La rivoluzione digita

Green Co

Nei centri di calcolo il parametro "consumo energetico" ha ormai superato in rilevanza la pura "potenza massima". Un costante rinnovamento del parco macchine, fattore necessario, non è ormai più sufficiente. Nuovi modelli di calcolo sono richiesti al fine di saturare al meglio la capacità dei sistemi: virtualizzazione spinta, cloud computing, grid computing, high performance computing.

L'evoluzione dell'umanità è sempre conseguenza della disponibilità massiva di strumenti che consentono passaggi strutturali significativi. Se la rivoluzione industriale è stata veicolata dalle macchine a vapore, (mosse dal carbone), e la cosiddetta "globalizzazione" è la conseguenza di una mobilità a basso costo, quindi sostenuta da automobili, autotreni, navi, treni ed aerei (mossi da motori a petrolio), internet e la fase transizionale all'*all digital* si appoggiano ad un vasto insieme di apparati di calcolo e di memorizzazione in uso individuale e collettivo interconnessi da reti ad alta velocità. Questa transizione fa leva sulla vasta diffusione di una miriade di apparati fisico a basso e bassissimo costo che intermediano questa digitalizzazione massiva in interfaccia tra il dominio digitale ed il mondo fisico: tali apparati, ormai indispensabili per la vita quotidiana e professionale, sono i notebook ed i pc, ma anche i sistemi multimediali e televisivi, le console, i terminali telefonici evoluti, i lettori mp3, i navigatori satellitari, le macchine fotografiche e le telecamere digitali, fino all'ultimo e simbolicamente significativo passaggio che vedrà i libri sostituiti da sistemi con display passivi.

Tutti questi sistemi (appunto, elettronici) fanno uso di una forma di energia particolarmente pregiata, l'energia elettrica, che richiede per la sua produzione una serie di (inefficienti e costose) conversioni, passando a seconda del sistema di produzione, per diverse forme di energia, chimica o nucleare, termica, meccanica. Il fatto che molti degli apparati che ci accompagnano quotidianamente abbiano un consumo unitario molto basso, quasi irrilevante (utilizzano batterie al litio, li colleghiamo una volta ogni qualche giorno alle prese di corrente), ci nasconde la questione sostanziale. Sommati insieme, tali apparati di *front-end*, che sono in continua crescita come numero, divorano quantità crescenti, come consumo diretto in funzione, in standby ed a ricarica di corrente ma, anche, in misura sostanziale, per il fatto che per funzionare richiedono sempre più vaste reti di *back-end* che ne consentono il funzionamento, costituite principalmente da *server farm* che soddisfano le esigenze di calcolo e di memorizzazione indotte dagli apparati di terminazione in dotazione a ciascuno di noi. Le stime correnti (si vedano, tra gli altri, il rapporto Gartner 2007, le analisi di McKinsey, lo specifico studio AMD), individuano per i *data centers* una quota dei consumi elettrici mondiali che a seconda dello studio va da qualche punto percentuale al 5%, con un impatto nell'ordine delle centinaia di milioni di tonnellate di CO_2. Valutazioni derivanti dall'applicazione della legge di Moore sulla crescita della capacità computazionale a parità di costo inducono a supporre che tali valori potranno quadruplicarsi da qui al 2020, superando in impatto e consumi significativi settori industriali come i tra-

sporti aerei e forse anche i trasporti navali. Lo stesso studio di McKinsey sopra citato riporta un dato che forse più di altri ci può indicare il percorso per contenere la curva di crescita dei consumi dell'*Information Technology* (IT): il 90% dei server analizzati ha un utilizzo di picco inferiore al 10% alla capacità installata. Ovvero: i sistemi di calcolo centralizzati hanno un tasso di saturazione insufficiente. La questione è legata al fatto che stiamo utilizzando architetture tradizionali che non sono in grado di portare i sistemi di calcolo alla loro massima capacità. Saturando i sistemi si otterrebbe un miglioramento di efficienza energetica di un fattore superiore a 10, un fattore simile a quello che si ottiene con la sostituzione delle lampadine ad incandescenza da 100 watt le equivalenti a led che consumano meno di 10 watt. L'indicazione che emerge da questo genere di analisi è la seguente: dovrebbero essere mantenuti in monitoraggio continuo l'effettivo utilizzo del server, da una parte, ed i consumi elettrici e l'efficienza energetica unitaria, dall'altra. Come vedremo nell'ultima sezione di questo articolo, le architetture aperte di calcolo distribuito che vengono condivise da diversi soggetti cooperanti sono in grado di superare questa limitazione. Ma prima facciamo un approfondimento tecnico sui consumi nei *data center*.

GREEN IT

Considerazioni come quelle riportate hanno portato forte attenzione degli operatori per strumenti e strategie "Green" da applicare all'IT: si tratta di una significativo cambiamento di rotta rispetto al tradizionale modello evolutivo delle tecnologie informatiche.

Il fenomeno che è stato a lungo il principale *driver* dell'evoluzione tecnologica, ben noto a specialisti ed appassionati di *Information Technology* e che continua ininterrottamente da quarant'anni, è l'aumento costante di capacità dei sistemi di calcolo a parità di costo noto *legge di Moore*; operante insieme a similari leggi valide per lo *storage* e per i sistemi di rete (l*egge di Gilder*), ha consentito di accrescere con fattore esponenziale (quindi, letteralmente "esplosivo" nei suoi effetti) la disponibilità di potenza di calcolo, memoria e velocità nei trasferimenti. Da qualche anno nei centri di calcolo le logiche sono cambiate in maniera netta. Fattore a lungo trascurato, diviene ora prioritario il controllo dei consumi energetici, superando la consueta attenzione al rapporto prezzo prestazioni. Si tratta di un fenomeno che è avvenuto in diversi ambiti industriali, ma la stessa legge di Moore che ne è propellente primario induce nell'IT una crescita dei consumi che rischia di divenire incontrollabile. È stato soprattutto l'incremento della velocità dei processori a causare l'aumento (quadratico) dei consumi energetici dei sistemi. Anche se il processore non è l'unico elemento in cui si consuma energia. Me-

ANTONIO CANDIELLO
Fisico, consulente di processi di innovazione e qualità, ricercatore attivo su grid computing ed eGovernment. Collabora con INFN nell'iniziativa nazionale IGI e nei progetti europei EGI ed OSIRIS. Membro del Consiglio Direttivo del Comitato AICQ per la qualità del Software e dei Servizi IT.

MICHELE MICHELOTTO
Tecnologo Informatico INFN, responsabile del Data Center GRID di Padova.

morie, *chipset* e dischi rigidi impongono per parte loro consumi in aumento nella continua corsa al miglioramento delle prestazioni. Un server di una ventina di anni fa non superava i 100 watt, mentre ora 500 watt di consumo sono la norma – che corrispondono, attenzione, a circa 650 € di costi annuali per i sistemi sempre accesi, una frazione rilevante del costo di acquisto.

DAI MEGAHERTZ AI KILOWATT

Per una serie di motivazioni connesse ai limiti tecnologici ed alla difficoltà di dissipare in piccoli spazi enormi densità energetiche, da qualche anno la corsa ai megahertz si è arrestata. La legge di Moore, precisiamo, descrive un fenomeno economico/tecnologico di progressiva crescita esponenziale nella densità dei transistor: un tale incremento, per lungo tempo reso funzionale ad una crescita pura prestazionale, è stato ora dirottato nella moltiplicazione dei *core* computazionali e nell'aggiunta di sempre più dimensionate e complesse architetture di cache di memoria *on-chip* ad alta velocità. È un po' come è avvenuto per le automobili, la cui evoluzione ha visto per lunghi anni la rincorsa alle prestazioni, ora invece tesa a conseguire consumi unitari più ridotti ed emissioni più contenute.

In pochi anni siamo passati dai processori *single-core* ai *dual-core* poi ai *quad-core*, ormai comuni anche nei sistemi desktop, mentre stanno cominciando ad apparire sul mercato le prime soluzioni con sei o otto *core*. Questa evoluzione – considerando anche il fatto che in ogni *core* sono operative diverse unità di calcolo aritmetico – sta lentamente trasformando gli originali sistemi a singolo flusso sequenziale di calcolo in macchine ad elaborazione parallela, suggerendo interventi sul lato software al fine di portare alla massime potenzialità le caratteristiche dei moderni centri di calcolo (su questo punto ci torniamo più avanti …).

Le strategie dei produttori di processori hanno ormai il consumo energetico come parametro primario: i processori migliori vengono selezionati per versioni a basso consumo, con le stesse prestazioni dei processori *mainstream*, ma a prezzi superiori; una parte rilevante della circuiteria viene, inoltre, dedicata al risparmio energetico, tanto che nei nuovi processori riescono a spegnere o rallentare parti della circuiteria che non vengono usate per ridurre i consumi oppure per concentrare le risorse energetiche sui *core* attivi e così aumentare la velocità di clock oltre le specifiche di base.

Metriche ormai comuni fanno riferimento ai mips/watt o flops/watt per misurare la potenza specifica in relazione ai consumi; nell'ambito del calcolo scientifico si preferiscono misuratori più oggettivi basati su specint(/watt) e specflop(/watt) ricavabili tramite benchmark più vicini alle applicazioni reali. Abbiamo misurato il consumo di una macchina con processore *quad-core* del 2007. Il consumo rilevato è stato di 645 watt a pieno carico e 410 watt in *idle*. Una macchina simile del 2008 con la nuova versione del processore a 45nm offre prestazioni migliori e riporta, a parità di clock, consumi ridotti a 490 watt a pieno carico e 320 watt in *idle*. La questione dei consumi energetici ha un impatto notevole nelle politiche di aggiornamento nei data center: è ormai comune la prassi di sostituire hardware con anzianità anche di soli quattro anni pur se ancora adeguate dal punto di vista delle prestazioni perché ormai inefficienti dal punto di vista energetico (e quindi economicamente non più convenienti). Grazie all'incremento di densità prestazionale a parità di consumi diviene infatti possibile, ad esempio, sostituire gruppi di 4-6 sistemi di vecchia generazione con un solo apparato dotato di processori *quad-core* in grado di erogare le stesse prestazioni – riducendo così, in una misura quantificabile tra un quarto ed un sesto dei valori originari, le necessità in termini di consumo energetico, raffreddamento e spazio nei *rack*.

Per fare un esempio concreto, riportiamo un caso riportato dalla stampa specializzata dove in un *data center* inglese sono stati sostituiti alcuni vecchi *server* che di consumi elettrici imponevano oneri economici pari a £.8600/anno con nuove macchine che, costate £.6600 come prezzo di acquisto, hanno ridotto gli oneri di consumo elettrico a circa £.1100/anno. Un risparmio di £.900 già nel primo anno e di £7500 per ogni anno seguente. L'acquisto di nuovi server deve tenere conto del costo di esercizio, e tra questi l'energia elettrica riveste ormai un ruolo sostanziale.

COME DISSIPARE L'ENERGIA TERMICA

Ai consumi diretti bisogna inoltre sommare i consumi accessori, soprattutto in termini di condizionamento. Se infatti pochi server possono stare in un normale locale ben climatizzato, non appena si raggiunge il numero di una ventina di unità è necessario dotarsi di sistemi di raffreddamento di precisione per poter smaltire efficacemente diverse decine di kilowatt (kW) in pochi metri quadri. I continui incrementi di densità nell'impaccamento dei sistemi di calcolo portano sempre maggiore criticità nei sistemi di raffreddamento: se una decina di anni fa si avevano 2/3 kW per *rack*, ora si viaggia sui 10/20 kW. Ciò implica una riprogettazione completa del data center con soluzioni a ventilazione forzata, porte con ventole di estrazione del calore, *rack* chiusi raffreddati ad acqua oppure soluzioni a corridoio freddo o corridoio caldo. Ma anche una costosa ristrutturazione dell'alimentazione di backup (UPS) e della distribuzione elettrica.

I problemi principali da considerare nella progettazione dei data center sono infatti due:

a rimuovere grandi quantità di aria calda dal retro dai *rack*,

b evitare il più possibile il mescolamento dell'aria calda con l'aria fredda che arriva dai condizionatori.

Qualsiasi errore di progettazione ha conseguenza economiche importanti. Si calcola infatti per ogni 100 kW di potenza elettrica necessaria per alimentare le apparecchiature informatiche altre 60 kW sono necessarie in media per i processi di *cooling*. Con alcuni estremi che possono arrivare a consumare ben 120 kW nei sistemi più energivori o a contenere significativamente i consumi a 16 kW come nelle (energeticamente virtuose) server farm di Google. Nuove strategie

Check Point Endpoint Security. Infinitamente Più Efficace.

Il miglior firewall di sempre
Antivirus
Antispyware
Cifratura totale del disco
Cifratura dei dispositivi rimovibili
Protezione delle porte
Network Access Control

Il primo ed unico agent per la sicurezza totale dei PC.

Ora non hai più bisogno di fare affidamento su molteplici tecnologie per proteggere i tuoi PC desktop e portatili. Check Point Endpoint Security è l'agent unificato di cui hai bisogno per la sicurezza dei tuoi dati, l'accesso remoto, la protezione da malware e l'adeguamento alle normative. Troverai una soluzione chè è la più semplice ed economica da adottare. E' tutto ciò che ti serve per la sicurezza dei tuoi PC e la via più efficace per arrivarci.

Diventa subito infinatamente più efficace.

Chiama Consys.it allo 02-93507379 oppure invia una email a info@consys.it.

www.consys.it

consys.it

Consys.it, innovativi per tradizione

Check Point®
SOFTWARE TECHNOLOGIES LTD.

di recupero energetico del calore rimosso dai sistemi stanno dimostrando la loro validità nei contesti ove si attui una progettazione ex novo di interi edifici. In tal caso diventa possibile integrare i sistemi di raffreddamento del data center con il riscaldamento dell'edificio riutilizzando l'aria calda in uscita dai *rack* per riscaldare gli uffici. Gli interventi di riduzione dei consumi hanno senso, tuttavia, solo se combinati ad una strategia sostanziale tesa a mantenere i sistemi di calcolo costantemente impegnati nelle elaborazioni che sono il loro compito. È vero che i server hanno una serie di meccanismi che operano per ridurre i consumi quando sono inattivi, tuttavia bisogna considerare che in *idle* i consumi non scendono mai sotto il 60% del consumo a pieno carico. È un po' come se le automobili ferme al semaforo avessero il motore sempre ad oltre metà del massimo di giri. È quindi evidente l'importanza di mantenere sempre saturate le cpu per sfruttare l'energia elettrica che viene comunque sempre consumata. Emerge quindi la questione di come portare i server, che nelle architetture tradizionali correntemente diffuse nei data center attuali sono utilizzati con capacità medie di carico che comunemente sono tra il 10% citato da McKinsey ed il 30% nei casi più virtuosi. È in questo contesto che vengono in soccorso le tecniche di virtualizzazione ed i nuovi paradigmi architetturali di calcolo distribuito.

VIRTUALIZZAZIONE E COMMODITY COMPUTING

La virtualizzazione è una particolare tecnica che consente di operare più istanze nell'ambito di un'unica unità di calcolo, secondo un meccanismo nel quale ciascuna istanza è "protetta" dall'esterno ed è operante come se fosse proprietaria esclusiva dell'ambiente di calcolo a disposizione. Ideata negli anni '60 da IBM, resa possibile nei processori Intel da specifiche funzionalità hardware, è ritornata recentemente di attualità grazie alla capacità dei sistemi *multi-core* di sostenere diversi processi virtuali senza perdita di performance.

La virtualizzazione offre diversi vantaggi tecnologici:

l'indipendenza dalle versioni del sistema operativo;

- l'estrema rapidità nell'attivazione di nuovi server (virtuali), poiché non sono coinvolti né i (lenti) processi autorizzativi connessi all'acquisto ed alle connesse autorizzazioni di spesa, né i processi di installazione "fisica";
- la possibilità di migrare velocemente una macchina virtuale su di un nuovo server reale in caso di sovraccarico della macchina reale (*load balancing*);
- la possibilità di migrare velocemente una macchina virtuale in caso di guasti della macchina reale (alta affidabilità);
- la possibilità di creare velocemente ambienti di test per provare il comportamento di nuove versioni del software o il comportamento del software con diverse versioni di sistema operativo;
- la capacità di portare a piena saturazione l'utilizzo delle risorse informatiche, portando le macchine vicine al carico ottimale.

La virtualizzazione rimane comunque una tecnica attuabile all'interno dei centri di calcolo. Con le strategie e le architetture del *Commodity Computing* viene superato anche il confine delle organizzazioni, e si può anche trascendere dal possesso fisico dei server nei quali operano le nostre applicazioni. Secondo un modello mutuato dal web, le macchine possono essere gestite in *hosting* presso un centro servizi, si acquistano oppure si condividono calcolo e *storage* dalle griglie computazionali (*Grid Computing*) o dalle aziende che di fornitura di servizi di virtualizzazione on-demand (*Cloud Computing*). Cerchiamo di seguito di capire origine e obiettivi di tali architetture.

L'evoluzione dei modelli di fruizione IT è la risultante che emerge dal continuo confronto e riassestamento delle dinamiche presenti in termini di offerta nei sistemi informatici ed in termini di domanda di potenza computazionale e spazio di memorizzazione. I modelli più avanzati nell'utilizzo delle risorse IT sono emersi nel contesto del calcolo scientifico.

Il calcolo scientifico è infatti uno strumento di analisi che accresce le sue potenzialità di pari passo con la sua capacità di utilizzare con efficienza le risorse informatiche a disposizione e rappresenta uno strumento oramai essenziale nella ricerca non solo pubblica, ma anche privata. La diffusione dei codici per la gestione delle simulazioni in ambiti merceologici settoriali (cfr. i settori industriali *pharma*, *design*, *automotive*, *finance*, etc) ha infatti ampliato i contesti applicativi che fanno largo uso delle risorse di calcolo, che si continua a chiamare "scientifico" ma di fatto si applica in ambiti tra i più diversi. Le architetture centralizzate per la gestione del calcolo offrono da sempre innegabili vantaggi connessi all'esclusività delle risorse allocate, che nelle più recenti architetture denominate di *High Performance Computing* (HPC), ovvero sistemi di calcolo ad alte prestazioni, consentono di portare a significative potenze di picco in grado di sostenere processi elaborativi particolarmente complessi. Per contro, un'allocazione esclusiva di risorse comporta un costo complessivo piuttosto alto e sostenibile solamente per determinate realtà organizzative in grado di affrontare potenziali inefficienze di allocazione delle risorse oltre ai considerevoli oneri per la personalizzazione del codice parallelo. I citati sistemi di *Commodity Computing* offrono invece le potenzialità per veicolare e facilitare nuovi modelli di collaborazione tra imprese, enti locali ed università, rendendo disponibili grandi capacità di calcolo e di *storage* mantenendo comunque un modello di costi estremamente contenuto. E fornendo una vera soluzione al problema della saturazione delle risorse di calcolo. Tra questi sistemi, si intendono:

1 i sistemi con applicativi strutturati specificamente per approfittare del modello di calcolo distribuito "a maglia", ovvero il *Grid Computing*, preferito ed ampiamente adottato negli ambienti scientifici;

2 i sistemi che consentono di portare gli applicativi senza particolari sforzi adattativi, secondo un model-

lo che rappresenta l'evoluzione su tcp/ip dei modelli di virtualizzazione, ovvero il *Cloud Computing*, preferito nei contesti commerciali per la sua intrinseca semplicità.

L'evoluzione da circa dieci anni di attività di *Research & Development* (R&D) nel contesto del Grid Computing, che ha visto tutti i principali paesi europei collaborare alla definizione ed attivazione di una vera e propria infrastruttura europea per il calcolo scientifico, è ormai giunta a piena maturazione. Il modello basato su progetti europei successivi sta lasciando il posto ad un'infrastruttura tecnica ed organizzativa con fondamentali caratteristiche di persistenza denominata *European Grid Initiative* (EGI), che ha come pilastri le entità nazionali denominate *National Grid Initiatives* (NGIs).

Nel frattempo, quale evoluzione in variante "internet" delle architetture di virtualizzazione ormai comuni nei centri di calcolo, è emerso, sulla spinta di Amazon, Google ed altri colossi di internet un modello di business semplice e comprensibile che consente a chi ha necessità di calcolo di acquistare "slot virtuali" di calcolo e *storage* su sistemi remoti secondo una logica che è stata denominata di *Cloud Computing*. Tale modello consente alle imprese di acquisire secondo necessità le risorse di calcolo necessarie, nei momenti di saturazione dei propri sistemi o per particolari necessità di "scalabilità a breve termine", con il vantaggio di poter adottare gli stessi strumenti ormai comunemente utilizzati della virtualizzazione. Nel modello tradizionale è necessario dimensionare le risorse IT in quantità necessaria per coprire i picchi massimi d'uso per un periodo abbastanza lungo; incorrendo potenzialmente nella necessità di dover spegnere alcuni sistemi nelle fasi ordinarie di utilizzo. Nei modelli "Cloud" si paga solo per il servizio ottenuto e in quantità proporzionale ai servizi di cui si ha bisogno senza la necessità di acquistare macchine e soprattutto di provvedere a tutta la costosa infrastruttura di data center; le capacità di calcolo vengono acquistate secondo il bisogno e quindi in quantità diverse nei diversi periodi dell'anno. Nei modelli "Grid" le risorse IT vengono condivise da diverse organizzazioni, con il risultato di portare i sistemi a reciproca saturazione, da una parte, e di avere una potenza di calcolo disponibile aggregata superiore di ordini di grandezza a quella posseduta.

CONCLUSIONI

La progressione esponenziale delle disponibilità di calcolo caratteristica dell'IT deve oggi essere coerentemente coniugata con un modello di efficienza energetica e di efficacia d'uso. È necessaria una maggiore consapevolezza in merito al consumo energetico dei sistemi di calcolo ed in ogni data center vanno definite le strategie per ridurre i consumi. Virtualizzazione, *Cloud Computing* o *Grid Computing* sono modelli attuabili in relazione alle specifiche esigenze delle organizzazioni, migliorando la saturazione dei centri calcolo intervenendo in maniera strutturale nei contesti applicativi senza per questo essere particolarmente invasivi in termini di riprogettazione del software come nei avviene sistemi HPC massivamente paralleli.

Glossario

Byte: composta di 8 *bits*, rappresentà l'unità di riferimento per lo *storage;*

Cloud: (Computing), tecnologia per l'accesso remoto a risorse di calcolo "a consumo". Il modello fa largo uso delle tecniche di *virtualizzazione* delle risorse di calcolo;

Commodity: (Computing), nuovi modelli altamente scalabili di calcolo distribuito nei quali i server divengono interscambiabili e sostituibili;

Cpu: *Central Processing Unit*, unità di calcolo "atomica" dei computer;

EC2: *Elastic Computing Cloud*, tecnologia di www.amazon.com per fornire calcolo a richiesta a partire da una "nuvola elastica" di risorse disponibili;

EGEE: *European Grid for E-sciencE*, circuito europeo di riferimento per il grid computing scientifico (cfr. www.eu-egee.org);

EGI: *European Grid Initiative*, iniziativa per un sistema di calcolo basato su griglie condivise a livello europeo con caratteristiche di persistenza nel tempo "infrastrutturale" (cfr. www.eu-egi.org);

Flop(s): *floating-point operations* (*per second*), unità di riferimento per il calcolo in virgola mobile;

Grid: (Computing), tecnologia per la condivisione (*sharing*) delle risorse di calcolo che consente a gruppi trasversali di utenti (le VO) di accedere con grande efficienza ad elevate potenze aggregate solo nei momenti di bisogno;

HPC: *High Performance Computing*, sigla che individua una strategia che privilegia l'accentramento di consistenti risorse di calcolo per il calcolo tecnico e scientifico;

IT: *Information & Technology*, sigla che indica il complesso delle attività nel settore dell'informatica (hardware, software, servizi) esclusa la componente di telecomunicazioni;

ICT: *Information & Communication Technology*, sigla che indica il complesso delle attività nel settore dell'informatica (hardware, software, servizi) e telecomunicazioni (telefonia fissa e mobile, connettività);

Kilo, Mega, Giga, Tera, Peta, Hexa …: qualificatori progressivamente crescenti (10 ad esponente 3, 6, 9, 12, 15, 18 …) per specificare misure molto grandi;

VO: *Virtual Organization*, comunità d'uso delle reti di calcolo condivise.

Riferimenti

"Bloom Box, una mini-centrale verde grande come una fetta di pane", La Stampa, 26/2/2010;

A. Candiello, "Nuovi modelli dell'ICT – Web 2.0 e oltre. Web 2.0, web semantico, grid computing, virtualizzazione … un'opportunità per le imprese strutturate", Qualità, Settembre 2008;

A. Candiello ed Alberto Bobbo, "Le tecnologie ICT: strumento e complemento dei sistemi di gestione aziendali", Qualità, marzo/aprile 2008;

A. Candiello, "Grid Computing – L'informatica come public utility del calcolo: oltre il web, verso un moderno modello economico di servizio", Sistemi e Impresa N.4, Maggio 2004;

A. Candiello, "Il grid computing parla italiano", Firstdraft, www.firstdraft.it, marzo 2008;

A. Candiello, D. Cresti, T. Ferrari, F. Karagiannis, D. Kranzlmueller, P. Louridas , M. Mazzucato, L. Matyska, L. Perini, K. Schauerhammer, K. Ullmann, M. Wilson, "A business model for the establishment of the, European Grid Infrastructure", in the Proc. of the 17th Int. Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP 2009), Mar , Prague, CZ, (to appear on Int. Journal of Physics, Conference Series, JSCS);

Amazon Web Services (AWS), aws.amazon.com/ec2;

EGEE NA1, "Comparative study: Grids and Clouds, evolution or revolution?", 27/5/2008;

Enabling Grids for E-sciencE (EGEE), www.eu-egee.org,

European Grid Initiative (EGI), www.eu-egi.org,

I. Foster, "What is the grid? a three point checklist", GridToday, July 22, 2002;

International Science Grid This Week (iSGTW) newsletter, http://www.isgtw.org;

Italian Grid Initiative (IGI), www.italiangrid.org;

J. M. Kaplan, W. Forrest, N. Kindler, "Revolutionizing Data Center Energy Efficiency", McKinsey & Company Report, July 2008;

M. Mazzucato, "Grid: la roadmap dei progetti italiani ed europei", Mondo Digitale n.1, Marzo 2005;

Wikipedia, "Green Computing", http://en.wikipedia.org/wiki/Green_computing. ■