordare che non è modulabile. Tuttavia in questo momento non risulta essere un problema, il gruppo di continuità è ben dimensionato e non sono previste grosse variazioni di carico assorbito dai componenti IT nel prossimo futuro.

Menzione particolare va fatta per il pacco di batterie. Esse garantiscono un tempo di funzionamento di 15 minuti a pieno potenza, attualmente però arrivano a 25/30 minuti per il fatto che l'UPS non è completamente caricato.

Il tempo di funzionamento in caso di blackout è pertanto abbastanza basso, soprattutto se si considera il fatto che il data center non è dotato di un gruppo elettrogeno.

Tra i futuri investimenti che sarebbe opportuno fare ci sarebbe quindi l'acquisto di un gruppo elettrogeno diesel, o perlomeno un ampliamento del pacco batterie dell'UPS, come ad esempio è stato fatto nel data center di via San Francesco.

### *Sistema di refrigerazione*

Il sistema di refrigerazione è composto da cinque gruppi frigo, uno si trova nel locale dedicato all'UPS, mentre gli altri quattro si trovano nel locale CED. L'impianto di condizionamento sfrutta il pavimento flottante per la trasmissione del flusso d'aria. I gruppi frigo spingono l'aria condizionata al di sotto del pavimento, la quale poi risale attraverso delle fessure raffreddando i componenti IT che si trovano all'interno degli armadi rack disposti in file. Questo data center è caratterizzato da una densità di potenza abbastanza alta, intorno ai 9 kW per rack, per cui è necessario l'uso di un sistema di raffreddamento a corridoi d'aria.

I gruppi frigo sono dotati ognuno di due compressori, sono di tipo tradizionale ad espansione diretta e sono modulati tramite inverter. Il modello è Emerson 46UA e la potenza frigorifera nominale è di 46 kW.

Inoltre questo impianto di refrigerazione presenta un parziale sistema di free cooling, funzionante solamente durante il periodo invernale. Consiste in un semplice condotto d'aria che collega la sala CED all'ambiente esterno. Tramite l'accensione di un ventilatore si può introdurre aria fredda dall'esterno verso l'interno per aiutare i gruppi frigo a raffreddare il data center. Sono anche previsti dei filtri che hanno lo scopo di ripulire l'aria esterna: le apparecchiature IT difatti hanno bisogno di lavorare in un ambiente privo di sporco e polvere per funzionare perfettamente. A maggio, durante il periodo di analisi di questo centro calcolo, il sistema a free cooling parziale non era in funzione.

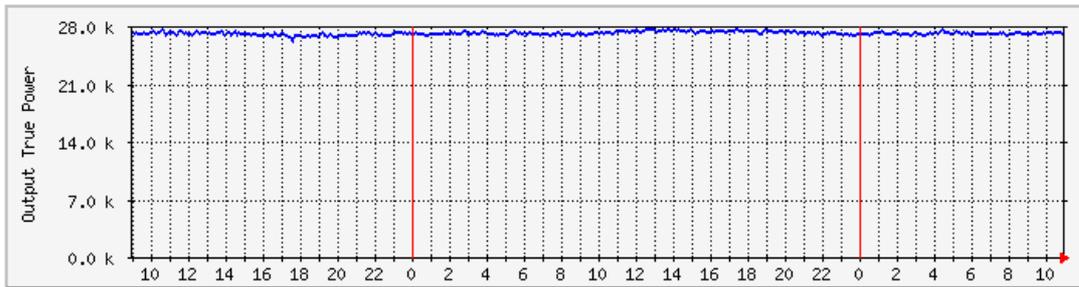
### **2.4.2 - Misura dei consumi**

#### *Consumo delle apparecchiature IT*

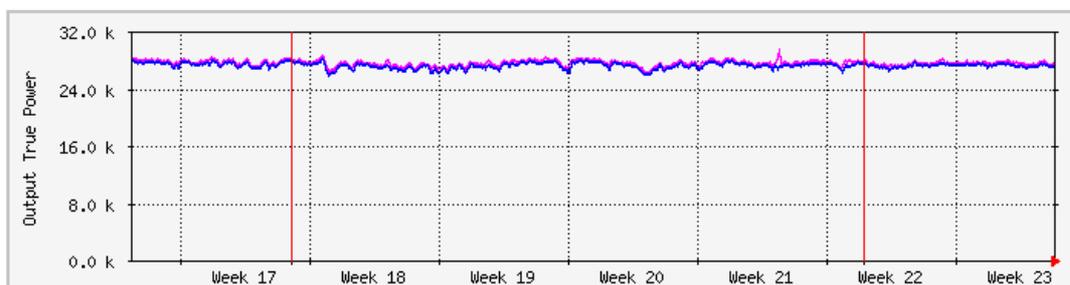
L'UPS che alimenta questo data center dispone di una diagnostica di automisurazione connessa in rete. Sono dunque disponibili i grafici della potenza erogata dal gruppo di continuità per ogni fase. È inoltre l'unico centro di calcolo di Ateneo per il quale sono disponibili i dati della potenza IT assorbita su base annuale.

Prendendo in esame una fase alla volta, si possono vedere in seguito gli andamenti della potenza erogata dall'UPS in funzione di più intervalli di tempo.

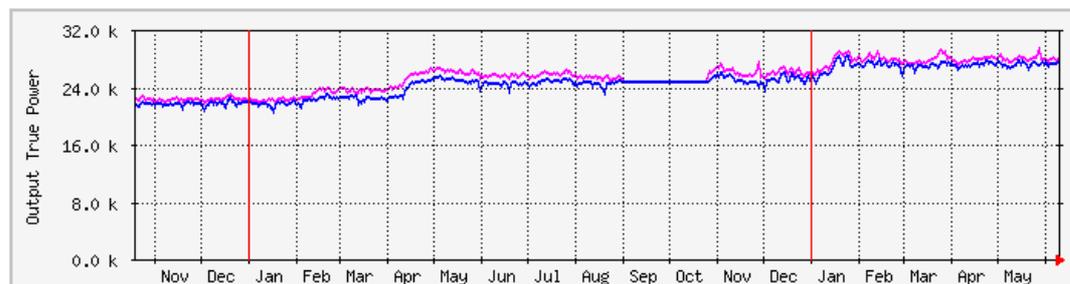
'Daily' Graph (5 Minute Average)



'Monthly' Graph (2 Hour Average)



'Yearly' Graph (1 Day Average)



**Figura 15** – Andamento giornaliero, mensile ed annuale della potenza erogata dalla fase 1

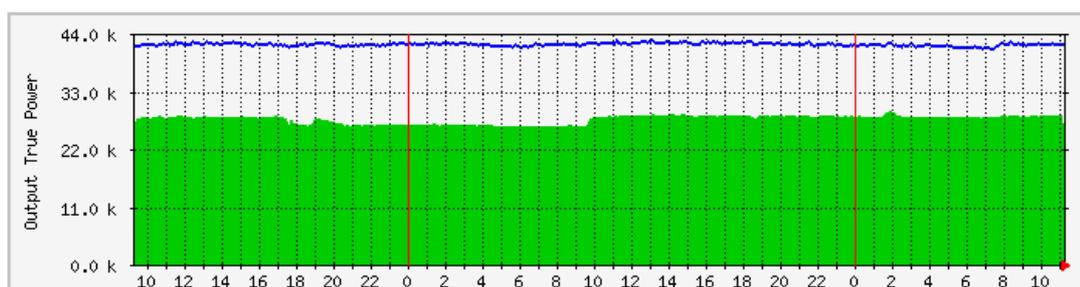
Nel primo grafico di figura 15 è riportato l'andamento giornaliero della potenza erogata dalla fase 1 del gruppo di continuità, e come si può vedere, il valore è pressoché costante a meno di lievi oscillazioni intorno al valor medio. Nel secondo grafico è indicata la potenza erogata su base mensile, da cui si ricava il valor medio che verrà utilizzato poi nel calcolo dell'efficienza,  $P_{f1} = 27,2 kW$ .

Nell'ultimo grafico invece è mostrato l'andamento annuo della potenza. Su una base di tempo così ampia si può percepire per la prima volta la variazione di potenza nel corso del tempo. In particolare si può osservare che la potenza erogata è aumentata in un anno di circa 4 kW, quindi di poco più di un 10%. Questo

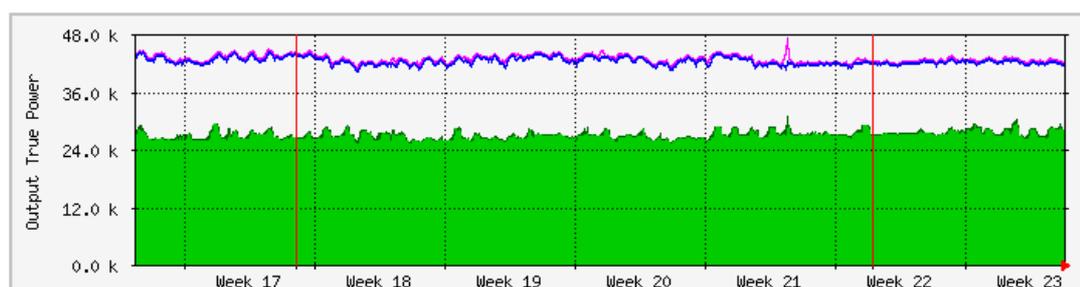
incremento è dovuto all'evoluzione del data center, che progressivamente monta un numero sempre maggiore di apparecchiature per offrire nuovi servizi e potenza di calcolo.

In seguito sono riportati i grafici relativi alle altre due fasi: in verde la fase 2 ed in blu la fase 3.

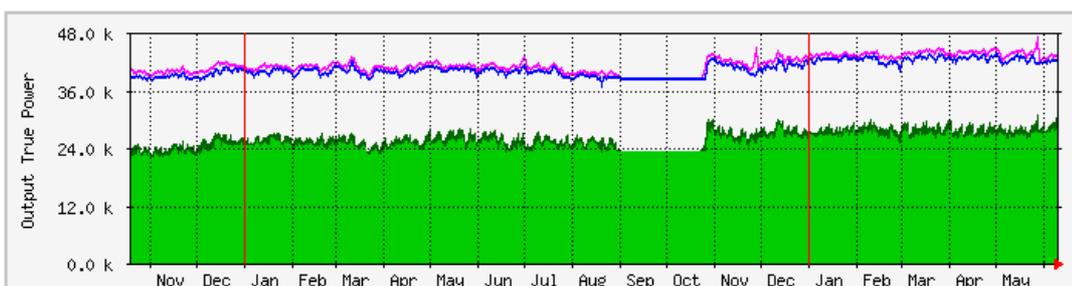
**'Daily' Graph (5 Minute Average)**



**'Monthly' Graph (2 Hour Average)**



**'Yearly' Graph (1 Day Average)**



**Figura 16 - Andamenti giornalieri, mensili ed annuali della potenza erogata dalle fasi 2 e 3**

I grafici riportati mostrano l'andamento delle fasi 2 e 3 in funzione di giorno, mese ed anno, e valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza per la fase 1.

Un'ulteriore particolarità che risulta evidente in questi ultimi grafici è la grossa differenza di carico tra le fasi 1 e 2, e la fase 3. La fase 2 ha un valor medio di

potenza erogata di 27,1 kW, quindi in accordo con la fase 1. La fase 3 invece, con i suoi 42,5 kW è caratterizzata da un valor ben maggiore. Questa asimmetria è dovuta al modo in cui sono montate le apparecchiature IT all'interno degli armadi rack. Molti dispositivi IT, tra i quali i server, sono infatti dotati di doppia alimentazione, poiché per aumentare la ridondanza e la sicurezza del sistema preferiscono prelevare energia da due fasi diverse. Ogni fase è distribuita sul rack tramite la sua PDU ed ogni dispositivo è collegato a due di esse. Il fatto è che la PDU centrale, che in questo data center è relativa alla fase 3, è più facilmente raggiungibile delle altre, per cui ci sono più apparecchiature IT collegate ad essa, con la conseguenza di una distribuzione non simmetrica del carico. Per evitare questa situazione sarebbe opportuno eseguire una trasposizione delle fasi o delle PDU, o perlomeno controllare maggiormente l'alimentazione nel momento in cui si monta un nuovo dispositivo IT.

Riepilogando, la potenza media delle varie fasi è:

- $P_{f1} = 27,2 \text{ kW}$
- $P_{f2} = 27,8 \text{ kW}$
- $P_{f3} = 42,1 \text{ kW}$

La potenza media totale ( $P_{IT}$ ) è data dalla somma:

$$P_{IT} = P_{f1} + P_{f2} + P_{f3} = 27,2 + 28,8 + 42,1 = 97,1 \text{ kW}$$

### *Consumo del sistema di raffreddamento*

Le pinze amperometriche dello strumento della Efergy non sono sufficientemente grandi per poter essere posizionate sulle barre elettriche dell'interruttore generale del sistema di refrigerazione, pertanto non è stato possibile effettuare una misura dell'energia assorbita dall'impianto di condizionamento.

In questo caso è stato necessario sfruttare lo strumento da quadro relativo al sistema di refrigerazione. Dall'osservazione di questo multimetro, in tempi e giorni diversi, si è ricavato in maniera approssimata che mediamente la corrente assorbita da una fase ( $I_f$ ) dell'impianto di condizionamento è di 64 A, mentre la tensione

stellata ( $V_s$ ) vale 225 V. Il  $\cos\varphi$  è stimato ad 1 in quanto la modulazione tramite inverter permette il rifasamento del carico. Ovviamente la precisione di questi valori è ben inferiore a quella che si sarebbe potuta ottenere attraverso uno strumento che registra i dati, tuttavia permette comunque di fornire dei risultati indicativi della potenza assorbita dai gruppi frigo ( $P_f$ ). Questa potenza vale:

$$P_f = 3 * I_f * V_s = 3 * 64 * 225 = 43,2 \text{ kW}$$

#### *Perdite nell'UPS*

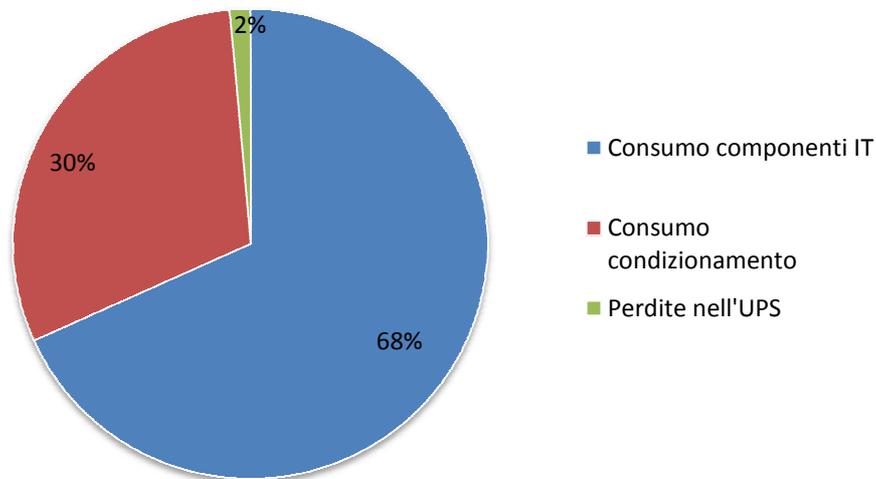
L'UPS lavora ad un fattore di carico ( $f_c$ ) sufficientemente alto, intorno al 50%, per cui si può ritenere che funzioni al rendimento massimo ( $\eta_{UPS}$ ) del 98%. La potenza persa all'interno del gruppo di continuità assoluta vale:

$$P_p = P_{IT} * (1 - \eta_{UPS}) = 97,1 * (1 - 0.98) = 1,94 \text{ kW}$$

#### **2.4.3 - Calcolo dell'efficienza**

La stima dell'efficienza del data center di Fisica passa attraverso il calcolo del PUE. Per quanto riguarda il consumo della potenza IT, ci sono molti dati a disposizione e sono addirittura su base annuale, il che avrebbe il pregio di poter permettere di ricavare un PUE molto preciso. Tuttavia la determinazione del consumo del sistema di raffreddamento è stata sede di forti approssimazioni, in quanto è frutto solamente dalla media di poche misure di potenza istantanea. Il che si traduce in un calcolo del PUE di categoria inferiore rispetto agli altri data center.

La suddivisione dei consumi all'interno del centro di elaborazione dati è riportata in figura 17, da cui si nota chiaramente come le perdite nell'UPS siano praticamente trascurabili (il gruppo di continuità è ben dimensionato e lavora a rendimento massimo), e che anche l'impianto di condizionamento, con il suo 30% dell'energia totale, risulta essere ben progettato.



**Figura 17 - Suddivisione consumi percentuale**

Il calcolo del PUE è:

$$PUE = \frac{P_{IT} + P_f + P_p}{P_{IT}} = \frac{97,1 + 43,2 + 1,94}{97,1} = 1,5$$

Come già detto in precedenza il PUE analizzato è caratterizzato da un elevato grado di approssimazione, ciò nonostante fornisce un valore sufficientemente rappresentativo dell'efficienza del data center.

Prima di tutto bisogna considerare che questo centro di elaborazione dati è il più energivoro di tutto l'Ateneo, quindi è di fondamentale importanza che abbia una buona efficienza per non impattare troppo negativamente sulla bolletta energetica, ed il valore ottenuto di 1,5 risulta essere buono.

Di conseguenza, gli investimenti che più potrebbero essere utili in questo data center non sono legati all'efficienza energetica, ma più che altro sono quelli atti a migliorarne la sicurezza, la continuità di servizio e l'organizzazione dei carichi. Allo stato attuale, in caso di interruzione di corrente, il data center ha un tempo di funzionamento garantito solo di 30 minuti circa. Tempo entro il quale deve ritornare l'alimentazione, in caso contrario è necessario spegnere l'intero centro. Per affrontare questo inconveniente l'investimento migliore sarebbe quello di comprare

un gruppo elettrogeno diesel. Se ciò non fosse possibile la soluzione di ripiego è quella di aumentare la capacità delle batterie dell'UPS, come ad esempio è stato fatto nel data center di via San Francesco.

Anche l'organizzazione con la quale sono alimentati i vari dispositivi IT può essere migliorata, in particolare trasferendo l'alimentazione di alcuni server dalla fase 3 alle fasi 1 e 2, in modo da ottenere un carico equilibrato.

Da ricordare inoltre è che nel caso in cui in un prossimo futuro ci fosse un cospicuo incremento della potenza IT richiesta potrebbe essere necessario ampliare l'impianto di condizionamento. In tal caso sarebbe opportuno valutare l'opzione del confinamento del flusso d'aria caldo e un aumento della quota di raffreddamento sostenuta dal free cooling.

## **2.5 - Data center di ingegneria dell'informazione**

Il data center di Ingegneria dell'Informazione, situato al piano terra dell'edificio DEI in via Gradenigo, è nato nell'estate del 2014 dall'evoluzione di cinque piccoli locali tecnici precedenti. Lo scopo era quello di migliorare l'organizzazione e la sicurezza del sistema, e con la centralizzazione del sistema informatico è stato possibile ridurre il numero di UPS ed aumentare la ridondanza del sistema di condizionamento.

Le funzioni del centro di calcolo sono la gestione dei servizi generici di dipartimento, come ad esempio il servizio mail, il servizio web ecc. ed il servizio specifico dedicato alla potenza di calcolo per le attività di ricerca.

### ***2.5.1 - Componenti del data center***

Il data center di Ingegneria dell'Informazione presenta una struttura ed un organizzazione non del tutto tradizionale. La parte relativa alle apparecchiature IT e al condizionamento hanno la struttura tipica dei centri di calcolo, la differenza sta nell'alimentazione. A causa di come si è evoluto il data center, il quadro elettrico generale è alimentato in parte dall'UPS del centro di calcolo e in parte dall'UPS di edificio. Tuttavia il gruppo di continuità assoluta generale di edificio, che è piuttosto

vecchio, è in fase di dismissione, per cui in breve tempo è previsto che il data center raggiunga una configurazione più classica.

### *Apparecchiature IT*

Le apparecchiature IT montate all'interno dei 6 armadi rack del data center di Ingegneria dell'Informazione sono:

- 8 switch di rete
- 3 cluster di storage
- 3 cluster di calcolo
- server vari per servizi generici

Tutti i dispositivi installati sono piuttosto recenti, come l'intero data center hanno all'incirca due anni di età.

### *UPS*

L'alimentazione è garantita da due UPS, quello specifico del data center e quello generale dell'edificio. Attualmente, per quanto riguarda l'alimentazione del centro di calcolo, si sta progressivamente dismettendo il gruppo di continuità assoluta generale con il fine di rimanere con una configurazione caratterizzata da un solo UPS.

I dati di targa dell'UPS di edificio sono:

- Modello Chloride Silectrone EDP70
- Potenza nominale di 60 kVA
- Tensione nominale 400 V trifase
- PF = 0,8
- THD < 3%

L'UPS di edificio è stato comprato nel 2002, quindi è piuttosto vecchio. Oltre all'alimentazione di parte del data center funge anche da gruppo per la continuità assoluta di particolari dispositivi in alcuni laboratori.

L'UPS specifico del data center ha i seguenti dati di targa:

- Modello Trimod Metasystem
- Potenza nominale di 30 kVA
- Tensione nominale 400 V trifase
- 9 moduli da 3,4 kVA
- PF = 0,8
- THD < 3%
- Rendimento massimo del 93%
- Durata batterie stimata superiore ad un'ora

Questo gruppo di continuità è caratterizzato da una logica modulare, in questo caso però è dimensionato per la potenza nominale massima: sono installati tutti e 9 i moduli che può contenere.

L'UPS è del 2009, non è quindi molto recente, ne risente il rendimento massimo che non è estremamente elevato.

### *Gruppo elettrogeno*

Il gruppo elettrogeno situato all'esterno dell'edificio è stato installato per rispondere esclusivamente all'alimentazione del data center in caso di interruzione prolungata di corrente. I dati di targa sono:

- Modello Visa F100GX
- Potenza nominale di 200 kVA
- Tensione nominale 400 V trifase
- Fattore di potenza di 0,8

### *Sistema di raffreddamento*

L'impianto di condizionamento consiste in due gruppi frigo ed in un'unità di trattamento dell'aria (UTA). I gruppi frigo hanno lo scopo di mantenere la temperatura della stanza intorno ai 21°C e sono posizionati in modo da soffiare il flusso d'aria fredda tra le file degli armadi rack. Sono condizionatori comprati

recentemente, hanno circa due anni e sono dotati di modulazione ad inverter. I dati di targa sono:

- Modello Toshiba MMF-AP0484H-E
- tensione nominale di 400 V trifase
- potenza frigorifera nominale di 14 kW
- Indice di Efficienza Energetica (EER) di 3,8
- Refrigerante R410A

L'unità di trattamento dell'aria ha invece il compito di prelevare aria da dei bocchettoni collocati in basso, per poi iniettarla di nuovo all'interno del locale attraverso delle aperture sul soffitto. Il fine dell'UTA è da una parte aiutare i gruppi frigo a raffreddare il locale CED, dall'altra movimentare una grande quantità d'aria, creando così all'interno della sala una turbolenza tale da scongiurare la creazione di hot spot. L'UTA ha una potenza frigorifera di 9,5 kW e funziona con la vecchia logica on/off.

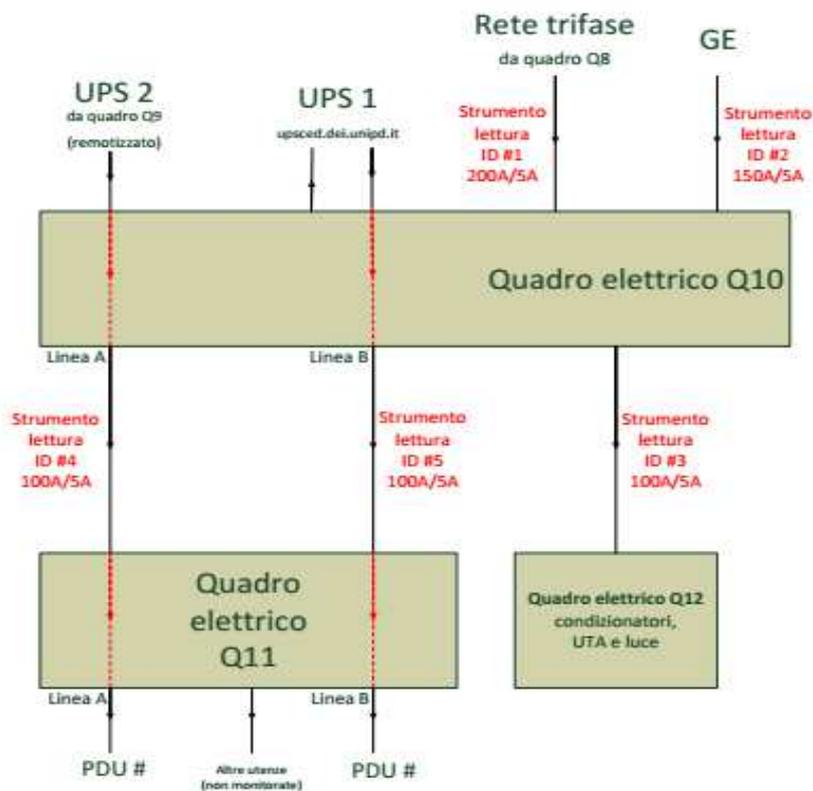
### **2.5.2 - Misura dei consumi**

Questo data center, tra tutti quelli di ateneo, è l'unico che è provvisto di un sistema di misurazione completo che registra i valori di corrente, di tensione e di potenza di tutti i vari settori che compongono il centro. Sfortunatamente questo sistema è entrato in funzione solamente a fine giugno 2016, per cui non sono disponibili dati su base annuale.

L'impianto di misurazione è costituito da vari multimetri da quadro, inseriti in modo da misurare le varie sezioni del data center, i cui modelli sono:

- IME Multimisura Nemo 72 Le
- IME Multimisura Nemo D4-L

In figura 18 si può osservare lo schema a blocchi del data center di Ingegneria dell'Informazione, in cui sono indicati i vari quadri elettrici ed il posizionamento degli strumenti di misura.

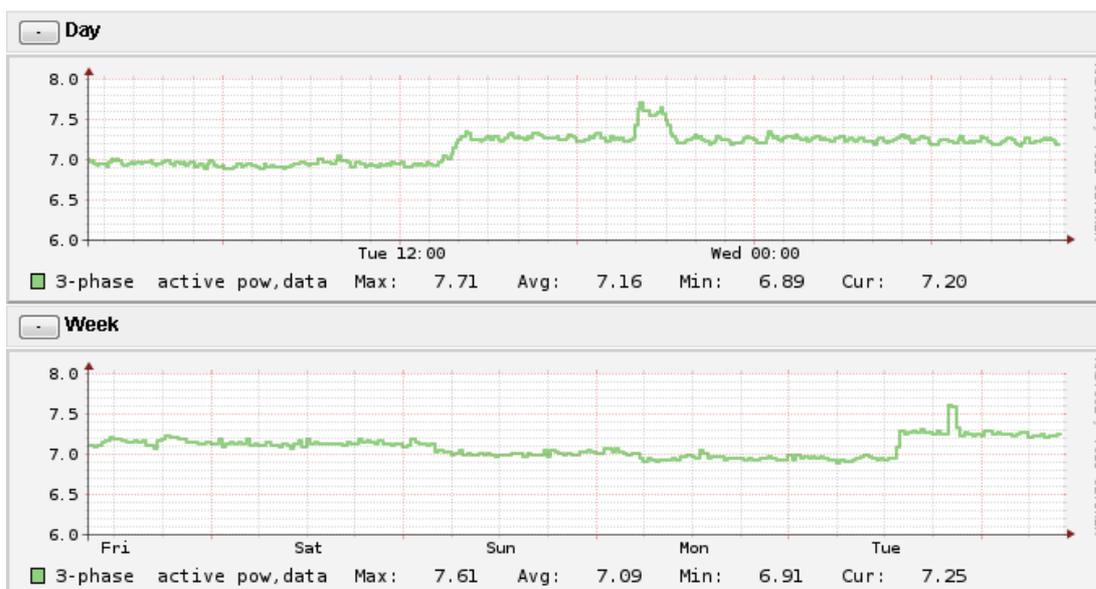


**Figura 18 - Schema a blocchi**

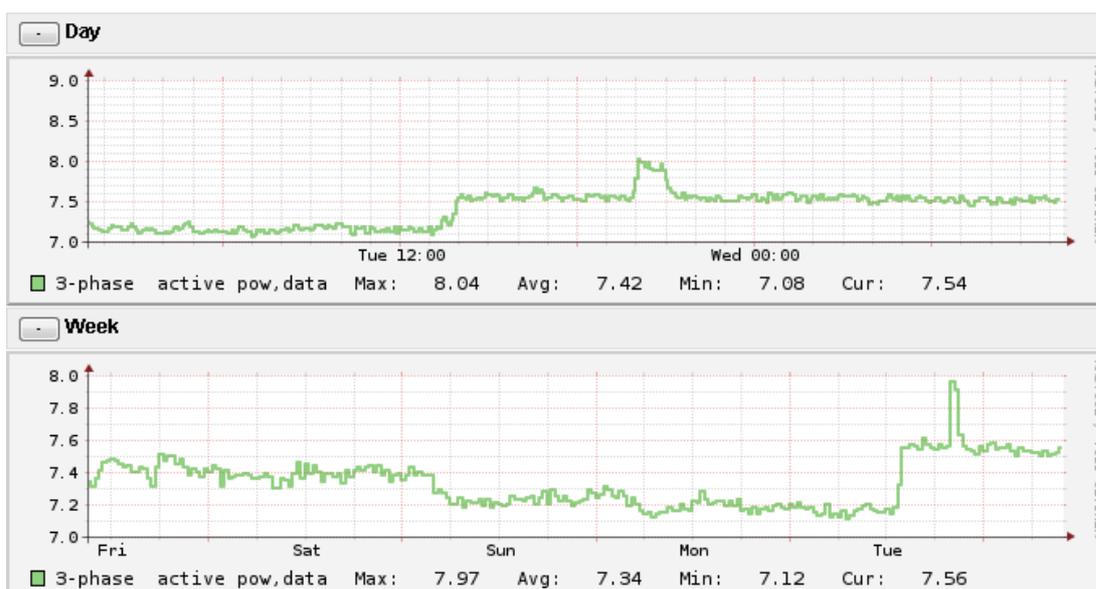
UPS1 è l'UPS della sala CED, invece UPS2 è il gruppo di continuità d'edificio. Con GE si indica il gruppo elettrogeno, mentre con rete trifase si intende la rete ENEL dalla quale prendono alimentazione l'UPS1 e il sistema di condizionamento. Per quanto riguarda le apparecchiature IT, esse sono montate su 6 armadi, di cui 3 connessi alla linea A, e quindi alimentati dall'UPS generale di edificio, e gli altri 3 connessi alla linea B, quindi alimentati dall'UPS1.

### *Consumo delle apparecchiature IT*

Le apparecchiature IT prendono l'alimentazione dal quadro Q11, si veda figura 18, di conseguenza il consumo IT del data center risulta essere la somma delle letture dei due strumenti posizionati a monte del quadro, sulle linee A e B. L'andamento della potenza delle due linee in funzione del tempo è riportato nei grafici successivi.



**Figura 19 - Andamento potenza linea A**



**Figura 20 - Andamento potenza linea B**

L'andamento della potenza assorbita dalle due linee è abbastanza costante a meno di lievi oscillazioni rispetto al valor medio. Non bisogna infatti farsi ingannare dallo zoom sull'asse delle ordinate che ha lo scopo di mettere in risalto tali oscillazioni. Dai grafici si è ricavata la potenza mediamente assorbita dalle apparecchiature IT:

- Potenza media assorbita dalla linea A = 7,1 kW
- Potenza media assorbita dalla linea B = 7,3 kW
- Potenza IT = 7,1 + 7,4 = 14,4 kW

### *Consumo del sistema di raffreddamento*

Uno strumento è dedicato esclusivamente al quadro Q12, relativo all'intero sistema di condizionamento. Dalla lettura delle misure effettuate si può osservare l'andamento nel tempo della potenza elettrica assorbita dai due gruppi frigo e dall'UTA. Tale andamento è riportato nel seguente grafico.



**Figura 21** - *Andamento potenza assorbita dall'impianto di condizionamento*

Dai grafici, in particolar modo dall'andamento giornaliero, si può notare la logica di accensione e spegnimento dei gruppi frigo.

La potenza media assorbita dal sistema di raffreddamento è 11,1 kW.

### *Assorbimento totale del data center*

La stima delle perdite negli UPS risulta difficile da fare in questo particolare data center perché non si conoscono il rendimento e la percentuale di energia che l'UPS generale di edificio invia alla sala server. Per questo motivo si preferisce

calcolare direttamente l'assorbimento totale del data center, usando il bilancio delle potenze in ingresso ed in uscita.

La potenza assorbita totale assorbita dal data center è data dalla somma delle letture dello strumento posto sulla linea A e quello posto a monte del quadro Q10, sulla rete trifase.

Nel seguente grafico è riportata la lettura della potenza in ingresso dalla rete Enel in funzione del tempo.



**Figura 22 - Andamento potenza ingresso rete Enel**

La potenza media in ingresso rete Enel è di 19,1 kW, per cui la potenza totale assorbita dal data center è:

$$P_{tot} = P_{Enel} + P_A = 19,1 + 7,1 = 26,2 \text{ kW}$$

Dal bilancio delle potenze in ingresso ed in uscita, si ha che:

$$P_{tot} = P_{IT} + P_f + P_p$$

Da cui si ricava che le perdite nell'UPS1 (in realtà questo valore comprende in misura minore anche l'illuminazione, le perdite all'interno dei quadri, ecc.) sono:

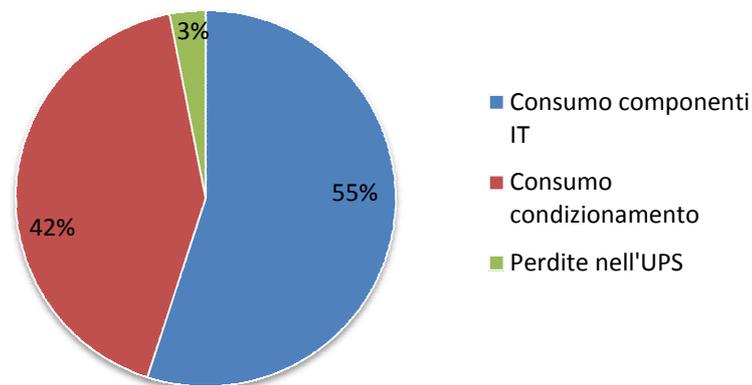
$$P_p = P_{tot} - P_{IT} - P_f = 26,2 - 14,4 - 11,1 = 0,7 \text{ kW}$$

Questo valore non include le perdite dell'UPS generale di edificio.

### 2.5.3 - Calcolo dell'efficienza

Riepilogando, le energie orarie medie in gioco nelle varie sezioni del data center sono:

- $E_{IT} = 14,4 \text{ kWh}$ , è il consumo medio orario delle apparecchiature IT;
- $E_f = 11,1 \text{ kWh}$ , è il consumo medio orario dei gruppi refrigeranti;
- $E_p = 0,7 \text{ kWh}$ , è l'energia persa in un'ora all'interno dell'UPS.



**Figura 23 - Suddivisione consumi percentuale**

In figura 23 è riportata la suddivisione percentuale dei consumi del data center. Dal grafico spicca subito che la parte di consumo relativa al condizionamento è considerevole.

Il calcolo del PUE è:

$$PUE = \frac{E_{IT} + E_f + E_p}{E_{IT}} = \frac{14,4 + 11,1 + 0,7}{14,4} = 1,8$$

Il valore di PUE calcolato è abbastanza elevato, il che sta a significare che il data center non è molto efficiente. Il motivo è in parte dovuto al fatto che l'impianto di condizionamento non è estremamente performante, poiché non sono previsti corridoi di aria fredda e calda che ne aumentino il rendimento termico. Tuttavia in questo data center è importante far notare che la temperatura impostata è bassa, intorno ai 20/21°C. Questa scelta è stata ponderata per rendere il data center più sicuro, si è infatti prediletto durante la fase di progettazione mettersi in una condizione di maggior sicurezza (una temperatura così bassa permette un tempo di intervento maggiore in caso di blackout grazie alla maggiore inerzia termica), piuttosto che in una condizione di maggior risparmio energetico. È evidente infatti che se la temperatura della sala server fosse di qualche grado più elevata il sistema di condizionamento lavorerebbe meno ed il valore del PUE sarebbe migliore.

In base all'analisi svolta, gli aspetti che più risultano migliorabili sono da una parte l'alimentazione del centro, dall'altra parte la scelta della temperatura in sala. Per quanto riguarda l'alimentazione si sta procedendo progressivamente all'esclusione dell'UPS generale di edificio, che è vecchio ed obsoleto. Invece, in merito alla scelta della temperatura di servizio, sarebbe opportuno fare un'analisi critica del grado di sicurezza del centro e di quanto sia fondamentale la continuità di servizio. Aumentare di qualche il valore impostato permetterebbe infatti notevoli vantaggi da un punto di vista del rendimento energetico.

## **2.6 - Data center di ingegneria civile**

Il data center di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale (DICEA) è nato dall'evoluzione di alcuni piccoli centri di calcolo di vari ex dipartimenti del ramo di ingegneria civile. Per l'esattezza nacque una decina di anni fa, nel momento in cui il dipartimento di costruzioni e trasporti comprò un server di calcolo della IBM per essere utilizzato come strumento di modellizzazione, e quando il PINECA (Polo Informatico di Ingegneria Edile, Civile, e per l'Ambiente e il Territorio) implementò un suo data center per la gestione dell'aula informatica. Dopo alcuni anni il server della IBM fu dismesso e venne comprata la prima infrastruttura virtuale.

Parallelamente l'ex dipartimento IMAGE mise in piedi un piccolo data center dotato di un unico server per assemblare un'altra infrastruttura di macchine virtuali.

Dopo l'entrata in vigore della legge Gelmini del 2010 nacque il dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale (DICEA) e i tre data center esistenti vennero ristrutturati per rispondere in modo organizzato alle esigenze del nuovo dipartimento, arrivando tramite implementazioni successive alla configurazione attuale.

Ad oggi il data center del DICEA è composto da tre locali server, più un quarto che è in costruzione ma non ancora in funzione:

- Una prima sala (denominata sala server 0) è dedicata alle macchine di test e ai servizi dell'aula informatica degli studenti.
- Un'altra stanza (denominata sala server 1) è destinata invece all'infrastruttura virtuale, allo storage e a tutti i servizi generali del dipartimento (ad esempio la mail, i servizi di rete ecc).
- L'ultimo locale considerato (denominato sala server 2) è invece riservato quasi esclusivamente ai server di calcolo.
- Attualmente è in allestimento un'ulteriore stanza (che verrà denominata sala server 3) che come la sala 2 ospiterà altri server di calcolo.

### ***2.6.1 - Componenti del data center***

Il data center è formato da tre sale, tutte organizzate secondo l'architettura classica dei centri di elaborazione dati.

#### *Apparecchiature IT*

La sala 0 contiene due rack, all'interno dei quali sono installate le seguenti apparecchiature:

- 2 amplificatori audio video Sony SRP\_X500P
- 1 registratore digitale JVC VR\_716
- 2 server Dell Power Edge 2950
- 1 NAS Dell Power Vault MD1000
- 1 NAS Thecus
- 1 NAS Sinology RS2212 RP+

- 1 server Fujitsu Primergy RX300 S5
- 2 server HP Proliant DL380
- 1 switch HP ES412ZL
- 1 switch HP 4204 VL
- 1 switch di rete Dell N3048

La sala 1 è costituita dai seguenti dispositivi IT:

- 1 Data Logger FORTi Analyzer 100c
- 1 unità di storage SAN EMC2 VNX 5200
- 1 unità di storage Fujitsu Eternus DX60
- 2 NAS Sinology RS2212 RP+
- 1 server Fujitsu Primergy RX300 S6
- 2 server Fujitsu Primergy RX200 S5
- 1 server HP Proliant DL380 G5
- 1 switch di rete Dell N3048
- 1 firewall Fortigate 600c
- 1 media converter Allied Tellesys AT-MCF2300AC
- 1 switch di rete HP 4204 VL
- 1 switch di rete HP ES406 ZL

Infine nella sala server 2 sono presenti i seguenti componenti informatici:

- 2 server Dell Power Edge R900
- 1 server Fujitsu Primergy RX350 S7
- 1 server Fujitsu Primergy CX400 S2
- 1 server HP Proliant DL855 G7
- 1 NAS Synology RS814+
- 1 NAS IOMEGA LX4\_200R
- 1 switch di rete Dell N3048
- 1 switch di rete HP 4208 VL

I dispositivi installati sono sottoposti a continui rinnovamenti e a successive implementazioni ed aggiornamenti. Tuttavia negli armadi persistono ancora apparecchiature obsolete e poco efficienti che non sono state sostituite da elementi di più moderna concezione.

### *UPS*

Ci sono tre UPS, uno per sala, montati direttamente sull'armadio che ospita le apparecchiature IT.

L'UPS che alimenta i componenti informatici della sala 0 ha i seguenti dati di targa:

- Modello Smart UPS RT 5000 XL
- Potenza apparente nominale di 5 kVA
- Potenza attiva nominale di 3,5 kW
- Tensione nominale 230 V
- THD < 3%
- Rendimento massimo 91%
- Durata batterie di circa 10 minuti a funzionamento nominale

L'UPS della sala 1 è caratterizzato dai seguenti dati nominali:

- Modello Smart UPS RT 10000 RM XL
- Potenza apparente nominale di 10 kVA
- Potenza attiva nominale di 8 kW
- Tensione nominale 230 V
- THD < 3%
- Rendimento massimo 92%
- Durata batterie di circa 10 minuti a funzionamento nominale

Per ultimo, l'UPS della sala 2:

- Modello Smart UPS RT 10000 RM XL
- Potenza apparente nominale di 10 kVA

- Potenza attiva nominale di 8 kW
- Tensione nominale 230 V
- THD < 3%
- Rendimento massimo 92%
- Durata batterie di circa 10 minuti a funzionamento nominale

### *Sistema di refrigerazione*

Le tre sale server sono raffreddate da un impianto di raffreddamento costituito da tradizionali condizionatori ad espansione diretta. In particolare è previsto un solo condizionatore per sala, con l'eccezione della sala 1 che ne monta due (quindi con un grado di sicurezza e ridondanza maggiore delle altre).

Il sistema di refrigerazione della sala 0 è costituito da un solo condizionatore, i cui dati di targa sono i seguenti:

- Modello Hitachi DC inverter RAS50FH5
- tensione nominale di 230 V
- potenza frigorifera nominale di 5 kW
- potenza elettrica di 1550 W
- Indice di Efficienza Energetica (EER) di 3,2
- Refrigerante R410A

Questo condizionatore con i suoi 10 anni risulta essere piuttosto vecchio, è stato montato nel momento in cui è nata l'aula di informatica. Nonostante ciò ha un buon indice di efficienza energetica grazie alla logica ad inverter di cui è dotato.

La sala server 1 è provvista di due condizionatori. Le caratteristiche tecniche del primo sono i seguenti:

- Modello Daikin inverter FVXS50FV1B
- tensione nominale di 230 V
- potenza frigorifera nominale di 5 kW
- potenza elettrica di 1550 W

- Indice di Efficienza Energetica (EER) di 3,23
- Refrigerante R410A

I dati di targa del secondo condizionatore sono invece:

- Modello Daikin inverter FTXS35J2V1B
- tensione nominale di 230 V
- potenza frigorifera nominale di 3,5 kW
- potenza elettrica di 860 W
- Indice di Efficienza Energetica (EER) di 4,07
- Refrigerante R410A

Sono entrambi dei buoni condizionatori, in particolare il secondo che presenta un elevato indice di efficienza energetica.

La sala server 2 è costituita da un condizionatore contraddistinto dalle seguenti caratteristiche tecniche:

- Modello Daikin inverter FTXS50J2V1B
- tensione nominale di 230 V
- potenza frigorifera nominale di 5 kW
- potenza elettrica di 1460 W
- Indice di Efficienza Energetica (EER) di 3,42
- Refrigerante R410A

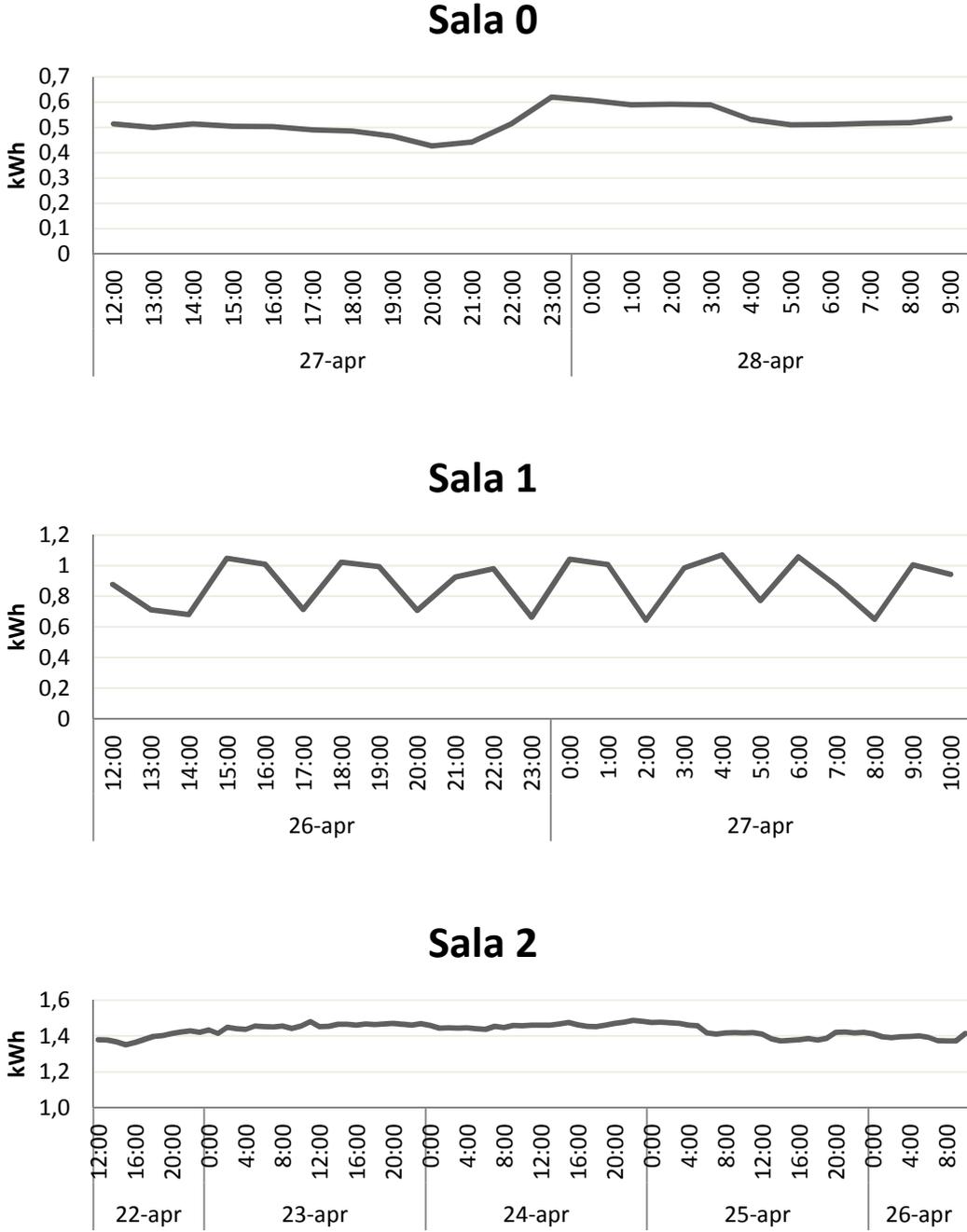
Anche in questo caso l'impianto di condizionamento è dotato di un buon indice di efficienza energetica.

### **2.6.2 - Misura dei consumi**

#### *Consumo del sistema di raffreddamento*

La misura della potenza assorbita dal sistema di raffreddamento è stata eseguita utilizzando lo strumento della Efergy, posizionando di volta in volta, per ogni sala

server, le pinze amperometriche sull'interruttore relativo all'impianto di condizionamento. Dall'analisi svolta si sono ricavati i seguenti grafici.



**Figura 24** - Andamento dei consumi dell'impianto di condizionamento delle tre sale server

Le variazioni dei tempi di misura tra una sala e l'altra sono dovute principalmente alla disponibilità dei tecnici del centro più che ad un motivo tecnico.

Tuttavia pare che anche per le sale 1 e 2, i soli due giorni impiegati per la misura siano sufficienti ad ottenere un valore di consumo sufficientemente indicativo. Particolare è l'andamento altalenante dell'energia assorbita dalla sala 1, forse dovuto alla logica con cui si alternano i due condizionatori presenti nel locale.

### *Consumo delle apparecchiature IT*

Tutti e tre i gruppi di continuità assoluta delle sale server sono dotati di una diagnostica di misurazione connessa in rete. Dall'osservazione dei dati registrati dagli UPS si è constatato che la loro potenza erogata è sempre costante nel tempo, ed ipotizzando che la potenza in uscita dagli UPS sia pressoché uguale alla potenza assorbita dalle apparecchiature IT, si sono ricavati i consumi relativi alla parte informatica delle sale server.

$P_{IT0} = 600 \text{ W}$  è la potenza media assorbita dai dispositivi IT della sala 0;

$P_{IT1} = 1800 \text{ W}$  è la potenza media assorbita dai dispositivi IT della sala 1;

$P_{IT2} = 1600 \text{ W}$  è la potenza media assorbita dai dispositivi IT della sala 2.

### *Perdite di potenza negli UPS*

Gli UPS utilizzati sono caratterizzati da un'efficienza massima del 91% e 92%, non sono però disponibili le curve di rendimento in funzione del carico elettrico. Per questo motivo si è scelto di ipotizzare che i gruppi di continuità funzionino a rendimento massimo nonostante il loro fattore di carico sia piuttosto basso. L'approssimazione introdotta non dovrebbe essere particolarmente significativa nel calcolo del PUE in quanto la parte dei consumi relativa alla perdita di potenza nell'UPS è nettamente inferiore rispetto ai consumi delle apparecchiature IT e del sistema di condizionamento.

Le perdite di potenza negli UPS delle varie sale sono pertanto:

- $E_{p0} = E_{IT0} * (1 - \eta_0) = 600 * (1 - 0.91) = 54 \text{ W}$

- $E_{p1} = E_{IT1} * (1 - \eta_1) = 1800 * (1 - 0.92) = 144 \text{ W}$

- $E_{p2} = E_{IT2} * (1 - \eta_2) = 1600 * (1 - 0.92) = 128 \text{ W}$

### 2.6.3 - Calcolo dell'efficienza

Per prima cosa verrà calcolato il PUE in maniera distinta tra le varie sale, poi si arriverà al valore totale.

#### Sala 0

Le energie orarie medie in gioco nelle varie sezioni del data center sono:

- $E_{IT0} = 600 \text{ Wh}$ , è il consumo medio orario delle apparecchiature IT;
- $E_{f0} = 522 \text{ Wh}$ , è il consumo medio orario assorbito dai gruppi refrigeranti;
- $E_{p0} = 54 \text{ Wh}$ , è l'energia media persa in un'ora all'interno dell'UPS.

Il calcolo del PUE è:

$$PUE = \frac{E_{IT0} + E_{f0} + E_{p0}}{E_{IT0}} = \frac{600 + 522 + 54}{600} = 2,0$$

#### Sala 1

Le energie orarie medie in gioco nelle varie sezioni del data center sono:

- $E_{IT1} = 1800 \text{ Wh}$ , è il consumo medio orario delle apparecchiature IT;
- $E_{f1} = 886 \text{ Wh}$ , è il consumo medio orario assorbito dai gruppi refrigeranti;
- $E_{p1} = 144 \text{ Wh}$ , è l'energia persa in un'ora all'interno dell'UPS.

Il calcolo del PUE è:

$$PUE = \frac{E_{IT1} + E_{f1} + E_{p1}}{E_{IT1}} = \frac{1800 + 886 + 144}{1800} = 1,6$$

#### Sala 2

Le energie orarie medie in gioco nelle varie sezioni del data center sono:

- $E_{IT2} = 1600 \text{ Wh}$ , è il consumo medio orario delle apparecchiature IT;
- $E_{f2} = 1430 \text{ Wh}$ , è il consumo medio orario assorbito dai gruppi refrigeranti;
- $E_{p2} = 128 \text{ Wh}$ , è l'energia persa in un'ora all'interno dell'UPS.

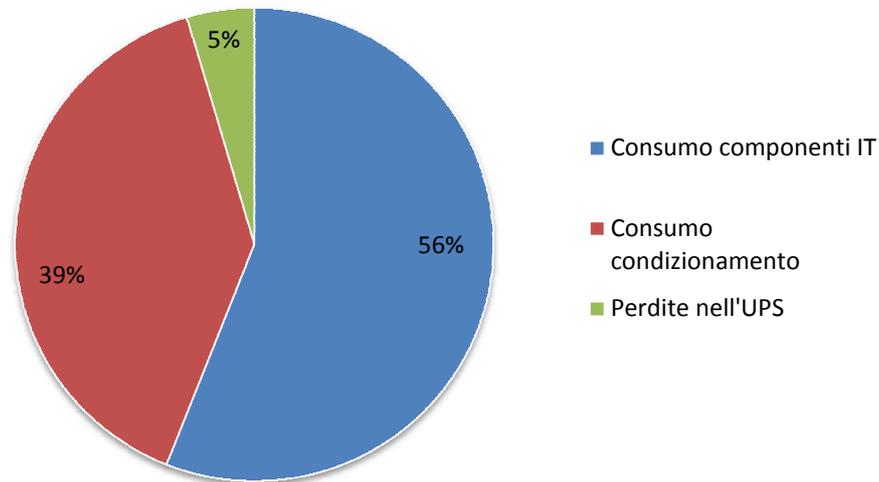
Il calcolo del PUE è:

$$PUE = \frac{E_{IT2} + E_{f2} + E_{p2}}{E_{IT2}} = \frac{1600 + 1430 + 128}{1600} = 2,0$$

Il PUE totale del data center del DICEA vale:

$$\begin{aligned} PUE &= \frac{E_{IT0} + E_{f0} + E_{p0} + E_{IT1} + E_{f1} + E_{p1} + E_{IT2} + E_{f2} + E_{p2}}{E_{IT0} + E_{IT1} + E_{IT2}} \\ &= \frac{600 + 522 + 54 + 1800 + 886 + 144 + 1600 + 1430 + 128}{600 + 1800 + 1600} \\ &= 1,8 \end{aligned}$$

Il totale della suddivisione dell'energia assorbita all'interno del data center è riportato nella seguente figura.



La quota di energia persa negli UPS è relativamente alta se confrontata con quella degli altri gruppi di continuità di Ateneo, nonostante si sia ipotizzato funzionino a rendimento massimo. Il motivo sta semplicemente nel fatto che ce ne sono ben tre, quindi le perdite sono triplicate. Lo stesso vale per l'impianto di

refrigerazione, che monta condizionatori con indice di efficienza energetica piuttosto alto, ma che sono costretti a raffreddare ben tre locali.

In base a queste osservazioni, un'ipotesi per migliorare lo stato delle cose potrebbe essere quella di dismettere i tre piccoli locali che attualmente ospitano le sale server ed accentrare l'intero data center in una sola stanza ben attrezzata ed organizzata, che preveda quindi l'uso di un solo sistema UPS, di un impianto di refrigerazione più sicuro, ridondato e di elevata efficienza energetica e la sostituzione delle apparecchiature IT più obsolete. Per poter applicare questa soluzione è necessario individuare la sala adatta e potenziare le linee di trasmissione dati all'interno del dipartimento. Nel momento in cui si deciderà di investire sul centro di calcolo sarà necessario prendere atto che è l'accentramento la strada da percorrere per passare da un sistema antiquato ad un data center di moderna concezione, efficiente e sicuro.

## **2.7 - Data center di ingegneria industriale**

Il data center di ingegneria industriale è uno dei più piccoli dell'Ateneo, sia per potenza assorbita che per volume occupato, si trova infatti in una piccola stanza al secondo piano dell'edificio che ospita la facoltà di Ingegneria Industriale, in via Gradenigo.

Il centro di calcolo contiene i server che erogano i servizi di rete del dipartimento, come ad esempio i firewall, i domain controller, il servizio mail, alcuni file server, vari server web, i server di back-up, il DNS/DHCP, l'autenticazione della rete wi-fi, server antivirus e i server delle licenze. Non ci sono cluster (ovvero server di calcolo), vengono erogati solamente servizi di rete, motivo per cui la potenza assorbita dal data center è molto ridotta se confrontata con gli altri data center.

Questo centro di elaborazione, chiamato anche sala server G, consiste in un piccolo locale contenente due armadi rack, un UPS e due unità refrigeranti.

Attualmente è in costruzione una sala server gemella nella sala V, in via Venezia, che dovrebbe montare le stesse apparecchiature del centro di calcolo di via Gradenigo. L'infrastruttura del nuovo centro di elaborazione dati sarà quindi speculare a quella della già esistente sala server G, con l'unica differenza che ospiterà anche alcuni server per il calcolo scientifico utilizzati da alcuni gruppi di ricerca. Si

prevede dunque che in un prossimo futuro la potenza assorbita dai data center di ingegneria industriale possa all'incirca raddoppiare.

### ***2.7.1 - Componenti del data center***

Il data center di Ingegneria Industriale rispetta la composizione tipica di un classico centro di elaborazione dati, risulta infatti composto da due armadi contenenti le apparecchiature IT, un UPS e un sistema di raffreddamento e deumidificazione. In questo caso però manca il gruppo elettrogeno: l'importanza dei dati eseguiti e la continuità di servizio richiesta dal centro di calcolo infatti non sono tali da giustificare l'investimento.

#### *Apparecchiature IT*

Per quanto riguarda la parte informatica, i due rack montano le seguenti apparecchiature:

- 2 server Dell PowerEdge R630
- 1 unità di storage di produzione Dell PowerVault MD3420
- 1 storage di backup QNAP NAS TS-879U-RP
- 2 Switch server Dell Power Connect 2824
- 1 switch per il centro stella HP 5400

Tutte le apparecchiature montate sono piuttosto recenti, hanno all'incirca un anno di vita.

#### *UPS*

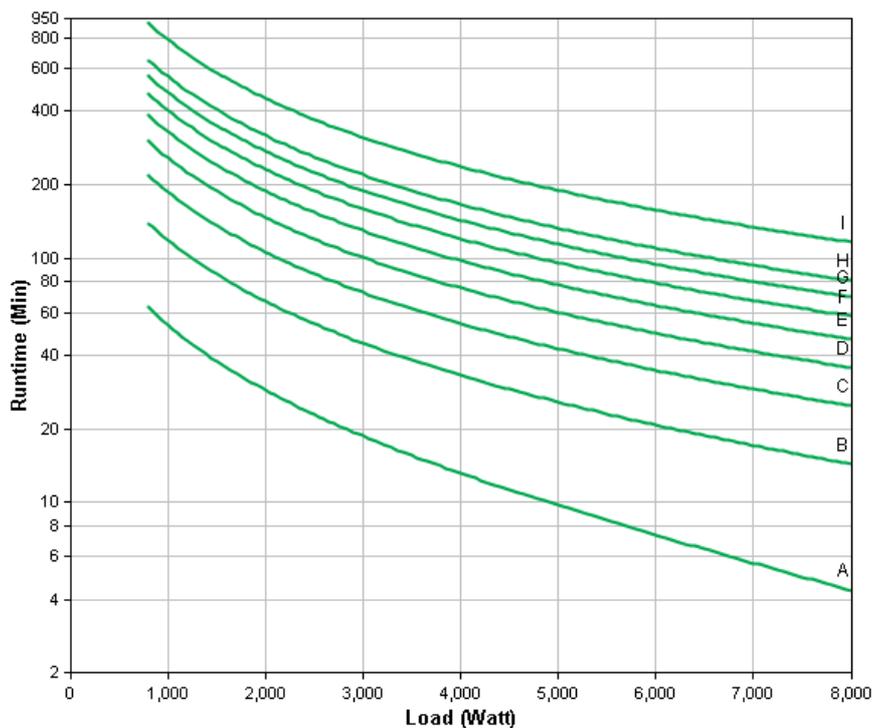
L'UPS ha circa 10 anni, che è anche l'età della sala server. Le batterie sono al piombo con elettrolita sospeso a tenuta e garantiscono la continuità di servizio a pieno carico per qualche decina di minuti [17]. A differenza dell'UPS sono nuove, sono state sostituite nel 2015.

I dati di targa sono i seguenti:

- Modello APC Smart-UPS RT 10000VA 230V
- Potenza apparente nominale di 10 kVA

- Potenza attiva nominale di 8 kW
- Tensione nominale in uscita di 230 V

#### APC Smart-UPS RT 10000VA 230V (SURT10000XLI)



**Figura 25 - Curva di durata dell'UPS**

Nel grafico in figura 25 si può vedere la curva di durata dell'UPS in funzione del carico elettrico durante il funzionamento anomalo, cioè quando il data center è alimentato dalle batterie. Questo UPS monta solo un gruppo di batterie, quindi la curva di riferimento è la curva A. Si può osservare che alla potenza di 1220 W, che è la potenza media richiesta dai due rack, le batterie garantiscono l'alimentazione per circa 40 minuti.

Per quanto riguarda la procedura di spegnimento non è previsto un sistema automatico di disattivazione dei server. Ciò significa che lo spegnimento è solo di tipo manuale, cioè se dovesse occorrere un'interruzione dell'alimentazione l'UPS può garantire la continuità per qualche decina di minuti, poi si arresta tutto. In quei minuti gli operatori devono essere presenti ed iniziare la procedura di spegnimento sicuro dei server, in modo da non perdere dati. Se il blackout avviene di notte la sala server si blocca senza la corretta procedura. Tuttavia ciò non provoca grossi danni,

poiché i dati gestiti da questo centro di elaborazione sono sottoposti a varie operazioni di backup periodico. Infatti i dispositivi di storage utilizzati, che sono di ultima generazione, eseguendo copie di riserva ed avvalendosi di procedure di ridondanza nel salvare i dati, risultano abbastanza sicuri anche in caso di improvvisa perdita di tensione.

### *Sistema di refrigerazione*

Il sistema di raffreddamento e deumidificazione consiste in due condizionatori trifase della AERMEC. I dati di targa sono i seguenti:

- tensione nominale di 400 V
- potenza frigorifera nominale di 14 kW
- potenza elettrica di 5 kW
- Indice di Efficienza Energetica (EER) di 2,8

I condizionatori sono stati montati nel momento in cui è nata la sala server, cioè nel 2004/05. La logica di funzionamento è la vecchia on/off e l'indice di efficienza energetica è piuttosto basso.

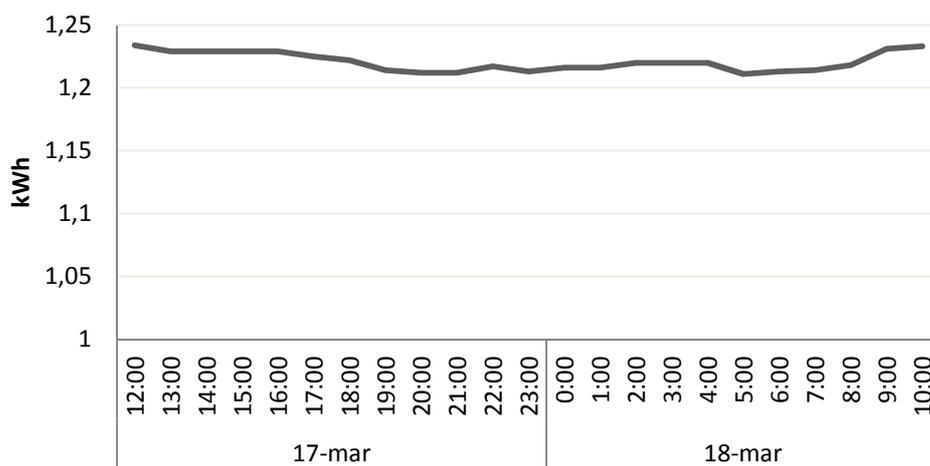
I due gruppi frigo condizionano e deumidificano direttamente il locale e non sono previsti corridoi di aria fredda o calda e pavimento flottante. Motivo per cui gli armadi server sono di struttura aperta in modo da poter sfruttare l'inerzia termica della stanza in caso di arresto del sistema di refrigerazione.

### **2.7.2 - Misura dei consumi**

#### *Consumo delle apparecchiature IT*

Nel data center non sono presenti strumenti da quadro e l'UPS non è dotato di una diagnostica di misurazione connessa in rete. Per questo motivo è stato necessario misurare con lo strumento della Efergy sia la parte riguardante le apparecchiature IT, sia la parte relativa al refrigeramento. Per calcolare l'energia persa nell'UPS si è invece utilizzato un metodo analitico, sfruttando i dati di targa del gruppo di continuità.

La misura della potenza assorbita dalle apparecchiature IT è stata eseguita posizionando le pinze amperometriche dello strumento all'uscita dell'UPS. Il tempo di misura è di due giorni. Nel grafico di figura 26 è riportato l'andamento del consumo all'uscita dell'UPS.



**Figura 26 - Andamento consumi IT**

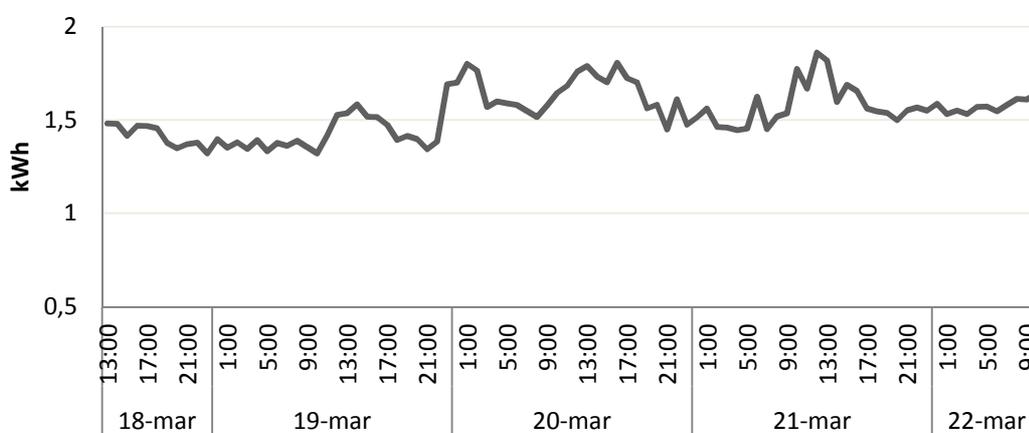
Il consumo medio degli armadi è di 1220 Wh e come ci si aspettava risulta essere praticamente costante nel tempo. Il motivo sta nel fatto che i server eseguono sempre lo stesso lavoro durante l'arco della giornata e non ci sono grossi cambiamenti nella potenza di calcolo richiesta, per cui l'assorbimento elettrico varia di pochissimo. Il valore massimo misurato infatti è di 1234 Wh, mentre il valore minimo è di 1211 Wh. Lo scostamento dalla media è quindi contenuto all'1%, si può pertanto considerare il consumo IT costante al variare del tempo.

### *Consumo del sistema di raffreddamento*

Per effettuare la misura del consumo dei gruppi refrigeranti, le pinze amperometriche dello strumento sono state posizionate sull'interruttore generale dell'unità di condizionamento, sul quadro elettrico della sala server. In questo modo è possibile osservare la variazione di potenza richiesta dal sistema di raffreddamento per garantire all'interno del locale la temperatura impostata, che è di 20/21 °C. La temperatura impostata è piuttosto bassa per sfruttare l'effetto inerzia nella stanza. In

caso di blackout infatti, una temperatura ridotta permette un maggior tempo di funzionamento dei server prima di raggiungere la temperatura critica. Ovviamente questa scelta va a scapito dell'efficienza energetica.

A differenza della misurazione dell'energia degli apparati IT, in questo caso ci si aspetta ci possa essere una variazione più marcata del consumo nel tempo, per cui il periodo di misura è più lungo, in questo caso è di circa 4 giorni. Nel grafico in figura 27 si può osservare l'andamento dei consumi dell'impianto di raffreddamento.



**Figura 27 - Andamento consumi sistema di condizionamento**

Come si può osservare dal grafico precedente, il consumo elettrico in kWh del sistema di condizionamento è variabile nel tempo, in quanto anche funzione delle condizioni esterne alla sala server. Sono inoltre presenti oscillazioni di potenza a causa dell'accensione e spegnimento dei gruppi. I due condizionatori sono stati dimensionanti per alternarsi, quindi in linea generale non è necessario funzionino mai insieme. Dalle osservazioni fatte con lo strumento di misura si è osservato che quando un solo gruppo è acceso consuma intorno ai 5 kW, mentre quando sono entrambi spenti consumano circa 400 W.

Il picco massimo di consumo raggiunto durante la misurazione risulta essere di 1,86 kWh, mentre il minimo è di 1,32 kWh. La media in un'ora del consumo durante il periodo di misura risulta essere di 1,54 kWh.

La temperatura settata per i due gruppi frigo è diversa, per uno è 21 °C, per l'altro è di 20 °C. Inoltre la logica di funzionamento dei condizionatori è la vecchia

logica on/off, quindi i gruppi frigo lavorano finché la temperatura arriva a circa 19°C, poi rimangono spenti fino ai 22 o 23 °C, e questa logica varia in base a quale dei due condizionatori sta funzionando.

Risulta pertanto evidente come sia di importanza fondamentale avere un sistema di automisurazione del data center, che consenta di conoscere l'andamento nel tempo delle potenze assorbite per periodi lunghi. Solo comprendendo come si comporta il consumo elettrico su base annuale si possono avere le informazioni necessarie per poter dimensionare il centro di calcolo nella maniera più efficiente e ottimale.

### *Perdita di potenza nell'UPS*

Interessante da osservare è il sovradimensionamento dell'UPS rispetto al consumo effettivo degli armadi. L'UPS infatti ha una potenza nominale di 8 kW, ma eroga in uscita solo 1220 W. Questo implica che l'UPS risulti decisamente sovraccaricato, il fattore di carico percentuale infatti vale:

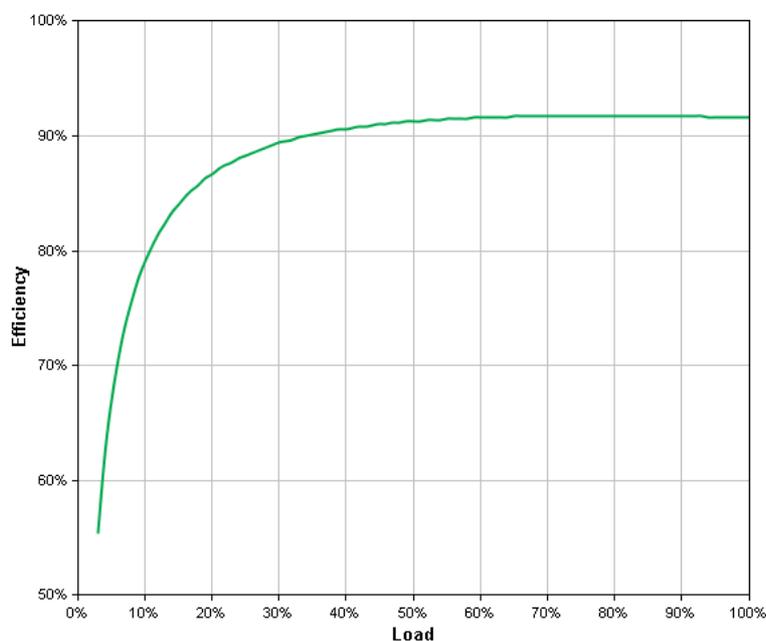
$$f_c \% = \frac{\text{Potenza IT} * 100}{\text{Potenza nominale UPS}} = \frac{1220 * 100}{8000} = 15\%$$

Questo valore risulta essere parecchio basso, soprattutto confrontandolo con il grafico di figura 28, ricavato dal datasheet del dispositivo [17].

Si nota infatti che con un fattore di carico del 15%, il rendimento dell'UPS risulta parecchio compromesso, si passa da un rendimento massimo del circa 92% ad un rendimento di poco superiore all'80%. Per cui la quota di potenza persa all'interno dell'UPS risulta essere:

$$P = \text{Potenza IT} * (1 - \eta_{UPS}) = 1220 * (1 - 0.8) = 245 W$$

APC Smart-UPS RT 10000VA 230V (SURT10000XLI)



**Figura 28** - Rendimento massimo in funzione del fattore di carico

Ma come mai l'UPS risulta essere così sovradimensionato? La risposta sta nel fatto che una decina di anni fa, quando è stata costruita la sala server, gli armadi erano molto più carichi ed il consumo delle apparecchiature IT era molto maggiore. L'evoluzione tecnologica dei componenti informatici ha infatti comportato una migliore gestione dell'energia assorbita da quest'ultimi, per cui a parità di potenza di calcolo richiesta dalle attività del data center, il consumo delle apparecchiature IT è diminuito. La conseguenza è che ora l'UPS è sovradimensionato e lavora ad un basso rendimento. Soprattutto se confrontato con gli UPS di ultima generazione che garantiscono efficienze superiori al 96%.

### 2.7.3 - Calcolo dell'efficienza

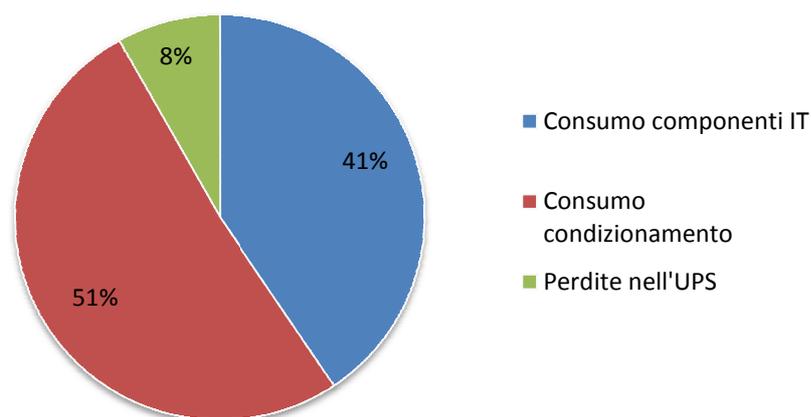
Riepilogando:

- $E_{IT} = 1220 Wh$ , è l'energia media oraria consumata dalle apparecchiature IT;
- $E_f = 1541 Wh$ , è l'energia media oraria assorbita dai gruppi refrigeranti;
- $E_p = 245 Wh$ , è l'energia oraria persa all'interno dell'UPS.

Il PUE calcolato pertanto vale:

$$PUE = \frac{E_{IT} + E_f + E_p}{E_{IT}} = \frac{1220 + 1541 + 245}{1220} = 2,5$$

In figura 29 si può inoltre vedere la suddivisione dei consumi tra i vari settori del data center, in cui si può osservare chiaramente come siano distribuiti i consumi all'interno del data center: solo il 41% dei watt sono utilizzati per i componenti informatici e ben il 59% per i sistemi ausiliari. Si nota inoltre che nonostante l'UPS sia sovradimensionato e per niente efficiente, la vera causa dei consumi elevati è il sistema di condizionamento.



**Figura 29** - *Suddivisione consumi percentuale*

Il valore del PUE ottenuto è decisamente elevato, ed è dovuto ad un UPS che lavora ad un'efficienza non ottimale e soprattutto ad un impianto di condizionamento vecchio e sovradimensionato, con un indice di efficienza energetica (EER = 2,8) particolarmente ridotto e con una temperatura impostata in sala molto bassa (20/21°C). Da considerare inoltre è il fatto che questo data center, essendo di ridotte dimensioni e gestendo poca potenza, non è stato progettato per raggiungere livelli di efficienza estremamente elevati. Infatti il sistema di raffreddamento è semplice, non prevede nei corridoi per l'aria fredda e calda, ne pavimento flottante.

Le apparecchiature IT invece sono recenti, hanno solo un anno di età. Sono quindi componenti efficienti del sistema, lo testimonia il fatto che nonostante la potenza di calcolo del data center sia in crescita, fornendo sempre più servizi, i server richiedono una potenza elettrica sempre minore.

## **2.8 - Data center dell'edificio Botta**

Il Fiore di Botta è l'edificio che dal 1° ottobre 2014 ospita le aule e i laboratori di biologia, scienze biomediche e medicina molecolare. La struttura, che si trova in via del Pescarotto (ex zona Rizzato), è caratterizzata da un impianto elettrico estremamente complesso ed articolato, che alimenta tra l'altro le due aule informatiche del dipartimento. Queste aule sono utilizzate principalmente dagli studenti di biologia per esercitazioni sulla genetica e sulla modellizzazione di proteine e in misura minore dal resto degli studenti.

Il data center che gestisce queste aule nasce insieme all'edificio, i server infatti sono stati installati nell'estate del 2014. Oltre alla gestione delle esercitazioni delle aule di informatica il data center si occupa di altri servizi relativi all'edificio di minore importanza: come ad esempio il VDI (virtual desktop infrastructure), che consiste nel fornire a tutti gli utenti dell'edificio una macchina virtuale, e amministra inoltre un web server per la gestione degli avvisi e i server di autenticazione.

### ***2.8.1 - Componenti del data center***

La stanza dedicata al data center vero e proprio consiste in un piccolo sgabuzzino che si trova all'interno di una delle due aule informatiche. Altre stanze sono però destinate alla gestione del centro di calcolo. In particolare al piano interrato un'intera stanza è dedicata agli UPS, un'altra invece è utilizzata per il centro stella. Con centro stella si intende lo spazio fisico dove arrivano i cavi principali di collegamento dati e da dove partono le diramazioni per le utenze.

#### *Apparecchiature IT*

Le apparecchiature IT che compongono il data center sono le seguenti:

- 4 server blade Dell Power edge m620

- 2 Storage Equallogic
- 1 powerEdge M1000E
- Switch di distribuzione che servono le due aule
- 1 unità di storage Nas sinology di 12 dischi da 4 Tbyte RS2414RP + rack station

Si trovano tutte all'interno dell'armadio rack che si trova nello sgabuzzino dell'aula informatica del primo piano.

Nel locale del piano interrato si trovano le apparecchiature IT relative al centro stella dell'impianto.

### *UPS*

Per quanto riguarda gli UPS il discorso è complesso. A differenza di ciò che accade negli altri data center di Ateneo, in questo caso non c'è un solo un UPS, ma ce ne sono molti di più.

All'interno del locale ubicato al piano interrato, denominato "locale UPS", oltre all'UPS generale di edificio è alloggiato l'UPS dedicato alle aule di informatica, i dati di targa sono i seguenti:

- Sistema di continuità assoluta per l'alimentazione delle utenze generali dell'edificio, costituito da un gruppo di continuità assoluta di potenza nominale pari a 100 kVA a 400 V trifasi ed armadio batterie separato con autonomia di 15 minuti a potenza nominale.
- Sistema di continuità assoluta dedicato esclusivamente all'alimentazione delle utenze relative alle due aule informatiche ubicate al primo piano, costituito da un gruppo di continuità assoluta (UPS) con potenza nominale pari a 60 kVA a 400 V trifasi, modello Riello UPS multisentry ed armadio batterie ermetiche separato con autonomia pari a 10 minuti alla potenza nominale.

Oltre a questi UPS ce ne sono altri, montati direttamente sugli armadi rack. Due di essi si trovano nel piano interrato e sono montati sul rack del centro stella. I due UPS sono uguali tra loro e i dati di targa sono i seguenti [21]:

- Modello APC3750 h952n
- Potenza apparente nominale di 5 kVA
- Potenza attiva nominale 3750 W
- Efficienza a pieno carico 93%
- Durata batterie di una decina di minuti a funzionamento nominale

Un altro UPS si trova al primo piano, nell'armadio rack che ospita le apparecchiature IT del data center vero e proprio, ed i suoi dati di targa sono i seguenti [20]:

- Modello Smart UPS RT5000
- Tensione nominale 230 V
- Potenza apparente nominale 5 kVA
- Potenza attiva nominale 3500 W
- Efficienza a pieno carico 92%
- Durata batterie di una decina di minuti a funzionamento nominale

Il gruppo elettrogeno che sostiene le utenze privilegiate dell'edificio, compreso il data center e le aule di informatica, è installato all'interno di un apposito contenitore all'esterno dell'edificio, ed è direttamente collegato al quadro generale di bassa tensione. I dati di targa sono i seguenti:

- Marca Laser Industries
- Potenza nominale di 650 kVA (520 kW)
- Tensione nominale di 400 V
- Alimentazione diesel

### *Sistema di refrigerazione*

Il data center dell'edificio Botta è composto da più locali ed ognuno di essi è provvisto di un proprio impianto di condizionamento, che garantisce il funzionamento sicuro dei componenti informatici in un ambiente adeguato.

Per quanto riguarda la sala server situata all'interno dell'aula informatica, il sistema di raffreddamento e deumidificazione è composto da due colonne refrigeranti

trifase montate direttamente sull'armadio che ospita i server. L'impianto è ad espansione diretta ed usa la tecnologia inverter per la modulazione della potenza, garantendo quindi un buon indice di efficienza energetica. Nonostante i gruppi frigo siano posizionati direttamente sul rack, il raffreddamento è comunque atto a condizionare l'intero locale e non solo l'armadio. Questo per aumentare l'inerzia termica della stanza e garantire un maggior tempo di funzionamento in caso di blackout. Non sono previsti corridoi di aria calda o fredda e pavimento flottante.

Una singola colonna ha i seguenti dati di targa [19]:

- modello CRCX 0121 CLIMAVENETA
- Tensione nominale di 400 V
- Potenza frigorifera 28,6 kW
- EER compreso tra 3,1 e 3,8
- Refrigerante R410A
- Grado di protezione IP20

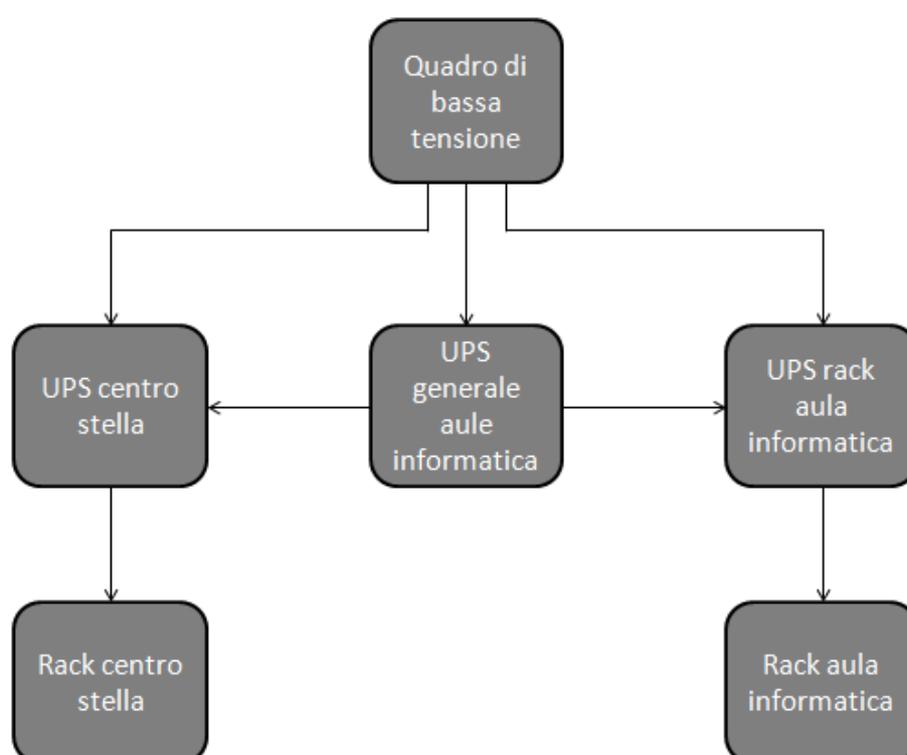
Anche il locale contenente i dispositivi del centro stella, ubicato all'interno del piano interrato dell'edificio è provvisto di un proprio impianto di condizionamento. In questo caso, nonostante la stanza presenti un pavimento flottante per il passaggio dei cavi e dei cablaggi, il sistema di raffreddamento è caratterizzato da due condizionatori monofasi di tipo civile, a modulazione inverter e montati a parete. Il pavimento flottante non viene quindi sfruttato per il raffreddamento della stanza e non è previsto alcun corridoio d'aria calda o fredda.

I dati tecnici dei condizionatori sono:

- modello Daikin RX71GV1B
- Tensione nominale 230 V
- Potenza frigorifera 7,1 kW
- Potenza elettrica 2,35 kW
- EER di 3,02
- Refrigerante R410A

### 2.8.2 - Schema a blocchi dell'impianto

Come già accennato l'edificio è molto grande e complesso, e lo sono anche il suo data center e l'impianto elettrico che lo alimenta. In questo paragrafo si vuole rappresentare lo schema a blocchi dell'impianto elettrico del data center per chiarirne il funzionamento. In figura 30 è raffigurato lo schema generale del centro di calcolo. Il blocco definito come "UPS centro stella" comprende i due gruppi di continuità montati sull'armadio rack del centro stella.



**Figura 30** - Schema a blocchi

Come si può notare è ben più complesso di quello del tipico data center mostrato in figura 1.

Le complicazioni adottate in questo centro di calcolo paiono esser state fatte per migliorarne la continuità di servizio, ma se guardate con occhio critico non sembrano molto coerenti. Il data center nasce infatti con lo scopo di gestire le aule di informatica all'interno delle quali avvengono le esercitazioni degli studenti. È

evidente dunque che i dati trattati non sono di importanza vitale e che probabilmente l'uso di ben quattro dispositivi di continuità assoluta sia eccessivo. Prova ne è anche il fatto che non è prevista una procedura sicura di spegnimento automatico della sala server nel caso di blackout, proprio perché l'interruzione del lavoro del centro di calcolo non risulta essere un evento particolarmente grave. Da considerare inoltre è che sono molte le stanze nelle quali il data center è distribuito, con un conseguente aumento dei componenti necessari, e tutto ciò senza un'apparente motivo. Il locale server vero e proprio si trova in uno sgabuzzino all'interno di una delle due aule informatiche, mentre il centro stella è situato in un locale più grande ed attrezzato nel seminterrato. La scelta più logica in questo caso sarebbe stata quella di montare tutte le apparecchiature nel seminterrato, potenziare i canali di trasmissione con le aule informatiche, sfruttare il pavimento flottante per il raffreddamento ed usare solo un UPS. Soluzione che avrebbe ridotto enormemente i costi d'investimento iniziali, comportando comunque un'efficienza energetica migliore.

In realtà anche questa scelta pare non essere priva di critiche: pratica comune sarebbe infatti quella di non posizionare strutture sensibili in piani interrati, in quanto aree pericolose in caso di alluvioni e allagamenti. In questo caso però oltre al data center bisogna ricordare che anche il locale UPS contenente tra l'altro il gruppo di continuità assoluta dell'edificio si trova nel seminterrato. Quindi in caso di allagamento il problema del posizionamento del data center diverrebbe solo una preoccupazione secondaria.

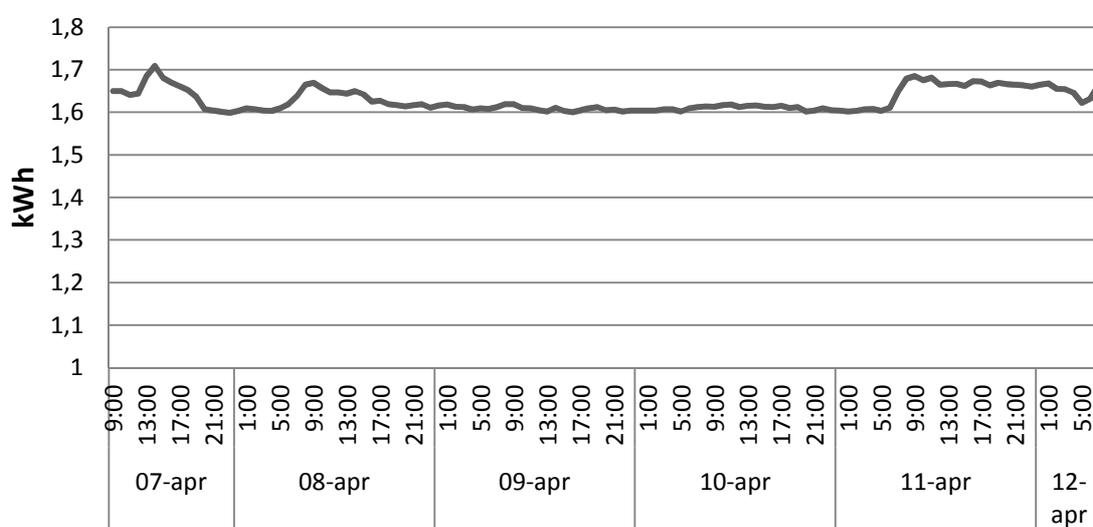
### **2.8.3 - Misura dei consumi**

#### *Apparecchiature IT*

Gli UPS dell'edificio Botta non sono connessi in rete e quindi non è possibile godere di una stima del loro consumo in uscita in funzione del tempo. Per questo motivo è stato necessario misurare il consumo delle apparecchiature per mezzo dello strumento della Efergy. Le pinze amperometriche sono state inserite nel quadro elettrico della sala server, sui conduttori unipolari che collegano il quadro all'armadio rack. La misura è eseguita a monte dell'UPS presente sull'armadio, di

conseguenza per conoscere l'effettivo consumo delle apparecchiature IT è necessario rimuovere analiticamente la potenza persa all'interno del gruppo di continuità.

Il data center è utilizzato soprattutto per la gestione delle esercitazioni del laboratorio di biologia, per cui si è scelto di utilizzare un tempo di misura piuttosto lungo (quattro giorni), in modo da percepire se sussiste una sostanziale differenza di energia assorbita tra il funzionamento normale ed il funzionamento durante le esercitazioni.



**Figura 31 - Andamento consumi IT**

Si può osservare nel grafico di figura 31 che i giorni 9 e 10 aprile, che sono un sabato e una domenica, sono caratterizzati praticamente dallo stesso consumo di tutti gli altri giorni in cui avvengono le esercitazioni. Se ne deduce che anche in questo data center la potenza IT risulta praticamente sempre costante nel tempo.

Il consumo medio misurato in un'ora è di 1,62 kWh, mentre il valore massimo è di 1,71 kWh ed il minimo di 1,59 kWh. Moltiplicando per il rendimento dell'UPS, stimato al 92%, il consumo medio orario delle apparecchiature IT vale 1,5 kWh.

Oltre all'energia assorbita dall'armadio rack bisogna tener conto anche del consumo del centro stella. In questo particolare caso l'alimentazione è sostenuta da due UPS dotati di un monitor nel quale si può leggere la potenza in uscita. Per questo

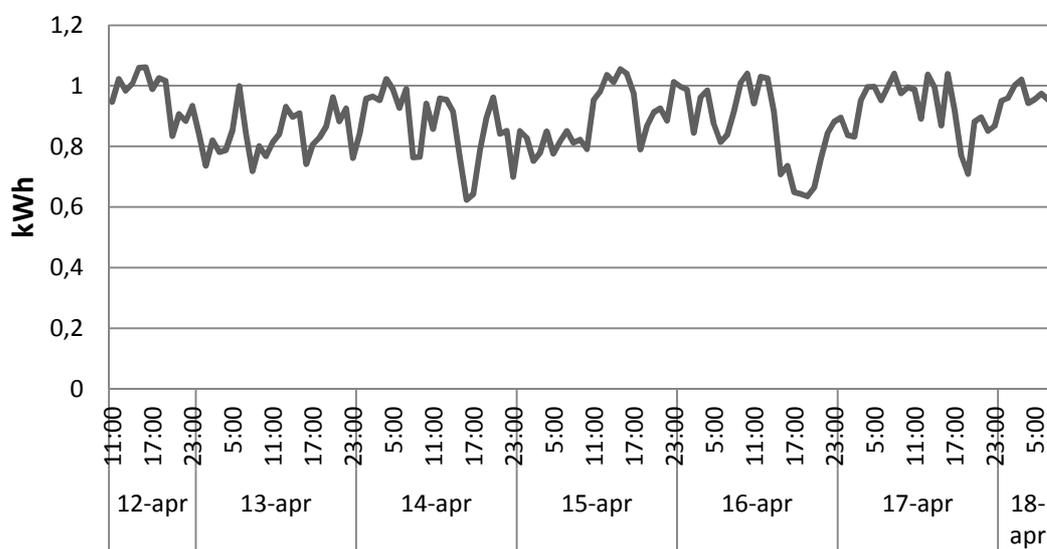
motivo, insieme al fatto che l'assorbimento è costante, si è constatato che il consumo medio orario del centro stella è di 550 Wh.

### *Sistema di refrigerazione*

I locali che hanno la necessità di essere refrigerati sono due: la stanza al seminterrato che contiene il centro stella e lo sgabuzzino al primo piano contenente l'armadio rack con i server.

Per quanto riguarda la stanza del centro stella non sono state effettuate misure perché durante il periodo di indagine il sistema di refrigerazione non era in funzione, probabilmente per il fatto che il calore erogato dagli apparati informatici è piuttosto basso.

Lo sgabuzzino contenente il data center vero e proprio è invece raffreddato da due colonne refrigeranti, che traggono l'alimentazione direttamente dal quadro elettrico posto all'interno della stanza. La misura è stata eseguita posizionando le pinze amperometriche dello strumento della Efergy.



**Figura 32** - *Andamento consumi sistema di raffreddamento*

Il tempo di misura è piuttosto lungo, quasi di una settimana, proprio per poter vedere bene le oscillazioni di energia assorbita. Come si può ravvisare dal grafico di figura 32, il consumo orario oscilla in modo piuttosto casuale attorno al valor medio

che è di 0,9 kWh, con un picco massimo di 1,06 kWh e un minimo di 0,62 kWh. L'oscillazione è dovuta alla logica di esercizio dell'impianto di raffreddamento.

### *Perdite negli UPS*

Il primo UPS considerato è quello ubicato nel locale UPS, cioè il sistema di continuità assoluta dedicato esclusivamente all'alimentazione delle utenze relative alle due aule informatiche al primo piano. Questo gruppo di continuità è estremamente performante, secondo i dati di targa ha un'efficienza del 99%. Inoltre, non se ne conosce esattamente la potenza erogata: esso sostiene oltre al data center anche altre utenze privilegiate delle aule di informatica, con la conseguenza che non si sa a quale percentuale di carico lavori. Per questi motivi si è scelto di trascurare il contributo di questo gruppo di continuità nel calcolo dell'efficienza.

Gli UPS che sostengono il centro stella hanno invece un rendimento a pieno carico del 93%, però erogano una potenza inferiore, 550 W. A questa potenza l'efficienza è minore, intorno al 85%. La potenza persa quindi in un UPS del centro stella vale:

$$P_{pcs} = Potenza\ Centro\ Stella * (1 - \eta_{UPS}) = 550 * (1 - 0.85) = 82,5\ W$$

L'armadio che contiene i server nello sgabuzzino dell'aula informatica ha un UPS il cui rendimento a pieno carico è del 92%. La potenza erogata è di 1,5 kW su 3,5 kW massimi, quindi con un fattore di carico maggiore a 0,5. Si può pertanto ritenere che funzioni con un rendimento pari a quello massimo. La potenza persa in media nell'UPS vale:

$$P_p = Potenza\ IT\ rack * (1 - \eta_{UPS}) = 1500 * (1 - 0.92) = 120\ W$$

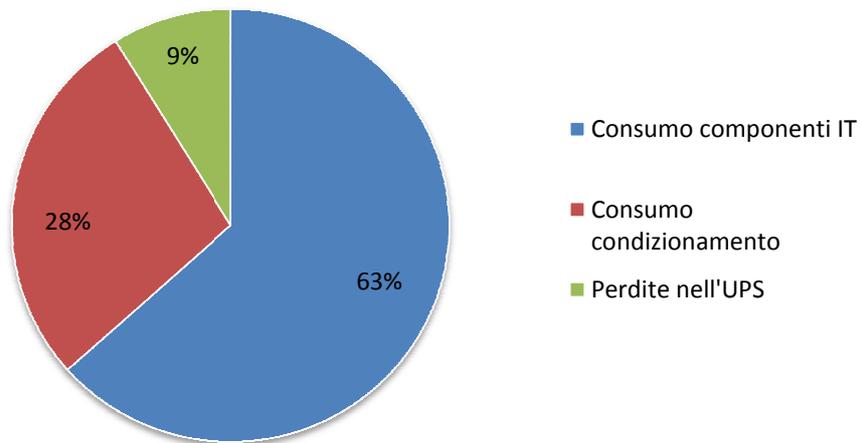
### **2.8.4 - Calcolo dell'efficienza**

Riepilogando, i consumi medi orari sono:

- $E_{IT} = Centro\ stella + Consumo\ Rack = 0,55 + 1,5 = 2,05\ kWh$  , è il consumo medio orario delle apparecchiature IT e del centro stella;

- $E_f = 0,9 kWh$ , è il consumo medio orario dei gruppi refrigeranti;
- $E_{ptot} = 2E_{pcs} + E_p = 2 * 82,5 + 120 = 285 Wh$ , è l'energia media persa in un'ora all'interno degli UPS.

La suddivisione dei consumi totali del data center è riportata nella seguente grafico.



**Figura 33 - Suddivisione consumi percentuale**

A differenza dei centri di calcolo analizzati precedentemente, la suddivisione dei consumi è caratterizzata dal fatto che le perdite nell'UPS sono decisamente più rilevanti. Il motivo è banalmente dovuto alla presenza di ben quattro gruppi di continuità, quando ne potrebbe bastare solamente uno. L'impianto di condizionamento invece risulta essere abbastanza performante.

Il calcolo del PUE è:

$$PUE = \frac{E_{IT} + E_f + E_{ptot}}{E_{IT}} = \frac{2050 + 900 + 285}{2050} = 1,6$$

Come si può vedere il PUE ottenuto risulta essere buono, quindi l'efficienza energetica del data center dell'edificio Botta è discreta.

Nonostante ciò non si può affermare che l'impianto sia stato progettato in maniera corretta. Il centro di elaborazione nasce semplicemente per gestire le due aule di informatica e le esercitazioni degli studenti, non deve quindi amministrare dati di estremo rilievo, e la continuità di servizio è importante, ma non vitale. Di conseguenza ci si dovrebbe aspettare un impianto semplice e poco costoso. In questo caso invece la situazione è esattamente opposta: l'impianto è estremamente complesso, costituito da vari componenti in esubero, che oltre ad impattare negativamente sull'efficienza energetica, sono anche causa di un investimento iniziale estremamente alto ed ingiustificato.

Lo spreco maggiore è relativo all'alimentazione del centro, si pensi infatti agli UPS in eccesso e al loro costo, che è di varie migliaia di euro (il prezzo di listino è intorno ai 4 mila euro per i tre UPS più piccoli, e sui 25 mila euro per l'UPS generale delle aule di informatica).

Da tenere in considerazione c'è però anche la cattiva distribuzione dei dispositivi del data center tra più locali, con la conseguenza di dover raffreddare più stanze ed aumentare i costi di investimento e di gestione del sistema.

## 2.9 Distribuzione totale dei consumi e dei costi

### 2.9.1 - Analisi dei consumi

Nella tabella seguente sono riepilogati i dati ottenuti dall'analisi dei singoli data center di Ateneo. Sono riportati i valori di potenza totale ed IT mediamente assorbiti durante il periodo di analisi, ed i valori relativi di PUE e di DCiE.

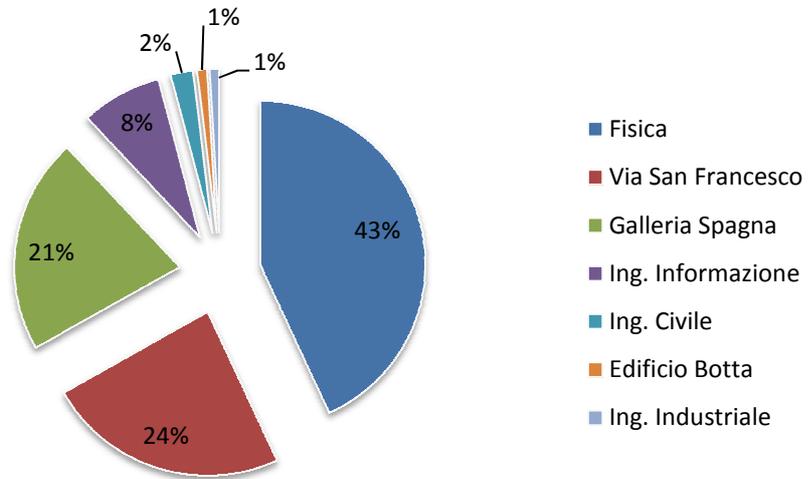
È importante ricordare che i valori riportati in tabella sono il frutto dell'analisi precedentemente esposta, e che è fondamentale tenere in considerazione tutte le diverse condizioni di misura per poter confrontare in modo corretto i valori riportati.

	<b>Consumo totale [kW]</b>	<b>Consumo IT [kW]</b>	<b>PUE</b>	<b>DCiE</b>
<b>Via San Francesco</b>	78	41,1	1,9	0,53
<b>Galleria Spagna</b>	70	51,5	1,4	0,71
<b>Fisica</b>	142	97,1	1,5	0,67
<b>Ing. Informazione</b>	26,2	14,4	1,8	0,56
<b>Ing. Civile</b>	7,2	4	1,8	0,56
<b>Ing. Industriale</b>	3	1,2	2,5	0,40
<b>Edificio Botta</b>	3,2	2,1	1,6	0,63
<b>Totale</b>	<b>329,6</b>	<b>211,4</b>	<b>1,6</b>	<b>0,63</b>

**Tabella 4 - Riepilogo potenze medie ed efficienza dei data center di Ateneo**

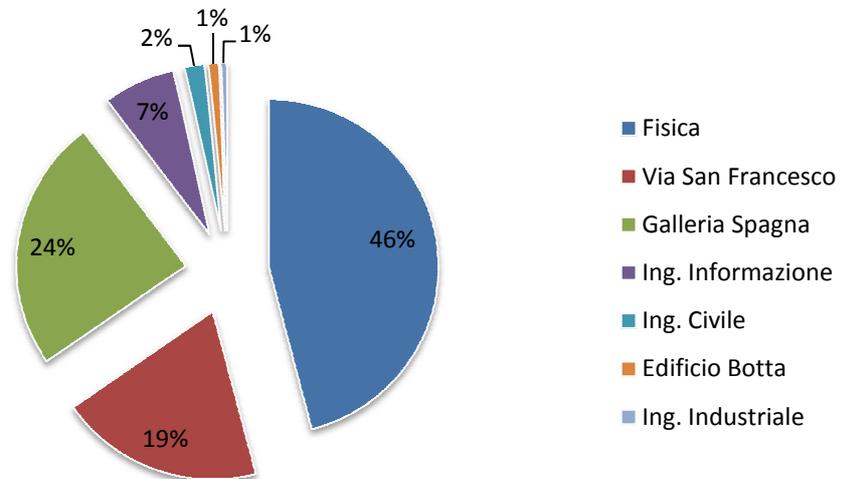
Dalla tabella emergono le enormi differenze di assorbimento energetico tra i vari data center di Ateneo, in particolare si può notare che il centro di calcolo più energivoro è quello del dipartimento di Fisica. Con i suoi server dedicati all'elaborazioni dati e alle sperimentazioni scientifiche risulta avere un assorbimento addirittura doppio a quello dei due data center del centro servizi informatici di Ateneo (CSIA). Dall'altro lato invece i tre centri di calcolo di Ingegneria e dell'edificio Botta sono praticamente trascurabili dal punto di vista dei consumi, soprattutto se confrontati con i tre data center più grandi.

## Assorbimento totale



**Figura 34 -** *Suddivisione consumi totali percentuale*

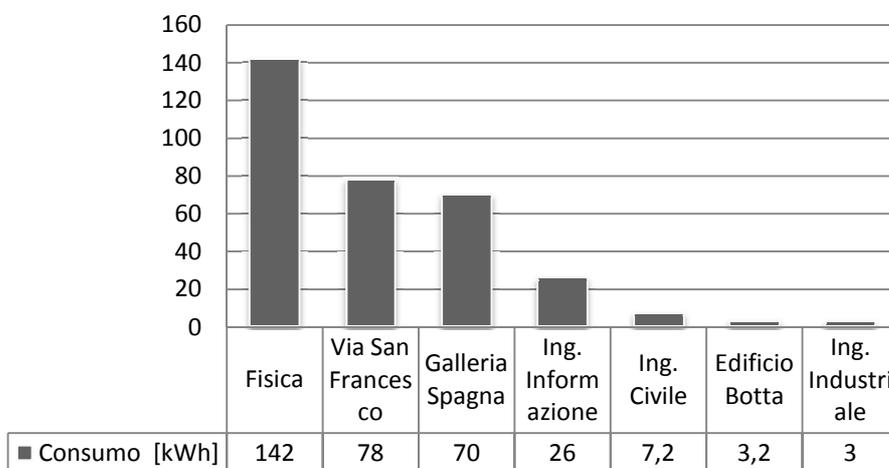
## Assorbimento IT



**Figura 35 -** *Suddivisione consumi IT percentuale*

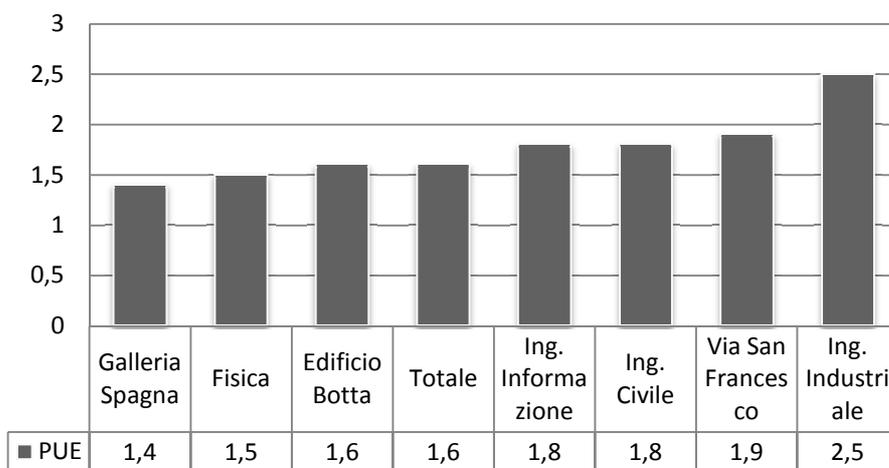
L'elevato squilibrio tra i centri di elaborazione è ancor più chiaro guardando i precedenti grafici a torta in figura 34 e 35, in cui è indicata la suddivisione percentuale dei consumi totali e dei consumi IT.

## Assorbimento totale



**Figura 36 - Consumi totali dei data center in ordine decrescente**

## PUE



**Figura 37 - PUE dei vari data center in ordine crescente**

Nei grafici precedenti sono riportati i vari data center in ordine di potenza assorbita e di PUE. Si nota che i centri di calcolo di via San Francesco e dell'edificio Botta rappresentano delle eccezioni rispetto al risultato atteso: cioè che all'aumentare delle potenze in gioco dovrebbe anche aumentare l'efficienza, per cui i data center che consumano di più dovrebbero essere caratterizzati da un PUE più basso.

Come già spiegato in precedenza, il data center dell'edificio Botta ha un buon PUE, nonostante le ridotte dimensioni del centro, che di per se sarebbe un fattore

positivo, se non fosse che il costo d'investimento è stato decisamente eccessivo ed ingiustificato. Il data center di via San Francesco ha invece un PUE elevato, dovuto principalmente all'impianto di condizionamento antiquato.

Il data center di Ingegneria Industriale è il più piccolo tra quelli analizzati, ma presenta comunque un valore di PUE decisamente troppo alto.

Il centro di calcolo di Galleria Spagna è il migliore da un punto di vista energetico, addirittura superiore al data center di Fisica, che è il più grande dell'Università.

Dall'analisi svolta risulta che la potenza mediamente assorbita dai centri di calcolo di Ateneo è di circa 330 kW, ad un PUE medio di 1,6. Il valore analizzato è pertanto piuttosto buono, anche se bisogna evidenziare il fatto che il merito è dei data center di Fisica e di Galleria Spagna, che da soli rappresentano il 64% dei consumi totali del campione esaminato. D'altra parte si può affermare che ben 4 data center sui 7 analizzati presentano un valore di PUE elevato. E che dei 3 contraddistinti da un buon livello di efficienza, solo Fisica e Galleria Spagna sono ben organizzati, mentre il data center dell'edificio Botta è sì energicamente efficiente, ma caratterizzato da un impianto che non è stato ben progettato.

Il periodo durante il quale è stato effettuato il lavoro di analisi di questa tesi va da marzo a giugno 2016, quindi nella stagione primaverile. Ciò che si vuole fare ora è provare a stimare il totale dei consumi dei data center di ateneo in un anno, poiché tale valore può risultare molto utile nel momento in cui si vogliono fare degli interventi di risparmio energetico.

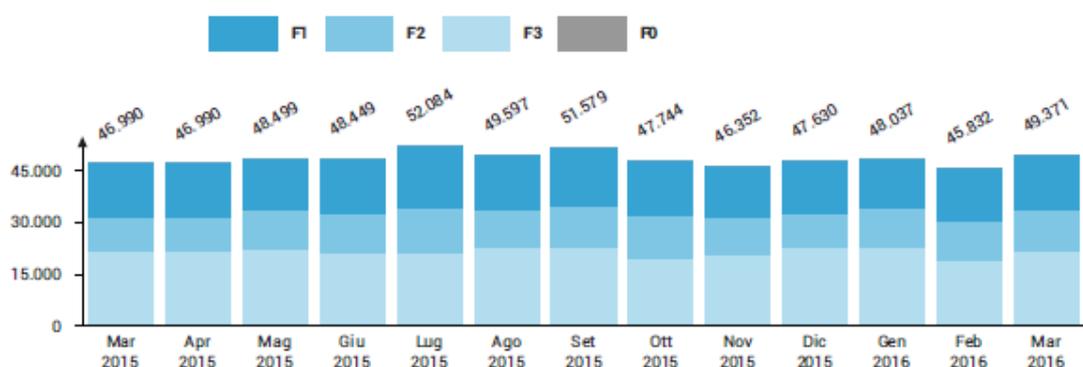
In totale, il consumo medio orario misurato di tutti i data center è di 330 kWh, per cui il consumo medio in un giorno è di 7920 kWh, ed in un mese primaverile è di 237600 kWh.

Se si volesse calcolare il consumo annuale bisognerebbe moltiplicare per il numero di mesi, ma prima è necessario fare alcune considerazioni. Come già spiegato in precedenza la potenza frigorifera richiesta dai data center è funzione delle condizioni atmosferiche esterne, e quindi anche delle stagioni. Per cui ci si aspetta che in estate il centro consumi di più, ed in inverno di meno.

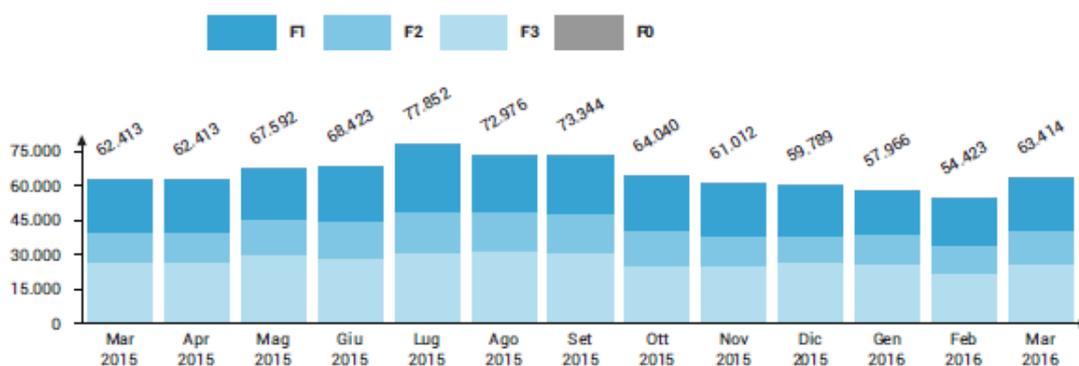
Ma quant'è questa variazione? Dalle misure svolte in questo lavoro non è possibile fornire una risposta, poiché il periodo di indagine è stato troppo breve,

inoltre, nessun data center ha a disposizione dati registrati su base annuale. Per provare a stimare questa variazione è stato necessario seguire un altro percorso: si sono utilizzate le bollette energetiche di Palazzo Sala, che ospita il data center di via San Francesco, e del palazzo che ospita il data center di Galleria Spagna. Questi due centri di calcolo sono gli unici tra quelli analizzati che dispongono di una bolletta specifica, in quanto occupano quasi interamente (di mezzo ci sono gli uffici, il cui consumo è però trascurabile rispetto ai data center) gli edifici che li contengono.

Dall'osservazione delle bollette energetiche si è riscontrato che la variazione tra estate ed inverno sussiste, ma non è così marcata. Nei due grafici seguenti si possono vedere i grafici con gli andamenti mensili dei consumi degli edifici di Galleria Spagna e di via San Francesco.



**Figura 38** - Andamento consumi mensili in kWh dell'edificio in Galleria Spagna



**Figura 39** - Andamento consumi mensili in kWh di Palazzo Sala

Dal grafico dell'andamento dei consumi mensili dell'edificio in Galleria Spagna si nota che non sussiste una grossa differenza tra estate ed inverno. Il consumo medio mensile è di 48,3 MWh, il picco massimo si ha in luglio ed è di 52,084 MWh, il minimo invece si ha in febbraio e vale 45,832 MWh. Lo scostamento dalla media è inferiore al 10%.

Per quanto riguarda palazzo Sala il discorso è lo stesso, solo che la differenza tra estate ed inverno è un po' più marcata. Il consumo medio mensile è di circa 65 MWh, il picco massimo si ha in luglio ed è di 77,852 MWh, il minimo invece si ha in febbraio e vale 54,423 MWh. Lo scostamento dalla media è inferiore al 20%.

Inoltre, il consumo energetico dei mesi primaverili è in linea generale molto simile al valor medio calcolato, per cui la conseguenza è che in prima approssimazione si può stimare la potenza annuale assorbita dai data center come il prodotto tra il consumo medio mensile in primavera per il numero di mesi dell'anno.

Pertanto, il consumo totale assorbito in un anno ( $E_{tot}$ ) dai data center dell'università di Padova è stimato intorno ai 2890800 kWh, ovvero circa 2,9 GWh.

Per offrire un termine di paragone, l'intera Università di Padova in un anno consuma sui 36 GWh, quindi il consumo energetico dei data center rappresenta circa l'8% del totale dell'Ateneo. L'Università di Padova è composta da innumerevoli edifici e da migliaia tra stanze e aule, eppure una fetta così rilevante di consumo è contenuta nell'appena ventina di locali che ospitano i vari centri di calcolo. Ci si rende allora conto di quanto siano energivori i data center e di quanto diventi di importanza fondamentale la loro giusta progettazione.

### **2.9.2 - Analisi dei costi**

Per prima cosa è necessario individuare qual è il prezzo al quale l'Università di Padova compra l'energia al kilowattora. Per fare quest'operazione si sono utilizzate le fatture delle bollette energetiche a disposizione.

Il prezzo medio dell'energia è dato dal rapporto tra l'importo da pagare e il totale dei consumi fatturati in un mese, ed il valore che si è ottenuto è di 0,16 €/kWh. Questo numero tiene conto però anche dei costi fissi in bolletta, per cui se si vuole passare al prezzo marginale dell'energia è necessario considerare solo i costi variabili.

In questo caso il prezzo non è costante, ma subisce una fluttuazione che varia da mese a mese, si è scelto dunque di considerarne il valore medio sulla base delle fatture che si avevano a disposizione.

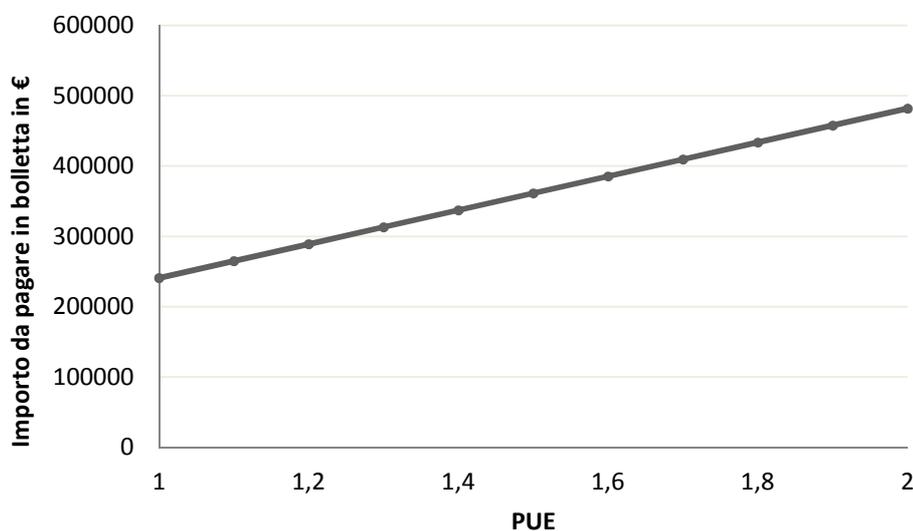
Il prezzo marginale dell'energia così calcolato è:

$$p_m = 0,13 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Tramite questo valore per prima cosa si può determinare il costo totale annuo dell'energia consumata ( $C_{tot}$ ) nei data center, che è pari al prodotto tra il consumo energetico totale ed il prezzo marginale dell'energia:

$$C_{tot} = E_{tot} * p_m = 375800 \text{ €}$$

Nel seguente grafico si può inoltre osservare la relazione che lega il costo dell'energia consumata nei data in funzione del loro PUE medio.



**Figura 40** - Costo dell'energia consumata in funzione del PUE

Attualmente, al PUE medio di 1,6 l'importo da pagare è stimato intorno ai 375800 €. Per ogni punto decimale di PUE medio in meno il costo in bolletta si riduce di circa 24000 € all'anno, cioè del 6,5%.

Nel caso ideale in cui il PUE valesse 1, il costo dell'energia, che in questo caso sarebbe solo energia IT, sarebbe di circa 241000 €.

Un altro dato interessante che si può ricavare dal grafico precedente è il risparmio che si potrebbe ottenere se tutti i data center di Ateneo avessero un'efficienza uguale a quella del più efficiente tra i data center, cioè quello di Galleria Spagna. In tal caso i consumi totali non sarebbero più pari a 2,9 GWh all'anno, ma si scenderebbe a circa 2,5 GWh. I costi in bolletta invece scenderebbero dagli attuali 375000 € ai circa 325000 €. Il guadagno annuale in termini di consumi pertanto sarebbe di 400 MWh, a cui corrisponde una riduzione dei costi annuale di circa 50000 €.

### ***2.9.3 - Interventi di efficienza energetica e tempi di ritorno***

Nei precedenti paragrafi riguardanti l'analisi dei consumi e dei costi, si è dedotto chiaramente quanto sia considerevole la quota di energia assorbita dai data center rispetto al consumo totale dell'Università e quanto sia notevole il loro impatto in bolletta.

In questo capitolo invece si vuole mostrare quanto possano essere convenienti gli interventi di efficienza energetica nei data center. Per farlo si prenderanno in esame alcuni dei centri di calcolo di Ateneo e si tenterà di trovare l'investimento più appropriato, e quando sarà possibile se ne calolerà il relativo tempo di ritorno.

#### *Data center di via San Francesco*

Si stima che il data center di via San Francesco consumi in un anno 683280 kWh, ovvero circa 683 MWh. Per questo motivo il costo energetico totale in un anno vale:

$$C_{tot} = E_{tot} * p_m = 683280 * 0,13 = 88826 \text{ €}$$

Come si può vedere il costo dell'energia non è per niente trascurabile, motivo per cui si vuole tentare di ridurre i consumi, in particolare intervenendo sul sistema di refrigerazione, che è la più grossa fonte di inefficienza del centro.

L'investimento proposto è quello della sostituzione dell'antiquato impianto di condizionamento esistente con uno nuovo di ultima generazione, più performante ed a tecnologia free cooling diretta. Il sistema preso in esame è messo in commercio dall'azienda Stulz s.p.a. ed è costituito da tre macchine ad espansione diretta con condensazione remota ad aria, con sistema di free cooling diretto e in configurazione di ridondanza N+1. I gruppi hanno una potenzialità massima di circa 24 kW ciascuno a 40°C esterni e i condensatori sono in versione Low Noise.

Il costo di investimento ( $I$ ), comprensivo di tutto, si aggira attorno ai 65000 €. Si stima così di risparmiare ben il 70% circa dell'energia elettrica consumata annualmente dal sistema di raffreddamento.

Ricalcolando i valori di consumo e di PUE nelle nuove condizioni si ha che il consumo medio orario del condizionamento ( $E'_f$ ) diventa:

$$E'_f = E_f * 0,3 = 36 * 0,3 = 11 \text{ kW}$$

Per cui il nuovo PUE' diverrebbe:

$$PUE' = \frac{E_{IT} + E'_f + E_p}{E_{IT}} = \frac{41,1 + 10,8 + 0,9}{41,1} = 1,3$$

Il consumo totale dell'energia consumata in un anno diviene:

$$E'_{tot} = (E_{IT} + E'_f + E_p) * 24 * 365 = 464280 \text{ kWh}$$

Il che significa che si risparmiano in un anno:

$$E_{tot} - E'_{tot} = 683280 - 464280 = 219000 \text{ kWh} = 219 \text{ MWh}$$

Che equivalgono ad un risparmio annuale pari a:

$$(E_{tot} - E'_{tot}) * p_m = 219000 * 0,13 = 28500 \text{ €}$$

Il tempo di ritorno dell'investimento stimato è quindi:

$$ROI = \frac{I}{(E_{tot} - E'_{tot}) * p_m} = \frac{65000}{28500} = 2,3 \text{ anni}$$

Il tempo di ritorno calcolato è molto breve, soprattutto se si considera che la vita utile di un impianto di questo genere è di 15/20 anni.

### *Data center di Ingegneria dell'Informazione*

Per questo data center sono possibili alcuni interventi di efficienza energetica, tuttavia per poter fornire un attendibile valore di tempo di ritorno dell'investimento occorrerebbe svolgere un'analisi che non è stata possibile fare durante questo lavoro di tesi.

Uno dei motivi per cui il data center di Ingegneria dell'Informazione ha un PUE così elevato sta nella scelta della temperatura della sala server. La temperatura impostata è difatti particolarmente bassa, tra i 20 e i 21°C. Il motivo di questa scelta è che i tecnici del centro hanno preferito mettersi in una condizione di maggior sicurezza (la temperatura bassa comporta una maggior inerzia termica) a scapito dell'efficienza energetica.

In questo centro di calcolo quindi, una soluzione pratica ed economica per migliorare l'efficienza del sistema potrebbe essere quella di aumentare la temperatura della sala server. L'innalzamento di qualche grado infatti potrebbe non essere particolarmente grave da un punto di vista della continuità di servizio garantita, ma allo stesso tempo potrebbe comportare un notevole miglioramento del PUE. Tale miglioramento sarebbe inoltre facilmente calcolabile tramite l'esecuzione di alcune prove di funzionamento a temperature diverse. Questo data center è infatti dotato di un completo sistema di misurazione che potrebbe permettere di determinare maniera semplice il PUE nelle nuove condizioni.

Il calcolo non è stato fatto durante questo lavoro semplicemente a causa del fatto che l'impianto di misurazione è entrato in funzione solamente qualche giorno prima della conclusione di questa tesi.

### *Data center di Ingegneria Industriale e dell'edificio Botta*

Il data center dell'edificio Botta, come già ampiamente spiegato, è caratterizzato sì da una discreta efficienza energetica, ma da un impianto decisamente mal progettato e con vari componenti in esubero. Al contrario, il centro di calcolo di Ingegneria Industriale è contraddistinto da una bassa efficienza energetica causata dall'azione combinata di un UPS sovradimensionato e da un impianto di condizionamento poco performante.

Per quanto riguarda il data center del Botta non si può far più nulla per l'enorme costo di investimento iniziale, tuttavia è facilmente migliorabile la struttura dell'impianto esistente. In particolare si può aumentare l'efficienza energetica semplicemente rimuovendo gli UPS in eccesso. Attualmente sono montati ben quattro UPS, uno generale che sostiene le intere aule di informatica e dotato di ottime caratteristiche tecniche. Gli altri tre invece sono direttamente montati sui rack ed avendo potenze nominali minori sono anche meno performanti.

Una soluzione facilmente implementabile sarebbe quella di dismettere i tre gruppi di continuità montati sugli armadi, evitando così le perdite di potenza in essi. In questo caso, ipotizzando che le perdite nell'UPS generale delle aule informatiche siano di circa 50 W, il nuovo PUE del data center diventerebbe:

$$PUE = \frac{E_{IT} + E_f + E_{ptot}}{E_{IT}} = \frac{2050 + 900 + 50}{2050} = 1,46$$

Il PUE precedente era di 1,6. Per cui semplicemente togliendo i componenti in esubero si è potuto ottenere una riduzione di consumo di 1750 kWh all'anno.

La rimozione degli UPS però potrebbe comportare un ulteriore vantaggio: uno dei problemi del data center di Ingegneria Industriale è proprio il sovradimensionamento del gruppo di continuità, e uno degli UPS tolti dall'edificio Botta ha i seguenti dati di targa:

- Modello APC3750 h952n
- Potenza apparente nominale di 5 kVA
- Potenza attiva nominale 3750 W
- Efficienza a pieno carico 93%

- Durata batterie di una decina di minuti a funzionamento nominale

Si nota che le sue caratteristiche sono ideali per alimentare l'armadio rack di Ingegneria. Difatti utilizzando questo UPS non ci si troverebbe più nella condizione di estremo sovradimensionamento precedente, per cui il gruppo di continuità potrebbe lavorare al suo rendimento massimo del 93%. Nel caso in cui si effettuasse questa sostituzione le nuove perdite nell'UPS diventerebbero in media solo di 85 W.

Il nuovo PUE pertanto sarebbe il seguente:

$$PUE = \frac{E_{IT} + E_f + E_p}{E_{IT}} = \frac{1220 + 1541 + 85}{1220} = 2,3$$

Come si può notare il PUE è migliorato di ben due punti decimali, anche se è comunque ancora parecchio elevato. Il problema principale di questo data center è infatti l'impianto di condizionamento, tuttavia semplicemente sostituendo il gruppo di continuità si ottengono miglioramenti rilevanti, si risparmiano all'incirca 1350 kWh annui.

Per questi interventi di efficienza energetica non ha nemmeno senso parlare di tempo di ritorno in quanto il costo d'investimento è quasi gratuito, consiste semplicemente in qualche ora di lavoro dei tecnici.

L'esempio di intervento appena riportato ha lo scopo di evidenziare il fatto che non sono sempre necessari grossi investimenti per migliorare l'efficienza di un data center, ma a volte possono essere sufficienti dei semplici accorgimenti e l'uso del buon senso nel dimensionamento e nell'organizzazione dei componenti.



### 3 - Fattori da tenere in considerazione per l'efficienza energetica

I data center sono impianti particolarmente energivori e che spesso lavorano ad un basso rendimento energetico. Dall'analisi dei centri di calcolo di ateneo è infatti risultato che il PUE medio è di 1,6, a cui corrisponde un DCiE di 0,625. Un miglioramento di questi valori potrebbe permettere una consistente riduzione dei consumi elettrici dell'Università, con i relativi benefici in bolletta.

Ma se un calo generalizzato dei consumi è un fattore così positivo per l'Università, perché nonostante ciò i data center hanno comunque una così bassa efficienza energetica?

I principali motivi sono riassunti qui in seguito [5]:

- Difficile previsione dell'andamento della potenza di calcolo richiesta nel futuro. Ciò comporta che generalmente per mettersi in condizioni di sicurezza i tecnici sovrastimano la potenza necessaria, con la conseguenza che i componenti lavorano ad una potenza nettamente inferiore alla nominale, quindi con peggior rendimento;
- Non si sa come e quanto si sta consumando perché il data center non è dotato di un sistema di misurazione;
- La bolletta specifica del data center fa parte di una bolletta energetica generale, e non si riesce a valutare l'effettivo consumo del data center;
- I costi energetici non sono sotto la responsabilità del gruppo operativo del data center;
- La storia stessa di alcuni data center, il modo in cui nascono. Si parte da una stanza in cui si mettono dei server con dei condizionatori e poi man mano si ampliano i sistemi in base all'esigenza. Infatti non tutti i data center nascono con una programmazione e pianificazione, ma soprattutto i centri di calcolo più piccoli sono frutto di un'evoluzione casuale che dipende da ciò di cui si necessita nel presente, senza un'attenta programmazione rivolta al futuro.

Per capire come sia possibile aumentare l'efficienza di un data center si faccia riferimento all'equazione del PUE:

$$PUE = \frac{Potenza\ Totale}{Potenza\ IT}$$

Dove la Potenza Totale è tutta la potenza elettrica che viene assorbita dall'intero sistema del data center, e quindi comprendente la Potenza IT, il condizionamento, l'alimentazione e tutti gli altri sistemi ausiliari.

Per diminuire il PUE, e quindi aumentare l'efficienza, si può tentare di intervenire sul numeratore o sul denominatore della formula.

Operare sul denominatore significa tentare di ridurre la potenza assorbita dalle apparecchiature IT, a parità di potenza di calcolo erogata. Per farlo è necessario montare dispositivi di ultima generazione ed attuare un sistema di sostituzione progressivo dei componenti IT più obsoleti.

Intervenire sul numeratore implica cercare di ridurre i consumi dei sistemi ausiliari del data center. Ad esempio migliorando il rendimento del gruppo di continuità assoluta, o tramite la corretta progettazione del sistema di raffreddamento.

Il miglior guadagno in termini di PUE si ottiene dalla giusta progettazione di un nuovo data center, tuttavia buoni risparmi si possono ottenere anche nei centri di calcolo già esistenti tramite opportune azioni ed investimenti [5]. Nel seguito del capitolo sono indicati i comportamenti e gli interventi che si dovrebbero tenere in considerazione per poter gestire al meglio un data center, nella maniera più efficiente.

### **3.1 - L'importanza del sistema di misurazione**

Durante il suo ciclo di vita un data center assorbe un'enorme quantità di energia, tanto che in alcuni centri di calcolo il costo dell'elettricità può superare il costo dell'investimento dell'infrastruttura fisica [6]. Motivo per cui è di fondamentale importanza tener conto dell'efficienza energetica e dei futuri consumi, sia durante la fase di progettazione, sia durante le fasi di rinnovamento del data center [3].

Per poter dimensionare e progettare il centro elaborazioni in modo corretto è assolutamente necessario conoscere il maggior numero di informazioni possibili e per farlo bisogna disporre di un adeguato sistema di misurazione. È difatti di immediata comprensione la validità dell'affermazione “non si può controllare ciò che non è possibile misurare” [6].

Ma quali sono le informazioni che devono essere assolutamente conosciute per poter gestire in modo efficace un data center? Quantomeno bisogna possedere tutte le grandezze necessarie al calcolo del PUE di categoria 1. Quindi l'andamento nel tempo della potenza assorbita dai componenti IT e dall'impianto di refrigerazione. Per quanto riguarda la potenza assorbita dai dispositivi IT, la determinazione della misura può risultare abbastanza agevole. Gli UPS di ultima generazione sono dotati di una diagnostica di automisurazione con la possibilità di connessione in rete. Di conseguenza, approssimando la potenza erogata dall'UPS alla potenza assorbita dai componenti IT (di mezzo ci sarebbero le perdite sui conduttori, sui trasformatori e sulle PDU, ma in prima approssimazione sono trascurabili), si può già avere una stima di questa grandezza senza nessuno strumento aggiuntivo.

Per la misura del sistema di refrigerazione è invece necessario l'uso di uno strumento da posizionare all'interno del quadro elettrico in cui si trova l'interruttore generale dell'impianto. Esistono varie tipologie di strumenti da quadro, di vario costo e di varia precisione. La caratteristica fondamentale è che siano dotati di un sistema di registrazione dati, che mostri l'andamento della potenza assorbita in funzione del tempo. La conoscenza della sola potenza istantanea infatti non è sufficiente ad evidenziare le fluttuazioni di potenza che sono funzione delle condizioni esterne al data center, come le condizioni atmosferiche, le stagioni e l'ora.

Queste sono le grandezze fondamentali che i tecnici di un centro di calcolo devono conoscere per poter operare in maniera adeguata anche da un punto di vista energetico, e non solo informatico.

Se si vuole ottimizzare ulteriormente il data center è opportuno avere ancora qualche informazione in più. Ad esempio, attualmente sono in commercio delle PDU che sono dotate di un sistema di misurazione interno. In questo modo la potenza assorbita dalle apparecchiature IT si può ottenere dalla somma delle letture delle varie PDU, pertanto non serve più approssimare tale potenza alla potenza erogata

dall'UPS. Inoltre questo sistema permette di conoscere con maggior precisione quali apparecchiature IT assorbono di più, per cui risulta più facile capire quali componenti sono meno efficienti e su quali è più conveniente intervenire.

Anche la misura della temperatura è un aspetto molto importante da tenere in considerazione. La semplice misura della temperatura della stanza tramite un termostato è fondamentale, perché permette ai gruppi frigo di sapere quanta potenza frigorifera è necessario immettere. Tuttavia questa misura offre solamente un valore poco rappresentativo della temperatura, che all'interno del locale non si distribuisce in maniera omogenea. È abbastanza intuitivo infatti che i punti più caldi si troveranno vicino ad un addensamento di server e i punti più freddi lungo il percorso dell'aria condizionata. Di conseguenza, una soluzione possibile è quella di implementare il sistema di misurazione posizionando più termostati in punti strategici degli armadi rack, permettendo così di risalire alla distribuzione della temperatura all'interno della sala server. I punti più caldi sono anche definiti hot spot, e sono quelle zone in cui è opportuno indirizzare il flusso d'aria fredda per garantire che i componenti IT lavorino nelle loro condizioni ottimali.

La conoscenza della distribuzione della temperatura permette inoltre di implementare una miglior logica di funzionamento del sistema refrigerante. Secondo alcuni studi [5] è abbastanza comune nei data center non ottimizzati riscontrare problemi di efficienza energetica legati all'errato funzionamento dei gruppi frigo. Ad esempio, se la sala server è dotata di due condizionatori, è possibile ritrovarsi nella situazione in cui uno dei due sta raffreddando mentre l'altro è in fase di riscaldamento. Questa particolare situazione può essere dovuta al fatto che il flusso d'aria fredda di un refrigeratore potrebbe essere indirizzato verso il termostato dell'altro condizionatore, creando questa circostanza poco gradevole. Lo stesso discorso si può fare per la deumidificazione e l'umidificazione. La corretta coordinazione dell'impianto di raffreddamento è quindi fondamentale, poiché una logica di funzionamento sbagliata può portare a notevoli sprechi e ad un peggioramento dell'efficienza dell'intero centro di calcolo [5].

In ogni caso è importante ricordare che più è completo il sistema di misurazione, più sono le informazioni a disposizione, e più è possibile gestire in maniera ottimale il data center.

## 3.2 - Le apparecchiature IT

I dispositivi IT si possono considerare come l'utilizzatore finale che svolge il lavoro del data center [8]. Dal loro funzionamento deriva il dimensionamento di tutti i sistemi ausiliari che compongono il centro di calcolo, per cui la corretta progettazione della parte IT è di fondamentale importanza per l'intero sistema e per la sua efficienza [1].

Dall'analisi svolta in questo lavoro è emerso che all'interno dei data center di ateneo, la sezione relativa alle apparecchiature IT è la più avanzata ed efficiente. La ragione è probabilmente dovuta al fatto che i vari centri di calcolo sono gestiti da tecnici informatici, i quali sono tendenzialmente più portati ad intervenire nel campo di loro maggior competenza, trascurando maggiormente invece i vari sistemi ausiliari che rientrano in un settore più propriamente elettrico.

Un altro motivo è anche probabilmente legato ai costi di investimento: è più agevole intervenire sostituendo progressivamente i server più obsoleti, piuttosto che rimpiazzare interamente il gruppo di continuità statica o l'intero impianto di condizionamento.

Anche se il consiglio è quello di concentrarsi maggiormente sui sistemi ausiliari, in questo paragrafo verranno elencati i possibili interventi per aumentare l'efficienza energetica delle apparecchiature IT.

### *La virtualizzazione*

La virtualizzazione è uno dei metodi più usati per la riduzione del consumo delle apparecchiature IT. I componenti che possono subire questo processo sono le unità di storage, i sistemi operativi, gli apparati di rete ed i server. La virtualizzazione consiste nell'impiego di una cosiddetta "macchina virtuale", la quale si comporta a tutti gli effetti come un vero e proprio computer dotato di un proprio sistema operativo. In questo modo è possibile diminuire i dispositivi in esecuzione condividendo le risorse di più utenti in un solo dispositivo. La conseguenza è l'incremento della percentuale di utilizzo e l'eliminazione degli apparecchi non necessari, permettendo un risparmio energetico immediato [1].

### *Il consolidamento*

Una delle maggiori cause di inefficienza tra le apparecchiature IT è il consumo dei server nei loro periodi di inattività. Solo il fatto di essere accesi e pronti per l'utilizzo comporta un loro cospicuo consumo di energia.

Con il consolidamento è possibile, senza abbassare la qualità del servizio, ottenere un ordinamento delle varie macchine virtuali in un numero ridotto di server, aumentandone di conseguenza il fattore di utilizzo e l'efficienza energetica [1].

### *Lo storage*

Le tecnologie attualmente utilizzate nello storage sono l'HDD (Hard Disk Drives) e l'SSD (Solid State Drives).

L'hard disk, o disco rigido, è un dispositivo di memoria che utilizza dischi magnetizzati per la registrazione dei dati. Al giorno d'oggi è l'unità di storage più utilizzata, ma sta venendo progressivamente rimpiazzata dalla più recente tecnologia degli SSD.

Il Solid State Drives è un dispositivo di memoria che permette l'archiviazione non volatile di dati su un supporto a semiconduttore, senza l'utilizzo di organi meccanici propri della vecchia tecnologia HDD. Gli SSD, oltre alla velocità di registrazione dati estremamente più elevata sono anche caratterizzati da un consumo energetico minore, generando allo stesso tempo meno calore.

La diffusione degli SSD è frenata dai costi ancora molto elevati rispetto ai tradizionali HDD, differenza che dovrebbe assottigliarsi sempre di più in futuro [8].

### *Sistema di conversione*

I server necessitano di un'alimentazione in corrente continua. Il dispositivo che converte la corrente alternata in uscita dall'UPS in corrente continua si chiama PSU (Power Supply Unit). Questo componente, spesso integrato all'interno dei server, a causa della trasformazione AC/DC comporta una perdita di energia che è funzione del suo fattore di utilizzazione. L'efficienza più alta si ha per carichi compresi nel range di utilizzazione tra 80 e 100%. Per valori inferiori al 50% si ha una caduta notevole del rendimento.

Un modo per evitare questa perdita di energia dovuta alla conversione AC/DC sarebbe quello di eliminare completamente questo passaggio, prelevando corrente continua direttamente dall'UPS. Questa opzione è ancora in fase di studio ma sarà da tenere in considerazione in un prossimo futuro [3].

### *Apparati di rete*

Tra le apparecchiature IT ci sono tutti gli strumenti di rete che sono necessari alla comunicazione interna ed esterna via web. Una delle caratteristiche negative di questi componenti è che non vengono mai spenti anche se non utilizzati, comportando quindi uno spreco di energia.

Le apparecchiature di rete di ultima generazione sono in grado di ridurre questo consumo tramite un procedimento di power-down automatico, che riduce la potenza del chip quando il segnale non è presente sui cavi [3].

## **3.3 - L'UPS**

L'UPS è uno dei componenti fondamentali di un data center, esso serve sia per la continuità di servizio, sia per la qualità dell'alimentazione.

È importante ricordare che per ogni data center dev'essere in funzione un solo gruppo di continuità, meglio se dotato di collegamento di bypass. Se è presente un secondo UPS il motivo è legato al grado di ridondanza, quindi non è in funzione, ma è semplicemente pronto ad intervenire nel caso l'altro si guasti. Gli impianti in cui ci sono più UPS in funzione, magari collegati in serie, sono impianti assolutamente da evitare.

Un altro aspetto di fondamentale importanza per la corretta progettazione dell'intero data center è il dimensionamento dell'UPS.

### ***3.3.1 - Dimensionamento dell'UPS***

Il parametro principale da considerare per dimensionare correttamente l'UPS è la potenza elettrica del carico da alimentare. Nel caso si abbiano più carichi questa è la somma algebrica delle singole potenze. Nel caso dei data center è la somma di tutte le apparecchiature IT connesse. Se invece si ha a disposizione solo la potenza

apparente totale, è necessario conoscere anche il fattore di potenza, che generalmente in questo tipo di applicazioni è compreso tra 0,65 e 0,9 [3]. Se non si hanno a disposizione questi dati è opportuno eseguire delle misure che permettano perlomeno di farsi un'idea riguardo alle potenze in gioco.

Altri parametri molto importanti da tenere in considerazione sono la corrente di spunto ed il valore del sovraccarico che l'UPS può sopportare. Solitamente i gruppi di continuità resistono a valori di sovraccarico del 150% per un tempo maggiore della durata della corrente di spunto del carico [16], in ogni caso è necessario verificarlo tra le caratteristiche tecniche dell'UPS scelto.

La potenza su cui viene dimensionato l'UPS è data dal rapporto tra la sommatoria delle potenze delle singole utenze ( $\sum P_i$ ) ed il rapporto tra la corrente di sovraccarico ( $I_s$ ) e quella nominale ( $I_n$ ):

$$\text{Potenza di dimensionamento} = \frac{\sum P_i}{\frac{I_s}{I_n}}$$

La corretta progettazione del gruppo di continuità è fondamentale per non sovradimensionare il data center. Questo perché la potenza persa nelle trasformazioni all'interno del gruppo di continuità si trasforma in calore che deve essere dissipato, e che rappresenta quindi un costo in più da sostenere nella gestione dell'intero centro di calcolo. Perciò un maggiore rendimento offre vantaggi sia da un punto di vista elettrico, grazie alle minori perdite, sia da quello della gestione termica della sala calcolo, con minore calore da smaltire da parte dei gruppi refrigeranti [3].

Nonostante ciò, pratica comune è quella di installare l'UPS con una potenza nominale molto più elevata del necessario, per evitare di dover sostituire il gruppo prematuramente nel caso di futuri ampliamenti del data center. Questo però comporta due conseguenze negative:

- Il costo di investimento iniziale è più alto del necessario perché si potrebbe utilizzare un UPS più piccolo ed economico;
- Il gruppo di continuità non lavora alla potenza nominale ma ad una potenza inferiore, quindi con un rendimento più basso. Nonostante gli UPS moderni abbiano una curva del rendimento piuttosto piatta, se il

sovradimensionamento è eccessivo, il rendimento può risultare parecchio compromesso.

Fortunatamente l'evoluzione tecnologica degli ultimi anni ha fatto un grosso passo avanti per quanto riguarda la modulazione. Un UPS modulabile è una macchina fatta da vari blocchi (o moduli) uguali ed indipendenti tra loro. In questo modo lavorano solamente i blocchi strettamente necessari al funzionamento del sistema, permettendo così un'ottima affidabilità e flessibilità. Inoltre, alcuni tipi di UPS consentono di sostituire o aggiungere moduli "a caldo", così da garantire comunque la massima continuità di servizio.

L'uso di UPS modulabili permette quindi un dimensionamento corretto, evitando di installare macchine più grandi per rispondere a possibili ampliamenti futuri, e consentendo ai gruppi di continuità di lavorare sempre con carichi vicini a quelli di massimo rendimento [3].

### **3.4 - Il sistema di raffreddamento**

Il sistema di raffreddamento e deumidificazione ricopre un ruolo di importanza vitale per il corretto funzionamento del data center. Lo scopo è quello di mantenere le corrette condizioni di temperatura e umidità, cosicché le apparecchiature IT possano funzionare in un ambiente ottimale. Il mancato funzionamento dell'impianto di condizionamento ha conseguenze molto negative, l'aumento di temperatura in tal caso può essere tale da comportare lo spegnimento del data center. Ma se da una parte il sistema di raffreddamento ha un ruolo fondamentale, e deve quindi sempre essere garantito, dall'altra parte costituisce il maggiore responsabile del consumo di energia non IT in un data center [11]. Motivo per cui non è solo sufficiente fare in modo che esso provveda al condizionamento del locale, ma è necessario che lo faccia nel miglior modo possibile, anche da un punto di vista dell'efficienza energetica.

Ma queste condizioni sono sempre rispettate? La risposta è non sempre. In alcuni centri di calcolo ad esempio può essere garantita solo la continuità di servizio grazie ad un'opportuna ridondanza dei componenti, ma dimenticandosi completamente dell'efficienza energetica. In altri casi invece è addirittura possibile che non venga assicurata nemmeno la continuità di servizio.

Ma come si garantiscono queste condizioni? Per la continuità di servizio si procede tramite la ridondanza dei componenti, ovviamente il grado di ridondanza dev'essere proporzionale all'importanza dei dati trattati nel centro. Si preferisce invece non inserire l'impianto di condizionamento a valle dell'UPS per non diminuirne ulteriormente la durata delle batterie.

Per l'efficienza energetica sono importanti i seguenti fattori:

- Corretto dimensionamento degli elementi del sistema: i vari componenti dell'impianto raggiungono i migliori valori di rendimento quando lavorano vicino alla potenza nominale [11];
- La corretta gestione dei flussi d'aria e del rendimento termico: ad esempio è opportuno usare apposite ventole piuttosto che impostare i condizionatori al massimo per inviare l'aria fredda a lunga distanza [1];
- Il posizionamento e l'organizzazione dei condizionatori all'interno del locale: i flussi d'aria fredda devono raffreddare i componenti IT prima di mescolarsi con l'aria calda. Inoltre, non dev'essere possibile l'eventualità in cui alcuni condizionatori riscaldano nella stessa stanza dove altri raffreddano [1];
- La temperatura dell'ambiente dev'essere la più adeguata, per offrire da un lato una sufficiente inerzia termica, dall'altro una buona efficienza del centro [11];
- L'uso delle nuove tecnologie di modulazione della potenza: in particolare la modulazione della potenza tramite inverter, che a carichi parziali permette di raggiungere prestazioni migliori rispetto alla vecchia logica on/off [11].

Altri aspetti da tenere in considerazione nella progettazione del sistema di condizionamento sono la densità di potenza installata e il consumo del data center. Da questi parametri deriva la scelta del tipo di impianto di raffreddamento più adatto. Se il consumo del data center e la densità di potenza per rack sono bassi, il sistema di condizionamento più opportuno è verosimilmente un sistema semplice e caratterizzato da un basso costo di investimento. All'aumentare dei consumi e della densità di potenza (indicativamente a partire dai 2-3 kW per rack), diventa sempre

più importante l'attenzione verso l'efficienza energetica, sia per evitare bollette troppo elevate, sia per lo smaltimento di calore necessario all'interno degli armadi. Quindi diviene necessario progettare un impianto di condizionamento di categoria superiore, che preveda l'uso dei corridoi d'aria calda o fredda, o addirittura in caso di elevatissime densità di potenza in gioco (sopra i 15 kW per rack), l'utilizzo di sistemi di raffreddamento per unità rack a liquido di precisione [3].

### **3.5 - Il free cooling**

Il free cooling è una pratica di raffreddamento che fornisce un raffreddamento gratuito, permettendo, quando la temperatura dell'ambiente esterno è bassa, lo spegnimento o la parzializzazione del compressore del ciclo frigorifero, e quindi un notevole abbassamento dei consumi del sistema di condizionamento del data center [3]. A volte, al posto di "free cooling" si preferisce utilizzare il termine "economizzatore" in quanto il funzionamento è realmente free solo nel caso in cui il compressore sia completamente spento. Il termine economizzatore invece sta a indicare anche l'eventualità in cui il compressore sia solamente parzializzato[30].

Il principio di funzionamento consiste nell'asportazione del calore interno al data center, quando la temperatura esterna è inferiore all'ambiente da condizionare. Ovviamente il free cooling risulta tanto più efficace quanto la temperatura esterna è bassa, per cui esistono forti differenze in base alla latitudine ed al clima nel quale l'impianto è installato [3].

I metodi per raggiungere tale risultato sono due, il free cooling diretto e quello indiretto:

- Il free cooling diretto consiste nell'uso di ventilatori e deflettori, che attraverso apposite condutture dotate di filtri, spingono l'aria fredda esterna direttamente all'interno del locale da raffreddare, quando la temperatura esterna è sufficientemente bassa [31]. L'aria proveniente dall'esterno dev'essere comunque sempre trattata, controllandone l'umidità per evitare eventuali fenomeni di condensazione e filtrata per evitare l'ingresso di polveri che potrebbero sporcare le apparecchiature elettroniche [3].
- Il free cooling indiretto invece usa l'aria fredda esterna per raffreddare il data center tramite uno scambiatore di calore [31]. Normalmente consiste

nell'utilizzare l'acqua refrigerata dell'impianto di raffreddamento esistente, raffreddandola in parte o completamente con l'aria esterna [3].

La differenza tra le due tipologie sta nel modo in cui avviene lo scambio di calore con l'esterno. Nel free cooling diretto l'aria esterna viene direttamente immessa nel locale da raffreddare, mentre in quello indiretto c'è un passaggio in più dovuto allo scambiatore di calore. La conseguenza è che un impianto a free cooling diretto ha un costo minore e presenta un livello di efficienza maggiore, perché non sussiste il passaggio dello scambiatore di calore. Per contro, in un impianto indiretto l'interno del data center e l'aria esterna sono completamente separati, quindi questo sistema è meno soggetto alla variazione delle condizioni esterne [30].

Generalmente si preferisce utilizzare il sistema diretto nel caso in cui il data center si trovi in ambienti freddi e favorevoli durante tutto l'arco dell'anno. Il sistema indiretto è invece prediletto nei luoghi dove le condizioni esterne sono meno clementi: ad esempio nel caso in cui ci siano forti variazioni di umidità o di temperatura; o dove ci sia un concreto rischio di una bassa qualità dell'aria esterna; o ancora, se le apparecchiature IT sono caratterizzate da un range di temperatura particolarmente ridotto. Infatti la minor influenza dell'ambiente esterno in questo tipo di sistema ha il vantaggio di permetterne un maggior controllo [30] [31].

Alla latitudine di Padova entrambe le soluzioni paiono molto vantaggiose da un punto di vista energetico, soprattutto se confrontate con i sistemi di condizionamento tradizionali [30]. Secondo alcune stime relative alla zona del Veneto [32] [33], il risparmio ottenibile sui consumi della potenza di condizionamento tramite l'uso del free cooling, va dal 30% al 70%, con un lieve vantaggio da parte del sistema indiretto. La scelta tra le due tipologie va comunque fatta impianto per impianto in base ad un'analisi dei costi, dei ricavi e dai rischi associati [30].

Per concludere, due importanti considerazioni da fare sono:

- Il free cooling permette una forte riduzione dei consumi nell'arco dell'anno, ma non la riduzione della potenza nominale installata dei gruppi frigo [3]. Questo perché in estate, nei mesi più caldi, il free cooling non è in funzione, ed è il ciclo frigorifero tradizionale che deve garantire la potenza frigorifera

necessaria. Il free cooling permette di ottenere un elevato risparmio energetico principalmente nei mesi più freddi.

- Per avere un numero maggiore di ore di funzionamento in modalità free cooling, la temperatura della sala deve essere il più alta possibile, compatibilmente con l'intervallo di funzionamento degli apparati IT. In Italia nelle sale di alcuni centri di calcolo si è arrivati anche ad una temperatura interna di 26 o 27 °C, in modo da sfruttare al massimo i vantaggi energetici di questo sistema [3].

### **3.6 - La centralizzazione**

Dall'analisi svolta in questo lavoro di tesi si è constatato che la tendenza comune è quella di avere molti data center, almeno uno per dipartimento, in alcuni casi anche di più. I motivi di questa scelta sono più che altro di tipo politico (indipendenza tra dipartimenti), oppure legati alla tradizione in base alla quale ogni tecnico informatico deve avere l'hardware in una stanza adiacente al suo ufficio. Quest'ultima particolarità era sensata fino a qualche anno fa, ma ora grazie al controllo da remoto non è più indispensabile la vicinanza tra uffici e la parte fisica del data center.

Da un punto di vista puramente tecnico questa frammentazione dei centri di elaborazione non è per niente vantaggiosa, in particolar modo per quanto riguarda l'efficienza energetica. Avere parecchie sale server costringe infatti ad aumentare il numero di UPS e di sistemi di condizionamento in funzione. Inoltre lo stesso fatto di avere data center di piccole dimensioni non permette di fare ragionamenti vantaggiosi sull'efficienza energetica.

La soluzione tecnicamente più vantaggiosa è l'accentramento dell'hardware (solo hardware, non necessariamente gli uffici di tutti i tecnici informatici di dipartimento), in modo da costruire meno data center, ma di dimensioni maggiori, e dotati di un minor PUE e di una maggior ridondanza. L'aumento di dimensione permette di ragionare secondo un'economia di scala che permette di fare migliori investimenti sia sull'efficienza, sia sulla sicurezza della continuità di servizio. Ovviamente parallelamente alla centralizzazione dev'essere sviluppato anche il

sistema di trasmissione dati dell'Università, con i relativi vantaggi sulla velocità di interconnessione.

### **3.7 - Il sovradimensionamento**

Spesso nei data center è praticato il sovradimensionamento dei sistemi ausiliari, in particolare per i componenti come gli UPS e l'impianto di condizionamento. Tale pratica di progettazione si attua principalmente per mettersi in condizioni di sicurezza, in quanto è di difficile determinazione l'evoluzione della potenza IT richiesta dal data center. Per questo motivo, per non trovarsi in un'ipotetica condizione futura in cui i sistemi ausiliari non sono più sufficienti a garantire il funzionamento del centro, si preferisce dimensionare già dal primo momento il data center per una potenza maggiore rispetto a quella necessaria.

Questo procedimento però comporta alcuni aspetti negativi:

- Il costo di investimento iniziale è maggiore;
- Le perdite di potenza fisse all'interno dell'UPS e dei gruppi frigo sono proporzionali alla loro potenza nominale [5];
- L'efficienza energetica del centro è minore perché i componenti lavorano ad una potenza inferiore a quella nominale;
- È possibile che la potenza IT nel futuro non aumenti, o addirittura diminuisca, peggiorando ulteriormente lo svantaggio precedentemente elencato del calo dell'efficienza energetica;
- Negli ultimi tempi si stanno sviluppando velocemente sistemi dotati di logica modulare: di conseguenza l'uso del sovradimensionamento diventa sempre meno necessario. La modularità dei dispositivi ausiliari (come ad esempio gli UPS modulari) permette di rimuovere o aggiungere facilmente blocchi, e di lavorare sempre nelle condizioni migliori.

In base a queste considerazioni si capisce dunque che per quanto possibile, sia preferibile evitare l'utilizzo del sovradimensionamento, soprattutto se eccessivo. Inoltre, secondo alcuni studi il corretto dimensionamento dell'impianto è uno dei migliori tra gli interventi di efficienza energetica che possono essere attuati [5].

Ma come si fa a progettare e dimensionare correttamente il sistema? Prima di tutto è assolutamente necessario conoscere, o perlomeno stimare la potenza richiesta dalle apparecchiature IT. Dalla conoscenza di questo valore si può ricavare la potenza nominale con la quale l'UPS alimenta i dispositivi IT. Dopodiché dalla somma del consumo IT, delle perdite nell'UPS e nel sistema distribuzione dell'energia, si ricava la potenza frigorifera che l'impianto di condizionamento dev'essere capace di sviluppare.

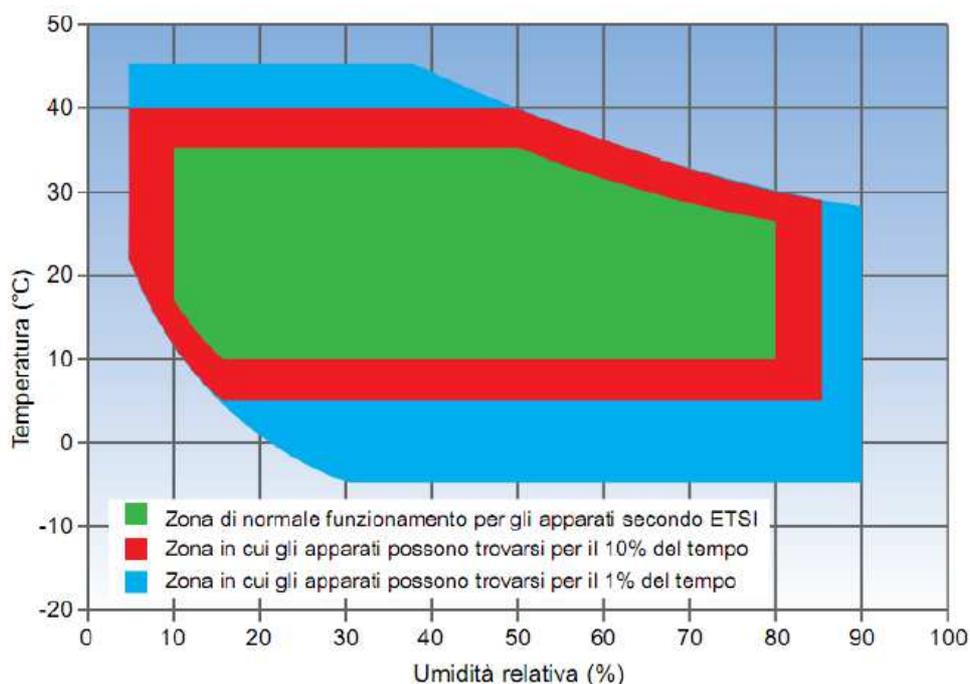
Il miglior modo per conoscere il consumo della potenza IT è avere un opportuno sistema di misurazione che permetta la registrazione dei dati. Tuttavia questo metodo è attuabile solo se i vari componenti sono già installati ed in funzione. Se si vuole stimare la potenza IT prima della costruzione del data center lo si deve fare in maniera analitica, cioè sommando i vari consumi delle singole apparecchiature IT che saranno montate [29].

### **3.8 - La temperatura di funzionamento**

L'Ente europeo ETSI (European Telecommunications Standards Institute) con la norma ETSI EN 300 019-1-3, ha definito i parametri di temperatura e umidità di lavoro delle apparecchiature IT dei data center.

In figura 41, la zona verde, compresa tra i 10 ed i 33 °C, e tra il 10 e l'80% di umidità relativa, è la zona di normale funzionamento dei dispositivi. La zona rossa è quella in cui gli apparati possono trovarsi per un 10% del loro tempo di vita senza subire danni, e la zona azzurra è quella in cui si possono trovare solo per l'1% del tempo [3].

La zona di funzionamento è abbastanza ampia, bisogna quindi capire quale sia il punto di funzionamento ottimale.



**Figura 41** – Zone di funzionamento delle apparecchiature IT [3]

Da evidenziare è la differenza di temperature che si possono misurare all'interno del locale CED. Si può infatti far riferimento alla temperatura dei dispositivi IT, come in figura 41, oppure alla temperatura media della stanza. Ovviamente i valori riscontrati saranno differenti, con la temperatura registrata in prossimità dei dispositivi informatici che sarà tendenzialmente più elevata.

Il consumo del sistema di raffreddamento solitamente rappresenta circa un terzo del totale dell'energia assorbita da un data center, motivo per cui la scelta della condizione termica di funzionamento non influisce solo sull'affidabilità dei componenti IT, ma anche in maniera diretta sul consumo, e quindi sull'efficienza dell'intero centro di calcolo.

La corretta scelta della temperatura di funzionamento del data center ha quindi lo scopo di individuare la temperatura alla quale le apparecchiature lavorano in modo ottimale e l'efficienza del sistema è massima. La valutazione di questa temperatura non è facile per il fatto che esistono molteplici fattori che sono influenzati da questa scelta.

Secondo l'ente americano ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), il range di temperatura indicato per le

apparecchiature IT è tra i 18 e i 25 °C e quella di umidità relativa tra il 40 ed il 55%. I livelli di temperatura indicati sono quelli dell'aria in ingresso all'apparato in considerazione [3]. Ma quali sono i vantaggi e gli svantaggi nel trovarsi ad una temperatura relativamente elevata, quindi vicino ai 25°C, oppure ad una più bassa, vicino ai 18°C.

Un aumento della temperatura comporta i seguenti vantaggi:

- Una riduzione di potenza frigorifera richiesta all'impianto di condizionamento;
- Un incremento del rendimento dell'impianto di condizionamento, dato da una temperatura maggiore all'evaporatore;
- Se è previsto un impianto a free cooling aumentano le sue ore di funzionamento, con i relativi benefici.

Per contro gli svantaggi sono:

- La temperatura elevata comporta la diminuzione del tempo di funzionamento del data center nel caso di blocco del sistema di refrigerazione;
- L'aumento di temperatura comporta anche un incremento del consumo delle apparecchiature IT. In particolare dei server, le cui ventole interne devono generare un flusso d'aria maggiore per ridurre la temperatura della CPU [27].

Da queste considerazioni si evince che non esiste una risposta univoca che consenta di dare una temperatura di funzionamento ottimale, valida per tutti i data center. I fattori da considerare sono molti ed ogni centro di calcolo ha un suo particolare punto di funzionamento ideale.

Il modo di procedere per la determinazione della temperatura è quindi quello di valutare per prima cosa il grado di sicurezza del sistema. Se l'impianto di refrigerazione è sicuro e ridondato è possibile mantenere temperature abbastanza alte, se invece è consistente il rischio di interruzione elettrica è consigliabile avere una temperatura del locale bassa, in modo che il tempo di intervento prima del raggiungimento della temperatura limite sia sufficientemente elevato [11]. Una volta

appurato il rischio si può procedere attraverso un'analisi sperimentale dell'efficienza. Se si è dotati di un sistema di misurazione che permetta il calcolo del PUE (anche solo di prima categoria) è già possibile ricavare l'andamento dell'efficienza in funzione della temperatura impostata nella sala. È sufficiente eseguire alcune prove a temperature diverse e determinare quella in cui il PUE ha valore minore. La temperatura così determinata risulta essere la temperatura ideale di funzionamento del data center.

### **3.9 - Linee guida per la corretta progettazione di un data center**

In questo capitolo saranno elencati gli aspetti principali da tenere in considerazione qualora dovesse essere necessario progettare in maniera efficiente un nuovo data center.

- Scelta delle apparecchiature IT: in base alle funzioni che il data center dovrà svolgere è opportuno scegliere i componenti IT più adatti. È importante ricordare che i server sono i dispositivi più energivori, quindi è meglio prediligere quelli che a parità di potenza di calcolo assorbono meno energia;
- Analisi dell'importanza dei dati trattati: cioè quanto sarebbe grave la perdita di dati sensibili. In base a questo studio deriva il grado di sicurezza e di ridondanza con cui dev'essere progettato il data center;
- Scelta dei sistemi ausiliari: in base alla potenza assorbita dalle apparecchiature IT si determina facilmente qual è la potenza frigorifera richiesta e la potenza nominale dell'UPS;
- Evitare i sovradimensionamenti, in quanto impattano negativamente sia sul costo iniziale d'investimento, sia sull'efficienza energetica del centro. Si consiglia di utilizzare dispositivi dotati di logica modulare;
- La scelta dell'UPS va fatta tenendo conto delle potenze in gioco e del grado di sicurezza che si vuole dare al sistema;
- L'impianto di condizionamento dev'essere sufficiente a garantire le condizioni ottimali di funzionamento dei componenti IT. Il grado di ridondanza è funzione dell'importanza dei dati trattati. All'aumentare dei

consumi e delle densità di potenza in gioco si devono impiegare impianti sempre più efficienti, quindi che prevedano l'uso di corridoi di aria calda o fredda, ed eventualmente del free cooling;

- Il gruppo elettrogeno è necessario per garantire la continuità di servizio in caso di blackout prolungati nel tempo. È assolutamente necessario se l'importanza dei dati trattati dal centro è elevata;
- Di importanza fondamentale è l'impianto di misurazione interno al data center. È l'unico sistema che permette di conoscere le varie grandezze in gioco ed il loro andamento nel tempo. Senza di esso è impossibile progettare un centro di calcolo in maniera ottimale;
- La scelta della temperatura nella sala server è un aspetto fondamentale da tenere in considerazione, da essa derivano direttamente il grado di efficienza e di sicurezza del data center;
- La centralizzazione: non ha senso da un punto di vista tecnico costruire più data center, oppure distribuire le sale server in più locali. Ciò comporta solo un aumento dei componenti necessari e un peggioramento dell'efficienza. È meglio averne solo uno e ben organizzato;
- È importante infine ricordare che anche se l'efficienza energetica dei data center non è sotto la diretta responsabilità dei tecnici informatici del centro, è comunque un parametro di importanza fondamentale da tenere in considerazione, in quanto da essa deriva direttamente ed in maniera rilevante l'impatto in bolletta dell'Università.



## Conclusioni

Il lavoro svolto è nato con l'obiettivo di analizzare lo stato dei data center dell'Università di Padova. Si è concentrato principalmente sui consumi energetici, sulle soluzioni tecnologiche adottate e sull'organizzazione dei componenti utilizzati, ed ha avuto l'ulteriore fine di valutare l'impatto che i vari centri di calcolo hanno sui consumi totali e sulla bolletta energetica di Ateneo.

L'analisi è stata eseguita inizialmente prendendo in considerazione un data center per volta, dopodiché, utilizzando il parametro PUE, si è cercato di confrontare tra loro i vari centri di calcolo in modo da valutarne l'efficienza.

I risultati ottenuti hanno evidenziato come la situazione dei data center di Ateneo sia assai eterogenea, sia da un punto di vista delle potenze assorbite e delle tecnologie utilizzate, sia per quanto riguarda l'efficienza energetica. Inoltre, si è stabilito quanto il settore dei centri di calcolo sia estremamente energivoro all'interno dell'economia dell'Università: si è ricavato difatti che ben l'8% dei consumi elettrici totali e circa 375000 € in bolletta energetica annuale sono imputabili direttamente all'energia da essi impiegata.

Oltre all'elevato impatto che i data center hanno sui consumi energetici, si è anche cercato di sottolineare quanto l'energia sia spesso impiegata in maniera poco efficace e di quanto questo settore sia quindi predisposto a concreti margini di miglioramento. Sono stati presentati alcuni possibili interventi di efficienza energetica e si è constatato che questi investimenti possono risultare molto convenienti, comportando una forte riduzione del PUE e dei consumi, e con tempi di ritorno molto brevi. Si è appurato inoltre che anche interventi minori, come piccoli accorgimenti o il semplice buon senso dei tecnici dei centri di calcolo, possono già essere sufficienti ad ottenere un concreto miglioramento dell'efficienza.

In base alla consapevolezza acquisita riguardo ai consumi totali e ai margini di miglioramento relativi al settore dei data center, si consiglia quindi di procedere nei prossimi lavori con un'analisi più dettagliata sugli interventi di efficienza energetica. È infatti dall'esame specifico dei vari centri di calcolo, valutati uno per volta, che si può determinare quali sono i migliori investimenti che possono essere effettuati per ottenere una diminuzione generalizzata dei consumi elettrici.

Nella tabella seguente si vogliono riepilogare gli investimenti presi in considerazione e quelli che invece dovrebbero essere analizzati più attentamente, in modo che questa diagnosi possa essere utile per ottenere dei sostanziali miglioramenti non solo per quanto riguarda il settore dei data center, ma per tutta l'Università di Padova.

	<b>Interventi consigliati</b>	<b>Risparmi stimati</b>	<b>ROI</b>
<b>San Francesco</b>	Nuovo impianto a free cooling diretto	219 MWh e 28500 € all'anno	2,3 anni
<b>Galleria Spagna</b>	Nuovo impianto a free cooling	n.d.	n.d.
<b>Fisica</b>	Installazione di un gruppo elettrogeno	Aumento dell'affidabilità del sistema	n.d.
<b>Ing. Informazione</b>	Aumento temperatura sala server	n.d.	n.d.
<b>Ing. Civile</b>	Accentramento in un solo locale	n.d.	n.d.
<b>Ing. Industriale</b>	Sostituzione del vecchio UPS	1350 kWh all'anno	Immediato
<b>Edificio Botta</b>	Rimozione UPS in eccesso	1750 kWh all'anno	Immediato

**Tabella 5 - Riepilogo interventi consigliati e relativi risparmi energetici**

## Bibliografia

- [ 1 ] Pulice, “Il problema del risparmio energetico nei data center”, *Tesi di Laurea in Algoritmi e Strutture Dati*, Università di Bologna, 2011.
- [ 2 ] V. Avelar, “Guida al calcolo dell’efficienza (PUE) nei data center”, *White paper 158, APC*, 2012.
- [ 3 ] M. Bramucci, D. Di Santo, D. Forni, “Uso Razionale dell’energia nei centri di calcolo”, *ENEA, Ministero dello Sviluppo Economico*, 2010.
- [ 4 ] Silicon Valley Leadership Group. Data center energy forecast. Technical report, 2008.
- [ 5 ] N. Rasmussen, “Implementing Energy Efficient Data Center”, *White paper 114, APC*, 2011.
- [ 6 ] N. Rasmussen, “Misurazione dell’efficienza energetica del data center”, *White paper 154, APC*, 2012.
- [ 7 ] <http://blog.betacom.it/2015/10/31/>
- [ 8 ] M. Bramucci, D. Di Santo, D. Forni, “Linee guida per la progettazione di data center ad alta efficienza”, *ENEA, Ministero dello Sviluppo Economico*, 2010.
- [ 9 ] “Recommendations for Measuring and Reporting Overall Data Center Efficiency”, *ASHRAE, The Green Grid, Silicon Valley Leadership Group, U.S. Department of Energy, Save Energy Now Program, U.S. Environmental Protection Agency’s, ENERGY STAR Program, United States Green Building Council, and Uptime Institute*, July 2010.
- [ 10 ] <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2014/06/02/survey-industry-average-data-center-pue-stays-nearly-flat-four-years>.
- [ 11 ] M. Chinnici, A. Quintiliani, “Definizione di algoritmi e indicatori per l’efficientamento dei centri di elaborazione dati (CED)”, *ENEA, Ministero dello Sviluppo Economico*, 2011.
- [ 12 ] <https://www.csia.unipd.it/il-centro>
- [ 13 ] K. McCarthy, EDG2 Inc., V. Avelar, Schneider Electric, “Comparing UPS System Design Configurations”, *White paper 75 APC*.
- [ 14 ] N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, “Elettronica di Potenza”, *Hoeppli*, 2009.
- [ 15 ] N. Rasmussen, “I diversi tipi di sistemi UPS”, *White paper 1, APC*, 2010.

- [ 16] CEMEP Comitato europeo costruttori macchine elettriche ed elettronica di potenza, “Gruppi Statici di Continuità”, *Guida Europea Terza Edizione*, 2007.
- [ 17] <http://www.acs-services.de/media/products/0948892001416219686.pdf>
- [ 18] <http://www.accuweather.com/it/it/padua/2>
- [ 19] <https://www.climaveneta.com/IT/Download/View/1237.dl>
- [ 20] <http://anima-its.com/wp-content/uploads/ups-sai/134450956318fb8.pdf>
- [ 21] <http://datasheet.octopart.com/MX5000-APC-datasheet-9719395.pdf>
- [ 22] <http://comprensivocassino1.gov.it>
- [ 23] <https://www.vsix.it>
- [ 24] [http://www.emersonnetworkpower.com/en-  
MEA/Products/ACPower/Documents/Chloride-80-  
NET/MKA4L0IT80NET.pdf](http://www.emersonnetworkpower.com/en-<br/>MEA/Products/ACPower/Documents/Chloride-80-<br/>NET/MKA4L0IT80NET.pdf)
- [ 25] [http://www.emersonnetworkpower.com/en-  
EMEA/Brands/Chloride/Documents/Products/MKA4L0UKLIN2.pdf](http://www.emersonnetworkpower.com/en-<br/>EMEA/Brands/Chloride/Documents/Products/MKA4L0UKLIN2.pdf)
- [ 26] [http://www.hosbv.com/data/specifications/2773%20-  
%20York%20YSCA%2008%20M.pdf](http://www.hosbv.com/data/specifications/2773%20-<br/>%20York%20YSCA%2008%20M.pdf)
- [ 27] W. Torell, K. Brown, V. Avelar, “The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures”, *White paper 221, APC*, 2015.
- [ 28] K. Dunlap, N. Rasmussen, “Choosing Between Room, Row, and Rack-based Cooling for Data Centers”, *White paper 130, APC*, 2012.
- [ 29] N. Rasmussen, “Calculating Total Cooling Requirements for Data Centers”, *White paper 25, APC*, 2011.
- [ 30] J. Niemann, J. Bean, V. Avelar, “Economizer Modes of Data Center Cooling Systems”, *White paper 132, APC*, 2011.
- [ 31] J. Niemann, P. Lin, L. Long, “Choosing Between Direct and Indirect Air Economization for Data Centers”, *White paper 215, APC*, 2015.
- [ 32] [http://www.apcmedia.com/salestools/WTOL-7ZGPFZ/WTOL-  
7ZGPFZ\\_R0\\_EN.swf?sdirect=true](http://www.apcmedia.com/salestools/WTOL-7ZGPFZ/WTOL-<br/>7ZGPFZ_R0_EN.swf?sdirect=true)
- [ 33] D. Danieli, M. Vio, “Sistemi di condizionamento a portata variabile”, *Editoriale Delfino*, 2006.
- [ 34] [http://www.datacenterknowledge.com/archives/2014/06/02/survey-industry-  
average-data-center-pue-stays-nearly-flat-four-years/](http://www.datacenterknowledge.com/archives/2014/06/02/survey-industry-<br/>average-data-center-pue-stays-nearly-flat-four-years/)