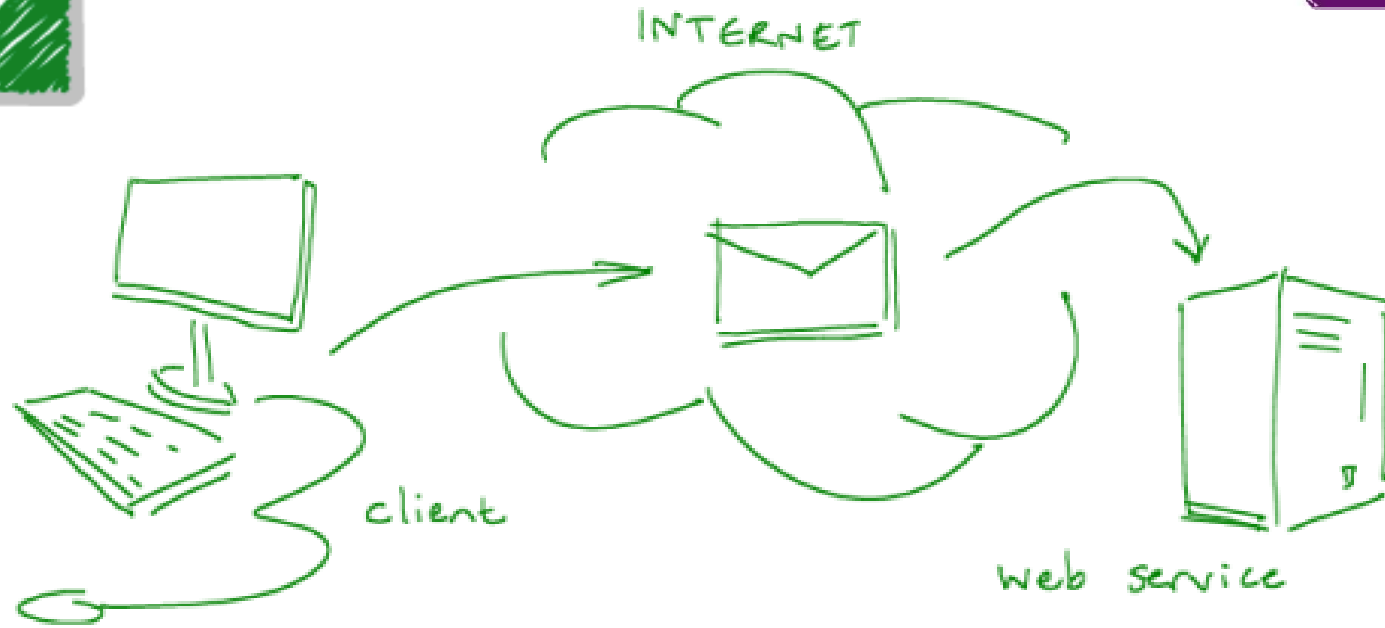
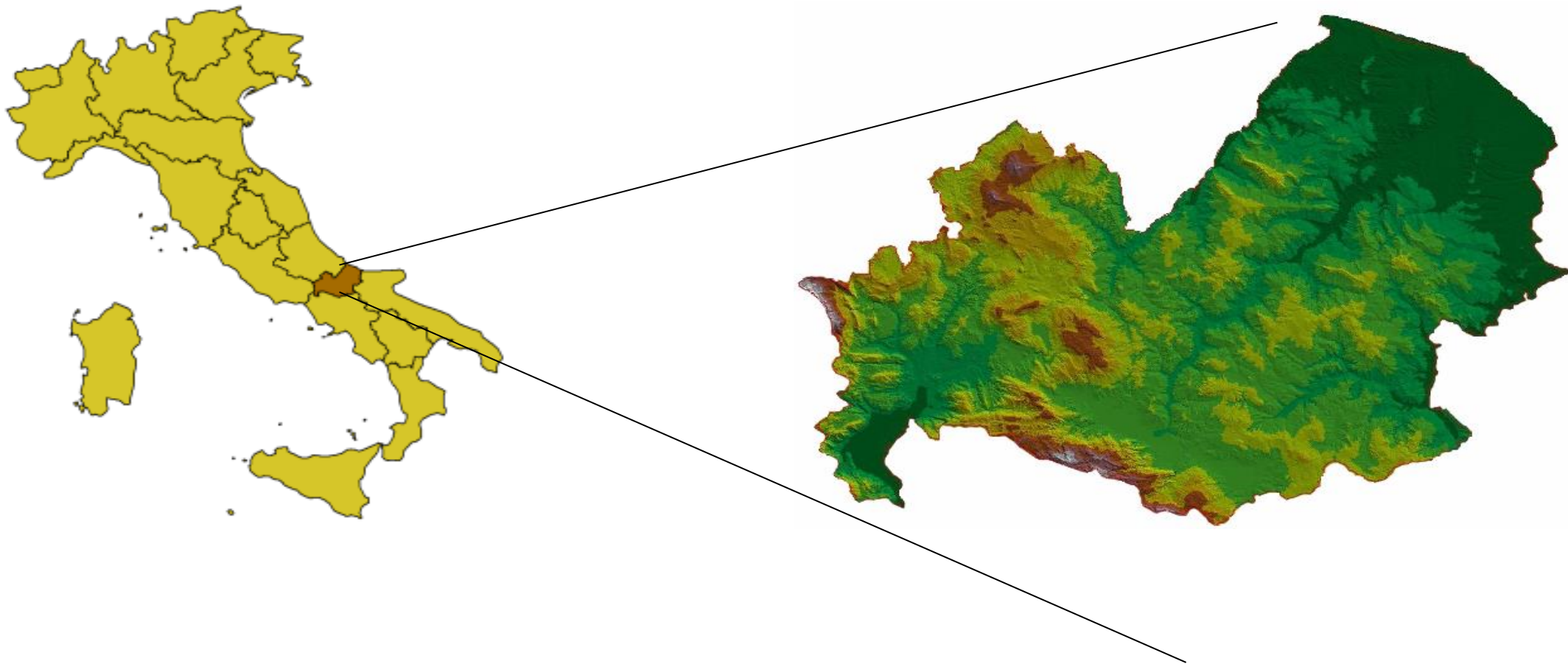


CUTTING BILL

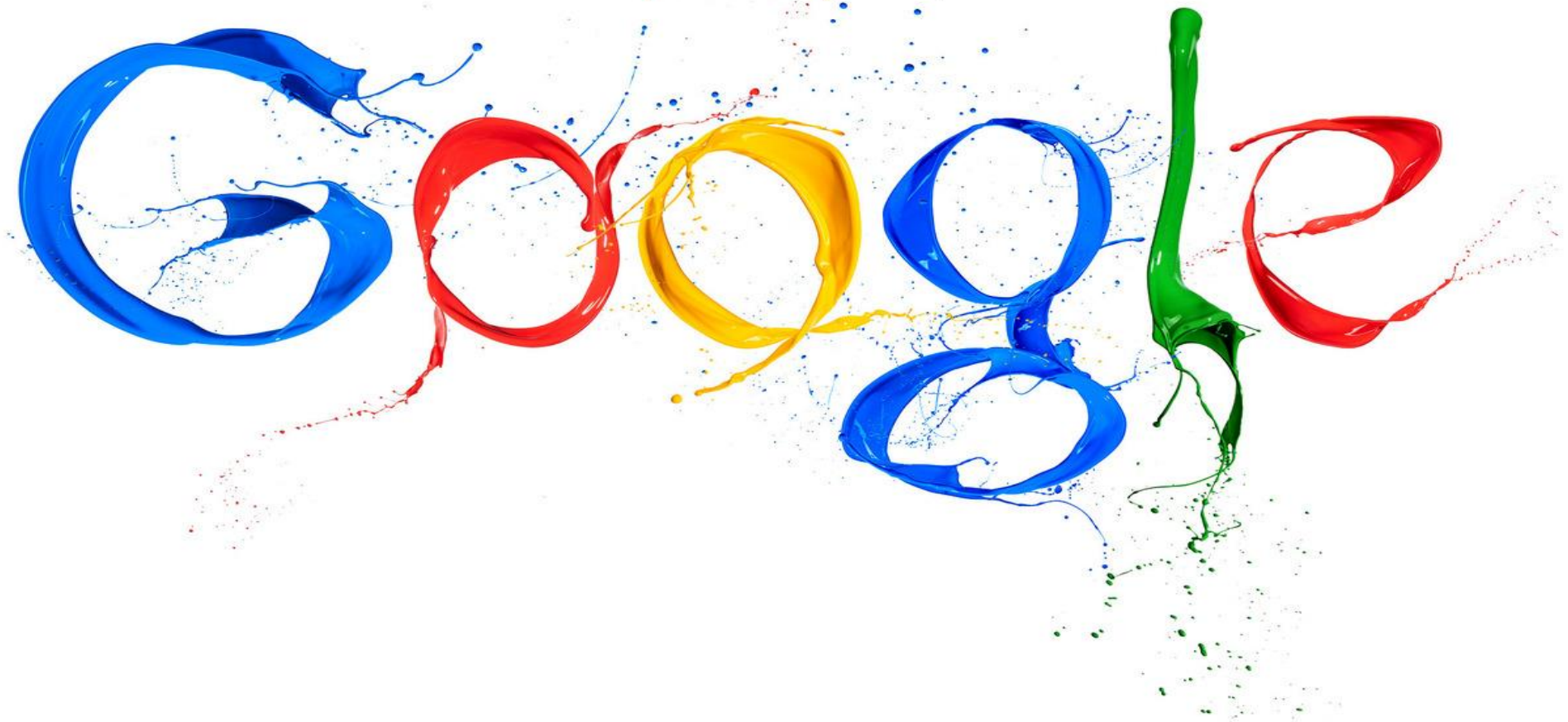








La regione Molise consuma
1.340.744 kWh all'anno



630.000.000 kWh nel 2007

Solo negli USA...

500
VOLTE
TANTO

Altre stime di consumi di grandi compagnie americane

Company	Servers	Electricity	Cost
eBay	16K	$\sim 0.6 \times 10^5$ MWh	$\sim \$3.7$ M
Akamai	40K	$\sim 1.7 \times 10^5$ MWh	$\sim \$10$ M
Rackspace	50K	$\sim 2 \times 10^5$ MWh	$\sim \$12$ M
Microsoft	>200K	$> 6 \times 10^5$ MWh	$> \$36$ M
Google	>500K	$> 6.3 \times 10^5$ MWh	$> \$38$ M
USA (2006)	10.9M	610×10^5 MWh	$\$4.5$ B
MIT campus		2.7×10^5 MWh	$\$62$ M

Figure 1: Estimated annual electricity costs for large companies (servers and infrastructure) @ \$60/MWh. These are conservative estimates, meant to be lower bounds. See §2.1 for derivation details. For scale, we have included the actual 2007 consumption and utility bill for the MIT campus, including dormitories and labs.

Google consuma energia elettrica quanto 41 grattacieli

I kilowattora utilizzati nel 2010 basterebbero a illuminare una città con 207 mila abitazioni

DAL NOSTRO CORRISPONDENTE



Turbina eolica di Google nel Nord Dakota

NEW YORK - Quanta energia elettrica consuma Google per far funzionare il suo motore di ricerca, i video di YouTube, i servizi di posta elettronica Gmail e i banner di pubblicità? E quanti gas serra produce? Uno dei segreti finora più gelosamente custoditi dal gigante di Mountain View è stato finalmente sciolto dallo stesso Google.

CONSUMI - Nel 2010, si scopre, Google ha consumato 2,3 miliardi di kilowattora, l'equivalente dell'energia

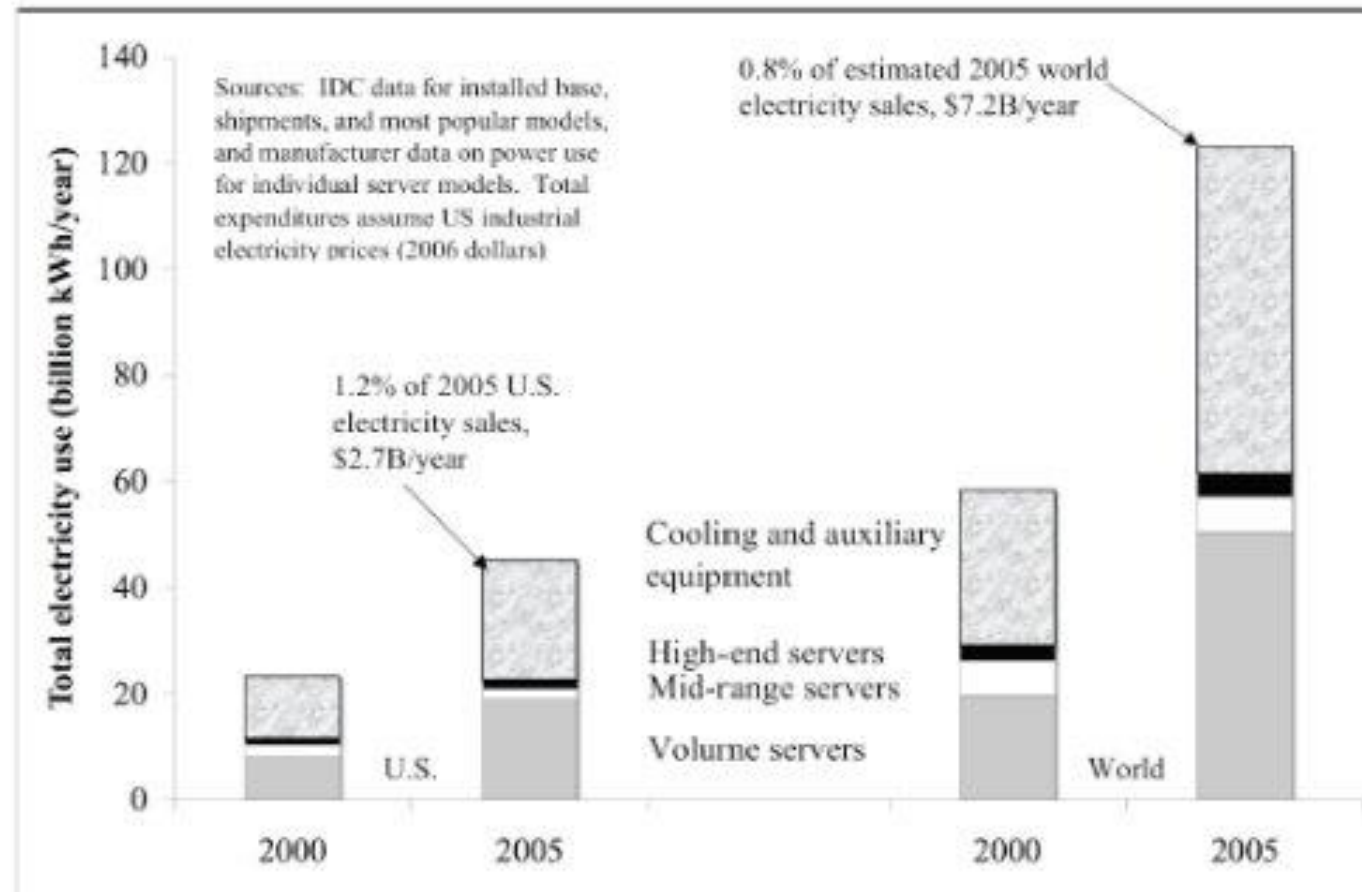
necessaria a 207 mila abitazioni e all'elettricità usata da 41 Empire State Building nell'arco di un anno. Ma dalle pagine del blog ufficiale, il vicepresidente dell'azienda Urs Hölzle, rivela anche come, nel 2010, Google abbia emesso 1,46 milioni di tonnellate di anidride carbonica, equivalenti a quelle di 70 mila individui. Anche se si tratta di cifre astronomiche, Hölzle le tira fuori per dimostrare che la sua è una delle aziende più ecologicamente responsabili del pianeta. «Nel corso di un mese i server di Google usano meno energia, per utente, di una lampadina lasciata accesa per tre ore», ribatte Hölzle. «Stiamo investendo risorse per creare 1,7 GW di energia rinnovabile», incalza, «l'equivalente di quella necessaria per far funzionare oltre 350 mila case».

INVESTIMENTI - Per il colosso fondato nel 1998 da Larry Page e Sergey Brin non si tratta di quisquiglie filosofiche. Se la sostenibilità negli Stati Uniti è ormai un *must* nel marketing anche dei più famigerati inquinatori, per Google è diverso. «La coscienza verde fa parte del suo Dna», scrive il *New York Times*, ricordando come Google abbia investito oltre un miliardo di dollari in energia rinnovabile. Dai parchi eolici in Nord Dakota, California e Oregon agli impianti solari in California e Germania alle *wind farms* nell'East Coast degli Stati Uniti. Nel modernissimo quartier generale di Google al 1.600 di Amphitheatre Parkway, brucia ancora il famigerato articolo pubblicato dal britannico *Times* nel 2009 dove autorevoli scienziati accusavano Google di contribuire in maniera significativa al surriscaldamento del pianeta. «Le sue ricerche inquinano», furono i titoli che circolarono per giorni sulle prime pagine dei giornali di tutto il mondo, con un ritorno d'immagine devastante per l'azienda che da sempre sostiene di essere «la più verde» di tutte.

Nel 2010 Google ha consumato 2.300.000.000 kWh

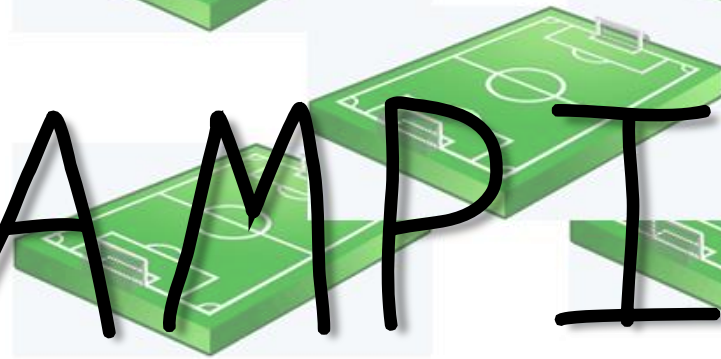
«Da noi in Italia i kilowattora usati da Google in dodici mesi basterebbero a far funzionare città' come Trieste e Padova.»

Figure 2: Total electricity use for servers in the U.S. and the world in 2000 and 2005, including cooling and auxiliary equipment



Solo 10 anni fa tutti i server americani consumavano circa 60.000.000.000 kWh/year

I data center piu' grandi al mondo occupano quasi 100.000 m², l'equivalente di..



17

CAMPIDA

CALCIO

Generano attualmente circa il

2%

delle emissioni globali di anidride carbonica.

Entro il 2020, ai tassi di crescita attuali e senza miglioramenti nell'efficienza energetica, i data center produrranno 359 megatonnellate di CO₂, pari a quanto prodotto annualmente dal 48% delle auto americane.



In Italia?

» Corriere della Sera - Scienze » Eni Green Data Center: primo al mondo per efficienza energetica

SCARONI: «UN BUON INVESTIMENTO, COSTA 100 MILIONI MA IN TRE ANNI SI RIPAGA»

Eni Green Data Center: primo al mondo per efficienza energetica

In provincia di Pavia un nuovo centro ospita i sistemi informatici centrali di elaborazione

Sei camini e una collinetta, tra le risaie della Pianura Padana. Ma qui l'agricoltura non c'entra nulla. Anzi, tra le campagne della Lomellina, nel Pavese, si respira aria di innovazione. Si tratta del Green Data Center di Eni. Un impianto all'avanguardia, inaugurato il 29 ottobre, con consumi ridottissimi in una concentrazione di potenza elettrica fino a 50 chilowatt al metro quadro. Perché non è vero che l'informatica non inquina, tutt'altro. Il problema principale delle server farm, al contrario di quanto si pensa, non sta nello spazio, ma nell'elevato dispendio di energia.

Eni Green Data Center: la server farm meno energivora



RISPARMI - Eni ha investito 100 milioni di euro per la realizzazione del Green Data Center. Lo ha affermato l'amministratore delegato del gruppo, Paolo Scaroni. «È un buon investimento, risparmieremo circa 30 milioni di costi operativi all'anno, quindi in poco più di tre anni ripaghiamo l'investimento iniziale», ha aggiunto Scaroni.

SOTTO TERRA - Il centro di Ferrera Erbognone, interamente interrato e sviluppato per ospitare i sistemi informatici centrali di elaborazione Eni, sia di informatica gestionale, sia di elaborazione di simulazione sismica (High Performance Computing), è il primo al mondo per efficienza energetica: con un abbattimento medio di 335 mila tonnellate annue di CO₂ (pari all'1% dell'obiettivo italiano previsto dal protocollo di Kyoto). Se si calcola il rapporto tra l'energia totale utilizzata e

😊 94%
SODDISFATTO

➡ 55 💬 6

🕒 DA GUARDARE

Ascolta | Stampa | Email

NOTIZIE CORRELATE

- **A Torino il Campus dell'efficienza energetica** (22/10/2013)
- **Un data center a basso impatto ambientale** (08/03/2013)

[an error occurred while processing this directive]

Marte: parte Maven per svelare i segreti dell'atmosfera del Pianeta rosso

Ecco perché gli albatros riescono a volare per chilometri senza stancarsi

Gli elefanti restano traumatizzati dalla caccia ai membri del gruppo



PIÙ letti

OGGI SETTIMANA MESE

- 1 Usa: oltre 70 tornado colpiscono dieci Stati
- 2 «Cuore di tenebra», il potere senza eredi
- 3 La storia di Burak, da stella del calcio tedesco a combattente islamico ucciso in Siria
- 4 Parigi, entra a «Libération» e apre il fuoco Spara alla

IN PRIMO piano

Maltempo, donna muore annegata ad Oristano
Crolla un ponte ad Olbia. Cinque dispersi

Parigi, entra a «Libération» e apre il fuoco
Spara alla Défense e sequestra automobilista

Alitalia: il piano industriale prevede oltre 2500 esuberi

Voto in Basilicata: affluenza al 47,57%
Pittella stacca tutti a un quarto dello spoglio

Pd, nei circoli prima vittoria per Renzi

Pubblicità

Stai ascoltando
105 Radio FM

Data center ENI inaugurato il 29 ottobre 2013 a Ferrera Erbognone (Pavia)

- Costo: 100.000.000 euro
- Interamente interrato
- Primo al mondo per efficienza energetica
- 335 mila tonnellate annue di CO2 (pari all'1% dell'obiettivo italiano previsto dal protocollo di Kyoto).



- 7 mila sistemi, con piu' di 60 mila core Cpu
- Raffreddamento mediante camini (free-cooling)



Come
risparmiare
sulla
BOLLETTA?

Cutting the Electric Bill for Internet-Scale Systems

Asfandiyar Qureshi
MIT CSAIL
asfandiyar@mit.edu

Rick Weber
Akamai Technologies
riweber@akamai.com

Hari Balakrishnan
MIT CSAIL
hari@mit.edu

John Guttag
MIT CSAIL
guttag@mit.edu

Bruce Maggs
Carnegie Mellon University
bmm@cs.cmu.edu



2

punti

CHIAVE

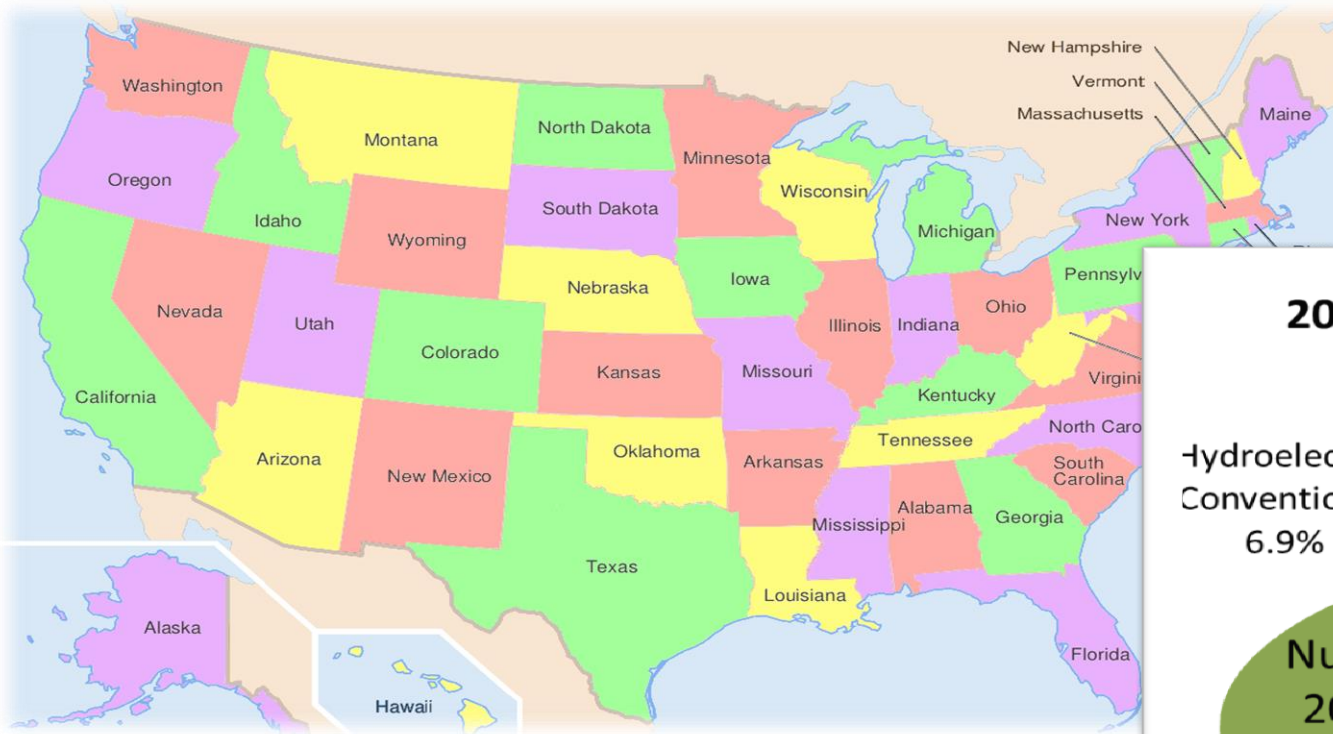


Elasticità dei costi
dell'energia

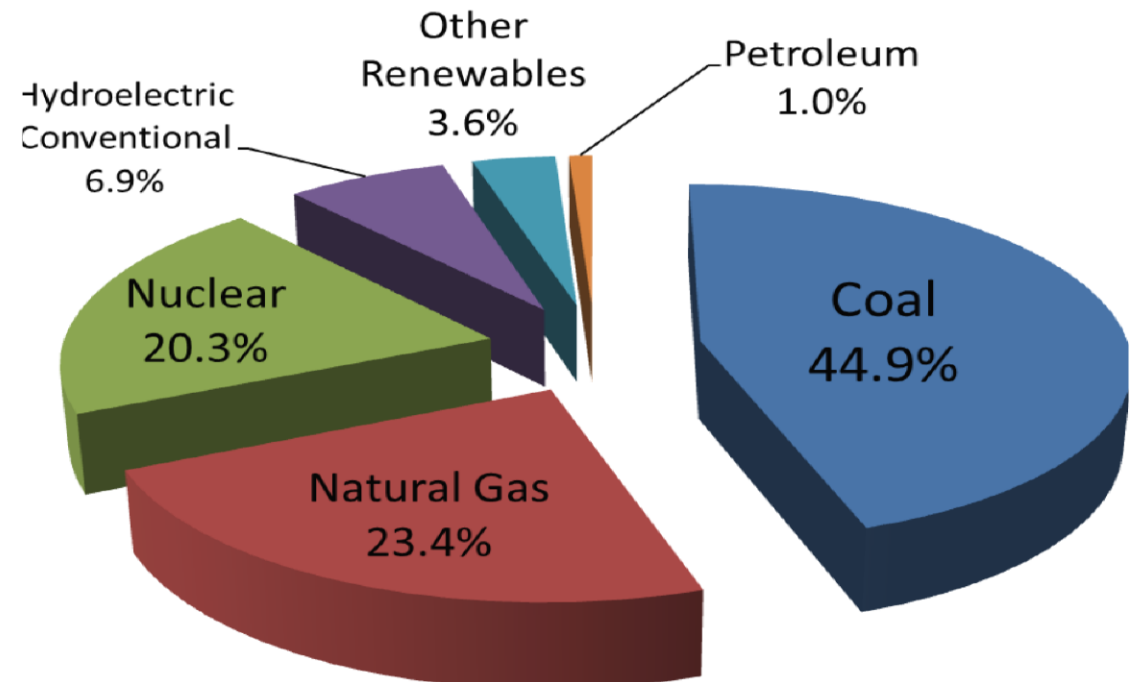


Meccanismi di routing su
server largamente distribuiti

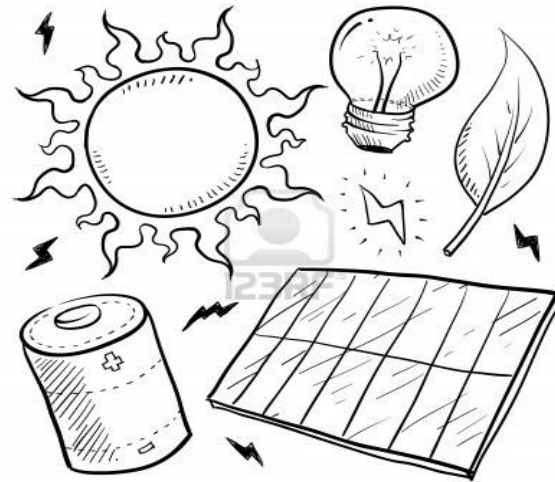
Elasticita' dei costi dell'energia



2009 U.S. Electricity Generation by Source



Elasticita' dei costi dell'energia



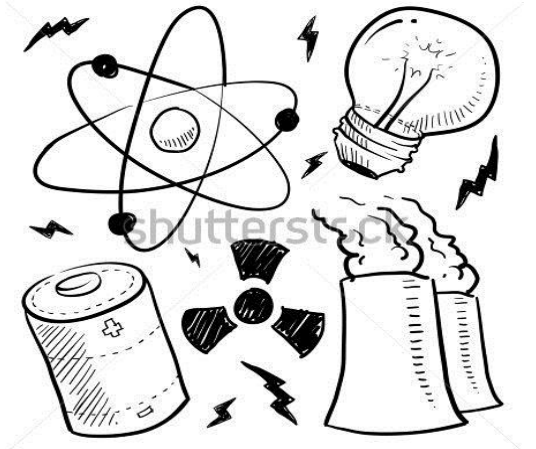
Diverse fonti
di energia

=

Costi

differenti

tra stato e
stato



Elasticita' dei costi dell'energia

Diverse tipologie di mercato USA

- Day/hour-ahead market
- Real-time



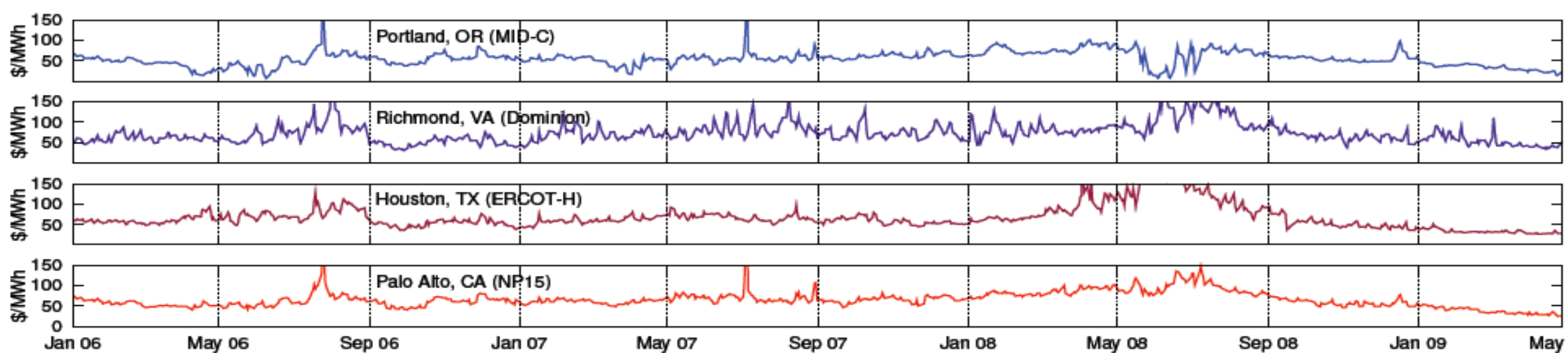


Figure 3: Daily averages of day-ahead peak prices at different hubs [18]. The elevation in 2008 correlates with record high natural gas prices, and does not affect the hydroelectric dominated Northwest. The Northwest consistently experiences dips near April (this seems to be correlated with seasonal rainfall). Correlated with the global economic downturn, recent prices in all four locations exhibit a downward trend.

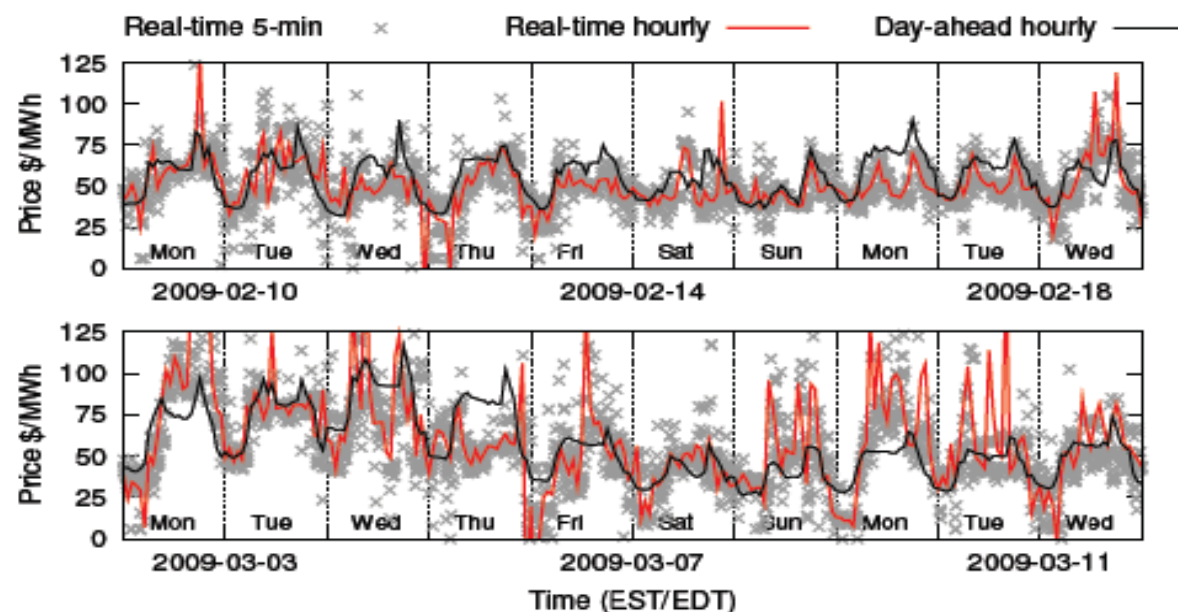
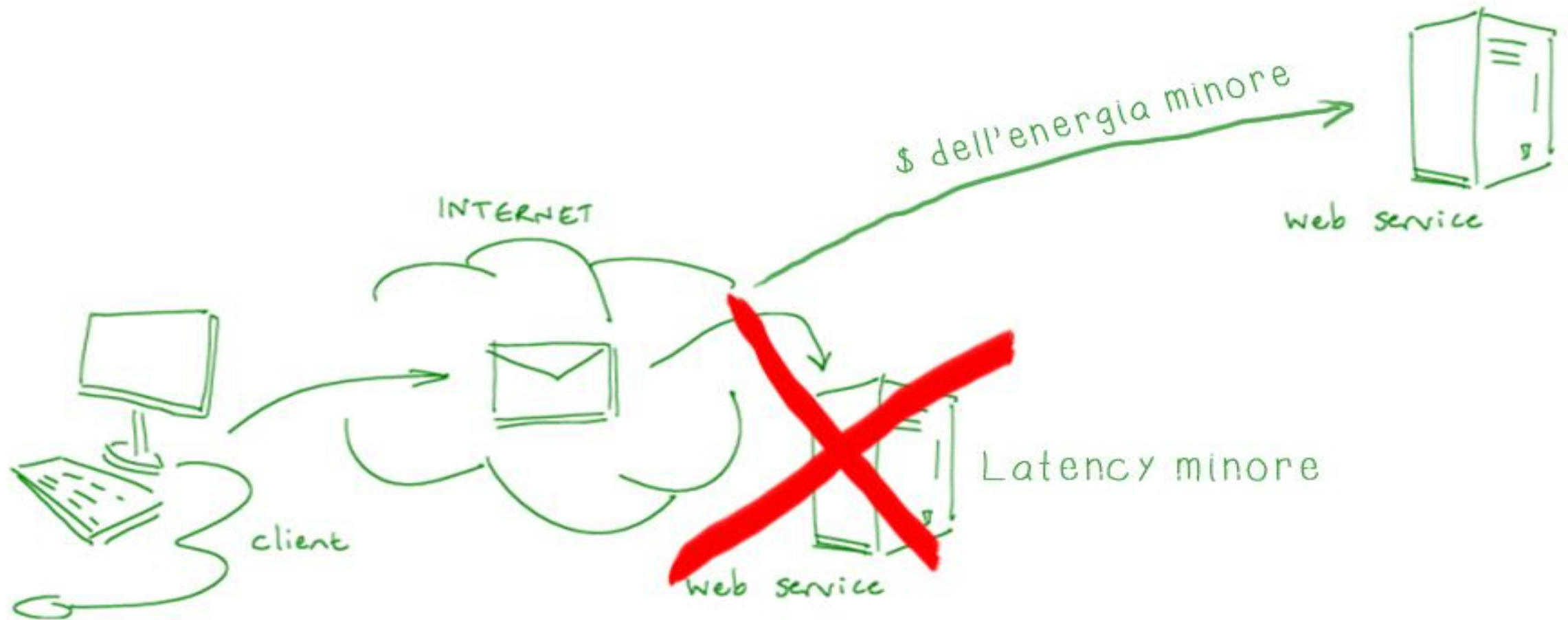


Figure 4: Comparing price variation in different wholesale markets, for the New York City hub. The top graph shows a period when prices were similar across all markets; the bottom graph shows a period when there was significantly more volatility in the real-time market.

Meccanismi di routing su server largamente distribuiti





Risultati?

40%

Di risparmio sui costi
dell'energia elettrica..



Basandosi sui valori stimati di Akamai tra 2006 e 2009

Ma..



Lo studio sui dati di
Akamai
si basa su due
premesse teoriche



Energia consumata
direttamente proporzionale
al carico di computazione



No costi dovuti alla
maggiore latency e
bandwidth inalterato



Energia consumata
direttamente proporzionale
al carico di computazione



No costi dovuti alla maggiore
latency e bandwidth
inalterato

40%

Di risparmio teorico
sui costi dell'energia
elettrica..



Basandosi sui valori stimati di Akamai tra 2006 e 2009

5 %

Di risparmio vero sui
costi dell'energia
elettrica..



Basandosi sui valori stimati di Akamai tra 2006 e 2009

Vediamo altri
approcci di
risparmio su server
distribuiti..

Power Provisioning for a Warehouse-sized Computer

Preparare e prevedere i consumi per un
Computer di vaste dimensioni

Daniele Baschieri

Perche'?

- Il costo per realizzare datacenter puo' rivaleggiare con il consumo energetico degli stessi
- Incentivi economici per lavorare a massimo carico
- Aumentare il numero delle macchine per una data disponibilita' energetica



Come?

- Framework per la modellazione e la stima della potenza energetica richiesta



- Opportunita' di miglioramento a livello cluster, meno a livello rack
- Sistema efficiente non solo per i picchi energetici ma per tutto lo spettro dell'utilizzo



Introduzione

Costo energia aumenta

Costo hardware rimane invariato

Il costo di un datacenter varia in base alla capacità di calcolo, bisogna sfruttarlo a regime!

Senza superare il contratto energetico stipulato

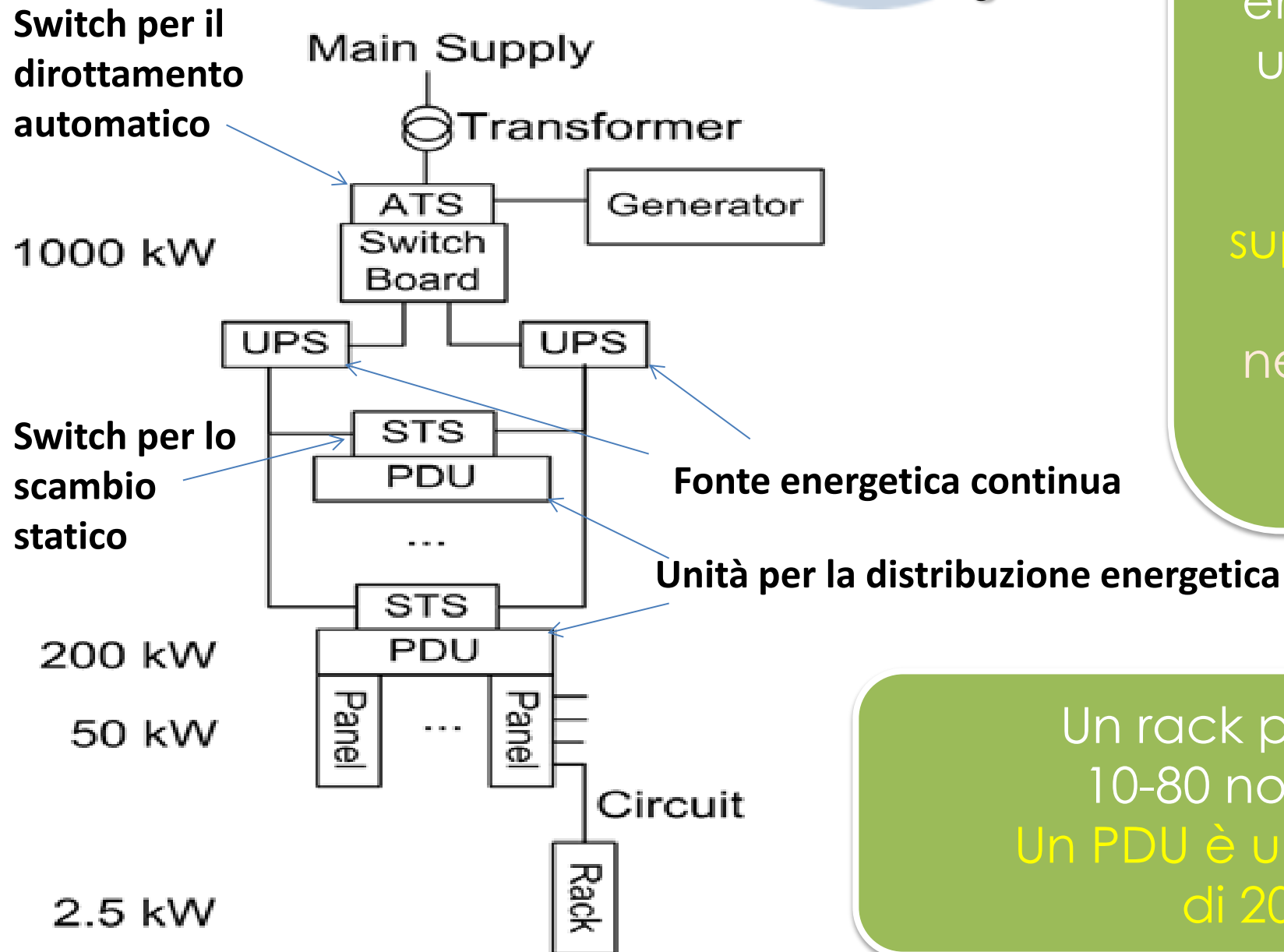
Se questo trend
continua il costo
dell'hardware
verrà superato da
quello energetico



Luiz Andre' Barroso
Google Research

*Power Provisioning for a Warehouse-
sized Computer, Xiaobo Fan, Wolf-
Dietrich Weber, Luiz André Barroso,
2007, Google Inc*

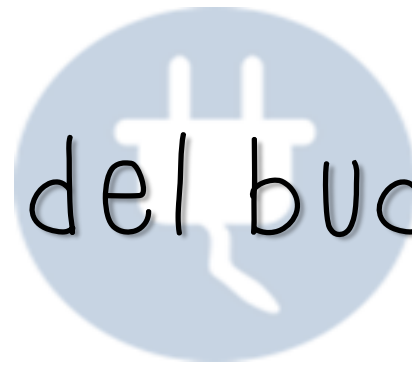
Pianificazione del consumo di energia



Il superare i limiti energetici può essere un problema fisico o contrattuale:
nel caso fisico il superamento causa la rottura dei circuiti
nel caso contrattuale una penalità sulla bolletta

Un rack può contenere 10-80 nodi computer.
Un PDU è un'aggregazione di 20-60 Rack

Sottoutilizzo del budget energetico



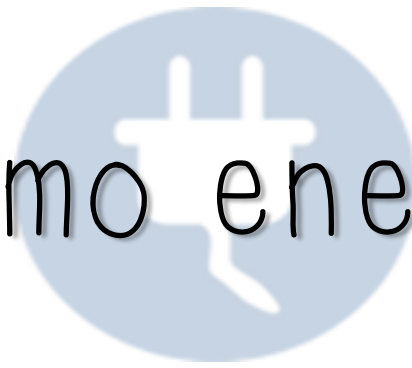
- **Stage deployment:** raramente datacenter nuovi sono già pieni di clienti
- **Fragmentation:** si può aggiungere una macchina senza intaccare il budget energetico
- **Conservative equipment rating:** i rating basati su nameplate spesso riflettono una misura irrealistica della richiesta energetica della macchina
- **Variable load:** carichi di richieste variabili nel tempo
- **Statistical Effect:** un largo gruppo di macchine ha lo stesso picco energetico contemporaneamente

Stima della Potenza Erogata

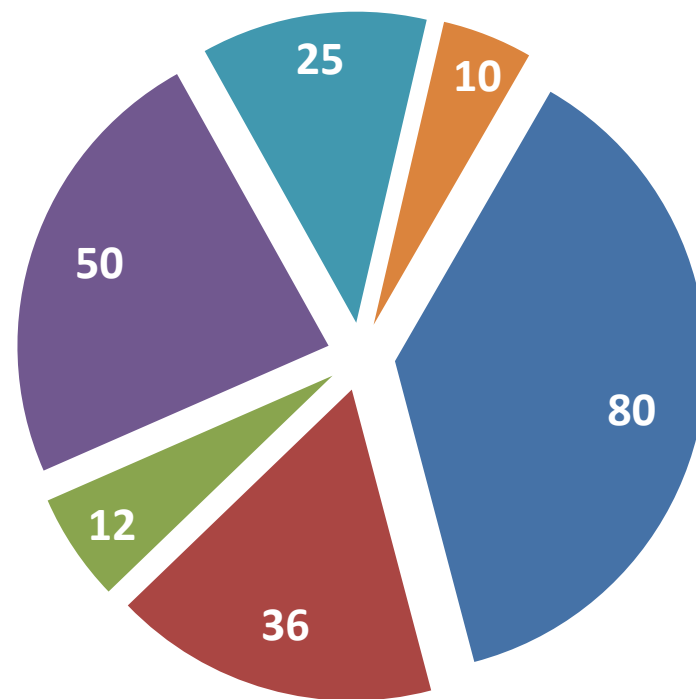
La difficoltà di studiare strategie per come distribuire le risorse sta nella mancanza di dati in merito al consumo energetico di vasti sistemi di computer

- Sfruttare un framework per la misura indiretta, che inserisce un piccolo overhead alla computazione ma fornisce una accurata descrizione dei consumi
- Nameplate vs Peak power (60%)
- CPU orientato

Consumo energetico

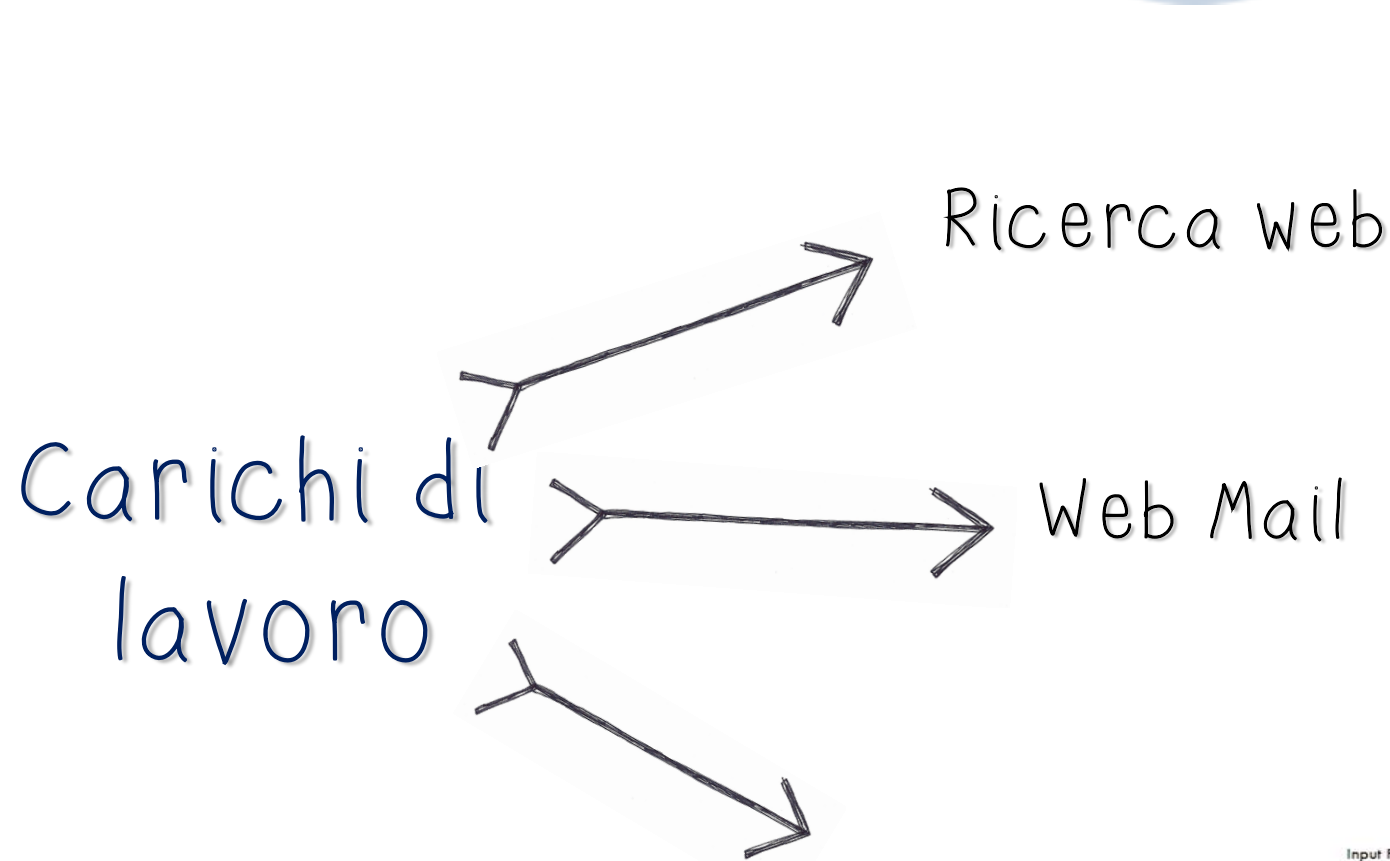


Consumo in Watt

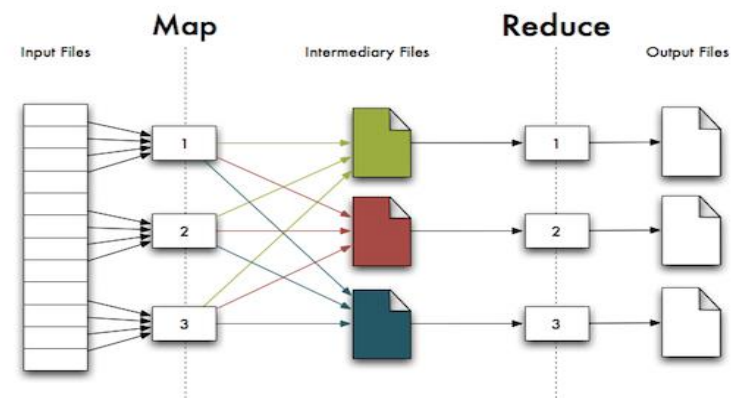


- CPU**
- Memory**
- Disk**
- PCI**
- Mother Board**
- Fan**

Caratteristiche del consumo energetico



Map Reduce



Funzione di distribuzione

Web Search

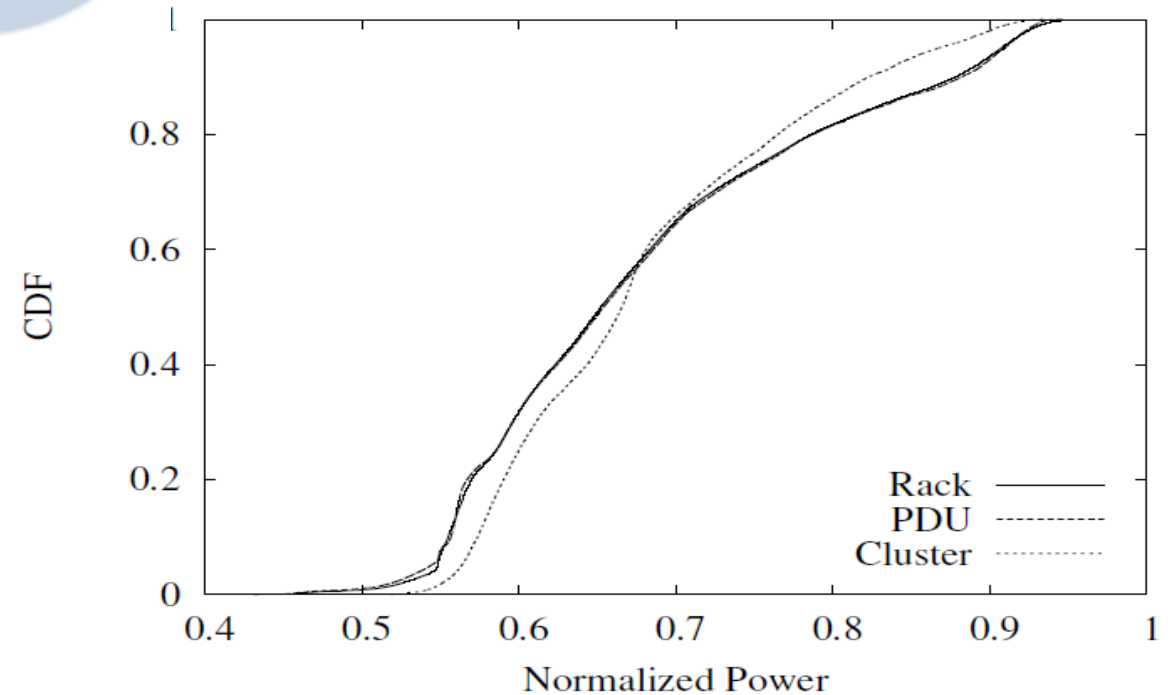
Livello Rack: comincia a 0.45 e nessuno degli elementi consuma meno del 45% del picco.

La curva cresce lentamente

per la maggior parte non spende che il 60-80% del picco.

La curva arriva al massimo al 98% del picco massimo.

Livello cluster: 93%. Cio' indica che c'e' un momento in cui tutte le 40 macchine lavorano al picco.



(a) Full distribution

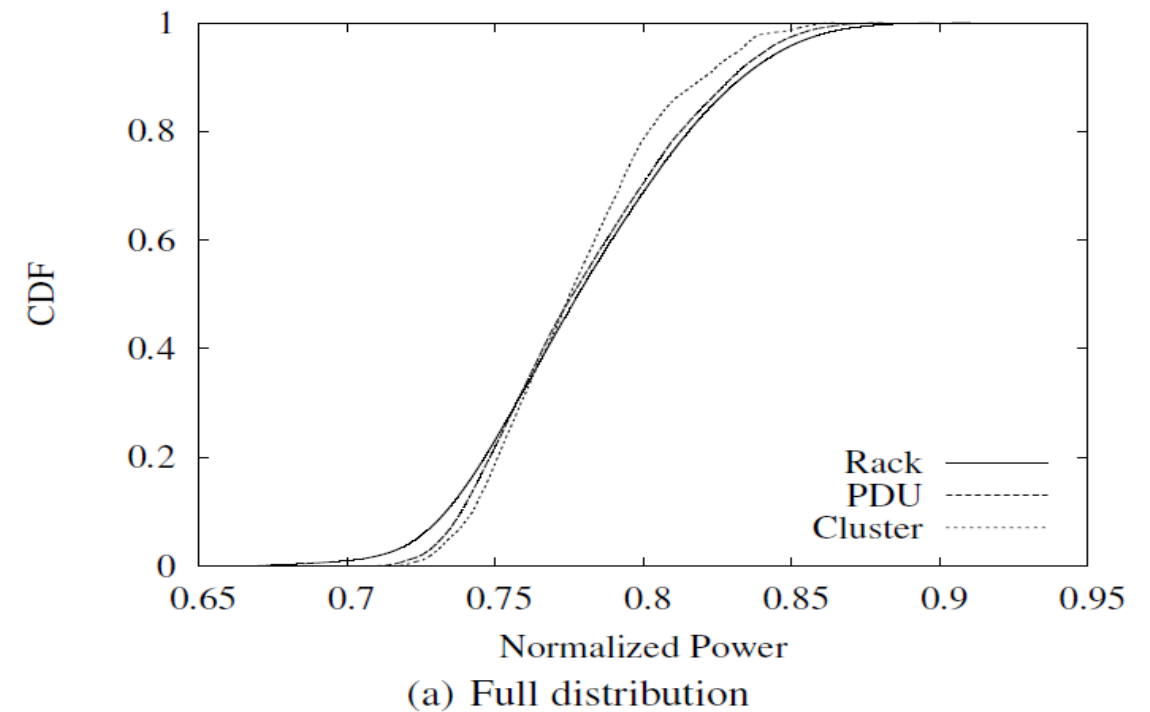
Funzione di distribuzione



Web Mail

Molto Simile al web search, piu' dolce come curva, ma il massimo e' piu' basso.

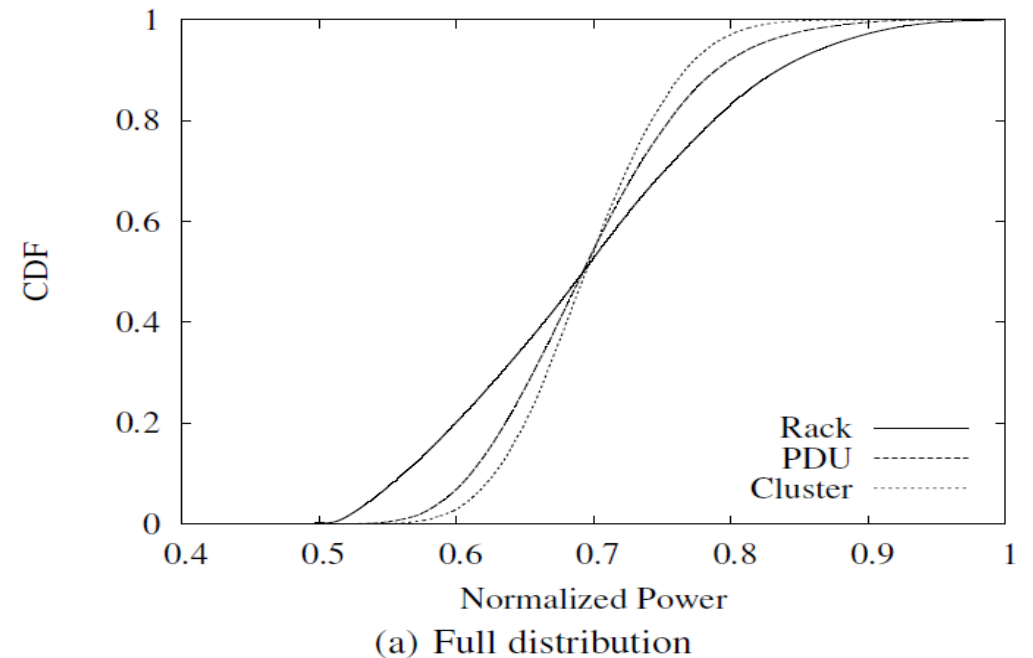
Livello Rack: 92% massimo, mentre solo 86% livello cluster.



Funzione di distribuzione

Map-reduce

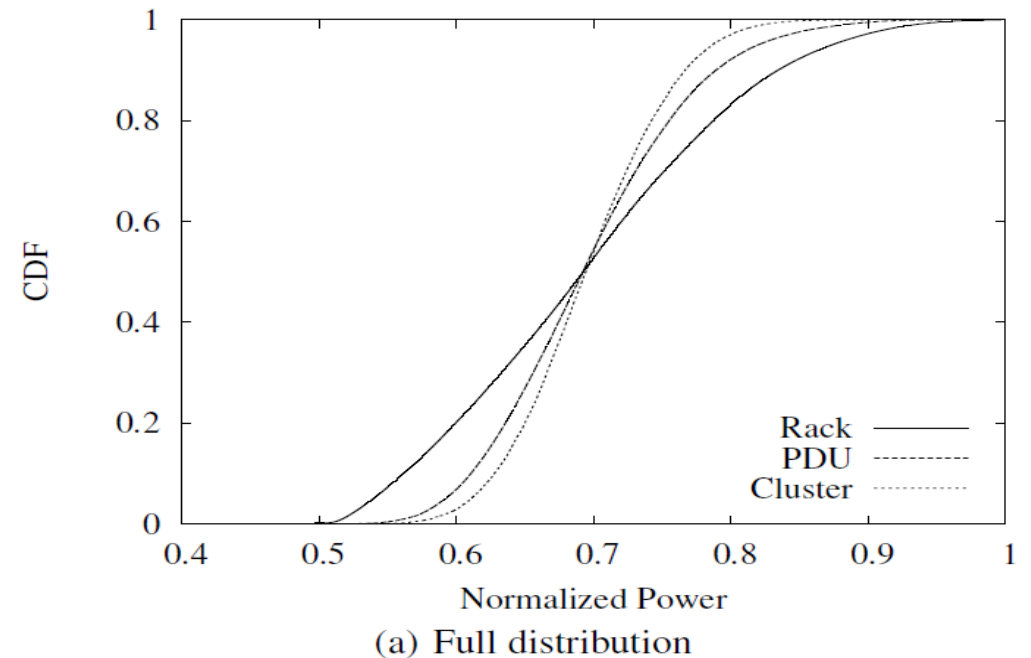
Grande differenza rispetto al Rack, PDU e cluster degli altri due esempi proposti.



Funzione di distribuzione



A livello cluster si comporta come gli altri: indica che tra diversi rack il consumo e' omogeneo. Arriviamo a livello rack al 100% mentre a livello cluster mai oltre il 90%



Con lo stesso budget energetico potremmo dispiegare nella web search 7.5% piu' macchine, per il web mail ben 16% in piu', mentre l'11% per il map-reduce.



Power Capping

Tecniche di “tappatura” dell'alimentazione permettono di impostare un valore inferiore alla potenza erogata nei momenti di picco effettivi impedendo che questo valore venga superato, cio' attraverso circuiti di regolazione o monitor.



Power Capping

Ci sono diverse tecniche per fare cio':

- Deschedulando task
- Usando alcune componenti di livello per power management come il cpu voltage scaling.

Questa tecnica pero' produce si vantaggi ma piuttosto modesti, solo nel caso della mapreduce abbiamo vantaggi effettivi fino ad un massimo di 11% con un capping del 1% e del 24% con un capping del 2%.

Media vs Picchi di potenza

Workload	Average Power	Observed peak power	Average Observed
Websearch	68.0%	93.5%	72.7%
Webmail	77.8%	86.5%	89,9%
Mapreduce	69.6%	90.1%	84.4%
Mix	72.1%	85.4%	84.4%
Real DC	59.5%	71.9%	82.8%

Mentre il picco e' quello che chiede la massima quantita' di energia delle macchine di un data center quello che pesa sulla bolletta e' il consumo medio.

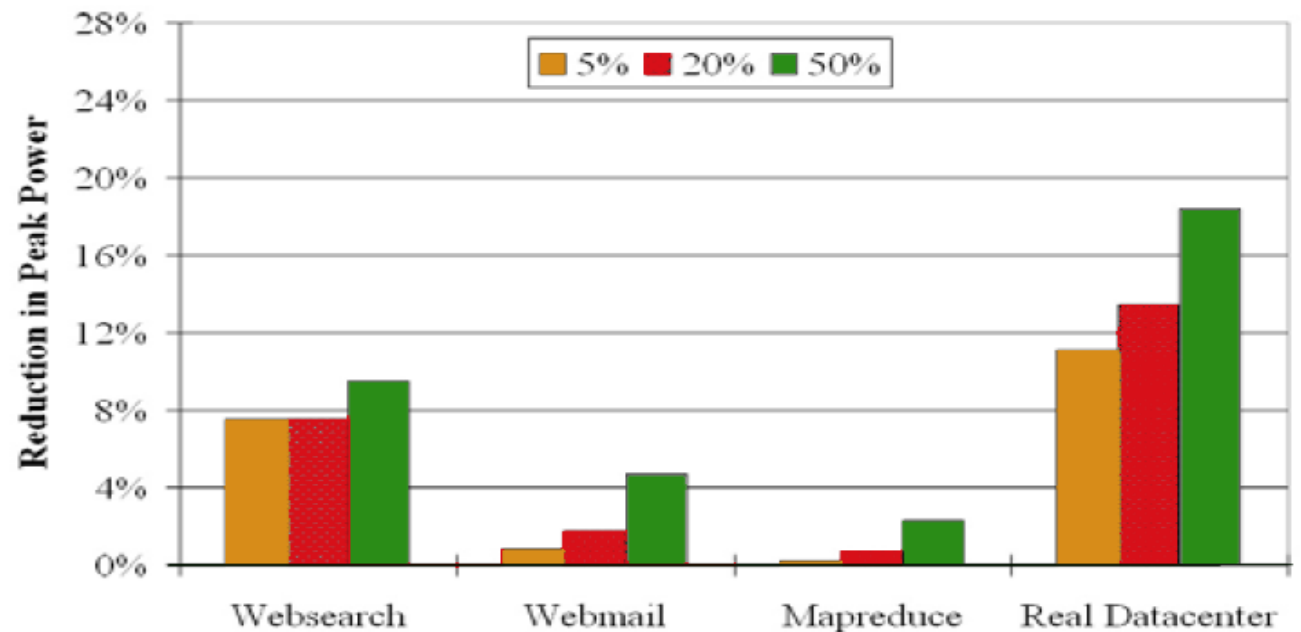
Due strategie di risparmio energetico

CPU voltage scaling (DVS)

Per ogni macchina e ogni collezione di dati, se l'utilizzo della CPU e' sotto a certi valori noi simuliamo l'attivazione del DVSA.

E procederemo con l'undervoltaggio della macchina.

Non sapendo quanto le performance possano essere peggiorate dal DVS ipotizziamo un 5% un 20% o un 50%.



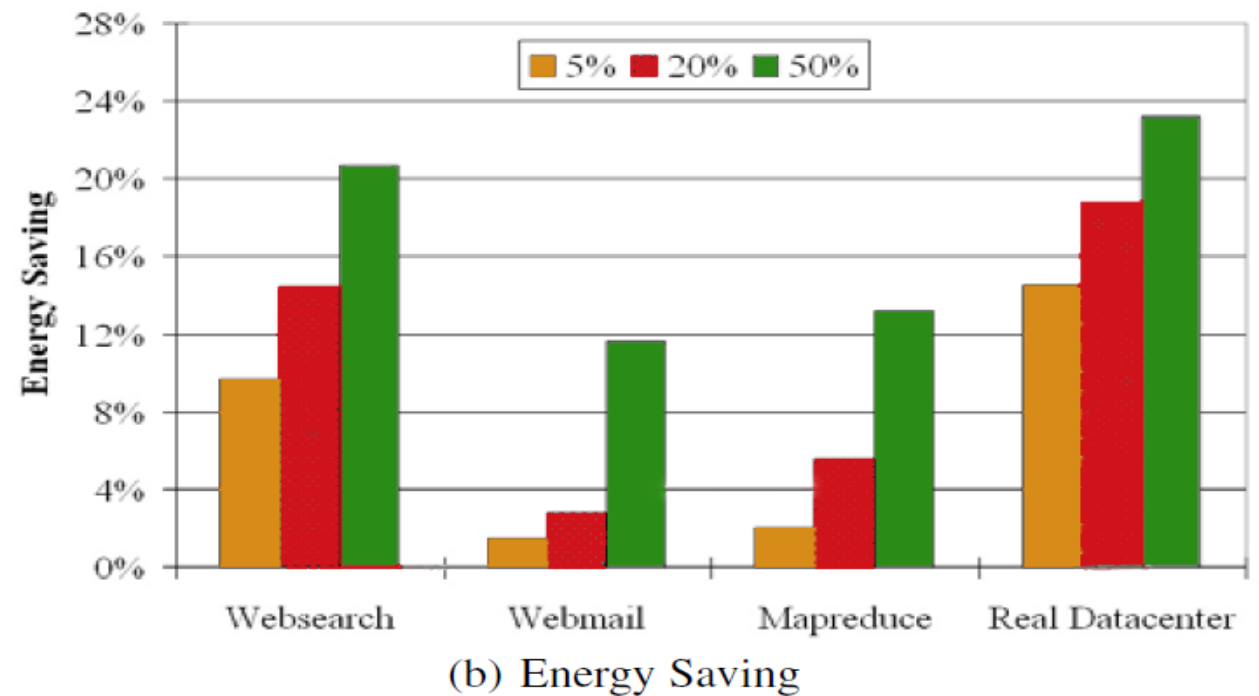
(a) Peak Power Reduction

CPU Voltage scaling (DVS)

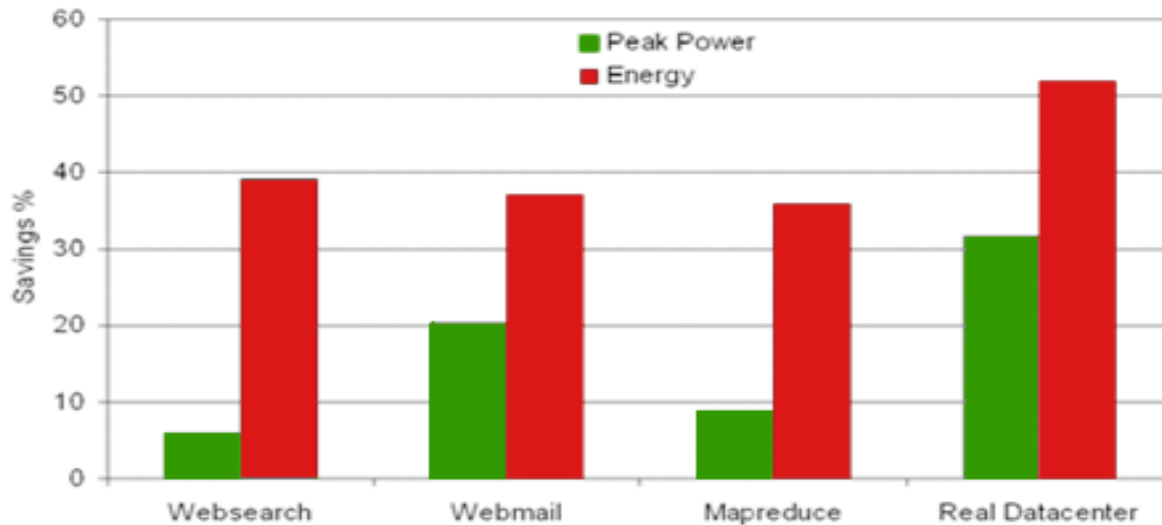
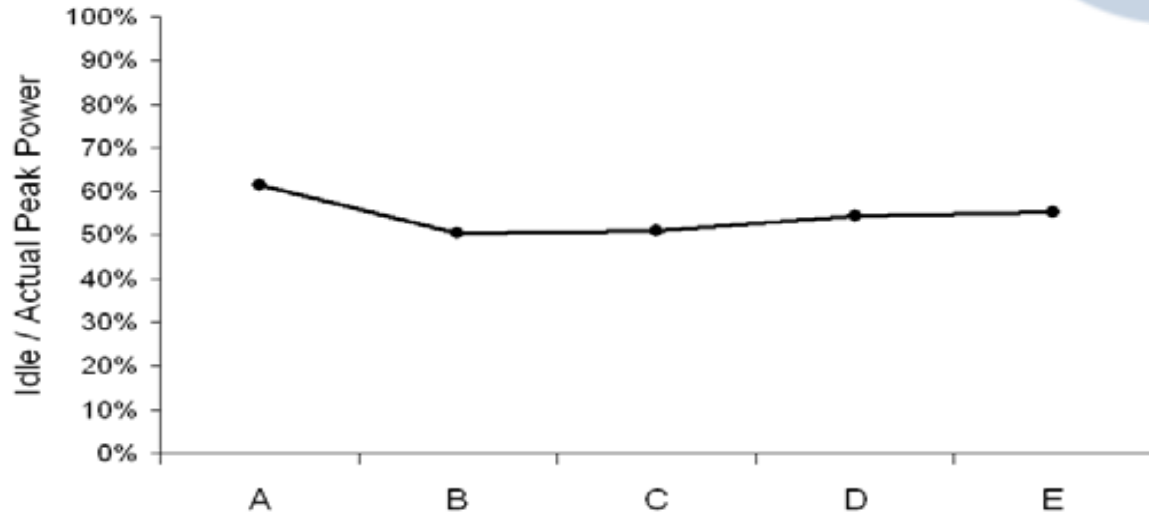


Nei Casi reali si riesce ad avere una riduzione del picco del 20%

Websearch e' quella che risponde meglio in termini di energia risparmiata, cio' dovuto alla sua computazione CPU based. Mentre webmail essendo di ricerca di dati su hard disk non ottiene grandi vantaggi.



Migliorare l'efficienza energetica fuori dai picchi



Vorremo che il nostro sistema consumasse zero quando inattivo e mano a mano aumentasse piu' aumentano i compiti che deve svolgere.

Per valutare cio' abbiamo modificato il nostro modello in modo da fissare la idle per ogni macchina al 10% della potenza di picco effettiva.

Strategie

Dai risultati possiamo trarre alcune conclusioni riguardanti le strategie per massimizzare l'ammontare di computer che possono essere messi in un datacenter data una certa capacità energetica.

Strategie

- Nameplate: non sono una buona stima
- Analisi a differenti granularita' permettono ulteriori risparmi
- Mischiare differenti tipologie di elaborazioni aiuta a ridurre i consumi
- Applicazioni non ben ottimizzate possono condurre ad un sottoutilizzo della macchina

Strategie

- Stime tramite nameplate aggiunte a questi fattori portano ad un sottoutilizzo delle macchine dall'80% al 130%.
- Un sistema di risparmio energetico dinamico puo' fungere da valvola di sfogo di sicurezza e bloccando la macchina in momenti chiave puo' ridurre i consumi
- Il DVS puo' invece portare benefici a livello cluster

Domande?



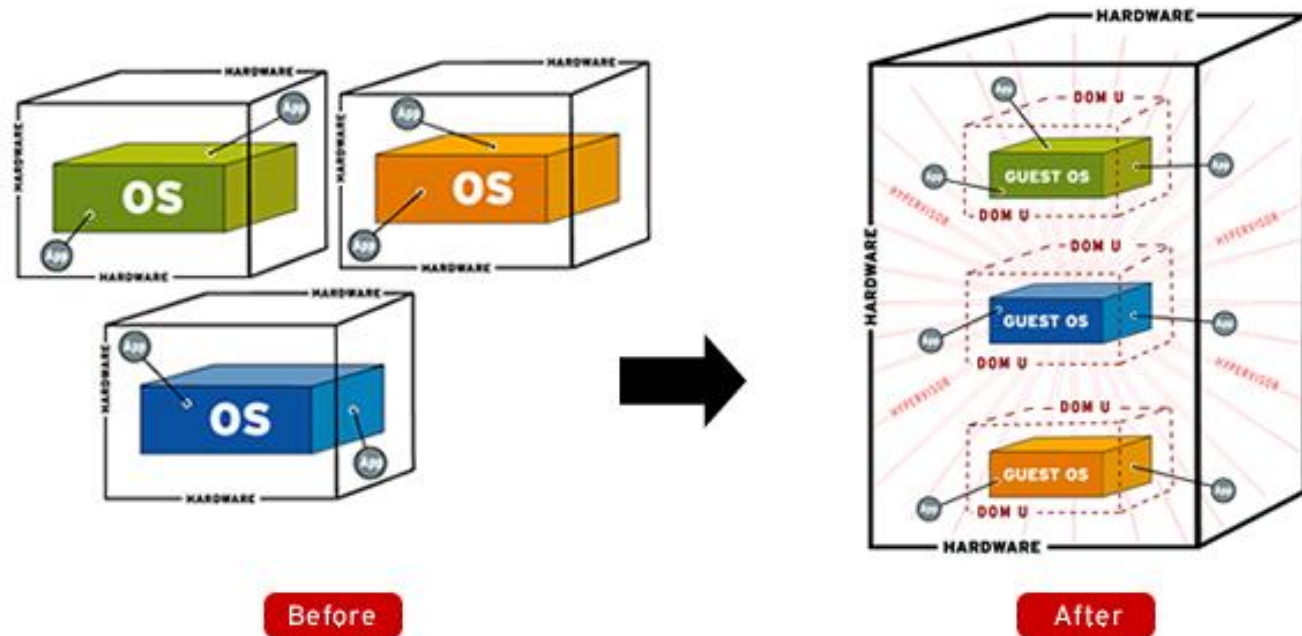
Virtualizzazione nel Cloud Computing per il Risparmio Energetico



Matteo Martelli

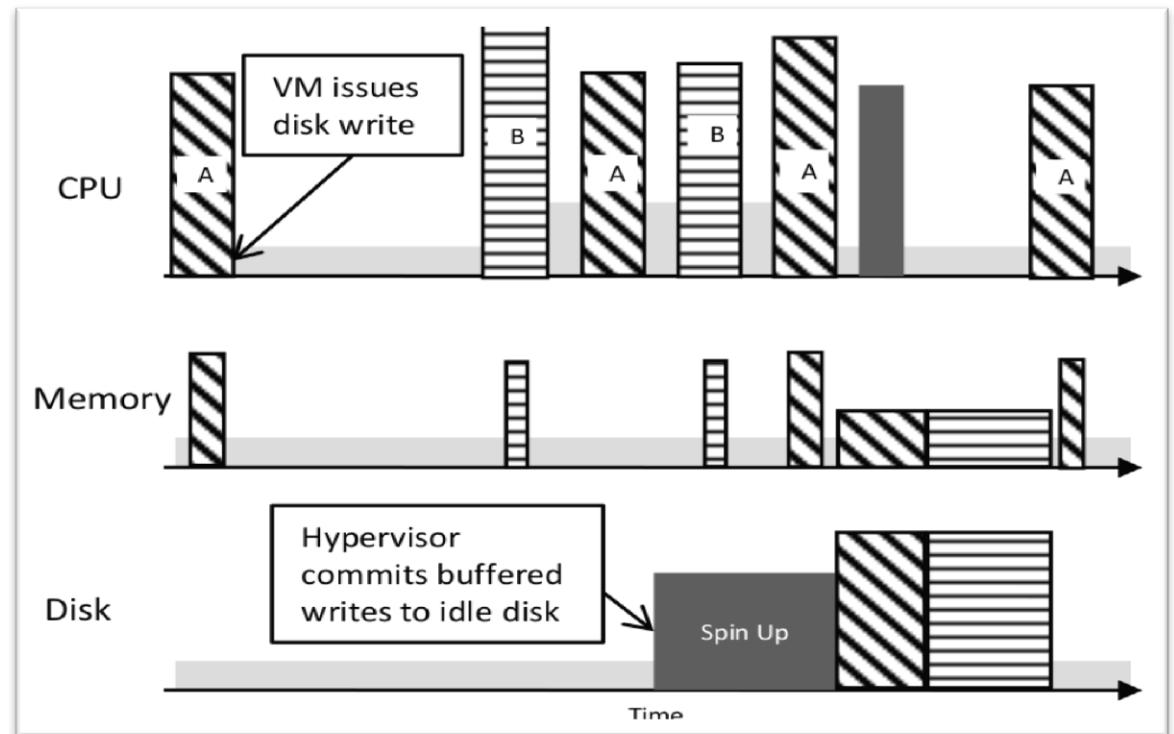
Virtual Servers

- Più OS sulla stessa macchina fisica.
- Ottimizzazione d'utilizzo delle risorse riducendo il consumo "idle".
- Riduzione dei costi di alimentazione e di raffreddamento utilizzando meno risorse fisiche.



Virtual Servers – Power metering

- Non si puo' collegare un misuratore di potenza fisico alle macchine virtuali.
- Joulemeter:
 - Si puo' misurare la potenza delle VM tracciando dinamicamente la corrispondenza tra le VM, l'utilizzo delle risorse e il loro consumo.



Power Capping Classico

- Generalmente vale $NS = total_capacity / server_peak$
- Raramente un server raggiunge il suo picco di potenza o raramente tutti i server di uno stesso circuito ci arrivano contemporaneamente.
- Si possono quindi ospitare piu' server con la stessa capacita' di potenza ($NS > total_capacity / server_peak$).
- Il Power Capping e' un meccanismo di sicurezza che limita la potenza di un server ad un determinato valore per proteggere il sistema nei rari casi di picco.
- Implementato a livello hardware (throttling).

Power Capping

Virtualizzazione

- Hardware throttling non attuabile:
 - Se una VM fa raggiungere il picco e viene limitata la potenza della macchina fisica, anche le altre VM ne risentono.
 - Perdita dell'isolamento fra VM.

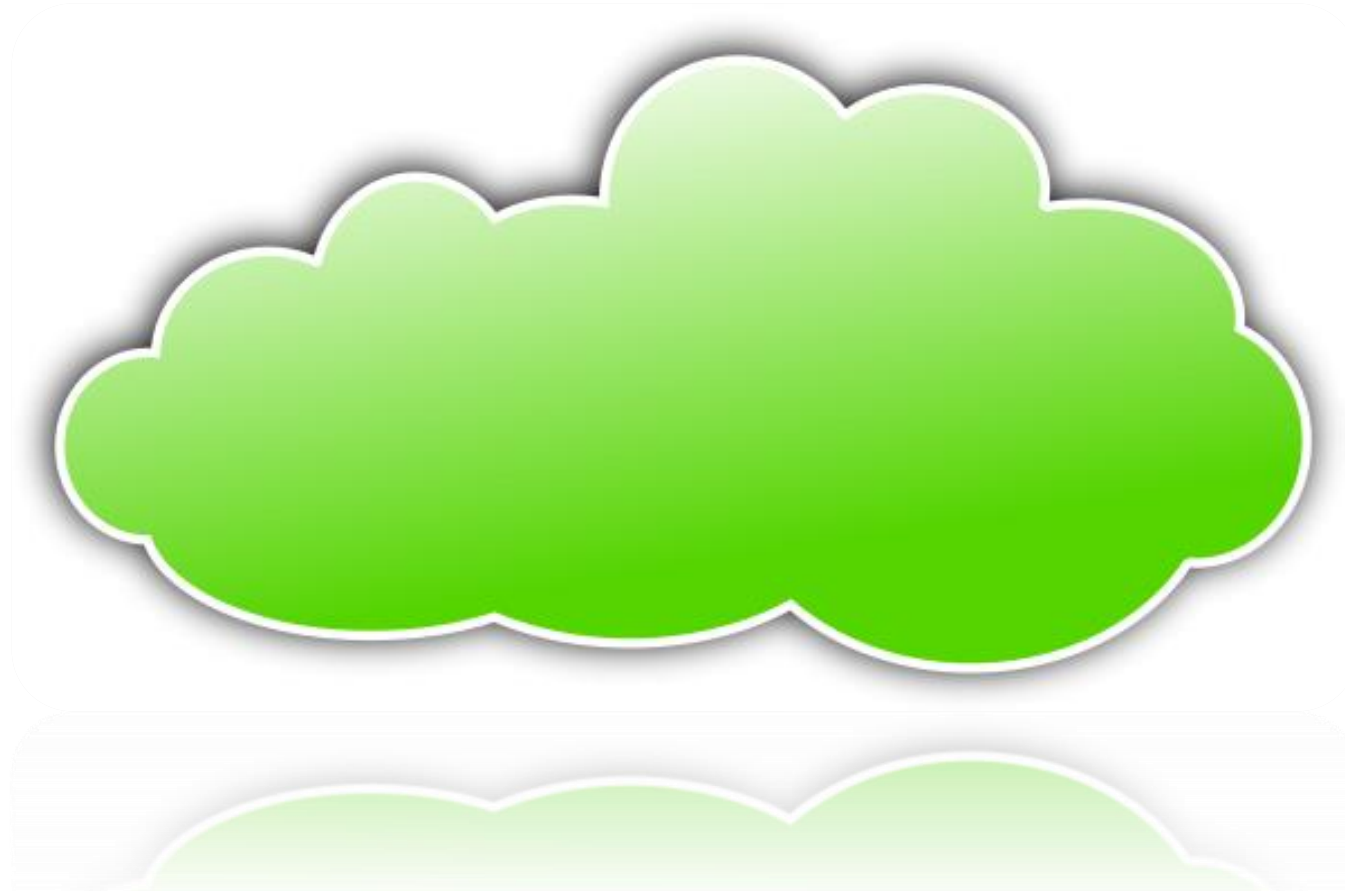
Power Capping

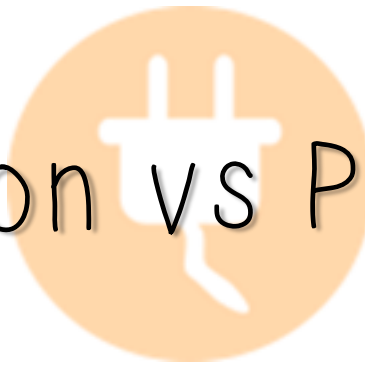
Virtualizzazione

- Joulemeter traccia la potenza d'uso di ogni VM e forza il capping su ogni VM separatamente:
 - VM limitate se superano il "budget" di potenza.
 - VM limitate secondo criteri di importanza di lavoro.
- Rimane l'isolamento tra le VM.

GreenCloud

Obiettivo di ridurre il consumo energetico mantenendo le performance ottimali utilizzando la virtualizzazione.





Full Virtualization vs Para Virtualization

- **Full Virtualization**

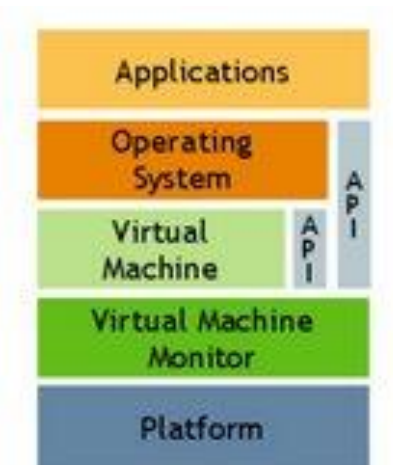
L'hypervisor deve catturare e gestire le chiamate dirette all'hardware sottostante

- **Para Virtualization**

I guest OS integrano codice virtualization-aware
Le chiamate sono già predisposte per l'hypervisor



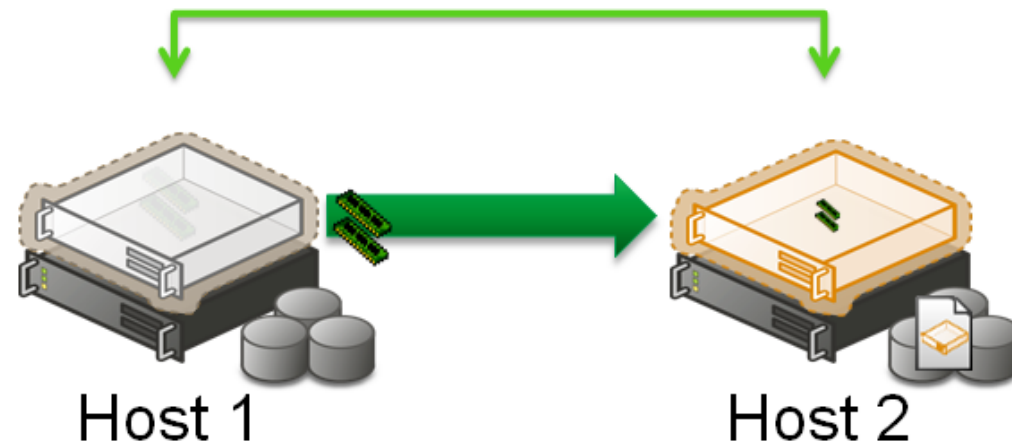
Full-virtualization



Para-virtualization

GreenCloud Live Migration

Una VM viene spostata da un server fisico ad un altro senza interromperne l'esecuzione.



GreenCloud

Live Migration

- Pre-copy memory migration
 - Fase Warm-up: l'hypervisor copia tutte le pagine in memoria sulla destinazione senza interrompere la VM.
 - Fase Stop-and-copy: la VM viene sospesa, le pagine sporche vengono ricopiate, e la VM viene riattivata sulla destinazione (pochi millisecondi).

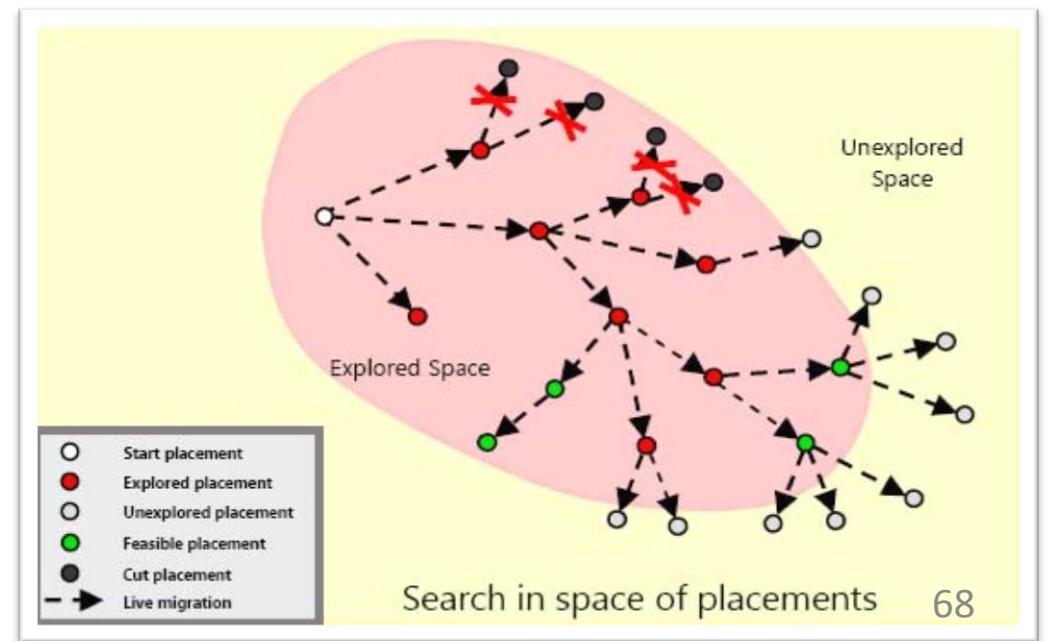
GreenCloud Live Migration

- Post-copy memory migration
 - La VM viene sospesa e solo una piccola parte della memoria viene trasferita.
 - La VM viene riattivata, quando solleva dei page fault, le pagine vengono trasferite.

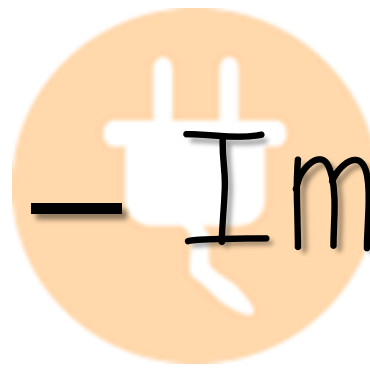
GreenCloud

Live Migration Algorithm

- Basato sulla ricerca della miglior posizione in base alla funzione del costo totale del sistema:
$$\text{costo_tot} = \text{ctot_migrazione} + \text{ctot_consumo} + \text{ctot_utilizzo}$$
- Tende a bilanciare il risparmio energetico e le performance del sistema.
- Le posizione che minimizza il costo totale e' considerata la migliore.



GreenCloud – Implementation



- Supporta la live migration.
- Sia la sorgente che la destinazione devono poter accedere alla root del filesystem (NFS).
- Offre il *Migration Monitor*, un'interfaccia remota per configurare e controllare le VM.
- API in XML-RPC utilizzabili dai componenti user-space come xm-command-line per controllare il sistema.
- Il demone xend ascolta e gestisce connessioni XML-RPC.



GreenCloud – Evaluation

Table 1. Physical Machine in GreenCloud

Physical Machine	Type	CPU	Memory	Network	WOL Support	NFS Server
Green01	X336	3.0G (2 Core)	3.0G	2 *1 Gigabyte	Y	N
Green02	X3950	3.0G (16 Core)	16.0G	2 *1 Gigabyte	Y	Y
Green03	X346	3.0G (4 Core)	3.0G	2 *1 Gigabyte	Y	N
Green04	X346	3.0G (4 Core)	3.0G	2 *1 Gigabyte	Y	N
Green05	X346	3.0G (4 Core)	3.0G	2 *1 Gigabyte	Y	N

Table 2. VM Configuration in GreenCloud

Virtual Machine	Type	CPU	Memory	NFS Booting Support	Gaming application
VM01	ParaVirt	2 Core	2.0G	Y	Tremulous
VM02	ParaVirt	4 Core	2.0G	Y	Tremulous
VM03	ParaVirt	4 Core	2.0G	Y	Tremulous
VM04	ParaVirt	4 Core	2.0G	Y	Tremulous
VM05	ParaVirt	4 Core	2.0G	Y	Tremulous



GreenCloud – Evaluation

- Inizio e fine dell'esperimento:

- Le VM consolidate in poche macchine

- A massimo carico:

- GreenCloud utilizza 4 server anzichè 5.

- Risparmio significativo.

- Nessuna interruzione.

- Response-time sotto i 750ms.

- I giocatori non hanno percepito il ritardo delle migrazioni.

Table 3 Workload Simulation

CPU Utilization	30%	55%	75%	55%	30%
Time (Hour)	2	2	4	2	2

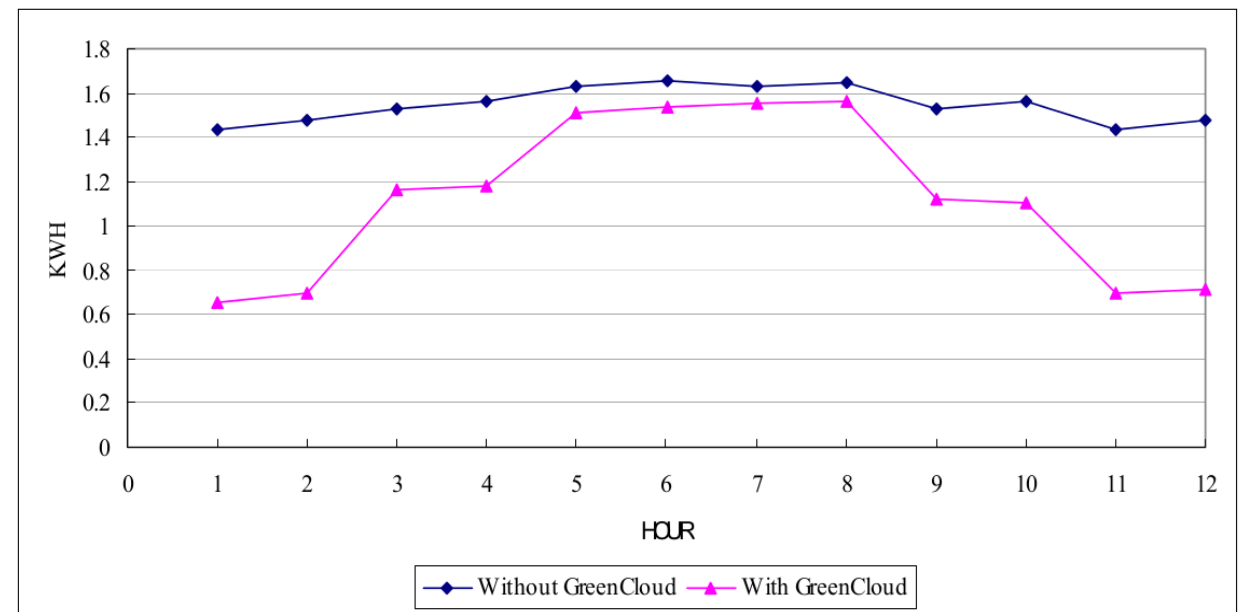


Figure 7. Comparison of Energy Consumption

Conclusioni

- Le tecniche di virtualizzazione offrono modelli efficaci che consentono una forte ottimizzazione dell'utilizzo di risorse e del consumo energetico mantenendo valide le prestazioni.
- La ricerca e' ampia e continua a nutrire molto interesse.

