



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Uso Razionale dell'energia nei centri di calcolo

M. Bramucci

D. Di Santo

D. Forni



Report RdS/2010/221

USO RAZIONALE DELL'ENERGIA NEI CENTRI DI CALCOLO

M. Bramucci (Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia - FIRE)

D. Di Santo (Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia - FIRE)

D. Forni (Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia - FIRE)

Settembre 2010

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: usi finali

Tema: Elettrotecnologie innovative per i settori produttivi: applicazioni su scala reale

Responsabile Tema: Ennio Ferrero ENEA

Brevi note sugli autori sono riportate a fine rapporto.

INDICE	
Indice	1
Introduzione	3
Barriere	7
1. INDICI PRESTAZIONALI DATACENTER	9
1.1. Prospettive Future	12
2. COMPONENTI AD ALTA EFFICIENZA	14
2.1 IT Equipment	14
2.1.1. Specifiche Energetiche delle apparecchiature IT	16
2.2. Descrizione generale dei consumi in un Computer	17
2.3. CPU o Microprocessore	19
2.4. Memoria (RAM)	21
2.5. Sistema di alimentazione	22
2.6. Storage	23
2.6.1. Solid State Drive	24
2.7. Apparati di Rete	25
2.8. Software	26
2.9. Gruppi di Continuità o UPS	26
2.9.1. Generalità sul funzionamento	28
2.9.2. Cenni sul dimensionamento elettrico di un UPS	31
2.9.3. Definizione di Rendimento	33
2.9.4. Integrazione con i sistemi di comunicazione e di controllo	40
2.10. Nuovo Sistema UPS: Celle a Combustibile	40
2.11. PDU- Power Distribution Unit	40
2.12. Batterie	41
2.13. Componenti dei sistemi di Condizionamento e Raffreddamento	42
2.13.1. Chiller	42
2.13.2. Accumulo termico	43
2.13.3. Motori di Pompe e Ventilatori	43
2.13.4. Valvola d'espansione Elettronica	46
3. GESTIONE DEI COMPONENTI NEL SISTEMA	48
3.1. Infrastruttura Datacenter	48
3.2. Layout interno	49
3.2.1. Disposizione delle Unità rack	50
3.2.2. Cablaggio	52

3.2.3. Illuminazione.....	53
3.3. Gestione del Sistema di alimentazione	54
3.4. Sistema di condizionamento e/o raffreddamento	56
3.5. Gestione della Temperatura.....	58
3.5.1. Innalzamento della temperatura di setpoint.....	60
3.6. Gestione del flusso di aria.....	62
3.6.1. Visualizzazione del flusso	66
3.6.2. Impianti ad aria centralizzata	67
3.7. Rack con integrato il raffreddamento	68
3.7.1. Raffreddamento basato su file	69
3.8. Raffreddamento a liquido	70
3.9. Free Cooling	72
3.10. Virtualizzazione	76
3.11. Ridondanza	79
4. GESTIONE DEL SISTEMA.....	83
4.1. LCCA Life Cycle Cost Analysis	83
4.2. Sovradimensionamento	85
4.3. Consolidamento.....	86
4.4. Gestione dell'Operatore	87
4.5. Software per il controllo del sistema.....	88
4.5.1. Gestione dei Dati	89
4.6. Monitoraggio delle potenze elettriche assorbite	90
4.7. Sistemi di cogenerazione o CHP.....	91
4.8. Utilità in Rete	93
4.9. Soluzione Innovativa il CONTAINER	93
5. INDAGINE SUI DATACENTER.....	95
5.1. I centri di calcolo.....	95
Questionario centri di calcolo	104
BIBLIOGRAFIA.....	107
ACRONIMI.....	109
NOTE SUGLI AUTORI.....	111

Ogni parte è composta da svariati componenti, ognuno dei quali da una propria efficienza, che si rifletterà su quella totale del centro di calcolo. È dunque fondamentale non solo usare macchine ad alto rendimento, ma assicurare un'ottima gestione del centro di calcolo. Questo può avvenire a più livelli: posizionamento dei server all'interno della sala per migliorare i flussi di aria di raffreddamento, conduzione dei processi IT in corso di esecuzione ed in coda, analisi della memorizzazione e trasmissione di dati, etc.

La divisione principale che si può fare è tra la gestione dell'infrastruttura (edificio e sala server) e la gestione delle apparecchiature IT (server). È importante che queste due aree tecnologiche interagiscano e si relazionino nel migliore dei modi. Per migliorare l'integrazione della due parti, è possibile far uso di sistemi software e hardware specificatamente implementati con questo obiettivo. In questo elaborato si è cercato di mettere in evidenza le principali problematiche di entrambe le parti, affrontandole dal punto di vista energetico.

Se in alcuni casi è possibile fare piccoli interventi di tipo strutturale per avere un miglioramento sensibile, in altri è necessaria la completa ristrutturazione ed il riconcepimento dell'intero centro. In entrambi i casi va salvaguardato il requisito fondamentale dell'affidabilità del sistema, ottenuta attraverso vari livelli di ridondanza.

Vista l'importanza dei data center sia per il business aziendale, sia per i consumi energetici, si ritiene opportuno che i decisori aziendali siano informati e possano intervenire sia sul fronte gestionale, sia su quello degli investimenti, in grado di ripagarsi grazie ai risparmi generati e al miglioramento delle performance IT. Molte volte è infatti la mancanza di conoscenza che pone limiti alla diffusione di tecnologie più efficienti ed economicamente più vantaggiose.

Il presente elaborato è destinato a tutte le persone coinvolte nel funzionamento del centro di calcolo, a partire dal Direttore generale fino al gestore della sala ed al manutentore delle apparecchiature. Per far questo è bene intervenire in maniera sinergica ed avere una visione completa e generale di tutte le variabili che contribuiscono a tale scopo.

Il primo passo è conoscere l'entità dei consumi e la loro ripartizione nelle varie parti che costituiscono il CED.

Nella figura 2 sono riportate le percentuali dei consumi medi rilevati all'interno di un datacenter. Il consumo di energia proveniente dalle apparecchiature elettroniche, responsabili finali del lavoro utile del centro di calcolo, rappresentano il 50% circa degli assorbimenti totali. Il restante è diviso tra sistema di raffreddamento (circa il 30%) e alimentazione elettrica. È quindi molto importante che la parte di consumi relativi alla continuità elettrica e al raffrescamento siano i minori possibili, in quanto l'attività principale è rappresentata dagli apparati elettronici. La componente all'interno delle apparecchiature IT che richiede la maggiore potenza è la CPU. Esaminando lo schema, è facile individuare gli elementi ad alto consumo sui quali sarebbe bene intervenire.

Altro fattore da tenere presente è il tempo di funzionamento, infatti queste strutture elaborano dati 24 ore al giorno senza interruzioni, a volte con un carico costante senza grandi variazioni tra il giorno e la notte. Da alcune stime sull'analisi del ciclo di vita di un datacenter, è emerso che la spesa dovuta al consumo di energia elettrica è pari all'intero costo iniziale dello stesso. Considerando una vita utile del centro di calcolo intorno ai 5-7 anni, risulta chiaro che una corretta gestione dal punto di vista energetico può dare notevoli vantaggi anche dal punto di vista economico.

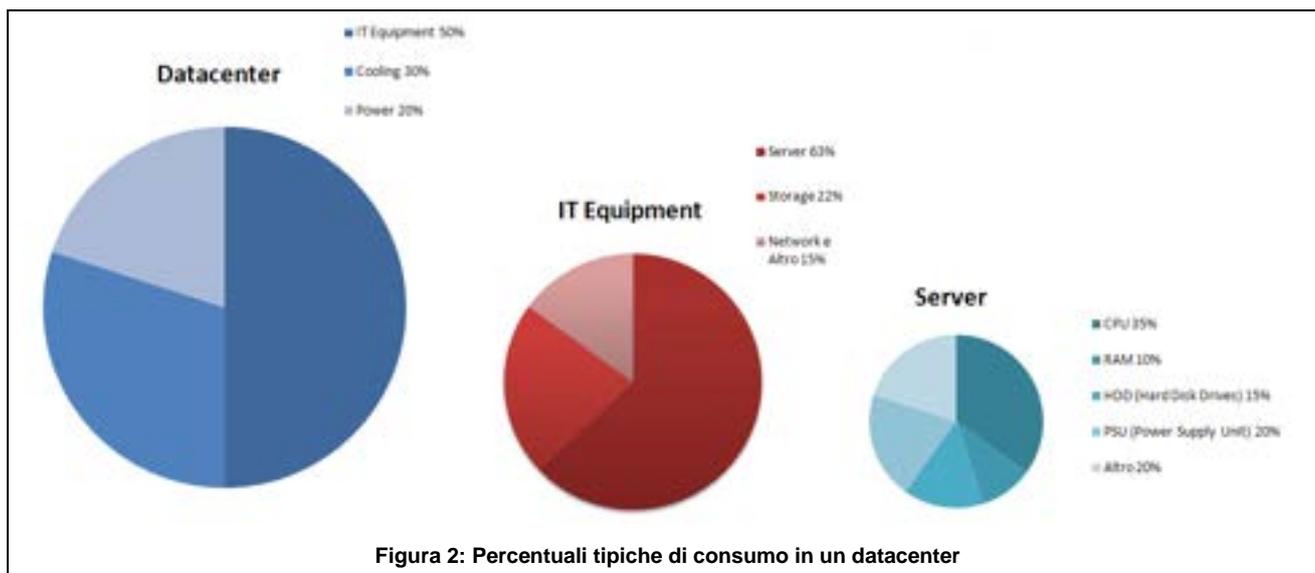


Figura 2: Percentuali tipiche di consumo in un datacenter

Nel caso di progettazione ex novo è opportuno fare una stima realistica delle potenze richieste (di calcolo, elettriche e di raffreddamento), evitando quei sovradimensionamenti che si traducono sempre in sprechi economici ed energetici. Nel caso di retrofit di una struttura esistente è consigliabile valutare i consumi prima dell'intervento. L'installazione di strumenti di misura porterebbe ad evidenziare quali sono gli apparati più energivori, aiutando così a scegliere dove intervenire. Una volta ottenute le misure è fondamentale gestire le risorse, ottimizzarle e registrare il tutto per verificare i risultati ottenuti. Al fine di avere una visione complessiva e completa si possono usare software in grado di riassumere tutti i dati relativi agli strumenti di calcolo, al sistema di condizionamento e di alimentazione.

Tale conoscenza apre la strada a contratti a prestazioni garantite o ad acquisti che tengano conto del costo dell'energia (e.g. l'ufficio acquisti potrebbe scegliere le migliori offerte sommando il costo dell'investimento con quello dei primi anni di funzionamento dell'impianto, certificato dal fornitore e verificato a campione in seguito, prassi in uso con successo presso alcune aziende di primaria importanza). Definendo opportunamente le procedure degli uffici acquisti si possono ottenere ottimi risultati e si può ridurre il costo di gestione dei centri di calcolo, ottimizzando nel contempo le prestazioni IT.

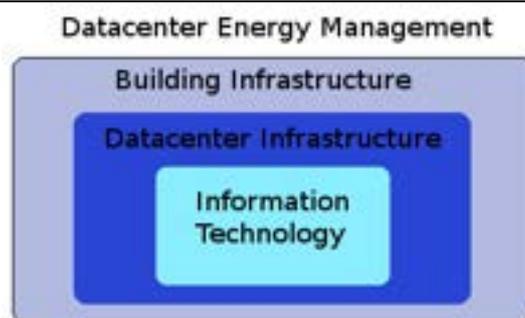


Figura 3: Approccio pratico alla gestione dell'energia in un centro di calcolo

BARRIERE

Le principali barriere rilevate, anche attraverso l'indagine (Cap. 5), a centri di calcolo più efficienti si possono dividere in progettuali e gestionali. Quando si decide di progettare o rimodernare un centro di calcolo, il committente dovrebbe avere le idee più chiare possibili sulle sue reali necessità odierne e future, per evitare di sbagliare il dimensionamento e la ridondanza. Dimensionare in modo eccessivo e prevedere un'affidabilità superiore a quella realmente necessaria comporta maggiori spese di investimento e di gestione; in ogni caso un errato dimensionamento, senza la possibilità di scalare – verso l'alto o verso il basso - porta con sé inefficienze economiche ed energetiche.

Nella fase di definizione delle specifiche del centro di calcolo è fondamentale tenere sempre in considerazione sia i costi di acquisto sia quelli di gestione, ottimizzando il risultato economico sul ciclo di vita (LCCA, Cap. 4), non solo del centro di calcolo ma anche dell'edificio che lo contiene. Limitazioni del budget a disposizione o all'opposto infatuazioni per scelte "di moda" ma anche la separazione delle funzioni cui sono affidate la definizione del budget e delle specifiche e la successiva gestione, possono portare a costruzione di centri di calcolo con alti costi di gestione e bassa efficienza.

L'attenzione è troppo spesso rivolta soprattutto o solo alle caratteristiche prestazionali e affidabilistiche, generalmente sovrastimate, a scapito dei costi di acquisto e gestione e dei consumi, come confermano anche la scarsa conoscenza e l'ancor più scarso ricorso a programmi volontari per la scelta di componenti efficienti (alimentatori, periferiche, etc.). Anche l'efficienza di un componente fondamentale come l'UPS non è sempre nota e nella stragrande maggioranza dei casi presenta margini di miglioramento rispetto alle migliori soluzioni oggi disponibili sul mercato.

La scarsa diffusione dei sistemi UPS rotanti che in molti casi potrebbero invece risultare più efficienti e più economici potrebbe essere sintomo di uno scarso ricorso alla valutazione sul ciclo di vita anche nella scelta delle componenti.

I sistemi di raffreddamento troppo spesso visti come ausiliari non sono ottimizzati, dato che nella maggior parte dei casi non è prevista alcuna separazione dei flussi. Il free cooling non è ancora molto utilizzato ma si sta diffondendo.

In alcuni casi i servizi forniti dal centro di calcolo sono servizi di base, ben lontani dal core business o con consumi/costi trascurabili, fattori che possono portare a una minor attenzione nella definizione delle caratteristiche per la progettazione, l'acquisto e la gestione.

In alcune realtà c'è uno sviluppo non coordinato di piccoli centri di calcolo separati al posto di uno centrale, con un forte aumento dei costi di investimento e gestione.

Passando alla gestione, i centri di calcolo sono realtà spesso considerate solo o prevalentemente di pura pertinenza della funzione IT aziendale. Si tratta di un errore, in quanto per ottenere i

migliori risultati sia sul piano informatico sia su quello energetico e logistico occorre far lavorare insieme gli specialisti dell'IT con quelli che si occupano della gestione dell'edificio e degli impianti. Si tratta di un compito non semplice, visto che non solo si confrontano linguaggi tecnici diversi e quindi di difficile comprensione reciproca, ma risultano molto diverse le impostazioni di base dei tre gruppi (due quando l'energy management risulta di pertinenza del building e facility management). Quello informatico tende a vedere il tutto come una grande presa, che dovrebbe essere sempre disponibile per nuovi allacci di dispositivi IT, quello impiantistico vorrebbe avere a che fare con una situazione stabile e più ridondante possibile, in modo da non dover intervenire continuamente a mettere delle pezze, il terzo gradirebbe meno ridondanza e minori consumi, con spazi ampi e ben gestiti.

Sebbene non banale, nominare un coordinatore capace e portato a saper ascoltare e vedere le problematiche dai vari punti di vista, con la funzione di far dialogare e ottenere il meglio dalle diverse funzioni aziendali, assicura i migliori risultati, in termine di progettazione, gestione e potenza di calcolo disponibile. Vale dunque la pena di cominciare da questo punto, prima di affrontare gli altri aspetti gestionali.

La gestione a personale dalle competenze soprattutto informatiche porta a consolidamento/ottimizzazione più tardi spesso solo quando nascono esigenze di maggiori prestazioni o aumento densità.

La scarsa attenzione all'ottimizzazione è dimostrata dalle basse percentuali di coloro che hanno calcolato e che tengono costantemente sotto controllo indici di utilizzo e di efficienza. L'utilizzazione delle macchine è un dato che non è stato fornito in ¼ delle risposte; risulta inferiore al 60% in oltre la metà dei casi evidenziando un eccessivo margine nel dimensionamento o non ottimale gestione della scalabilità. Potrebbe però anche essere un errore di percezione, purtroppo sempre possibile quando non si hanno a disposizione dati rilevati, come accade nello 85% delle risposte.

La misura dei consumi e dell'efficienza è un'esigenza poco sentita sia in fase di progettazione che di gestione dato che non ci sono i contatori e mancano i sistemi di controllo e registrazione dei dati. I contatori sono presenti in ¼ dei casi (e solo nel 9% vi è un contatore solo IT) ma un altro 1/4 non sa come venga valutato il consumo. Pochissimi valutano l'efficienza del centro di calcolo, solo il 5% di coloro che hanno risposto ha mai valutato gli indici di efficienza PUE e/o DCIE.

Tra le soluzioni efficienti le più utilizzate sono quelle che portano vantaggi prestazionali. I sistemi software sono meno diffusi di quelli hardware, segno forse che nella gestione ci sono ancora margini di miglioramento.

1. INDICI PRESTAZIONALI DATACENTER

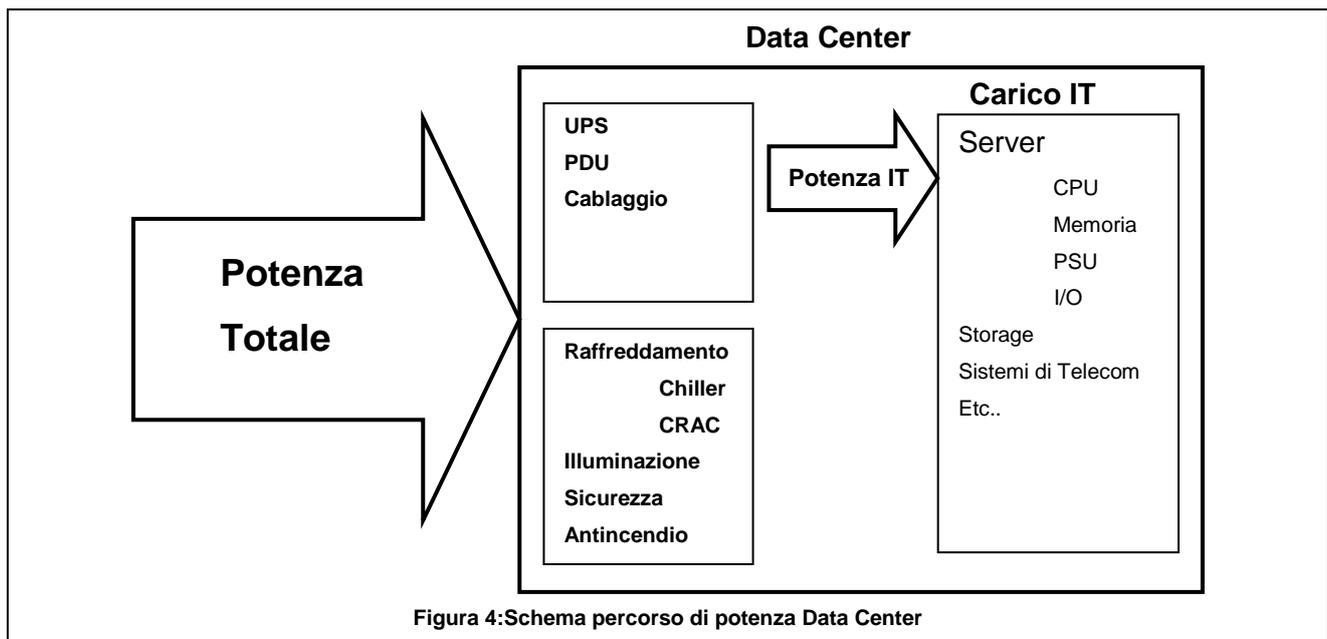
Definire una metodologia per valutare l'efficienza energetica o il rendimento di un datacenter non è facile, dato che ogni centro di calcolo svolge molte funzioni diverse tra loro. In teoria, per calcolare il rendimento si dovrebbe esaminare il lavoro utile svolto. La valutazione di questa grandezza risulta però ancora in fase di discussione da parte di vari istituti di ricerca ed aziende di produzione, in quanto non è scontato definire qual è l'output di un centro di calcolo dove vengono effettuate migliaia di operazioni.

Il 2 Febbraio 2010, quattro tra i principali attori mondiali che si occupano di efficienza energetica nei centri di calcolo, ossia EPA (Environment Protection Agency) con il programma Energy Star, Unione Europea con il suo codice di condotta, l'ente giapponese per la promozione del Green IT e il Green Grid, si sono riuniti per delineare una politica comune: obiettivi da perseguire, risultati desiderati e i principi guida.

La priorità è stata quella di individuare un indice comune per definire l'efficienza energetica, valutando il lavoro utile in uscita dal datacenter in rapporto all'energia consumata. La base di partenza era l'indice PUE (Power Usage Effectiveness), che valuta l'efficienza di tali strutture confrontando solo le potenze elettriche assorbite dalle varie apparecchiature. L'indice PUE viene infatti calcolato come il rapporto tra la potenza elettrica assorbita da tutte le apparecchiature che compongono il datacenter – IT Equipment, sistemi di alimentazione e raffreddamento – e quella assorbita dai soli dispositivi informatici (IT Equipment). Il suo reciproco viene definito invece come DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency).

Il monitoraggio e la valutazione di queste potenze può avvenire in vari modi (par. 4.6). È chiaro che per fare una valutazione precisa di questi indici è fondamentale avere dati reali e misurati per periodi di tempo abbastanza lunghi.

Nella figura 4 sono rappresentate in modo schematico le apparecchiature all'interno della struttura divise nei tre blocchi principali: sistemi di alimentazione elettrica, sistemi ausiliari e apparecchiature IT. La parte di potenza che passa attraverso il blocco dei sistemi di alimentazione arriverà ai server, che potrebbero essere visti come gli utenti finali che svolgono il lavoro utile.



POWER USAGE EFFECTIVENESS (PUE)

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

DATACENTER INFRASTRUCTURE EFFICIENCY (DCiE)

$$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{\text{Potenza IT}}{\text{Potenza Totale}} \times 100\%$$

1. POTENZA IT = somma delle potenze assorbite dagli IT Equipment (server, PC, stampanti monitor, etc);
2. POTENZA TOTALE = Potenza Totale introdotta nel compresi sistemi ausiliari, alimentazione, condizionamento e apparecchiature IT;

Il PUE e DCiE forniscono un modo per determinare:

- le possibilità di miglioramento dell'efficienza di un datacenter;
- la possibilità di confrontare le prestazioni di due datacenter.

Tali indici permettono di farsi un'idea riguardo alle prestazioni di un datacenter; infatti un PUE pari a 3 indica che la potenza richiesta dagli strumenti IT è circa un terzo di quella in ingresso. Il valore ideale di PUE è evidentemente pari a 1, che corrisponderebbe ad un'efficienza energetica del 100%. Secondo alcuni studi, il valore del PUE medio si aggira oggi intorno a 3. Per avere una buona efficienza energetica dovrebbe arrivare all'incirca a valori di 1,2÷1,5, valori attualmente raggiunti da server farm come quella di Google (PUE=1,2).

Il valore del PUE ha però dei limiti con riferimento alla confrontabilità, che è uno dei requisiti primari degli indicatori. Nel caso di uso del sistema di free cooling (par. 3.9) per il

condizionamento, ad esempio, la potenza assorbita dai sistemi di condizionamento scenderà di molto quando la sede del centro si trova in luoghi con temperatura molto basse. In questo modo a parità di sistemi di funzionamento power e cooling un centro realizzato in una località dal clima più caldo avrà un PUE maggiore rispetto ad un altro installato in un clima freddo.

L'indice DCiE, essendo il reciproco del PUE, sarà sempre minore di uno e fornirà valori simili a quelli tipicamente associati al concetto di rendimento. Per come è costruito presenta comunque pregi e difetti del PUE.

Per avere informazioni utili e veritiere si dovrà valutare il valore degli indici per un periodo di tempo minimo. L'assorbimento elettrico dei sistemi di condizionamento, infatti, varia continuamente nel tempo, in base all'azionamento di pompe, compressori e ventole per i sistemi di ventilazione. Non esistono norme standard per la scelta di un periodo di misura standard, ma sicuramente il tempo minimo dovrà essere di almeno un'ora. Data poi la variazione di temperatura media stagionale in un clima mediterraneo come quello italiano, ci saranno notevoli differenze tra gli assorbimenti del sistema di condizionamento tra estate ed inverno. Oltre a questo, anche la potenza assorbita dalle apparecchiature IT, e da altri componenti come UPS e PSU, varia molto in base alle operazioni che dovrà svolgere. Per questo sarebbe consigliabile calcolare gli indici con misure medie annue.

Da inizio 2010 si sta cercando di definire in maniera specifica e standardizzata la misura dell'indice PUE, in modo tale da renderlo il più possibile confrontabile. Una delle principali modifiche introdotte è quella del calcolo del PUE non più basato sulle potenze di picco di assorbimento, bensì sull'energia consumata nell'arco di un anno. Questo permetterebbe di tenere in considerazione della parte di energia proveniente da reti di teleraffrescamento, da sistemi di cogenerazione, etc. Sono stati definiti quattro tipologie di indice PUE per datacenter dedicati, divisi in base al parametro utilizzato per la sua valutazione, potenza o energia, ed al punto nel quale avviene la misurazione:

- PUE0 =rapporto tra le potenze di picco con misura della potenza IT all'uscita degli UPS
- PUE1=rapporto tra la totale energia annuale consumata e quella consumata dalle apparecchiature IT, misurata all'uscita degli UPS;
- PUE2=rapporto tra la totale energia annuale consumata e quella consumata dalle apparecchiature IT, misurata all'uscita delle PDU;
- PUE3=rapporto tra la totale energia annuale consumata e quella consumata dalle apparecchiature IT, misurata all'ingresso delle stesse.

Da sottolineare, che tali definizioni di indici sono state fatte solo per datacenter dedicati, in cui le macchine prese in considerazione sono tutte al servizio dell'elaborazione dati.

Si è inoltre evidenziato come la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, non sia un fattore che va ad influenzare l'efficienza del centro di calcolo e da considerare alla pari di quella proveniente dalla rete. L'energia elettrica e termica generata da cogenerazione, dovrà invece

essere considerata nel calcolo del PUE. Nel caso si effettui un recupero di calore, il PUE viene influenzato solo se quel calore viene riusato all'interno del centro di calcolo, per esempio, per l'alimentazione di macchine ad assorbimento per la produzione di freddo. Nel caso contrario il suo recupero sarà sicuramente un fattore positivo ma non porterà un aumento di efficienza. [1]



Figura 5: Misure relative di DCiE e PUE [32]

1.1. Prospettive Future

Si stanno cercando nuovi sistemi per la valutazione dell'Efficienza Energetica, diversi dagli indici PUE e DCiE, in grado di uniformare il calcolo del lavoro svolto in un centro di calcolo che compie migliaia di operazioni.

L'associazione Green Grid, che si occupa della ricerca per lo sviluppo di centri di calcolo a basso impatto ambientale, propone l'uso dell'indice DCeP (Data Center Energy Productivity) che viene definito come:

$$DCeP = \frac{\text{Lavoro Utile}}{\text{Energia consumata}}$$

Per la valutazione del lavoro utile, si è scelta la moltiplicazione di un insieme di indici che variano in base al numero di operazioni che il datacenter elabora in un certo tempo e in base alla loro importanza. [1]

L'azienda di produzione di centri di calcolo Emerson Network ha scelto invece di quantificare il lavoro utile in base alle unità di calcolo per secondo (CUPS) elaborate dalle varie CPU presenti. I CUPS vengono calcolati in base ad un indice relativo all'anno di acquisto del server, alla percentuale di utilizzazione e al numero di essi. La moltiplicazione di questi tre valori per ogni anno darà i Mega CUPS totali, che andranno poi divisi per la potenza elettrica totale introdotta nel centro per avere l'efficienza del CED. I Mega CUPS totali vengono considerati come il lavoro utile del centro di calcolo. [5]

$$\text{Efficienza Datacenter} = \frac{\text{CUPS}}{\text{Potenza Totale}} = \frac{\text{Lavoro Utile}}{\text{Potenza Totale}}$$

Nessuno dei due sistemi descritti è stato preso come riferimento, ma possiamo considerarli come esempi di possibili indici con cui completare le informazioni ricevute attraverso il PUE e il DCiE.

2. COMPONENTI AD ALTA EFFICIENZA

2.1 IT Equipment

All'interno degli IT Equipment si includono oltre al server, anche sistemi di storage, networking, stampanti, fax e tutte le apparecchiature elettroniche da ufficio necessarie all'elaborazione dei dati. Ognuna di queste componenti è caratterizzata da un consumo energetico che andrà a contribuire a quello dell'intero sistema. In un datacenter di grandi dimensioni, i cui consumi saranno rilevanti, le principali apparecchiature sono i server. Al suo interno un server racchiude praticamente tutte le componenti di un normale PC.

Dal punto di vista della progettazione di componenti per Server, Laptop, Desktop e Netbook, le specifiche e le richieste sono quasi sempre le stesse e molto simili tra loro. Nella tabella sotto sono elencate le principali parti di una unità server con le relative potenze di assorbimento.

Consumi di picco dei componenti in un tipico Server

Componente	Potenza max assorbita [Watt]
CPU	80
Ram (Memory)	36
Hard Disk	12
Prese periferiche	50
Scheda Madre	25
Ventole	10
Perdite Sistema di alimentazione	38
Totale	251
Tabella 1 [3]	

In commercio sono presenti vari tipi di server suddivisi in base alle loro dimensioni, ai loro usi e alle caratteristiche informatiche. Spesso un server in un sistema di rete aziendale di piccole dimensioni è rappresentato da una normale workstation, ma quando sono richieste caratteristiche di elaborazione dati molto elevate, il numero di server necessari diventa importante e vengono uniti e raccolti in armadi detti "Rack". Questo termine indica un sistema standard di installazione informatica di componenti hardware, costituito da una struttura modulare – un armadio – che può ospitare fino a 42 unità, solitamente rappresentate, nel caso dei data center, da server. Anche l'unità di installazione modulare ha misure standard rispettate da tutti i costruttori. In questo modo le apparecchiature informatiche risultano ordinate e facilmente accessibili, facilitando le operazioni di gestione e manutenzione. Molti dei Watt assorbiti all'interno di un server vengono trasformati in calore che dovrà essere dissipato da appositi sistemi esterni. Nell'acquisto di un server è molto importante considerare la quantità di calore che viene sviluppata, che varia in funzione del

prodotto considerato. Impiegare server che sviluppano poco calore darà vantaggi sia sui consumi diretti, sia su quelli del sistema di raffrescamento ed estrazione del calore. Nella scelta delle macchine di elaborazione dati è importante non solo valutare le performance di calcolo, ma anche il rapporto con la potenza assorbita (performance per Watt) e come questo varia in base alla percentuale di utilizzazione.

Dal 2006 è in corso il passaggio ai cosiddetti "Blade Server", ("lame") che hanno dimensioni molto ridotte pur presentando un aumento delle prestazioni e del carico di lavoro. Sono particolari unità server in cui sono montati componenti specifici, quali, CPU, Memoria, Hard Disk e sistemi di I/O in maniera verticale con sistema di alimentazione e raffreddamento condivisi da più elementi. Secondo alcuni studi i server blade consumano circa il 10% in meno dei normali server a parità di unità installate, in quanto ogni blocco di elementi condividendo sistema di alimentazione e ventole di raffreddamento permette avere di una maggiore efficienza. (Fig. 28)

Date le dimensioni ridotte e l'alta densità dei componenti concentrati nei Blade Server, questi occuperanno meno spazio rispetto a quelli tradizionali di vecchia generazione, ma il sistema di raffreddamento dovrà essere dimensionato in maniera ottimale per non avere problemi di alta temperatura, visto che questo aumento di prestazioni per unità di volume si traduce in un corrispondente incremento dell'energia termica da asportare. In un armadio rack possono essere montati fino a 42 unità di server standard, mentre con gli attuali blade si possono raggiungere le 84 unità. Ipotizzando una potenza media installata per ogni server di 270 W si arriva ad una potenza di circa 23 kW per cabinet. Proprio per questo si stanno valutando sistemi di dissipazione alternativi, come raffreddamento a liquido, heat pipes, pompe di calore ad effetto peltier, tutti sistemi di raffreddamento più complessi.

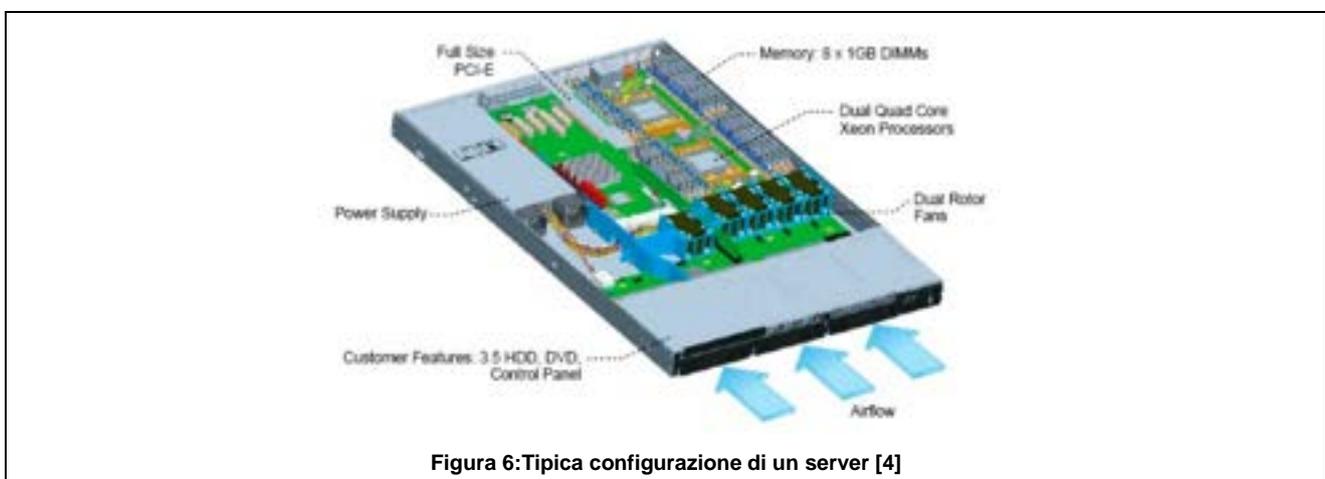
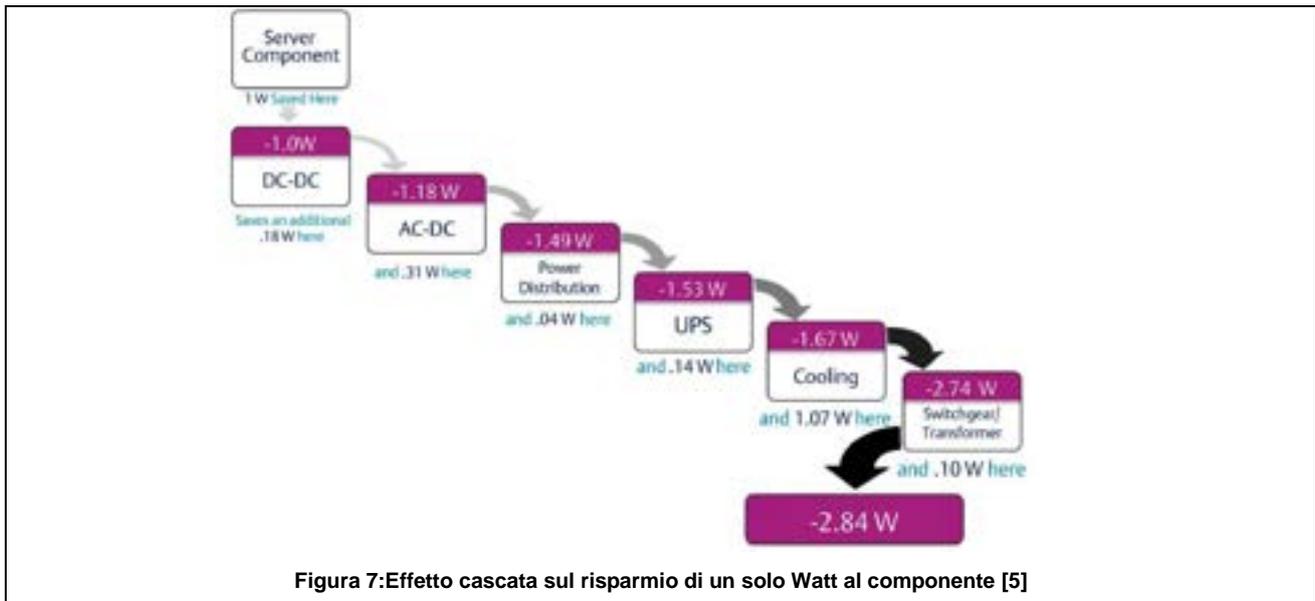


Figura 6: Tipica configurazione di un server [4]

L'abbattimento dei consumi anche di un solo Watt all'interno del server è molto importante dato l'effetto a cascata che questo comporta. Infatti, 1 Watt risparmiato al singolo componente genera un risparmio complessivo di circa 3 W, valore conseguente a tutte le trasformazioni e i servizi

necessari per ogni Watt che arriva all'utilizzatore finale (Fig. 7), nell'ipotesi di valori medi di rendimento per ogni singolo componente.



2.1.1. Specifiche Energetiche delle apparecchiature IT

Le apparecchiature informatiche sono caratterizzate da consumi, prestazioni e costi molto diversi tra loro, sul fronte dei data center come su quello consumer, e per il cliente finale che deve fare un acquisto la scelta può risultare difficile. Sul web sono presenti delle applicazioni di programmi volontari, come Energy Star (programma di EPA e DOE che introdusse già nei primi anni '90 specifiche per computer e monitor - www.energystar.org), 80 PLUS (che si concentra sugli apparati di alimentazione - www.80plus.org) e EPEAT (che classifica le apparecchiature elettroniche su criteri ambientali - www.epeat.net); nei primi due programmi è possibile fare una stima dei consumi annuali di alcune strumentazioni in base al loro tempo medio di utilizzo. Tutte le apparecchiature che rispettano le specifiche richieste sono a basso consumo energetico e perciò con efficienza elevata. Per esempio, nel caso degli alimentatori saranno conformi alle specifiche 80 PLUS tutti quelli che avranno un rendimento maggiore dello 80% al variare del carico fra il 20% e il 100% con un fattore di potenza pari a 0,9.

Le specifiche tecniche di alcuni server sono rilevate dell'ente SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation [57]), il quale individua i benchmark del mercato dell'informatica. Sul sito internet è presente un elenco di server divisi per marca e modello, in cui sono visibili consumi elettrici e prestazioni in relazione all'utilizzo. In funzione dell'impiego si trovano i W consumati e il rapporto delle operazioni al secondo rispetto ai Watt assorbiti (Performance to Power Ratio ovvero ops - operations per second - /Watt). Per ogni server preso in considerazione è possibile vedere anche memoria, alimentatore, hard disk, temperature di esercizio, sistema operativo e strumentazioni utilizzate per la misura.

Inoltre, sul sito internet Energy Star è presente una lista di server con etichettatura che ne rispettano le specifiche anche se il numero resta ancora molto ridotto.[52]

Le apparecchiature IT inoltre per poter apporre il marchio CE devono rispettare la direttiva europea 2009/125/CE EUP (Energy Using Product) riguardante tutte le apparecchiature che consumano energia, da quella elettrica a quella fossile. Essa stabilisce le principali caratteristiche che ogni strumento deve rispettare in fase di progettazione per garantire performance energetiche accettabili. Per esempio, le specifiche di progettazione eco compatibile delle apparecchiature elettriche ed elettroniche domestiche e da ufficio nei modi di stand-by e spento sono contenute all'interno del Regolamento (CE) 1275/2008 del 17 dicembre 2008. Qui si impongono i valori di assorbimento massimi in fase di stand-by e di spegnimento che devono essere rispettati dalle nuove apparecchiature messe in vendita.



Figura 8: Rappresentazione delle prestazioni di un server dato dall'ente SPEC [57]

2.2. Descrizione generale dei consumi in un Computer

Il consumo di energia nei moderni computer può variare ampiamente in base alle applicazioni attive in un determinato momento. I principali fattori che vanno ad influire sul consumo energetico sono il sistema operativo in esecuzione ed il software in elaborazione. Il consumo elettrico perciò può dividersi in tre principali categorie di uso attivo e in altre due categorie di uso non attivo:

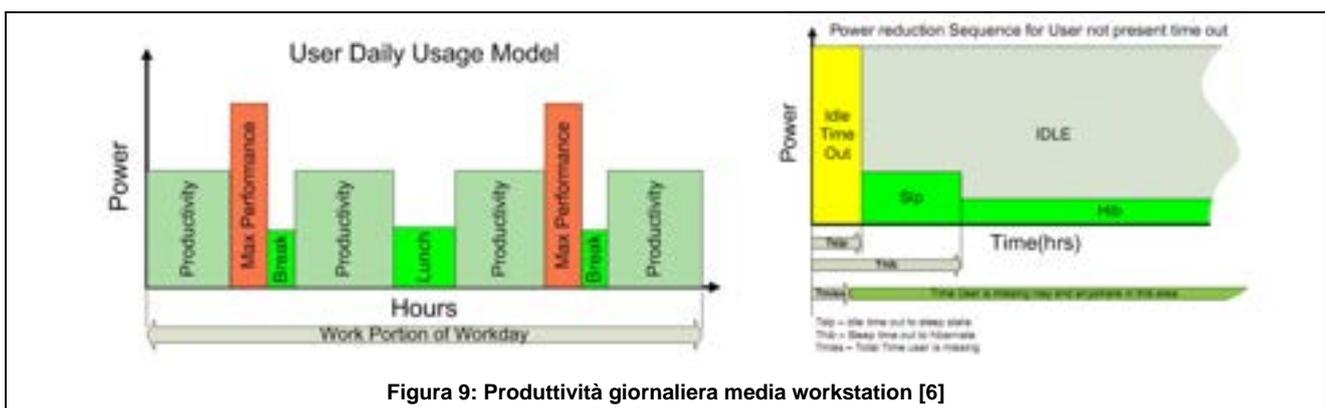
- Ibernazione/Off – è lo stato di più basso assorbimento con il cavo di alimentazione attaccato alla rete ed il PC spento. Tutti i sistemi elettronici non sono alimentati tranne quei circuiti che devono individuare un eventuale segnale di attivazione del sistema (e.g. telecomandi IR, segnali di rete, etc).

- Sleep – stato di basso assorbimento in cui lo stato della memoria RAM viene congelato, non ci sono applicazioni attive e il monitor è spento. Rimangono attivi i circuiti di alimentazione della memoria e di intervento su apposito segnale (e.g. tastiera, utilizzo porte, segnali di rete). Il sistema è in grado di rispondere alle azioni dell'utente (pressione di un tasto, movimento del mouse o un attivazione da parte della rete) e ritornare alle condizioni operative normali in pochi secondi.
- Idle (inattivo) – il computer è attivo e in genere in fase di elaborazione, ma non vi sono interazioni con l'utente.
- Produzione – il sistema è impegnato in attività con interazione dell'utente, come l'invio di mail, la creazione di documenti, la navigazione sul web o l'utilizzo dei tipici software da ufficio.
- Massime Prestazioni – si tratta di software che richiedono alte prestazioni, come ad esempio il calcolo scientifico complesso, i modelli di disegno, il calcolo strutturale 3D e i giochi che aumentano in modo significativo il consumo di energia.

Dal punto di vista costruttivo, è possibile risparmiare sul consumo elettrico di un PC abbassando al massimo gli assorbimenti in tutti gli stati, considerando che a seconda dell'utilizzo variano quelli di impiego più frequente e il relativo peso sui consumi complessivi.

Dal punto di vista dell'impiego, la scelta delle giuste tempistiche per il passaggio del PC dallo stato di produzione normale a quello di idle e di ibernazione garantisce un buon risparmio di risorse qualunque sia la macchina impiegata. Nelle figure seguenti si illustra come durante l'uso giornaliero di un PC si alternano momenti di lavoro diversi (produzione, idle, etc.) e il loro relativo assorbimento. [6]

La corretta gestione delle modalità di funzionamento di un normale PC può essere estesa a quelle di un intero datacenter. In questo caso una corretta gestione è molto più importante, in quanto il numero delle unità in gioco è elevato. In centri di calcolo molto grandi capita spesso che molte unità accese, dette "dormienti", assorbano energia senza produrre lavoro utile. La semplice esclusione dell'alimentazione di queste unità può portare a notevoli vantaggi dal punto di vista energetico.



2.3. CPU o Microprocessore

La CPU, o processore in un server, oltre ad essere responsabile delle azioni di calcolo è anche uno degli elementi di maggiore assorbimento elettrico, variabile in base al numero di operazioni che sta effettuando e alla temperatura operativa. Inoltre, tutta l'energia elettrica di alimentazione viene trasformata in calore che dovrà essere dissipato.

Le dimensioni di tali componenti sono molto limitate e, rapportando la potenza assorbita alla superficie occupata, si hanno valori fino a 40 W/cm², densità energetica da non sottovalutare. Prima del 2001, la potenza richiesta era di circa 2 W; solo nel 2001 si è passati da 2 a 70 W, fino ad arrivare, nel 2007, ad una potenza richiesta di circa 130W. Con l'aumentare della potenza è chiaro che sono aumentate anche le capacità di calcolo, passando da 108 kHz a più di 2 GHz.

Dal 2009 la progettazione della CPU, avviene considerando oltre alla potenza di calcolo, anche la richiesta di energia, cercando di ritornare ai valori del 2007 di circa 70 W. Sono sempre più diffusi processori a doppio (dual), quadruplo (quad) e multiplo core (ossia con presenza di processori paralleli) ed a 64 bit per compiere operazioni di calcolo nella maniera più veloce possibile.

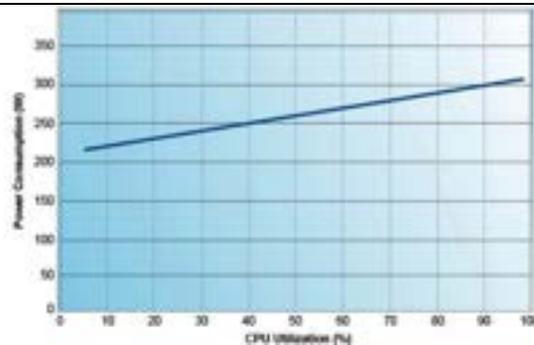


Figura 10: consumo energetico CPU in relazione alla sua utilizzazione [4]

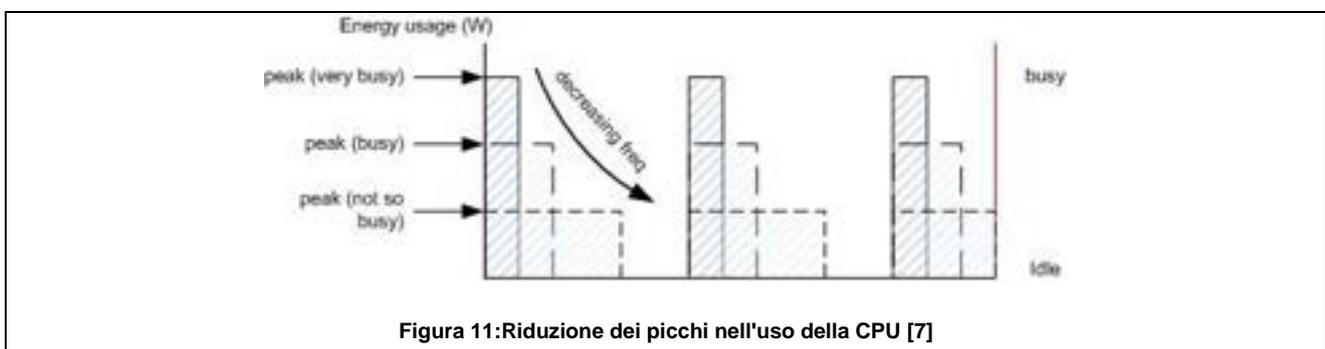
La rimozione del calore in questi sistemi avviene solitamente utilizzando un dissipatore di calore che aumenta la superficie di dissipazione con delle alette su cui fluisce aria per aumentare lo scambio termico convettivo. L'aria viene prelevata da un ventilatore installato a contatto con il dissipatore. Per non sprecare energia, in questi sistemi di ventilazione è consigliabile usare motori capaci di variare la loro velocità di rotazione in base alla reale necessità di ventilazione. Una migliore rimozione del calore si può ottenere con sistemi di raffreddamento a liquido, in virtù della maggiore efficienza, anche se in questo modo si ha un notevole aumento dei costi di costruzione, realizzazione e progettazione dell'impianto. Tra gli altri interventi possibili per aumentare le potenzialità e l'efficienza della CPU troviamo:

- uso dei molto più efficienti microprocessori multi – core. Un processore Pentium nel 1998 per eseguire 1,8 teraflops consumava circa 800.000 Watt mentre il primo Quadcore Xeon del 2009 assorbiva circa 10.000 Watt, 80 volte di meno;

- sviluppo di sistemi dinamici, che possano regolare la potenza di assorbimento in base alla frequenza di clock a cui sta lavorando;
- diffusione di processori predisposti alla virtualizzazione (par. Virtualizzazione).

La potenza consumata da un processore è proporzionale alla frequenza di lavoro ed al quadrato del suo voltaggio. Quindi, abbassando la frequenza ed il voltaggio, la quantità di energia richiesta per una certa operazione viene ridotta. Processori come Pentium 4 o dual core offrono due combinazioni di rapporto frequenza/voltaggio, alla massima velocità ed a velocità ridotta. La riduzione della frequenza viene attuata anche quando la temperatura del processore supera i valori predefiniti e può anche essere settata da software specifici. È ovvio che le prestazioni sono direttamente relazionate alla frequenza e diminuendo questa ci sarà una diminuzione della velocità di esecuzione della CPU. Per esempio, se per eseguire un calcolo per cui è richiesto il 100% dell'utilizzazione delle potenzialità si impiega un secondo ad una frequenza di 2 GHz, ci vorranno due secondi se la velocità sarà di 1 GHz (questo è un conto approssimativo, in quanto ci sono altri fattori da tenere in considerazione che influiscono sulla prestazione, anche se in maniera ridotta). Nel caso di un funzionamento molto discontinuo della CPU, in cui si alternano picchi di richiesta massima di potenza a stati di idle, se si diminuisce la frequenza, il tempo di utilizzazione della CPU aumenterà e si ridurrà la percentuale di tempo allo stato di idle (Fig.11). In questo modo oltre alla riduzione della richiesta di energia data dalla diminuzione della potenza di picco, si avrà anche una riduzione dei carichi di riscaldamento.

Questa operazione di regolazione della frequenza di clock è molto utile nel caso si abbia un funzionamento dell'unità di calcolo molto variabile, con elevati picchi di calcolo alternati a stati di idle.



Dati i consumi massimi e in idle di un processore, è possibile tramite una semplice formula stimare la potenza assorbita a un certo carico dal server:

$$P_n = (P_{max} - P_{idle}) \times \frac{n}{100} + P_{idle}$$

$$P_n = \text{Potenza assorbita}[W]$$

P_{max} = Potenza massima [W]

P_{idle} = Potenza in idle [W]

n = Percentuale Utilizzazione CPU [%]

Se per esempio in un server un processore alla sua massima potenza assorbe 400 W, in idle 200 W, con il 25 % di sfruttamento della CPU, il consumo sarà:

$$P_{25} = (400 - 200) \times \frac{25}{100} + 200 = 200 \times 0,25 + 200 = 250W$$

Se questo server elaborerà dati per 24 ore mediamente alla stessa percentuale di utilizzazione:

$$250W \times 24h = 6000Wh = 6kWh$$

Una buona gestione della potenza richiesta dalla CPU, variando frequenza di clock e voltaggio potrebbe dare elevati vantaggi e si stima che in sistemi in cui si ha una bassa utilizzazione della CPU (< 20%) si possono avere risparmi energetici dell'ordine del 75%. [53]

2.4. Memoria (RAM)

La memoria RAM (Random Access Memory) è il secondo più grande consumatore di energia dopo la CPU, con consumi dell'ordine di decine di Watt. È chiaro che la velocità di tale componente influisce sulle prestazioni dell'intero sistema di calcolo, rendendo disponibili dati più o meno velocemente alla CPU per le operazioni richieste. Il numero di memorie in ogni server negli ultimi anni è in continuo aumento, data anche la richiesta crescente da parte delle applicazioni di elaborare un numero sempre più alto di informazioni.

Alcune delle ragioni della crescita di richiesta Ram sono:

- aumento dei core nei processori degli ultimi server; più sono i core, più memoria può essere utilizzata nei server;
- aumento dell'uso della virtualizzazione;
- nuovo uso del protocollo internet nei datacenter per ricerche e scambio dati, immagini e video, con applicazioni di ricerca molto intensive, come Google e Facebook.

Attualmente, le principali memorie in uso sul mercato sono le DRAM (Dynamic Random Access Memory), memorie ad accesso dinamico. All'interno di questa categoria si trovano le tipologie SDRAM, DDR2 e DDR3, le quali generalmente lavorano con tensioni di alimentazione che vanno da 1,5 a 1,8 Volt. Tramite un sottile ma complicato cambiamento nell'architettura dei semiconduttori si è riusciti oggi ad arrivare ad abbassare le tensioni di voltaggio fino a 1,35 Volt.

Tale riduzione si traduce in una notevole diminuzione della potenza assorbita e in una riduzione di calore prodotto. Infatti, l'alimentazione della memoria ram è sempre costante e non dipende dall'utilizzazione del server, sia in fase di elaborazione, sia in stato di idle. Varia bensì la tensione durante le operazioni di scrittura a lettura della memoria, ma in misura minore rispetto a quella minima assorbita, se paragonata con le variazioni legate all'uso della CPU.

Data la tendenza al continuo aumento di ram per ogni server, la scelta di unità a basso voltaggio può contribuire a conseguire vantaggi dal punto di vista energetico ed economico. Sul sito web dell'azienda Micron sono presenti un tool e dei fogli di calcolo che permettono di valutare i consumi energetici delle diverse tipologie di memorie con i relativi risparmi ottenibili.

2.5. Sistema di alimentazione

Il sistema di alimentazione nel server trasforma la corrente da alternata (CA o in inglese AC) a continua (CC o in inglese DC). Su ogni server è sempre installata un'unità di alimentazione e in centri di calcolo dove il numero dei server è molto alto, ciò si traduce in perdite consistenti. La trasformazione AC/DC comporta la dissipazione di una parte di energia in base all'efficienza dell'alimentatore, che varia con il carico richiesto. L'efficienza più alta si ha per carichi compresi nel range di utilizzazione tra 80 e 90%; per valori inferiori al 50% si ha una caduta notevole dell'efficienza. In inglese la loro traduzione è Power Supply Unit e molto spesso è possibile trovare la sigla PSU. Come detto al paragrafo 1.1.1., gli alimentatori conformi alle specifiche del programma 80 PLUS hanno valori di efficienza maggiori all'80%, al 20%, 50% e 100% del carico assorbito e con un fattore di potenza pari a 0,9.

I componenti principali dell'alimentatore sono: un trasformatore per abbassare il livello di tensione AC in ingresso, un raddrizzatore, un filtro ed uno stabilizzatore per la corrente DC in uscita. Gli alimentatori possono essere:

- parte della struttura dell'apparecchio che sono destinati a far funzionare; in tal caso vengono progettati in funzione delle esigenze dell'apparecchio stesso, in termini di tensione, corrente, e potenza;
- apparati autonomi, nel caso in cui vengano progettati per soddisfare requisiti particolari.

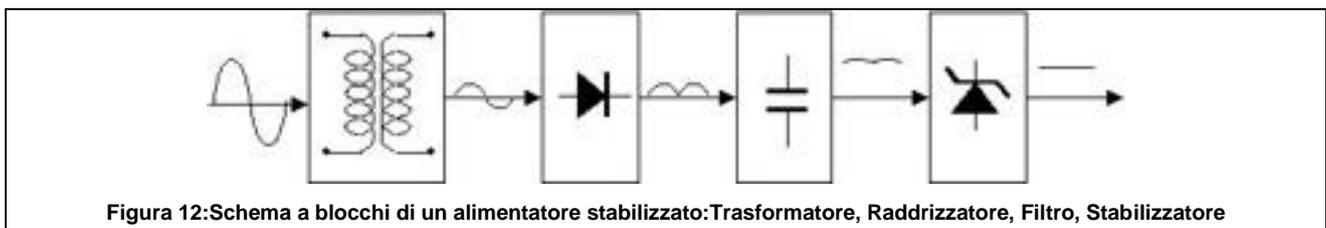


Figura 12: Schema a blocchi di un alimentatore stabilizzato: Trasformatore, Raddrizzatore, Filtro, Stabilizzatore

Nel caso dei datacenter gli alimentatori sono integrati sempre all'interno dei server, introducendo anche in questo caso un'inefficienza che va a ricadere su quella dell'intero sistema. Un modo per

far sì che ciò non avvenga è quello di eliminare completamente l'apparato e alimentare il server direttamente in corrente continua; opzione questa ancora in fase di studio e con valutazioni alquanto contrastanti. Allo stato attuale usare alimentatori certificati 80 PLUS garantisce le migliori prestazioni.

2.6. Storage

Un server di base con due hard disk drives (HDDs) consuma tra i 24 e 48 Watt circa per singola unità. Preso singolarmente un hard disk non consuma molta energia, ma nei sistemi di memorizzazione esterni in cui sono presenti migliaia di unità, queste contribuiscono in maniera rilevante all'energia assorbita dal datacenter. La chiave per un'utilizzazione efficiente del sistema storage è la sua gestione e uno dei suoi maggiori sprechi è proprio tener operativi HDDs che gestiscono una bassa quantità di dati per 24 ore al giorno. In un tipico sistema server la percentuale di utilizzazione dell'hard disk è di circa il 40% e la più semplice delle operazioni per avere una riduzione di richiesta di energia è non alimentare unità su cui non si eseguono operazioni.

Le capacità di immagazzinamento e le velocità di operazione sono in continuo aumento comportando così un continuo incremento delle richieste di energia. Il calore in un HDD viene prodotto dai valori di corrente e voltaggio presenti nei vari stati. Inoltre l'efficienza dei piccoli motori HDD può essere minore del 50%. Quindi è fondamentale avere sistemi storage con richieste limitate di corrente e voltaggio con motori ad alta efficienza. La potenza assorbita normalmente da un HDD è presa nello stato di idle, a cui dovrà essere poi aggiunta la richiesta di assorbimento nella fase di scrittura, lettura e ricerca su di esso. Una possibile formula per la stima della potenza media richiesta è riportata sotto; si richiede la conoscenza delle potenze (P) nelle varie operazioni di lavoro e le si moltiplica per le percentuali che rappresentano la parte di tempo in cui normalmente vengono effettuate:

$$P_{Media} = \frac{P_{Idle} \times 75\% + P_{Scrittura} \times 5\% + P_{Lettura} \times 20\%}{100\%}$$

Le azioni intensive sullo hard disk, come per esempio la deframmentazione dei dischi, la scansione delle superfici e la copia di file su disco, richiedono invece un assorbimento costante che può essere semplificato nella formula seguente:

$$P_{Costante} = \frac{(P_{Scrittura} + P_{Ricerca} + P_{Lettura}) \times 4}{5}$$

I più efficienti HD consumano in media 5-6 W nello stato di idle, mentre la media degli HD SATA ("Serial Advanced Technology Attachment" che permette velocità di operazione maggiori dei

tradizionali) si aggira intorno ai 7-10 W e 10-15 W nelle fasi attive. Dato che nelle operazioni attive di scrittura, di lettura e di ricerca la richiesta di energia è maggiore, si dovrebbe cercare di diminuire il più possibile il loro tempo di esecuzione e la potenza richiesta nelle varie fasi, compresa quella nello stato di idle.

Nello storage, la produzione di calore non è tanto rilevante come nel caso di CPU e memoria, per cui non sono previsti sistemi di raffreddamento dedicati; nelle ultime versioni la produzione di calore del sistema è anche in leggero calo e cominciano a diffondersi le memorie allo stato rigido trattate nel paragrafo successivo. Anche in questo caso la virtualizzazione può contribuire a ridurre i consumi, migliorando lo sfruttamento delle singole unità. (par. Virtualizzazione).

2.6.1. Solid State Drive

Dal 2007, in parallelo al tradizionale storage con HDD, si sta diffondendo la tecnologia di memorizzazione SSD, Solid State Drive o memorie allo stato solido.

Le memorie SSD sono unità di archiviazione di massa prive di motori o parti mobili, più rapide e più affidabili rispetto agli hard disk tradizionali. Oltre a produrre meno calore e rumore, garantiscono una superiore longevità operativa e una maggiore resistenza agli shock (urti e sbalzi di temperatura e umidità). La diffusione di questa tecnologia potrà consentire un buon miglioramento dell'efficienza energetica all'interno delle sale calcolo, anche se il costo ancora molto elevato rispetto alla tecnologia tradizionale renderà necessario un po' di tempo per raggiungere i risultati auspicati, soprattutto nel mercato consumer.



Figura 13: Le due tipologie principali di sistemi di storage HDD e SSD [59]

In un normale HDD che ruota a 15.000 rpm sono possibili normalmente 300 operazioni di input ed output per ogni secondo (IOPS, Input/Output Operations Per Second), mentre nel caso di un SSD sono possibili 30.000 IOPS. Questo equivale a dire che un SSD può sostituire circa 100 unità HDD. Nel caso degli hard disk tradizionali si hanno dunque maggiori consumi dovuti alle caratteristiche tecnico-costruttive e al maggior numero di unità necessarie per avere la stessa velocità di selezione dati. Il secondo aspetto comporta anche una maggiore quantità di calore da

dissipare. Secondo stime Sun Microsystem (Fig. 14), il rapporto tra IOPS per Watt nel caso di SSD è pari a 10.000 mentre nel caso di HDD è pari a circa 17, valore di circa 500 volte inferiore.

Oltre agli indubbi vantaggi dati dal minor consumo degli SSD, in alcuni recenti studi si sta cercando di abbinare l'uso di questi dispositivi come ampliamento della memoria cache; capita frequentemente, infatti, che la CPU si arresti in attesa di ricevere i dati da elaborare dall'hard disk. Per ridurre tali pause si possono inserire alcuni moduli di memorie a stato solido nelle quali vengono memorizzati i dati maggiormente usati e più richiesti dalla CPU, in modo da aumentare la velocità di acquisizione, proprio come estensione alla cache. In questo modo si avranno minori consumi dovuti ad un minore uso degli HDD, una maggiore velocità di IOPS, maggiore quantità di dati elaborata dal processore e il costo non sarà eccessivo in quanto la quantità di SSD non sarà molto grande, ma adeguata alle informazioni che si devono acquisire. Tale sistema potrebbe essere introdotto anche a posteriori su sistemi già esistenti adottando le dovute precauzioni ed accorgimenti. Secondo stime Sun, nel 2015 l'uso delle memorie con tecnologia SSD supererà quelle attuali HDD.

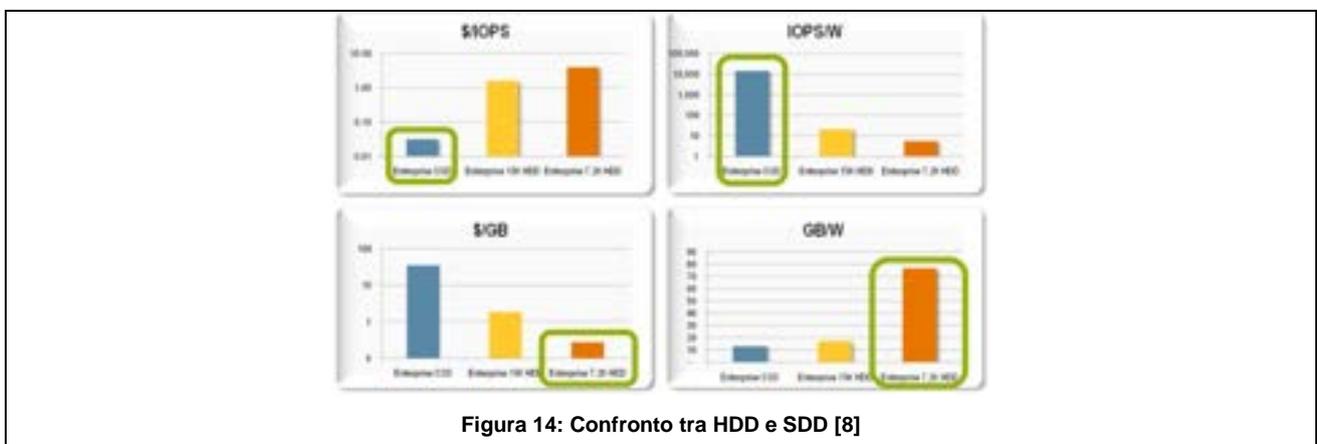


Figura 14: Confronto tra HDD e SDD [8]

2.7. Apparati di Rete

All'interno delle apparecchiature IT troviamo anche tutti gli strumenti di rete necessari per la comunicazione interna ed esterna tramite web. Data la notevole diffusione di internet, i router, il modem, gli switch e i telefoni voip sono presenti anche all'interno di piccole realtà. Spesso questi apparati vengono lasciati in disparte e mai spenti benché non utilizzati. Anche in questi casi sono presenti sul mercato nuovi hardware che sfruttano molteplici modalità avanzate di gestione dell'alimentazione, rilevando in modo intelligente l'utilizzo di energia. Le apparecchiature più avanzate sono in grado di ridurre i requisiti energetici, con risparmi che spesso superano il 50%. Due esempi di funzionamento di tali dispositivi sono il power-down automatico, che riduce la potenza del chip a livello di ogni singola porta Ethernet quando il segnale proveniente dal link in

rame non è presente sui cavi, e il rilevamento automatico della lunghezza del cavo, per utilizzare una quantità minore di energia nel caso in cui le connessioni coprano una distanza inferiore ai 10 metri.

2.8. Software

Anche il software (SW) è da tenere in considerazione per valutare i consumi energetici dell'hardware.

I progettisti dovrebbero implementare sistemi software mirati ad un uso intelligente dei sistemi hardware. Un software scritto male porta ad un maggior numero di operazioni, con conseguente carico di CPU, memorie e rete, e a un impegno eccessivo di singole componenti del sistema (CPU, etc). Quindi un SW efficiente può definirsi come quello in grado di compiere un'operazione facendo eseguire il minor numero di transazioni al processore e agli altri componenti necessari.

Sistemi SW a bassa richiesta energetica sono per esempio quelli applicati ai sistemi embedded, in cui praticamente il microprocessore è progettato appositamente per una singola applicazione. All'interno delle industrie molto spesso le operazioni che vengono svolte sono sempre le stesse e vengono ripetute migliaia di volte ogni giorno. Una di queste potrebbe essere l'interrogazione di un database, operazione che se effettuata da un software più velocemente, porterà al minor tempo di utilizzazione nella fase active della CPU con relativo risparmio energetico. Data l'elevata ripetizione di alcune operazioni, anche piccoli miglioramenti possono portare grandi vantaggi.

Un software green dovrebbe inoltre interagire con l'hardware per far sì che esso svolga il suo lavoro nel punto di funzionamento ideale senza sprechi di risorse, aspetto che porta a prediligere sistemi progettati con intelligenza e testati, piuttosto che altri assemblati mettendo insieme componenti presi alla rinfusa, pur caratterizzati da buone prestazioni individuali.

2.9. Gruppi di Continuità o UPS

Data la necessità di un'alimentazione elettrica continua e di alta qualità per molte apparecchiature IT, i gruppi di continuità o UPS (Uninterruptible Power Supply) si sono rivelati un elemento indispensabile e fondamentale; questo vale sia per la singola workstation in ufficio sia per i grandi centri di calcolo. Gli UPS garantiscono, infatti, una elevata qualità dell'alimentazione elettrica (Power Quality) e una continuità di alimentazione nel caso di interruzioni improvvise.

Le apparecchiature digitali (computer, sistemi di telecomunicazione, strumenti, ecc.) utilizzano microprocessori che funzionano a frequenze di diversi mega o addirittura giga Hertz, vale a dire che svolgono milioni e anche miliardi di operazioni al secondo. Un disturbo dell'alimentazione elettrica, anche della durata di pochi millisecondi, è sufficiente a compromettere migliaia o milioni di operazioni elementari. La conseguenza è il verificarsi di malfunzionamenti o perdite di dati dai

risvolti pericolosi (es. aeroporti, ospedali, sistemi bancari) o dispendiosi (es. la perdita di produzione o l'avviamento da zero dell'intera catena di produzione).

Per questo motivo, molti carichi, noti come carichi sensibili o critici, richiedono un'alimentazione che sia immune ai disturbi della rete di distribuzione. Esempi tipici e relativi rischi sono:

- processi industriali e rispettivi sistemi di controllo e/o monitoraggio, con rischio di perdite di produzione;
- infrastrutture complesse come aeroporti, stazioni e ospedali, con risvolti pericolosi per le persone e i mezzi;
- piattaforme di trattamento ed elaborazione dati e di comunicazione, con possibilità di perdita di informazioni importanti (banche, web farm, radio e TV, etc);

Per le apparecchiature elettriche è possibile definire un livello o grado di immunità in relazione ad uno specifico disturbo, quale potrebbe essere un'interruzione improvvisa o un calo di tensione (buco di tensione), come il valore massimo del disturbo per i quali il costruttore garantisce il funzionamento del proprio prodotto ad un livello prestazionale accettabile e per l'intero campo di lavoro previsto. L'inserimento dell'UPS non fa altro che alzare il grado di immunità di un apparecchiatura elettrica rispetto ai disturbi provenienti dalla rete.

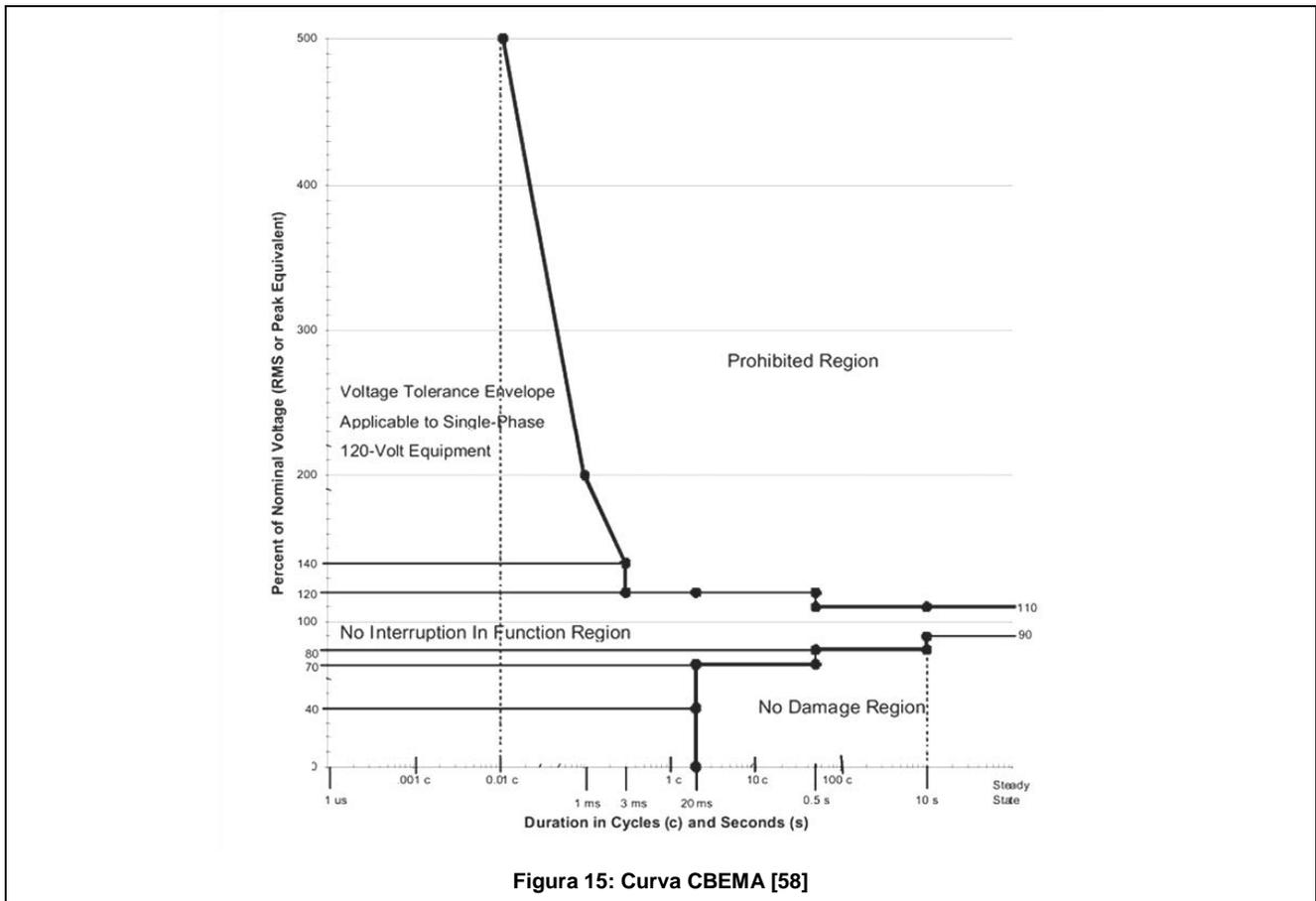
Ancora oggi ci sono scarsi riferimenti normativi per stabilire il grado di immunità che un determinato carico deve presentare al fine di potersi considerare accettabile.

Una delle note applicative riconosciute a livello internazionale è data dalla curva ITI (Information Technology Industry Council), che rappresenta la versione aggiornata della più nota curva CBEMA (Computer Business Electronic Manufacturer's Association), recepita anche dalle norme ANSI/IEEE "Standard 446-1995: "IEEE Recommended practice for emergency and stand-by power for industrial and commercial applications".

La curva CBEMA nasce come riferimento per le apparecchiature IT, quali PC e simili, e valuta i limiti della variazione della tensione di alimentazione che possono essere tollerati senza interruzioni delle funzioni. Sull'asse delle ordinate è presente la variazione percentuale della tensione di alimentazione e sull'asse delle ascisse la durata dell'interruzione. La curva definisce principalmente tre aree; una regione proibita, data da tensioni maggiori a quella nominale per periodi maggiori di circa 3 ms, una regione che non provoca danneggiamenti, in cui sono ammessi cali di tensione anche per qualche secondo, ed una regione di non interruzione delle funzioni, che comprende valori di tensioni elevate per periodi di qualche millisecondo. La curva in figura 15 è disegnata ad una tensione di 120 V e per valori superiori, come per esempio 220 V, i tempi possono essere leggermente differenti.

Dalla loro messa in produzione, i gruppi di continuità rappresentano oggi oltre il 95% dei sistemi di back-up dell'alimentazione in commercio, copertura che supera il 98% per le applicazioni informatiche ed elettroniche.[9] Questi sistemi, per applicazioni caratterizzate da potenze

importanti, sono solitamente affiancati a gruppi elettrogeni che garantiscono l'alimentazione nel caso di interruzioni superiori a qualche minuto.



2.9.1. Generalità sul funzionamento

Gli UPS garantiscono continuità e qualità elettrica al carico in alimentazione rendendolo indipendente dalle caratteristiche di tensione e corrente fornite dalla rete. Questo permette di avere sempre un'alimentazione pulita ed affidabile entro i limiti richiesti dalle apparecchiature elettroniche. Nella maggioranza dei casi la garanzia di alimentazione nel caso di black out è data dalle batterie.

Questi sistemi di continuità possono essere suddivisi in due grandi categorie:

- gruppi di continuità statici;
- gruppi di continuità rotanti.

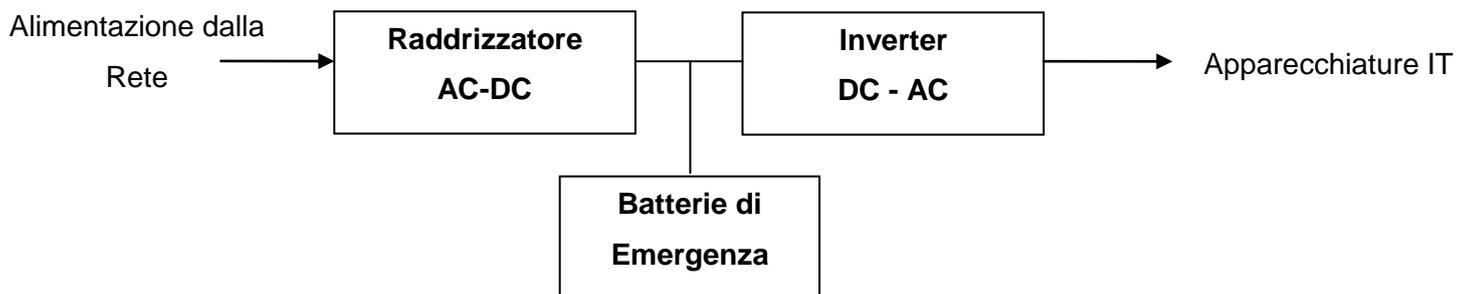
UPS statici

Gli UPS statici sono quelli che vengono più usati a partire dalle piccole applicazioni a livello di ufficio e singole postazioni fino ai grandi centri di calcolo e sono formati da tre parti principali:

- un raddrizzatore: trasforma la corrente alternata di rete in corrente continua per la ricarica della batteria (AC-DC);
- un gruppo batterie (generalmente al piombo): accumula l'energia che verrà fornita in caso di interruzioni per periodi che possono variare da 5 a 30 minuti;
- un inverter: trasforma la tensione continua in alternata stabilizzata e filtrata in tensione e/o frequenza (DC-AC).

In aggiunta a queste parti possono essere presenti dei sistemi automatici di by-pass per l'alimentazione nel caso di sovraccarichi o guasti dell'UPS o bypass manuali per l'esclusione dell'apparato per effettuare interventi di manutenzione.

Schema generale UPS Statico



UPS rotanti

I sistemi UPS rotanti sfruttano invece il principio di funzionamento del volano, per filtrare disturbi, etc. e accumulare energia meccanica poi convertita in elettricità - e in alcuni casi utilizzata anche direttamente per avviare un generatore diesel - nel momento in cui viene meno l'alimentazione elettrica. Il sistema è formato da una massa e da un motore elettrico che quando alimentato porta e mantiene la massa a una velocità di rotazione prestabilita; nel caso di distacco dell'alimentazione, la massa continuerà a ruotare per inerzia fornendo energia meccanica a un generatore elettrico che garantirà l'alimentazione del carico. La quantità di energia accumulata è proporzionale alla massa del volano ed al quadrato della sua velocità di rotazione.[10]

$$E \propto I\omega^2$$

Dove I è il momento di inerzia, che è direttamente proporzionale alla massa della parte rotante ed al fattore di forma e ω è la velocità angolare.

Per aumentare al massimo il rendimento, l'affidabilità meccanica e diminuire le perdite, si usano in molti casi meccanismi a lievitazione controllata e viene creato il vuoto intorno al rotore.

Gli UPS rotanti riescono a garantire l'alimentazione solo per una decina di secondi e sono dunque sempre affiancati a gruppi elettrogeni o batterie. Si può integrare con essi anche il sistema di avvio

del gruppo elettrogeno stesso. Nei casi in cui si voglia garantire solo un'alimentazione di alta qualità (elevato $\cos\phi$, basso contenuto di armoniche, ecc.) e la copertura dalle microinterruzioni, è possibile anche l'applicazione stand-alone senza la presenza delle batterie. Se invece il sistema dinamico è affiancato alle batterie, il volano andrà a coprire tutte le interruzioni brevi, diminuendo così i cicli di carica/scarica delle batterie e allungandone la vita utile.

Il range di temperature di funzionamento è molto ampio (0-40 °C) così da permettere l'istallazione anche in ambienti privi di condizionamento. L'ingombro di tali sistemi è molto inferiore a quello batterie dei sistemi statici di pari potenza ed è possibile fare delle istallazioni modulari affiancando più macchine. Dal punto di vista ambientale non presentano i problemi di smaltimento delle batterie e non sono sottoposti a nessuna norma di regolamentazione sulla sicurezza.

Nonostante i sistemi basati su volani necessitino di investimenti iniziali maggiori delle batterie, altri aspetti come vita attesa più lunga, manutenzione più semplice, ingombro minore, a parità di potenza istallata e più ampio campo di temperatura di esercizio ne fanno un'ottima alternativa a queste. Per una corretta valutazione del rapporto costi/benefici e quindi della configurazione ottimale (rotante, rotante + gruppo elettrogeno, rotante + batteria, etc.) è essenziale effettuare un confronto del costo sul ciclo di vita (LCCA – Life Cycle Cost Analysis- vedi par. 4.1).

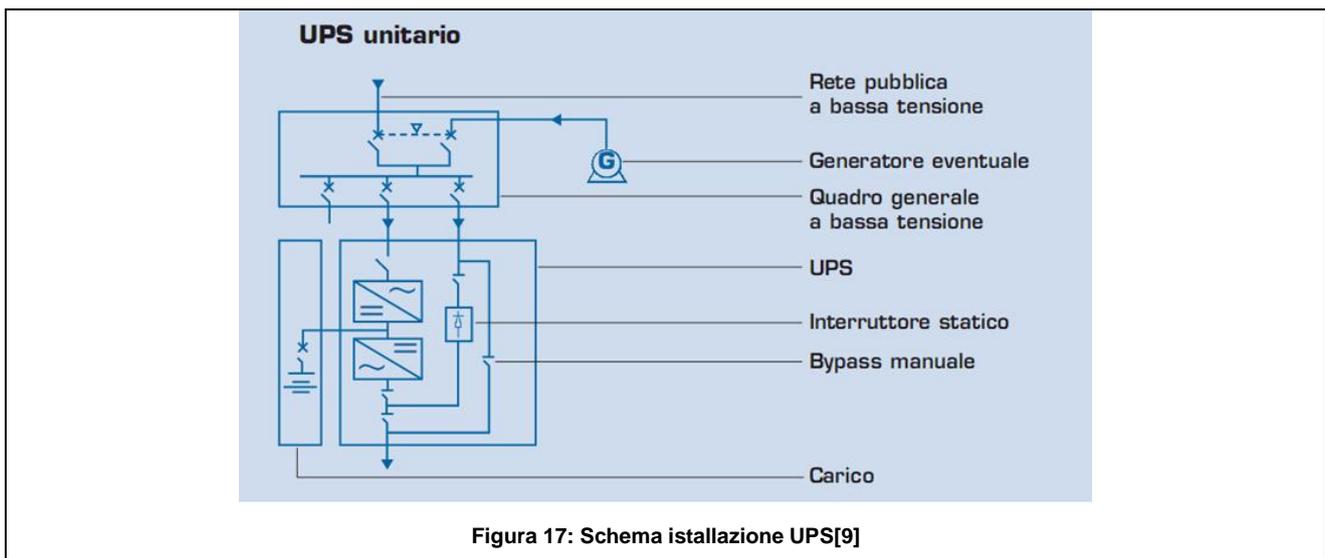
Alcuni UPS rotanti garantiscono anche un'elevata qualità dell'alimentazione elettrica ($\cos\phi$ molto elevati) grazie alla creazione naturale di un'onda sinusoidale dovuta a una macchina sincrona trifase e non a un inverter. I valori di rendimento si aggirano intorno al 96 % al massimo della potenza assorbita e scendono a circa il 92% al 25% del massimo carico nominale; la curva dell'efficienza rimane quindi abbastanza piatta al variare del carico. Questi sistemi sono indicati in casi in cui si hanno variazioni di potenza assorbita frequenti nel tempo.



Figura 16: Spaccato di un gruppo UPS rotante [13]

Utilizzo degli UPS

Nello schema sotto si vede il tipico collegamento di un gruppo UPS con le linee di bypass automatico e manuale, il gruppo elettrogeno ed il collegamento alla rete. Nel caso in cui si abbia un'interruzione della linea per un periodo di tempo ampio dopo la iniziale garanzia fatta dalle batterie l'alimentazione viene garantita dalla presenza di un gruppo elettrogeno. Nel caso non fosse presente il gruppo elettrogeno l'autonomia delle batterie permetterà comunque lo spegnimento di tutte le macchine per evitare di riportare danni. UPS e gruppo elettrogeno sono tecnologie complementari e molto spesso durante la progettazione si ha una gestione congiunta dell'installazione per definire le ottimali caratteristiche della macchina. .



In caso di richieste di potenza elevate e di ridondanza per aumentare l'affidabilità del sistema è opportuno l'utilizzo di UPS modulari. Questi sistemi permettono di avere una modulazione della potenza in uscita adeguandosi al carico effettivamente richiesto cercando di lavorare nella parte di curva di efficienza che garantisce un'efficienza maggiore.

2.9.2. Cenni sul dimensionamento elettrico di un UPS

Il principio base su cui avviene il dimensionamento di un UPS è la potenza elettrica del carico che deve alimentare. Nel caso si abbiano più elementi questa è data dalla somma algebrica delle singole potenze. Se conosciuti, la potenza apparente (in Volt Ampere) e il fattore di potenza ($\cos\phi$) del carico da alimentare, è importante che questi siano comunicati al produttore del gruppo di continuità affinché la progettazione sia la più corretta possibile.

Normalmente gli UPS vengono dimensionati per carichi a $\cos\phi$ 0,7 o 0,8. Per valori inferiori, è necessario sovradimensionare l'UPS.

Altri parametri molto importanti da tenere in considerazione sono la corrente di spunto o di picco soprattutto nell'alimentazione di carichi di emergenza ed il valore del sovraccarico che può

soportare. Solitamente gli UPS possono resistere a valori di sovraccarico del 150% per un tempo maggiore della durata della corrente di spunto.[9]

La potenza su cui viene dimensionato l'UPS è quindi data dal rapporto tra la sommatoria delle potenze delle singole utenze ed il rapporto tra la corrente di sovraccarico e quella nominale:

$$\text{Potenza UPS} = \frac{\sum P_i}{I_s / I_n}$$

Dove:

Pi = sommatoria delle potenze di picco

Is/In = rapporto tra corrente di sovraccarico e valore di corrente nominale

Per non sovradimensionare e sprecare energia per l'alimentazione di un centro di calcolo è fondamentale fare una corretta progettazione del sistema UPS. Gli ultimi sistemi in commercio consentono l'uso di UPS modulabili. Questi permettono un dimensionamento corretto e evitano di installare macchine più grandi per rispondere a possibili ampliamenti futuri, consentendo ai gruppi di continuità di lavorare sempre con carichi vicini a quelli di massimo rendimento (Fig. 19).

Si dovranno definire i seguenti parametri:

Potenza Apparente [VA]

Carichi Monofase $S = V \times I$

Carichi Trifase $S = (Vf1 \times If1) + (Vf2 \times If2) + (Vf3 \times If3)$

$$V = \text{Tensione Efficace} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \text{ [Volt]}$$

$$I = \text{Corrente efficace assorbita dal carico in normali cond. di esercizio} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \text{ [Ampere]}$$

Tali informazioni sono normalmente riportate sui documenti e/o sui dati delle utenze, anche se a volte potrebbero essere sovrastimate. La potenza apparente di un UPS è espressa in VA con il fattore di potenza ($\cos \varphi$) specificato per condizioni sinusoidali dell'alimentazione.

Potenza Attiva [W]

$$P = S \times \cos \varphi = V \times I \times \cos \varphi$$

$\cos \varphi = \text{Fattore di Potenza}$

Quando i valori di P e $\cos \varphi$ non sono noti, per un ottimo dimensionamento dell'UPS è consigliabile fare un'accurata misura della potenza assorbita dal carico. I valori tipici di $\cos \varphi$ di un computer variano tra 0,65 e 0,9.

Nelle strumentazioni informatiche come i server, a volte è presente in ingresso un alimentatore a commutazione (SMPS = Switched Mode Power Supply) che permette la correzione del fattore di

potenza ($\cos \varphi$). Il rifasamento permette così di aumentare la potenza attiva e diminuire quella reattiva. Questo avviene utilizzando dei filtri passivi con integrati dei condensatori.

Fattore di Picco (o di cresta)

Un carico lineare, ossia in grado di assorbire la corrente con la stessa forma della tensione di alimentazione, assorbe una corrente sinusoidale con un valore efficace (I_{eff}) generalmente misurato e dichiarato ed un valore di picco (I_{max}).

Il Fattore di Picco è definito come:

$$Fpk = \frac{I_{max}}{I_{eff}}$$

Il valore per un carico lineare è $Fpk=1,41 (= \sqrt{2})$.

Solitamente nella maggioranza dei casi le utenze collegate all'UPS sono distorcenti (ossia non lineari) e impegnano correnti che danno un fattore di picco maggiore di 1,41. Questo a sua volta influisce sulla forma d'onda della tensione in uscita che può essere distorta rispetto agli stessi carichi lineari. Il valore di picco delle varie strumentazioni non viene quasi mai indicato e potrebbe essere richiesta la sua misurazione. Nel caso non si riuscissero ad avere tali valori è possibile prendere una $Fpk=3$ come indicato nella norma CEI EN 62040-1 2009.

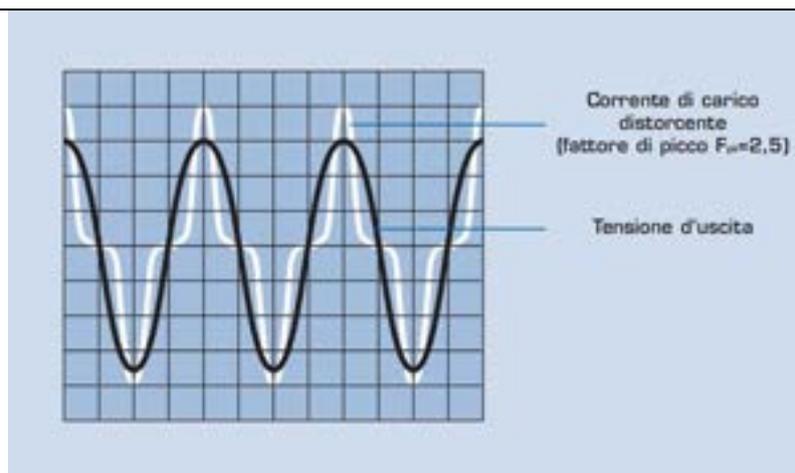


Figura 18: Corrente e tensione di un carico distorcente [9]

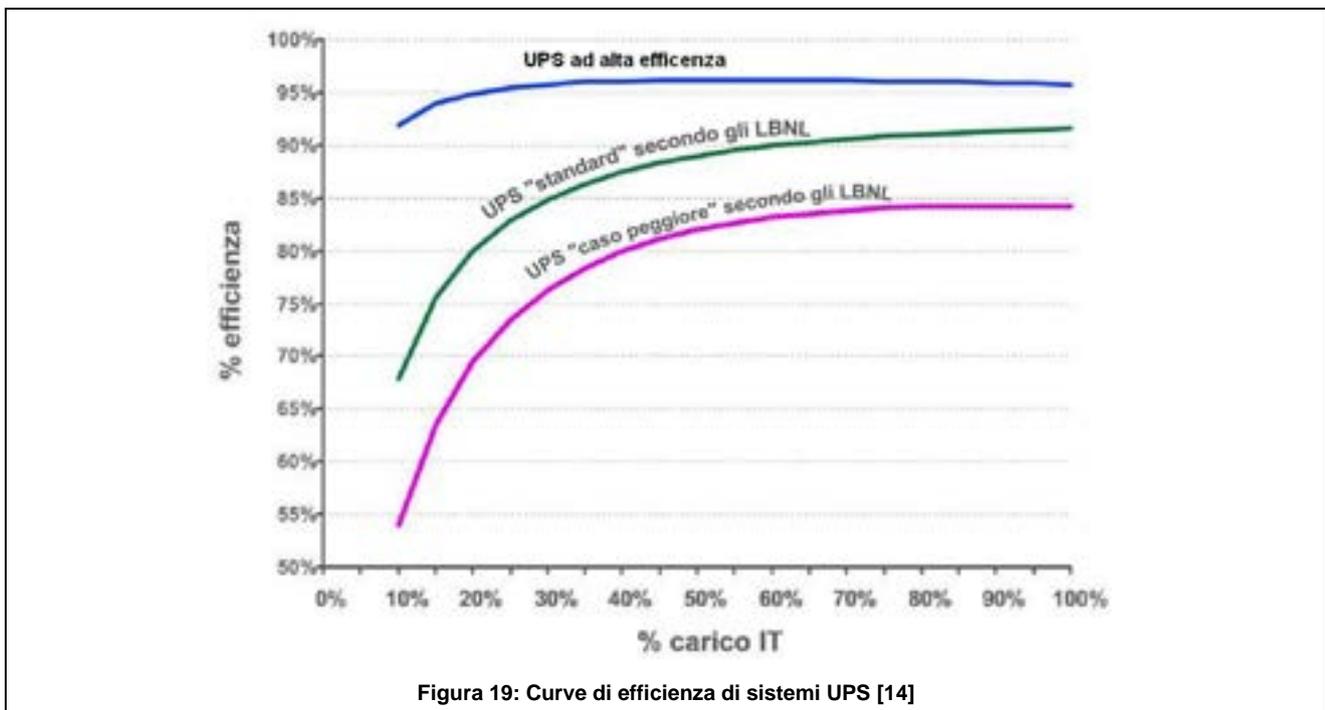
2.9.3. Definizione di Rendimento

Il rendimento η , misurato nel funzionamento a doppia trasformazione AC/DC e DC/AC è il rapporto tra le potenze attive in uscita e in ingresso all'UPS:

$$\eta = \frac{P_u}{P_i}$$

La parte di potenza persa nelle trasformazioni all'interno del gruppo di continuità si trasforma in calore, che deve essere dissipato e rappresenta un costo aggiunto alla gestione dell'intero centro di calcolo. Perciò un maggiore rendimento offre vantaggi sia dal punto di vista elettrico, con minori perdite, sia da quello della gestione della sala calcolo, con minore calore da smaltire.

La curva del rendimento dei sistemi UPS standard in commercio (linea verde Fig. 19) ha un andamento abbastanza costante per carichi superiori al 50% e scende molto bruscamente per percentuali di carico assorbito inferiori. Negli ultimi sistemi, progettati per garantire una maggior efficienza energetica, si è cercato di ottenere una curva più costante, con valori di efficienza abbastanza alti anche a carichi bassi (linea blu Fig. 19). La linea blu, che rappresenta la curva di rendimento degli UPS ad alta efficienza, ha valori molto più alti rispetto alle medie delle tecnologie standard disponibili in commercio, con un deterioramento delle prestazioni molto meno marcato al diminuire del carico di lavoro. Al di sotto di una certa frazione del carico nominale comunque il rendimento scende, è quindi consigliabile cercare di far lavorare l'UPS sempre con carichi di assorbimento vicini al massimo delle loro potenzialità, usando sistemi modulabili di piccole dimensioni invece che un unico apparato di continuità di elevata potenza.

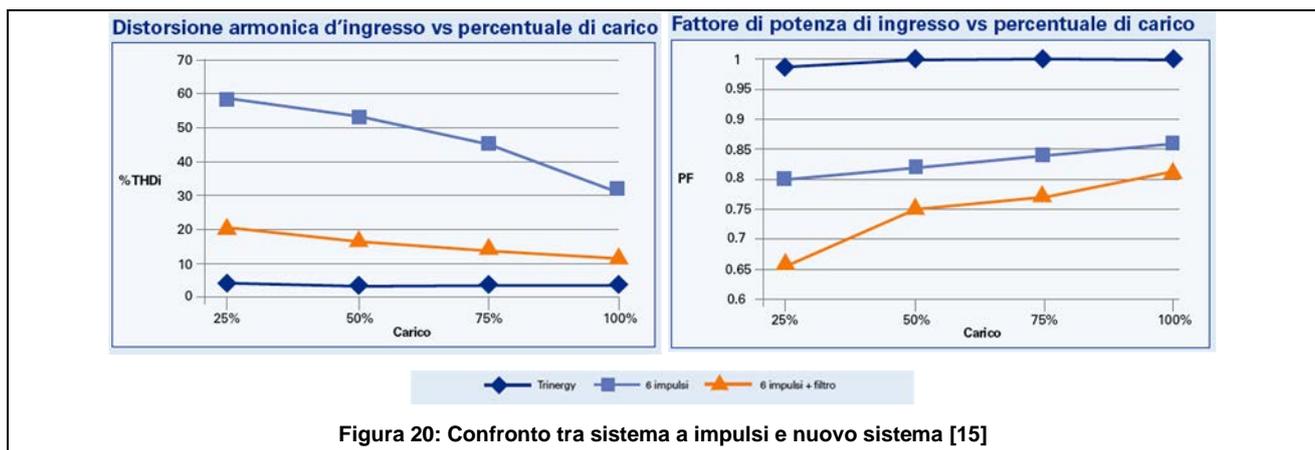


In passato capitava spesso di dimensionare il sistema UPS con potenze superiori a quelle effettivamente necessarie in previsione di futuri ampliamenti del centro di calcolo e un aumento dei carichi da alimentare.

Lo hardware informatico è tra i carichi meno lineari e ad elevato contenuto di armoniche. È fondamentale perciò conoscere le caratteristiche dei gruppi statici di continuità in modo tale da fornire un'adeguata protezione alle apparecchiature sensibili a questi disturbi.

Buona alimentazione di carichi distortenti

La maggior parte delle utenze elettroniche, ed in particolare i computer, sono carichi non lineari o distortenti. Si ha perciò che la forma d'onda della corrente non è una senoide e può presentare un elevato contenuto di armoniche (dell'ordine 3°,5°,7°,9°, ecc.). Tale corrente è caratterizzata anche da un elevato fattore di picco e da un fattore di potenza compreso tra 0,65 e 0,8. Sia la distorsione armonica che il fattore di potenza variano con il carico richiesto. Nella progettazione dei moderni UPS i produttori hanno tenuto conto di tutti questi aspetti, ricorrendo in particolare ad invertitori basati sulla tecnica della modulazione a durata d'impulsi (PWM - Pulse Width Modulation). Normalmente si cerca di avere fattori di distorsione THDi < 3% e fattori di potenza maggiori almeno di 0,9. Il fattore di distorsione THDi (Total Harmonic Distortion) è definito come il rapporto tra il valore rms di un'armonica di ordine "n" e il valore rms di quella fondamentale. Nella figura 20 si vede come questi due valori variano in base al carico assorbito e come negli ultimi sistemi le due grandezze rimangano pressoché costanti e migliori rispetto a quelli ad impulsi che si trovano nella maggior parte delle applicazioni odierne.



Tra le varie tecniche costruttive si può affermare che l'inverter a PWM costituisce ad oggi la soluzione ottimale. Infatti l'impedenza d'uscita è molto bassa anche alle alte frequenze e la distorsione della tensione d'uscita appare trascurabile anche con carichi fortemente distortenti.

Si può aggiungere che i problemi connessi a carichi non lineari possono essere risolti con UPS basati su tecnologia PWM senza subire un declassamento delle prestazioni.

Calcolo del risparmio di energia

Date le curve di efficienza del vecchio e del nuovo sistema UPS, è possibile calcolare l'energia risparmiata nell'arco temporale di un anno sostituendo i vecchi sistemi con i nuovi più efficienti.

Data come costante per esempio una potenza attiva in uscita dall'UPS pari a 10 kW, la tabella seguente mostra i risultati ottenibili.

	Vecchio UPS	Nuovo UPS
Pu [kW]	10	10
Efficienza η	0,85	0,95
Pi=Pu/η [kW]	11,8	10,5
% Carico assorbito	95	95
Ore di funzionamento	8760	8760
Minor potenza UPS [kW]	11,8-10,5=1,3	
Minor potenza sistema [kW] (considerando impianto di condizionamento aria)	1,3x(1+1/2,5)=1.3x1.4=1.8 (2,5 EER stagionale)	
Energia annua saving [kWh]	1.8x8.760= 15.943	
Costo Energia Elettrica [€/kWh]	0,15	
Risparmio annuo [€]	15.943x0,15=2.391	
Tabella 2 : calcolo risparmi UPS ad elevata efficienza energetica		

Dove:

Pu è la potenza attiva (kW) in uscita all'UPS fornita ai carichi;

Pi è la potenza attiva (kW) in ingresso all'UPS;

η è il rendimento dell'UPS riferito ad un determinato livello di carico e, quindi, non necessariamente il rendimento nominale della macchina.

Per avere un dato più realistico è necessario considerare anche i costi legati al condizionamento dell'aria dei locali; con un EER (Energy Efficiency Ratio) stagionale del sistema di condizionamento di 2,5, per ogni kW dissipato si deve considerare un assorbimento di 1/2,5=0,4 kW del sistema di condizionamento. Si può quindi direttamente moltiplicare la potenza dissipata per un coefficiente 1,4. Per mettere in evidenza l'influenza di questi fattori si considera il caso in cui il rendimento differisce di un solo punto percentuale e la potenza in uscita è pari a un solo kW. Il risparmio economico annuo si aggira in tal caso intorno ai 16€ considerando la sola potenza assorbita e intorno ai 23€ aggiungendo anche il condizionamento.

$$\text{Risparmio } \text{€} = c \times 24 \times 365 \times Pu \times \left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right) = 0,15 \times 24 \times 365 \times 1 \times \left(\frac{1}{0,89} - \frac{1}{0,9} \right) \cong 16 \text{ €}$$

$$\text{Risparmio } \text{€} = c \times 24 \times 365 \times P_u \times \left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right) \times 1,4 = 0,15 \times 24 \times 365 \times 1 \times \left(\frac{1}{0,89} - \frac{1}{0,9} \right) \times 1,4 \cong 23 \text{ €}$$

24 [h/giorno]

365 [giorni/anno]

$c = 0,15$ [€/kWh] (valore ipotetico)

$P_u = 1$ kW

$\eta_1 = 0,89$

$\eta_2 = 0,9$

Si vede facilmente come in centri di calcolo dove la potenza installata può raggiungere ordini di grandezza del MW il rendimento dell'UPS è molto importante e da tenere in considerazione.

Correnti armoniche d'ingresso

Anche gli UPS possono generare correnti distorte contenenti armoniche multiple di quella fondamentale di riferimento di 50 Hz. Le perdite percentuali dovute alle correnti armoniche come nel caso del rendimento, variano con il carico assorbito ed aumentano per bassi carichi .

Le principali soluzioni per la riduzione della corrente armonica in ingresso sono:

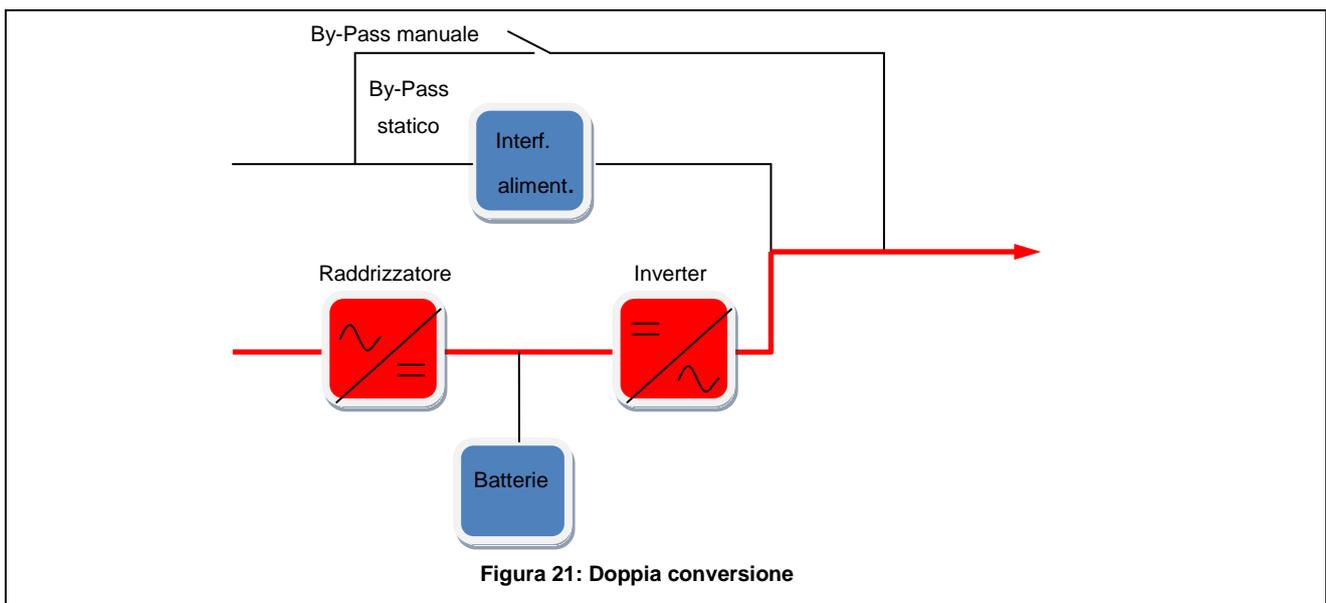
- Raddrizzatore dodecafase: è composto da un doppio ponte raddrizzatore che elimina le correnti armoniche di maggiore consistenza; l'eliminazione avviene tramite lo sfasamento dei due raddrizzatori;
- Raddrizzatore PFC (Power Factor Correction): aumenta il fattore di potenza in ingresso così da abbassare il contenuto di armoniche in ingresso;
- Filtri attivi: 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;
- Filtri passivi: solitamente condensatori e induttanze che vengono installati prima dell'UPS dando un passaggio a bassa impedenza per le armoniche indesiderate. Questo limita la diffusione dell'effetto distorcente sul resto dell'impianto.

Modalità di funzionamento

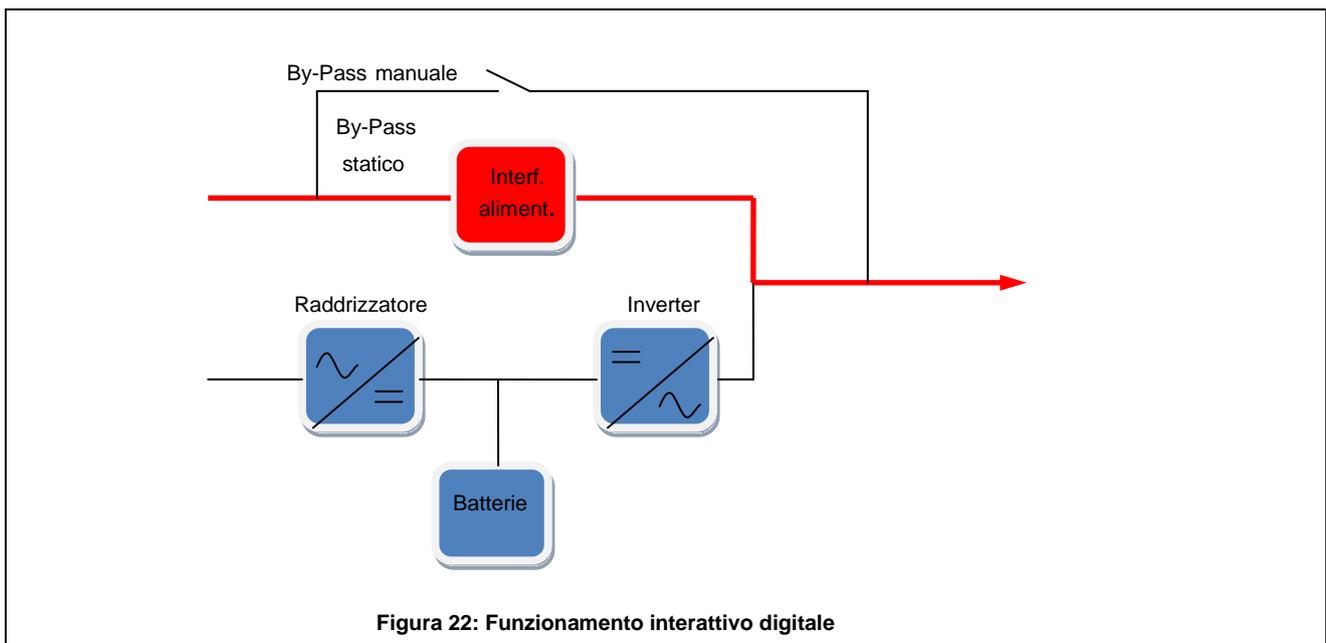
Al fine di risolvere tutti i problemi sopra elencati e per cercare di avere sempre la massima efficienza a tutti i carichi di lavoro, si sono messe a punto diverse tecniche innovative. Una delle principali innovazioni è quella di far lavorare il sistema UPS in tre o più configurazioni in base alle caratteristiche della linea in ingresso ed al carico assorbito in uscita.

Le principali modalità di funzionamento definite anche all'interno della norma CEI-EN 62040-3 2002 possono essere, la Doppia conversione AC/DC e DC/AC, funzionamento interattivo digitale con correzione della forma d'onda e funzionamento interattivo con by-pass.

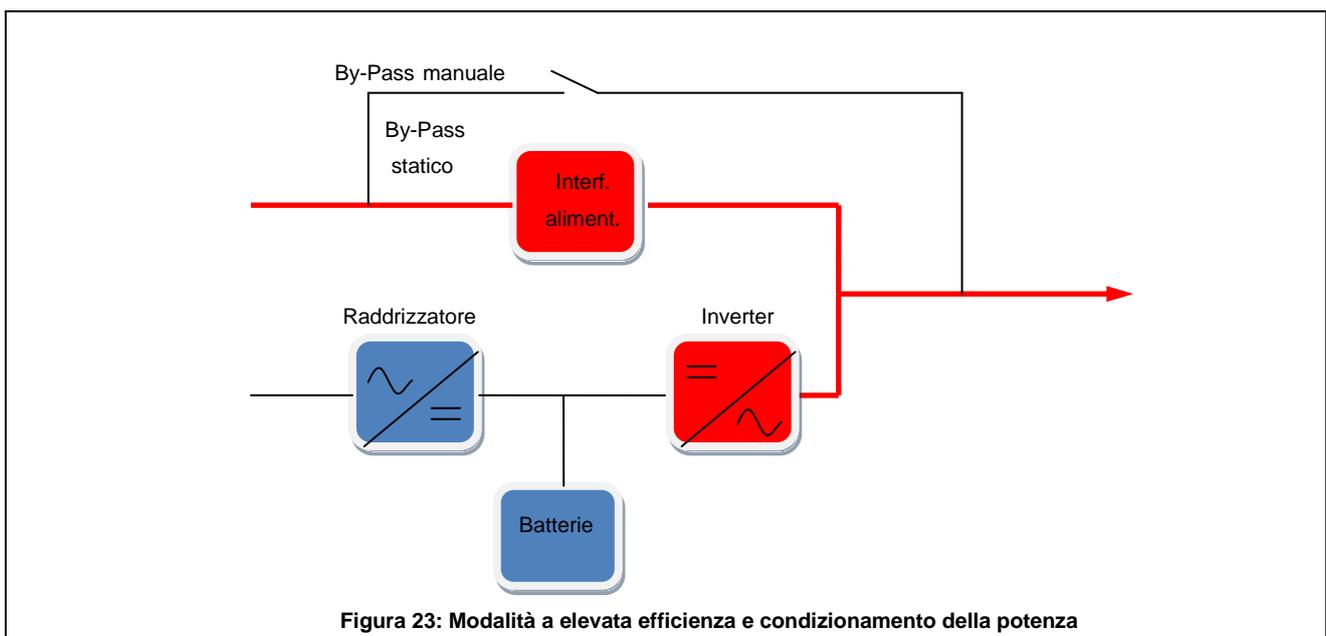
In caso di Doppia Conversione l'alimentazione viene fatta passare sia su raddrizzatore che inverter consentendo la completa costruzione della forma d'onda. Così si fornisce il massimo livello di condizionamento della potenza e si protegge il carico da tutti i tipi di disturbi elettrici di rete. In presenza di un deterioramento delle condizioni di rete e di valori fuori tolleranza per i parametri controllati, la modalità di doppia conversione consente di ottenere un condizionamento e un'alimentazione completi del carico. In questa modalità di doppia conversione si sono raggiunti rendimenti dell'ordine del 95%. (Fig. 21)



Il Funzionamento interattivo digitale in base all'alimentazione che arriva dalla rete rileva la necessità o meno del condizionamento. Nel caso in cui l'alimentazione sia buona, in assenza di fenomeni distorcanti, l'energia passa attraverso la linea di bypass, con un' efficienza del 99%. (Fig. 22)



Nel caso in cui si richieda un condizionamento per compensare alcuni disturbi, viene utilizzato l'inverter come filtro attivo in modo da offrire tutta la potenza reattiva necessaria alla ricostruzione dell'onda. In una condizione tipica questa modalità è caratterizzata da un'efficienza compresa tra 96 e 98%, a seconda del tipo di carico (lineare, non lineare e così via) e delle condizioni degli ingressi di rete.(Fig. 23)



In conclusione la tecnologia a doppia conversione implementata nell'UPS è estremamente efficace per quanto riguarda la risoluzione di tutti i disturbi di rete. Si può valutare l'uso di UPS con modalità by-pass che si rivelano vantaggiosi soprattutto nei casi in cui l'ingresso non presenti continui disturbi che potrebbero ridurre i rendimenti fino a valori prossimi al funzionamento in modalità

doppia conversione. In situazioni tipiche, in base ai dati registrati da sistemi di diagnostica remota, è stato valutato che si arriva in modalità by-pass a valori di efficienza media di 97,9.

2.9.4. Integrazione con i sistemi di comunicazione e di controllo

Nella maggior parte dei sistemi di continuità di ultima generazione, tutti i parametri di funzionamento, i dati e gli allarmi sono memorizzati e visualizzati sul display dell'UPS e possono anche essere trasmessi ad un sito remoto, tramite una semplice connessione ad internet o un sistema di Building Energy Management (BEM). Detti sistemi sono in grado di elaborare sia dati per la gestione dell'energia (distribuzione a media tensione, bassa tensione o gruppi motore-generatore), sia informazioni sulla salvaguardia delle installazioni per la distribuzione dell'alimentazione.

L'utente può ricevere un flusso continuo di informazioni su guasti, corrente erogata, numero di UPS in funzione e corrente assorbita per ogni fase.

Con le informazioni inviate dall'UPS (durata dell'interruzione di rete, carico collegato, autonomia della batteria, normale ripristino delle fonti di alimentazione, ecc.), il sistema informatico potrebbe avviare procedure automatiche (chiusura di file, spegnimento di unità periferiche, riavvio) senza l'assistenza dell'operatore.

2.10. Nuovo Sistema UPS: Celle a Combustibile

Le celle a combustibile rappresentano un sistema innovativo a impatto ambientale praticamente nullo per la garanzia della continuità elettrica.

Tali sistemi permettono di generare elettricità attraverso la reazione di idrogeno e ossigeno con la produzione di sola acqua. I principali limiti di questa tecnologia sono: la tensione massima in uscita, il costo ancora elevato e il tempo di reazione che è di circa 60 secondi. Questi sistemi perciò non possono sostituire totalmente le batterie che garantiscono l'alimentazione nei primi secondi dell'interruzione, bensì una volta avviati, garantiscono l'alimentazione al posto di un gruppo elettrogeno. Data poi la difficoltà di alimentazione diretta con idrogeno si ricorre di solito a un reformer alimentato a metano che lo produca. Sono sistemi ancora di nicchia, poco diffusi sul mercato.

2.11. PDU- Power Distribution Unit

In uscita dagli UPS troviamo quasi sempre le unità di distribuzione dell'alimentazione che moltiplicano le prese di alimentazione per permettere il collegamento delle singole apparecchiature IT. Tali unità introducono una seppur lieve perdita di energia che va tenuta comunque in considerazione nel caso in cui le unità da alimentare siano numerose. Oggi troviamo in commercio PDU in cui è presente un piccolo monitor nel quale è possibile visualizzare e

registrare i vari carichi assorbiti, funzione molto utile per una corretta valutazione dell'efficienza del datacenter ai fini di rilevamento della potenza assorbita dalle apparecchiature IT (Calcolo dell'indice PUE). In queste unità sempre sarebbe meglio evitare la presenza di qualsiasi trasformatore per non aggiungere ulteriori perdite. Anche le unità di distribuzione dell'energia dissipano calore e contribuiscono al riscaldamento della sala. Normalmente queste unità sono posizionate o sul pavimento o su sistemi di distribuzione della rete sospesi in aria.

Nei nuovi sistemi di alimentazione, se possibile, questi componenti vengono tolti ed i carichi vengono alimentati direttamente dai gruppi di continuità.

2.12. Batterie

Le batterie nei datacenter rappresentano uno degli elementi più critici della catena di alimentazione, in quanto devono intervenire nei momenti di totale interruzione della rete, in casi di emergenza e senza preavviso. È importante avere sempre sotto controllo la loro carica ed il corretto funzionamento, seguendo un apposito programma di manutenzione.

Nel caso dei centri di calcolo le batterie sono generalmente abbinate ai gruppi UPS che provvedono anche alla loro ricarica. In questo caso la tipologia richiesta è quella di accumulatori stazionari i quali non sono né sottoposti a continui cicli di carica/scarica, né ad elevate correnti di spunto come quelle delle automobili.

Le batterie più diffuse sono quelle al piombo-acido, ad elettrolita libero (ELI) o a vaso chiuso regolate con valvola VRLA (Valve Regulated Lead Acid). In base alla tipologia di elettrolita si possono avere batterie ad elettrolita assorbito o Gel. Oggi la tecnologia più utilizzata nei gruppi statici di continuità è quella degli accumulatori al piombo acido di tipo VRLA. Queste a volte, vengono dette in modo errato anche "prive di manutenzione" e di tipo "ermetico"; hanno bisogno comunque di ispezioni e devono essere sostituite in caso di malfunzionamenti. Inoltre non sono del tutto ermetiche in quanto, come nome suggerisce l'acronimo stesso, hanno una valvola per la regolazione del deflusso di idrogeno prodotto durante i cicli di carica e scarica.

La loro installazione può avvenire in sale adibite o all'interno dei comuni armadi della stessa tipologia di quella dei server insieme ai gruppi di continuità, purché si abbia un adeguato ricambio di aria, come previsto delle norme tecniche. La scelta del luogo di collocazione è molto importante e da non sottovalutare in quanto può influire in maniera rilevante e diretta sulla vita degli accumulatori. Il fattore più importante da tenere sotto controllo per una durata ottimale è la temperatura, senza dimenticare i cicli di carica scarica a cui saranno sottoposte. Secondo la guida fatta dall'Associazione Europea di produttori di Batterie EUROBAT, la temperatura di riferimento ottimale è di 20 °C. Per ogni incremento della temperatura di 10 °C, la vita utile media della batteria si dimezza. Per questo a volte nei centri di calcolo è possibile trovare le batterie nello stesso luogo dei server, dove la temperatura viene continuamente controllata e non supera certi

limiti. Per aumentare la durata delle batterie, insieme ai sistemi UPS sono a volte forniti dispositivi che tengono sotto continuo controllo la temperatura e la carica. In questo modo è più semplice rilevare se le batterie difettose o scariche, sono da sostituire, o se e quando fare interventi di manutenzione.

Un altro sistema per allungare la durata della vita delle batterie, è l'accoppiamento ad un UPS dinamico (flywheel) il quale andrebbe a coprire tutte le microinterruzioni fino ad una durata di circa 10 secondi, evitando in tali casi l'intervento delle batterie.

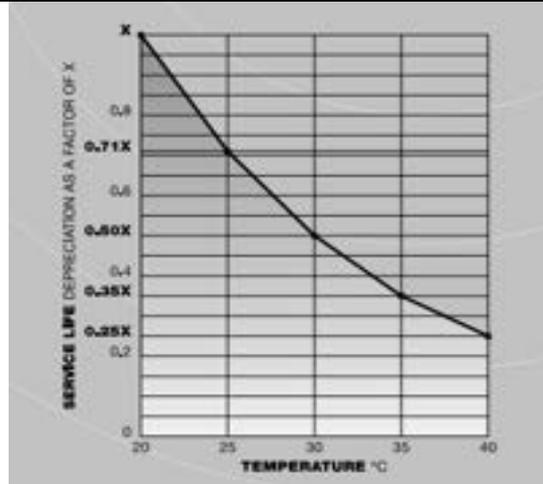


Figura 24: Durata della vita delle batterie in relazione alla temperatura di funzionamento [16]

2.13. Componenti dei sistemi di Condizionamento e Raffreddamento

Il sistema di condizionamento e raffreddamento in un datacenter è uno dei maggiori responsabili del consumo energetico. L'elevato consumo può essere dato da:

- uno scorretto dimensionamento delle apparecchiature con elevati sovradimensionamenti;
- una scorretta gestione dei vettori di raffreddamento;
- uso di tecnologie di raffreddamento obsolete e non efficienti.

I tre componenti principali del sistema sono: i chiller, le torri di raffreddamento e le pompe.

2.13.1. Chiller

In un chiller l'efficienza dipende principalmente dal singolo rendimento delle componenti che lo compongono e che sono interdipendenti tra loro. In commercio possiamo trovare chiller raffreddati ad acqua o ad aria. Nel primo caso, l'Efficienza di Refrigerazione (EER, Energy Efficiency Ratio) secondo gli standard attuali di mercato si aggira intorno a 3,5 (Temperatura acqua 15-18 °C / Temperatura aria ambiente 35 °C) a differenza di quelli raffreddati ad aria in cui si arriva a 2,5.

Un chiller lavora a pieno regime solo per il 3% del tempo (stima fatta da uno studio dell' "Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners", fatto per conto dell'Unione Europea [11]) e al fine di poter misurare l'efficienza ai carichi parziali sono stati introdotti alcuni parametri che prendono in considerazione il EER a 25% del carico, al 50%, al 75% ed al 100% facendone la

media pesata. Tali parametri (IPLV-Integrated Partial Load Value, EMPE-Efficienza Media Ponderata in Regime Estivo, ESEER-European Seasonal Energy Efficiency Ratio) saranno perciò fondamentali per valutare i consumi delle unità alle reali condizioni di utilizzo, cercando di massimizzare il rendimento ai carichi parziali intervenendo su:

- Compressori: non più a velocità di rotazione costante ma variabile in base al carico richiesto;
- Motori dei Ventilatori: dovranno essere a continua regolazione della velocità in funzione del carico termico richiesto. Per questi scopi sono molto indicati i motori DC brushless;
- Motori delle Pompe per la circolazione del fluido: anche questi a velocità variabile ma pressione costante con conseguente parzializzazione in base al carico richiesto;
- Valvole di espansione elettroniche.

2.13.2. Accumulo termico

L'accumulo termico è uno dei sistemi che potrebbero essere integrati al sistema di condizionamento e raffreddamento per compensare alcune condizioni particolare ed abbassare i consumi energetici.

La presenza di un accumulo potrebbe consentire l'eliminazione di un ulteriore gruppo frigo dimensionato solo per coprire i carichi di punta, consentire ai chiller di lavorare quando l'aria esterna è ad una temperatura più bassa, avendo così un COP maggiore e potrebbe assicurare freddo per un periodo di funzionamento limitato anche nel caso si avesse la rottura improvvisa dell'impianto. In questo modo si ha una possibile riduzione dei consumi e un aumento della ridondanza del sistema (vedi par. 3.11.) con un aumento dell'affidabilità. Solitamente il fluido più usato è l'acqua che è semplice da gestire, poco costosa, efficiente e affidabile; in alcuni casi si sfrutta il cambiamento di fase con accumuli di ghiaccio o si ricorre ad altri materiali in cui il cambiamento di fase avviene a temperature inferiori o superiori.

L'utilizzo di sistemi di accumulo comporterà costi maggiori e richiede maggiore disponibilità di spazio ma garantisce minori costi di gestione che potrebbero rendere conveniente la sua applicazione.[61]

2.13.3. Motori di Pompe e Ventilatori

E' fondamentale che compressori, pompe e ventilatori varino il loro funzionamento in base al carico richiesto ed alle condizioni di funzionamento. Il regime di rotazione deve poter variare in modo continuo e preciso: ciò è possibile con l'applicazione di inverter per motori alimentati in corrente alternata o con l'uso di motori in corrente continua di tipo brushless, di solito fino a potenze dell'ordine dei kW.

Motori DC Brushless

I motori DC brushless, dotati di ottime capacità di adattamento a diverse situazioni, godono oggi di una notevole diffusione in molti settori, di solito fino a potenze di alcuni kW. Le proprietà principali sono l'elevata efficienza e la possibilità di controllare con precisione la velocità di rotazione, la posizione e la coppia erogata. La rotazione molto fluida e silenziosa e il montaggio del rotore su cuscinetti a sfere garantiscono una vita molto lunga.

Il motore brushless è formato da una parte fissa detta statore, munita di tre gruppi di bobine che normalmente rappresentano le tre fasi del motore. Le bobine permettono di generare diversi orientamenti del campo magnetico, uniformemente distribuiti intorno all'asse dell'albero. La parte rotante, il rotore, sarà invece munito di magneti permanenti che nel tentativo di allineare il loro campo magnetico con quello dello statore, ruoteranno. Per la regolazione e gestione di tale sistema sono presenti tre sensori magnetici ad "effetto Hall" controllati elettronicamente che permettono di conoscere in ogni momento la posizione dei magneti del rotore.

L'elettronica connessa ai tre sensori, determina la posizione del rotore e perciò l'orientazione da dare al campo magnetico dello statore. Durante la rotazione, l'elettronica di pilotaggio comanda le tre bobine per aggiustare continuamente l'orientamento del campo alla posizione del rotore, in modo da trascinarlo nel senso di rotazione voluto. Variando la corrente negli avvolgimenti dello statore, l'elettronica può accelerare o rallentare la velocità di rotazione o addirittura frenare fino all'arresto. Oltre alla velocità di rotazione è possibile gestire anche la coppia uscente.

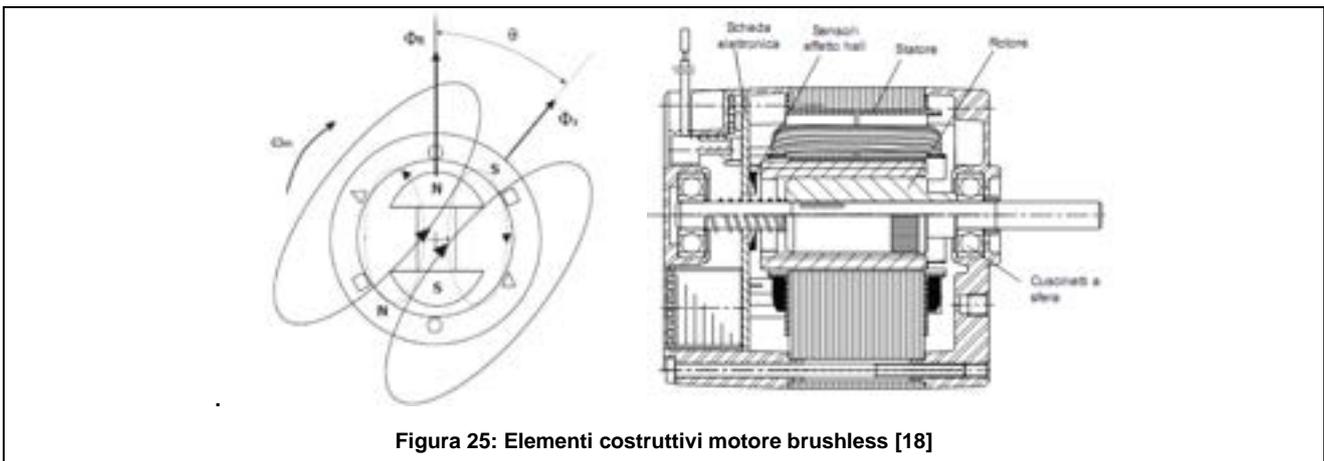


Figura 25: Elementi costruttivi motore brushless [18]

Motori elettrici ad alta efficienza

La tecnologia dei motori ad alta efficienza è normalmente utilizzata per potenze superiori al kW. I motori elettrici ad alta efficienza sono motori che, se confrontati con i motori elettrici tradizionali di pari potenza, hanno perdite di energia minori. Le perdite di un motore elettrico possono dividersi principalmente in tre categorie:

- Meccaniche, attrito (cuscinetti e spazzole) e ventilazione;

- Perdite per effetto Joule, proporzionali al quadrato dell'intensità di corrente ed alla resistenza dei conduttori, negli avvolgimenti di statore e di rotore;
- Perdite nel ferro a vuoto, proporzionali al quadrato della tensione e dovute principalmente ad isteresi (a causa dell'energia dispersa nei cambi di direzione del flusso) ed a correnti parassite circolanti entro il nucleo, indotte dai cambiamenti del flusso.

Le perdite vengono ridotte grazie alla scelta ottimale dei materiali, alla progettazione e all'assemblaggio degli elementi. I principali interventi riguardano la sezione maggiorata dei conduttori dello statore mentre nel rotore, la scelta del numero e della geometria delle cave per diminuire le perdite per effetto Joule e la realizzazione del nucleo con lamierini a basse perdite che diminuiscono le perdite a vuoto. Con questi interventi, si ha una minore produzione di calore, con la possibilità di impiego di ventole più piccole, minori perdite meccaniche e una curva di rendimento più piatta al variare del carico, in modo tale da avere sempre un valore elevato di efficienza.

Il CEMEP (Comité Européen de Constructeurs de Machines Electriques et d'Electronique de Puissance, Comitato Europeo Costruttori Macchine Elettriche ed Elettronica di Potenza) e la Commissione europea avevano raggiunto un accordo volontario sulla costruzione di motori elettrici, entrato in vigore nel 1999. L'accordo è riferito a motori asincroni trifase di bassa tensione, con rotore a gabbia in corto circuito unificati, autoventilanti, in costruzione chiusa IP54 e IP55, alimentati a tensione di 400 volt di linea e 50 Hz, in un intervallo di potenza compresa tra 1,1 kW e 90 kW a 2 poli e a 4 poli, per servizio continuo S1.

In particolare si sono stabilite tre classi di efficienza in base alla definizione di rendimenti minimi: eff1 (High Efficiency Motors, motori ad alta efficienza), eff2 (Improved Efficiency Motors, motori ad efficienza migliorata) ed eff3 (Standard Motors, motori tradizionali).

I costruttori di motori elettrici che aderiscono all'accordo "CEMEP" si sono impegnati a rispettare i valori minimi di rendimento concordati per ogni classe ed ad apporre una marcatura, per la classe di efficienza alla quale appartiene il motore.

Il regolamento CE n°640/2009 del 22 luglio 2009, di applicazione della direttiva 2009/125/CE ha introdotto una nuova classificazione e i livelli minimi di efficienza che i costruttori devono rispettare a partire dal 16 giugno 2011. Nel regolamento viene definito "motore", un motore elettrico a induzione a gabbia, mono - velocità e trifase, con una frequenza di 50 Hz o 50-60 Hz che abbia:

- da 2 a 6 poli,
- una tensione nominale (U_N) massima di 1 000 V,
- una potenza nominale (P_N) compresa tra 0,75 kW e 375 kW,
- caratteristiche basate su un funzionamento in continuo.

Questi dovranno rispettare le specifiche per la progettazione eco compatibile divisi principalmente in due livelli di efficienza IE2 ed IE3 in funzione del numero di poli e della potenza nominale secondo il calendario previsto:

- 1) a partire dal 16 giugno 2011 i motori devono avere come minimo un livello di efficienza IE2;
- 2) a partire dal 1 gennaio 2015 i motori con una potenza nominale compresa tra 7,5 e 375 kW devono avere come minimo il livello di efficienza IE3, oppure il livello di efficienza IE2 se muniti di variatore di velocità;
- 3) a partire dal 1 gennaio 2017 tutti i motori con una potenza nominale compresa tra 0,75 e 375 kW dovranno avere come minimo il livello di efficienza IE3, oppure il livello di efficienza IE2 se muniti di variatore di velocità.

Nella scelta dei motori elettrici, oltre a evitare inutili sovradimensionamenti che aumentano i costi di acquisto e di esercizio, è fondamentale valutare il costo sul ciclo di vita e non solo il costo iniziale, dato che il costo dell'energia elettrica utilizzata dal motore può superare il 95% del costo totale del ciclo di vita. Nel caso di sistemi che funzionino per lunghi periodi a carichi parziali deve essere anche valutata la convenienza, sempre con riferimento al ciclo di vita, di controlli a velocità variabile.

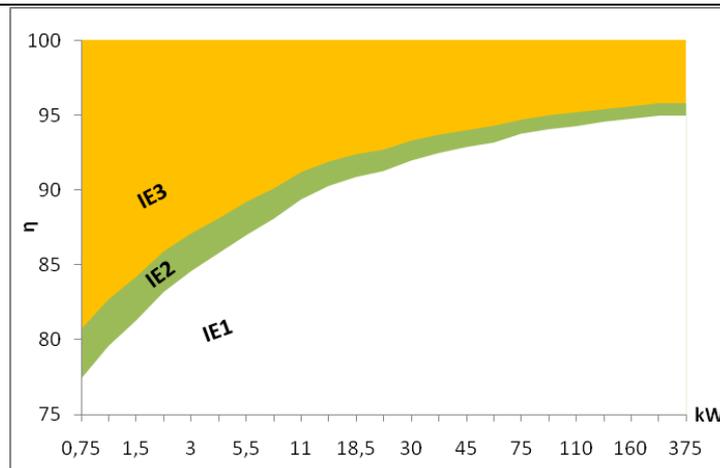


Figura 26: Classi di efficienza motori a 2 poli

2.13.4. Valvola d'espansione Elettronica

Attualmente in buona parte delle applicazioni nel mercato del condizionamento dell'aria, le unità frigorifere hanno come dispositivo di espansione una valvola termostatica di tipo tradizionale. Questo organo di laminazione, TEV (Thermostatic Expansion Valve), pur essendo funzionale limita le prestazioni dell'impianto e la sua versatilità.

Una soluzione più avanzata è la valvola di espansione elettronica EEV (Electronic Expansion Valve) molto diffusa nei sistemi di ultima generazione che permette di laminare il flusso di

refrigerante in modo ottimale, a seconda dei dati di pressione e temperatura rilevati da sensori all'uscita dell'evaporatore ed elaborati dal sistema di controllo.

Le caratteristiche che distinguono le EEV dalle TEV sono:

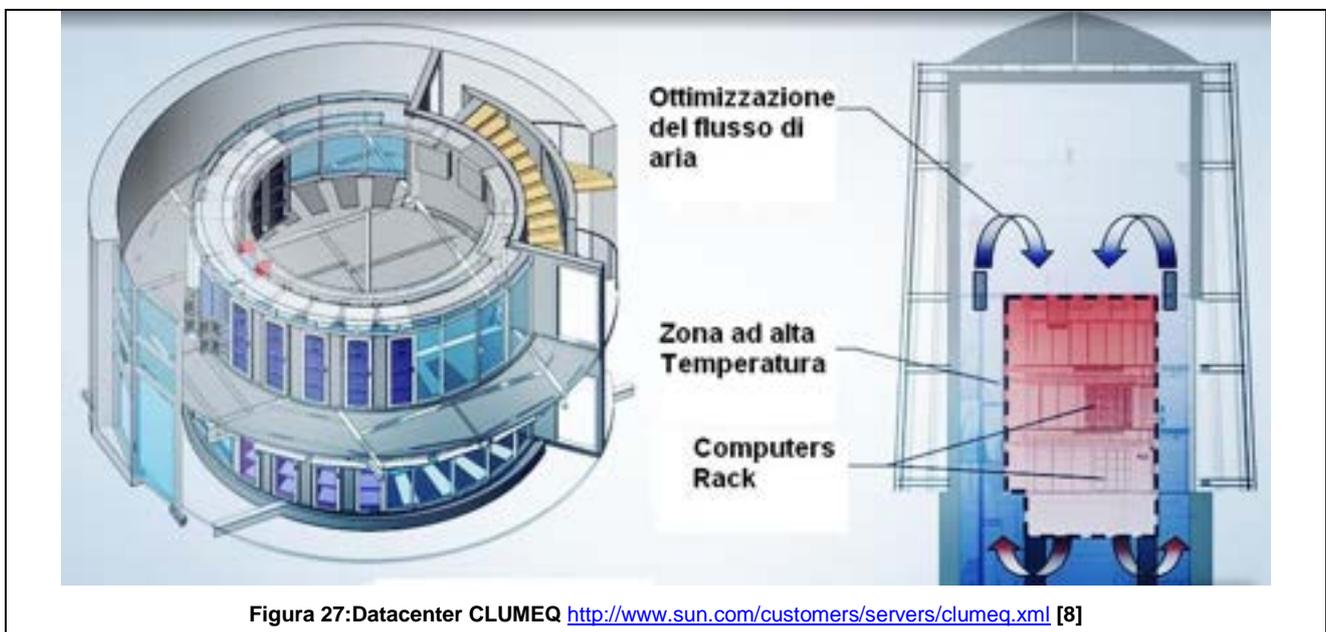
- Campo di regolazione molto esteso;
- Precisione di modulazione del refrigerante;
- Regolazione elettronica tramite microprocessore;

Le EEV consentono di ottenere risparmi energetici, che possono arrivare anche ad alcune decine di punti percentuali, grazie alle minori perdite nei cicli on/off e al più accurato controllo della regolazione.

3. GESTIONE DEI COMPONENTI NEL SISTEMA

3.1. Infrastruttura Datacenter

I parametri principali che influiscono in maniera rilevante sul sistema di condizionamento e sull'efficienza di un datacenter sono la scelta del luogo di costruzione e la sua architettura. Oggi la progettazione architettonica dell'edificio viene fatta intorno alle specifiche delle apparecchiature elettroniche; non è più il centro di calcolo che deve adattarsi alle caratteristiche della sala, bensì è l'edificio che può essere costruito in base alle esigenze IT. Un esempio, è il datacenter costruito nel centro universitario della città canadese del Quebec, chiamato CLUMEQ in cui l'architetto ha progettato l'edificio in modo tale che il datacenter sia modulabile, a bassa richiesta di energia di condizionamento grazie al free-cooling (par. 3.9) e con la possibilità di recupero del calore. Il datacenter ha forma cilindrica simile ad un silos, nel quale le macchine sono disposte in modo circolare, formando al centro la zona calda dalla quale è possibile recuperare calore.



Nella fase di progettazione è fondamentale tenere presenti tutte le buone norme della termotecnica, valutando il fabbisogno energetico della sala senza sovradimensionamenti che potrebbero portare ad un inutile spreco di risorse. È rilevante anche la posizione della sala CED all'interno dell'edificio ed il suo orientamento in relazione ai punti cardinali. La progettazione dei diversi impianti (climatizzazione, alimentazione, antincendio, etc.) deve essere integrata, nel caso di edifici nuovi o importanti ristrutturazioni anche con quella dell'edificio. Dal punto di vista dell'alimentazione elettrica è basilare che il CED si trovi in una posizione che renda facile l'allaccio

alla rete elettrica e possibilmente senza limiti di potenza richiedibile, così da permettere eventuali future espansioni.

Il datacenter è di solito una fonte di calore che deve essere dissipato, quindi si dovranno minimizzare gli apporti solari, scegliendo opportunamente l'orientamento e/o con schermature, etc.. Queste considerazioni però dipendono molto dalle condizioni ambientali specifiche del luogo in cui il centro di calcolo viene costruito. Tra le principali considerazioni che si possono fare per la scelta del luogo di costruzione del datacenter troviamo:

- accesso adeguato a fonti di generazione e trasmissione di energia elettrica;
- vicinanza a bande di rete con percorsi ridondanti per avere un'alta disponibilità;
- valutazione dei costi delle infrastrutture immobiliari;
- facilità di accesso (viabilità, vicinanza a centri urbani, etc.).
- corsi d'acqua e bacini per dissipare calore o utenze cui cedere calore a bassa temperatura

Oltre ai fattori influenzano la climatizzazione sono molto importanti quelli relativi alla facilità di connessione elettrica e di passaggio dei cavi. Gli stessi cablaggi dovranno essere facilmente raggiungibili per le operazioni di manutenzione e riparazione in caso di guasti e malfunzionamenti. Allo stesso tempo tutti i componenti dovranno essere protetti da possibili disturbi esterni e rischi di interruzione, manomissione, etc..

3.2. Layout interno

Normalmente la strumentazione IT è posizionata all'interno di "armadi" detti rack che vengono disposti uno di fianco all'altro componendo delle file tra le quali è possibile il passaggio dell'operatore. Il layout degli armadi è uno dei fattori fondamentali per la valutazione dell'efficienza della sala CED; in base alla disposizione dei rack avviene il dimensionamento sia dell'impianto di condizionamento che di quello elettrico. Tutte le strumentazioni devono essere disposte in modo tale da semplificare sia il loro collegamento sia il passaggio dell'operatore per facilitare gli interventi di manutenzione o emergenza.

A volte lo spazio a disposizione è limitato e deve essere ottimizzato in quanto il trasferimento in un altro luogo porterebbe a costi notevolmente maggiori. Per cercare di risolvere problemi di spazio è possibile utilizzare le unità server dette blade che vengono montate verticalmente e 14 lame possono occupare lo stesso spazio di 7 unità orizzontali. (Fig.28) Questi sistemi essendo un "concentrato" di componenti aumentano la produzione di calore e portano alla formazione di "hot spot" (zona calda) nelle quali è necessario prevedere particolari sistemi di raffreddamento.

In alcuni casi nella stessa sala server si possono avere zone ad alta e bassa densità, nella quali sono previsti sistemi di raffreddamento differenti in base al carico termico da dissipare. In linea di massima si considerano a bassa densità le zone in cui si ha una potenza elettrica installata per ogni

armadio di circa 4 kW, mentre ad alta densità quando si ha una potenza maggiore di 18 kW. Valori di alta densità sono facilmente raggiungibili con server blade.



La configurazione fisica delle apparecchiature IT può avere forti ripercussioni sui consumi energetici del sistema di raffreddamento. Una configurazione inadeguata obbliga a movimentare una quantità di aria molto maggiore rispetto a quella effettivamente richiesta dall'apparecchiatura IT. La classica configurazione a corridoi caldi e freddi (Fig. 37), infatti a volte, spinge il sistema di raffreddamento a produrre aria più fredda di quella effettivamente necessaria per l'apparecchiatura IT dato che la regolazione del raffreddamento avviene sulla temperatura della sala e non su quella dei componenti. La configurazione fisica può persino produrre situazioni in cui le diverse unità di raffreddamento operano in contrasto tra loro. Un caso tipico, in grado di ridurre significativamente il livello di efficienza, è quello in cui un'unità deumidifica l'aria mentre un'altra la umidifica. L'attuale tendenza ad aumentare la densità di alimentazione nelle sale CED, sia nuove che esistenti, amplifica simili inefficienze. Questi problemi di configurazione esistono in molte delle sale CED odierne, causando inutili sprechi di energia. Per questo motivo, un'architettura in grado di ottimizzare sistematicamente la configurazione fisica riduce notevolmente i consumi. L'ottimizzazione della disposizione delle macchine del CED può essere facilitata con software CAD (Computer Aided Design) in cui è possibile automatizzare alcune regole e calcoli generali rendendo il lavoro più semplice e rapido.

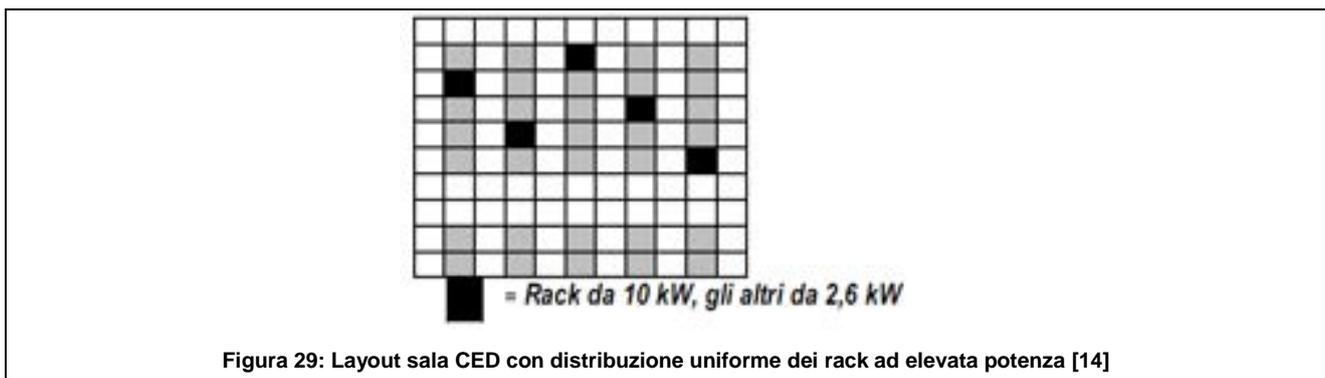
Tra le principali caratteristiche che il layout della sala di un centro di calcolo deve soddisfare troviamo:

- semplicità: passaggio cavi, installazione componenti e facilità di intervento;
- flessibilità: possibilità di una modificare parametri di funzionamento ed unità fisiche;
- modularità: possibilità di aggiungere o togliere macchine in base alle effettive necessità.

3.2.1. Disposizione delle Unità rack

La disposizione delle unità rack è molto importante nel caso si usi un sistema di raffreddamento tradizionale con l'immissione di aria fredda da bocchette sul pavimento flottante. In questo caso infatti è fondamentale ottimizzare i flussi di aria in relazione alle unità presenti ed alle potenze

istallate. Data la tendenza attuale ad integrare in ogni armadio apparecchi sempre più compatti, come ad esempio i sistemi blade, la potenza richiesta e la quantità di calore da dissipare all'interno della sala CED potrebbe essere molto elevata con densità uniforme o puntuale. I sistemi con immissione di aria da pavimento flottante non sono sufficienti per intere sale CED composte da rack ad elevata densità, si rende così necessaria l'installazione, nella fila o nel rack, di nuovi sistemi di raffreddamento a liquido o integrati. Se invece nella sala solo una parte degli armadi rack sono ad alta densità, si dovrà cercare di distribuirli in modo omogeneo sull'intera superficie in modo da formare evitare la formazione di punti caldi.



Per ovviare a questi problemi si può ricorrere alla canalizzazione dell'aria in modo da assicurare che nelle zone più calde arrivi la quantità di aria fredda necessaria a scongiurare pericoli di surriscaldamento.

Nei sistemi tradizionali in cui l'aria di raffreddamento viene distribuita dal basso da dei diffusori sul pavimento flottante la disposizione dei rack è un fattore molto importante per l'ottimizzazione del sistema di raffreddamento. Un corretto posizionamento delle mattonelle dalle quali fuoriesce aria fredda può evitare che si abbiano fenomeni di miscelazione tra aria calda in uscita dalle macchine e quella fredda proveniente dal pavimento. Uno scorretto posizionamento dei diffusori potrebbe anche rendere inutile la separazione tra corridoio caldo e freddo con i relativi vantaggi. I diffusori di mandata devono essere posizionati il più vicino possibile alle prese d'aria delle apparecchiature mantenendo l'aria fredda nei corridoi freddi. Nel caso di distribuzione dell'aria sotto il pavimento, bisogna sistemare le mattonelle forate solo nei corridoi freddi. Nel caso in cui invece si avesse una distribuzione dell'aria dall'alto questa potrà risultare altrettanto efficace quanto quella tipica con pavimenti rialzati, ma anche in questo caso i diffusori devono essere collocati solo sopra i corridoi freddi, assicurandosi che il flusso sia diretto verso il basso, nel corridoio freddo. I diffusori in prossimità degli armadi spenti devono essere chiusi, per evitare inutili sprechi. Può essere inoltre utile controllare, con un semplice misuratore della velocità dell'aria se il diffusore è

sistemato in modo da garantire la corretta pressione statica, perché in alcune situazioni si potrebbero presentare riduzioni o addirittura inversioni di flusso.

La ripresa dell'aria calda in uscita dalle macchine deve avvenire in maniera molto precisa in modo tale da non dare la possibilità di miscelazione con quella fredda in ingresso. In alcuni casi la ripresa può avvenire tramite una controsoffittatura attraverso bocche di ripresa sopra il corridoio caldo. In alternativa al controsoffitto è possibile usare un sistema di canalizzazione dell'aria che la riporti alla macchina di condizionamento.

Nel caso però non sia possibile l'applicazione né del pavimento flottante, né della controsoffittatura data la particolare conformazione della sala in cui è presente il centro di calcolo, sicuramente si avrà una miscelazione tra aria calda e fredda con la conseguenza di dover raffreddare l'intera aria all'interno della sala con una richiesta di energia sicuramente maggiore. Gli accorgimenti che possono essere presi in questi casi possono essere l'ottimizzazione della disposizione degli armadi rack per cercare di creare comunque lo svilupparsi di un movimento separato di aria calda rispetto a quella fredda.

Una corretta disposizione delle grate di immissione, delle bocche di ripresa e delle unità di condizionamento dell'aria è uno dei punti più importanti per l'efficienza energetica di un centro di calcolo. Nelle installazioni esistenti spesso le inefficienze del sistema di distribuzione e ripresa dell'aria possono essere superate attraverso piccoli interventi di canalizzazione dell'aria calda o fredda per evitare miscelazioni. Canalizzazioni che sono economiche e semplici da realizzare senza stravolgere l'intero sistema.

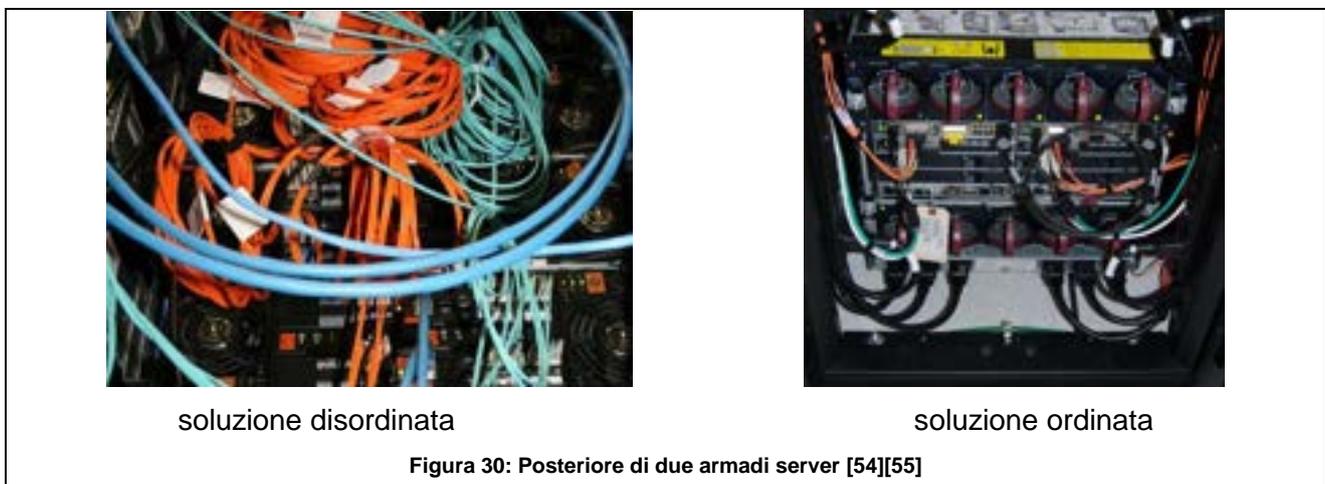
Nel caso in cui siano presenti molti armadi con elevata densità di potenza, è possibile anche avvicinarli e creare un'isola calda a più alta temperatura a cui dedicare dei sistemi di raffreddamento ad hoc. Sistemi che potrebbero essere unità di raffreddamento per file da integrare tra due armadi o armadi con all'interno uno scambiatore di calore (par. 3.7), che potrebbero integrarsi o sostituire il sistema di raffreddamento già esistente.

3.2.2. Cablaggio

I datacenter sono costituiti da una notevole presenza di apparati che devono essere collegati tra loro e con sistemi esterni, dando luogo ad un' elevata densità di cavi. Nella fase di progettazione del layout di un centro di calcolo è consigliato cercare di individuare per quanto possibile anche i principali collegamenti tra singoli cabinet e server, in quanto ai fini energetici anche se indirettamente il corretto posizionamento e posa dei cavi può dare alcuni vantaggi. Non ci sono regole fisse per scegliere una tipologia di cablaggio particolare, per esempio rialzata, ma sta al progettista scegliere la soluzione che reputa migliore di volta in volta. Nella maggioranza dei casi in cui viene usato un sistema di raffreddamento ad aria, il passaggio cavi viene fatto sotto pavimenti flottanti o controsoffitti. Spesso i vani per il passaggio cavi è lo stesso che viene usato per far fluire

aria refrigerata verso le macchine. È necessario quindi assicurarsi che la loro posa non vada ad ostruire il fluire dell'aria di raffreddamento. Anche nel collegamento delle singole macchine server è consigliato fare attenzione affinché non venga ostruito il passaggio dell'aria di raffreddamento all'interno della macchina con un posizionamento il più lineare ed ordinato possibile che favorirà anche gli interventi di manutenzione ed emergenza (Fig. 30). Quindi l'ottimizzazione dei sistemi di cablaggio viene fatta a più livelli: all'interno del cabinet in cui sono posizionate le apparecchiature server, nel collegamento delle macchine all'interno della sala (rialzato o sottopavimento) e nei sistemi di collegamento con gli elementi che sono fuori dalla sala.

I cavi di un data center si dividono in due principali tipologie in rame e in fibra ottica, a seconda del segnale che devono trasportare. Nel caso di datacenter ad elevata densità energetica è consigliato separare i cavi di trasmissione dati da quelli per l'alimentazione della potenza elettrica, per evitare possibili disturbi che possono portare a malfunzionamenti.



3.2.3. Illuminazione

L'utilizzo di sistemi di illuminazione efficienti contribuisce a diminuire i consumi dell'intero data center, non va infatti dimenticato che la potenza assorbita dal sistema di illuminazione oltre a un consumo diretto è anche un ulteriore apporto termico da dissipare.

Oggi, la tecnologia più efficiente nell'illuminotecnica è quella dei led (Light Emission Diode). Sul mercato iniziano ad essere presenti anche lampade a led che possono sostituire le classiche lampade ad incandescenza o fluorescenti. Tale tecnologia garantisce bassi consumi, elevata efficienza luminosa (rapporto lumen/Watt) e lunga durata (oltre 50.000 ore) non influenzata dal numero di accensioni e spegnimenti. Oltre all'uso di sistemi di illuminazione a basso consumo è bene gestirli al meglio evitando accensioni inutili, ricorrendo a sistemi di controllo automatici dotati di sensori di presenza, temporizzatori, etc. in modo da garantire l'accensione e il livello di illuminamento necessario.

3.3. Gestione del Sistema di alimentazione

L'alimentazione elettrica che arriva dalla rete al datacenter subisce al suo interno molte trasformazioni per alimentare tutte le apparecchiature. In tutte le conversioni e i condizionamenti si hanno sempre delle perdite.

Nei tradizionali datacenter dell'America del nord l'alimentazione elettrica in ingresso è normalmente di 480 Volt AC, tensione che deve attraversare le varie apparecchiature di modulazione e distribuzione quali UPS, PDU, PSU per assicurare una fornitura continua e sicura. I server, normalmente sono alimentati da una tensione di 208/120 Volt AC che viene convertita in DC. Il rendimento totale della catena (Fig. 31) si aggira intorno al 77%, valore dato dalla moltiplicazione dei tre rendimenti principali $94 \times 98 \times 84 = 77\%$.

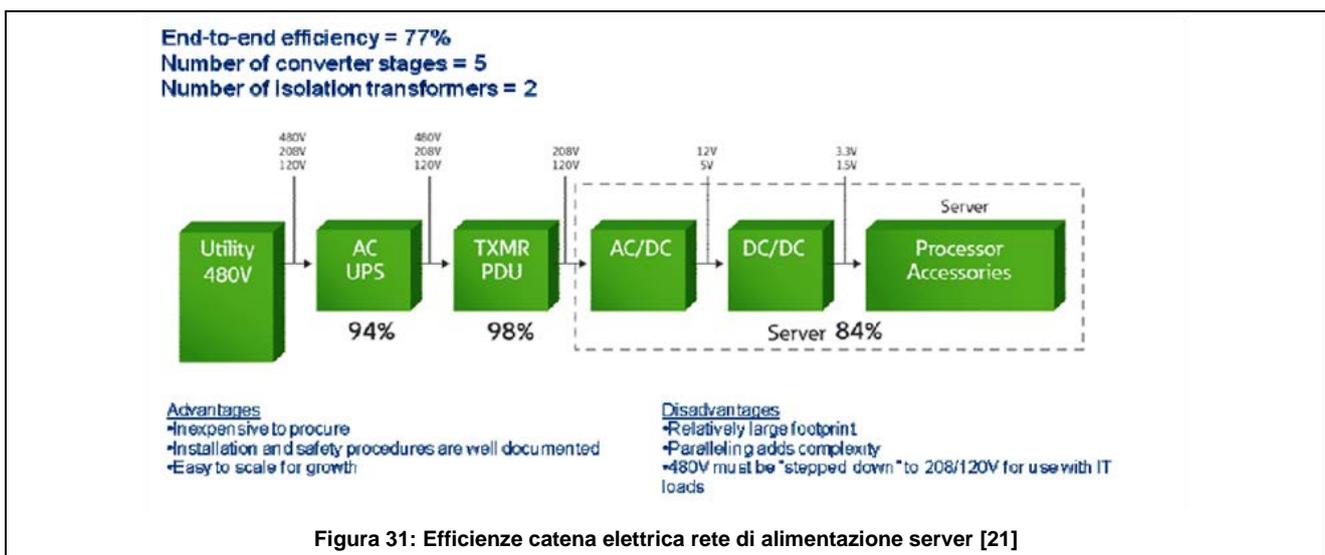
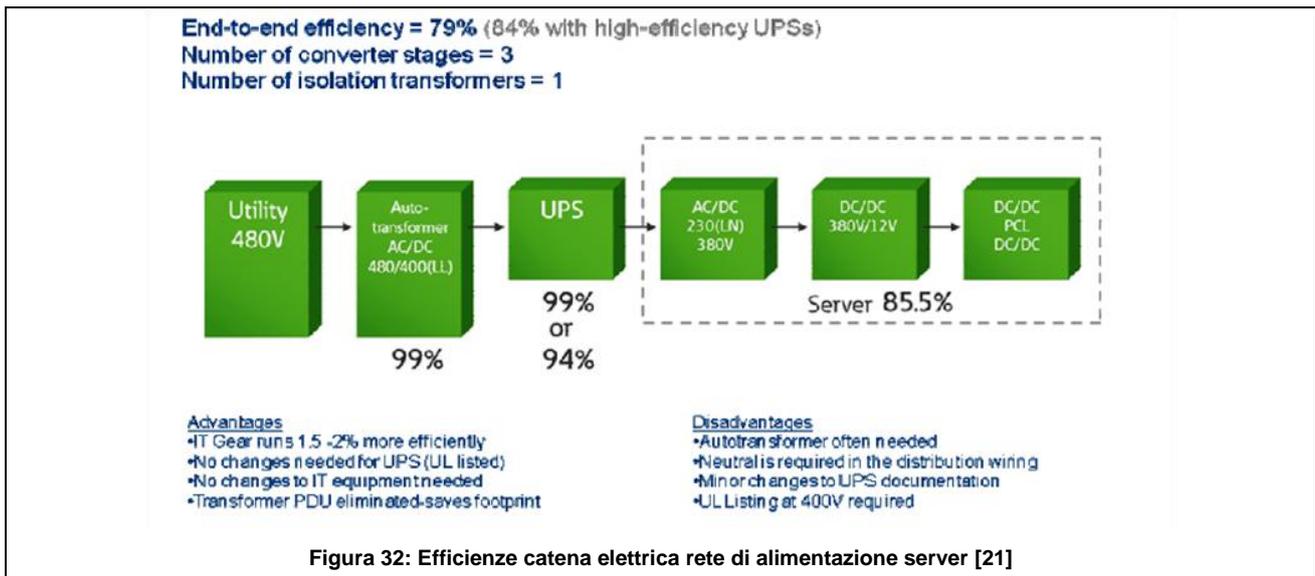


Figura 31: Efficienze catena elettrica rete di alimentazione server [21]

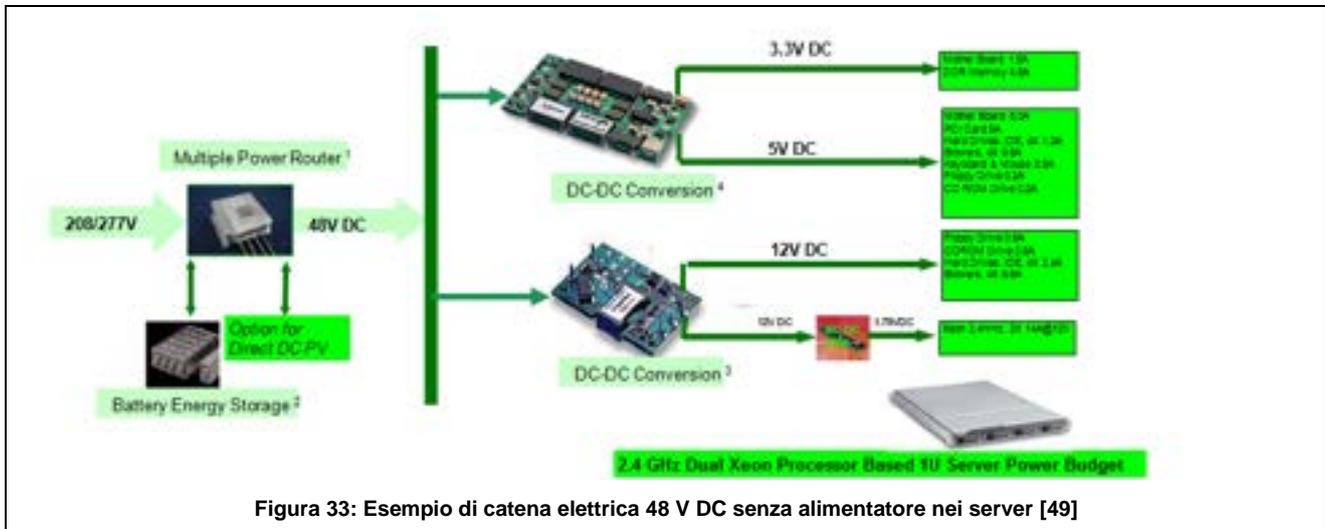
Nel caso dell'Europa, dell'Asia e del Sud America invece, l'alimentazione richiesta in ingresso è di 380 Volt AC. In questi sistemi, il neutro è distribuito per tutto l'edificio, eliminando la trasformazione che avveniva nella PDU e consegnando direttamente 230 V fase e neutro al carico. In tal modo si arriva ad una efficienza totale di circa il 79% e ad un abbassamento dei costi dovuti al mancato uso della PDU. Se poi l'efficienza del sistema di continuità è maggiore del 94% considerato nel calcolo, come è nella maggior parte dei sistemi di ultima generazione, l'efficienza totale è ancora maggiore.



In questi due modelli presi come esempi di catene di distribuzione, si evidenzia come cala in maniera rilevante l'efficienza nella catena di distribuzione anche se si usano componenti che presi singolarmente, hanno efficienza elevata. Sul sito internet del Green Grid è presente un Tool nel quale si possono introdurre i principali strumenti della catena di distribuzione elettrica che permette di calcolare e confrontare le varie efficienze con diverse configurazioni e modalità di funzionamento anche in funzione del carico richiesto (<http://estimator.thegreengrid.org/pcee>).

Da queste considerazioni si evince che, soprattutto nella situazione del Nord America, Giappone, etc, (Fig. 31), un modo per diminuire le perdite nella catena elettrica potrebbe essere la diretta alimentazione dei server con corrente continua a 48 V proveniente dall' UPS, eliminando le ultime due trasformazioni AC/DC e DC/DC che avvengono nei singoli alimentatori di ogni server. La corrente continua in uscita dalla prima trasformazione nel raddrizzatore UPS, oltre a ricaricare le batterie, passerebbe direttamente alle apparecchiature elettroniche all'interno dei server (Fig. 33). La tensione di 48 V verrebbe abbassata da altri dispositivi con efficienze notevolmente più alte degli alimentatori. In questo modo si avrebbe sicuramente un vantaggio dal punto di vista di trasformazione dell'energia elettrica, ma si dovranno valutare i costi aggiuntivi per l'uso di cavi di alimentazione solitamente in rame di sezione maggiore, necessari per le correnti più elevate. Infatti per alimentare un rack da 10 kW con alimentazione a 400V AC servono 16 A di corrente. Per fornire la medesima potenza con una tensione di 48 V DC occorrono 210 A. Considerando che occorre 1mm² di sezione del conduttore ogni 4 A di corrente, il cavo in AC risulterà di 4mm² contro i 52 mm² del cavo DC. Per produrre cavi di queste dimensioni occorre una quantità enorme di rame, che ha costi molto alti; le medesime considerazioni vanno ripetute per tutte le altre componenti elettriche quali le protezioni, i quadri, gli interruttori, etc., senza dimenticare la capacità e le competenze degli operatori.

Nonostante l'alimentazione diretta DC si da sempre utilizzata nelle telecomunicazioni, i maggiori costi iniziali e il notevole incremento di efficienza sia nei gruppi UPS che negli alimentatori avvenuto negli ultimi anni, ne fanno un intervento che di rado viene valutato in fase progettuale, soprattutto al di fuori del Nord America.



3.4. Sistema di condizionamento e/o raffreddamento

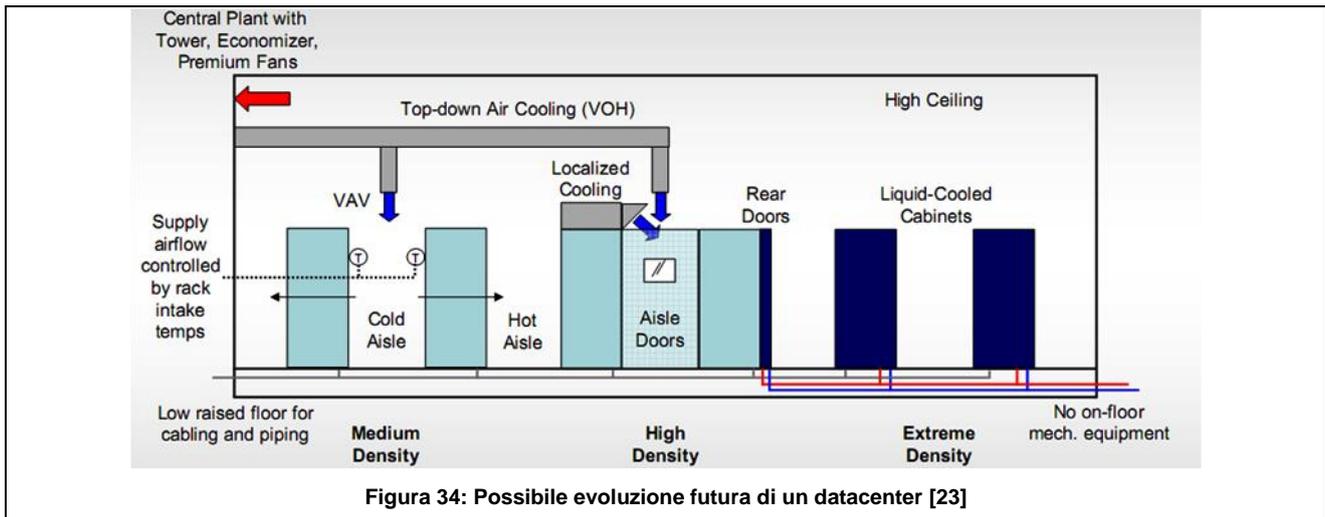
Il sistema di condizionamento del locale e/o raffreddamento dei componenti, nella maggior parte dei casi in funzione 24 ore al giorno, è il maggior responsabile del consumo di energia non IT in un data center (Fig. 2). Per questo motivo, dovrà essere progettato in modo da massimizzarne l'efficienza, ma garantendo sempre le temperature operative dei vari componenti IT. Per calcolare il carico termico necessario da dissipare all'interno della sala CED si devono tenere in considerazione tutti gli apporti termici presenti: UPS, Server, illuminazione, presenza di persone, etc. L'unità di misura usata nel sistema internazionale per definire la potenza termica frigorifera è il Watt ma, nel mondo anglosassone possiamo trovare anche unità di misura diverse come Btu/h e ton. Per ogni componente si calcola l'effettivo calore da dissipare emesso nella sala CED. La potenza termica da dissipare delle apparecchiature IT è pari alla potenza elettrica assorbita, negli UPS varia tra un minimo e un massimo al variare del carico di lavoro mentre per l'illuminazione e le persone, si ricorre a valori standard di riferimento.

I sistemi di server ad alta densità producono sempre più calore arrivando a dover dissipare anche molti kW per metro quadro di superficie e la tipica configurazione che oggi è presente nella maggior parte delle sale CED, raffreddamento tramite aria che fluisce su un pavimento flottante a volte non è all'altezza.

Possiamo avere diversi sistemi di refrigerazione delle apparecchiature:

- Sistemi di condizionamento tradizionali della sala CED (corridoio caldo/freddo)
- Sistema di raffreddamento per file o per unità (armadio rack)

- Sistemi di raffreddamento a liquido di precisione dei componenti



Nei sistemi di raffreddamento a liquido di precisione dei componenti, usando acqua per esempio, si ha una capacità di raffreddamento superiore rispetto all'aria (circa 4.000 volte). In questo caso l'acqua fredda fluisce direttamente in canali a contatto con i punti caldi all'interno del server. Nel caso del raffreddamento su file o per unità rack, il sistema di raffreddamento scambiatore e ventole viene integrato nell'armadio insieme alle componenti elettroniche e sarà trattato come unità indipendente.

Nella progettazione di ogni nuovo datacenter in cui non si scelga il raffreddamento a liquido sarebbe comunque bene tenerlo in considerazione come un futuro passaggio nel caso se ne avesse bisogno. Per avere un'installazione che sia il più possibile efficiente è conveniente fare un'analisi dei fabbisogni termici del sistema nelle varie situazioni, studiare i flussi di aria del circolo di aria calda e, se possibile, fare anche simulazioni con software fluidodinamici (CFD).

L'affidabilità del sistema di raffreddamento è una delle caratteristiche fondamentali dei nuovi datacenter dato anche il continuo aumento della potenza elettrica installata per ogni singolo rack. Infatti, il mancato raffreddamento anche temporaneo potrebbe portare le apparecchiature IT a temperature elevate fino ad una provvisoria sospensione del funzionamento o addirittura alla soglia di danneggiamento. All'aumentare della densità di potenza elettrica perciò diminuirà il tempo di intervento nel caso di rottura, prima che si raggiungano temperature critiche. È per questo che a volte si preferisce abbassare la temperatura della sala di qualche grado, a scapito dei consumi energetici ma a favore di una maggiore affidabilità.

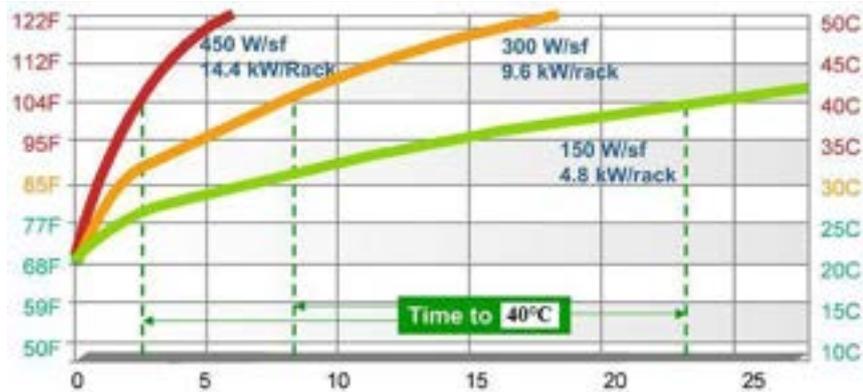


Figura 35: Andamento della temperatura in un server nel caso di malfunzionamenti del sistema di raffreddamento [23][24]

3.5. Gestione della Temperatura

Se, un terzo dell'intero consumo energetico è rappresentato dal sistema di climatizzazione e di raffreddamento, i due parametri da considerare sono la temperatura interna della sala CED e la temperatura degli apparecchi che la compongono.

L'Ente europeo ETSI (European Telecommunications Standards Institute) con la norma ETSI EN 300 019-1-3 definisce i parametri di temperatura e umidità di lavoro degli apparati di telecomunicazione e la estende anche agli ambienti tipo data center. Nella figura 36 sono riportate le tre zone di funzionamento delle macchine definite dalla norma; la zona verde di funzionamento normale, la zona rossa in cui può operare solo per il 10% della loro vita e quella celeste in cui può operare solo per l'1% del tempo senza degradare le prestazioni funzionali e l'affidabilità. Questi intervalli di temperature operative di funzionamento dovranno essere rispettati dai produttori di apparecchiature informatiche a partire da gennaio 2012.

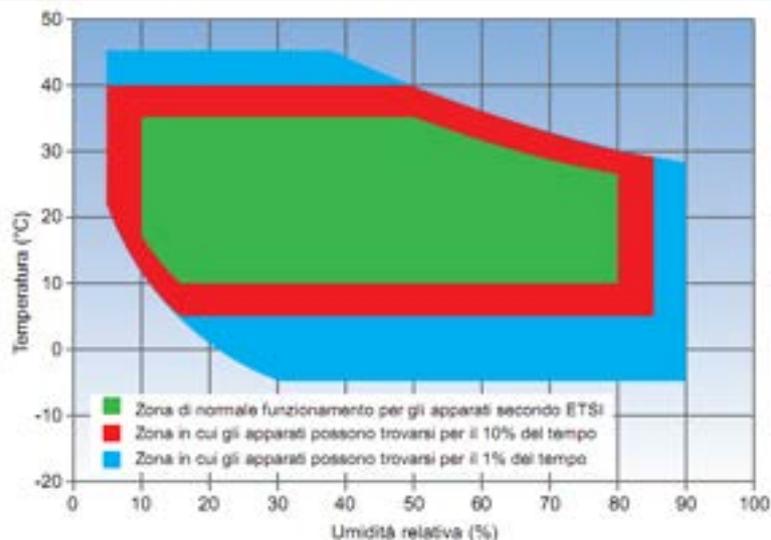


Figura 36: Range di funzionamento delle apparecchiature secondo la norma ETSI [25]

Anche l'ente americano ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning) ha definito delle norme per la regolazione della temperatura nei centri di calcolo, allargando di qualche grado nel 2008 il primo intervallo definito nel 2004 cercando di diminuire la parte di energia dovuta al raffreddamento[26] Questi intervalli di temperatura sono stati ripresi come riferimento anche all'interno delle linee guida emesse dall'Unione Europea nella forma di un Codice di Condotta per i datacenter (Code of Conduct on Data Center).[51]

Tali valori vengono indicati come valori di riferimento attuali mentre quelli ETSI come valori previsti al 2012. I livelli di temperatura indicati sono quelli dell'aria in ingresso all'apparato in considerazione. Nel caso perciò si immettesse aria all'interno della sala a questa temperatura, è di fondamentale importanza che questa non si misceli con quella già calda in uscita dalle macchine.

Confronto tra i valori di temperatura e umidità ASHRAE tra il 2004 e il 2008

	2004	2008
Temperatura min	20 °C	18°C
Temperatura max	25 °C	27°C
Umidità relativa min	40 %	Temp. di Condensazione 5,5 °C
Umidità relativa max	55 %	69 % e Temp. di Condensazione 15 °C

Tabella 3

Dalla tabella 3 si nota come nel 2008 la temperatura massima è aumentata di 2°C e come l'umidità non è più quella relativa in % bensì riferita alla temperatura di condensazione che include vari valori di umidità relativa; anche la temperatura minima di ingresso aria si è abbassata di 2°C. Queste modifiche permettono di aumentare le ore di funzionamento in modalità di free-cooling con aria esterna e di ricircolo. Abbassando la temperatura di ingresso aria, in zone fredde non ci sarà bisogno di miscelare l'aria esterna con l'aria di ritorno dalla sala, e si potrà immetterla direttamente con un certo risparmio.

In datacenter in cui non è possibile il free-cooling, l'abbassamento della temperatura sarebbe solo uno spreco dal punto di vista energetico. L'innalzamento della temperatura massima di immissione dell'aria aumenterà le ore di possibile funzionamento in modalità free cooling.

Gli intervalli specificati in queste norme si applicano a tutti gli apparecchi nel datacenter a meno che i costruttori non indichino specificatamente valori diversi; molto spesso è il produttore del server che indica quale sia la temperatura consigliata dell'aria di raffreddamento in ingresso al rack. Gli intervalli di temperatura e umidità di funzionamento normalmente indicati dai costruttori delle apparecchiature sono riportati nella tabella 4:

	Range Max
Temperatura [°C]	15-32 °C
Umidità Relativa [%]	20-80 %
Tabella 4	

Anche l'umidità della sala CED deve essere tenuta sotto controllo, soprattutto nel caso si usasse un sistema free-cooling diretto con aria (Vedi par. 3.9). Spesso, infatti, l'aria esterna molto fredda ha valori di umidità bassi e deve essere umidificata. Per far questo dovremo avere sensori di umidità dell'aria esterna in ingresso. Il controllo dell'umidità nell'aria in ingresso è abbastanza rigido per prevenire eventuali scariche elettriche date da un'umidità troppo bassa e fenomeni di condensazione su superfici fredde.[26]

3.5.1. Innalzamento della temperatura di setpoint

Una delle tecniche a costo zero per cercare di diminuire il fabbisogno energetico dell'impianto di condizionamento è quello di aumentare di qualche grado la temperatura della sala. L'aumento della temperatura anche di un solo grado potrebbe sembrare un'operazione semplice e redditizia ma si dovrà fare molta attenzione prima di eseguirla. Secondo le raccomandazioni dell'ASHRAE la temperatura all'interno della sala CED, dovrebbe essere tra i 18-27 °C ma l'intervallo massimo ammissibile delle apparecchiature va dai 15 ai 32 °C; non sempre un aumento della temperatura della sala CED corrisponde ad un aumento della temperatura all'interno delle apparecchiature elettroniche.

Tutti gli aspetti energetici del datacenter, delle attrezzature IT e dei sistemi installati sulla struttura devono essere analizzati attentamente, per determinare il totale impatto sull'energia consumata. L'innalzamento della temperatura interna nella sala CED, per esempio potrebbe portare a due vantaggi dal punto di vista energetico; il primo sarà la riduzione del fabbisogno frigorifero e di conseguenza il consumo dell'impianto di condizionamento mentre il secondo sarà l'aumento del rendimento ($COP = T2 / (T1 - T2)$) del sistema di condizionamento dato da una temperatura maggiore all'evaporatore. Con l'introduzione del sistema free - cooling inoltre, si permetterebbe un più ampio range di funzionamento, quindi un numero maggiore di ore di funzionamento con i relativi vantaggi.

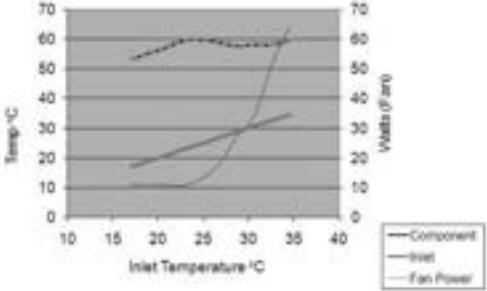
Un altro fattore da tenere in considerazione è il fatto che aumentando la temperatura delle macchine riduce anche il tempo di intervento nel caso di un blocco del sistema di condizionamento con il pericolo che le attrezzature si surriscaldino fino a rottura in brevissimo tempo (Fig. 35). La prima cosa da fare prima di intervenire, è capire in modo chiaro come si sviluppa il flusso di aria all'interno della sala calcolo con software CFD e/o con il posizionamento

di sensori di temperatura sui server, creandosi così un'immagine chiara di quali sono le temperature nei punti più caldi e più critici. Ci sono dei software semplici da installare e freeware (esempio Everest) che permettono di vedere la temperatura interna del chip del processore.

Nel valutare bene quali sono i principali carichi che costituiscono il centro elaborazione dati si potrebbero fare due diverse distinzioni:

- Sistema di raffreddamento interno al server;
- Sistema di raffreddamento sala CED.

Nel primo caso ogni server al suo interno avrà un proprio sistema di ventilazione per il raffreddamento interno, il quale avrà una sua temperatura impostata da mantenere costante. Normalmente il sistema di raffreddamento è caratterizzato da dei ventilatori che aspirano aria della sala e la fanno fluire sul dissipatore del processore. Andando a movimentare aria a temperatura più alta per avere lo stesso scambio termico per convezione dovrà aumentare la sua velocità; nei ventilatori però il rapporto della potenza richiesta segue una legge cubica rispetto al rapporto delle velocità di rotazione e perciò si avrà una maggiore richiesta di alimentazione anche per variazioni piccole. Non sempre però si hanno sistemi di ventilazione a velocità variabile ma ci si può imbattere anche in sistemi a velocità costante ed in questo caso si dovrà stare molto attenti che non si arrivi a temperature troppo elevate.

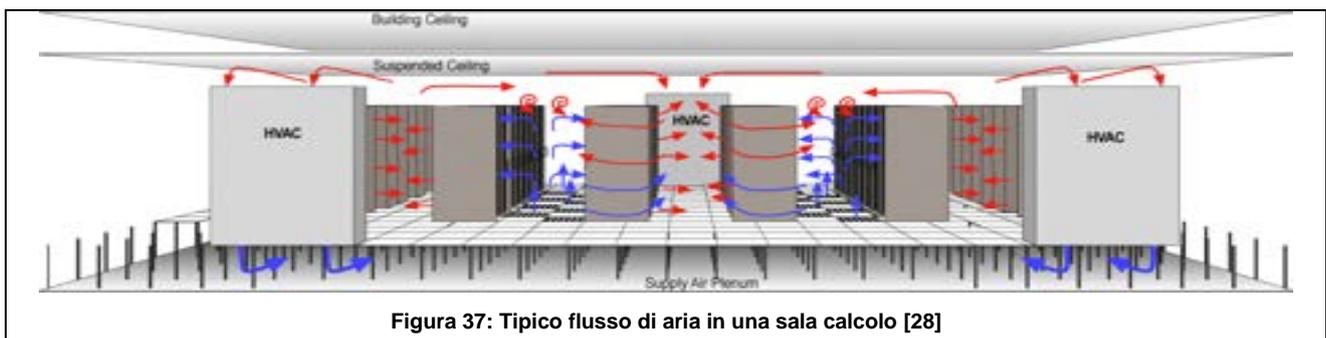
Ventilatore su dissipatore CPU	Legge dei Ventilatori	
	$\frac{n_1}{n_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{3}}$ <p style="text-align: center;"> $P = \text{Potenza}[W]$ $n = \text{giri vent. [rpm]}$ </p>	
<p>All'aumentare della temperatura dell'aria che tratta il ventilatore si dovrà aumentare la velocità di rotazione</p>	<p>Dalla formula si vede come aumentando anche solo di pochi punti il rapporto tra le velocità n [rpm] aumenterà al cubo la potenza richiesta [27]</p>	

Considerando il solo raffreddamento della sala l'aumento di un solo grado come detto in precedenza porterà notevoli vantaggi. In linea di massima si può affermare che per datacenter ad alta densità energetica questa soluzione potrebbe portare a surriscaldamenti elevati mentre nel caso di datacenter con armadi che non richiedono singolarmente un'elevata dissipazione del calore potrebbe essere una soluzione vantaggiosa.

3.6. Gestione del flusso di aria

Nella maggior parte dei casi, come già detto nel paragrafo 3.4, il flusso di aria è distribuito in maniera da creare corridoi caldi e freddi tra le file di armadi. Questo sistema può essere realizzato in diversi modi a seconda, per esempio, della presenza di un controsoffitto o di un pavimento flottante nel quale è possibile far fluire aria fredda di mandata o calda di ritorno. L'aria fredda esce dalle griglie sul pavimento, viene aspirata all'interno dei server dalle ventole che sono presenti su di essi, raffredda i componenti ed esce dalla parte opposta dell'armadio ad una temperatura più alta. Così nella parte di ingresso aria si avrà la formazione di un corridoio freddo mentre in quella di uscita di uno caldo. L'aria calda poi dovrà tornare alle unità HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) normalmente disposte ai lati della stanza, raffreddata e reimpressa nei corridoi freddi.

Per una buona gestione del flusso di aria il pavimento e il soffitto flottanti dovranno essere dimensionati in base alla presunta quantità di aria che dovrà fluire e perciò in base alle caratteristiche richieste dai singoli armadi. Dato che il pavimento flottante è normalmente utilizzato anche per il passaggio cavi, si dovrà fare attenzione che questi non ostruiscano il passaggio dell'aria fredda. Inoltre si dovrà valutare anche la tipologia di diffusore dell'aria che andrà messo in uscita che influenza la direzionalità e le caratteristiche del flusso.



Una buona gestione del flusso di aria richiede un accurato posizionamento dei componenti, una corretta localizzazione e grandezza delle griglie da cui fluisce l'aria e la corretta progettazione dei sistemi HVAC. Rimuovere il calore da ogni singolo armadio può sembrare semplice ma una volta sistemati l'uno vicino all'altro e disposti per file questo risulta più difficile. Uno dei maggiori problemi da evitare è che si inneschi un ricircolo di aria calda all'interno degli apparati elettronici che farà salire eccessivamente le temperature interne. L'aria riscaldata che fuoriesce da ogni armadio arriva alle unità di trattamento aria e verrà dopo esser stata raffreddata ritorna in circolo all'interno della sala. Normalmente i condizionatori di aria oltre ad offrire capacità di raffreddamento di base,

funzionano anche come grandi miscelatori che muovono e miscelano in modo costante l'aria nella sala per portarla a una temperatura media uniforme, evitando la formazione di punti caldi.

Questo metodo da buoni risultati fintanto che la potenza necessaria per miscelare l'aria rappresenta una piccola parte del consumo energetico totale del datacenter. Simulazioni e casi pratici mostrano che questo sistema è efficace quando la densità di alimentazione media del datacenter è dell'ordine di 1-2 kW per rack, ossia 320 – 750 W/m². Le densità di alimentazione attuali però sono notevolmente maggiori e possono arrivare fino a 20 kW per rack; all'aumentare della densità il raffreddamento distribuito si dimostra meno efficace e si passa a sistemi di raffreddamento basati su file o addirittura su singoli rack.

Anche il posizionamento all'interno della sala delle macchine di trattamento aria HVAC e CRAC (Computer Room Air Conditioner) avrà un effetto sulla gestione del flusso di aria. Nella maggior parte dei casi sono posizionate agli angoli della sala ma nel caso si volesse favorire un particolare flusso di aria fredda o ripresa di aria calda, la loro collocazione può variare. Queste scelte però devono essere fatte in fase di progettazione in quanto un successivo spostamento risulterebbe difficile e problematico. È fondamentale perciò fare, in fase di progettazione uno studio di massima su come si potrebbe sviluppare il flusso di aria all'interno della sala per evitare problemi di "hot spot".

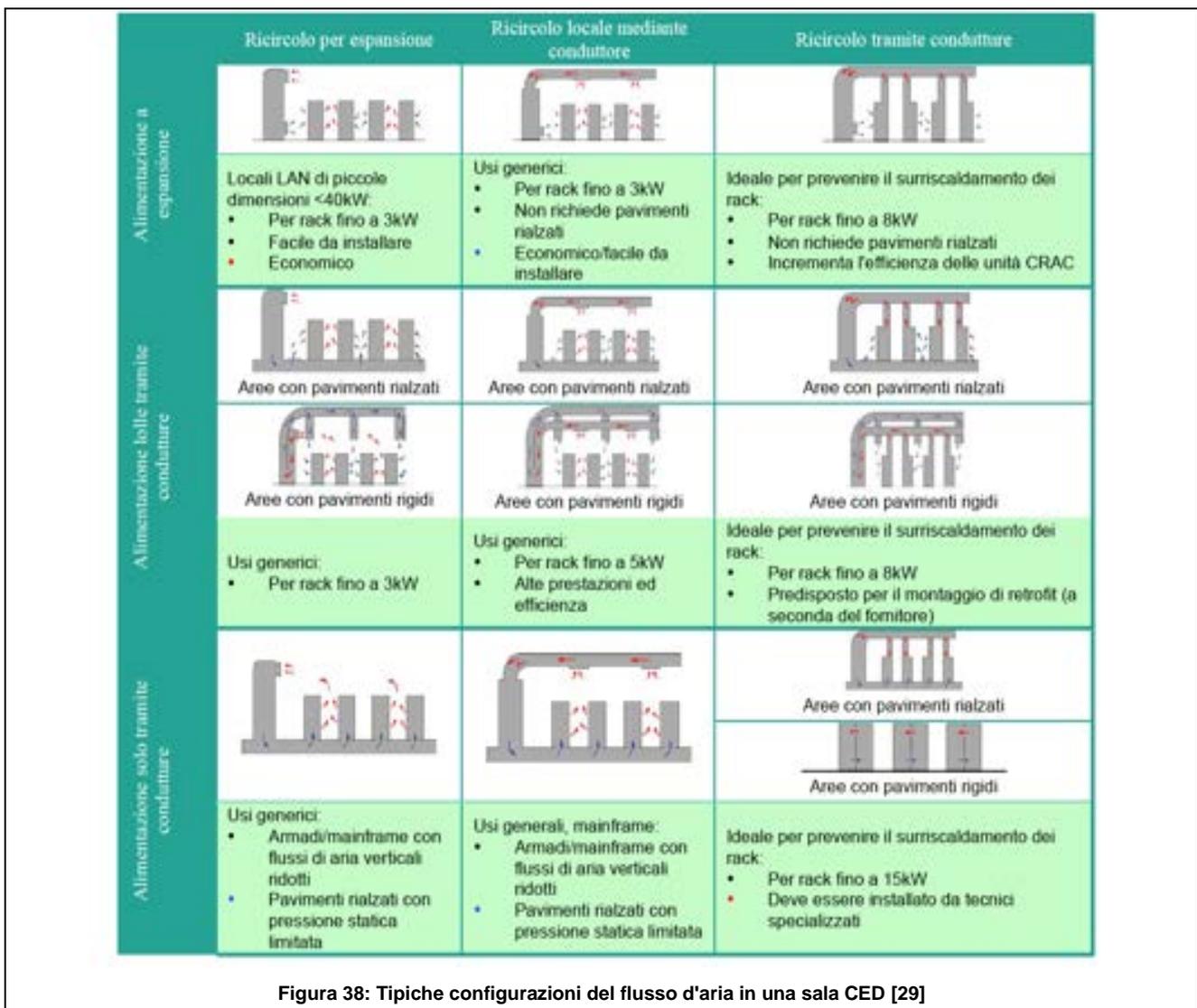


Figura 38: Tipiche configurazioni del flusso d'aria in una sala CED [29]

Sono possibili molte configurazioni per la gestione del flusso di aria in base alle caratteristiche della stanza in cui si trovano le macchine, alla potenza da dissipare per ogni armadio, e alla scelta del sistema di raffreddamento ottimale per ogni caso specifico.

Le griglie in basso da cui esce aria fredda normalmente sono posizionate di fronte agli armadi ma in alcuni casi è possibile anche far fluire l'aria direttamente dalla parte inferiore dell'armadio (Fig. 38). In commercio si trovano anche sistemi che aumentano l'estrazione dell'aria calda nella parte posteriore del rack per evitare la formazione di punti caldi. Questi sistemi possono essere anche installati su armadi già esistenti nei quali si volesse aumentare la velocità di efflusso dell'aria.

Per gestire in maniera ottimale il flusso di aria ed evitare fenomeni di miscelazione e ricircolo di aria calda si possono utilizzare diversi accorgimenti semplici e poco costosi. Negli armadi in cui non tutti i ripiani dei server sono pieni, le file vuote andranno chiuse con degli appositi pannelli per evitare il possibile ricircolo di aria calda (Fig. 39).

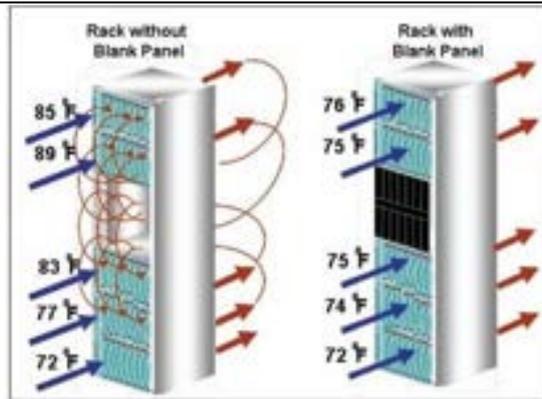


Figura 39: Importanza dei pannelli di chiusura degli spazi vuoti per evitare ricicli di aria calda [24]

Un altro parametro importante da tenere in considerazione è la portata di aria che esce da ogni singola griglia sul pavimento (Fig. 40). Non è detto che aumentando la portata di aria si abbia un effetto benefico, anzi a volte si ottiene come risultato solo uno spreco ulteriore con un mancato raffreddamento. Questo problema per esempio potrebbe essere risolto chiudendo con dei semplici pannelli lo spazio in alto tra un armadio e l'altro, ovvero delimitando il corridoio freddo (Fig. 41 a sinistra) in modo tale che il flusso di aria fredda non superi l'armadio e bloccando così il deflusso di aria calda dall'altra parte. Per tenere sotto controllo la quantità di aria che defluisce dalle griglie sul pavimento si potrebbero usare dei sensori di pressione.

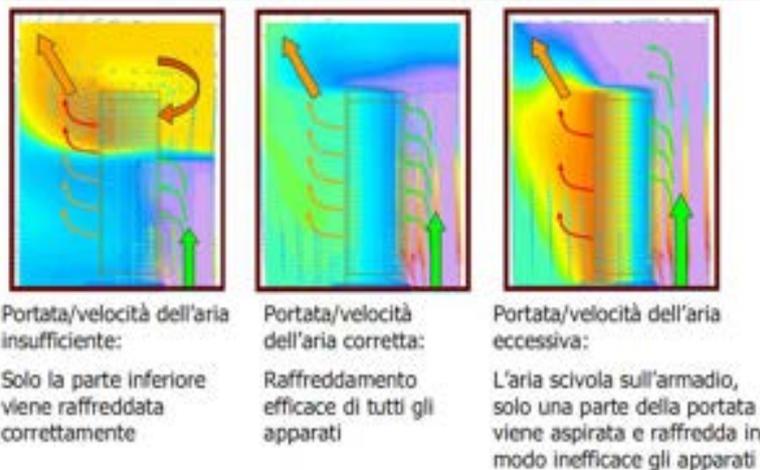
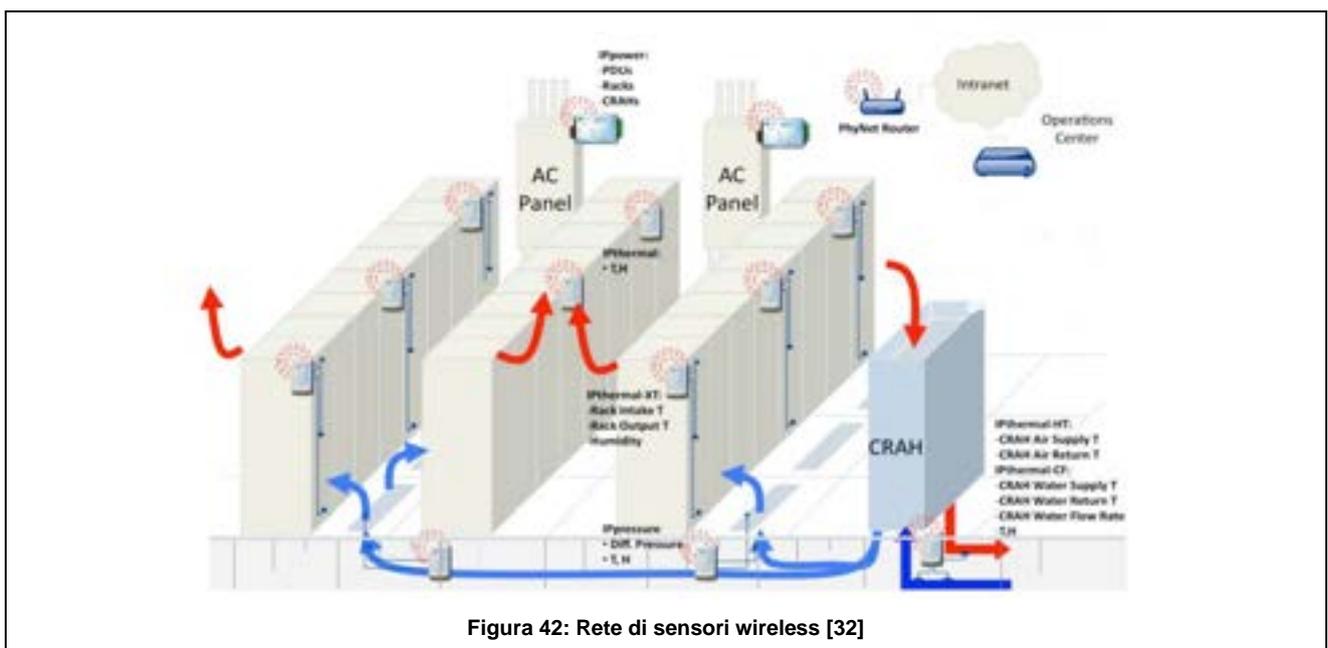
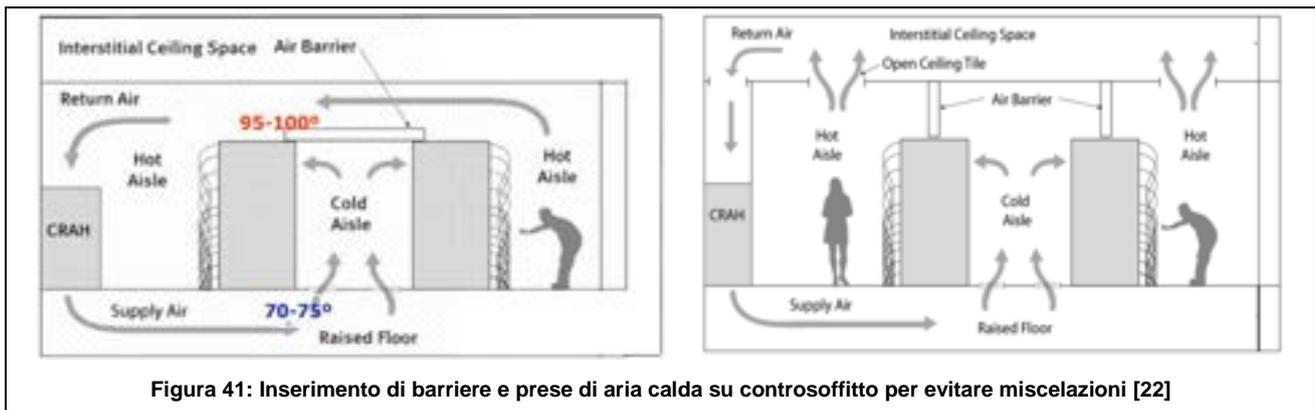


Figura 40: Visualizzazione della portata di aria ottimale per un corretto raffreddamento [31]

Al posto del pannello posto in alto tra un armadio e l'altro (Fig. 41 sinistra), per evitare miscelazioni di flussi, si potrebbero prevedere delle bocchette di aspirazione dalla zona calda (Fig. 41 destra). In tal modo si potrebbe anche ridurre la velocità di rotazione dei ventilatori ottenendo un ulteriore risparmio energetico.



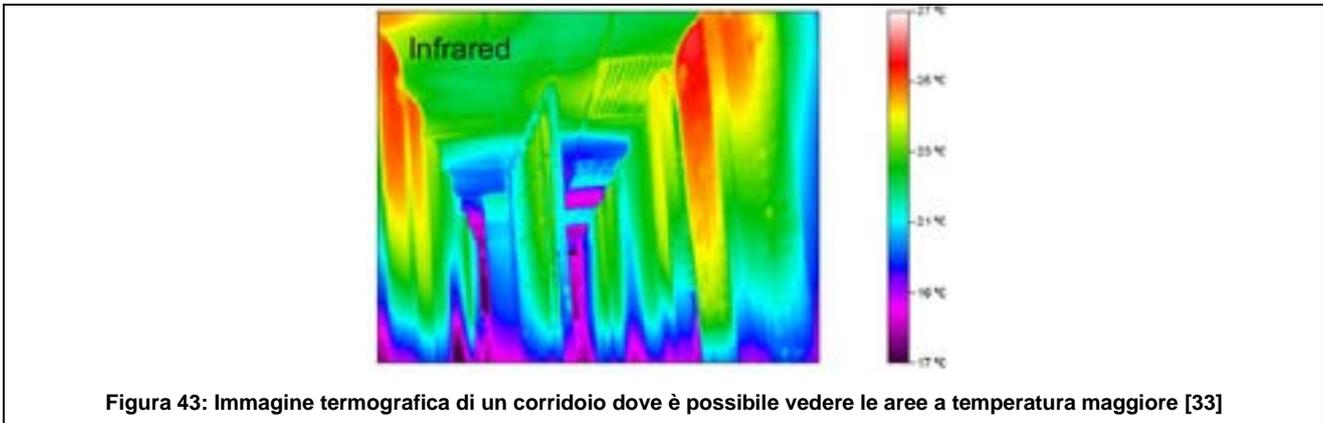
3.6.1. Visualizzazione del flusso

In fase di progettazione e di ristrutturazione di un centro di calcolo per ottimizzare il flusso di aria è fondamentale l'uso di strumenti di simulazione o visualizzazione del flusso di aria in modo da evitare errori ed inutili sprechi e facilitare le scelte. Nel caso di progettazione di una nuova sala calcolo, una volta scelti layout, potenza termica da dissipare e sistema di condizionamento, si rivela molto utile un'analisi fluidodinamica CFD per vedere come si sviluppano i flussi di aria. In questi software, una volta inseriti tutti i dati fisici e ambientali relativi alla sala, si avrà una visione completa dell'andamento dell'aria calda e fredda con indicazioni sulle temperature presunte.

Nelle situazioni già esistenti, invece, per mettere in evidenza le eventuali aree surriscaldiate in cui non arriva abbastanza aria fredda o quelle in cui c'è un eccesso di raffreddamento con uno spreco di energia, è consigliabile eseguire un'analisi termografica o installare una rete di sensori wireless. L'analisi termografica evidenzierà le zone critiche in cui si ha una temperatura elevata e su cui si dovrà intervenire. L'installazione di una rete di sensori wireless posizionati in punti strategici da la

possibilità invece di creare una griglia di dati dalla quale è possibile estrapolare la movimentazione del flusso di aria all'interno della sala. Le misurazioni fatte da questi sensori poi potrebbero essere direttamente relazionate con i ventilatori e i chiller di raffreddamento cercando di ottimizzare la regolazione.

In alcuni casi è anche possibile fare uso di generatori di fumo per rendere visibili i flussi di aria e controllare che non avvengono miscele di aria calda e fredda.



3.6.2. Impianti ad aria centralizzata

I sistemi di raffreddamento dell'aria possono essere costituiti da unità di condizionamento indipendenti posizionate all'interno della sala (CRAC e HVAC) con un sistema di regolazione comune, o da sistemi centralizzati a tutta aria (UTA - Unità di Trattamento Aria). In alcune applicazioni si è constatato che nel caso di un sistema centralizzato di trattamento dell'aria centralizzato su tutta la sala si riesce ad avere maggiore efficienza. Questo vantaggio è dato principalmente dall'uso di motori e ventilatori più grandi che hanno una maggiore efficienza. La scelta dell'impianto centralizzato con l'unità di trattamento dell'aria metterà a disposizione anche maggiore spazio all'interno della sala. Normalmente impianti di questo tipo vengono leggermente sovradimensionati e funzionano per la maggior parte del tempo a carichi parziali in base al carico termico richiesto. Le UTA posizionate sul tetto dell'edificio, trattano l'aria esterna e l'aria di ricircolo all'interno della stanza. Nella distribuzione dell'aria si cercherà di minimizzare la caduta di pressione nelle condotte per ridurre il lavoro ai ventilatori, progettando condotte di aria molto più grandi delle normali condotte dei sistemi di condizionamento degli uffici, dato che i sistemi dei CED devono funzionare un numero di ore annue molto più elevato.

La regolazione del sistema può avvenire in maniera precisa basandosi su dei sensori di temperatura posizionati all'interno delle unità rack e non considerando la temperatura dell'aria dell'intera sala. La posizione di questi sensori è molto importante per avere un dato che rispecchi le reali necessità operative del centro di calcolo. È molto importante tenere sotto controllo oltre alla

temperatura anche l'umidità dell'aria. Infatti un umidità troppo elevata può dare fenomeni di condensazione mentre un umidità troppo bassa la possibilità di scariche elettriche, eventi che potrebbero danneggiare la apparecchiature elettroniche.

Un altro notevole vantaggio del sistema centralizzato a tutta aria è la facilità di esecuzione delle operazioni di manutenzione ed eventuale guasto in quanto tutti i componenti si trovano posizionati in un unico punto e per questo facilmente raggiungibili. In più, il basso numero dei componenti dell'impianto, ridurrà la necessità di manutenzione, che non avverrà all'interno della sala calcolo ma in un locale separato.

La ridondanza del sistema è data dal montaggio in parallelo di due unità, che in condizioni normali non funzionano alla massima potenza, ma vengono dimensionate in modo che nel caso una delle due si rompesse l'altra alla massima potenza sia in grado di coprire tutto il fabbisogno della sala.[17]

3.7. Rack con integrato il raffreddamento

In sistemi densità di potenza elevata, superiori anche a 15 kW per rack sono stati studiati nuovi sistemi di raffreddamento integrati ed indipendenti nell'armadio stesso in cui sono integrati tutti i componenti necessari: raffreddamento, alimentazione, sistemi di sicurezza e antincendio. Il sistema di raffreddamento potrebbe essere costituito da un circuito frigorifero ad espansione diretta totalmente indipendente. Possono perciò essere montati singolarmente senza preoccuparsi di ulteriori sistemi di assistenza. Ci sono sistemi integrati sia per un singolo armadio che per file di armadi collegati insieme, dove si trovano tutti i componenti compresi cavi di alimentazione, cavi di dati che collegano gli uni agli altri, etc.. Gli armadi integrati vengono applicati nei casi in cui non si ha un locale adibito a centro di calcolo o non è possibile installare sistemi di raffreddamento ad hoc. Il calore asportato dall'interno dell'armadio rack può essere sia liberato nell'ambiente esterno o scambiato con l'impianto di raffreddamento Sono armadi chiusi ermeticamente all'interno dei quali si crea un continuo flusso di aria opportunamente raffreddata da far circolare nei server, riuscendo a dissipare potenze frigorifere di circa 20kW. [56]

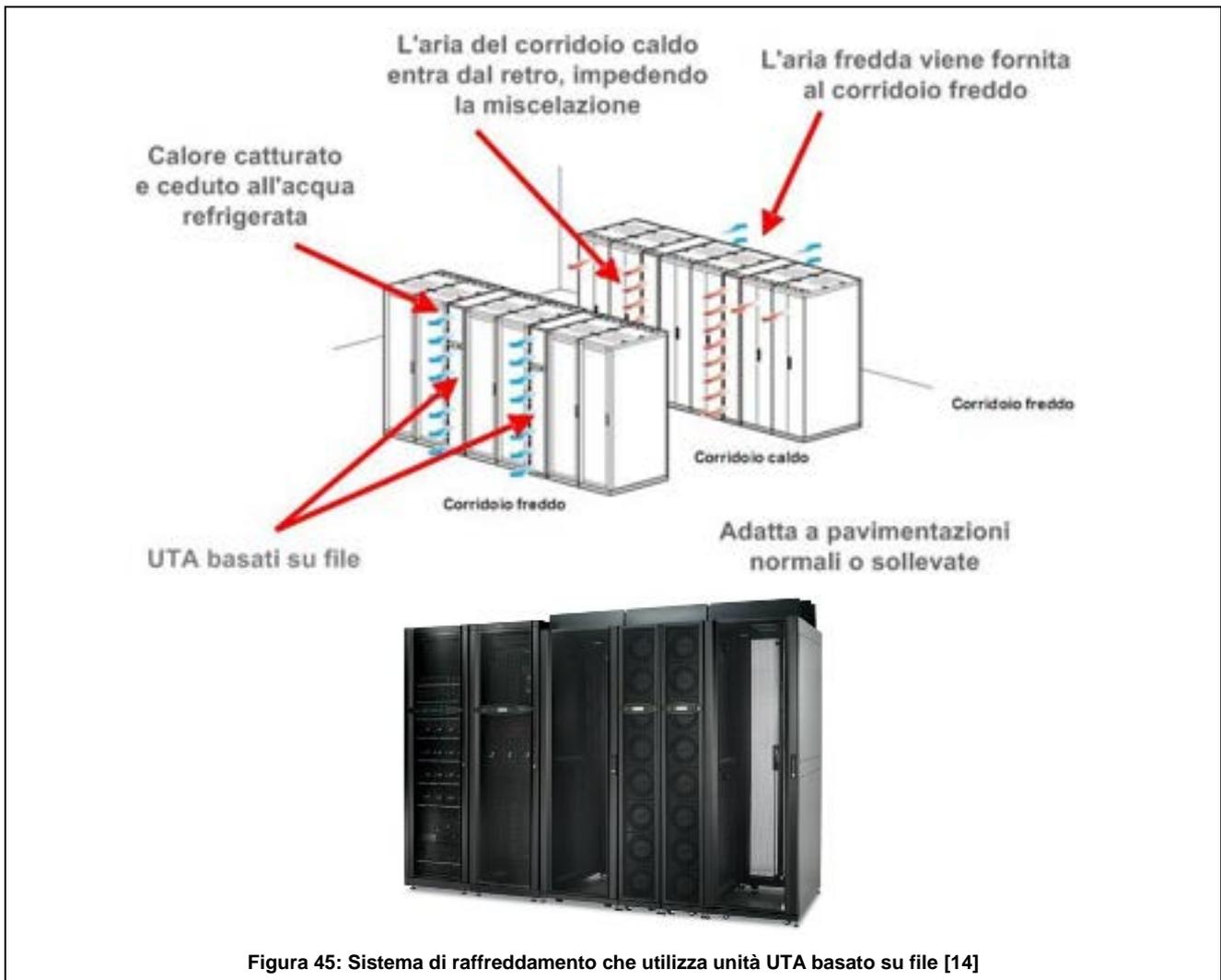
Oltre a sistemi integrati nell'armadio, ci sono anche sistemi che possono essere installarsi come box aggiuntivi sul tetto di ogni singolo rack nel caso il sistema tradizionale non sia sufficiente.



Figura 44: Esempio di unità con raffreddamento integrato [14]

3.7.1. Raffreddamento basato su file

Il raffreddamento basato su file colloca le unità di condizionamento dell'aria tra le file delle apparecchiature IT piuttosto che lungo il perimetro della sala. Riducendo lo spazio percorso dai flussi d'aria, si diminuisce la miscelazione delle correnti di aria calda e aria fredda, migliorando la prevedibilità dello smistamento. Una distribuzione prevedibile dei flussi d'aria alle apparecchiature IT consente di controllare con maggior precisione il loro flusso e quindi una regolazione automatica in base alle richieste effettive. Con l'aggiunta delle ventole a velocità variabile non si spreca energia, dato che la velocità di rotazione, sarà direttamente proporzionale alla quantità di calore da dissipare. Combinando velocità variabile delle ventole e trattamento dell'aria sul posto, si incrementa l'efficienza del sistema di condizionamento rispetto a quello dell'intera sala, inoltre Con la disposizione dei sistemi di raffreddamento basati su file, viene mantenuta la formazione di un corridoio caldo ed uno freddo e le unità UTA sono completamente integrate nella fila (Fig. 45) così da poter essere inseriti anche in centri di calcolo già esistenti nei quali il sistema di raffreddamento non è più in grado di coprire il fabbisogno Per dividere l'aria calda da quella fredda in molti casi il corridoio caldo viene completamente chiuso ai lati ed in alto, così da rendere due file di unità rack, con integrate le UTA tra le apparecchiature, completamente indipendenti dal punto di vista del condizionamento. Tale configurazione non necessita della presenza del pavimento flottante, caratteristica che amplia il numero di luoghi in cui si potrebbe realizzare il centro di calcolo.[10]



3.8. Raffreddamento a liquido

Il raffreddamento a liquido è un raffreddamento di precisione, in cui non si raffredda l'aria della sala, bensì direttamente il componente elettronico o indirettamente l'armadio rack. La definizione copre vari sistemi di raffreddamento, tutti con la caratteristica in comune di dissipare il calore tramite il passaggio di un fluido molto vicino a dove il calore viene generato. Ci sono sistemi in cui il liquido, normalmente acqua, viene fatto circolare in uno scambiatore all'interno dell'armadio rack che raffredderà così l'aria al suo interno; l'armadio dovrà essere chiuso ermeticamente per non scambiare con l'ambiente esterno.

In altri sistemi invece il liquido circola direttamente sui dissipatori del processore raffreddando direttamente il componente e non l'aria; questi sistemi sono molto più efficienti dei sistemi ad aria e possono dissipare molto più calore. Dato il continuo aumento della potenza installata per ogni rack e grazie anche all'introduzione di sistemi blade, questa tecnologia dovrebbe vedere in futuro

un continuo aumento della sua diffusione. Il sistema di raffreddamento a liquido poi potrà essere integrato ad un sistema free cooling indiretto con ulteriore risparmio.

Raffreddare direttamente i componenti permette di non tenere in considerazione la temperatura dell'aria all'interno della sala, fattore che in alcuni casi richiede un notevole dispendio inutile di energia. Saranno poi eliminati tutti i consumi relativi ai ventilatori, sia quelli per la movimentazione dell'aria all'interno di ogni singolo server sia quelli delle unità CRAC all'interno della sala, introducendo però le pompe per la movimentazione del liquido. Rimuovere i ventilatori dall'interno di ogni singolo significa maggiore spazio per l'installazione di componenti aggiuntivi.

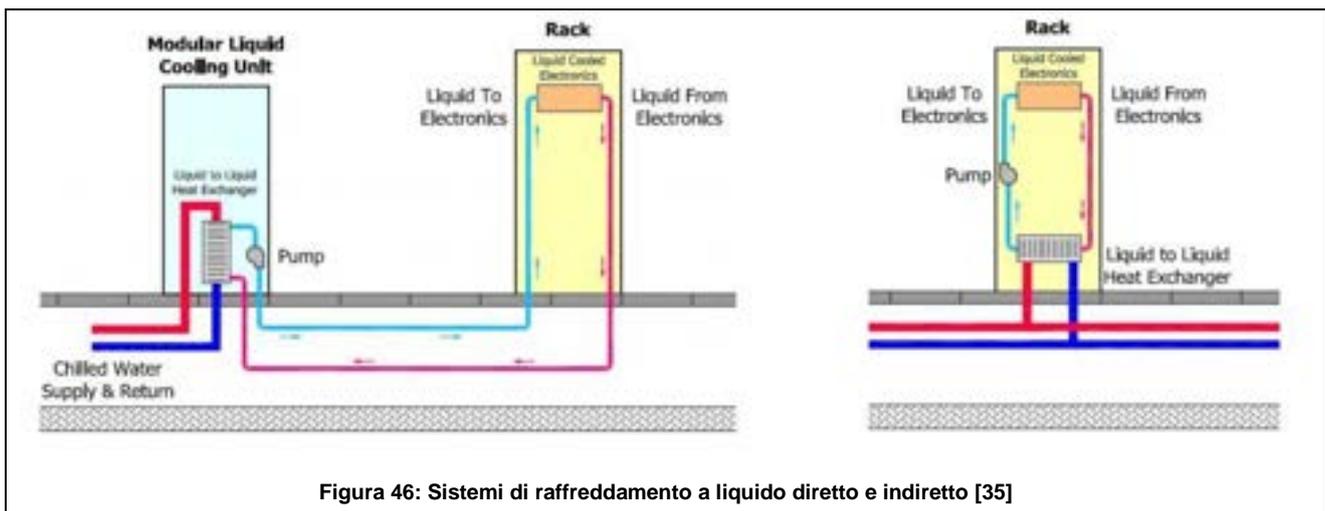


Figura 46: Sistemi di raffreddamento a liquido diretto e indiretto [35]

La tecnologia che oggi sta avendo maggiore successo, è quella (Fig. 46) in cui all'interno del rack è presente uno scambiatore di calore dove circola acqua fredda e delle ventole che innescano un flusso di aria che passerà all'interno dei server e poi ritornerà allo scambiatore. Questa tecnologia potrà essere integrata sia alle unità locali di condizionamento CRAC o essere indipendente. Per massimizzare l'efficienza il raffreddamento dell'acqua dovrà essere integrato sempre con un sistema free cooling indiretto con una temperatura media intorno ai 12°C che nella maggior parte dei climi temperati dovrebbe assicurare la totale assenza di condensazione.

Il costo iniziale è maggiore dei sistemi tradizionali ma i vantaggi dal punto di vista dei costi operativi sono notevoli come dimostra il fatto che questi sistemi sono presenti in molti data center. Il raffreddamento diretto dei componenti tramite piccolissimi canali in cui scorre il liquido è una tecnologia non ancora diffusa ma in fase di sperimentazione e che in futuro consentirà un raffreddamento ancora più preciso e puntuale.

Vantaggi Raffreddamento a Liquido

- il liquido ha un maggiore coefficiente di scambio termico;
- le pompe hanno rendimenti maggiori dei ventilatori;
- la rimozione del calore alla fonte elimina la possibilità di miscelamento;
- i costi sono elevati ma il potenziale di risparmio energetico è grande;

- in commercio sono disponibili varie soluzioni di liquid cooling;

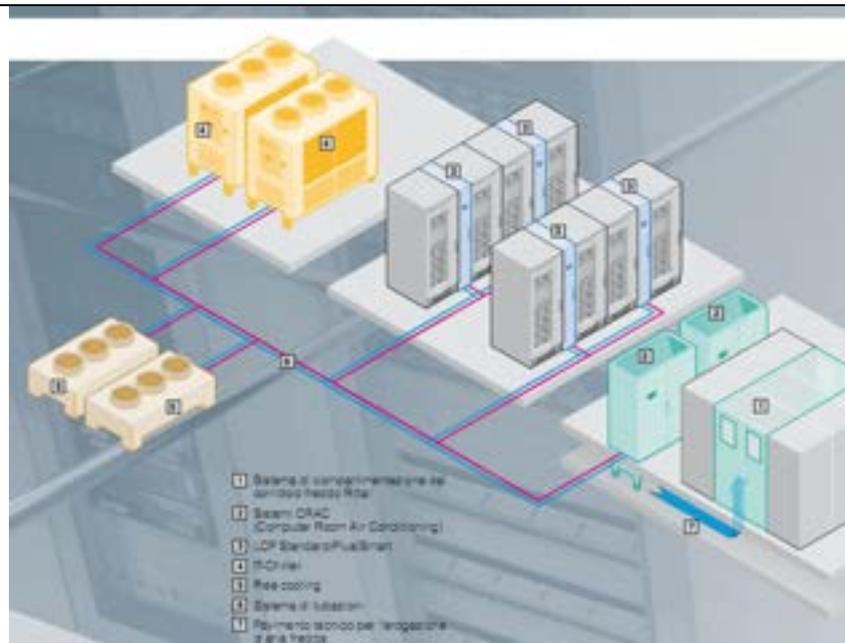


Figura 47: Esempio di sistema di raffreddamento a liquido all'interno di armadi rack 3 integrato con un sistema tradizionale a pavimento flottante 2 [56]

3.9. Free Cooling

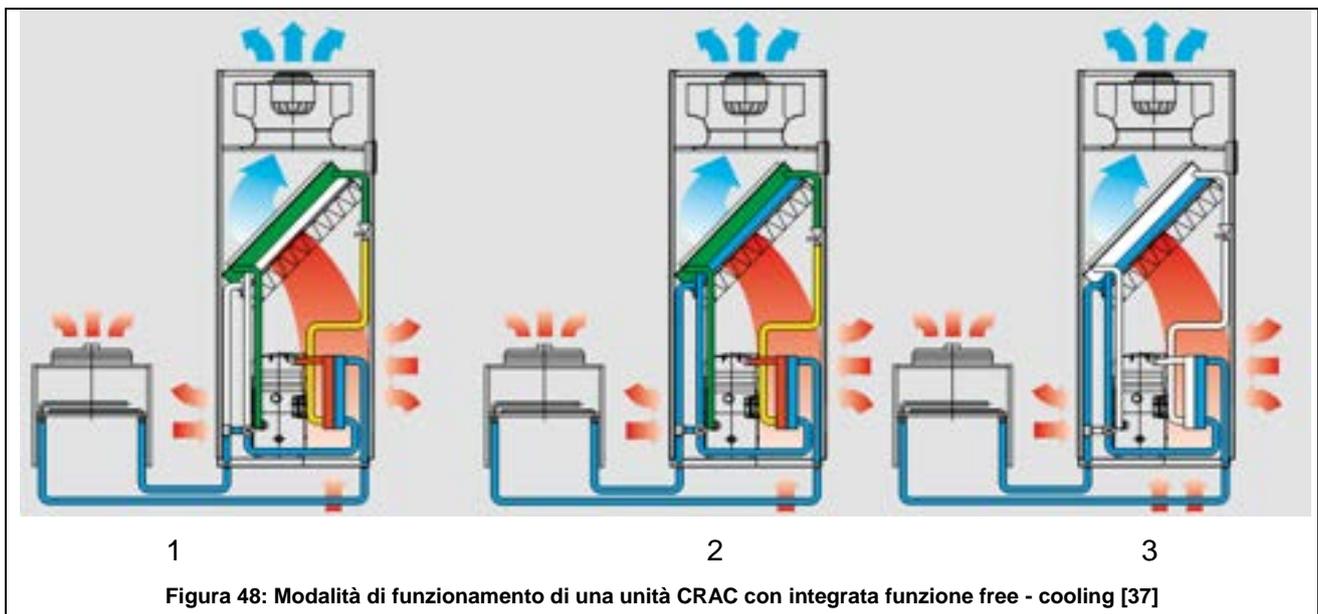
Il free cooling è una tecnica di raffreddamento, che come dice il termine stesso produce un raffreddamento gratuito, permettendo, quando si hanno temperature esterne basse, lo spegnimento del compressore e quindi un notevole abbassamento dei consumi del sistema di condizionamento del locale CED. La temperatura dell'acqua refrigerata solitamente negli impianti può variare tra i 7 e i 12 °C. Il principio di funzionamento del free cooling sfrutta la possibilità di asportare calore da un ambiente, quando la temperatura dell'aria esterna è inferiore a quella dell'ambiente da condizionare. Il risparmio energetico sarà quindi tanto più elevato quanto più a lungo durante l'anno la temperatura esterna rimarrà al di sotto della temperatura richiesta per il raffreddamento dell'ambiente.

I datacenter funzionano 24h al giorno, sia nei periodi estivi che invernali, quindi il free cooling può arrivare a coprire una parte consistente del fabbisogno. L'aggiunta di questi impianti su sistemi già esistenti che sfruttano acqua per il raffreddamento non è molto onerosa ed i chiller già esistenti potrebbero fungere da elementi di emergenza nel caso di carichi di picco.

I sistemi di free cooling si dividono in :

- indiretto
- diretto con aria (Air Side Economizers)

Il free cooling indiretto consiste nel raffreddare in parte o completamente con aria esterna, l'acqua refrigerata dell'impianto di raffreddamento esistente. L'acqua così raffreddata potrebbe fluire sia direttamente nell'evaporatore sia raffreddare uno scambiatore intermedio. Normalmente il raffreddamento dell'acqua con l'aria esterna avviene nella torre di raffreddamento. In commercio sono presenti unità CRAC in cui il sistema free cooling indiretto è già integrato. Nella stagione estiva il sistema si comporta come un'apparecchio tradizionale con un circuito chiuso di raffreddamento ad espansione diretta dove il calore sottratto dall'ambiente viene ceduto all'acqua di un condensatore del tipo a piastre, posto all'interno del condizionatore e dissipato nella torre evaporativa (Fig. 48-1). Al diminuire della temperatura esterna, l'acqua di raffreddamento può essere utilizzata direttamente per il raffreddamento gratuito del locale condizionato. In tal caso l'acqua fredda circola in una batteria supplementare che precede la batteria del condizionatore (Fig. 48-2) con un funzionamento misto; sia il circuito frigorifero sia l'acqua contribuiranno allo smaltimento del carico termico, riducendo così la potenza assorbita dai compressori. Nel caso in cui la temperatura dell'aria esterna consenta di raffreddare l'acqua ad una temperatura tale da far fronte all'intero carico termico, il circuito frigorifero verrà escluso completamente, e il raffreddamento sarà affidato alla sola acqua che circola nella batteria supplementare. (Fig. 48-3)



Il funzionamento dell'impianto sopra è solo un esempio di come poter applicare il principio di base del free cooling indiretto; è possibile trovare in commercio altri tipi di configurazioni impiantistiche. Il free cooling diretto con aria prevede invece la diretta immissione nella sala CED dell'aria esterna se si trova ad una temperatura minore dell'aria interna. In questo caso la sala CED dovrà essere dotata di un impianto per il trattamento dell'aria (tubature e ventilatori di aspirazione e mandata) che a volte potrebbe essere integrata con quella già esistente con immissione dell'aria dal

pavimento flottante. Questo sistema è normalmente integrato con un sistema di ricircolo dell'aria calda interna che viene raffreddata e miscelata con quella proveniente dall'esterno.

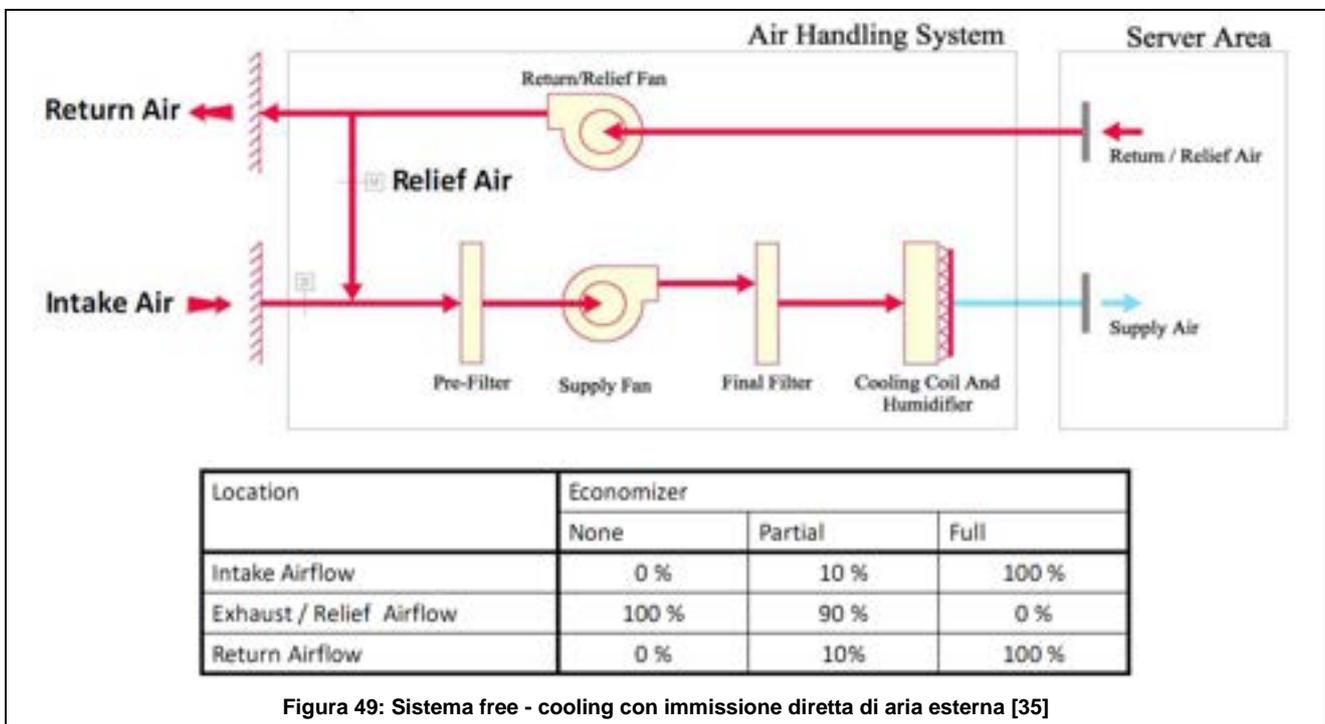
L'aria esterna non deve avere una temperatura minore alla temperatura di immissione all'interno della sala; per primo contribuire al raffreddamento è sufficiente che l'aria esterna abbia una temperatura minore di quella di uscita dalla sala. Inoltre per sfruttare al massimo le potenzialità di questo sistema, è necessario fare molta attenzione alla scelta della temperatura che si vuole mantenere nel locale. 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. In Italia nelle sale di centri di calcolo di sistemi di telecomunicazioni si è arrivati anche ad una temperatura interna di 26 o 29 °C.

Condizioni di risparmio con Free Cooling diretto con Aria:

$T_{est} = \text{Temperatura Esterna}$ $T_{imm} = \text{Temperatura di immissione}$

$T_{est} < T_{imm}$ = tutta aria esterna

$T_{est} < T_{ritorno}$ = abbassamento della temperatura prima della batteria di freddo



L'aria proveniente dall'esterno se immessa direttamente dovrà essere trattata, controllandone l'umidità per evitare eventuali fenomeni di condensazione e filtrata per evitare l'ingresso di polveri che potrebbero andare a sporcare le apparecchiature elettroniche.

In commercio sono presenti anche unità di trattamento aria con valvola deviatrice e relativo servocomando che permette, nel caso di temperature esterne basse, l'ingresso di aria. Questo può essere fatto con un unico ventilatore che prende solamente l'aria esterna e la immette

all'interno del locale o con due ventilatori in cui uno espelle l'aria calda proveniente dalle macchine e l'altro immette aria fresca proveniente dall'esterno (Fig. 50).

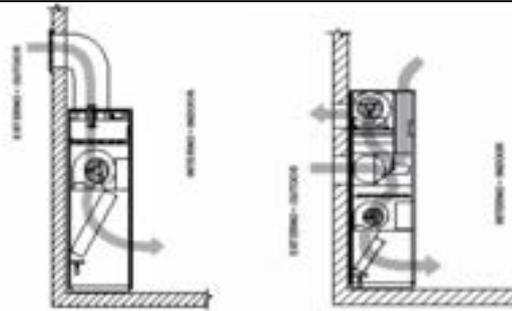


Figura 50: Unità CRAC con integrato sistema free - cooling aria [38]

In entrambi i sistemi la gestione è affidata a un processore integrato sulla unità di condizionamento che in base alle temperature esterne ed interne sceglie la configurazione.

Il Free Cooling sarà quindi tanto più conveniente quanto più bassa è la temperatura media dell'aria esterna. Tale sistema essendo affiancato al sistema di funzionamento normale nei periodi in cui può essere sfruttato introduce un ulteriore livello di ridondanza. Per sfruttare al massimo questi sistemi è molto importante la gestione. È fondamentale avere un sistema di controllo delle condizioni di temperatura e umidità esterne, interne con un'attivazione automatica del sistema quando possibile.

Sul sito web del Green Grid è presente anche un Tool di calcolo (http://cooling.thegreengrid.org/europe/WEB_APP/calc_index_EU.html) grazie al quale, inserendo il luogo in cui è situato il centro di calcolo, la potenza elettrica installata, le temperature dell'aria all'interno della sala CED ed altri dati relativi al sistema di raffreddamento è possibile fare una stima delle ore di funzionamento annue in modalità free-cooling sia diretto che indiretto ed il relativo risparmio economico.

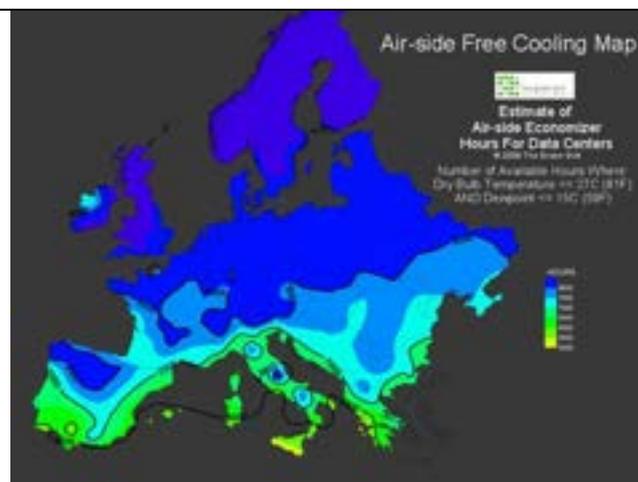


Figura 51: Stima delle ore di funzionamento annue con sistema free - cooling in Europa [1]

Per valutare le ore di funzionamento del sistema free cooling, è necessario uno studio delle temperature medie delle varie località durante il corso dell'anno e della giornata. Un modello meteo di questo tipo è stato elaborato per l'Italia in un lavoro di tesi dal Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino. I valori ottenuti dal modello sono stati poi confrontati con quelli impostati dalla norma Europea ETSI EN 300 019-1-3 per valutare le ore di funzionamento in base alla località in modalità free cooling. Per esempio, nel caso della città di Torino i valori massimi di temperatura sono sempre al di sotto del limite superiore della maschera ETSI, mentre si hanno valori esterni per valori bassi di temperatura. [25]

È chiaro che il luogo di costruzione del datacenter influisce in maniera rilevante sulle ore di utilizzo di questa modalità. Con questa configurazione, i chiller non sono in funzione e la potenza assorbita dai sistemi di raffreddamento, è molto bassa; fattori che fanno aumentare l'indice di efficienza energetica PUE.

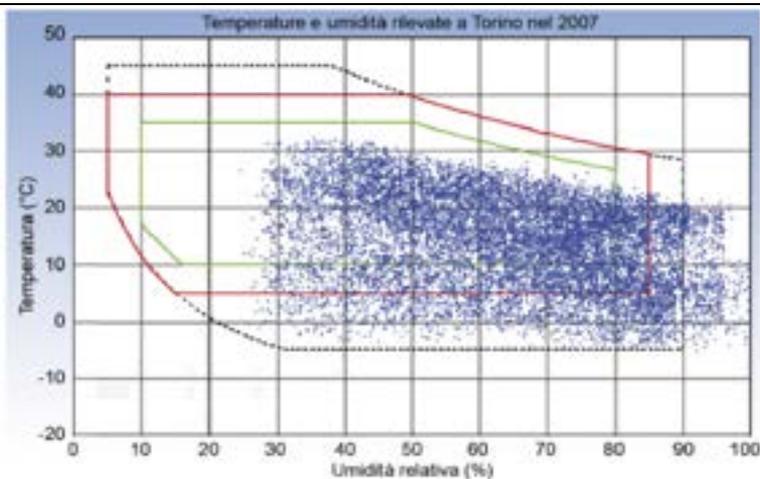


Figura 52: Confronto distribuzione di temperatura e umidità nell'arco di un anno con gli intervalli ETSI [25]

3.10. Virtualizzazione

La Virtualizzazione è uno strumento che oltre ad offrire maggior efficienza economica ed energetica, permette di avere maggiore spazio a disposizione, minore quantità di calore generato e la sostituzione ed eliminazione di alcune parti fisiche riducendo in modo drastico i componenti del datacenter.

La configurazione tipica di un server consiste in un singolo sistema operativo che controlla direttamente tutti gli hardware, mentre la virtualizzazione consente ad un server fisico di ospitare più macchine virtuali, condividendo le risorse del singolo server attraverso differenti ambienti. I server virtuali e i desktop virtuali consentono di ospitare differenti sistemi operativi e applicazioni locali e in remoto, annullando i problemi dovuti alle infrastrutture fisiche e superando i limiti

geografici. Questa flessibilità porta ad un miglior utilizzo delle risorse hardware con importanti risparmi sia di capitale che di energia consumata.

La virtualizzazione è un sistema software che "virtualizza" le componenti hardware di un qualsiasi PC. Sostanzialmente consente di trasformare l'hardware in software. Questo è possibile tramite l'uso di software quali VMware, Virtual Box etc. all'interno dei quali vengono ricreate fittiziamente le componenti fisiche di un computer quali CPU, RAM, disco rigido e controller di rete.

Le parti hardware fittizie vengono create di varie dimensioni e caratteristiche in modo tale da renderle il più possibile adatte alle funzioni che dovranno svolgere; dimensioni e caratteristiche possono inoltre essere variate dinamicamente, istante per istante, a seconda delle necessità delle diverse macchine virtuali che stanno funzionando in quel momento. Su ogni macchina virtuale sarà possibile installare un singolo sistema operativo in grado di lavorare in modo autonomo e indipendente. Così è possibile elaborare molte applicazioni in molti sistemi operativi differenti contemporaneamente e con elevata velocità. È possibile creare apposite macchine virtuali che svolgano velocemente semplici operazioni con un sistema operativo dedicato.

Le principali caratteristiche che troviamo nella virtualizzazione sono:

- Indipendenza dell'hardware;
- Dinamicità delle risorse (memoria, dischi fissi, etc.);
- Bassi tempi di ripristino;
- Alte prestazioni;
- Ottimizzazione delle risorse hardware;
- Indipendenza degli ambienti.

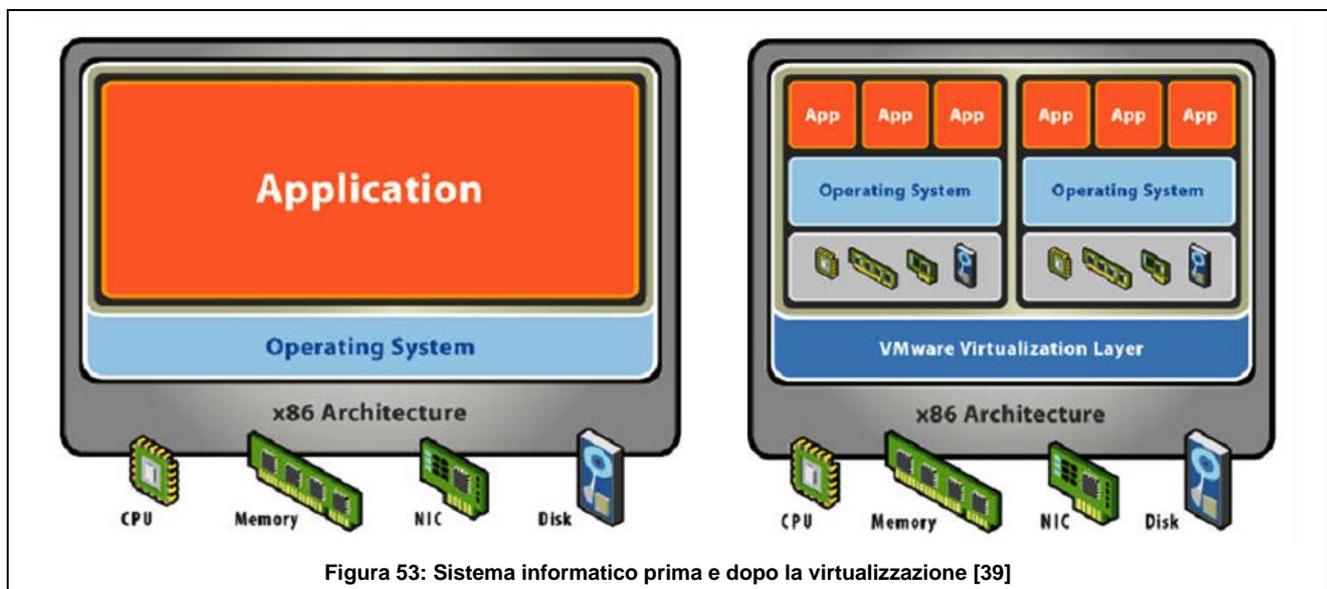


Figura 53: Sistema informatico prima e dopo la virtualizzazione [39]

I motivi principali alla base dell'adozione del software di virtualizzazione sono:

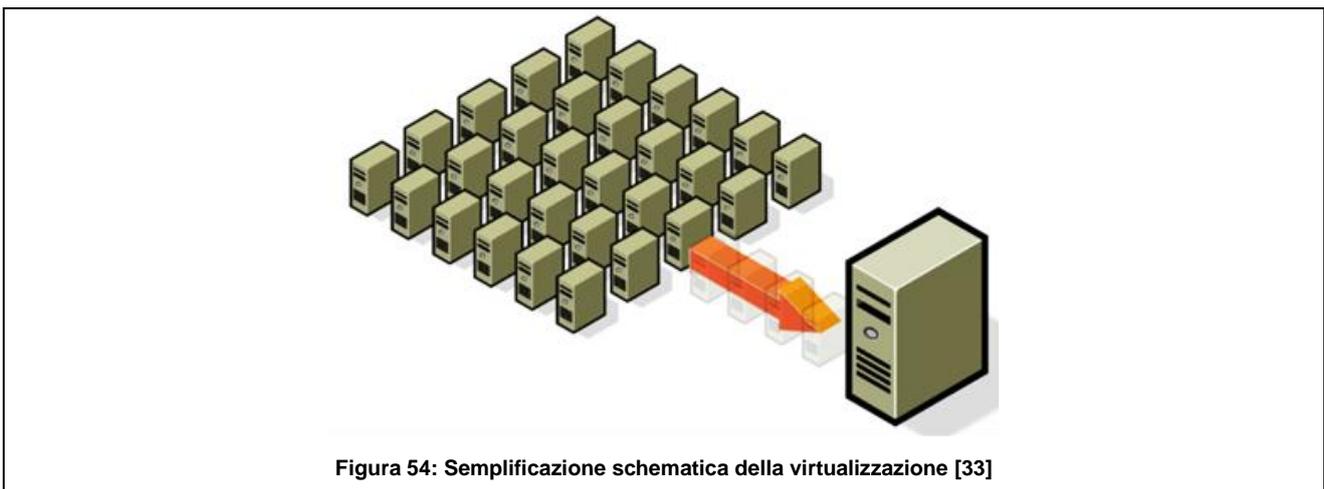
- **Consolidamento server:** con la virtualizzazione è possibile aumentare in maniera significativa l'utilizzo delle risorse unendo in un solo server molte applicazioni che prima dovevano essere divise su più macchine;
- **Riduzione dei costi dell'infrastruttura:** con la virtualizzazione è possibile ridurre il numero di server e la quantità di hardware IT correlato nel centro di calcolo. Questo in molti casi di ristrutturazione di vecchi centri di calcolo porta ad una notevole riduzione del numero di server ed un aumento di spazio occupato. In casi di elevato consolidamento è possibile che anche il sistema di condizionamento preesistente sia sovradimensionato e che il suo consumo cali notevolmente, come anche la potenza di alimentazione richiesta;
- **Maggiore flessibilità:** la virtualizzazione fornisce un nuovo modo di gestire le risorse a disposizione sia dal punto di vista dell'elaborazione dei dati con più sistemi operativi che possono funzionare contemporaneamente, sia dal punto di vista dell'infrastruttura fisica in quanto può essere sfruttata maggiormente;
- **Maggiore velocità di ripristino:** con la macchina virtuale si ha una maggiore velocità di ripristino nel caso di anomalie del sistema che portino all'interruzione improvvisa di alcune applicazioni, con la possibilità del passaggio di alcune applicazioni da una macchina ad un'altra per evitare la perdita di dati. In alcuni casi tramite la virtualizzazione è possibile trasferire un intero datacenter in un altro, in pochi minuti anche a distanze di centinaia di chilometri ;
- **Migliore Gestione:** la gestione e il controllo degli ambienti in cui sono presenti le macchine virtuali sono molto semplici e sicuri, consentendo l'accesso in locale o in remoto.

Le alte prestazioni con la virtualizzazione richiedono comunque una macchina fisica con elevata velocità di elaborazione dati e memoria. Per far fronte a queste richieste oggi si fa uso dei server blade con i quali è possibile avere configurazioni ad altissime prestazioni con una riduzione notevole dello spazio occupato. La macchina virtuale che sta lavorando su un server blade è predisposta per continuare a girare su un altro blade, nel caso in cui il primo si rompesse o interrompesse per qualsiasi motivo il suo funzionamento. I server blade per funzionare non dovranno per forza appoggiarsi ad un sistema operativo reale ma basteranno dei semplici codici (simili a dei firmware) in modo tale che possano comunicare tra di loro e gestire le macchine virtuali su di loro presenti. La macchina virtuale più usata oggi è VMware.[36]

Con l'uso dei sistemi blade la densità di potenza elettrica nei singoli armadi rack potrebbe aumentare notevolmente, a fronte di una potenza totale richiesta minore. Questo porterà alla creazione di punti caldi all'interno della sala in cui la richiesta di raffreddamento specifica potrebbe essere maggiore, anche se la totale rimarrebbe invariata. Per far sì che il sistema di raffreddamento non debba subire modifiche dopo la virtualizzazione, è possibile distribuire le macchine ad alta densità in maniera omogenea su tutta la sala. Nel caso in cui invece, gli armadi

ad alta densità fossero molti e non fosse possibile distribuirli in maniera omogenea sulla sala, è consigliabile avvicinarli e installare un sistema di raffreddamento specifico (Par. 3.2.1).

Fino ad oggi non sono state definite regole precise per determinare i costi e il ROI (Return on Investment, Ritorno di investimento) per l'applicazione della virtualizzazione. Per far ciò bisogna tener presente ogni caso specifico in cui si va ad operare, analizzare le operazioni che deve svolgere il centro di calcolo e i software principali che ha in uso. Quello che si può valutare è il ritorno di investimento nella valutazione dello spazio liberato, della riduzione dei consumi elettrici, di alimentazione, di raffreddamento e di manutenzione. Secondo alcune considerazioni fatte dall'azienda VMware il ROI si aggira intorno a sei o sette mesi.



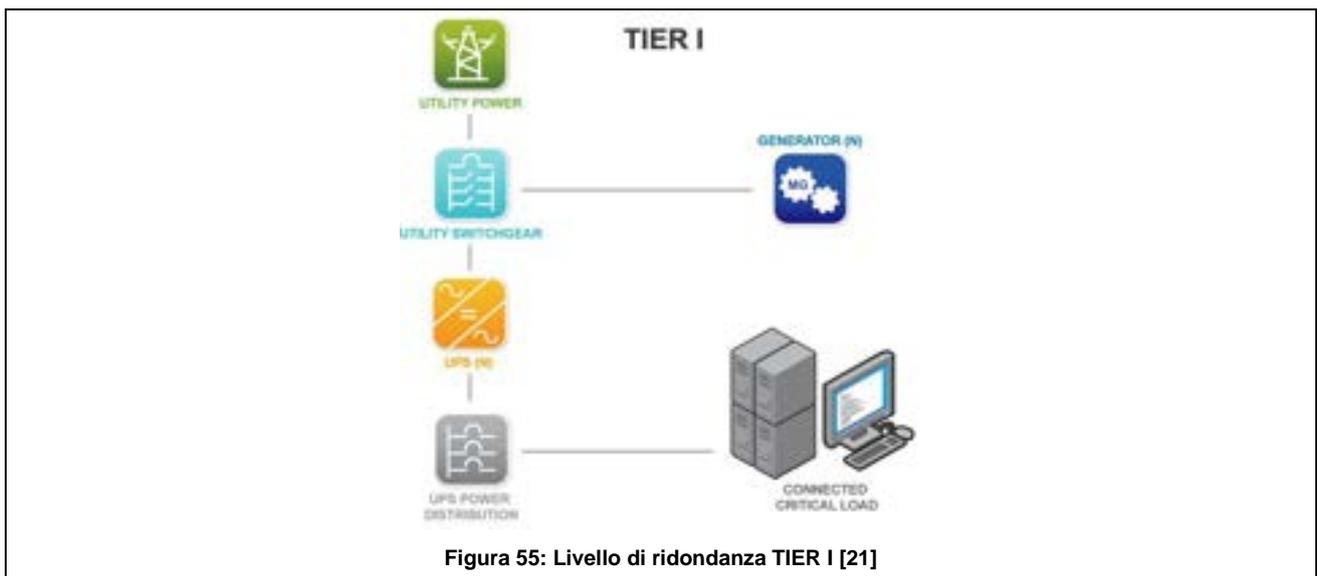
3.11. Ridondanza

Il funzionamento del datacenter è quasi sempre continuo 24 al ore giorno, e circa 365 giorni all' anno, salvo interruzioni per operazioni di manutenzione. Per assicurare questa totale continuità di elaborazione, è necessario avere una certa affidabilità e sicurezza in caso di guasto di un qualsiasi componente. Nell'ingegneria dell'affidabilità, la ridondanza è definita come la presenza di più mezzi anche di tecnologie diverse, per svolgere una determinata funzione, disposti in modo tale che un fermo del sistema possa verificarsi solo in conseguenza del guasto contemporaneo di tutti questi mezzi.

Raggiungere l'affidabilità massima possibile è un requisito fondamentale nel momento in cui ci si impegna nella progettazione di un datacenter. Al fine di perseguire l'obiettivo di massima disponibilità del sistema, "The Uptime Institute" (Associazione di ricerca e studio sui datacenter) ha recepito lo standard TIA (Telecommunication Industry Association) in cui sono stati definiti 4 livelli di ridondanza denominati Tier I, II, III, IV che possono essere applicati anche ai centri di calcolo.[37]

Queste norme tecniche statunitensi sono considerate buone pratiche anche in Europa data la mancanza di una norma tecnica europea specifica per i datacenter. La scelta dell'adeguato livello di sicurezza di ogni singolo datacenter sarà molto importante per evitare sprechi di energia e denaro. È fondamentale che la ridondanza non introduca perdite al sistema o costi ingiustificati.

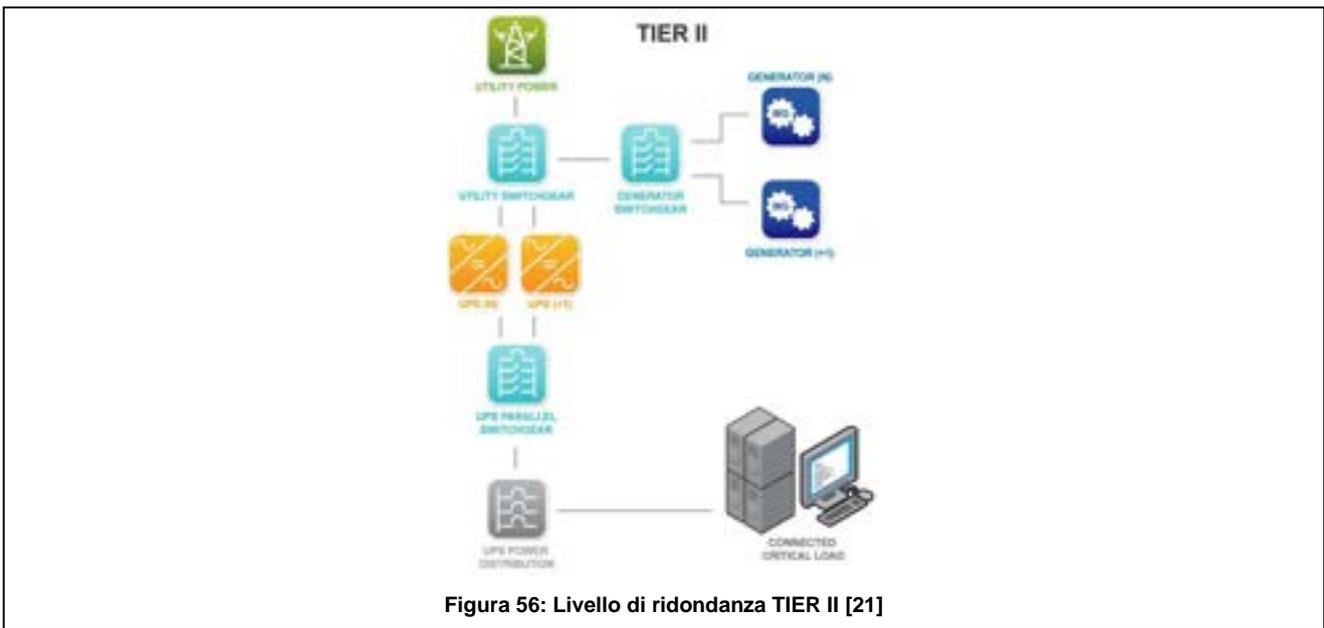
Nelle figure di seguito riportate sono rappresentate le configurazioni dei vari livelli di ridondanza, partendo dalla fornitura di energia elettrica dalla rete fino ad arrivare alle apparecchiature del centro di calcolo. Si vede come devono essere configurati i vari livelli di ridondanza con la presenza di deviatore di alimentazione (Switchgear), sistema UPS e Gruppo elettrogeno (Generator).



Singola linea di alimentazione

Affidabilità 99,67%

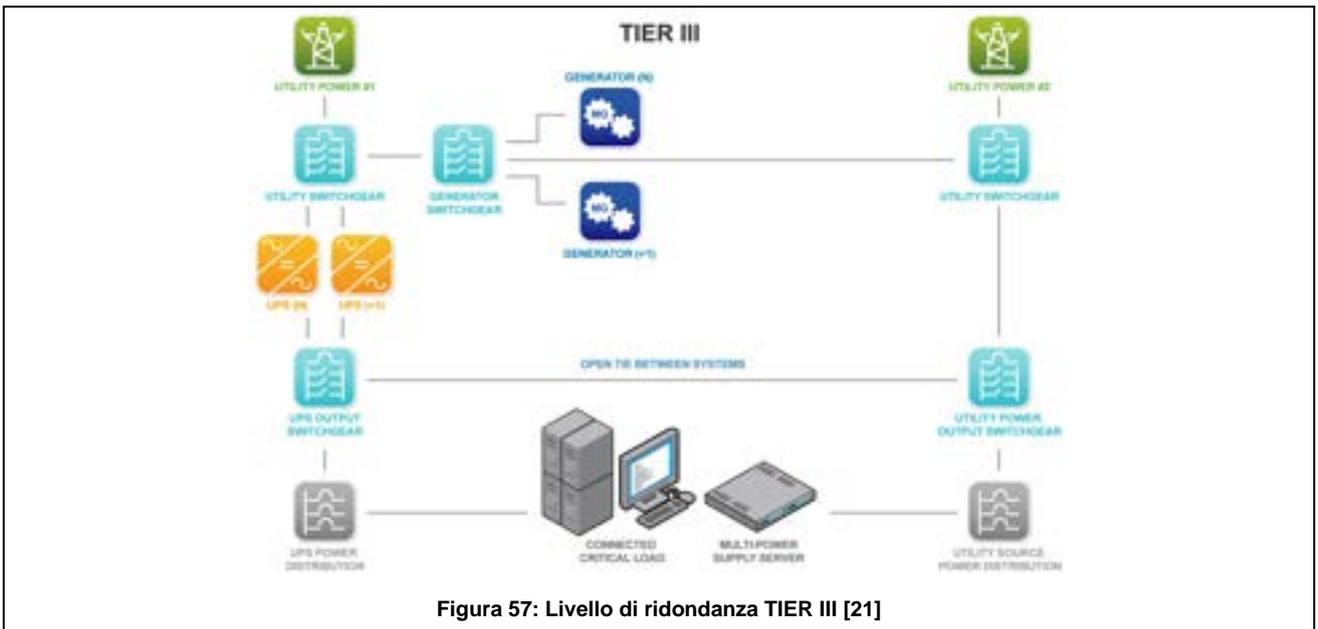
Tempo di fermo stimato (downtime):28,8 ore



Singola linea di alimentazione con componenti ridondanti

Affidabilità 99,75%

Tempo di fermo stimato 22 ore



Due linee di alimentazione di cui una sola attiva e componenti ridondanti una sola volta

Affidabilità 99,98%

Tempo d fermo 1,6 ore

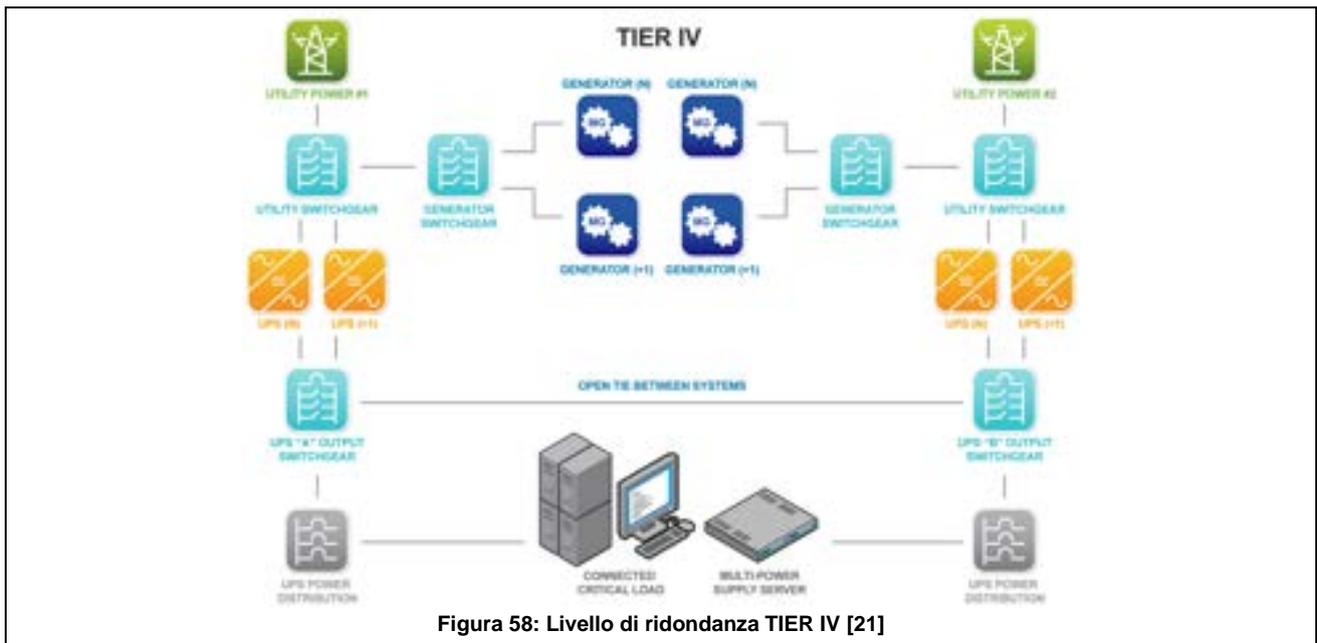


Figura 58: Livello di ridondanza TIER IV [21]

Due linee di alimentazione entrambe attive e componenti ridondanti su entrambe le linee

Affidabilità 99,99%

Tempo di fermo 0,8 ore

Doppia ridondanza di UPS e gruppo elettrogeno

In ogni realizzazione si vorrebbe un'affidabilità massima sempre più vicina al 100%, ma è evidente che questo si scontra con altre esigenze quali spazi, costi e impatto ambientale. Per questo caso per caso si dovrà cercare, in base alle esigenze interne ed alle disponibilità economiche, la configurazione più adatta.

4. GESTIONE DEL SISTEMA

In questo capitolo si analizzerà l'intera gestione del centro di calcolo, sia dei singoli componenti sia degli operatori e l'influenza che essi hanno sulla redditività di tutto il sistema.

È evidente che i singoli componenti nel loro funzionamento sono relazionati gli uni con gli altri e che in alcuni casi migliorare la redditività di un componente può peggiorare quella di un altro. Per perseguire una gestione ottimale è bene conoscere tutte le caratteristiche, le modalità di funzionamento di ogni componente e avere a disposizione misurazioni continue che tengano tutte le variabili sotto controllo.

Molto importante è il consolidamento del sistema in cui si cercherà di far lavorare al meglio il sistema nelle condizioni di carico realmente richiesto, andando a intervenire su tutte le parti fondamentali del data center: elaborazione dati, dissipazione del calore, alimentazione elettrica, etc.. Tra i principali interventi che si possono fare per migliorare la gestione e la redditività dell'intero sistema troviamo:

- Sospendere la fornitura di energia alle apparecchiature non necessarie;
- Far funzionare le apparecchiature nella fascia ottimale della curva di efficienza che può comportare a seconda dei casi lo spegnimento delle macchine poco utilizzate aumentando il carico delle altre (tipicamente per gli UPS) o la miglior distribuzione del carico su tutto il parco macchine (tipicamente per sistemi di condizionamento a carico variabile). Impiegare strumenti di gestione della capacità per contenere a livelli minimi la "capacità inutilizzata" all'interno della sala CED e consentire, nel caso di sistemi modulari, l'installazione del quantitativo ottimale di efficienza server, alimentari, UPS, chiller, etc.;
- Dotare il sistema di strumenti in grado di identificare e segnalare in tempo reale condizioni di consumi elettrici non ottimali, consentendo di intervenire tempestivamente.
- Includere nel sistema strumenti e regole di installazione e funzionamento che ne ottimizzino l'efficienza e riducano al minimo o eliminino la possibilità di configurazioni o installazioni non ottimali.
- Utilizzare le più avanzate soluzioni tecnologiche per ridurre al minimo i consumi elettrici delle apparecchiature di alimentazione, raffreddamento e illuminazione;

4.1. LCCA Life Cycle Cost Analysis

Il Life Cycle Cost Analysis (LCCA) o Total Cost of Ownership (TCO) è uno strumento economico che ha come scopo la valutazione della redditività degli investimenti considerando tutti i costi iniziali e futuri che si presentano nella vita di un bene. Questo approccio può essere molto utile in sistemi in cui il costo di gestione è dell'ordine di grandezza dell'investimento iniziale e i vari costi vengono sostenuti da soggetti diversi che quindi tendono a minimizzare il costo di loro competenza

e non il costo complessivo. Tipicamente in un datacenter il costo dell'energia consumata nella vita utile supera quello dell'investimento iniziale ma non è detto che al momento delle scelte progettuali si tenga in debita considerazione il costo di gestione futura che potrebbe anche non ricadere sullo stesso soggetto/ufficio.

L'analisi LCCA consente di tener conto di tutti i costi che vengono sostenuti nella vita di un progetto: costi iniziali (progettazione, acquisto, realizzazione, etc.), costi di gestione (manutenzione ordinaria e straordinaria, spese energetiche, oneri finanziari, etc.) e infine i costi di smaltimento o recupero. In questo modo si rende più semplice la valutazione dei possibili vantaggi di scelte più efficienti che presentano costi di gestione minori con costi di investimento maggiori.

Nel caso di un datacenter composto da numerosi componenti nei diversi sistemi (alimentazione, raffreddamento ed elaborazione dati), un'analisi LCCA può essere applicata: ai singoli componenti (es. motori elettrici), ai sistemi (es. alimentazione), all'intero datacenter o addirittura all'intero edificio all'interno del quale il datacenter è situato. La LCCA può essere utile nel caso degli UPS per confrontare un sistema statico con uno dinamico che tipicamente ha costi iniziali maggiori ma minori costi di gestione.

Nel caso in cui si considerasse come oggetto dello studio tutto l'edificio nel quale è situato il datacenter, il calore prodotto potrebbe essere recuperato almeno in certi periodi dell'anno e valorizzato come mancata spesa per il riscaldamento.

Nell'analisi LCCA dei singoli componenti bisogna sempre avere una visione più generale del sistema nel quale il componente va a operare. E' da ricordare che se si procede alla sostituzione di un componente, (motore elettrico, UPS, etc.) bisogna considerare non solo la maggior efficienza del nuovo componente ma anche il corretto dimensionamento del componente da sostituire rispetto alle attuali necessità del sistema e le caratteristiche degli altri componenti che potrebbero influenzare pesantemente il rendimento del sistema. Se si ricade in tali casi bisogna spostare l'analisi dal singolo componente al sistema.

Il periodo di studio è l'arco temporale nel quale i flussi di cassa di un determinato progetto sono di interesse per l'investitore.

Solitamente si sceglie come periodo di studio la vita del componente di più lunga durata o il periodo di utilizzo prima dell'obsolescenza. Va ricordato che la vita utile di un CED data la continua evoluzione dei sistemi informatici si può considerare inferiore ai 10 anni.[60]

Una volta scelto il periodo di studio e il tasso di sconto da applicare, si calcola il costo sul ciclo di vita sommando il valore attualizzato di tutte le spese le spese sostenute e dell'eventuale valore residuo:

$$LCC = I + R \text{ epl} - R \text{ es} + E + OM \& R$$

LCC: Life Cycle Cost;

I: valore attuale degli investimenti iniziali;

Repl: valore attuale dei costi di sostituzione;

Res: valore attuale del valore residuo;

E: valore attuale delle spese energetiche;

OM&R: valore attuale dei costi operativi, di manutenzione e di riparazione.

4.2. Sovradimensionamento

Il sovradimensionamento è una delle principali cause di spreco di energia elettrica, ed anche la più difficile da individuare o da valutare. Le apparecchiature di alimentazione e raffreddamento risultano sovradimensionate ogniqualvolta il loro valore di progetto superi il carico IT. Tale circostanza si verifica quando intervengono uno o più dei seguenti fattori:

- il carico IT è stato sovrastimato e le dimensioni dei sistemi di alimentazione e raffreddamento sono eccessive rispetto al carico;
- il carico IT verrà implementato nel corso di un certo arco di tempo, e i sistemi di alimentazione e raffreddamento sono dimensionati sulle richieste del futuro carico IT;
- il sistema di raffreddamento è stato dimensionato troppo generosamente rispetto al carico IT.

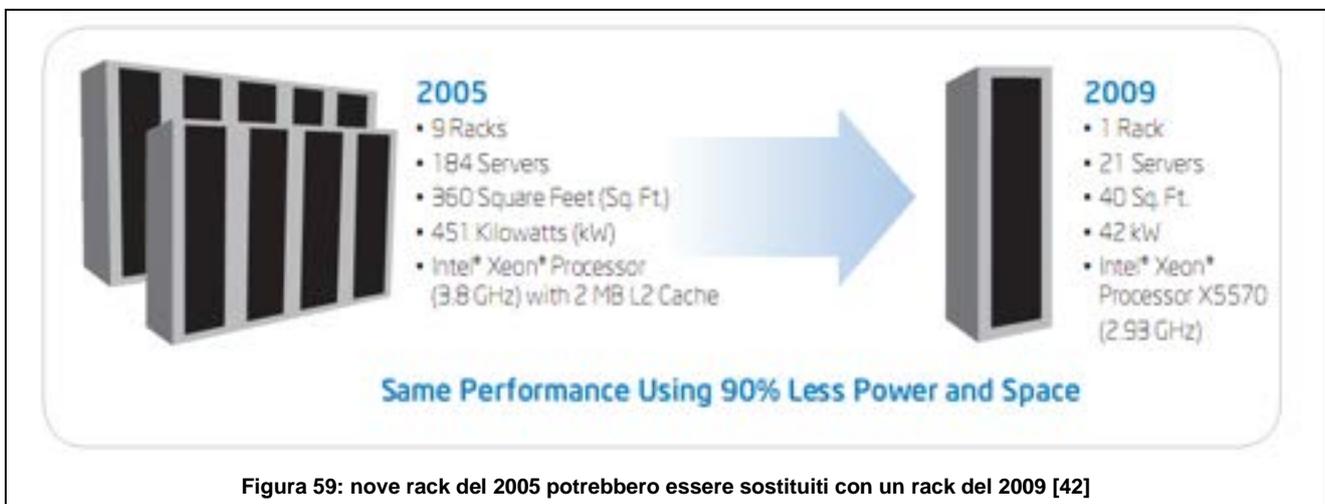
Sebbene sia evidente che l'installazione di apparecchiature di alimentazione e raffreddamento di capacità superiori al necessario costituisca uno spreco, non è altrettanto evidente il fatto che il sovradimensionamento comporta un calo considerevole dell'efficienza elettrica complessiva del sistema ed è causa di consumi eccessivi. Il calo dell'efficienza è causato dal fatto che in molti dispositivi di alimentazione e raffreddamento l'efficienza diminuisce spiccatamente in presenza di carichi contenuti. Alcuni dispositivi elettrici, come ad esempio il cablaggio, presentano un'efficienza maggiore con carichi contenuti, mentre la maggior parte delle apparecchiature di grosse dimensioni, come le ventole, le pompe, i trasformatori e gli invertitori, raggiungono un'efficienza inferiore in presenza di carichi minori a causa delle "perdite fisse", presenti comunque, anche quando il carico IT è pari a zero. Non è facile desumere questo calo di efficienza dalle schede tecniche dei produttori, poiché in esse vengono normalmente riportati i valori di efficienza riscontrabili in condizioni di carico di esercizio, in genere elevato.

Si può ovviare a questo problema sfruttando ove possibile la modularità, ovvero la possibilità di installare e togliere unità a seconda delle esigenze; le ultime generazioni di sistemi UPS hanno una struttura modulare che permette la scelta della giusta configurazione e potenza per ogni singolo caso senza dover sovradimensionare.

4.3. Consolidamento

Quando si parla di consolidamento spesso ci si riferisce alla strategia di far lavorare poche macchine al massimo delle loro potenzialità piuttosto che molte macchine al minimo carico. Come già accennato non tutti i sistemi hanno la massima efficienza in prossimità del massimo carico ma in campo IT questo accade per molti componenti; per esempio la curva di efficienza dei sistemi UPS scende per carichi bassi. In molti centri di calcolo vecchi e costruiti con tecnologie oramai obsolete, si hanno macchine che sono tenute accese per eseguire poche operazioni elementari e che potrebbero essere sostituite da un minor numero di nuove macchine. In questi casi è fondamentale intervenire e far comprendere al proprietario/gestore del centro di calcolo che un investimento iniziale per tale sostituzione avrà tempi di ritorno brevi.

In uno studio condotto dall'Intel (Realizing Data Center Savings with an Accelerated Server Refresh Strategy) sono messe a confronto le prestazioni dei server del 2005 con quelle del 2009, illustrando come 7-13 armadi rack del 2005 potrebbero essere sostituiti con 1 solo armadio rack del 2009 portando ad una notevolissima riduzione del consumo energetico (Fig. 59). [42]



Con il passaggio ai nuovi server alla diminuzione della potenza elettrica richiesta si avrà anche una diminuzione del calore da dissipare ed un aumento dello spazio a disposizione. Questo risultato è ottenuto grazie a un notevole incremento delle potenzialità dei processori con un assorbimento elettrico che è rimasto pressoché costante. In questo modo Intel ha previsto di poter ridurre il consumo energetico di circa 850-890 kW per ogni 500 vecchi server sostituiti da server blade del 2009. La sostituzione in blocco del sistema secondo le stime Intel, dati gli attuali tassi di evoluzione, potrebbe essere prevista ogni 4 anni. Sul sito internet Intel è presente anche un'applicazione che permette, inserendo i dati dei server installati e quelli che si installeranno, di ottenere una stima delle riduzioni di energia elettrica richiesta, del fabbisogno di condizionamento,

delle emissioni di CO₂ ed avere un'analisi economica per la valutazione dell'investimento con tempo di ritorno.

(Sito web: https://roianalyst.alinean.com/roi_calculators/AutoLogin.do?d=238900127442387057 e Report ppt : [Calcolo ROI Xeon](#))

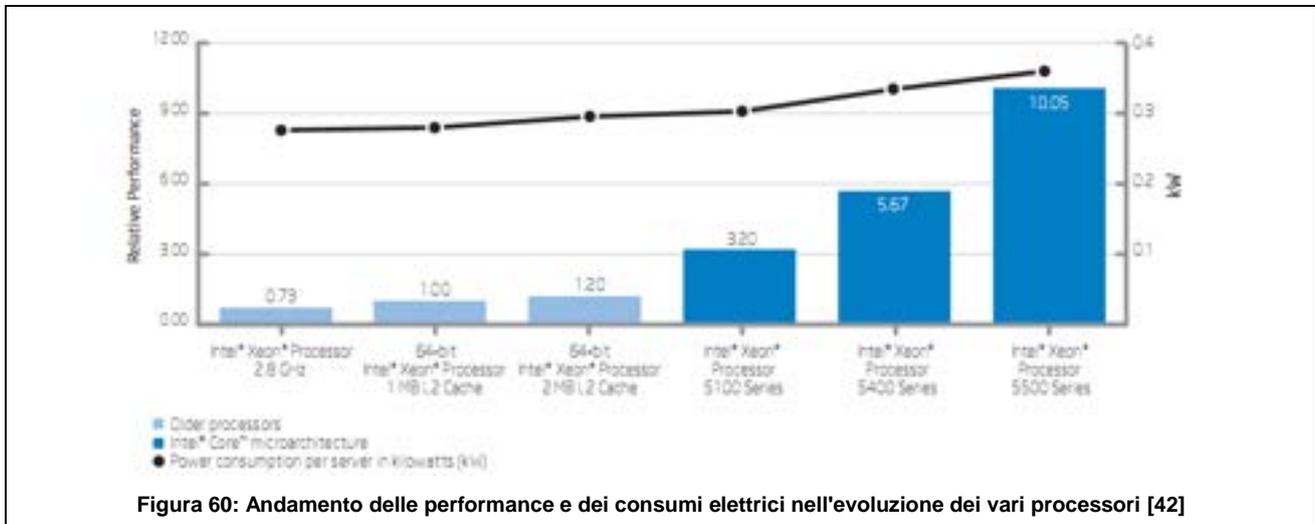


Figura 60: Andamento delle performance e dei consumi elettrici nell'evoluzione dei vari processori [42]

L'aumento dell'efficienza dei server porta indubbi vantaggi, ma si deve tenere in considerazione che con l'aumento delle potenzialità di calcolo si ha anche un continuo aumento dei fabbisogni di calcolo dei nuovi software, che tendono a ridurre i benefici.

4.4. Gestione dell'Operatore

Nella maggior parte dei casi le operazioni di controllo e gestione del centro di calcolo vengono eseguite automaticamente da macchine e software. Resta comunque il ruolo dell'operatore che oltre a poter verificare malfunzionamenti che una macchina non rileva, a volte può risolvere problemi in modo molto più semplice e veloce. Questa figura dovrà tenere sotto controllo molti parametri appoggiandosi a sistemi automatici di rilevamento.

L'efficienza energetica di un datacenter passa anche attraverso la corretta gestione controllo e manutenzione; iniziando dalla presenza umana all'interno della sala che viene sempre considerata nel calcolo della potenza termica da dissipare. Tra i principali comportamenti da evitare in un datacenter ricordiamo:

- accesso frequente all'ambiente climatizzato anche quando non necessario;
- apertura delle porte di ingresso degli ambienti climatizzati per tempi prolungati;
- ingresso di un numero elevato di persone per periodi prolungati senza il reale bisogno;
- accumulo di materiali all'interno della sala che possono ostruire o comunque rendere più difficoltoso la circolazione dell'aria di raffreddamento;

- qualsiasi dispersione dell'aria fredda di raffreddamento, per esempio aprendo varchi o finestre;
- ostruzione del passaggio dell'aria di raffreddamento.

È bene che il responsabile del centro di calcolo segua uno specifico percorso di formazione che lo metta in condizione di poter operare nel migliore dei modi. La formazione può essere svolta sia all'interno dell'azienda stessa sia frequentando appositi corsi erogati da associazioni e istituzioni del settore incentrati sull'efficienza energetica.

4.5. Software per il controllo del sistema

La presenza di un software che possa controllare tutti i parametri del sistema a tutti i livelli è un importante aiuto per l'operatore nel controllo e nella gestione. È fondamentale conoscere come si distribuisce l'alimentazione elettrica, le temperature di esercizio dei vari componenti e le operazioni che stanno svolgendo. Per far questo devono essere presenti all'interno del sistema una serie di sensori in grado di comunicare al software lo stato dello hardware.

Una parte essenziale della pianificazione e del funzionamento efficiente di un datacenter è la gestione delle capacità, la cui complicazione cresce con l'aumentare della densità, delle dimensioni e della complessità del datacenter. Spesso date le molteplici operazioni da svolgere, si creano dei sistemi di code in modo tale che le macchine lavorino sempre al massimo delle loro potenzialità e sfruttino appieno le loro capacità. Tutti i processi di calcolo da elaborare sono messi in coda, con priorità diverse in base alla loro importanza; sarà necessario l'intervento dell'operatore per verificare che ai calcoli più importanti siano dedicate maggiori risorse e che vengano effettuati nel minor tempo possibile. Per avere una gestione ottimale è necessario che tutti i componenti possano comunicare e relazionarsi tra loro; è indispensabile perciò un protocollo di comunicazione comune.

Le principali caratteristiche richieste a questi software sono:

- Visibilità
- Controllo
- Automazione

I software devono essere totalmente gestiti da una postazione informatica dalla quale l'operatore addetto al controllo possa intervenire gestendo le varie situazioni che si possono presentare. In aggiunta si dovrebbe prevedere anche una connessione remota per la gestione a distanza. In commercio ci sono diversi software in grado di assicurare una gestione del centro di calcolo ad elevata efficienza energetica tenendo sotto controllo gli assorbimenti e i carichi di lavoro.

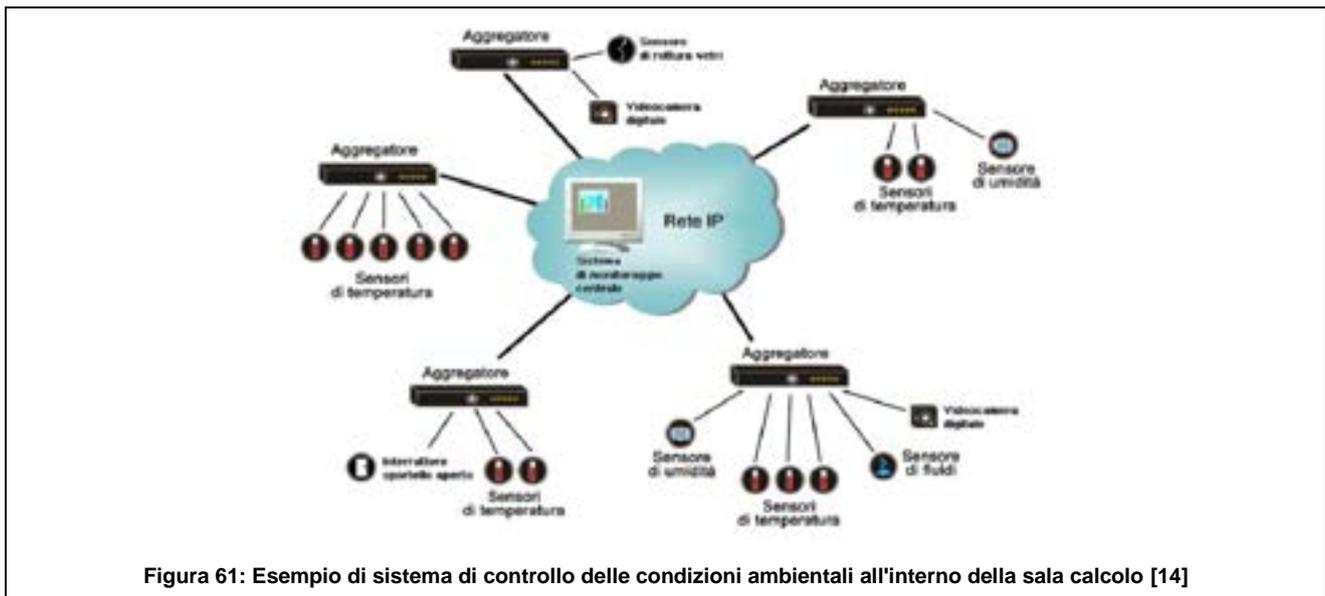


Figura 61: Esempio di sistema di controllo delle condizioni ambientali all'interno della sala calcolo [14]

4.5.1. Gestione dei Dati

Una corretta ed efficiente gestione dei dati intesi come storage, all'interno di un centro di calcolo può dare notevoli vantaggi anche dal punto di vista energetico. I due principali interventi sono l'applicazione al sistema di un software per la de-duplicazione dei dati ed il passaggio a reti di tipo SAN Storage Area Network.

Tra le comuni pratiche periodiche di tutti gli utenti di apparecchiature informatiche ci dovrebbe essere anche il back-up dei dati. Azione che se eseguita sistematicamente può evitare perdite di materiale e di tutto il lavoro che c'è dietro. Un singolo back-up è sufficiente, non c'è bisogno di avere più copie della stessa versione di un singolo file. Eliminando le duplicazioni si evitano sprechi di tempo, risorse e i relativi costi aggiuntivi. A tal fine si trovano in commercio software di "Data – Deduplication" i quali eliminano i file uguali all'interno dei vari back – up, lasciandone una sola copia, aumentando e ottimizzando così lo spazio di memoria disponibile.

L'eliminazione di copie di backup degli stessi dati di più computer offre un sostanziale risparmio in termini di larghezza di banda di rete e risparmio dal punto di vista energetico con la relativa diminuzione della potenza consumata dagli apparati di storage.

Le reti SAN sono strutture che consentono di effettuare il consolidamento dello storage raggruppando tutte le risorse di memoria in un unico dispositivo connesso poi ai server mediante una rete specifica, che consente loro di "vedere" le risorse presenti.

Si hanno così notevoli vantaggi rispetto ai dispositivi di memorizzazione connessi direttamente ai server. Questi sistemi forniscono infatti una connettività any-to-any tra server e dispositivi di storage, aprendo in tal modo la strada al trasferimento diretto di dati tra periferiche di memorizzazione (dischi), con conseguenti miglioramenti dell'efficienza dello spostamento dei dati e di processi, quali il backup o la replica dei dati. Normalmente i collegamenti avvengono tramite

fibre ottiche che consentono notevole velocità di trasferimento dati. Anche in questo caso l'elevata velocità di memorizzazione dati in un'unica struttura con la quale comunicano i vari server può dare vantaggi anche dal punto di vista energetico.

4.6. Monitoraggio delle potenze elettriche assorbite

Il controllo delle potenze elettriche assorbite da tutte le apparecchiature presenti all'interno del centro di calcolo è molto importante ai fini dell'efficienza energetica, purtroppo però i sistemi di misurazione sono quasi assenti nelle attuali strutture. L'operazione di audit energetico e monitoraggio è la prima fase di qualsiasi intervento finalizzato all'efficienza energetica.

Per misurare l'efficienza di un datacenter in un particolare punto operativo, è necessario conoscere la potenza totale in ingresso e la potenza relativa al carico IT. (vedi Cap. 1) Se siamo in presenza di un edificio dedicato al datacenter, la potenza in ingresso può essere misurata in corrispondenza delle connessioni della rete elettrica dell'edificio. Spesso però, tutto l'assorbimento dell'edificio non è solo del centro di calcolo, ma lo stesso contatore alimenta molti altri carichi. La maggior parte dei datacenter infatti fa parte di edifici multiuso dove esistono altri carichi e tutti i datacenter sono costituiti da un insieme di dispositivi IT a volte nell'ordine delle migliaia, molti dei quali provvisti di circuiti elettrici separati. Se non si è in presenza di una linea di alimentazione del solo datacenter oppure se alcuni servizi (es. condizionamento, illuminazione, etc.) sono condivisi, una corretta contabilizzazione dei consumi richiede l'installazione di un elevato numero di contatori da leggere simultaneamente. In tali situazioni, alcuni operatori del settore ritengono che la misura dell'efficienza tramite la misura della potenza elettrica sia un'attività poco pratica, e che in futuro potrebbe avere delle evoluzioni.

La valutazione della potenza elettrica all'interno dei CED, può avvenire tramite strumentazioni portatili o fisse, da quadro o integrate nei dispositivi. Nei recenti UPS o PDU, è quasi sempre integrato un display nel quale è possibile leggere i valori di tensione, corrente e potenza assorbiti. L'operatore può così svolgere un'operazione molto importante come la valutare gli indici prestazionali senza dovere eseguire un numero elevato di misurazioni, riferite a periodi diversi, con uno strumento portatile. Per una corretta valutazione dei parametri elettrici, è fondamentale che le apparecchiature di misurazione integrate possano, comunicare e registrare i dati misurati in modo continuo per avere una migliore visione dell'intero sistema e soprattutto per controllare come varia l'efficienza ai carichi parziali.

La strumentazione fissa integrata con UPS e PDU però introduce nelle apparecchiature un costo aggiuntivo che di solito viene immediatamente compensato da una migliore gestione dei flussi di potenza. Dall'altro lato con la strumentazione mobile è facile muoversi e misurare assorbimenti anche in punti in cui non sono presenti apparati fissi. È perciò consigliabile installare apparecchiature con sistemi di misurazione fissi, eseguendo anche controlli con dispositivi portatili.

L'identificazione dei punti più appropriati per la misura sia con strumentazione fissa che portatile è un altro punto a cui prestare attenzione. L'obiettivo è quello di misurare il numero minore di circuiti possibile per fornire i dati necessari per il calcolo dell'efficienza. Per i datacenter esistenti, questo problema può essere aggravato da motivi pratici derivanti dalla cablatura dell'edificio. Inoltre, alcuni circuiti o dispositivi, quali ad esempio le torri di raffreddamento, potrebbero essere intenzionalmente condivise con carichi esterni al datacenter, il che renderebbe impossibile effettuare la misura diretta del consumo da imputare al centro di calcolo. Pertanto la selezione dei punti di misura deve essere personalizzata per ogni installazione.

La misura delle potenze elettriche assorbite da un datacenter si può suddividere in tre fasi principali:

- scelta tra una metodologia di misura: continua con l'opportuna installazione degli strumenti in modo permanente o temporanea con una strumentazione portatile in determinati archi di tempo;
- Scelta dei punti di misura più significativi per una buona visualizzazione dei flussi di energia;
- preparazione di appositi moduli e procedure per registrare tutti i dati e per facilitare la successiva consultazione anche a distanza di tempo;

Tutti i dati acquisiti infine dovranno essere memorizzati e analizzati, creando indici e report temporali, da utilizzare come base per la valutazione economica degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica da proporre.

4.7. Sistemi di cogenerazione o CHP

L'energia elettrica in un data center, è il vettore energetico che alimenta tutte le apparecchiature IT, i sistemi di continuità e quelli di raffreddamento. Viene fornita dalla rete e garantita, anche in caso di interruzioni, dai gruppi di continuità ed eventualmente, per interruzioni prolungate, da un gruppo elettrogeno situato all'interno o nelle immediate vicinanze del centro. Il funzionamento di un data center richiede oltre all'alimentazione elettrica anche la sicurezza, la qualità e l'affidabilità della dissipazione del calore prodotto dalle apparecchiature IT. Per questo è bene considerare la possibilità di produrre energia elettrica nei pressi del locale di calcolo e recuperare il calore del cogeneratore sia per generare acqua fredda che per raffreddare le strumentazioni con macchine ad assorbimento.

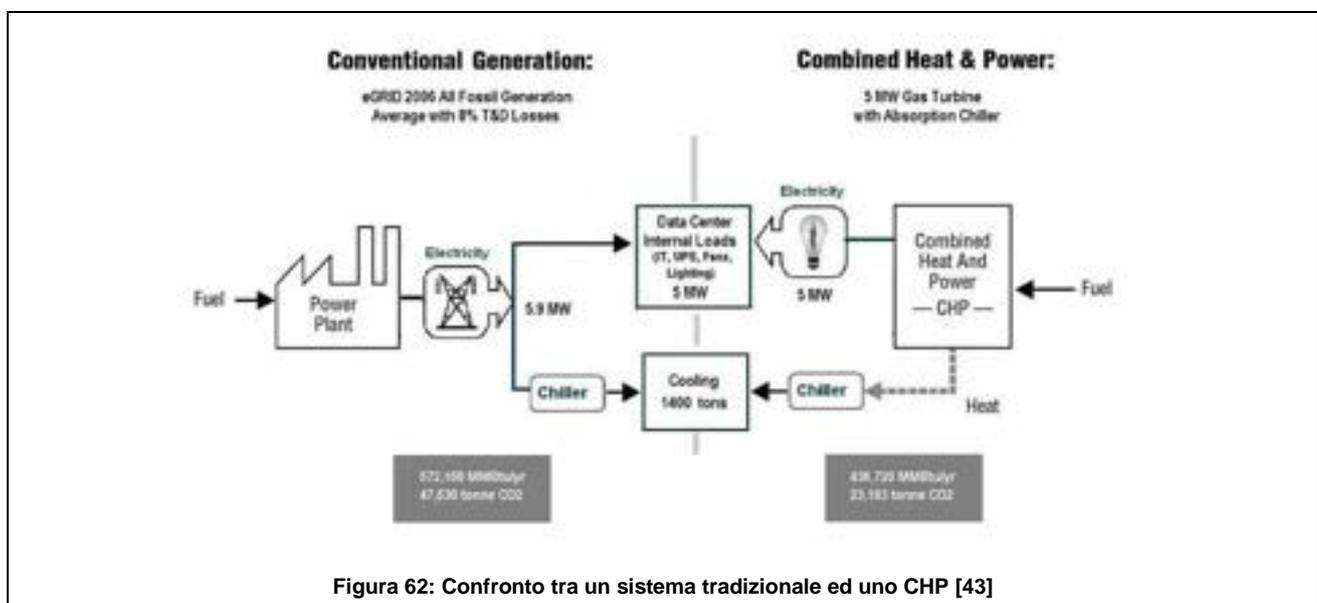
Gli impianti CHP (Combine Heat and Power) o di cogenerazione, sono sistemi in cui si ha la produzione simultanea di energia elettrica e calore. I più usati sono i motori a combustione interna MCI e le turbine a gas accoppiati con un sistema di generazione dell'energia elettrica. Il calore dissipato per il raffreddamento viene poi sfruttato da macchine ad assorbimento per la produzione di acqua refrigerata per i sistemi di condizionamento. I MCI e le turbine a gas sono oramai due

tecnologie mature e diffuse ma si sta diffondendo anche l'installazione di microturbine in parallelo e in alcuni casi di celle a combustibile.

L'installazione di questi sistemi non deve però abbassare la sua affidabilità; per esempio nel caso di installazione di un MCI questo non potrà sostituire la presenza di un gruppo elettrogeno di emergenza presente nel livello di ridondanza TIER I. Nel caso invece di livelli TIER II, III e IV il sistema CHP potrebbe anche sostituire una parte del sistema ridondante. [43]

Nella figura 62 vengono messi a confronto il sistema di alimentazione tradizionale e quello CHP con una potenza elettrica di 5 MW, e le emissioni di CO₂ nei diversi casi.

Un datacenter con questa tipologia costruttiva è stato costruito nella Syracuse University nello stato di New York in collaborazione con la IBM. In questo caso si sono utilizzate 12 microturbine per la produzione di energia elettrica e di calore. È possibile vedere un video del centro su <http://www.syr.edu/greendatacenter/index.html>.



4.8. Utilità in Rete

Sul web sono presenti molti strumenti di supporto per la scelta dei diversi componenti di un datacenter. Queste applicazioni si trovano nei siti di produttori e di enti governativi che si stanno muovendo per la promozione dell'efficienza energetica. Qui di seguito si riporta un elenco non esaustivo.

http://www.eu-energystar.org/it/it_calculator.shtml	Calcolatore del consumo energetico di server, desktop, PC portatili, monitor lcd, modem, stampanti in funzione dell'utilizzo
http://80plus.org/80sav.aspx	Calcolo del risparmio energetico ed economico conseguibile con nell'uso di strumentazioni certificate 80 PLUS
http://estimator.thegreengrid.org/pcee	Tool per la stima dell'efficienza della catena di distribuzione dell'alimentazione elettrica, in cui è possibile scegliere la tipologia e e gli standard di mercato di UPS, PDU e PSU.
http://dcpro.ppc.com/DCProDefault.aspx U.S. Department of Energy	DC Pro Tool è un software on line in cui inserire le caratteristiche tecniche di un centro di calcolo, che fornisce consigli per avere per migliorare l'efficienza energetica, stimando la riduzione dei consumi.
http://hightech.lbl.gov/DCTraining/	Buone pratiche, documentazione e casi studio reali.
https://roianalyst.alinean.com/roi_calculators/AutoLogin.do?d=238900127442387057	Tool per l'analisi del ritorno dell'investimento di sostituzione di apparecchiature informatiche di vecchia generazione con sistemi di ultima generazione; offre la possibilità di salvare e stampare un report finale.
http://www.micron.com/applications/server/calculator.aspx	Calcolatore di risparmio energetico ed economico di una memoria (RAM) a basso voltaggio della Micron.
http://www.apc.com/it/	Questionario che permette di valutare il livello dell'efficienza delle apparecchiature IT e offre consigli utili per migliorare l'efficienza
http://www.apc.com/prod_docs/results.cfm?DocType=Trade-Off+Tool&Query_Type=99&keyword=Calculator&wpsnum	Vari calcolatori messi a punto dall'azienda APC per valutare vantaggi dell'applicazione di nuove tecnologie.

4.9. Soluzione Innovativa il CONTAINER

La crescente richiesta di potenzialità e numero di data center, ha dato spazio a soluzioni modulari a basso investimento. Una di queste è il container, usato come sala all'interno del quale porre le apparecchiature. La struttura è quella di un comune container per il trasporto merci. In commercio è possibile trovare molte soluzioni costruttive ed impiantistiche ma con il comune scopo di abbassare i costi di espansione, migliorare la qualità e aumentare l'efficienza energetica. Ci sono container in cui sono racchiusi tutti i componenti di alimentazione, raffreddamento ed elaborazione dati mentre in altri casi è possibile trovare solo sistemi di continuità di alimentazione e/o server con sistema di raffreddamento esterno.

Con questa configurazione, date le dimensioni contenute e gli impianti di raffreddamento integrati, è più facile ottenere un'ottima separazione tra aria calda e fredda. In studi fatti su casi reali si è visto che è possibile avere notevoli risparmi sia dal punto di vista economico che dal punto di vista energetico con il vantaggio di una elevata modularità e semplicità di installazione.

Questa è una tecnologia abbastanza apprezzata che si sta diffondendo in molte realtà. Un esempio eclatante è il datacenter di Google che raggiunge valori molto elevati di efficienza energetica (Video You Tube www.youtube.com/watch?v=zRwPSFpLX8I).

Anche se sarà difficile che tale tipologia di costruzione riesca a sostituire completamente quella dei classici datacenter "mattoni e cemento", potrebbe però contribuire ad un rapido sviluppo, ad un'alta densità e/o alla mobilità del centro di calcolo. [44]

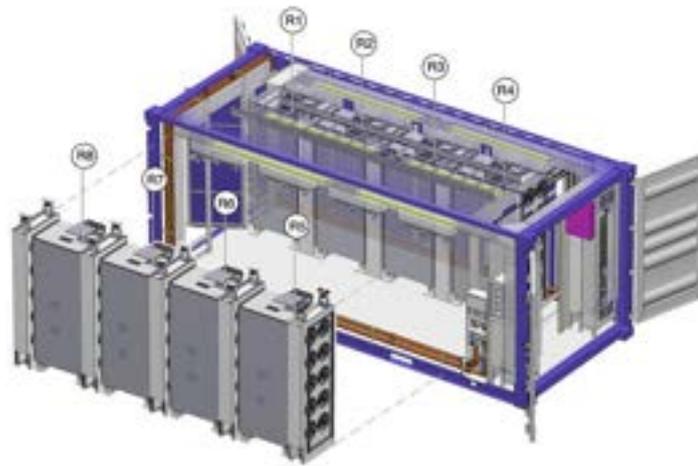


Figura 63: Esempio di Data Center Container [44]

5. INDAGINE SUI DATACENTER

5.1. I centri di calcolo

I centri di calcolo sono uno strumento essenziale nella società odierna, non solo per le applicazioni legate al mondo dell'informatica e delle telecomunicazioni ma anche per moltissimi altri settori. Le operazioni richieste sono in continuo aumento in tutti i settori, nonostante la crisi ne abbia un po' rallentato il tasso di crescita.

La FIRE ha predisposto, nell'ambito di questa ricerca, un questionario per approfondire i temi della gestione, dell'efficienza energetica e delle tecnologie efficienti nei centri di calcolo. Il questionario è stato distribuito agli energy manager nominati e agli associati, che rappresentano quindi grossi utilizzatori di energia, non necessariamente anche gestori di grossi centri di calcolo.

Le risposte sono arrivate da un po' tutti i settori (Figura 64) industria e servizi in primis ma anche settore sanitario, P.A., energia e trasporti.

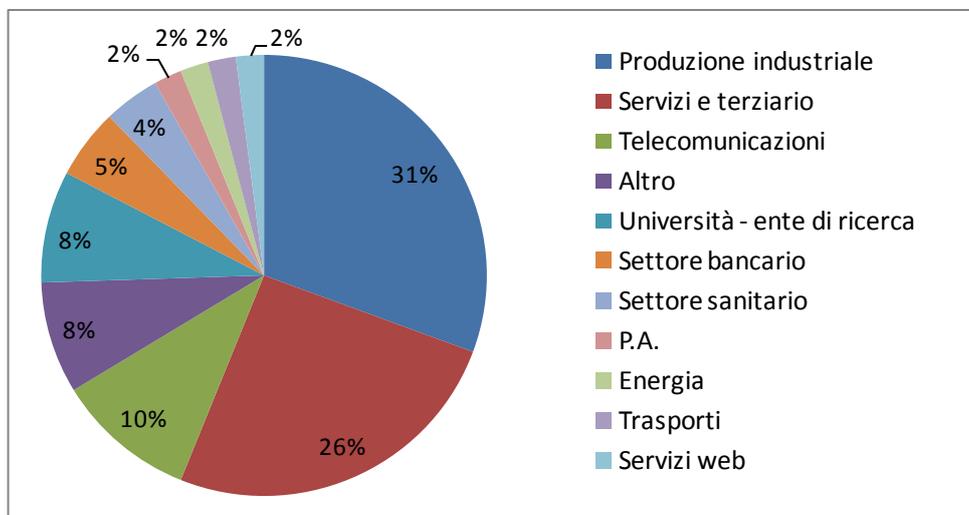


Figura 64 Settori in cui operano le strutture

I centri di calcolo in questione sono utilizzati (Figura 65) nei due terzi dei casi per la gestione di dati. La restante parte si divide equamente tra calcolo e servizi per il web.

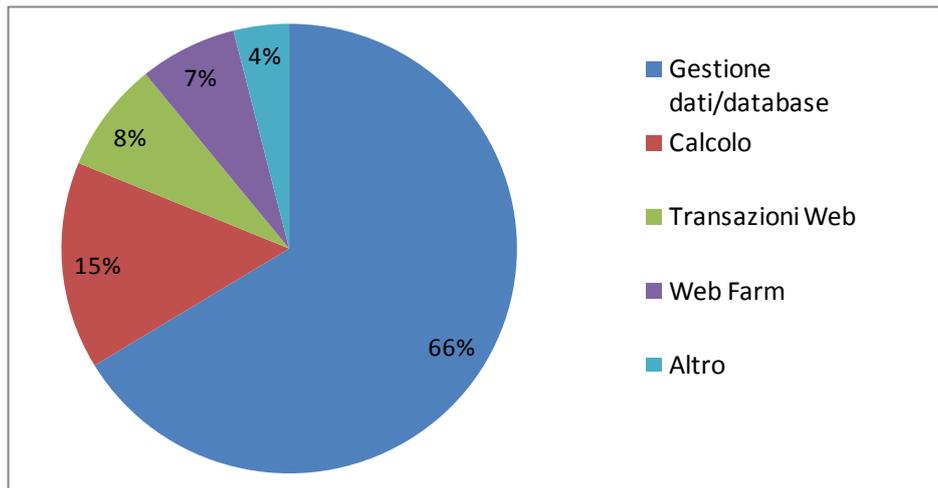


Figura 65 Principali operazioni svolte dai centri di calcolo

L'efficienza di un centro di calcolo è strettamente legata alla percentuale di utilizzazione in quanto è sempre presente un consumo di base, indipendente dall'utilizzo. Tra coloro i quali hanno risposto, un quarto non ha saputo fornire il dato, mentre i tre quarti ha fornito una valutazione della percentuale di utilizzazione, che in oltre la metà dei casi non supera il 60% e solo nel 10% dei casi supera lo 80% (Figura 66a). Bisogna però tenere presente che solo nel 15% dei casi tale valutazione si basa su dati effettivamente misurati (Figura 66b).

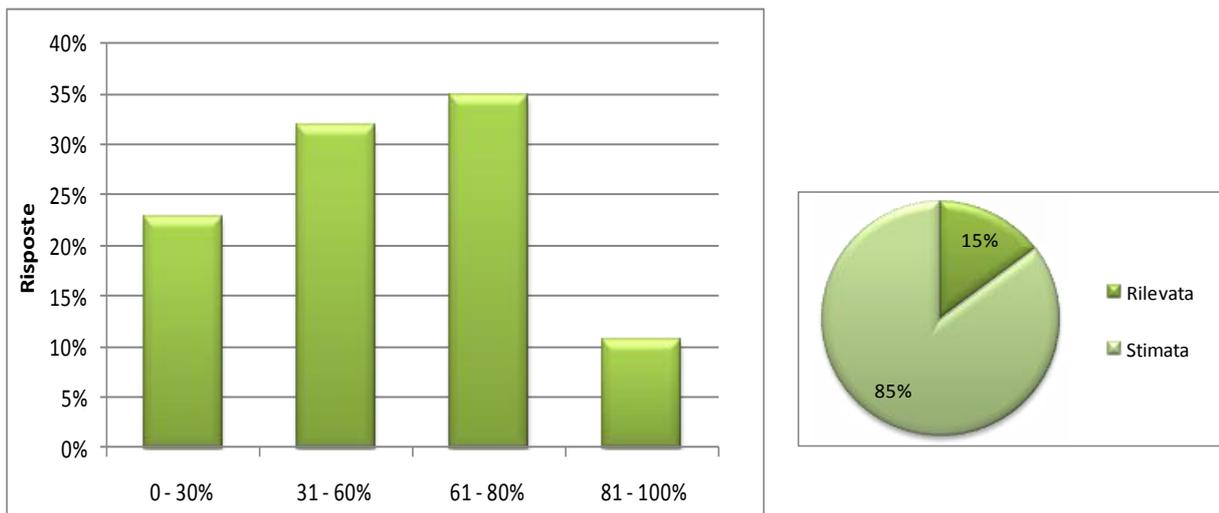


Figura 66 (a) Percentuale di utilizzazione del centro di calcolo e (b) come è stata valutata

Separando le percentuali di utilizzazione stimate e rilevate (Figura 67), benché i dati in questo ultimo caso siano pochi, si può notare che la distribuzione è molto diversa, spostata verso gli estremi alto e basso. Nel caso di percentuale di utilizzazione stimata invece le risposte sono concentrate al centro. La differente distribuzione potrebbe essere causata da un errore di percezione, sempre possibile quando non si hanno a disposizione dati rilevati.

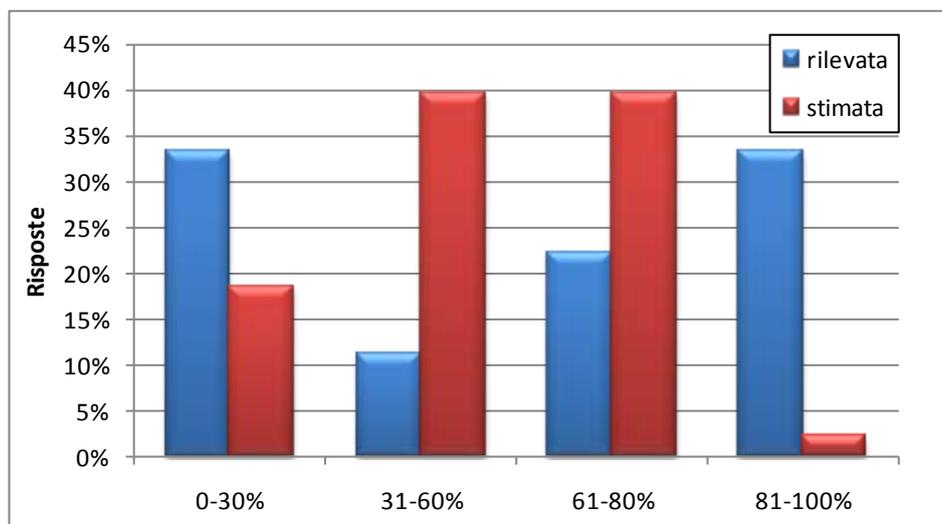


Figura 67 Percentuale di utilizzazione del centro di calcolo rilevata e stimata

L'efficienza dei singoli componenti è molto importante e come avviene in molti altri settori, anche in quello IT sono presenti programmi volontari che definiscono livelli di efficienza di alcuni componenti. La conoscenza di questi programmi è però piuttosto limitata (Figura 68) e ancor di più il loro utilizzo, fatto salvo per il programma nord americano Energy Star che comunque sembra essere sconosciuto a quasi la metà di coloro che hanno risposto.

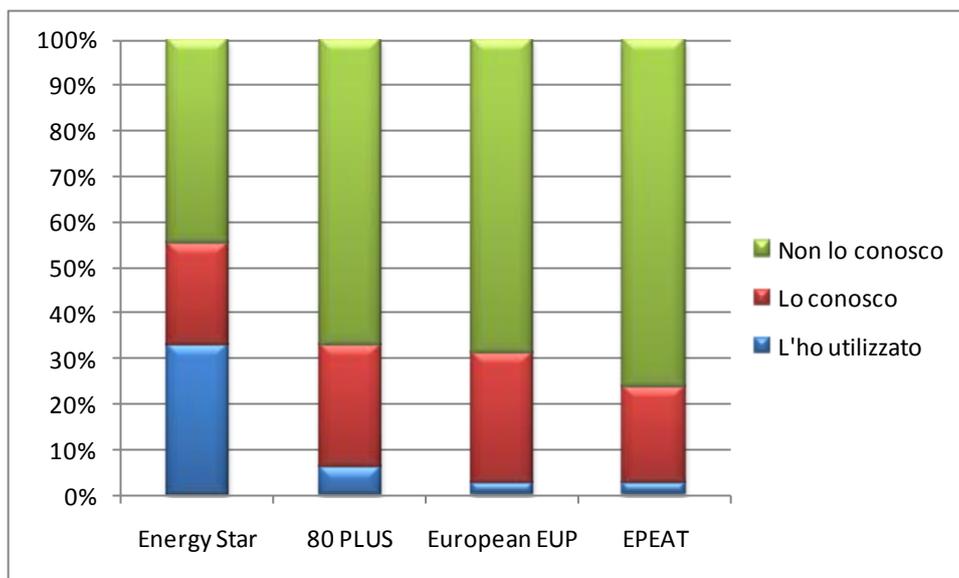


Figura 68 Conoscenza e utilizzo di programmi volontari

La conoscenza dei consumi è fondamentale per poter valutare l'efficienza energetica, i suoi miglioramenti a seguito di azioni di efficientamento o eventuali deviazioni dai livelli di progetto che possono essere dovute a cattiva manutenzione o malfunzionamenti. Benché i centri di calcolo

siano di solito alimentati unicamente da energia elettrica, solo in un quarto dei casi (Figura 69) si ha a disposizione un contatore dedicato al centro di calcolo - che contabilizza quindi i consumi totali di UPS, IT, illuminazione e anche raffreddamento, se quest'ultimo non è centralizzato, - o al solo carico IT. Nella metà dei casi il consumo del centro di calcolo viene valutato attraverso estrapolazioni dai consumi dell'edificio che lo ospita o da stime sulla base delle potenze installate e delle ore di utilizzo. E' da sottolineare che il 25% di coloro che hanno risposto non sa come venga valutato il consumo del centro di calcolo o non lo valuta.

Solo il 5% ha mai valutato gli indici PUE e/o DCIE mentre oltre il 20% ha potuto fornire la potenza elettrica totale installata dei gruppi di continuità.

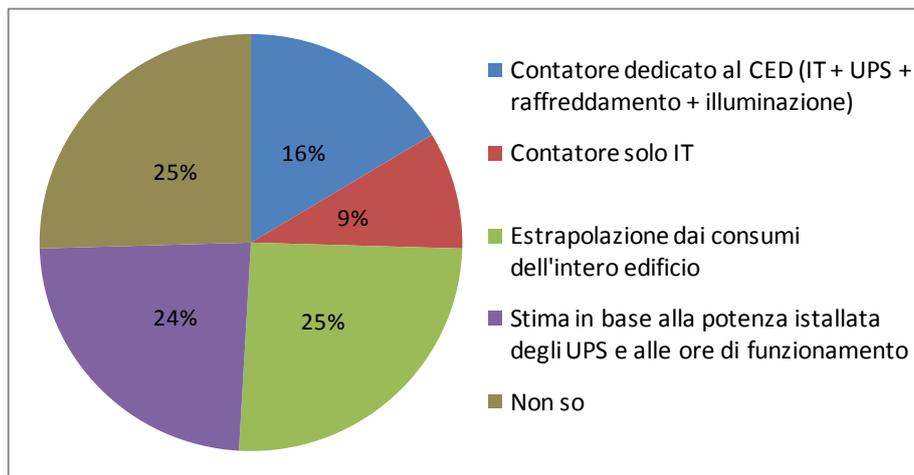


Figura 69 Come vengono valutati i consumi del centro di calcolo

La qualità e la continuità dell'alimentazione elettrica (Figura 70) vengono garantite nella maggior parte dei casi dagli UPS statici e da una piccola frazione di UPS rotanti. Nel 40% dei casi è presente anche un generatore di emergenza, nel 4% un impianto con celle a combustibile e sporadicamente sistemi di cogenerazione.

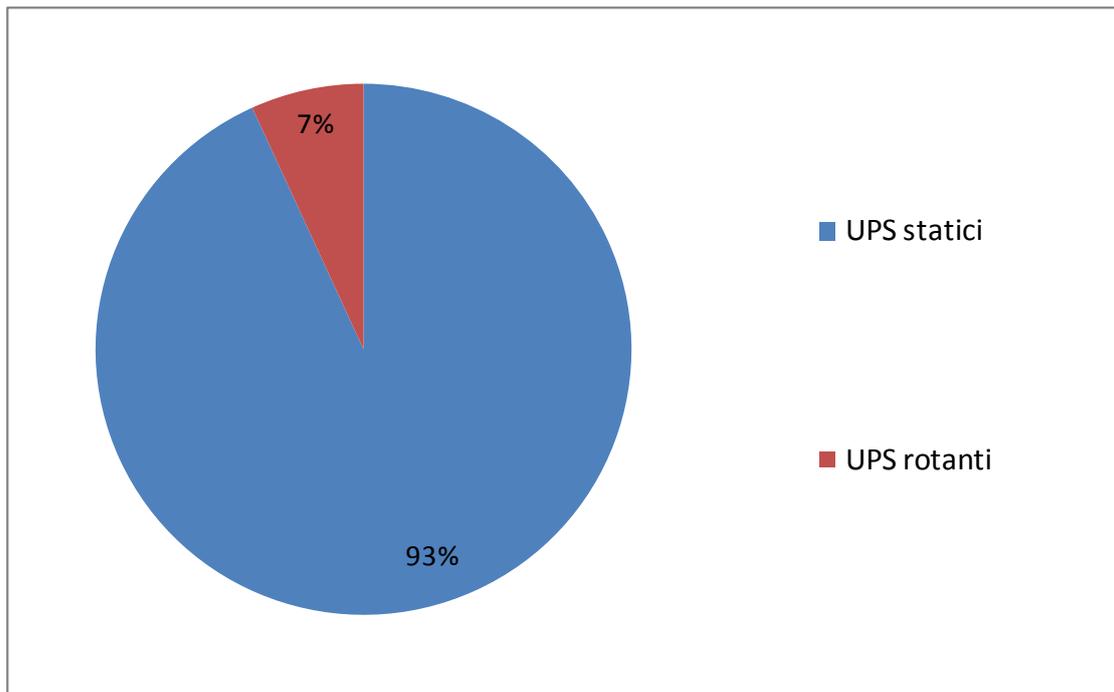


Figura 70 Sistemi utilizzati per garantire la continuità

L'efficienza massima degli UPS installati è nota a meno di due terzi di coloro che hanno risposto ed è (Figura 71) in oltre la metà dei casi compresa tra 90 e 94%. In un quarto dei casi è inferiore al 90% e in un quinto supera il 94%.

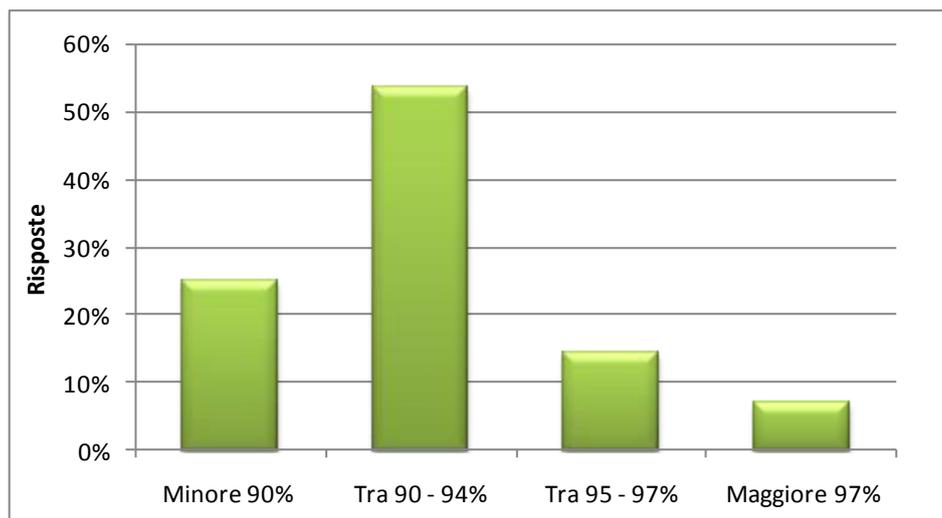


Figura 71 Efficienza massima UPS installati

La ridondanza dell'alimentazione elettrica è un requisito fondamentale per garantire l'affidabilità del centro di calcolo. Nello stesso tempo la ridondanza deve essere scelta in modo appropriato così da non aumentare i costi di realizzazione e gestione. Nel 60% dei casi i livelli di ridondanza sono classificabili secondo le definizioni della norma TIA 942, di cui peraltro era allegato uno schema al

questionario. Il livello più diffuso risulta il TIER I, seguito dal III e dal IV. Questi ultimi due prevedono entrambi doppia connessione alla rete elettrica.

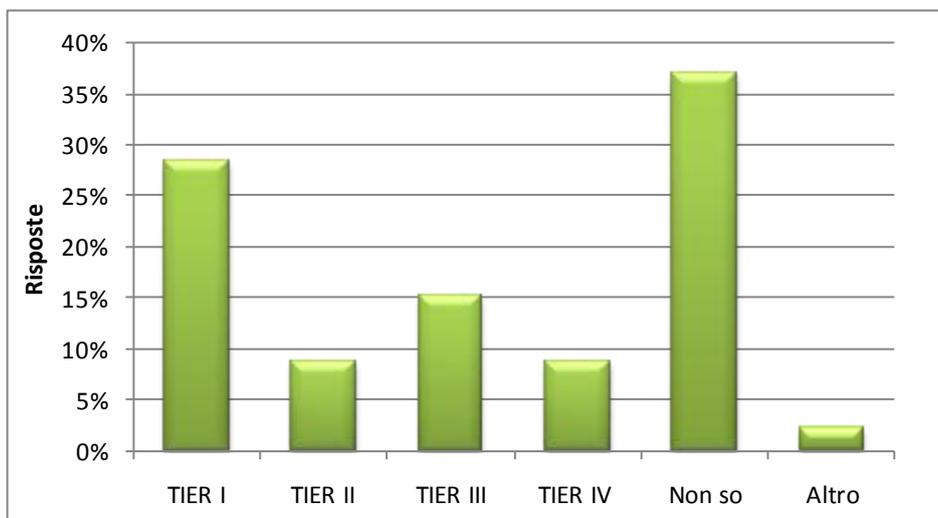


Figura 72 Livello di ridondanza dell'alimentazione elettrica

Una domanda del questionario è stata dedicata alle soluzioni efficienti sia impiantistiche che gestionali, con una lista chiusa di risposte. Tutte le soluzioni elencate nella domanda sono presenti (Figura 73) in oltre il 5% dei casi. Le più diffuse sono le CPU multicore (45% dual e 30% quad), la virtualizzazione e i blade server. Risultano comunque abbastanza diffusi anche i dischi allo stato solido e i sistemi di ventilazione a velocità variabile. I sistemi software/gestionali sono invece meno utilizzati, segno che l'attenzione è soprattutto rivolta agli aspetti hardware. Da notare inoltre come i sistemi non legati alle prestazioni ma esclusivamente all'efficienza sono i fanalini di coda: ventilazione a velocità variabile, sistemi di monitora dei consumi spegnimento automatico dei server non utilizzati.

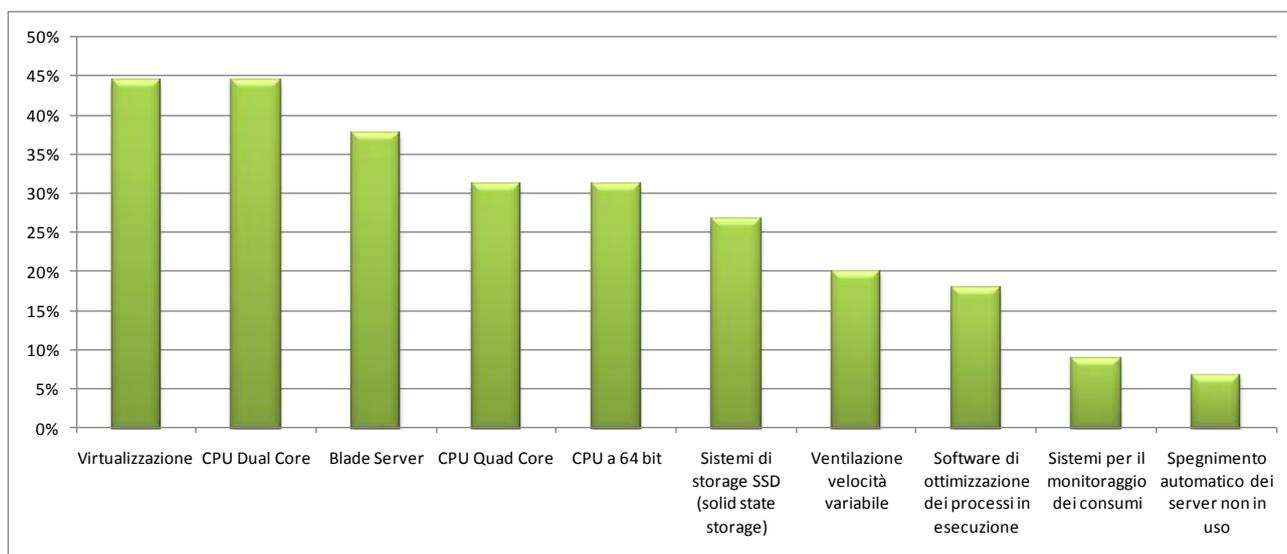


Figura 73 Soluzioni impiegate

I sistemi di raffreddamento assorbono in media il 30% dell'energia di un centro di calcolo, devono quindi essere tenuti in debita considerazione.

Nella maggior parte dei casi la distribuzione del freddo (Figura 74) è ad aria; il raffreddamento ad acqua o misto si dividono equamente la parte restante.

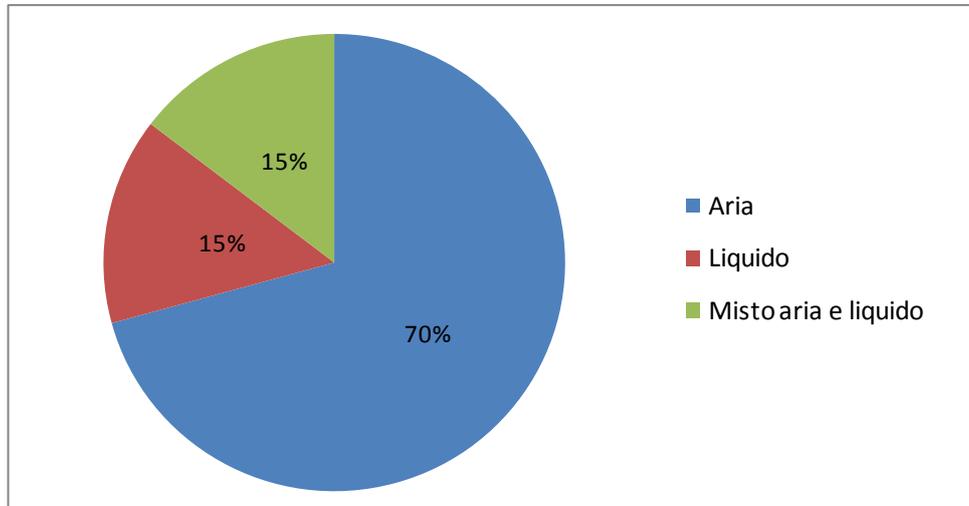


Figura 74 Sistema di distribuzione del freddo utilizzato

Il vettore viene poi distribuito in oltre il 60% dei casi all'interno della sala, una soluzione piuttosto inefficiente. Le soluzioni più efficienti sono ancora poco diffuse; la distribuzione a corridoi caldi e freddi conta meno di un quarto delle risposte e poco più del 10% la distribuzione per fila. La distribuzione per singolo rack, di solito legata a sistemi ad alte densità di potenza, rimane una soluzione di nicchia.

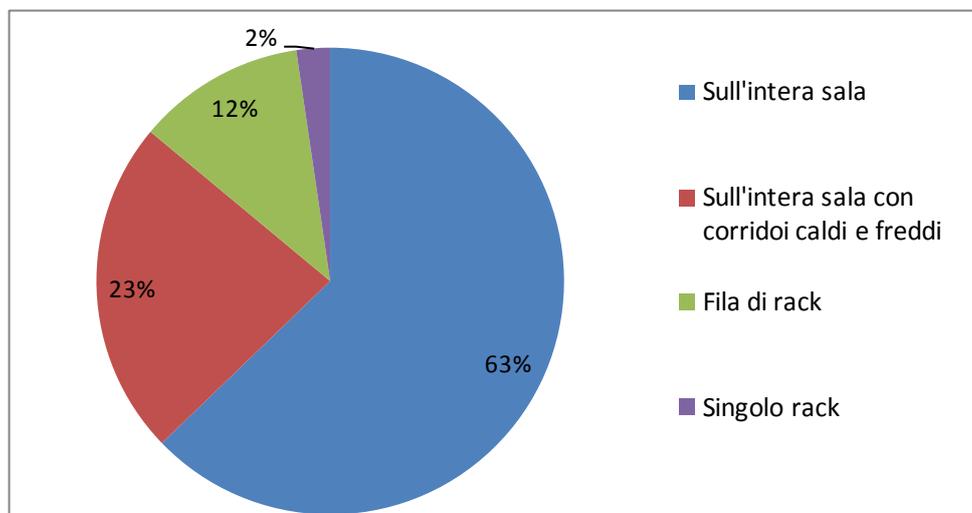


Figura 75 Distribuzione del vettore di raffreddamento

Il free cooling può permettere riduzioni più o meno accentuate dei consumi per il condizionamento a seconda delle condizioni climatiche esterne e di quelle da mantenere all'interno della sala

calcolo. Questo sistema si sta diffondendo soprattutto sugli impianti nuovi ma anche come retrofit su impianti esistenti. Il 40% degli impianti ne è dotato con una prevalenza del free cooling diretto, ovvero dell'immissione diretta di aria esterna.

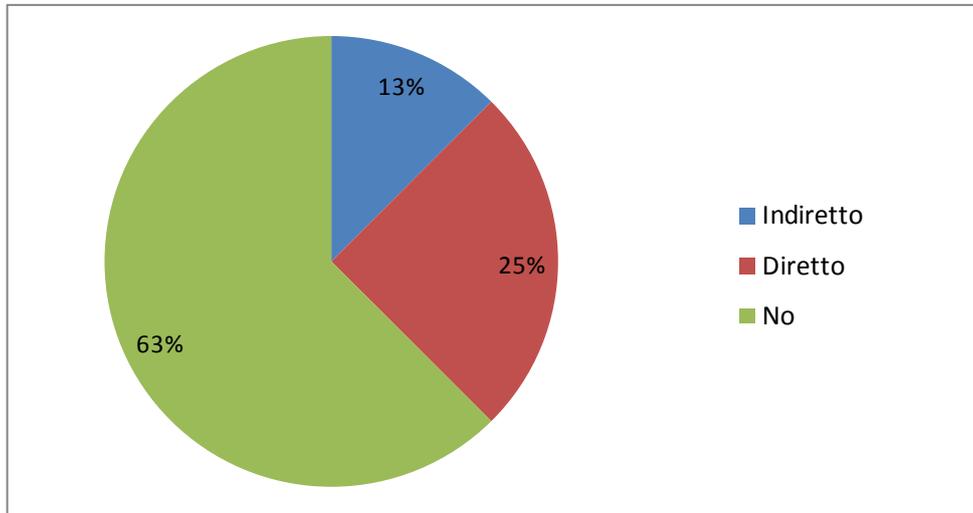


Figura 76 Presenza e tipologia del Free cooling

La temperatura dell'aria della sala viene utilizzata per regolare il sistema di raffreddamento. In sistemi di raffreddamento più raffinati, quando si ha la possibilità di controllare separatamente le portate in zone diverse, si ricorre a più sensori di temperatura. I dati degli stessi o di altri sensori di temperatura sono però anche utilizzati dai sistemi di gestione e controllo per sorvegliare il funzionamento del sistema di raffreddamento, dei server, etc.. In oltre il 60% dei casi il controllo è solo sulla temperatura della sala. Meno frequente è il controllo della temperatura del processore o del rack. Nello 11% dei casi il sistema di controllo non prevede alcun ingresso di temperatura o non è presente.

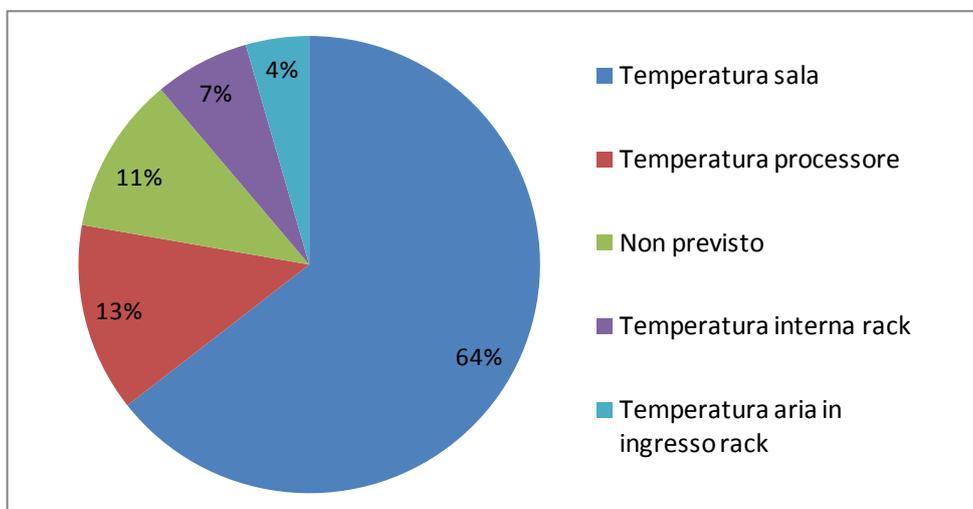


Figura 77 Temperatura rilevata dal sistema di controllo

L'ultima domanda a risposta libera sugli ulteriori interventi di efficienza energetica allo studio ha avuto un numero esiguo di risposte che riguardano soprattutto l'applicazione del free cooling, di ventole a velocità variabile e impianti co-tri generativi.

QUESTIONARIO CENTRI DI CALCOLO

Se interessato a collaborare al progetto o a ricevere ulteriori informazioni e aggiornamenti si prega di compilare i dati nella tabella sottostante.

Nome:	Cognome:
Azienda/Ente:	
e-mail:	

Note per la compilazione

Si prega di compilare il questionario anche se non si è in grado di riempire tutti i campi. Barrare più caselle se applicabile.

1. Qual è il settore in cui opera l'azienda?

- Settore Bancario
- Telecomunicazioni
- Servizi Web
- Servizi e Terziario
- Produzione industriale
- Università – ente di ricerca
- Altro

2. Quali sono le principali operazioni svolte dal centro di calcolo?

- Gestione dati/database
- Calcolo
- Transazioni Web
- Web Farm
- Altro

3. Qual è la percentuale di utilizzazione delle massime potenzialità di calcolo?

- 0 - 30%
- 31 - 60%
- 61 - 80%
- 81 - 100%
- Non so

4. Se indicata una percentuale si prega di indicare come è stata ottenuta:

- Stimata
- Rilevata

5. Quale tra le seguenti specifiche di prodotti conosce o ha utilizzato?

	Li Conosce		Li ha utilizzati	
	SI	NO	SI	NO
Energy Star [1]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
80 PLUS [2]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EUP(Dir. 2005/32/CE)[3]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EPEAT [4]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. Come vengono valutati i consumi all'interno del centro di calcolo?

- Contatore dedicato al CED (IT + alimentazione gruppi UPS [5] + raffreddamento + illuminazione)
- Contatore legato al CED (solo IT)
- Estrapolazione dai consumi dell'intero edificio
- Stima in base alla potenza installata dai gruppi UPS e ore di funzionamento
- Non so

6.1 Se ne è a conoscenza indicare il valore nell'apposito spazio:

kWh

7. Sono stati mai valutati gli indici definiti dal GREEN GRID [6] per valutare l'efficienza energetica dei data center PUE (Power Usage Effectiveness) o DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency)? Se ne è a conoscenza, indicare i valori nell'apposito spazio.

	Valore
PUE	
DCiE	

Federazione Italiana per

l'uso Razionale dell'Energia

8. **Conosce la potenza elettrica installata dei gruppi di continuità? Se ne è a conoscenza indicare il valore nell'apposito spazio.**

Software per l'ottimizzazione dei processi in esecuzione

Sistemi automatici di on/off per abbattere i consumi dei server non in uso

Sistemi per il monitoraggio dei consumi

kVA

9. **Quale sistema di continuità è utilizzato per garantire qualità e continuità elettriche? (risposta multipla se necessario)**

Sistemi UPS con doppia trasformazione AC/DC e DC/AC

Sistemi UPS rotanti

Celle a combustibile

Generatore elettrico di emergenza

Cogeneratore

Altro

10. **Qual è l'efficienza massima degli ultimi sistemi UPS installati?**

Minore 90%

Tra 91 - 94%

Tra 95 - 97%

Maggiore 97%

Non so

11. **Qual è il livello di ridondanza TIER [7] dell'alimentazione elettrica del centro di calcolo secondo gli standard definiti nella norma TIA - 942 dall'Associazione Industriale americana delle Telecomunicazioni?**

TIER I

TIER II

TIER III

TIER IV

Non so

Altro

12. **Quali tra le seguenti soluzioni sono impiegate nel centro di calcolo? (risposta multipla se necessario)**

Blade Server

Virtualizzazione

Processori Dual Core

Processori Quad Core

CPU a 64 bit

Sistemi di storage SSD (Solid State Disk)

Sistemi di ventilazione con variazione continua della velocità di rotazione

13. **Qual è il fluido di raffreddamento usato?**

Aria

Liquido

Misto Aria e Liquido

14. **Come viene distribuito il vettore di raffreddamento?**

Sull'intera sala

Sull'intera sala con corridoi caldi e freddi

Fila di rack

Singolo rack

Altro

15. **È utilizzato un sistema di raffreddamento Free - Cooling?**

Indiretto

Diretto

No

Altro

16. **Di che tipo è il sistema di monitoraggio della temperatura?**

Temperatura Sala

Temperatura aria in ingresso al rack

Temperatura interna al rack

Temperatura processore

Non è previsto

Altro

Indicare se si hanno in programma interventi per migliorare l'efficienza energetica dei data center, o commenti sull'indagine.

NOTE:

[1] Energy Star: è un sistema che ti permette di scegliere, nell'ambito del gruppo di prodotti in commercio per le apparecchiature da ufficio, i modelli più efficienti in termini di risparmio energetico.

[2] 80 PLUS: sistemi di certificazione degli alimentatori elettrici la cui efficienza sia maggiore dell' 80%.

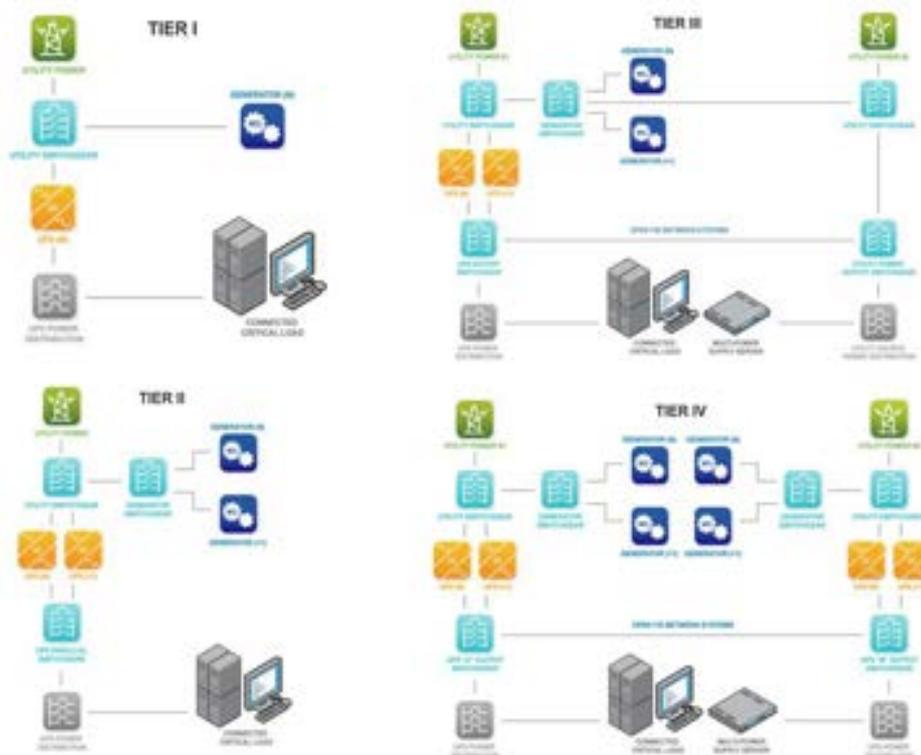
[3] Direttiva 2005/32/CE EUP (Ecodesign dei prodotti che consumano energia) interessa tutte le apparecchiature che consumano energia, da quella elettrica a quella fossile. Lo scopo della direttiva è promuovere un quadro per l'integrazione degli aspetti ambientali nella progettazione delle apparecchiature.

[4] EPEAT: certificazione da parte dei produttori di apparecchiature elettroniche che attestano la conformità dei propri prodotti a una serie completa di criteri ambientali. I prodotti vengono quindi destinati alla categoria Bronze, Silver o Gold in base al numero di criteri che riescono a soddisfare.

[5] Uninterruptible Power Supply

[6] GREEN GRID: consorzio internazionale di aziende e professionisti che operano nel mondo dell' IT con obiettivo finale di migliorare l'efficienza energetica nei data center.

[7] Livelli di ridondanza TIER



BIBLIOGRAFIA

- [1] www.thegreengrid.org
- [2] www.eaton.com
- [3] Environmental Protection Agency - *Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency - Public Law 109-431 U.S., August 2, 2007*;
- [4] L. Minas, B. Ellison - *Energy Efficiency for Information Technology* – Intel Corporation;
- [5] Energy Logic: Calculating and Prioritizing Your Data Center IT Efficiency Actions;
http://www.liebert.com/servicesupport_pages/WhitePapers.aspx;
- [6] DELL - Dell Client Energy Savings Calculator Methodology Paper;
- [7] <http://software.intel.com/en-us/blogs/2008/05/29/what-exactly-is-a-p-state-pt-1/>;
- [8] Atti convegno Sun, 2 Marzo 2010, Roma – Implementare e gestire i Data Center virtualizzati;
- [9] CEMEP, ANIE – GUIDA EUROPEA – *Gruppi Statici di Continuità* – Terza Edizione;
- [10] CHLORIDE - *Vademecum sulla Progettazione Elettrica di un Data Center – Stato dell'arte e sviluppi per una maggiore efficienza*;
- [11] <http://www.eca.gov.uk/et/> - UPS Rotativi
- [12] www.piller.com;
- [13] www.maiaspa.it/invitoAEIT03042008.pdf – *Power Quality sistemi UPS Rotanti compatti* – CAT;
- [14] White Paper APC – by Schneider Electric
http://www.apc.com/prod_docs/results.cfm?DocType=White%20Paper&Query_Type=10;
- [15] <http://www.chlorideconsulting.com>;
- [16] EUROBAT – The Eurobat Guide for the specification of valve regulated lead-acid stationary cells and batteries;
- [17] Clima Veneta – i-focs – www.climaveneta.it;
- [18] www.elettrotecnologie.enea.it;
- [19] Articolo - *Vantaggi delle EEV (Electronic expansion Valves)* – www.frigoveneta.it;
- [20] R. Snevely - *Enterprise Data Center Design and Methodology* – Sun Microsystems;
- [21] White Paper EATON- <http://powerquality.eaton.com/About-Us/News-Events/whitepapers/default.asp>;
- [22] Pacific Gas and Electric Company U.S. E.E.R.E. Data Center Efficiency Training- "*High Performance Data Centers*" – *A Design Guidelines Sourcebook*;
- [23] www.ancis.us;
- [24] Articolo Emerson Network, Liebert - *Working Toward a more Energy Efficient Data Center*;
- [25] M. Giovo, M. Meli, G. Rossi – Più fresco con meno energia nel condizionamento delle centrali di Telecomunicazione: dalla sperimentazione all'esercizio – Notiziario Tecnico TELECOM ITALIA;
- [26] <http://www.ashrae.org> - 2008 ASHRAE *Environmental Guidelines for Datacom Equipment – Expanding the Recommended Environmental Envelope*;
- [27] M. K Patterson – *The Effect of Data Center Temperature on Energy Efficiency*;
- [28] F. Guiducci - *HP Data Center Transformation - Critical Facilities Services* ;
- [29] APC, Panduit, CISCO - *Considerazioni sulla Realizzazione di un Data Center Versione 2.1*;

- [30] EMC Corporation – *The Efficient, Green Data Center*;
- [31] STULZ - Presentazione Mazzetto – *Il risparmio energetico negli impianti di condizionamento*;
- [32] www.archrock.com - *Arch Rock Energy Optimizer in Action*;
- [33] <http://hightech.lbl.gov/presentations/2009-09-29-smud.pdf>;
- [34] <http://hightech.lbl.gov/presentations/2009-11-10-att.pdf>;
- [35] <http://hightech.lbl.gov/presentations/save-energy-now-08-09.pdf>;
- [36] IBM Red Books - *The Green Data Center: Steps for the Journey*;
- [37] http://www.uniflair.com/EN/prodotti/dettaglio_prodotto.aspx?IDFam=123;
- [38] S. Paggi-Slide del Corso "Progetto di Impianti"-Uni. degli studi di Roma La "Sapienza";
<http://net.infocom.uniroma1.it/corsi/impianti/impianti.htm>;
- [39] www.vmware.com;
- [40] http://datacenterpulse.org/downloads/DCP09_National_DC_Energy_Program-FINAL.pdf;
- [41] <http://www.uptimeinstitute.org/>;
- [42] M. Beckert, D. Boyington - *Realizing Data Center Savings with an Accelerated Server Refresh Strategy* - www.intel.com/IT ;
- [43] K. Darrow, B. Hedman - *Opportunities for Combined Heat and Power in Data Centers* – ICF International;
- [44] White Paper Sun - *CONTAINERIZED DATACENTERS LOWER CAPITAL AND OPERATING COSTS New Options with Sun Microsystems and Active Power Containerized Datacenter Solutions*
- [45] T. Velte, A. Velte, R. Elsenpeter – *Green IT - Reduce Your Information System's Environmental Impact While Adding to the Bottom Line* – The McGraw Hill companies;
- [46] M. Poniatowski – *Foundation of Green IT*;
- [47] L. A. Barroso, U. Hölzle - *The Datacenter as a Computer - An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines* - Morgan & Claypool Publishers;
- [48] G. Schulz - *The Green and Virtual Data Center* – CRC Press Taylor & Francis Group;
- [49] <http://hightech.lbl.gov/training/dc-training.htm>;
- [50] <http://hightech.lbl.gov/datacenters.html>;
- [51] European Commission - *Code of Conduct on Data Centres 2008*;
http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative.htm;
- [52] http://www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=find_a_product.showProductGroup&pgw_code=DC
- [53] <http://www.efficient-servers.eu>
- [54] www.cio.com
- [55] www.metagyre.com
- [56] www.rittal.it
- [57] www.spec.org
- [58] www.itic.org
- [59] http://leotardi.no-ip.com/html/hd/ssdimages/Open_HDD_and_SSD.JPG
- [60] G. Tomassetti, D. Forni, D. Mastropiero, V. Dettoli. E. Ferrero – RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO
– *Promozione delle elettrotecnologie innovative negli usi Finali*;
- [61] www.fire-italia.org

ACRONIMI

AC = Alternating Current
ASHRAE = American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning
BEM = Building Energy Management
CA = Corrente Alternata
CAD = Computer Aided Design
CC = Corrente Continua
CED = Centro Elaborazione Dati
CEMEP = Comité Européen de Constructeurs de Machines Electriques et d'Electronique de Puissance
CFD = Computational Fluid Dynamics
CHP = Combine Heat and Power
CPU = Central Processing Unit
CRAC = Computer Room Air Conditioner
DC = Direct Current
DCiE = Data Center Infrastructure Efficiency
DDR = Double Data Rate
DRAM = Dynamic Random Access Memory
EER = Energy Efficiency Ratio
EMPE = Efficienza Media Ponderata in Regime Estivo
ESEER = European Seasonal Energy Efficiency Ratio
ETSI = European Telecommunications Standards Institute
FLOPS = Floating Point Operations Per Second
HDD = Hard Disk Drives
HVAC = Heating Ventilation and Air Conditioning
HW = Hardware
IOPS = Input/Output Operations Per Seconds
IPLV = Integrated Partial Load Value
IT = Information Technology
MCI = Motori a Combustione Interna
PDU = Power Distribution Unit
PFC = Power Factor Correction
PSU = Power Supply Unit
PUE = Power Usage Effectiveness
PWM = Pulse Width Modulation
RAM = Random Access Memory

ROI = Return on Investment

SAN = Storage Area Network

SATA= Serial Advanced Technology Attachment

SDRAM= Synchronous Dynamic Random Access Memory

SMPS = Switched Mode Power Supply

SSD=Solid State Disk

SW=Software

TEV = Thermostatic Expansion Valve

THDi= Total Harmonic Distortion

TIA = Telecommunication Industry Association

UPS = Uninterruptible Power Supply

UTA=Unità Trattamento Aria

VA=Volt Ampere

VRLA = Valve Reguated Lead Acid

NOTE SUGLI AUTORI

Marco Bramucci è ingegnere termomeccanico e collabora con la Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia (FIRE) sui temi della cogenerazione e delle tecnologie efficienti.

Dario Di Santo è Direttore della Federazione Italiana per l'Uso Razionale dell'Energia (FIRE). E' ingegnere esperto di tematiche energetiche e fonti rinnovabili. Rappresenta la Federazione presso Istituzioni ed eventi e di diverse iniziative volte alla promozione dell'uso razionale dell'energia, al monitoraggio dell'andamento del mercato energetico ed all'individuazione delle problematiche incontrate dagli utenti finali relativamente all'utilizzo dell'energia.

Daniele Forni è Responsabile Tecnico della Federazione Italiana per l'Uso Razionale dell'Energia (FIRE). E' ingegnere esperto di tecnologie efficienti e di normativa tecnica in ambito energetico ed impiantistico.