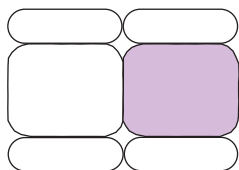




# GREEN IT

## SFIDE E OPPORTUNITÀ

Eugenio Capra  
Chiara Francalanci



Il Green IT è una disciplina emergente che studia l'impatto ambientale dei sistemi IT, che secondo recenti statistiche sono responsabili a livello mondiale del 2% delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Il consumo energetico dei sistemi IT ha inoltre un fortissimo impatto sui costi di gestione ed è spesso un limite alla scalabilità dei *data center*. Questo articolo illustra dove è consumata l'energia all'interno di un *data center* e propone alcune strade che si possono intraprendere per aumentarne l'efficienza energetica.

### 1. L'IMPATTO AMBIENTALE DELL'IT E LA NASCITA DEL "GREEN IT"

I sistemi informatici, che ormai permeano la nostra vita, hanno un impatto ambientale tutt'altro che trascurabile. Secondo recenti ricerche [1, 2, 3] l'IT è responsabile di più del 2% delle emissioni di CO<sub>2</sub>, con un impatto equivalente a quello dell'industria aeronautica. Basti pensare che ogni PC genera 1 tonnellata equivalente di CO<sub>2</sub> all'anno e che un server consuma energia per la cui produzione viene emessa la stessa quantità di CO<sub>2</sub> prodotta da un SUV che percorre 25 km [4]. La fortissima evoluzione degli ultimi decenni ha portato a processori sempre più piccoli e più veloci, ma ha anche indotto un forte aumento della potenza dissipata per il calcolo: mentre un 486 dissipava circa 10 W, un Pentium IV ne dissipa 120, con un consumo energetico aumentato di un ordine di grandezza. Per avere un'idea dell'entità dell'energia consumata dai sistemi IT è sufficiente considerare che un moderno *server blade* consuma circa 1 kW, tan-

to quanto il frigorifero di casa. Conseguentemente, un *rack di server blade*, per esempio, formato da 5 scaffali con 8 unità ciascuno, consuma 40 kW, l'equivalente di una palazzina. Un *data center* di medie dimensioni consuma circa 250 kW, come un quartiere, mentre i grandi *data center*, che per esempio, servono grosse banche o internet service provider, possono arrivare a consumare 10 MW, l'equivalente di una cittadina.

La considerevole crescita dei consumi energetici dell'IT sta sempre più attirando l'attenzione della comunità scientifica, dei produttori di tecnologia e dei responsabili dei sistemi informativi delle aziende utenti.

L'espressione "Green IT" è ormai comunemente usata per indicare una nuova disciplina che si occupa di tutti i problemi legati all'impatto ambientale e al consumo energetico dei sistemi IT. Più in particolare, il termine "Green IT" può essere riferito a tre aree tematiche specifiche:

1. l'efficienza energetica dell'IT;
2. la gestione eco-compatibile del ciclo di vita dell'IT;

**3.** l'utilizzo dell'IT come strumento per una governance "green".

La prima area si focalizza sull'efficienza energetica dell'IT, che può essere migliorata agendo sia sulla progettazione che sulla gestione delle infrastrutture e dei *data center*, nonché modificando la cultura aziendale e le pratiche di utilizzo. A questo proposito è opportuno notare che l'efficienza energetica dell'IT - ossia le prestazioni rapportate al consumo di energia - è di fatto cresciuta negli ultimi anni, dato che le prestazioni sono migliorate più di quanto non sia cresciuta la potenza richiesta. Per esempio, se si considera il *benchmark* TPC-C [5], comunemente utilizzato per valutare le prestazioni dei processori, l'efficienza energetica può essere misurata in migliaia di transazioni al minuto per Watt assorbito (Ktpm-c/Watt). Il valore di tale indice nell'ultimo decennio è aumentato di un fattore 2,5, indicando quindi un miglioramento dell'efficienza energetica. Tuttavia la crescente domanda di capacità di calcolo e l'aumento del consumo energetico dell'IT in termini assoluti impongono di migliorarne ulteriormente e in modo più radicale l'efficienza energetica. Quest'accezione del Green IT sarà approfondita ulteriormente nel paragrafo 3.

La seconda area tematica riguarda invece l'impatto ambientale del ciclo produttivo dei componenti IT e del loro smaltimento. L'inquinamento di cui l'industria IT è responsabile non è infatti dovuto solamente al consumo di energia, ma anche alle sostanze tossiche disperse nell'ambiente. Basti pensare che secondo alcune recenti ricerche [3] il 70% dell'inquinamento del suolo da piombo, cadmio e mercurio deriva direttamente o indirettamente dall'IT.

I "rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche" (RAEE), chiamati anche "*Waste of Electric and Electronic Equipment*" (WEEE) o più semplicemente "*e-waste*" sono tutti i rifiuti di tipo particolare derivanti da qualunque apparecchiatura elettrica od elettronica che viene dismessa in quanto guasta oppure obsoleta. Tali rifiuti, che contengono sostanze tossiche e non biodegradabili, costituiscono un rischio sempre maggiore per l'ambiente. La recente direttiva WEEE dell'Unione Europea (2002/95/CE), recepita in Italia dal De-

creto RAEE (D. Lgs 151/2005) stabilisce precise norme per la raccolta differenziata e il recupero di tali rifiuti [6].

La ricerca Green IT in questo campo si occupa di ridurre le sostanze inquinanti presenti nei componenti IT a partire dal processo produttivo, ottimizzare il packaging, eco-etichettare le varie unità, e approfondisce le diverse tecnologie di ricondizionamento e di recupero dei componenti dismessi. Come è possibile intuire, questa area è molto vasta e si intreccia con numerose altre discipline. Per questo motivo non sarà ulteriormente approfondita in questo contesto.

Infine, la terza accezione del Green IT si focalizza sull'utilizzo dell'IT come strumento per misurare e monitorare i parametri "green" (per es. consumo energetico, temperatura, consumo di carta e materiali di consumo, rifiuti tossici prodotti) di tutti i processi di *business*, IT e non IT.

La definizione di *Key Performance Indicator* (KPI) "green" da portare all'attenzione dei decisori d'impresa può rivelarsi un passo decisivo per il monitoraggio e il miglioramento dell'efficienza energetica di un processo industriale. Così come avviene per altri parametri di efficienza ed efficacia, questi KPI possono essere memorizzati e analizzati tramite cruscotti direzionali e di *business intelligence*, opportunamente alimentati da sensori e sonde ambientali.

Quest'ultima area sarà approfondita nel paragrafo 4.

## 2. PERCHÉ IL GREEN IT È IMPORTANTE

Perché si sente sempre più spesso parlare di Green IT e perché le aziende sono così sensibili a queste tematiche?

Ci sono almeno tre buone ragioni per cui il Green IT è importante:

- 1.** L'IT ha un impatto ambientale significativo;
- 2.** Il consumo energetico dell'IT costa;
- 3.** Il fabbisogno energetico è un limite alla scalabilità dell'IT.

Nel paragrafo precedente è stato già illustrato come l'IT abbia un impatto ambientale significativo sia per il consumo di energia, e quindi l'emissione di gas serra che sono la prima causa del surriscaldamento della su-

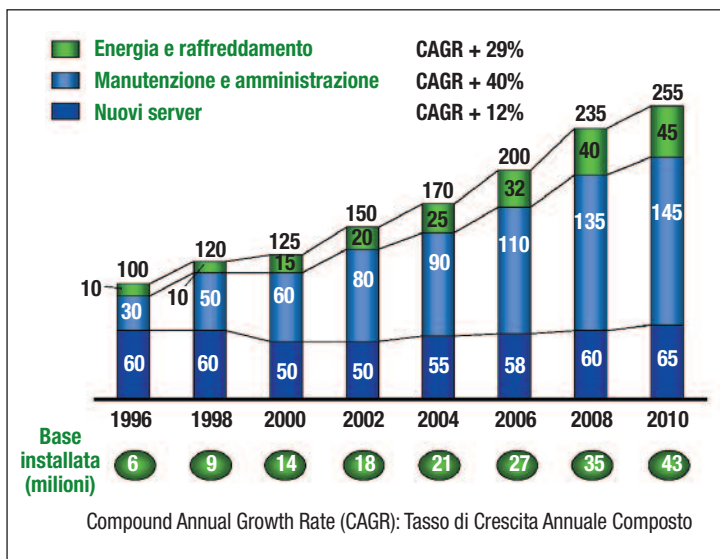


FIGURA 1

Spesa mondiale per i server (miliardi di dollari). Fonte: IDC (2006)

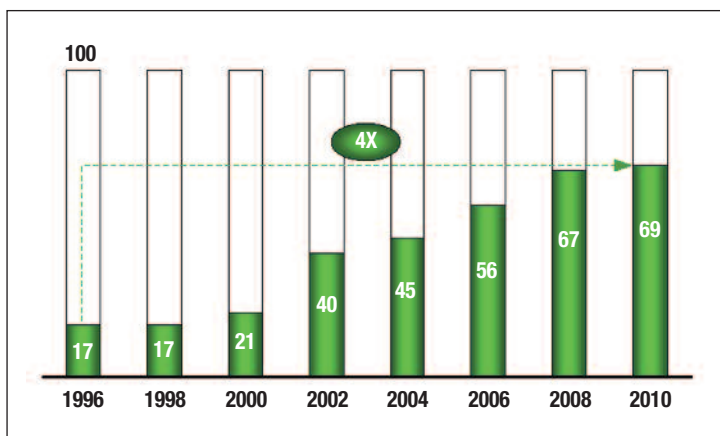


FIGURA 2

Rapporto spesa per energia e raffreddamento/ spesa per l'acquisto di nuovi server (Percentuale). Fonte: IDC (2006)

perficie terrestre, che per la dispersione di sostanze inquinanti nell'ambiente. Affrontare le problematiche del Green IT è quindi prima di tutto una responsabilità sociale da cui oggi non si può prescindere.

Al di là di questo, il Green IT desta crescente interesse nei CIO e nei responsabili IT perché il costo dell'energia consumata dai sistemi IT copre una parte significativa del *Total Cost of Ownership* (TCO) dei sistemi ed è in continua crescita. La figura 1 mostra i dati relativi alla spesa mondiale per i server negli ultimi anni e alcune stime per il futuro.

Mentre il costo di acquisto dell'*hardware* negli ultimi dodici anni è cresciuto molto debil-

mente, il costo per alimentare e raffreddare i sistemi è quadruplicato. Oggi il costo di energia e raffreddamento rappresenta circa il 60% della spesa in nuove infrastrutture, con un impatto più che significativo sul *Total Cost of Ownership* (si veda la Figura 2). Tale impatto è destinato a crescere ulteriormente come conseguenza del continuo aumento del costo unitario dell'energia.

Se si tiene conto che le statistiche IDC da cui sono tratti i dati sono svolte a livello mondiale, dove il costo dell'energia è mediamente molto più basso che in Italia (a titolo di esempio il costo dell'energia per utenti industriali è di 6 \$cent/kWh in USA e di 24 \$cent/kWh in Italia, [8]), è facile rendersi conto di come nel nostro paese il peso del costo energetico possa essere ancora più significativo. Questi costi sono spesso nascosti e ignorati, in quanto da un lato mancano ancora gli strumenti e le metodologie per misurarli con esattezza, dall'altro molto spesso non vengono contabilizzati nel budget dei sistemi IT, ma vengono annegati nei consumi elettrici di tutta l'azienda, rendendo quindi difficile una chiara percezione del fenomeno. In altre parole, se il CIO non paga la bolletta dei propri server, difficilmente sarà incentivato ad investire per ottimizzarne i consumi.

In aggiunta a questo, l'alto consumo di energia delle apparecchiature informatiche sta diventando un limite alla scalabilità dei *data center* di medie e grandi imprese dislocati in aree ad alta densità abitativa. La potenza elettrica richiesta sta crescendo dell'8-10% all'anno e i gestori della rete elettrica rischiano di non essere più in grado di convogliare così tanta energia in un'area ristretta di un centro urbano. La potenza assorbita per metro quadro dai nuovi server ad alta densità (*blade*) è spesso incompatibile con le caratteristiche elettriche degli attuali *data center*. Per aumentare la capacità di calcolo degli attuali *data center* potrebbe quindi essere necessario edificare nuove strutture in aree a più bassa densità abitativa, con ulteriore impatto ambientale e di costo. Secondo Forrester Research [2] nei prossimi anni il 60% dei *data center* saranno limitati dal consumo di energia, dalle esigenze di raffreddamento e dallo spazio.

### 3. RENDERE "GREEN" L'IT: UN APPROCCIO MULTI-LIVELLO

Gli apparati IT consumano energia perché la stessa trasmissione di informazione richiede intrinsecamente energia. Un bit infatti, cioè l'unità minima di informazione, è associato allo stato di un sistema fisico (per esempio, la carica di un insieme di elettroni o il campo magnetico su di una porzione di disco) e per poterlo commutare occorre cambiare lo stato del sistema stesso e quindi consumare energia. Recenti ricerche condotte al MIT (si veda il Teorema di Margolus – Levitin [9]) hanno dimostrato che esiste un limite minimo al consumo di energia necessario per commutare un bit ad una data velocità, che è dettato dalle leggi della fisica quantistica. Questo limite minimo è raggiungibile quando ogni bit è associato allo spin quantistico di un elettrone. Questo tipo di commutazione è effettuabile solamente all'interno di computer quantistici, cioè di particolari elaboratori attualmente ancora in fase di studio che sfruttano le proprietà quantistiche della materia [10], e richiedono un'energia di circa  $10^{-25}$  J per 1 bit a 1 GHz. Il consumo dei più avanzati chip tradizionali su cui si sta attualmente facendo ricerca nei laboratori è arrivato alla soglia dei  $10^{-16}$  J. Questi valori di energia sono comunque ordini di grandezza più bassi rispetto ai valori di consumo discussi nel paragrafo 1. Questa apparente incoerenza è facilmente spiegata dal fatto che in realtà la commutazione dei bit è solamente il livello più basso di un sistema informatico: sopra ad esso esistono tanti altri livelli (*layer*) infrastrutturali che moltiplicano anche di un fattore 30 il consumo energetico della singola commutazione.

La figura 3 mostra dove viene consumata l'energia in un *data center* "tipo" (ovviamente la distribuzione può cambiare a seconda della tipologia del carico computazionale, dalle macchine installate e dalle caratteristiche fisiche dei locali). Dai valori presentati nel grafico è evidente come il problema del Green IT debba necessariamente essere affrontato ai vari livelli infrastrutturali presenti nel *data center* (utilizzo del processore, ripartizione del carico sui vari server, componenti ausiliari per il funzionamento dei server, alimentazione, raffreddamento ecc.) in quanto tutti i

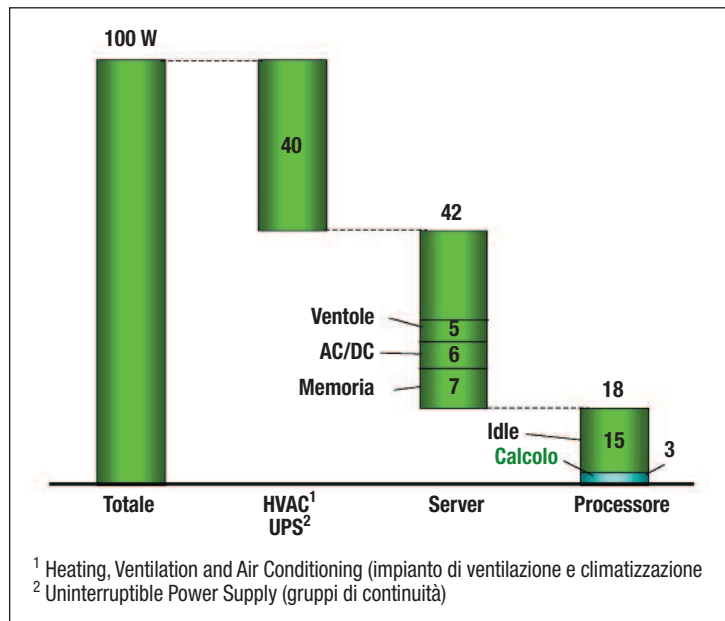


FIGURA 3

Ripartizione percentuale del consumo di energia in un data center.

Fonte: IBM (2007)

componenti contribuiscono significativamente al consumo complessivo. Occorre quindi cercare di migliorare l'efficienza energetica di tutti i livelli di un sistema IT. D'altra parte occorre notare come sia particolarmente importante investire nell'ottimizzazione dei livelli più bassi del sistema, come l'efficienza del software che "guida" le commutazioni eseguite dal processore, in quanto i consumi di questi livelli vengono poi amplificati da tutti i livelli superiori: un software inefficiente richiederà più operazioni del processore, che a sua volta richiederà più memoria, dovrà essere raffreddato di più, e così via.

L'efficienza attuale di un sistema IT nel suo complesso è stata stimata come non superiore al 50% dell'efficienza massima teorica. La tabella 1 presenta alcune stime di massima sull'efficienza energetica dei vari livelli dei sistemi IT più comunemente utilizzati [1, 4, 12]. Numerosi sono i fattori di inefficienza energetica in un sistema IT, così come sono numerose le leve su cui è possibile agire per migliorare.

A livello di **infrastruttura** le due maggiori cause di inefficienza sono i gruppi di continuità e i sistemi di condizionamento, che spesso sono a potenza fissa, mentre potrebbero essere regolati in modo dinamico per raffreddare



**TABELLA 1**  
 Efficienza energetica stimata rispetto all'efficienza massima teorica degli attuali sistemi IT suddivisa per livelli logici/infrastrutturali

| Livello                      | Efficienza energetica attuale stimata |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Infrastruttura               | 50%                                   |
| Sistema                      | 40%                                   |
| Server                       | 60%                                   |
| Microprocessore              | 0,001%                                |
| Software                     | 20%                                   |
| Rete                         | 10%                                   |
| Database                     | 60%                                   |
| Pratiche di utilizzo dell'IT | 30%                                   |

dove necessario e quando necessario, a seconda del carico di lavoro effettivo del *data center*. La disposizione degli scaffali e delle bocchette di condizionamento è inoltre molto spesso stabilita in base a regole empiriche o dettate dall'esperienza, soprattutto nei *data center* di piccole dimensioni, quando invece studi termodinamici degli ambienti porterebbero a notevoli guadagni di efficienza. Grandi risparmi di energia a livello di **sistema** possono invece essere ottenuti bilanciando opportunamente i carichi di lavoro sui vari server e grazie alla virtualizzazione, che è una pratica sempre più diffusa tra i *data center* anche per gli ingenti risparmi di costo che è in grado di portare.

A livello di singolo **server** molta energia è dissipata dalle periferiche e dai componenti ausiliari. In questo caso piccoli accorgimenti possono portare a grandi risparmi di energia [1]. Per esempio utilizzare ventole a velocità variabile può ridurre il consumo di energia delle ventole stesse fino al 45% e utilizzare meno drive più potenti può ridurre del 50% il relativo consumo. Altri risparmi possono essere ottenuti dividendo la cache in segmenti alimentati solo quando necessario, o in alcuni casi particolari sostituendo parte degli hard disk con memorie allo stato solido. Un'altra grande fonte di dispersione è la conversione dell'energia da alternata a continua a livello di singolo server: se la conversione fosse fatta da un solo alimentatore per tutto il *data center*, come avviene nei *data center* di alcune aziende di telecomunicazioni dove le macchi-

ne sono alimentate a -48 V in continua, l'efficienza energetica sarebbe molto più elevata e le dispersioni di calore più contenute. Certo questo richiede la predisposizione di macchine ad hoc e quindi una forte collaborazione da parte dei fornitori di hardware.

Le inefficienze più grandi si hanno a livello dei **processori**, che si basano su chip ancora ben lontani dai computer quantistici che, come accennato sopra, si avvicinano ai consumi minimi teorici previsti dalle leggi della fisica quantistica. Al di là del meccanismo fisico di commutazione dei bit, molto spesso i processori non funzionano al massimo delle loro potenzialità e non sono sfruttati in modo efficiente. È stato dimostrato che abbassare la frequenza di clock e passare da processori *single-core* a *quad-core* può ridurre i consumi relativi anche del 50% [1].

Le operazioni eseguite dal processore sono in un certo senso guidate dal **software**, che a sua volta comprende vari livelli, dal sistema operativo al middleware e alle applicazioni utente. Molto spesso la progettazione del software non tiene adeguatamente conto dell'efficienza energetica e il consumo di energia non viene neppure contemplato nel trade-off fra costi, prestazioni e qualità. Un recente filone di ricerca si occupa di investigare quali particolari aspetti della qualità interna del software abbiano un impatto sulla sua efficienza energetica.

A livello di **rete** una maggiore efficienza energetica potrebbe essere ottenuta sia ripensando in ottica green gli algoritmi di *routing*, sia ottimizzando i dispositivi hardware per la gestione della rete stessa.

Anche la qualità dei dati memorizzati nei **database** ha un impatto sull'efficienza energetica: la scarsa qualità dei dati (per es. valori inesatti o non aggiornati) porta ad eseguire più transazioni ed operazioni del necessario con un conseguente dispendio di energia.

Infine, il modo in cui l'IT viene utilizzato (cioè le **pratiche di utilizzo**) può essere causa di ingenti sprechi di energia. Recenti ricerche [12] hanno dimostrato che un corretto uso delle funzioni di *power management* ormai presenti su tutti i moderni PC, un uso intelligente degli *screen saver* e l'abitudine a spegnere i sistemi quando non in uso possono portare a risparmi dell'ordine del 60%. Un

accorgimento semplice come quello di impostare per default la stampa fronte e retro porta a notevoli risparmi di carta e anche di energia, in quanto la stampa fronte e retro di un foglio consuma meno energia della stampa di due fogli solo fronte, visto che il trascinamento della carta è minore.

In generale, per ottimizzare le performance energetiche di un sistema IT è necessario un cambiamento della cultura aziendale sia degli utenti che degli amministratori del sistema. La progettazione, la manutenzione e la gestione a tutti i livelli del sistema devono tenere conto dei parametri green e le persone coinvolte dovrebbero essere educate per lo meno a porsi il problema dell'efficienza energetica, con la piacevole sorpresa che quasi sempre i risparmi energetici portano anche a risparmi di costo. Per esempio, il premium price da sostenere per acquistare un PC costruito secondo parametri green può aggirarsi intorno ai 15-20 €, ma poiché il risparmio è di circa 30 W considerati i costi attuali dell'energia l'investimento si ripagherà in meno di due anni, senza contare la riduzione dei costi di condizionamento (Elaborazione su dati Intel 2007).

#### 4. L'IT COME STRUMENTO DI GOVERNANCE

Una vecchia massima recita "conosci il tuo nemico". Secondo una recente ricerca [4] l'86% dei dipartimenti ICT nel Regno Unito non conosce il peso delle proprie emissioni di CO<sub>2</sub>, e l'80% delle organizzazioni non conosce la bolletta elettrica delle proprie attività. Una ricerca analoga svolta dal Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano su 140 aziende italiane di piccole e medie dimensioni ha rivelato che l'89% dei responsabili IT non conosce il consumo della propria strumentazione. È evidente che sia difficile ottimizzare ciò che non si conosce, ma soprattutto è poco probabile che un responsabile IT sia incentivato ad investire risorse per diminuire i consumi energetici dei suoi apparati quando i relativi costi non afferiscono al suo budget. Come si accennava poco sopra, un corretto approccio al Green IT non può prescindere da una visione strategica all'interno dell'azienda, con i cambiamenti culturali e organizzativi che ne conseguono.

L'impatto ambientale dei processi di un'azienda, non per forza solamente IT, dovrebbe essere monitorato tramite un opportuno sistema informativo direzionale "green", in grado di tenere in considerazione diversi *Key Performance Indicator* (per esempio, consumo di energia, temperatura, CO<sub>2</sub>, sostanze inquinanti ecc.) segmentandoli per le opportune dimensioni (per es. su base temporale, per fase di lavorazione, per prodotto ecc.). Un'accezione più ampia del Green IT va quindi al di là dell'analisi dell'impatto ambientale dei sistemi IT, ma studia l'impiego dell'IT stesso come strumento per monitorare e ottimizzare le prestazioni green di un'azienda. L'IT può svolgere questa funzione in almeno due modi: da un lato può supportare la misura dei parametri green tramite opportuni sensori, molto spesso wireless, e tramite reti intelligenti per la raccolta e l'aggregazione dei dati; dall'altro l'analisi e la sintesi dei dati possono essere effettuate tramite cruscotti direzionali e strumenti di *data mining* già molto diffusi in altri campi.

#### 5. CONCLUSIONI

L'attenzione per il Green IT da parte della comunità scientifica e delle aziende è sempre più alta, tanto che Gartner ha messo il "*Green Data Center*" al primo posto nella classifica delle "Tecnologie Necessarie per il 2008".

Secondo un'indagine di Forrester Research [2] il 33% dei professionisti e responsabili IT nordamericani e il 48% di quelli europei ritiene che le problematiche ambientali e legate all'energia siano molto importanti per le scelte da intraprendere nel settore IT, mentre solamente il 15% in Nord America e il 6% in Europa pensa che il Green IT non sia affatto un problema.

Questi dati e le considerazioni espresse sopra dovrebbero dimostrare come il Green IT sotenda un problema dal quale non si possa prescindere. L'impatto ambientale dei sistemi IT ha una valenza morale, in quanto riguarda il nostro pianeta ed è socialmente doveroso preoccuparsene. La tematica si presta inoltre molto bene ad essere sfruttata per promuovere l'immagine di un'azienda o di un'istituzione. Al di là di questo, tuttavia, il Green IT offre interessanti opportunità di risparmio. Nei paragrafi precedenti si è illustrato come in alcuni

casi sia possibile mettere in atto fin da subito accorgimenti e piccoli cambiamenti il cui impatto potenziale è molto alto.

È per questo che conviene fin da subito approfondire la tematica Green IT a tutti i livelli, per trarne vantaggio competitivo.

### Bibliografia

- [1] Murugesan S.: *Harnessing Green IT: Principles and Practices*. *IT Professional*, Vol. 10, n. 1, 2008, p. 24-33.
- [2] Brown E.G., Lee C.: *Topic Overview: Green IT*. Forrester Research report, Novembre 2007.
- [3] Kumar R.: *Important Power, Cooling and Green IT Concerns*. Gartner report, Gennaio 2007.
- [4] Restorick T.: *An Inefficient Truth*. Global Action Plan Report, 2007, [www.globalactionplan.org.uk/research.aspx](http://www.globalactionplan.org.uk/research.aspx)
- [5] [www.tpc.org](http://www.tpc.org)
- [6] <http://www.ambiente.it/impresa/legislazione/leggi/2005/dlgs151-05.htm>
- [7] Josselyn S.L., Dillon B., Nakamura M., Arora R., Lorenz S., Meyer T., Maceska R., Fernandez L.: *Worldwide and regional server 2006-2010 forecast*. IDC report, Novembre 2006.
- [8] International Energy Agency: *Key World Energy Statistics*. 2007.
- [9] Margolus N., Levitin L.B.: The maximum speed of dynamical evolution. *Physica D120*, 1998, p. 188-195.
- [10] Lloyd S.: *Programming the Universe*, Knopf, 2006.
- [11] Renzi F.: *Scenari evolutivi nei sistemi e nella tecnologia e loro impatti sui CED e sui loro consumi energetici*. IBM, Presentazione per la conferenza "Green ICT", 22 novembre 2007, Milano.
- [12] US Environmental Protection Agency (EPA): *Energy Conservation: Past & Present Projects: Green Computing Guide*. University of Colorado at Boulder, USA, 2005: [http://ecent.colorado.edu/energy/projects/green\\_computing.html](http://ecent.colorado.edu/energy/projects/green_computing.html)

EUGENIO CAPRA è docente a contratto di Corporate Information Systems presso il Politecnico di Milano, presso cui ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione nel 2008. È stato Visiting Researcher presso la Carnegie Mellon West University (NASA Ames Research Park, CA). Ha lavorato come business analyst per McKinsey & Co. dal 2004 fino al 2005. La sua attività di ricerca si concentra sul software Open Source, la stima dei costi software, e l'efficienza energetica del software.

E-mail: [eugenio.capra@polimi.it](mailto:eugenio.capra@polimi.it)

CHIARA FRANCALANCI è professore associato di Sistemi Informativi al Politecnico di Milano. Ha scritto numerosi articoli sulla progettazione e sul valore economico delle tecnologie informatiche, svolto attività di ricerca e consulenza nel settore finanziario e manifatturiero sia in Italia sia presso la Harvard Business School ed è editor del *Journal of Information Technology*.

E-mail: [francala@elet.polimi.it](mailto:francala@elet.polimi.it)