



UNIVERSITÀ DI PARMA

Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica, Elettronica e delle
Telecomunicazioni

Titolo Italiano

English Title

Relatore:

Chiar.mo Prof. Michele Amoretti

Correlatore:

Dott. Ing. Gabriele Penzotti

Tesi di Laurea di:
Filippo Scaramuzza

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Ai miei genitori.

Ringraziamenti

Indice

Introduzione	1
1 Stato dell'arte	2
1.1 Cloud Computing nell'era dei Big Data	2
1.2 Fog Computing ed altri paradigmi nel Cloud-to-Thing Continuum	3
1.2.1 Fog Computing e architettura OpenFog	3
1.2.2 Possibili applicazioni del Fog Computing	5
1.2.3 Altri Paradigmi	6
1.3 Problemi aperti	6
2 Architettura Funzionale del Sistema Realizzato	7
2.1 Simulazione di sistemi distribuiti	7
2.2 Descrizione dello scenario simulato	7
2.2.1 Fog Computing in ambito Precision Agriculture	7
2.2.2 Topologia ed architettura di riferimento	7
3 Implementazione	8
3.1 Descrizione generale delle simulazioni	8
3.1.1 Il simulatore YAFS	8
3.2 Realizzazione del software di simulazione	8
3.2.1 Implementazione della generazione del grafo	8
3.2.2 Implementazione dell'algoritmo di placement	9
3.2.3 Implementazione della simulazione	9

INDICE	iii
<hr/>	
4 Risultati	10
4.1 Simulazioni	10
Conclusioni	11
A Appendice	12
Bibliografia	13

Introduzione

Capitolo 1

Stato dell'arte

1.1 Cloud Computing nell'era dei Big Data

Il *Cloud Computing* è stato uno strumento fondamentale per l'espansione della portata, del calcolo, dell'archiviazione e dell'infrastruttura di rete delle applicazioni. Il NIST (*National Institute of Standards and Technology*) definisce il *Cloud Computing* come un modello che promuove l'accesso globale alle risorse informatiche condivise di rete, tipicamente *on-demand* [1]. L'infrastruttura, nella sua versione più semplice, in questo paradigma architetturale, è relegata principalmente in data center, ovvero dei raggruppamenti di risorse virtualizzate altamente accessibili che possono essere riconfigurate dinamicamente per garantire la scalabilità dei servizi. Questi fungono da server "centrali", che sono geograficamente situati in luoghi strategici garantendo agli utenti un'infrastruttura, una piattaforma oppure un servizio software utile per le loro applicazioni e i propri scopi (IaaS, Paas, SaaS).

Nonostante il *Cloud Computing* abbia indubbiamente avuto un ruolo chiave nel rendere accessibile una potenza di calcolo, altrimenti troppo difficile da poter essere realizzata in proprio, nella moderna era dei Big Data il tempo richiesto per accedere ad alcune applicazioni *cloud-based*, che concentrano l'intera elaborazione dei dati nei suddetti *data-center*, potrebbe essere troppo elevato e rendere questo paradigma impraticabile, ad esempio, per applicazio-

ni nell'ambito dei *mission-critical systems* od in generale ovunque la latenza debba essere ridotta al minimo. Inoltre l'ormai noto incremento dei dispositivi connessi in ambito IoT (*Internet of Things*) ed il relativo rapido aumento dei dati generati nell'*edge* della rete richiedono che le risorse di calcolo siano geograficamente situate il più vicino possibile ai dispositivi stessi. Emerge quindi una maggiore domanda di potenza di calcolo che operi sui dati con un'ampia larghezza di banda, a bassa latenza e sensibile alla privacy, prerogativa di paradigmi di calcolo che sono per definizione geograficamente distribuiti e più vicini alle sorgenti dei dati.

Per affrontare queste problematiche è quindi necessario garantire il cosiddetto *Cloud-to-Thing Continuum* ed in questo ambito sono state avanzate numerose proposte, ad esempio il *Fog Computing*, sia in ambito industriale che accademico [2, 3].

1.2 Fog Computing ed altri paradigmi nel Cloud-to-Thing Continuum

1.2.1 Fog Computing e architettura OpenFog

Con *Fog Computing* si intende un'architettura orizzontale a livello di sistema che distribuisce le funzioni di elaborazione, archiviazione, controllo e rete più vicine agli utenti lungo un *Cloud-to-Thing Continuum* [2].

Il *Fog Computing* dunque non sostituisce bensì estende il modello tradizionale di *Cloud Computing* offrendo le stesse possibilità (calcolo, archiviazione, funzionalità di rete) ma avvicinando la complessità in termini di risorse e servizi all'*edge* della rete, ovvero ai dispositivi che fungono da sorgente dei dati.

Ad esempio, in un'applicazione che si occupa di analisi di Big Data, lo strato di Fog (dall'inglese Fog, *Nebbia*) che si pone ad un livello "più basso", ovvero più vicino ai dispositivi, rispetto al Cloud (dall'inglese Cloud, *Nuvola*) potrebbe svolgere una funzione di filtraggio, pre-elaborazione e aggregazione

del flusso dati, rendendo eventualmente disponibili alcuni risultati ai livelli inferiori e alleggerendo il carico nel Cloud a cui rimarrebbero i task più complessi ma su una mole di dati molto ridotta e pre-elaborata.

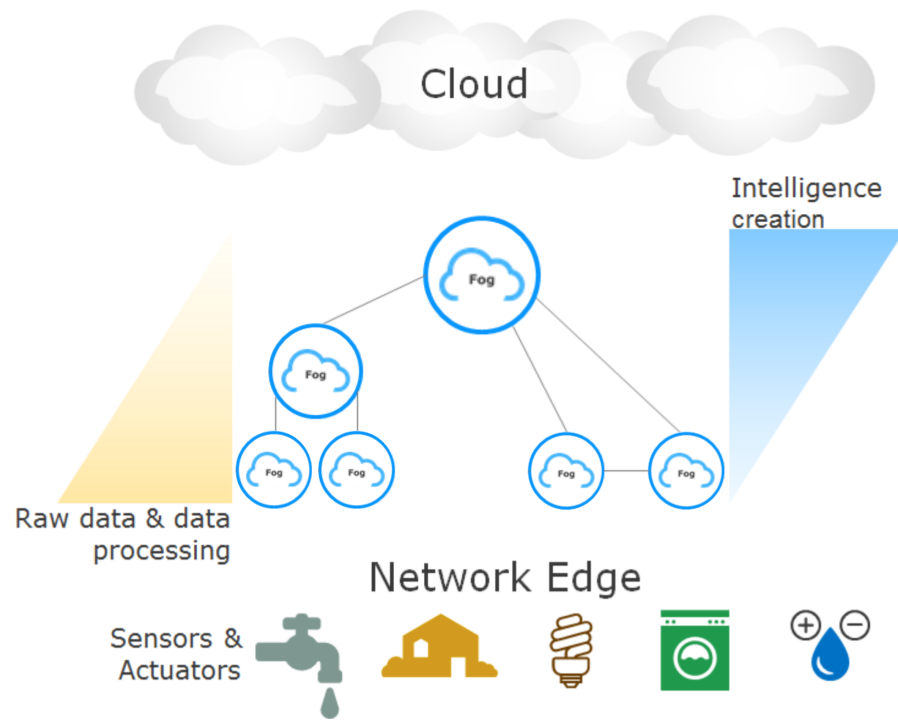


Figura 1.1: Architettura Fog Computing [2]

L'architettura di riferimento per chi intende sviluppare applicazioni in ambito Fog Computing è stata fornita dall'*OpenFog Consortium*. Quest'ultimo è stato fondato da ARM, Cisco, Dell, Intel, Microsoft e dall'Università di Princeton, nel 2015. I vantaggi fondamentali dell'architettura di riferimento definita dall'OpenFog Consortium sono riassunti con il termine *SCALE* [2], ovvero:

- **Security.** Sicurezza aggiuntiva per garantire transazioni sicure e affidabili. Dal *Security Pillar* dell'architettura di riferimento, si evince la necessità di un "nodo" fidato (*Root of Trust*) quando si trattano dati sensibili.

- **Cognition.** Viene applicato, tramite la consapevolezza degli obiettivi della singola applicazione un approccio "client-centrico", che garantisce una maggiore autonomia dal Cloud.
- **Agility.** Rapida innovazione e scalabilità dei servizi a prezzi accessibili.
- **Latency.** Elaborazione in tempo reale e latenze molto basse.
- **Efficiency.** Riconoscimento e condivisione delle risorse inutilizzate dei dispositivi finali che partecipano al networking.

1.2.2 Possibili applicazioni del Fog Computing

Le possibili applicazioni del Fog Computing sono innumerevoli, tra le più gettonate c'è sicuramente quanto concerne *Smart Cars* e *Traffic Control*. Gli obiettivi di questo scenario vengono raggiunti tramite l'implementazione di nodi Fog nei veicoli stessi garantendo una comunicazione con altri nodi Fog della rete se disponibili. I nodi nebbia di bordo forniscono servizi tra cui infotainment, sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS), guida autonoma, prevenzione delle collisioni, navigazione, ecc. I nodi Fog che invece si occupano direttamente di controllo del traffico possono ricevere input da altre fonti, come sistemi di semafori intelligenti, gestori comunali e sistemi basati su Cloud. I flussi di dati tra il sistema di controllo del traffico, i nodi Fog dell'infrastruttura e i veicoli in tutte le direzioni, assicurano che tutti i livelli della gerarchia dispongano dei dati e delle capacità di controllo di cui hanno bisogno [4].

Un altro interessante impiego del Fog Computing è nell'ambito delle *Smart Cities* e degli *Smart Buildings*. Infatti sebbene la maggior parte delle città moderne disponga di una o più reti cellulari che forniscono una copertura dell'intera città, queste reti hanno spesso limiti di capacità e larghezza di banda che soddisfano appena le esigenze degli attuali abbonati. Ciò lascia poca larghezza di banda per i servizi più avanzati previsti in una città intelligente nell'era dei Big Data. L'implementazione di una rete Fog stabile e scalabile abbinata alle tecnologie 5G possono offrire un'opportunità per

affrontare questo problema. I nodi Fog possono infatti fornire elaborazione e archiviazione locali e ottimizzare l'utilizzo della rete, analizzando dati prodotti dai sensori sugli edifici, nelle strade, nei corsi d'acqua e così via. Questo caso d'uso è già realtà, ad esempio, nella città di Barcellona, dove i risultati hanno dimostrato che il Fog Computing è la possibile chiave di volta per l'implementazione di servizi molto avanzati e complessi, in città che producono decine di milioni di Gigabyte di dati giornalmente [5].

1.2.3 Altri Paradigmi

Edge Computing, Mobile Computing, Fog RAN e differenze fondamentali con Fog e Cloud Computing.

1.3 Problemi aperti

Problemi aperti e sfide in campo Fog Computing: cosa si può fare e quali realtà sono realizzabili con questo paradigma. (Smart cars e traffic control, smart cities e smart buildings, ecc.)

Capitolo 2

Architettura Funzionale del Sistema Realizzato

2.1 Simulazione di sistemi distribuiti

Simulazioni per il design e l'ottimizzazione di sistemi distribuiti su larga scala, come e perché.

2.2 Descrizione dello scenario simulato

2.2.1 Fog Computing in ambito Precision Agriculture

Introduzione generica alla precision agriculture e motivi dietro alle scelte progettuali nonché al paradigma Fog.

2.2.2 Topologia ed architettura di riferimento

Spiegazione della struttura a livelli e descrizione dei singoli livelli, anche facendo riferimento alla questione relativa alla privacy.

Capitolo 3

Implementazione

3.1 Descrizione generale delle simulazioni

Schema generale con le varie fasi dell'esecuzione delle simulazioni: dalla generazione della rete, al placement, alle simulazioni e alle analisi.

3.1.1 Il simulatore YAFS

Descrizione del simulatore e delle componenti principali (topologia, applicazioni e servizi, users e così via).

3.2 Realizzazione del software di simulazione

Riferimenti a python e conda, sull'ambiente di sviluppo e metodologia utilizzata.

3.2.1 Implementazione della generazione del grafo

Descrizione della generazione del grafo (strutture interne dei livelli, fattori di riduzione, ecc..)

3.2.2 Implementazione dell'algoritmo di placement

Funzionamento dell'algoritmo con spiegazioni step-by-step

3.2.3 Implementazione della simulazione

Come nelle repo GitHub, spiegazione delle varie parti che compongono il core della simulazione con YAFS.

Capitolo 4

Risultati

4.1 Simulazioni

Qui elenco delle varie simulazioni con spiegazione dei risultati ed eventuali conclusioni che da essi si ottengono.

Conclusioni

Appendice A

Appendice

Bibliografia

- [1] P. Mell and T. Grance. The nist definition of cloud computing. *NIST Special Publication 800-145*, 2011.
- [2] OpenFog Consortium. *OpenFog Reference Architecture for Fog Computing*, 2017.
- [3] F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli. Fog computing and its role in the internet of things. In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, 2012.
- [4] Q. Wu, J. Shen, B. Yong, J Wu, F. Li, J. Wang, and Q. Zhou. Smart fog based workflow for traffic control networks. *Future Generation Computer Systems*, 2019.
- [5] J. Garcia, E. Simó, X. Masip-Bruin, E. Marín-Tordera, and S. Sànchez-López. Do we really need cloud? estimating the fog computing capacities in the city of barcelona. In *2018 IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion (UCC Companion)*, 2018.