



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Definizione di algoritmi e indicatori per l'efficiamento dei centri
di elaborazione dati (CED)

Marta Chinnici, Andrea Quintiliani

DEFINIZIONE DI ALGORITMI E INDICATORI PER L'EFFICIENTAMENTO DEI CENTRI DI
ELABORAZIONE DATI (CED)

Marta Chinnici, Andrea Quintiliani (ENEA)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e Risparmio nell'Uso dell'Energia Elettrica

Progetto: Studi e Valutazioni sull'Uso Razionale dell'Energia: Strumenti e tecnologie per
l'efficienza energetica nel settore dei servizi

Responsabile Progetto: Ilaria Bertini, ENEA

INDICE

1 Quadro di riferimento: Consumi energetici nei centri di elaborazione dati (CED)	4
2 Introduzione al Life Cycle Energy assessment	6
3 Indici di prestazione energetica.....	7
4 Best Practice	9
4.1 IT equipment	9
4.2 Sistemi di alimentazione.....	14
4.3 Sistema di condizionamento e raffreddamento.....	16
5 Normative e policy.....	18

1 Quadro di riferimento: Consumi energetici nei centri di elaborazione dati (CED)

L'efficienza energetica è considerata da anni un obiettivo rilevante nelle politiche dell'Unione Europea. L'Europa dipende infatti per oltre il 50% del proprio consumo energetico da paesi extra-UE e punta ove possibile a promuovere l'impiego delle energie rinnovabili per limitare nel tempo gli effetti di questa dipendenza. Oggi a questa esigenza si è aggiunta la necessità di limitare le emissioni di carbonio per contribuire alla riduzione dell'effetto serra. L'UE punta, infatti, ad abbattere del 20% le emissioni di gas ad effetto serra entro il 2020, promuovendo sia l'impiego delle energie rinnovabili sia limitando i consumi energetici. Nel corso dell'ultimo anno il tema dell'efficienza energetica è fra le principali priorità dell'agenda politica e della sensibilità sociale poiché da sola è in grado di fornire maggiore contributo alla riduzione delle emissioni di carbonio. In Italia l'efficienza energetica è un obiettivo importante data la sua forte dipendenza dall'estero per l'approvvigionamento e gli elevati prezzi dell'energia. Le tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT) possono giocare un ruolo importante per il conseguimento di obiettivi di efficienza energetica. Da una parte, infatti, le tecnologie ICT tendono, a diminuire i propri consumi di energia elettrica, diventando maggiormente efficienti (Green ICT); dall'altra esse si configurano come enabling technologies in grado di favorire la realizzazione di nuovi modelli operativi maggiormente eco-sostenibili (videoconferenze, tele-lavoro) e di contribuire ad abbassare i consumi energetici, aggiungendo "intelligenza" a sistemi complessi (edifici, soluzioni logistiche, trasporti pubblici) oltre che a singoli impianti (veicoli, elettrodomestici, impianti di produzione), consentendo di ottimizzare le operazioni nell'ottica di un minore consumo di energia.

Lo scenario vede questo fenomeno facilitato anche dalle politiche perseguite a livello europeo. Una serie di azioni sono state dirette dalla Commissione Europea nello specifico a favorire l'adozione di soluzioni innovative ICT-based per ottenere incrementi dell'efficienza energetica in molteplici ambiti. Il tema dell'efficienza energetica presenta numerose complessità; una risposta completa alla problematica può venire dall'utilizzo di una metodologia opportuna per affrontare questo tipo di tematiche.

Nell'ambito più specifico del Green ICT, va sottolineato innanzitutto il crescente peso dei consumi energetici nei **centri di elaborazione dati (CED)**, legato principalmente alla crescita della potenza elaborativa concentrata in questi ambienti.

La crescente diffusione dell'informatica in molti settori, quali quello bancario, il commercio elettronico, l'intrattenimento e la sanità, solo per citarne alcuni, ha portato a un rapido sviluppo dei centri di elaborazione dati (CED), dovuta all'esigenza di una sempre crescente capacità di elaborazione. Di conseguenza la gestione dei processi e dei sistemi IT e dei CED sta emergendo come un settore il cui impatto ambientale richiede una crescente attenzione a una gestione efficiente del consumo energetico. E' stato stimato¹ che negli USA i server e i CED nel 2006 hanno consumato 61 miliardi di chilowattora (kWh), corrispondenti al 1.5% del consumo totale di energia elettrica nel paese. Questa stima corrisponde approssimativamente al consumo di 5,8 milioni di utenze domestiche. Il rapporto prevede un raddoppio nell'arco di cinque anni. Anche secondo il rapporto Smart 2020 del GESI questo settore risulterebbe essere il contribuente a maggiore crescita all'interno del settore ICT, con tassi di crescita delle emissioni che contribuiscono all'effetto serra intorno a un valore del 7% annuo.

¹ U.S. Environmental Protection Agency. Report to congress on server and data center energy efficiency public law 109-431. Technical report, ENERGY STAR Program, August 2007

Il rapporto dell'EPA indica che vi è la possibilità di ridurre tale consumo almeno del 25% utilizzando le tecnologie e strategie di progettazione già oggi esistenti. Molte ricerche in corso mostrano che questo miglioramento può essere aumentato considerando diversi aspetti in un CED. I centri di calcolo, d'altra parte, sono la tipologia di infrastruttura ICT nella quale è possibile realizzare interventi particolarmente significativi relativamente al tema dell'efficienza energetica.

Un centro di calcolo è principalmente diviso in tre parti:

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

Ogni parte è costituita da svariati componenti ognuno dei quali è caratterizzata da una propria efficienza che si riflette su quella totale del centro di calcolo. E' quindi 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 dei dati, ecc.

La divisione principale è tra la gestione dell'infrastruttura (edificio e sala macchine) e la gestione delle apparecchiature IT (server e dispositivi diversi). E' importante che queste due aree tecnologiche interagiscano e si relazionino nel migliore dei modi.

Una delle operazioni fondamentali per ottenere un'elevata efficienza energetica del centro di calcolo è la stima dei consumi delle apparecchiature che lo compongono. In una normale sala CED, circa la metà dell'energia elettrica utilizzata viene assorbita dai carichi IT. L'altra metà della spesa per il consumo di energia elettrica è costituita dall'acquisto di elettricità destinata a far funzionare il sistema di alimentazione, di raffreddamento e quello di illuminazione. La componente all'interno delle apparecchiature IT che richiede la maggiore potenza è la CPU.

La **Figura 1** illustra il breakdown dei consumi in un Centro di calcolo tipico. I tre grandi blocchi maggiormente responsabili dei consumi energetici sono, in ordine crescente, alimentazione, raffreddamento ed IT equipment. L'energia consumata dalle macchine elettriche e dalle apparecchiature elettroniche si trasforma in buona parte in calore che deve essere dissipato; aumentando l'efficienza di questi dispositivi oltre a diminuire i consumi diretti si riduce anche la richiesta degli impianti di raffreddamento.

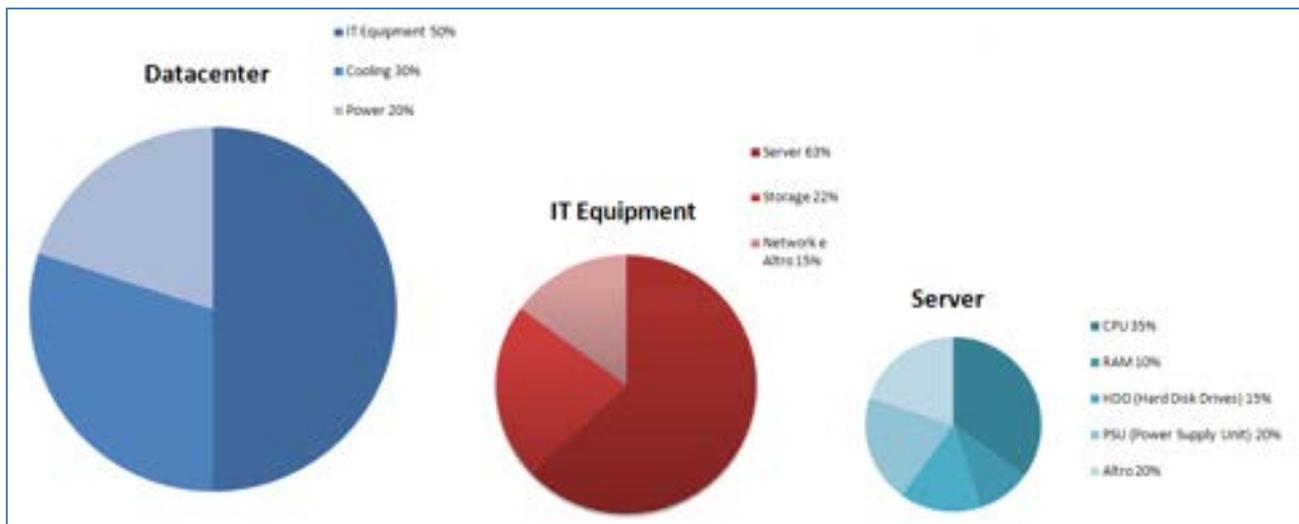


Figura 1 Percentuali di consumo all'interno di un datacenter

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: queste infrastrutture tipicamente elaborano dati 24 ore al giorno senza interruzioni e molte volte con un carico costante, ovvero senza grandi variazioni tra il giorno e la notte. 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 registrarle 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.

2 Introduzione al Life Cycle Energy assessment

Quasi invariabilmente l'introduzione di nuovi prodotti, veicoli o dispositivi che consumano meno energia viene presentata come un miglioramento del consumo energetico complessivo. Ma altrettanto invariabilmente non viene presentato il quadro nella sua interezza. Il problema è quindi tener presente che, affinché un nuovo prodotto, sostituendo un prodotto di largo consumo, possa effettivamente portare ad un miglioramento nell'efficienza energetica complessiva, occorre considerarne l'intero ciclo di vita su un periodo di tempo adeguatamente lungo (**Life Cycle Energy Assessment**). Non basta che il prodotto "consumi meno" durante la fase d'uso, perché tale fase è solo un tassello del mosaico. Occorre poi verificare che un tasso di sostituzione troppo serrato di vecchi prodotti (che potrebbero durare ancora molti anni) con nuovi e più efficienti, non generi sul medio/lungo periodo un'inefficienza complessiva. Infine, è necessario considerare eventuali nuovi usi o comportamenti sociali indotti dal nuovo prodotto, che potrebbero vanificare il miglioramento atteso a causa di un utilizzo più intenso, diffuso o prolungato.

Alcuni punti che vale la pena evidenziare sono:

1. Necessità di un'*analisi energetica completa* del sistema da ottimizzare, che richiede spesso competenze multi-disciplinari difficili da reperire in una singola organizzazione o team di progetto.
2. Disponibilità di *dati precisi e accurati*, preferibilmente derivanti da misure sul campo, per caratterizzare i consumi del sistema e stimarne i margini di miglioramento, nonché, a posteriori, per verificare l'effetto delle misure di risparmio adottate.
3. Disponibilità di *metodi efficaci e completi per la caratterizzazione delle diverse soluzioni* di risparmio energetico e la stima precisa delle riduzioni ottenibili.
4. *Complessità della logica e dell'infrastruttura di controllo*, che cresce con la complessità del sistema da controllare, fino al punto in cui l'investimento e i tempi richiesti per la realizzazione e l'utilizzo supera i benefici ottenibili. Anche quando l'infrastruttura di controllo risultasse un investimento conveniente sul medio-lungo periodo, il costo iniziale di implementazione potrebbe costituire una barriera all'adozione, in particolare in periodi di crisi economica, quando l'obiettivo di molte imprese è la riduzione dei costi sul breve-brevissimo periodo a fronte di investimenti minimi.
5. *Problema di mantenimento del pregresso*. Non è pensabile una sostituzione complessiva con tecnologie *eco-friendly* in quanto il costo sarebbe superiore ai benefici conseguibili in risparmio energetico.
6. Necessità di considerare sempre anche gli *aspetti non tecnologici*, in particolare quelli legati alla gestione delle risorse umane e all'organizzazione aziendale, che necessariamente devono accompagnare le soluzioni tecniche. Infatti, bisogna tener conto che:
 - in molti casi, la soluzione impone una revisione dei processi e un nuovo "modus operandi" che va a impattare sull'organizzazione e richiede un ripensamento di ruoli e competenze;
 - molte soluzioni tecnologicamente avanzate, ed estremamente vantaggiose sulla carta, non sono poi utilizzate perché non adeguatamente presentate, supportate, inquadrare in servizi opportuni.

3 Indici di prestazione energetica

Valutare l'efficienza energetica di un centro di calcolo è un'operazione complessa. A livello internazionale, nel 2010 i quattro attori 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. La priorità è stata quella di individuare un indice comune per definire l'efficienza energetica, valutando il lavoro utile in uscita dal CED in rapporto all'energia consumata. La scelta è stata quella dell'indice PUE (Power Usage Effectiveness), che valuta l'efficienza del CED confrontando le potenze elettriche assorbite dalle varie apparecchiature, e del suo inverso DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency).

Il PUE è definito come segue:

$$\text{PUE} = \text{Potenza totale} / \text{Potenza IT} \quad (1)$$

ed il suo reciproco il **data center infrastructure efficiency** (DCiE) è:

$$DCiE = 1/PUE = (\text{Potenza IT}/\text{Potenza totale}) \times 100\% \quad (2)$$

Dove per:

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

Per definire, quindi, i calcoli dell'efficienza energetica del CED, è fondamentale definire chiaramente quale energia costituisce il **carico IT** e quale energia è relativa all'**infrastruttura fisica**. Come è stato detto in precedenza, i server e i dispositivi di archiviazione sono valutati all'interno del carico IT mentre l'UPS e le unità di raffreddamento/trattamento dell'aria come infrastruttura fisica (**Figura 2**).

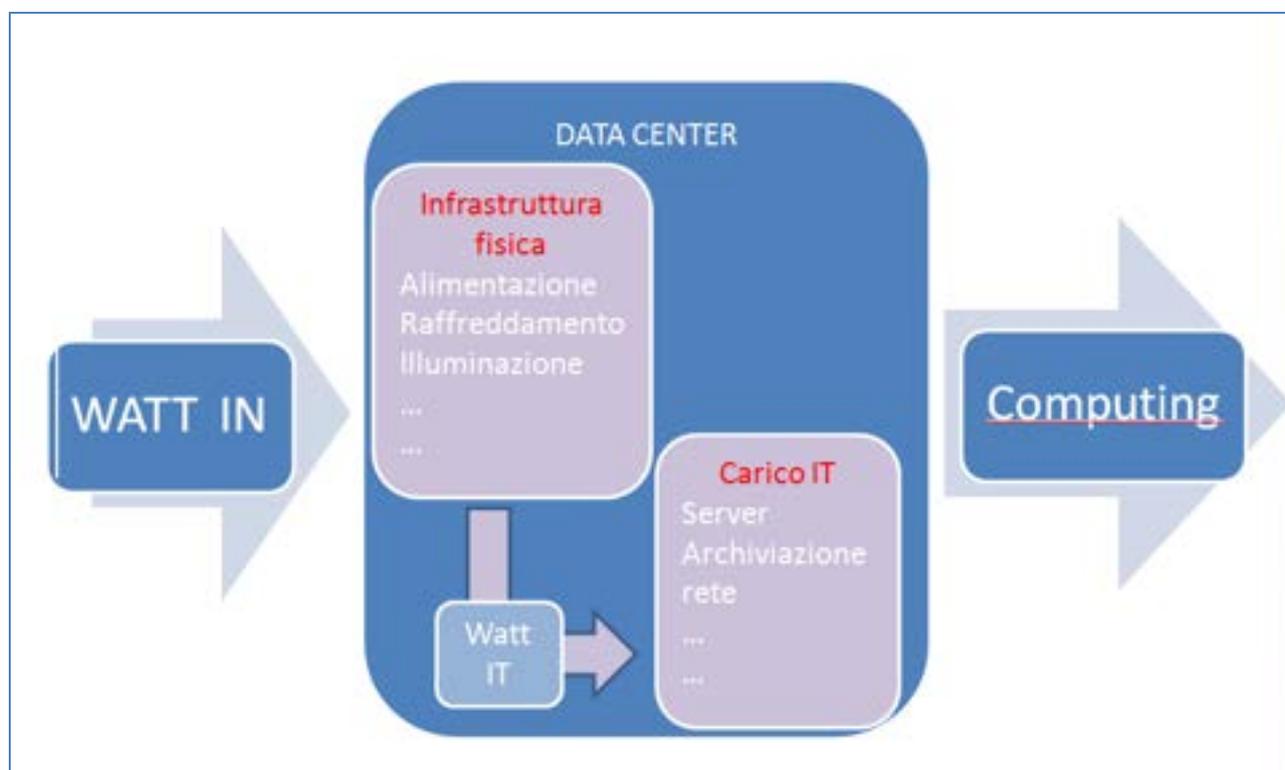


Figura 2: illustrazione dei carichi energetici in un CED

Sono state definite diverse categorie di PUE (**Tabella 1**). Ad esempio 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%. Per avere una buona efficienza energetica si dovrebbe arrivare all'incirca a valori di 1,2÷1,5, valori attualmente raggiunti da server farm come quella di Google (PUE=1,2).

PUE	DCiE	Level of Efficiency
3.0	33%	Very Inefficient
2.5	40%	Inefficient
2.0	50%	Average
1.5	67%	Efficient
1.2	83%	Very Efficient

Tabella 1: valori del PUE e DCiE

4 Best Practice

Le best practice volte al miglioramento dell'efficienza energetica nei CED, come ad esempio le EU best practices for data centres², si basano su risparmi energetici dovuti alla gestione dinamica dei server a seconda del carico, alla server consolidation e tecniche di virtualizzazione, sullo sviluppo di componenti IT a basso consumo energetico e sulla progettazione di un ambiente energeticamente efficiente per i CED, con particolare attenzione al riscaldamento e al raffreddamento dei locali. Si stanno cominciando anche ad analizzare anche le caratteristiche delle applicazioni software. Inoltre, negli ultimi anni i grandi sistemi IT e i CED stanno cominciando ad adottare il paradigma basato sui servizi, in cui le risorse disponibili sono condivise tra più utenti o aziende, come nel software-as-a-service (SaaS) o nel cloud computing.

4.1 IT equipment

All'interno degli IT Equipment si includono oltre ai server, anche i sistemi di storage, networking, stampanti, fax e tutte le apparecchiature elettroniche 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 le principali apparecchiature sono i server. A titolo di esempio nella Tabella 2 sono elencate le principali parti di una tipica unità server con le relative potenze di assorbimento³.

² EU Stand-by Initiative. 2010 Best practices for the EU code of conduct on data centres. Technical report, December 2009.

³ Environmental Protection Agency - Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency - Public Law 109-431 U.S., August 2, 2007.

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 2: Maggiori consumi in un tipico server

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 condizionamento 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. La scelta delle apparecchiature informatiche – i server con tutti i loro componenti – non deve essere vista solo dal punto di vista delle prestazioni, in termini di velocità di calcolo; è bene considerare il parametro operazioni al secondo in rapporto ai Watt assorbiti (Operations per Second/W). Si tratta di un dato misurato per molti server dall'ente **SPEC** (Standard Performance Evaluation Corporation), che individua i benchmark del mercato dell'informatica e li rende disponibili on-line. La scelta di un server efficiente porta con sé dei vantaggi indiretti: una minore produzione di calore che dovrà essere smaltito e una minore necessità di potenza elettrica di cui garantire qualità e continuità. Nella selezione delle apparecchiature possono essere di aiuto alcuni programmi volontari che classificano ed etichettano le più efficienti. **Energy Star** (programma EPA e DOE) è il marchio più diffuso per server, PC, desktop, monitor e stampanti, mentre nel caso degli alimentatori è disponibile il programma 80 PLUS (www.80plus.org).

La loro funzione però può essere garantita solo dalla presenza di un adeguato sistema di alimentazione e condizionamento. Il primo deve garantire continuità e qualità elettriche, mentre il secondo deve smaltire il calore prodotto dagli altri componenti, evitando surriscaldamenti che porterebbero al fermo dei sistemi, con i relativi danni per il blocco delle attività, o anche a guasti permanenti delle apparecchiature.

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.

4.1.1 Buone Pratiche IT Equipment

Di seguito sono indicate alcune tecnologie informatiche efficienti, che devono essere prese in considerazione nella progettazione di un nuovo datacenter o nella ristrutturazione di uno esistente.

Blade server

È una particolare tipologia di server che include un'elevata concentrazione di componenti informatici (CPU, RAM, storage, etc.) condividendo gli organi ausiliari (alimentatori e ventilatori). Questa tipologia di server può essere introdotta sia su rack nuovi, sia in sostituzione della configurazione classica. Per fare un esempio 14 blade o "lame" occupano lo spazio di 7 server classici. Tale soluzione consente dunque l'eliminazione di alcune unità di tipologia classica sostituendole con altre di tipo blade, che possono considerarsi ad alta densità di componenti ed elevata potenzialità di calcolo. Aumentando le potenzialità di calcolo in un minore spazio si avrà però un notevole incremento di calore per unità di area, fino a 28 kW per rack, per cui si dovranno prevedere appositi sistemi di raffreddamento. Questa tipologia di server garantisce un risparmio complessivo rispetto alla configurazione classica di circa il 10%, a parità di potenza di calcolo.

Storage

La scelta della tecnologia di sistemi storage allo stato solido SSD (Solid State Drives) rispetto alla tecnologia classica HDD (Hard Disk Drives) può dare vantaggi sia dal punto di vista dei consumi che della velocità di accesso ai dati. Gli SSD, infatti, presentano consumi inferiori e producono meno calore. La velocità di accesso ai dati in un sistema di storage viene misurata in operazioni di input ed output per secondo (IOPS, Input/Output Operations per Second). Nel caso di HDD, con velocità di rotazione di 15.000 rpm, sono possibili 300 IOPS, mentre nel caso degli SSD si può arrivare a 30.000 IOPS per unità. Così per avere la stessa velocità di Input/Output dei dati di una unità SSD sono necessarie 100 unità HDD. Secondo stime Sun/Oracle il rapporto IOPS/Watt per gli SSD è di circa 10.000, mentre nel caso dei HDD è circa 20. A parità di IOPS il consumo degli HDD è circa 500 volte superiore. (10.000/20) La diffusione degli SSD è frenata dai costi ancora molto elevati rispetto ai tradizionali HDD.



Figura 3: Confronto IOP/Watt SSD e HDD a 15.000 rpm e 7.200 rpm⁴

Virtualizzazione

La virtualizzazione è uno degli strumenti che fornisce i maggiori risparmi energetici, permettendo di sfruttare al massimo le potenzialità delle macchine a disposizione. Questa tecnica consente di avere all'interno di una macchina fisica diversi "server virtuali", ognuno dei quali ha sistemi operativi specifici per le funzioni che dovrà svolgere. Si ottimizzano così le prestazioni hardware rispetto ai software impiegati. Questo intervento riduce in maniera rilevante i consumi energetici, in quanto permette il consolidamento di alcune macchine, con tempi di ritorno dell'investimento brevi, sebbene difficili da quantificare in quanto legati alla configurazione del sistema da virtualizzare.

La virtualizzazione, sfruttando al massimo le potenzialità dei server, porta alla formazione di punti caldi all'interno della sala. A volte può dunque essere necessario prevedere opportuni sistemi di raffreddamento puntuale sui server che contengono le macchine virtuali.

Tra i principali vantaggi derivanti dall'adozione della virtualizzazione troviamo:

- maggiore flessibilità;
- migliore gestione dei processi (ad es. scambio degli utenti e dei processi sui server);
- facile gestione degli utenti (ad es. spegnimento fisico della macchina in caso di mancati utenti);

⁴ Atti convegno Sun, 2 Marzo 2010, Roma – Implementare e gestire i Data Center virtualizzati

- riduzione del numero delle macchine;
- riduzione dei costi di gestione (alimentazione e raffreddamento);
- maggiore spazio a disposizione del data center;

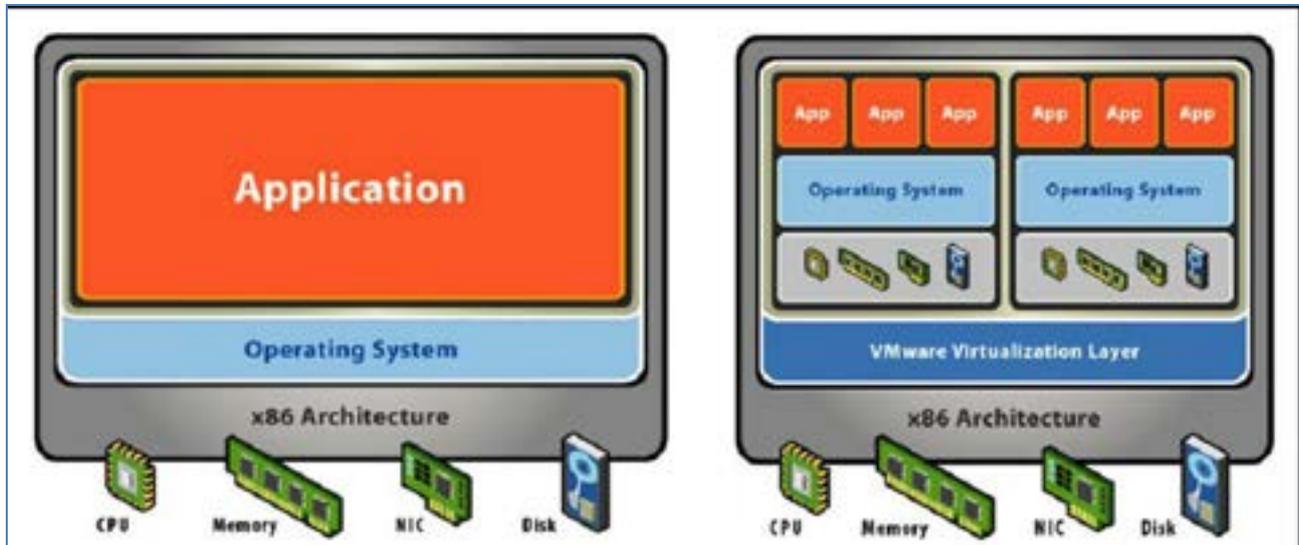


Figura 4: Sistema informatico prima e dopo la virtualizzazione⁵

Ovviamente è bene sapere a priori a che tipo di utenti è destinato il CED perché i vantaggi della virtualizzazione possono non essere gli stessi nel caso in cui il sistema informatico deve rispondere ad esigenze di calcolo avanzato (ad es. calcolo parallelo).

Consolidamento

Nel caso in cui la progettazione di un nuovo datacenter includa anche una parte già costruita, è bene considerare la possibilità di sostituire le macchine vecchie con altre nuove. Le potenzialità di calcolo di processori e memorie sono caratterizzate da un'evoluzione talmente rapida che – secondo stime Intel – ogni quattro anni è possibile effettuare la completa sostituzione di tutte le macchine con quelle di ultima generazione ed avere dei benefici. Nella Figura è possibile vedere un esempio di consolidamento di nove armadi rack del 2005 con un solo rack del 2009. Questo permette una riduzione della potenza richiesta di circa 10 volte.

⁵ Fonte: www.vmware.com



Figura 5: Un esempio di consolidamento di server del 2005 con un server del 2009⁶

Software

Anche il software (SW) – inteso come software di sistema - è da tenere in considerazione per valutare i consumi energetici dell' hardware. La scelta del software di elaborazione dati può avere anche essa effetti sull'efficienza energetica. In alcuni casi software che svolgono le stesse operazioni richiedono una percentuale di utilizzazione della CPU differente. Spesso le operazioni svolte all'interno di un'applicazione sono ripetitive e un software che richiede minori calcoli alla CPU, e perciò minore energia per svolgere le stesse funzioni, può dare risultati interessanti.

4.2 Sistemi di alimentazione

L'alimentazione in ingresso alle apparecchiature IT deve essere continua e di alta qualità. Molto spesso, invece, l'energia elettrica presenta elementi di disturbo che possono danneggiare le macchine o interferire con il loro funzionamento. Le principali apparecchiature della catena di alimentazione elettrica sono:

- gruppi di continuità o UPS;
- unità di distribuzione dell'alimentazione o PDU;
- alimentatori o PSU;
- cavi.

Per quanto riguarda i gruppi di continuità, la scelta deve essere fatta in modo da garantire non solo la massima protezione del carico da disturbi e discontinuità di alimentazione, ma anche un'elevata efficienza. Gli UPS oggi disponibili sul mercato si dividono in statici e dinamici o rotanti. Gli UPS statici sono costituiti da raddrizzatore, inverter e gruppo batterie. Il raddrizzatore trasforma la corrente da AC in DC per la ricarica delle batterie, mentre l'inverter la trasforma da DC in AC alimentando l'utenza finale. Nella doppia trasformazione l'energia proveniente dalla rete viene opportunamente filtrata eliminando eventuali disturbi. Gli UPS statici di ultima generazione possono avere tre diverse modalità di funzionamento:

⁶ Fonte: www.intel.com

- doppia conversione, quando si ha il passaggio sia nel raddrizzatore che nell'inverter; è la modalità di funzionamento con minore efficienza energetica, ma con massima protezione del carico;
- funzionamento interattivo, quando si ha il passaggio solo nell'inverter, utilizzato come filtro attivo, che provvede alla pulizia dell'alimentazione; è una modalità di funzionamento con minori perdite rispetto alla precedente, per il mancato passaggio nel raddrizzatore;
- funzionamento interattivo con by-pass, quando, a seguito di una valutazione della purezza del segnale in ingresso, si ha l'esclusione del passaggio sia nel raddrizzatore che nell'inverter; è una modalità di funzionamento con bassissime perdite, attivabile nei momenti in cui la linea di alimentazione non è disturbata.

La modalità di funzionamento più indicata per valutare l'efficienza energetica di un UPS statico è quella in doppia conversione (detta anche on-line) che garantisce la completa protezione dai disturbi dell'utenza finale. Ogni UPS viene dimensionato per il carico che deve alimentare, indicato in kVA, e la sua efficienza (rapporto tra la potenza elettrica in uscita rispetto a quella in entrata, misurate in kVA) è massima per valori di carico prossimi a quello massimo. Negli UPS di ultima generazione, benché l'efficienza sia più costante al diminuire del carico, la tendenza è quella di ricorrere a gruppi modulari che possano adeguarsi alle condizioni di carico richieste e lavorare nella parte di curva a più alta efficienza. L'energia persa nella conversione si trasforma in calore, che deve essere estratto da appositi sistemi; di conseguenza maggiore sarà l'efficienza, minore il raffreddamento richiesto e minori i costi di gestione della struttura protetta.

Gli UPS dinamici o flywheel (FW) svolgono la stessa funzione di quelli statici, ma possono essere installati anche senza la presenza delle batterie, nel qual caso, però, garantiscono continuità di alimentazione per circa 10-15 secondi e dunque o vengono accoppiati a gruppi elettrogeni, o la copertura offerta riguarderà solo i disturbi transitori e di breve durata della corrente. I FW sono formati da un volano, che viene messo in rotazione ad alta velocità accumulando energia cinetica, convertita in energia elettrica in caso di interruzione dell'alimentazione. Per garantire l'erogazione dell'energia per un periodo prolungato è necessaria la presenza delle batterie e/o di un gruppo elettrogeno, che può essere avviato dalla flywheel. Nel caso di integrazione con le batterie la presenza del FW ne aumenterà la vita utile, diminuendo il numero di cicli carica/scarica a cui sono sottoposte. Gli UPS dinamici sono caratterizzati da rendimenti elevati, intorno al 96-97%. Essi presentano inoltre il vantaggio di poter operare in condizioni ambientali meno restrittive di quelle richieste dagli UPS statici, con possibili vantaggi di riduzione dei consumi per il condizionamento.

Nella scelta della tipologia del gruppo di continuità, si devono tenere in considerazione le caratteristiche della rete del luogo di costruzione: pochi disturbi permettono agli UPS statici di ultima generazione di lavorare in by-pass con altissimi rendimenti, se i carichi lo permettono, mentre la forte presenza di disturbi di durata al massimo di qualche secondo consiglia di valutare il ricorso a UPS rotanti.

La valutazione dovrebbe sempre essere effettuata, considerando le caratteristiche specifiche di ogni installazione, con un'analisi del costo del ciclo di vita (Paragrafo 2), che tenga in conto anche i costi di condizionamento, manutenzione, etc.

4.3 Sistema di condizionamento e raffreddamento

Il sistema di condizionamento della sala CED e/o raffreddamento dei componenti è il maggiore responsabile del consumo di energia non IT in un data center (Figura 1). 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 personale, ecc ... Per ogni componente si calcola l'effettivo calore da dissipare emesso nella sala CED. I sistemi di server ad alta densità producono sempre più calore fino a dissipare molti kW per metro quadro di superficie ed anche la tipica configurazione - che oggi è presente nella maggior parte delle sale CED - raffreddamento tramite aria che fluisce su un pavimento flottante, non è all'altezza di diminuire il calore.

Si possono avere diversi tipi di sistemi di refrigerazione delle apparecchiature:

1. Sistemi di condizionamento tradizionali della sala CED (corridoio caldo/freddo)
2. Sistema di raffreddamento per file o per unità (rack)
3. Sistemi di raffreddamento a liquido di precisione dei componenti.

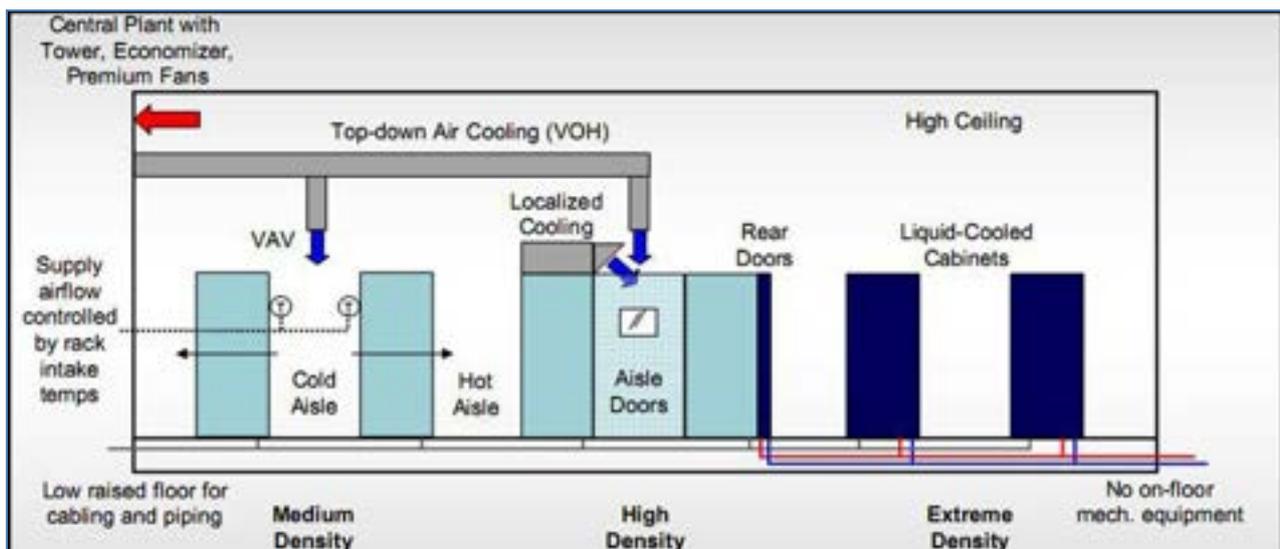


Figura 6: Possibile evoluzione dei sistemi di refrigerazione in un datacenter⁷

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.

⁷ www.ancis.us

L' affidabilità del sistema di raffreddamento è una delle caratteristiche fondamentali dei nuovi data center 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.

Quindi, i parametri principali da considerare per la progettazione del sistema di raffreddamento sono:

- la potenza termica totale da dissipare sviluppata da tutte le apparecchiature presenti;
- la distribuzione spaziale della potenza termica da dissipare con individuazione dei "punti caldi" o "hot spot";
- il sistema di raffreddamento da utilizzare;
- la temperatura di funzionamento delle macchine.

In dettaglio, le caratteristiche tecniche di un impianto di condizionamento ad alta efficienza sono:

- il controllo continuo di temperatura e umidità;
- il sistema di regolazione ottimizzato in base alle effettive richieste dalle macchine;
- l'impianto di condizionamento con componenti ad alta efficienza – motori di pompe e ventilatori ad alta efficienza e velocità variabile – uso del sistema **free-cooling**; – chiller con elevati EER (Energy Efficiency Ratio).

4.3.1 Gestione della temperatura

L'infrastruttura di raffreddamento occupa una parte significativa di un data center. Il numero di server e macchine presenti all'interno, durante il loro funzionamento, producono un elevato calore. Per evitare il surriscaldamento e il conseguente danneggiamento dei componenti IT, è necessario raffreddarli continuamente, e tenerli ad una temperatura costante. Per questo scopo si utilizza un sistema di raffreddamento che comprende refrigeratori, pompe e ventole. La temperatura e l'umidità scelte all'interno della sala sono, quindi, due fattori che possono influenzare in maniera rilevante l'efficienza energetica del centro di calcolo. Da questi valori dipendono, infatti, i consumi energetici degli impianti di climatizzazione, che generalmente rappresentano circa il 30% dei consumi totali. La scelta della temperatura della sala va decisa in fase di progettazione, insieme alle caratteristiche delle apparecchiature informatiche e del sistema di condizionamento.

Un innalzamento della temperatura interna può consentire da una parte di diminuire il consumo del sistema di raffreddamento (e aumentare le ore annue di funzionamento del sistema di free-cooling nel caso fosse presente) dall'altra, però, riduce il tempo a disposizione per l'intervento nel caso di blocco del sistema di raffreddamento. La scelta della temperatura interna è quindi un intervento interessante che richiede accurate valutazioni.

L'Ente europeo ETSI (European Telecommunications Standards Institute) con la norma ETSI EN 300 019-1-3 e l'associazione ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning) hanno definito delle norme per la regolazione della temperatura e umidità all'interno dei centri di calcolo. La tabella sottostante sintetizza i parametri di temperatura ed umidità che sono stati identificati.

	ASHRAE 2008	ETSI EN 300 019-1-3
T min	18°C	
T max	27°C	
UR min	Temp. di condensazione 5,5 °C	
UR max	69 % e Temp. di condensazione 15 °C	

5 Normative e policy

Alcune recenti iniziative dell'EU e vari interventi della Commissione Europea hanno messo in luce la necessità di conferire maggiore attenzione al tema dell'efficienza energetica nei data centre. Infatti, il centro di ricerca della Commissione Europea (JRC - Joint Research Centre, Institute for Energy) ha pubblicato nel novembre 2008 un nuovo Codice di Condotta per l'Efficienza Energetica nei Data Centre⁸. Il codice è un programma volontario che si avvale del contributo attivo di vendor, esperti del settore, ricercatori, gestori di data centre e operatori di ogni parte del mondo. E' stato concepito per sensibilizzare il settore in merito alle opportunità di efficienza economica ed energetica, fornendo una guida alle iniziative da intraprendere e ai cambiamenti da attuare per migliorare l'efficienza delle infrastrutture data centre e delle apparecchiature IT. Tra gli altri argomenti affrontati dal Codice figurano la scelta del software e le politiche di gestione energetica, con l'obiettivo di aiutare le aziende a comprendere e gestire meglio l'uso dell'energia in ogni aspetto dell'IT nell'ambito dei data centre. Il Codice si applica a tutte le tipologie di operatori di data centre, tra cui qualunque soggetto che utilizzi dispositivi IT (compresi apparecchi di telecomunicazione) ospitati all'interno di un data centre. All'interno del codice vi è una parte dedicata all'implementazione delle best practice al fine di offrire agli operatori del settore l'opportunità di minimizzare gli sprechi di energia a tutti i livelli del data centre; quindi, operare in maniera di gran lunga più efficiente in termini sia di costi che di energia.

L'Italia, sino ad ora, non sembra aver affrontato con determinazione la tematica del green-computing, peraltro assente anche nel Piano d'azione presentato dal Governo nel 2007 in ottemperanza alla direttiva 2006/32/CE. Questa direttiva obbliga gli Stati membri ad un efficientamento energetico pari all'1,5% annuo a partire dal 2007 e sino al 2012; tale impegno

⁸ http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative_data_centers.htm

dovrebbe poi giungere all'obiettivo di efficienza energetica del 20% entro il 2020. Di questa quota, il Piano d'Azione indica il contributo delle imprese pari al 25% del totale di riduzione nei consumi.

In termini di cifre riguardanti l'Italia, negli ultimi 10 anni il consumo energetico dei data center, secondo dati IDC, è più che raddoppiato, e senza interventi correttivi continuerebbe ad aumentare rapidamente. L'industria informatica italiana, infatti, ha posto il Green IT fra gli obiettivi strategici, sia riducendo il consumo energetico degli apparati ICT sia applicando concetti di eco-sostenibilità all'intero ciclo di vita dei prodotti, dalla progettazione fino al riciclo e smaltimento.

Diverse normative europee si sono poste come obiettivo la riduzione dei consumi energetici per prodotti ICT. Nel caso della direttiva **EuP** (Energy-using products), vengono fissati alcuni requisiti di minima per quanto riguarda aspetti legati all'alimentazione dei prodotti ICT o per quanto riguarda i PC. Il regolamento per il programma Energy Star⁹, oltre ad assegnare un premio (l'Energy Star) al prodotto più efficiente dal punto di vista energetico, fissa criteri di efficienza energetica per acquisti di prodotti ICT da parte di enti pubblici. Le normative Energy Star supportano una riduzione dei consumi energetici e delle emissioni, incentivando un'adozione di massa di tecnologie ecologiche per dispositivi da ufficio, lampade LED e illuminazione fluorescente. Molti utenti sono abituati al logo **ENERGY STAR** sui monitor dei computer e alle funzioni di gestione dei livelli di consumo energetici, utilizzati per il risparmio di energia su laptop e desktop.

Tra le combinazioni tipiche sono incluse la modalità:

- *inattiva*, corrispondente a sistema operativo attivo in assenza di programmi in esecuzione,
- *sleep* senza alcun programma attivo ma con la possibilità di riattivare il funzionamento con un riavvio rapido
- *standby* nella quale il computer è spento ma mantiene approssimativamente 2 watt di potenza per la procedura di avvio.

Molta attenzione è posta a prevenire i consumi in "stand-by" con l'obbligo di porre interruttori in grado di spegnere completamente il dispositivo (spegnimento fisico, non software).

Per la gestione dell'energia nei calcolatori è stato creato uno standard industriale aperto – **ACPI**¹⁰ - volto a definire specifiche per il riconoscimento dell'hardware di un PC, la configurazione dei componenti e la gestione del risparmio energetico. In particolare, è possibile spegnere dei componenti del computer dopo un certo periodo di inattività: schermo, dischi rigidi, e anche il processore e la memoria RAM vengono disattivati se non utilizzati. Nello standard sono definiti gli *stati* in cui il PC può essere posizionato, a seconda del suo livello di attività, e le modalità di transizione da uno stato all'altro.

Sono definiti 4 stati fondamentali:

- *Esecuzione*, computer in piena attività, CPU, RAM accesi; alcune periferiche, come i dischi possono essere temporaneamente spente in per ridurre consumi e rumore, ma si riattivano immediatamente al bisogno;

- *Addormentato*, a sua volta diviso in sottostati:

- *power-on-standby*, attività ridotta di CPU (che resta accesa) e periferiche, stato di riposo "vigile", consumo ridotto ma significativo;
- *Suspend-to-RAM* ("*stand-by*" o "*sleep*") – in questo caso l'unico componente acceso è la memoria RAM che immagazzina tutti i dati attivi, pronti per essere ripristinati e far ripartire la macchina al risveglio;
- *Suspend-to-disk* ("*ibernazione*", "*safe sleep*"), anche la memoria RAM viene spenta, ma prima tutti i dati attivi sono salvati su disco;

- *Soft-off* (*spegnimento software*): è lo stato nel quale si porta il PC quando si spegne il PC con il

⁹ European Parliament and UE Council, Regulation (EC) N° 106/2008, 15/1/2008

¹⁰ <http://www.acpi.info/>

tasto *spegni* o *arresta* del sistema operativo. Nonostante la maggior parte degli utenti lo ignori, alcune porte di comunicazione e periferiche restano comunque alimentate (USB, LAN, Modem) per riattivare il PC a fronte di specifici comandi di “risveglio” (wake on ring, ad esempio, su chiamata modem). Il computer consuma comunque una quota di potenza elettrica (alcuni Watt) per alimentare le periferiche.

- *Mechanical-off* (*spegnimento meccanico*) è lo stato in cui al PC manca completamente l'alimentazione elettrica, e l'unico assorbimento di corrente è dovuto all'orologio interno, alimentato da una piccola batteria.

Un'altra misura è quella del regolamento **Ecolabel**, che si pone come obiettivo il miglioramento dei processi che riguardano i prodotti ICT lungo l'intero ciclo di vita (dalla produzione, all'utilizzo, allo smaltimento), includendo anche aspetti di efficienza energetica. L'Action Plan per i Consumi Sostenibili e le Politiche Industriali Sostenibili mette a disposizione un framework di azioni più ampie, in cui rientrano anche le misure citate prima. Infine, alcune norme europee si occupano in particolare dell'impatto ambientale dei prodotti ICT a fine vita.

6 Calcolo del risparmio energetico nei data center

Si possono così riassumere gli elementi fin qui presentati:

- a) un centro di calcolo è per sua definizione un sistema complesso e pertanto non è immediato calcolare l'efficienza energetica; infatti, per valutare consumo di energia elettrica totale è necessario sommare i consumi di tutti i dispositivi installati all'interno della sala CED.
- b) Come si è visto nei precedenti paragrafi, il quadro dei consumi energetici nei CED viene fatto a partire dalla descrizione delle varie parti in cui esso è suddiviso:
 1. *IT (Information Technology) Equipment*, che comprende server, dispositivi di storage e di network, desktop, monitor, stampanti, ecc ... per l'elaborazione ed il trattamento dei dati;
 2. *Sistemi di alimentazione* o power che garantiscono continuità e qualità elettriche alle apparecchiature IT quali unità UPS (Uninterruptible Power Supply o gruppi di continuità), PDU (Power Distribution Unit o unità di distribuzione dell'alimentazione) e PSU (Power supply Unit o alimentatori);
 3. *Sistemi Ausiliari* che comprendono gli impianti di *raffreddamento* o cooling della sala, l'illuminazione, sistemi di sicurezza come quelli antincendio e quelli a garanzia della continuità elettrica (gruppi elettrogeni).
- c) Circa la metà dell'energia elettrica utilizzata viene assorbita dai carichi IT mentre l'altra metà della spesa per il consumo di energia elettrica è costituita dall'acquisto di elettricità destinata a far funzionare il sistema di alimentazione e di raffreddamento.
- d) Per calcolare l'efficienza energetica di un centro di calcolo si utilizza l'indice PUE (Power Usage Effectiveness), che valuta il lavoro utile in uscita dal CED in rapporto all'energia consumata:

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

La scelta, però, delle strategie che consentono di raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica - quindi di un indice PUE pari al suo valore ottimale di 1.2 - nel CED si basano su *analisi energetiche complete* a partire dai dati derivanti da misure sul campo. Pertanto, il calcolo del PUE risulta un'operazione complessa e non immediata.

Nel presente elaborato si presenta una procedura per la determinazione del risparmio energetico conseguibile a seguito di interventi che prevedono la sostituzione di **alcuni elementi critici** fra quelli installati nella sala CED. La metodologia di valutazione definita dalle tabelle di seguito riportate si focalizza sui tre elementi chiave di un CED poiché sono quelli che maggiormente contribuiscono all'inefficienza elettrica: i *server* per quanto riguarda i carichi IT, l' *UPS* ed il *condizionamento* per la parte riguardante l'infrastruttura fisica.

La sostituzione dei tre elementi abbatte fortemente le inefficienze presenti nella sala CED producendo in questo modo un miglioramento in termini di risparmio energetico.

La procedura permette di calcolare l'energia risparmiata nell'arco temporale di un anno sostituendo rispettivamente i vecchi:

1. sistemi UPS,
2. sistemi di condizionamento,
3. server,

con i dispositivi nuovi e più efficienti. Per il calcolo vengono utilizzate le curve di efficienza dei vecchi e dei nuovi elementi sopra elencati e come condizione iniziale viene fornita una costante che è pari alla potenza attiva (kW) in uscita.

1. UPS

Date le curve di efficienza del vecchio e del nuovo sistema UPS è possibile calcolare l'energia risparmiata sostituendo i vecchi sistemi con i nuovi più efficienti. Si consideri per la sostituzione dell'UPS il calcolo riportato a titolo di esempio in **Tabella 3**. Come costante viene fornita una potenza attiva in uscita dall'UPS pari a $P_u=10$ [kW] e come parametri di efficienza rispettivamente del vecchio UPS $n = 0,85$ e $n = 0,95$ del nuovo (con n si intende il rendimento dell'UPS riferito ad un determinato livello di carico e quindi non necessariamente il rendimento nominale della macchina). Le ore di funzionamento considerate sono nell'arco temporale di un anno, $\Delta T=8760$ [h]. Con $P_i = P_u / n$ si indica la potenza attiva in ingresso all'UPS.

UPS	PRIMA	DOPO	Energy saving
$P_i = P_u / n$ [kW]	$P_{i1} = 11,8$	$P_{i2} = 10,5$	
Energia attiva [kWh]	$11,8 * 8760 = 103722$	$10,5 * 8760 = 91980$	
Energia annua saving [kWh]	$103722 - 91980 =$		$\Delta E = 11742$

Tabella 3: Calcolo del risparmio energetico di energia con il nuovo sistema UPS

In questo caso non sono stati considerati i costi legati al condizionamento dell'aria e dei locali.

Per il calcolo generalizzato, considerato costante la richiesta di carico elettrico da parte del CED, si ottiene la seguente:

$$\Delta E = (P_{i1} - P_{i2}) * \Delta T$$

2. Condizionamento

Per ottenere dati più realistici in materia di energy saving occorre calcolare i costi in termini energetici legati al condizionamento dell'aria e dei locali. Data come costante una potenza frigorifera pari a $P_u=10[\text{kW}]$, qui di seguito (**Tabella 4**) vengono riportati i calcoli che dimostrano il risparmio energetico che si ottiene mediante la sostituzione del vecchio sistema di condizionamento con uno nuovo più efficiente. Per i calcoli si è utilizzato un EER (**Energy Efficiency Ratio**) – parametro che indica l'efficienza elettrica di un climatizzatore mentre funziona in raffreddamento e corrisponde al rapporto tra la potenza resa e la potenza elettrica assorbita nel raffreddamento - pari a **2** nel caso dei vecchi sistemi di condizionamento (EER') e uguale a **3,5** nel caso dei nuovi sistemi di condizionamento (EER"). In tabella 4 viene, inoltre, indicato con P_e la potenza elettrica e rispettivamente con $P_{e'}$ e $P_{e''}$ le potenze elettriche del vecchio e del nuovo sistema di condizionamento. L'intervallo temporale considerato è pari ad un anno, $\Delta T=8760$ [h].

Condizionamento	PRIMA	DOPO	Energy saving
EER (Energy Efficiency ratio)	EER'=2	EER''=3,5	
$P_e=P_u/EER$	$P_{e'}=5$	$P_{e''}= 2,6$	
Energia annua saving [kWh]	$\Delta E=(P_{e'} - P_{e''}) * \Delta T$		$\Delta E=21096$

Tabella 4: Calcolo del risparmio energetico di energia con il nuovo sistema di condizionamento

Il calcolo del risparmio energetico presentato in tabella è stato effettuato tenendo conto di un sistema di condizionamento basato su una pompa di calore classica e quindi per un intervallo temporale pari a $\Delta T=8760$ [h] che ovviamente diminuisce nel momento in cui consideriamo un sistema di condizionamento/controllo di altra natura (e.s : free cooling). Ovviamente, per ottenere risultati più accurati occorre conoscere l'effettiva potenza frigorifera media annua richiesta per condizionare l'ambiente.

Qui di seguito viene riportata la formula generale del calcolo dell'energia annua risparmiata in caso di un sistema di condizionamento:

$$\Delta E = (P_{e1} - P_{e2}) * \Delta T$$

con P_{e1} e P_{e2} si indicano rispettivamente le potenze elettriche del vecchio e del nuovo sistema di condizionamento.

3. Server: consumi proporzionali al lavoro

La parte che incide maggiormente nei consumi di un data center, sono sicuramente i dispositivi IT. Questi consumi sono causati principalmente dalle operazioni svolte dai server per fornire le varie funzioni offerte dal data center.

Nonostante gli elevati consumi, però, i server sono utilizzati per la maggior parte del tempo al di sotto del 50% della loro capacità massima e restano poche volte completamente inattivi o utilizzati al massimo livello. Proprio nella fascia in cui i server sono più utilizzati, questi mostrano una scarsa efficienza energetica consumando di più di quanto necessario. Questo accade per il semplice fatto che, anche il server più efficiente, nel momento in cui è quasi inattivo e praticamente non è impegnato a svolgere operazioni consuma circa la metà dell'energia; mentre quelli progettati con ancora meno attenzione raggiungono livelli ancora più elevati di consumo. L'energia impiegata dai server cambia al variare del livello di utilizzo dello stesso e delle operazioni che deve svolgere. La Figura 6 mostra il consumo d'energia di un tipico server e l'efficienza energetica ottenuta in base al grado di utilizzo. Per misurare l'efficienza energetica del server, si divide la percentuale d'utilizzo con il corrispondente valore dell'energia consumata. Nel grafico, si può notare come il picco dell'efficienza si raggiunge quando il server lavora al massimo della sua capacità, proprio perché vengono sfruttate al massimo le sue possibilità, e cala velocemente con la diminuzione del grado di utilizzo. Proprio nella fascia di maggiore utilizzo del server, si vede come l'efficienza scenda a meno della metà rispetto al picco massimo raggiungibile. Il motivo per cui i server non sono utilizzati al 100%, è per il fatto di mantenere un certo margine di capacità e riuscire ad accettare tutte le richieste con un tempo di risposta accettabile, questo a causa delle fluttuazioni del traffico che influenzano le richieste di servizio, considerando inoltre le eventuali manutenzioni o per l'esecuzione di funzioni più complesse, senza questa flessibilità si rischierebbero frequenti

interruzioni di servizio. Non è possibile neanche lasciare i sistemi completamente inattivi anche in caso di poche operazioni da svolgere, perché in molti casi i vari servizi, specialmente quelli su larga scala, richiedono l'utilizzo di diversi server con il peso del lavoro suddiviso tra di loro, con anche i dati necessari alle varie funzioni, distribuiti tra i server impedendo così la disattivazione di anche una piccola parte dei server inutilizzati in quel momento.

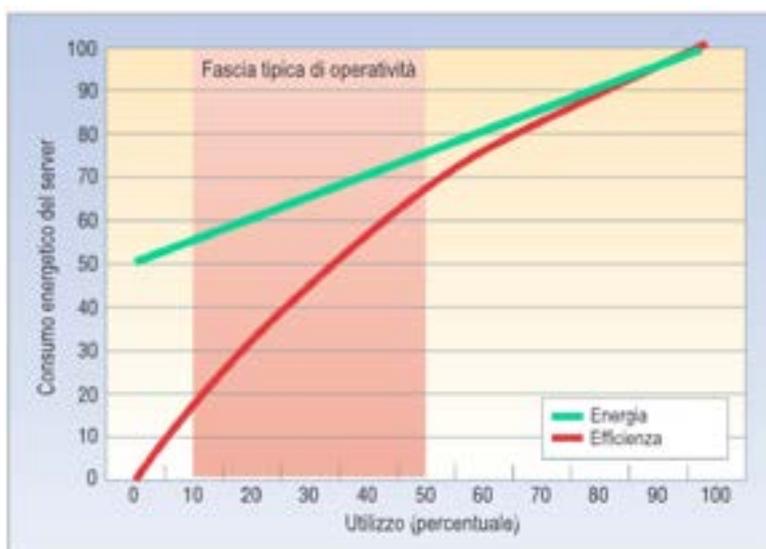


Figura 7: Consumo energetico del server¹¹

Per risolvere, quindi, il problema dell'inefficienza dei server è importante che questi vengano costruiti in modo da consumare energia in modo proporzionale al livello di utilizzo.

Pertanto il calcolo dell'efficienza energetica di un server si può basare sulla misura del parametro "performance per watt" che indica la "quantità di calcolo" che può essere sviluppata da un dato sistema software per ogni watt di potenza elettrica consumato. La potenza elettrica consumata non è costante, e dipende in ogni istante dalla quantità di elaborazioni effettuate; parametri significativi sono la potenza media, quella di picco (al massimo consumo) e quella in inattività (stato idle). L'efficienza nello stato idle è molto importante perché il microprocessore è inattivo per buona parte del suo tempo, se applicato in operazioni poco complesse come quelle d'ufficio.

Diversi sono gli studi in atto per cercare di arrivare alla definizione di un'unità di misura comune delle prestazioni dei server necessaria per calcolarne l'efficienza. Ad esempio, nel nuovo white paper dell'EMERSON - **Energy Logic: Calculating and Prioritizing Your Data Center IT Efficiency Actions** – si introduce il concetto di "unità di calcolo per secondo" (**CUPS**)¹², ma non viene poi fatta una proposta operativa.

¹¹ L.A. Barroso and U. Holzle. The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12):33–37, dec. 2007.

¹² <http://www.emerson.com/edc/docs/EnergyLogicMetricPaper.pdf>

In base ai ragionamenti fatti in precedenza, abbiamo ritenuto opportuno calcolare l'efficienza energetica di un server, in un dato intervallo temporale ΔT , come

$$\text{Computing Energy [kWh]} \quad E = (\text{kW/GigaFlops}) * \Delta T$$

che fornisce l'energia consumata dal server per unità di calcolo espressa in GigaFlops.

La formula

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

può essere utilizzata per calcolare la variazione di consumo energetico nell'ipotesi di sostituzione di un server (o un insieme di server) con uno nuovo avente la stessa potenza di calcolo.

Quest'ultima è una situazione che in un data center tipico si verifica molto di rado: la crescita estremamente veloce delle prestazioni degli strumenti informatici, e il parallelo aumento delle esigenze computazionali degli utilizzatori, fa sì che gli interventi di rinnovo del parco macchine comportano sempre un incremento delle prestazioni complessive del data center. Nei calcoli si dovranno quindi adattare le formule utilizzate per tenere conto di questo aspetto.

Riferimenti bibliografici

1. www.thegreengrid.com
2. www.vmware.com
3. www.apc.com
4. www.intel.com
5. <http://www.acpi.info/>
6. www.idc.com
7. www.gartner.com
8. European Parliament and UE Council, Regulation (EC) N° 106/2008, 15/1/2008
http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative_data_centers.html
9. EU Stand-by Initiative. 2010 Best practices for the EU code of conduct on data centres. Technical report, December 2009
10. U.S. Environmental Protection Agency. Report to congress on server and data center energy efficiency public law 109-431. Technical report, ENERGY STAR Program, August 2007
11. K. Darrow, B. Hedman - *Opportunities for Combined Heat and Power in Data Centers* – ICF International
12. Pierluigi Adami, - Green computing: l'efficienza energetica nel mondo informatico, Pierluigi Adami, Fondazione per lo sviluppo sostenibile, Roma 2009
13. M. Bramucci, D. Di Santo, D. Forni - Linee guida per la progettazione di datacenter ad alta efficienza- www.enea.it
14. <http://www.emerson.com/edc/docs/EnergyLogicMetricPaper.pdf>
15. <http://opencompute.org/>
16. http://datacenterpulse.org/downloads/DCP09_National_DC_Energy_Program-FINAL.pdf

17. www.spec.org
18. http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/ict4ee_forum/ict4eeforum_report.pdf
19. <http://www.efficient-servers.eu/>
20. Patrick Kurp, Green Computing, Communications of the ACM, Vol. 51, N. 10, October 2008.
21. H. S. Sun, S. E. Lee, Case study of data centers' energy performance, Energy and Buildings 38 (2006) 522-533
22. <http://www.google.com/corporate/green/datacenters/measuring.html>
23. Barroso L., Holzle U., The case for energy proportional computing. IEEE Computer , 40, 33-37, 2007.
24. Pinheiro E., Bianchini R., Carrera E., Heath T., Dynamical cluster reconfiguration for power and performance, Compilers and operating systems for low power, pp. 75-93, 2003.
25. Reducing Data Center Energy Consumption, A summary of strategies used by CERN, the world's largest physics laboratory, White Paper - Intel Xeon Processor Data Center Optimization.
26. <http://www.pikeresearch.com/>
27. <http://www.netapp.com/us/company/news/news-rel-20100714.html>
28. www.eere.energy.gov/datacenters