

Sommario

Indice	ii
Elenco delle figure	iii
1 Introduzione	1
1.1 Confronto	2
1.1.1 CloudSim ed estensioni	2
1.1.2 Altri simulatori	6

Elenco delle figure

CAPITOLO 1

Introduzione

1.1 Confronto

L'utilizzo dei tool di simulazione per il Cloud risulta essere di fondamentale importanza in diversi ambiti. Tali strumenti, infatti, consentono ai ricercatori e ai progettisti delle infrastrutture di lavorare con un ambiente virtuale evitando i costi dovuti all'utilizzo di un'infrastruttura fisica. Nel corso degli anni diversi autori hanno presentato svariati lavori ([1], [2], [3]) in cui confrontano i simulatori disponibili evidenziandone le caratteristiche peculiari che ne guidano la scelta in uno specifico contesto. Di seguito verrà presentato un resoconto dei risultati dei confronti svolti dagli autori negli anni. Nell'ambito della presente trattazione si è interessati all'ottenimento di metriche relative al consumo energetico delle varie componenti del centro di calcolo, per cui si tenderà a prioritizzare caratteristiche relative all'accuratezza delle simulazioni.

1.1.1 CloudSim ed estensioni

CloudSim [4] è uno dei simulatori più utilizzati dai ricercatori. Tale tool risulta essere completo ed estremamente estendibile e per tale ragione in letteratura sono stati proposti diversi simulatori basati su di esso. Tra le funzionalità fornite risulta utile annoverare la disponibilità di un motore di virtualizzazione che consente di creare e di gestire servizi di virtualizzazione su un nodo della rete e la possibilità di allocare i core della macchina in maniera *space-shared* (la macchina viene partizionata in un insieme di core, ciascuno dei quali viene allocato ad un singolo job fino a quando non viene completato) e *time-shared* (è possibile assegnare più di un job ad un core e ciascun job viene eseguito per un lasso di tempo fino a quando non ne viene scelto un altro) [1].

NetworkCloudSim

NetworkCloudSim [5] fornisce diversi modelli di comunicazione come quello basato su messaggi, su pacchetti e su flussi. Fornisce, inoltre, una valutazione accurata dello *scheduling* delle macchine del centro di calcolo. Infine, vi è la possibilità di ottenere un semplice modello energetico del centro di calcolo senza, tuttavia, un *focus* dettagliato sull'efficienza energetica [1].

CloudAnalyst

CloudAnalyst [6] semplifica il lavoro di simulazione mediante l'utilizzo di una semplice GUI. Tra le funzionalità salienti di CloudAnalyst figura la possibilità di ottenere informazioni sulla posizione geografica degli utenti e dei centri di calcolo. Il simulatore mette, inoltre, a disposizione un insieme di metriche basate sul tempo di risposta e di elaborazione delle richieste. Non implementa, tuttavia, un modello di comunicazione TCP/IP completo e il

supporto al modello energetico risulta essere limitato come nel caso di NetworkCloudSim [1].

EMUSim

EMUSim [7] integra un ambiente di emulazione ed uno di simulazione. L'ambiente di emulazione viene utilizzato per ottenere dati sul comportamento delle applicazioni che vengono eseguite grazie ai quali EMUSim costruisce un ambiente di simulazione. La presenza dell'ambiente di emulazione, tuttavia, pone forti vincoli sulla scalabilità e rende difficile l'utilizzo del simulatore nell'ambito di carichi di elevate dimensioni [1].

CDOSim

CDOSim [8] definisce un *mapping* tra servizio erogato dal centro di calcolo e tipologia di macchina virtuale utilizzata, oltre che adottare una tecnica di *scaling* che consiste nell'assegnare una nuova macchina virtuale nel momento in cui l'utilizzo della CPU supera una determinata soglia. Tale simulatore mette a disposizione un insieme di metriche dal punto di vista del client, dando la possibilità agli sviluppatori di confrontare diverse soluzioni in base a differenti parametri di deployment. Un'ultima caratteristica degna di nota riguarda la presenza di un modulo di benchmark che consente di rilevare l'impatto della scelta di una determinata architettura sulle prestazioni delle applicazioni. Il modello di comunicazione impiegato da CDOSim, tuttavia, risulta essere troppo semplicistico e presenta problemi nel caso di applicazioni su larga scala [1].

TeachCloud

TeachCloud [9] nasce con l'obiettivo di essere un tool facilmente utilizzabile dagli studenti per svolgere esperienze pratiche nello studio del cloud computing, mediante una semplice interfaccia grafica che consente di costruire diverse architetture di rete oltre a quelle già fornite. Le limitazioni di tale simulatore derivano principalmente dagli obiettivi che esso si pone. Nascendo come tool prettamente accademico, infatti, non si adatta bene ad un utilizzo general purpose in quanto pecca di realismo su diversi aspetti. Ad esempio, il simulatore non tiene conto della possibile presenza di guasti nel centro di calcolo impedendo agli sviluppatori di studiare l'influenza dei guasti sull'utilizzo di un'applicazione [1].

DartCSim

DartCSim [10] mediante una semplice interfaccia grafica consente di impostare diversi parametri per la simulazione come le caratteristiche del centro di calcolo e la topologia della rete; tali parametri possono essere importati ed esportati a qualsiasi livello della simulazione e possono essere impostati sia per una singola CPU che per l'intero centro di calcolo. Tuttavia

tale strumento non fornisce un modello energetico completo, impedendo, dunque, agli sviluppatori di implementare strategie volte al miglioramento dell'efficienza del centro di calcolo [1].

DartCSim+

DartCSim+ [11] nasce con l'obiettivo di migliorare CloudSim introducendo un modello energetico e un modello di rete. L'implementazione di tali aspetti consente agli sviluppatori di progettare metodologie di scheduling *power-aware*. Tale simulatore, tuttavia, non prevede un modello dei costi e non copre le funzionalità di sicurezza, impedendo agli sviluppatori di analizzare gli aspetti di sicurezza del centro di calcolo [1].

ElasticSim

ElasticSim [12] ha come funzionalità principale lo *scaling* automatico delle risorse a runtime in base al carico di lavoro: in questo modo gli sviluppatori possono progettare algoritmi di scheduling efficienti con un *focus* sul *workflow*. Tale simulatore, tuttavia, fornisce un modello limitato del consumo energetico e non è in grado di simulare esperimenti correlati alla sicurezza [1].

FederatedCloudSim

FederatedCloudSim [13] ha come obiettivo principale quello di dare agli sviluppatori la possibilità di testare diverse tipologie di federazioni cloud. Tale simulatore estende le funzionalità di CloudSim aggiungendo la gestione del Service Level Agreement, della generazione del carico, del logging degli eventi, dello scheduling e del brokering. D'altro canto, non vi è un report dettagliato sul consumo energetico di ogni centro di calcolo [1].

FTCloudSim

FTCloudSim [14] si concentra sulla simulazione dei meccanismi di affidabilità di un servizio cloud mettendo a disposizione servizi di generazione di guasti basati su determinate distribuzioni di probabilità. Uno dei punti deboli di tale simulatore risiede nel fatto che considera un modello di consumo energetico molto semplice, impedendo, dunque, agli sviluppatori di integrare meccanismi di efficienza energetica. [1].

WorkflowSim

WorkflowSim [15] consente di studiare l'impatto delle performance del centro di calcolo mediante un confronto di diverse metodologie di clustering dei job: ciò è possibile grazie all'implementazione di diversi metodi di scheduling dei flussi di lavoro. WorkflowSim, tuttavia, risulta inadatto nell'ambito di simulazioni di applicazioni *data intensive* in quanto

non considera i delay dovuti alle operazioni di *Input-Output*. Inoltre il modello di guasti supportato risulta essere limitato, per cui le simulazioni potrebbero peccare in termini di realismo [1].

CloudReports

CloudReports [16] mette a disposizione degli sviluppatori una *GUI* mediante la quale è possibile gestire diversi aspetti del centro di calcolo e visualizzare report dettagliati riguardanti l'utilizzo delle risorse, l'allocazione delle macchine virtuali ed il consumo energetico del centro di calcolo. Uno degli aspetti non contemplati dal simulatore riguarda la sicurezza, in quanto non viene definito un layer di sicurezza che consenta agli sviluppatori di indagarne anche le caratteristiche più basilari [1].

CEPSim

CEPSim [17] modella diversi ambienti di tipo CEP (Complex Event Processing) [18] all'interno dei quali l'utente può definire query sfruttando diversi linguaggi proprietari e modellando il flusso di esecuzione mediante un grafo diretto aciclico. Il simulatore implementa diversi algoritmi di scheduling del carico dando la possibilità agli sviluppatori di valutare le query definite sotto condizioni di carico differenti. CEPSim, tuttavia, non tiene conto dei consumi della rete dunque il risultato dal punto di vista del consumo energetico non risulta essere esaustivo [1].

DynamicCloudSim

DynamicCloudSim [19] ha come *focus* principale l'instabilità dei parametri del centro di calcolo che variano a runtime. In particolare definisce modelli di fallimento nell'esecuzione dei task dando la possibilità allo sviluppatore di determinare il tasso di failure durante l'esecuzione di esperimenti nell'ambiente simulato. Gli sviluppatori non hanno, tuttavia, la possibilità di calcolare il consumo energetico degli esperimenti effettuati in quanto il modello energetico fornito risulta essere fortemente limitato [1].

CloudExp

CloudExp [20] mette a disposizione degli sviluppatori una semplice *GUI* mediante la quale è possibile configurare i parametri dell'ambiente e monitorarne il comportamento in maniera agevole. In particolare, CloudExp consente di definire un Service Level Agreement basato su parametri come il numero di utenti, la disponibilità ed il costo dei servizi, le prestazioni della rete e le misure di sicurezza. Il modello energetico considerato dal simulatore risulta, tuttavia, semplicistico e non si presta ad un utilizzo volto all'analisi di strategie *energy-aware* [1].

CM Cloud

CM Cloud [21] supporta diversi modelli di costo ed in particolare è in grado di stimare il costo totale della simulazione in termini energetici ed economici effettuando una comparazione tra differenti provider come Google, Microsoft e Amazon. Il simulatore, tuttavia, non supporta un modello di comunicazione completo, non dando, dunque, la possibilità di definire pattern di traffico e di investigare l'impatto complessivo del traffico inviato e ricevuto dagli host della rete. Un ulteriore aspetto critico riguarda l'assenza di un modello di fallimenti dei task [1].

MR-CloudSim

MR-CloudSim [22] si basa sul modello computazionale *MapReduce* [23] per la computazione di big data. Tale simulatore, tuttavia, presenta un modello di computazione limitato e non considera il tempo ed il costo relativi al processing dei file, non dando la possibilità agli sviluppatori di determinare il costo dell'utilizzo dei servizi [1].

UCloud

UCloud [24] nasce come ambiente cloud per le università dando agli sviluppatori la possibilità di testare le proprie policy sia in ambienti pubblici che in quelli privati. Manca, tuttavia, un supporto alle politiche di sicurezza e ad un modello dei costi [1].

1.1.2 Altri simulatori

MDCSim

MDCSim [25] è una piattaforma di simulazione per l'analisi di centri di calcolo con architettura multilayer dando la possibilità agli sviluppatori di studiare le prestazioni delle applicazioni sotto differenti condizioni di carico. Mediante MDCSim è possibile monitorare il consumo del centro di calcolo e confrontare diverse politiche energetiche. Tuttavia il modello di rete risulta essere incompleto con conseguenti limitazioni dal punto di vista della gestione della topologia [1].

GDCSim

GDCSim [26] offre un ambiente di simulazione all'interno del quale risulta possibile analizzare il consumo energetico del centro di calcolo in maniera semplice ed accurata. Questo tool considera, inoltre, l'impatto termico del centro di calcolo dando agli sviluppatori la possibilità di progettare politiche di raffreddamento e di gestione dell'energia. Non vengono, tuttavia, considerati aspetti relativi alla sicurezza del centro di calcolo, né risulta possibile effettuare esecuzioni parallele degli esperimenti definiti [1].

CloudNetSim

CloudNetSim [27] implementa una comunicazione di tipo *end-to-end* tra client e provider di un ambiente cloud dando agli sviluppatori la possibilità di studiare diversi aspetti come la gestione delle risorse per le applicazioni *real-time*. La principale limitazione di CloudNetSim risiede nel fatto che il modello energetico implementato sia rudimentale e non dia agli sviluppatori la possibilità di rilevare il calore prodotto dal centro di calcolo e di studiare algoritmi di risparmio energetico [1].

CloudNetSim++

CloudNetSim++ [28] è il primo simulatore ad utilizzare le proprietà fisiche della rete per modellare il centro di calcolo. Dal momento che presenta un modello di consumo energetico accurato, dà agli sviluppatori la possibilità di studiare algoritmi *energy-aware* e mette a loro disposizione un insieme di parametri di valutazione delle prestazioni della rete. Tale simulatore risulta, tuttavia, sprovvisto di un layer di sicurezza, risultando inadatto alla simulazione di task critici [1].

GreenCloud

GreenCloud [29] è un simulatore *packet-level* che implementa completamente il protocollo *TCP/IP*. Tale simulatore risulta essere fortemente orientato al monitoraggio del consumo energetico del centro di calcolo e dei relativi componenti come server, switch e collegamenti. GreenCloud presenta problemi relativi alla scalabilità a causa dei tempi alti di simulazione e dei grandi requisiti di memoria [1].

iCanCloud

iCanCloud [30] presenta un'apposita *GUI* mediante la quale è possibile configurare il centro di calcolo ed ottenere report grafici. iCanCloud consente di implementare diverse strategie di brokering dando la possibilità di definire diversi broker tra utenti e centro di calcolo. Gli aspetti non contemplati da tale simulatore riguardano il modello energetico e la sicurezza [1].

secCloudSim

secCloudSim [31] è un'estensione di iCanCloud che implementa dei semplici meccanismi di sicurezza di cui il suo predecessore è sprovvisto. Tra le diverse funzionalità di sicurezza risulta utile annoverare la presenza di un protocollo di autenticazione e delle *Access Control List* (ACL) mediante le quali è possibile associare specifici privilegi a ciascun utente autenticato. Più in generale secCloudSim fornisce un framework mediante il quale i ricercatori possono sviluppare le caratteristiche di sicurezza come cifratura, decifratura, incapsulamento,

autenticazione e privacy. Tuttavia i meccanismi di sicurezza forniti da secCloudSim non sono molto avanzati, per cui i ricercatori non hanno la possibilità di studiare le vulnerabilità dell'infrastruttura [1].

GroudSim

GroudSim [32] è un simulatore *Java-based* principalmente utilizzato nel contesto di applicazioni scientifiche. Gli sviluppatori hanno la possibilità di importare esperimenti di ASKALON [33] all'interno di questo simulatore effettuando simulazioni di applicazioni reali. Questo simulatore pecca in termini di realismo in quanto non permette di configurare una rete realistica in termini di topologia, né risulta essere in grado di scalare. [1].

CloudSched

CloudSched [34] implementa vari algoritmi di efficienza energetica e diverse strategie di scheduling delle risorse delle macchine fisiche e virtuali al fine di evitare *bottleneck*, dando la possibilità agli sviluppatori di definire algoritmi di scheduling delle risorse *ad-hoc*. CloudSched non tiene conto dei fallimenti nell'esecuzione dei task per cui non risulta possibile prevedere strategie di *fault-tolerance* [1].

SimIC

SimIC [35] ha come *focus* principale l'eterogeneità degli ambienti all'interno dei quali vengono eseguiti gli esperimenti. Gli sviluppatori possono, infatti, definire algoritmi di scheduling *inter-cloud* basandosi su diversi parametri distribuiti. Le principali limitazioni di tale simulatore risiedono nel fatto che non dia la possibilità di indagare sul consumo energetico né sui controlli relativi al traffico e alle congestioni [1].

SPECI

SPECI [36] modella gli aspetti relativi alla scalabilità e alle performance dei centri di calcolo dando agli sviluppatori la possibilità di monitorare il comportamento del sistema facendone variare l'architettura. Il simulatore consente, inoltre, di indagare sulle inconsistenze che possono sorgere nel momento in cui si verificano dei guasti. Non vengono, tuttavia, modellati i cambiamenti delle prestazioni delle macchine virtuali durante l'esecuzione nonostante tale fattore abbia una rilevanza particolare negli scenari reali [1].

SCORE

SCORE [37] si presta alla definizione di algoritmi di scheduling *energy-aware*, ad esempio mediante meccanismi di *shutting-down* e *powering-on*. Risulta, tuttavia, sprovvisto di un

modulo di sicurezza che consenta agli sviluppatori di indagarne gli aspetti fondamentali del centro di calcolo [1].

GAME-SCORE

GAME-SCORE [38] nasce come estensione di SCORE ed utilizza lo Stackelberg-Game [39] come modello basato sulla teoria dei giochi mediante il quale è possibile ottenere un buon bilanciamento tra consumo energetico e *throughput*. Non vengono, tuttavia, previsti meccanismi di *fault tolerance* [1].

DISSECT-CF

DISSECT-CF [40] implementa uno schema di condivisione delle risorse del centro di calcolo e un modello energetico dando la possibilità agli sviluppatori di indagare diversi aspetti. Risulta, tuttavia, sprovvisto di un modulo di sicurezza e non dà la possibilità di definire architetture di rete realistiche in quanto mette a disposizione solo un numero limitato di architetture di rete [1].

- [1] N. Mansouri, R. Ghafari, and B. M. H. Zade, "Cloud computing simulators: A comprehensive review," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 104, p. 102144, 2020. (Citato alle pagine 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9)
- [2] P. S. Suryateja, "A comparative analysis of cloud simulators.," *International Journal of Modern Education & Computer Science*, vol. 8, no. 4, 2016. (Citato a pagina 2)
- [3] D. P. Abreu, K. Velasquez, M. Curado, and E. Monteiro, "A comparative analysis of simulators for the cloud to fog continuum," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 101, p. 102029, 2020. (Citato a pagina 2)
- [4] R. N. Calheiros, R. Ranjan, A. Beloglazov, C. A. De Rose, and R. Buyya, "Cloudsim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms," *Software: Practice and experience*, vol. 41, no. 1, pp. 23–50, 2011. (Citato a pagina 2)
- [5] S. K. Garg and R. Buyya, "Networkcloudsim: Modelling parallel applications in cloud simulations," in *2011 Fourth IEEE International Conference on Utility and Cloud Computing*, pp. 105–113, IEEE, 2011. (Citato a pagina 2)
- [6] B. Wickremasinghe, R. N. Calheiros, and R. Buyya, "Cloudanalyst: A cloudsim-based visual modeller for analysing cloud computing environments and applications," in *2010 24th IEEE international conference on advanced information networking and applications*, pp. 446–452, IEEE, 2010. (Citato a pagina 2)

- [7] R. N. Calheiros, M. A. Netto, C. A. De Rose, and R. Buyya, "Emusim: an integrated emulation and simulation environment for modeling, evaluation, and validation of performance of cloud computing applications," *Software: Practice and Experience*, vol. 43, no. 5, pp. 595–612, 2013. (Citato a pagina 3)
- [8] F. Fittkau, S. Frey, and W. Hasselbring, "Cdosim: Simulating cloud deployment options for software migration support," in *2012 IEEE 6th International Workshop on the Maintenance and Evolution of Service-Oriented and Cloud-Based Systems (MESOCA)*, pp. 37–46, IEEE, 2012. (Citato a pagina 3)
- [9] Y. Jararweh, Z. Alshara, M. Jarrah, M. Kharbutli, and M. N. Alsaleh, "Teachcloud: a cloud computing educational toolkit," *International Journal of Cloud Computing* 1, vol. 2, no. 2-3, pp. 237–257, 2013. (Citato a pagina 3)
- [10] X. Li, X. Jiang, P. Huang, and K. Ye, "Dartcsim: An enhanced user-friendly cloud simulation system based on cloudsim with better performance," in *2012 IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems*, vol. 1, pp. 392–396, IEEE, 2012. (Citato a pagina 3)
- [11] X. Li, X. Jiang, K. Ye, and P. Huang, "Dartcsim+: Enhanced cloudsim with the power and network models integrated," in *2013 IEEE Sixth International Conference on Cloud Computing*, pp. 644–651, IEEE, 2013. (Citato a pagina 4)
- [12] Z. Cai, Q. Li, and X. Li, "Elasticsim: A toolkit for simulating workflows with cloud resource runtime auto-scaling and stochastic task execution times," *Journal of Grid Computing*, vol. 15, pp. 257–272, 2017. (Citato a pagina 4)
- [13] A. Kohne, M. Spohr, L. Nagel, and O. Spinczyk, "Federatedcloudsim: a sla-aware federated cloud simulation framework," in *Proceedings of the 2nd International Workshop on CrossCloud Systems*, pp. 1–5, 2014. (Citato a pagina 4)
- [14] A. Zhou, S. Wang, Q. Sun, H. Zou, and F. Yang, "Ftcloudsim: A simulation tool for cloud service reliability enhancement mechanisms," in *Proceedings Demo & Poster Track of ACM/IFIP/USENIX International Middleware Conference*, pp. 1–2, 2013. (Citato a pagina 4)
- [15] W. Chen and E. Deelman, "Workflowsim: A toolkit for simulating scientific workflows in distributed environments," in *2012 IEEE 8th international conference on E-science*, pp. 1–8, IEEE, 2012. (Citato a pagina 4)

- [16] T. Teixeira Sá, R. N. Calheiros, and D. G. Gomes, "Cloudreports: an extensible simulation tool for energy-aware cloud computing environments," *Cloud computing: Challenges, limitations and R&D solutions*, pp. 127–142, 2014. (Citato a pagina 5)
- [17] W. A. Higashino, M. A. Capretz, and L. F. Bittencourt, "Cepsim: a simulator for cloud-based complex event processing," in *2015 IEEE International Congress on Big Data*, pp. 182–190, IEEE, 2015. (Citato a pagina 5)
- [18] D. C. Luckham and B. Frasca, "Complex event processing in distributed systems," *Computer Systems Laboratory Technical Report CSL-TR-98-754. Stanford University, Stanford*, vol. 28, p. 16, 1998. (Citato a pagina 5)
- [19] M. Bux and U. Leser, "Dynamiccloudsim: Simulating heterogeneity in computational clouds," in *Proceedings of the 2nd acm sigmod workshop on scalable workflow execution engines and technologies*, pp. 1–12, 2013. (Citato a pagina 5)
- [20] Y. Jararweh, M. Jarrah, Z. Alshara, M. N. Alsaleh, M. Al-Ayyoub, *et al.*, "Cloudexp: A comprehensive cloud computing experimental framework," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 49, pp. 180–192, 2014. (Citato a pagina 5)
- [21] D. C. Alves, B. G. Batista, D. M. Leite Filho, M. L. Peixoto, S. Reiff-Marganiec, and B. T. Kuehne, "Cm cloud simulator: a cost model simulator module for cloudsim," in *2016 IEEE World Congress on Services (SERVICES)*, pp. 99–102, IEEE, 2016. (Citato a pagina 6)
- [22] J. Jung and H. Kim, "Mr-cloudsim: Designing and implementing mapreduce computing model on cloudsim," in *2012 International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, pp. 504–509, IEEE, 2012. (Citato a pagina 6)
- [23] J. Dean and S. Ghemawat, "Mapreduce: simplified data processing on large clusters," *Communications of the ACM*, vol. 51, no. 1, pp. 107–113, 2008. (Citato a pagina 6)
- [24] M. H. Sqalli, M. Al-Saeedi, F. Binbeshr, and M. Siddiqui, "Ucloud: A simulated hybrid cloud for a university environment," in *2012 IEEE 1ST International Conference on Cloud Networking (CLOUDNET)*, pp. 170–172, IEEE, 2012. (Citato a pagina 6)
- [25] S.-H. Lim, B. Sharma, G. Nam, E. K. Kim, and C. R. Das, "Mdcsim: A multi-tier data center simulation, platform," in *2009 IEEE International Conference on Cluster Computing and Workshops*, pp. 1–9, IEEE, 2009. (Citato a pagina 6)

- [26] S. K. Gupta, R. R. Gilbert, A. Banerjee, Z. Abbasi, T. Mukherjee, and G. Varsamopoulos, "Gdcsim: A tool for analyzing green data center design and resource management techniques," in *2011 International Green Computing Conference and Workshops*, pp. 1–8, IEEE, 2011. (Citato a pagina 6)
- [27] T. Cucinotta and A. Santogidis, "Cloudnetsim-simulation of real-time cloud computing applications," in *Proceedings of the 4th International Workshop on Analysis Tools and Methodologies for Embedded and Real-time Systems*, 2013. (Citato a pagina 7)
- [28] A. W. Malik, K. Bilal, K. Aziz, D. Kliazovich, N. Ghani, S. U. Khan, and R. Buyya, "Cloudnetsim++: A toolkit for data center simulations in omnet++," in *2014 11th Annual High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies (Photonics for Energy)*, pp. 104–108, IEEE, 2014. (Citato a pagina 7)
- [29] D. Kliazovich, P. Bouvry, and S. U. Khan, "Greencloud: a packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers," *The Journal of Supercomputing*, vol. 62, pp. 1263–1283, 2012. (Citato a pagina 7)
- [30] A. Núñez, J. L. Vázquez-Poletti, A. C. Caminero, G. G. Castañé, J. Carretero, and I. M. Llorente, "icancloud: A flexible and scalable cloud infrastructure simulator," *Journal of Grid Computing*, vol. 10, pp. 185–209, 2012. (Citato a pagina 7)
- [31] U. U. Rehman, A. Ali, and Z. Anwar, "seccloudsim: secure cloud simulator," in *2014 12th International Conference on Frontiers of Information Technology*, pp. 208–213, IEEE, 2014. (Citato a pagina 7)
- [32] S. Ostermann, K. Plankensteiner, R. Prodan, and T. Fahringer, "Groudsim: An event-based simulation framework for computational grids and clouds," in *Euro-Par 2010 Parallel Processing Workshops: HeteroPar, HPCC, HiBB, CoreGrid, UCHPC, HPCF, PROPER, CCPI, VHPC, Ischia, Italy, August 31–September 3, 2010, Revised Selected Papers 16*, pp. 305–313, Springer, 2011. (Citato a pagina 8)
- [33] T. Fahringer, A. Jugravu, S. Pllana, R. Prodan, C. Seragiotto Jr, and H.-L. Truong, "Askalon: a tool set for cluster and grid computing," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 17, no. 2-4, pp. 143–169, 2005. (Citato a pagina 8)
- [34] W. Tian, Y. Zhao, M. Xu, Y. Zhong, and X. Sun, "A toolkit for modeling and simulation of real-time virtual machine allocation in a cloud data center," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 153–161, 2013. (Citato a pagina 8)

- [35] S. Sotiriadis, N. Bessis, N. Antonopoulos, and A. Anjum, "Simic: Designing a new inter-cloud simulation platform for integrating large-scale resource management," in *2013 IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, pp. 90–97, IEEE, 2013. (Citato a pagina 8)
- [36] I. Sriram, "Speci, a simulation tool exploring cloud-scale data centres," in *Cloud Computing: First International Conference, CloudCom 2009, Beijing, China, December 1-4, 2009. Proceedings 1*, pp. 381–392, Springer, 2009. (Citato a pagina 8)
- [37] D. Fernández-Cerero, A. Fernández-Montes, A. Jakóbi, J. Kołodziej, and M. Toro, "Score: Simulator for cloud optimization of resources and energy consumption," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 82, pp. 160–173, 2018. (Citato a pagina 8)
- [38] D. Fernández-Cerero, A. Jakóbi, A. Fernández-Montes, and J. Kołodziej, "Game-score: Game-based energy-aware cloud scheduler and simulator for computational clouds," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 93, pp. 3–20, 2019. (Citato a pagina 9)
- [39] D. Fernández Cerero, A. Fernández Montes González, A. Jakóbi, and J. Kołodziej, "Stackelberg game-based models in energy-aware cloud scheduling," in *ECMS 2018: 32nd European Conference on Modelling and Simulation (2018)*, European Council for Modelling and Simulation, 2018. (Citato a pagina 9)
- [40] G. Kecskemeti, "Dissect-cf: a simulator to foster energy-aware scheduling in infrastructure clouds," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 58, pp. 188–218, 2015. (Citato a pagina 9)