



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA CALABRIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INFORMATICA, MODELLISTICA,
ELETTRONICA E SISTEMISTICA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA INFORMATICA

Tesi di Laurea

**Uso e valutazione di soluzioni Cloud/Edge per l'esecuzione di
applicazioni di mobilità urbana**

Relatore

Prof. Fabrizio Marozzo

Ing. Loris Belcastro

Ing. Alessio Orsino

Candidato

Luca Cataldi

Matr. 207148

Anno Accademico 2020-2021

Sommario

Introduzione	1
1° Capitolo: Introduzione all'Edge Computing	4
1.1 Features	6
1.2 Hardware	9
1.3 Software	12
1.4 Edge Security e sicurezza nell'IoT	15
1.5 Cloud, Edge e Fog Computing.....	16
2° Capitolo: Disamina dei principali simulatori Edge e Fog e introduzione ai problemi di Trajectory Prediction e Location-based Advertising	23
2.1 Simulare scenari per Edge e Fog Computing: una disamina dei principali simulatori	25
2.1.1 FogNetSim++	33
2.1.2 CloudSim.....	34
2.1.3 iFogSim	36
2.1.4 EdgeCloudSim	38
2.1.5 FogTorchII	42
2.1.6 EmuFog.....	43
2.2 Formalizzazione del problema.....	46
2.2.1 Taxi Demand Location Prediction	47
2.2.2 Location-based Advertising applicato ad autovetture e pedoni.....	49
3° Capitolo: Analisi del simulatore EdgeCloudSim e dei parametri utili alla modellazione dei diversi scenari.....	52
3.1 Diverse architetture che caratterizzano il framework.....	57
3.2 Design del framework e moduli.....	60
3.3 Scelte progettuali	67
3.4 Definizione degli scenari modellati.....	69
4° Capitolo: Valutazione sperimentale	84
4.1 Primo scenario	84
4.2 Secondo scenario.....	92
4.3 Terzo scenario	98
Conclusioni	104
Bibliografia.....	106

Si alza il vento,

bisogna tentare di vivere.

Introduzione

In contrapposizione al paradigma del Cloud Computing, che ha letteralmente rivoluzionato il modo in cui vengono archiviati e fruiti i dati, cioè da remoto e non più in locale, è nato il concetto di Edge Computing. Ciò ha definito un passo in avanti notevole rispetto al Cloud, che permette di risolvere tutta una serie di limitazioni e problemi propri di questo approccio. Infatti, con l'aumento esponenziale del numero e della varietà dei dispositivi di IoT (Internet of Things) presenti nella nostra vita quotidiana, è risultato sempre più scomodo ed inefficiente spostare moli gradualmente maggiori di dati per poi poterli elaborare. È nata, quindi, la necessità di elaborare localmente ed efficientemente i dati generati dai diversi dispositivi, come conseguenza di ciò è stato sviluppato il concetto di Edge Computing, cioè un “modello di calcolo distribuito nel quale l'elaborazione dei dati avviene il più vicino possibile alla sorgente fisica da cui vengono generati” [1].

Una delle differenze sostanziali tra Cloud ed Edge risiede nel concetto di centralizzazione e decentralizzazione dell'elaborazione dei dati: infatti questi dopo essere stati raccolti necessitano di essere elaborati, di conseguenza sono stati sviluppati appositi framework in grado di sfruttare un singolo dispositivo molto potente. Con l'avvento dei dispositivi IoT, anche detti “perimetrali”, la quantità di dati generata è aumentata esponenzialmente e ciò ha reso necessario un approccio diverso da quello centralizzato del Cloud. L'Edge Computing ha stravolto gli approcci tradizionali: ad oggi le applicazioni vengono sviluppate per essere eseguite su una moltitudine di dispositivi, non eccessivamente performanti ma che siano, appunto, molto più vicini alla sorgente che genera i dati. Gli ambiti applicativi di questa recente tecnologia sono molteplici: Industrial IoT, Smart Cities e anche Smart HealthCare.

L'obiettivo di questo elaborato è quello di studiare e valutare i benefici dell'utilizzo di un approccio ibrido tra Cloud ed Edge per eseguire elaborazione su dati, in modo da sfruttare i punti di forza di entrambe le infrastrutture, ottenere dei risultati e successivamente confrontarli con i risultati ottenuti tramite approcci tradizionali.

In particolare, in merito agli scenari che verranno modellati, simulati ed analizzati, si fa' riferimento a due problemi che in letteratura vengono indicati con il nome di Trajectory Prediction e Location-based Advertising.

Per quanto concerne il primo scenario, l'obiettivo è quello di stimare la migliore prossima tappa per un taxi, così da minimizzare sia il tempo in cui il taxi rimane senza corse attive, massimizzando quindi il guadagno del driver, che il carburante utilizzato cercando un potenziale cliente.

Il secondo scenario, invece, vuole generare delle predizioni su luoghi d'interesse nei paraggi in formato di notifiche push ricevute sul proprio smartphone. Tali notifiche possono avere scopi pubblicitari e non, profilando l'utente e suggerendo solo luoghi ed attività rilevanti rispetto agli interessi dello stesso: ad esempio, informando l'utente della presenza di uno store specifico all'interno di un centro commerciale, di un luogo d'interesse in generale (potrebbe essere un museo, un parco etc) oppure potrebbero fornire degli sconti, fidelizzando così il consumatore.

Risulta fondamentale ottenere dei risultati che siano il più fedeli e vicini possibile a quelli che si otterrebbero nella vita reale, ma senza il costo di costruire ed implementare fisicamente un'infrastruttura Edge. Ciò permette di studiare in maniera approfondita la sostenibilità di suddetti approcci ibridi, perché soluzioni simili sono ancora solo ai primordi. La possibilità di effettuare delle simulazioni sempre più life-like sfruttando simulatori ed ottenere dei risultati rilevanti è fondamentale in questo momento storico, poiché rende possibile la valutazione di questi ultimi e da', quindi, modo di comprendere quando e come è più conveniente utilizzare le diverse soluzioni che questo tipo di infrastruttura, ad oggi, ci mette a disposizione: entrambe le soluzioni Edge-Only e Cloud-Only presentano vari vantaggi e svantaggi, conoscendo queste informazioni è possibile decidere quando adoperare l'una piuttosto che l'altra. Con questa idea in mente si è deciso di indagare più a fondo su quelle che sono le vere potenzialità di un approccio ibrido.

È importante specificare che nessuna delle due infrastrutture si propone come sostituzione totale dell'altra, piuttosto nelle soluzioni ibride che verranno trattate più avanti nell'elaborato, l'Edge viene utilizzato come estensione del Cloud e ciò permette di ottenere risultati più promettenti dove quest'ultimo risulta poco performante.

A questo punto, segue una disamina generale della struttura di questo elaborato:

Nel primo capitolo verrà introdotto il concetto di Edge Computing, cos'è, cosa si intende con questo termine, quali sono le caratteristiche che lo contraddistinguono, gli elementi hardware e software che lo caratterizzano. Successivamente verrà effettuata un'analisi approfondita ed un successivo confronto di Cloud, Edge e Fog Computing. Quest'ultimo, a volte, viene considerato solo come un sinonimo dell'Edge, ma si vedrà che non lo è, anzi, può essere utilizzato per migliorare ulteriormente le performance di questi sistemi, andando a risolvere problemi e difetti che caratterizzano l'approccio Edge.

Nel secondo capitolo si partirà dal concetto di IoT e si tratterà della crescita esponenziale che ha conosciuto negli ultimi anni, verrà effettuata una disamina dei principali simulatori, con l'obiettivo di spiegare perché si è scelto di utilizzare proprio il framework EdgeCloudSim. Verranno, inoltre, introdotti e formalizzati i già citati problemi che si vuole modellare, quali Trajectory Prediction e Location-based Advertising.

Nel terzo capitolo verrà analizzato in dettaglio il framework di simulazione sopracitato, descrivendo in dettaglio la struttura, com'è stato implementato il simulatore, quali sono i principali file di configurazione, presentando anche tutti i parametri che sono presenti al loro interno. Verranno anche descritte le caratteristiche degli scenari che si vogliono modellare, le informazioni che è stato necessario ricercare e di conseguenza, inserire nel simulatore per modellare gli scenari nel modo più attinente alla realtà possibile.

Nel quarto capitolo verranno, infine, presentati e discussi i risultati ottenuti a fronte del lavoro effettuato sul simulatore EdgeCloudSim. Questo con lo scopo di valutare le performance ottenute, a parità di scenari, da infrastrutture solo Cloud e da quelle ibride in cui si affianca l'Edge al Cloud.

Bibliografia

- [1] «Wikipedia,» 2021. [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Edge_computing.
- [2] D. R. -. J. G. -. J. Rydning, «Seagate,» 2018. [Online]. Available: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>.
- [3] P. J. Basford, Performance analysis of single board computer clusters, 2020.
- [4] Wikipedia, «Numero unità vendute di Raspberry Pi,» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi.
- [5] «Business Gentleman,» 2021. [Online]. Available: <http://www.businessgentlemen.it/2020/05/cloud-computing-vs-edge-computing/>.
- [6] CompTIA, «Sizing Up the Internet of Things,» 2020. [Online]. Available: <https://www.comptia.org/content/research/sizing-up-the-internet-of-things>.
- [7] L. F. R. B. M. J. M. N. S. G. C. M. Michaela Iorga, «Fog Computing Conceptual Model,» 2018. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/publications/fog-computing-conceptual-model>.
- [8] R. K. R. B. Redowan Mahmud, «Fog Computing: A taxonomy, survey and future directions. In Internet of Everything,» 2018.
- [9] P. T. E. M. B. C. F.-P. K. M. G. G. A. G. D. T. J. B. T. L. Sergej Svorobej, «Simulating Fog and Edge Computing : an Overview and Research Challenges,» 2019.
- [10] C. F. G. H. P. W. Daniel Krajzewicz, «SUMO (Simulation of Urban MObility); An open-source traffic simulation,» 2002.
- [11] A. M. M. A. K. Tariq Qayyum, «FogNetSim++: A Toolkit for Modeling and Simulation of Distributed Fog Environment,» 2018.
- [12] R. H. Andràs Varga, «An Overview of OMNeT++ Simulation Environment».
- [13] R. R. A. B. C. A. F. D. R. R. B. Rodrigo N. Calheiros, «CloudSim: a toolkit for Modeling and Simulation of Cloud Computing environments and evaluation of Resource Provisioning algorithms,» 2010.
- [14] A. V. D. S. K. G. R. B. Harshit Gupta, «iFogSim: A Toolkit for Modeling and Simulation of Resource Management Techniques in Internet of Things, Edge and Fog Computing Environments,» 2016.
- [15] A. O. C. E. Cagatay Sonmez, «EdgeCloudSim: An environment for Performance evaluation of Edge Computing systems,» 2018.

- [16] K. V. M. C. E. M. David Perez Abreu, «A comparative analysis of simulators for the Cloud to Fog continuum,» 2020.
- [17] S. G. P. E. S. P. P. J. Xuezhong Zeng, «IoTSim: a Cloud based Simulator for Analysing IoT Applications,» 2016.
- [18] S. F. A. I. Antonio Brogi, «How to Best Deploy your Fog Applications, Probably,» 2017.
- [19] L. G. H. G. E. S. U. R. Ruben Mayer, «EmuFog: Extensible and scalable emulation of large-scale Fog Computing infrastructures,» 2017.
- [20] N. B. Z. Q. A.-L. B. Chaoming Song, «Limits of Predictability in Human Mobility,» 2010.
- [21] D. K. J. F. C. S. H. V. Kai Zhao, «Predicting Taxi Demand at High Spatial Resolution: Approaching the Limit of Predictability,» 2018.
- [22] D. K. S. R. M. P. J. C. B. Punit Rathore, «A Scalable Framework for Trajectory Prediction,» 2019.
- [23] K. D. Abdullah Fawaz Aljulayfi, «Simulation of an Augmented Reality Application for Driverless Cars in an Edge Computing Environment,» 2018.
- [24] A. F. A. G. F. M. Loris Belcastro, «Evaluation of Large Scale ROI Mining Applications in Edge Computing Environments,» 2021.
- [25] C. S. Federico Babbi, «Milano-Roma: numeri di due città a confronto,» *Il sole 24 ore*, 2019.
- [26] «ACoS Roma Capitale,» 24 Marzo 2020. [Online]. Available: https://www.agenzia.roma.it/it-settori-6-taxi_e_ncc.
- [27] C. B. Manuela Calderini, «Il servizio di taxi in Italia: ragioni e contenuti di una riforma,» 2007.
- [28] R. Ansa, «Ansa,» 8 Luglio 2016. [Online]. Available: https://www.ansa.it/canale_motori/notizie/attualita/2016/07/08/ogni-giorno-18-mln-di-pendolari-auto-come-da-milano-a-pechino_d8bf6552-f88a-4d84-bbbc-93e23789aa16.html.
- [29] «Unrae,» 6 Agosto 2020. [Online]. Available: <http://www.unrae.it/sala-stampa/altri-comunicati/5109/in-italia-6-auto-circolanti-su-10-superano-i-10-anni-di-eta-dopo-15-anni-le-immatricolazioni-di-nuove-auto-a-benzina-superano-le-diesel>.
- [30] «Comune Roma,» Ottobre 2020. [Online]. Available: https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/Il_turismo_a_Roma_2019_new.pdf.
- [31] K. Z. S. F. I. S. P. Ahmed Kharrat, «Clustering Algorithm for Network Constraint Trajectories,» 2008.

- [32] F. P. R. T. F. G. Anna Monreale, «WhereNext: a Location Predictor on Trajectory Pattern Mining,» 2009.
- [33] Gennaio 2021. [Online]. Available: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-protocol-messages-overview/>.
- [34] F. M. D. T. Loris Belcastro, «Appraising SPARK on Large-Scale Social Media Analysis,» 2018.
- [35] F. M. D. T. P. T. Loris Belcastro, «ParSoDA: High-Level Parallel Programming for Social Data Mining».
- [36] J. P. Y. Y. R. M. Jiawei Han, «Mining Frequent Patterns without Candidate Generation: A Frequent-Pattern Tree Approach,» 2004.
- [37] I. V. Renàta Ivànscsy, «Fast Discovery of Frequent Itemsets: a Cubic Structure-Based Approach,» 2005.