Relazione del progetto di Informatica III



Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

I Anno

A.A. 2021/2022

Modulo di Progettazione e

Algoritmi

Prof. Patrizia Scandurra

cod. 38068

Wasim Essbai 1060652

Matteo Locatelli 1059210

Nicola Zambelli 1053015

Sommario

[Introduzione 5](#_Toc96956248)

[Obiettivo 6](#_Toc96956249)

[W3C 7](#_Toc96956250)

[LoRaWan 8](#_Toc96956251)

[MAPE-K loop 10](#_Toc96956252)

[MQTT 11](#_Toc96956253)

[ChirpStack 13](#_Toc96956254)

[Iterazione 0 15](#_Toc96956255)

[Analisi dei requisiti 16](#_Toc96956256)

[R0 – Azioni di riconfigurazione per allungamento del ciclo di vita delle sentinelle: 16](#_Toc96956257)

[R1 – Azioni di auto-diagnosi manutentiva di risoluzione autonoma dei guasti: 16](#_Toc96956258)

[User-Stories 18](#_Toc96956259)

[Lato edge device: 18](#_Toc96956260)

[Lato application server: 19](#_Toc96956261)

[Lato watchdog: 20](#_Toc96956262)

[Deployment Diagram 21](#_Toc96956263)

[Deployment Diagram Informale 21](#_Toc96956264)

[Deployment Diagram UML 22](#_Toc96956265)

[Iterazione 1 23](#_Toc96956266)

[Component diagram 23](#_Toc96956267)

[Class diagram 24](#_Toc96956268)

[Iterazione 2 25](#_Toc96956269)

[Component diagram 25](#_Toc96956270)

[Class diagram 26](#_Toc96956271)

[Iterazione 3 27](#_Toc96956272)

[Component diagram 27](#_Toc96956273)

[Class diagram 29](#_Toc96956274)

[State machine watchdog 30](#_Toc96956275)

[Iterazione 4 31](#_Toc96956276)

[Component diagram 31](#_Toc96956277)

[Class diagram 33](#_Toc96956278)

[Iterazione 5 34](#_Toc96956279)

[Component diagram 34](#_Toc96956280)

[Class diagram 36](#_Toc96956281)

[L’algoritmo *check\_nodes* 37](#_Toc96956282)

[Pseudocodice 38](#_Toc96956283)

[Analisi complessità-tempo 39](#_Toc96956284)

[Implementazione 40](#_Toc96956285)

[Analisi statica codice 41](#_Toc96956286)

# Introduzione

## Obiettivo

Il progetto ha come finalità la creazione di una piattaforma *edge-cloud* con la funzione di monitoraggio ambientale. Parte integrante del progetto sono i dispositivi ***IoT*** *(internet of Things),* capaci di raccogliere dati con uno scarso consumo di risorse.

I vantaggi dell’utilizzo di una rete di dispositivi *IoT* per la raccolta di dati ambientali sono molteplici, come la vasta scalabilità della rete ed il basso costo di manutenzione, rispetto agli approcci tradizionali.

I protagonisti della rete di acquisizione sono i *watchdog*, gli *edge-node* ed infine il *cloud server*:

* I ***watchdog*** sono i nodi sentinella, hanno il compito di campionare i dati e trasmetterli ai nodi edge. Tali dispositivi, tipicamente, sono mobili e alimentati a batteria; perciò, l’obbiettivo risulta essere quello di massimizzare il loro ciclo di vita, minimizzando il consumo di risorse. Un protocollo di comunicazione wireless a basso profilo è il *LoRaWan* che sarà discusso in seguito. Tale tecnologia permette di connettere i *watchdog* ai nodi edge con un modesto impiego di energia, garantendo al contempo una comunicazione efficace.
* Gli ***edge-node*** hanno un ruolo centrale nel progetto, il loro compito è quello di fare da *bridge* tra i nodi *watchdog* ed il *cloud server*. Essi si interfacciano con i *watchdog* attraverso il protocollo *LoRaWan* e con il *cloud server* per mezzo del protocollo **MQTT**, anch’esso uno standard *ISO* per la messaggistica leggera, che si appoggia al livello *TCP/IP* dell’internet e ampiamente impiegato in applicazioni *IoT*.
* Il ***cloud server*** ha la funzione di acquisire e immagazzinare le informazioni che arrivano dagli *edge-node*. Inoltre, sarà capace di analizzare e interpretare i dati, pianificando delle operazioni *self-adaptive* in modo da garantire un determinato livello di *dependability* del sistema*,* al fine di minimizzare ed ottimizzare l’intervento umano sui dispostivi fisici. Questo tipo di approccio permette di ottenere una maggiore qualità delle acquisizioni dei dati e di risparmiare sui costi di manutenzione e riparazione. Il grado di *dependability* garantito dipende in modo particolare da questa componente, che va quindi progettata con cura e le cui azioni correttive devono essere mirate e precise, rimanendo allo stesso tempo generali in modo da adattarsi a più scenari possibili.

## W3C

Il ***World Wide Web Consortium***, anche conosciuto come **W3C**, è un'organizzazione non governativa internazionale che ha come scopo quello di favorire lo sviluppo di tutte le potenzialità del *World Wide Web* e diffondere la cultura dell'accessibilità della rete. La principale attività svolta dal W3C consiste nello stabilire standard tecnici per il *World Wide Web* inerenti sia i linguaggi di markup che i protocolli di comunicazione.

Nel nostro caso siamo interessati al paragrafo 4.1.10 della guida, sul monitoraggio ambientale:

*“Il monitoraggio dell'ambiente si basa in genere su molti sensori distribuiti che inviano i propri dati di misurazione a gateway comuni, dispositivi perimetrali e servizi cloud.*

*Il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico, dell'inquinamento idrico e di altri fattori di rischio ambientale come polveri sottili, ozono, composti organici volatili, radioattività, temperatura, umidità per rilevare condizioni ambientali critiche può prevenire danni irreparabili alla salute o all'ambiente.”*

Un altro paragrafo di nostro interesse è il 4.2.6, quello sui *Digital Twins*, utile per simulare le componenti.

*“Un gemello digitale è una rappresentazione virtuale, ovvero un modello di un dispositivo o un gruppo di dispositivi che risiede su un server cloud o su un dispositivo edge. Può essere utilizzato per rappresentare dispositivi del mondo reale che potrebbero non essere continuamente online o per eseguire simulazioni di nuove applicazioni e servizi, prima che vengano distribuiti ai dispositivi reali.”*



## LoRaWan

La specifica *LoRaWan* è un protocollo di rete *LPWA (Low Power, Wide Area)* progettato per connettere in modalità wireless *"things"* alimentati a batteria in reti regionali, nazionali o globali e si rivolge ai requisiti chiave dell'*Internet of Things*, come bi-servizi di comunicazione direzionale, sicurezza end-to-end, mobilità e localizzazione.

*Perché proprio LoRaWan?*

*LoRaWan* offre una durata della batteria pluriennale ed è progettato per sensori e applicazioni che richiedono di inviare piccole quantità di dati su lunghe distanze. Di seguito si può osservare un confronto tra *LoRaWan* e le comunicazioni wireless maggiormente adottate, come le reti *LAN(local Area Network)* e le reti *Cellular*.



*WiFi e BTLE* sono standard ampiamente adottati ma servono alle applicazioni che comunicano con dispositivi personali su piccole distanze. La tecnologia cellulare è perfetta per applicazioni che richiedono un elevato throughput di dati, ma devono disporre di una notevole fonte di alimentazione.

*LoRaWan* definisce il protocollo di comunicazione e l'architettura di sistema (livello applicativo del modello *ISO/OSI*) ,mentre *LoRa* è lo strato fisico della telecomunicazione (livello1 del modello *OSI*), che consente il collegamento a lungo raggio.

Immagine che contiene tavolo

Descrizione generata automaticamente

*LoRaWan per l'Europa*

*LoRaWan* definisce dieci canali, otto dei quali sono multi-data da 250 bps a 5,5 kbps, un singolo canale LoRa ad alta velocità di trasmissione dati, a 11 kbps e un singolo canale FSK a 50 kbps. La potenza di uscita massima consentita da *ETSI (European Telecommunications Standards Institute)* in Europa è +14dBM. Ci sono restrizioni sul ciclo di lavoro ma senza limiti di tempo massimo di trasmissione o di permanenza del canale.

## MAPE-K loop

Il cosiddetto modello *MAPE-K control loop* è uno stile architetturale introdotto da IBM nel loro *white paper*: *“An architectural blueprint for autonomic computing”.* L’intento è quello di creare un ambiente informatico con le capacità di autogestione e auto-adattamento dinamico a seconda delle *business policies* implementate. Il ciclo e suddiviso in 4 funzioni principali:

* *Monitor*: Raccoglie i dati delle risorse gestite
* *Analyze*: Esegue complesse analisi dei dati e valuta i segnali dalla funzione monitor.
* *Plan*: Struttura le azioni necessarie per raggiungere gli obiettivi richiesti,

essa crea o seleziona una procedura da attuare per la configurazione desiderata nella risorsa gestita.

* *Execute*: Modifica il comportamento della risorsa gestita utilizzando gli effettori, sulla base delle azioni consigliate dalla funzione di piano.



L’obbiettivo è quello di utilizzare questo modello concettuale inserendo un ciclo MAPE-Kper ognuno degli *adaptation-goals.* Inoltre, verrà valutata la distribuzione delle funzioni MAPE, identificando, per ogni ciclo, l’attore del sistema che svolge una determinata funzionalità.

## MQTT

***MQTT*** (*Message Queue Telemetry Transport*) è un protocollo di messaggistica standard di OASIS, impiegato ampiamente in applicazioni *IoT*.

MQTT è un protocollo di tipo *publish*/*subscribe*, estremamente leggero, ideale per la connessione di dispositivi remoti con un *footprint* di codice ridotto ed una larghezza di banda di rete minima.

A differenza del paradigma di *request*/*response* di ***http***, MQTT è basato su eventi e consente di inviare messaggi ad uno o più che *client* che esprimono interesse per un certo ***topic***. Un *topic* è una classe di messaggi che hanno caratteristiche comuni. Un nodo (detto *subscriber*) può chiedere di ricevere i messaggi pubblicati dai produttori di dati (detti *publisher*) relativi ad un certo *topic*, secondo dei parametri di qualità, che vengono indicati tipicamente con *Quality Of Service (****QoS****).*

Questo tipo di comunicazione ha la caratteristica di essere asincrona dal momento che tra la pubblicazione di un messaggio e la sua lettura può intercorrere una certo intervallo di tempo, più o meno grande, che dipende dalla particolare configurazione in atto.

Questo tipo di architettura, inoltre, disaccoppia tra di loro i client per consentire una soluzione altamente scalabile senza dipendenze tra produttori di dati e consumatori di dati.

I principali vantaggi di MQTT sono:

* Leggerezza ed efficienza per ridurre al minimo le risorse richieste per il *client* e la larghezza di banda della rete.
* La possibilità di gestire la comunicazione bidirezionale.
* La possibilità di trasmettere messaggi di broadcast a gruppi di *client*.
* La scalabilità.
* Le specifiche dei livelli di *Quality Of Service* (***QoS***), ad esempio per supportare l’affidabilità della consegna dei messaggi.
* Il supporto di sessioni persistenti tra dispositivo e server che riduce il tempo richiesto per riconnettere il *client* al *broker* su reti inaffidabili
* La possibilità di crittografare i messaggi con *TLS* (*Transport Layer Security*), un protocollo crittografico usato nell’ambito delle telecomunicazioni e dell’informatica, che permette una comunicazione sicura *end-to-end* tra sorgente e destinatario su reti *TCP/IP*, fornendo autenticità ed integrità dei dati e operando sopra il livello di trasporto. I messaggi possono anche supportare protocolli di autenticazione *client*.

Gli attori principali nel protocollo *MQTT* sono il ***broker*** ed i ***client***.

Il *broker* è responsabile della pubblicazione dei messaggi da parte dei *publisher* sulle code *topiche,* ovvero le code di messaggi relativi ad un certo topic. Inoltre, si occupa anche della notifica e consegna dei messaggi pubblicati ai *subscriber*, iscritti alle rispettive code topiche. Un *subscriber* può essere iscritto anche a più *topic*, quindi ricevere diverse notifiche relative alla pubblicazione di messaggi su diverse code topiche.

Un *client MQTT* pubblica un messaggio su un broker ed altri client possono iscriversi al broker per ricevere quei messaggi. Ogni messaggio *MQTT* include un argomento che è il ***topic***. Il *broker*, poi, usa i *topic* e la lista dei *subscribers* a questi *topic* per inviare messaggi ai *client* appropriati.

Un *broker MQTT*, inoltre, è in grado di memorizzare, in un *buffer*, i messaggi che non possono essere inviati a client non connessi. Ciò è molto utile in situazioni in cui le connessioni di rete non sono affidabili. Per supportare la consegna affidabile dei messaggi, il protocollo supporta tre diversi tipi di messaggi di **QoS**: 0 (al più una volta), 1 (almeno una volta), 2 (esattamente una volta).

## ChirpStack

Lo stack *LoRaWAN Network Server open-source ChirpStack* fornisce componenti *open-source* per reti *LoRaWAN*. Insieme forniscono un’interfaccia web per la gestione dei dispositivi e le *API* per l’integrazione.

Il vantaggio di *ChirpStack* sta nella sua architettura modulare, la quale consente l’integrazione dello *stack* all’interno di infrastrutture esistenti. Tutti i componenti, inoltre, sono autorizzati in base alla licenza *MIT*.

Lo *stack* fornisce i seguenti componenti:

* Un ***ChirpStack Gateway Bridge*** per gestire la comunicazione con i *gateway* *LoRaWAN*
* Un ***ChirpStack Network Server*** che rappresenta un’implementazione del server di rete *LoRaWAN*
* Un ***ChirpStack Application Server*** che rappresenta un’implementazione del *LoRaWAN Application Server*

Architettura ChirpStack

Il grafico seguente mostra come sono collegati i componenti del *ChirpStack LoRaWAN Network Server*:



I dispositivi *LoRaWAN* (non illustrati nel grafico sopra) sono i dispositivi che inviano dati al server di rete *ChirpStack* (attraverso uno o più *gateway LoRa*). Questi dispositivi potrebbero essere ad esempio sensori che misurano la qualità dell'aria, la temperatura, l'umidità, la posizione, ...

Un *gateway LoRa* ascolta (di solito) 8 o più canali contemporaneamente e inoltra i dati ricevuti dai dispositivi a un server di rete *LoRaWAN* (in questo caso il server di rete *ChirpStack*). Il software in esecuzione sul *LoRa Gateway* responsabile della ricezione e dell'invio dei dati è chiamato *Packet Forwarder* (le implementazioni comuni sono Semtech UDP Packet Forwarder e Semtech Basic Station Packet Forwarder). Si tratta di un programma in esecuzione sull'*host* di un *gateway Lora* che inoltra i pacchetti RF ricevuti dal concentratore a un server tramite un collegamento IP/UDP ed emette i pacchetti RF inviati dal server. Può anche emettere un segnale beacon sincrono GPS a livello di rete utilizzato per coordinare tutti i nodi della rete. La comunicazione è bidirezionale:

* *Uplink*: pacchetti radio ricevuti dal *gateway*, con metadati aggiunti dal *gateway*, inoltrati al server. Potrebbe anche includere lo stato del *gateway*.
* *Downlink*: pacchetti generati dal server, con metadati aggiuntivi, da trasmettere dal *gateway* sul canale radio. Potrebbe includere anche i dati di configurazione per il *gateway*.

Il *ChirpStack Gateway Bridge* si trova tra il *Packet Forwarder* e il *broker MQTT*. Trasforma il formato *Packet Forwarder* in un formato dati utilizzato dai componenti *ChirpStack*. Fornisce inoltre integrazioni con varie piattaforme *cloud* come *GCP Cloud IoT Core*e*Azure IoT Hub*.

Il *ChirpStack Network Server* è un server di rete *LoRaWAN*, responsabile della gestione dello stato della rete. È a conoscenza delle attivazioni dei dispositivi sulla rete ed è in grado di gestire funzioni di *join-requests* quando i dispositivi desiderano unirsi alla rete. Quando i dati vengono ricevuti da più *gateway*, il *ChirpStack Network Server* deduplica questi dati e li inoltra come un carico utile al *ChirpStack Application Server*. Quando *Application Server* deve inviare i dati a un dispositivo, il *ChirpStack Network Server* manterrà questi elementi in coda, finché non sarà in grado di inviare dati a uno dei gateway.

Il *ChirpStack Application Server* è un *LoRaWAN Application Server*, compatibile con il *ChirpStack Network Server*. Fornisce un'interfaccia web e *API* per la gestione di utenti, organizzazioni, applicazioni, *gateway* e dispositivi. I dati di *uplink* ricevuti vengono inoltrati a una o più integrazioni configurate.

L'applicazione finale riceve i dati del dispositivo tramite una delle integrazioni configurate. Può utilizzare *l'API ChirpStack Application Server* per programmare un *payload* di *downlink* sui dispositivi. Lo scopo di un'applicazione finale potrebbe essere analisi, avvisi, visualizzazione dei dati, attivazione di azioni, ...

# Iterazione 0

## Analisi dei requisiti

Di seguito vengono elencati gli obiettivi che si vogliono raggiungere con questo progetto.

### R0 – Azioni di riconfigurazione per allungamento del ciclo di vita delle sentinelle:

Dal momento che i dispositivi *IoT*(le sentinelle) sono portatili, quindi alimentati da batteria, si vuole ottimizzare la durata della batteria intraprendendo delle azioni correttive sulla loro configurazione. Delle possibili azioni potrebbero intervenire sulla gestione della potenza e della frequenza di trasmissione.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Scenario | Goal | Fenomeno | Azione |
| S1 | Massimizzare la durata della batteria dei *watchdog*. | La batteria dei *watchdog* scende al di sotto di determinate soglie. (50%, 30%, 15%, 10%) | Al superamento di ogni soglia è necessario:   * Diminuire la frequenza di trasmissione dei dati da parte dei *watchdog*. * Diminuire la potenza di trasmissione dei *watchdog*. |

### R1 – Azioni di auto-diagnosi manutentiva di risoluzione autonoma dei guasti:

Si vuole rendere possibile la rilevazione automatica di guasti sui *watchdog*, identificando la sentinella danneggiata con le sue caratteristiche tecniche e geografiche. A seguito di un guasto si possono intraprendere due diverse tipologie di azioni:

* Correzione: insieme di azioni, che il sistema compie autonomamente, volte a ripristinare il corretto funzionamento del dispositivo.
* Allerta: se le azioni correttive non sono efficaci, viene mandato un messaggio di allarme per richiedere un intervento manuale.

Oltre a rendere robusta la rete di sentinelle, si vuole tutelare il sistema da possibili malfunzionamenti dovuti a guasti degli *edge-node*. Questo può essere fatto introducendo diversi nodi *edge* che comunicano tra loro e cooperano, in modo che, a fronte di un guasto su uno di essi, intervenga un altro nodo *edge* funzionante per prendere in carico i compiti di quello guasto.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Scenario | Goal | Fenomeno | Azione |
| S3 | Rendere il sistema in grado di gestire i guasti sui *watchdog* in maniera autonoma.  (*self-recovery)* | *Watchdog* silente, cioè non trasmette dati per un certo intervallo di tempo.  (Ad es. 60s) | L’*edge-node* tenta di ripristinare il corretto funzionamento del *watchdog* guasto tramite il suo riavvio. |
| S4 | Allerta in caso di guasto ad un *watchdog* e identificazione esatta delle sue caratteristiche fisiche e geografiche. | Guasto ad un *watchdog* non recuperabile. | L’*edge-node* allerta un operatore per un intervento manuale sul nodo *watchdog* guasto indicando le sue caratteristiche. |
| S5 | Rendere il sistema in grado di gestire guasti agli *edge-node* in maniera autonoma.  (*self-recovery*) | Guasto di un *edge-node*: non riceve i dati inviati dai *watchdog* e, quindi, non può inoltrarli all’*application server*. | * L*’application server* ridistribuisce il traffico di dati che arrivava all’*edge-node* guasto verso altri *edge-nodes*. * L*’application server* notifica il personale del guasto avvenuto. |
| S6 | Limitare la perdita di informazioni dovute a gusti sull’*application server.* | Malfunzionamenti dell’*application server* che, quindi, non è in grado di ricevere e/o elaborare i dati trasmessi dai *gateway*. | * Gli *edge-node* devono mantenere i dati ricevuti dai *watchdog* in un *buffer* locale finché il server non riprende la sua operatività. * Gli *edge-node* devono notificare il guasto ad un indirizzo di rete dedicato e ritenuto affidabile. |

L’avvenimento di guasti viene fatto secondo la tattica ***ping-echo***. In particolare, le condizioni di verificabilità dei vari scenari sono:

* S3: *ping* mandato da un *edge-node*, *echo* non mandato dal *watchdog*
* S5: *ping* mandato dal server e/o da un *edge-node*, *echo* non mandato dall’*edge-node* destinatario
* S6: *ping* mandato dagli *edge-node*, *echo* non mandato dall’*application server*

## User-Stories

Le *user stories* sono suddivise in tre raggruppamenti, uno per attore della rete. Questa soluzione ci permette di indentificare i diversi *use-case* che saranno essenziali nello *use case diagram UML.*

### Lato edge device:

-Requisito R0:

* Come nodo *edge*, voglio essere in grado di conoscere il livello della batteria delle sentinelle in modo da sapere quando il livello di batteria scende sotto determinate soglie (M)
* Come nodo *edge*, voglio poter diminuire la frequenza di trasmissione delle sentinelle in modo da allungare la durata della loro batteria. (E)
* Come nodo *edge*, voglio poter diminuire la potenza del segnale di trasmissione delle sentinelle in modo da allungare la durata della loro batteria. (E)

-Requisito R1:

* Come nodo *edge*, voglio essere in grado di sapere quando una sentinella è silente in modo da poter rilevare sui guasti. (M)
* Come nodo *edge*, voglio essere in grado di riavviare una sentinella guasta in modo da ripristinare il suo funzionamento. (E)
* Come nodo *edge*, voglio essere in grado di mandare messaggi a del personale in modo da avvisare che una sentinella è guasta e comunicare i suoi dati. (E)
* Come nodo *edge*, voglio poter mandare un messaggio di *ping* ad altri nodi *edge* in modo da verificare che siano in funzione. (M)
* Come nodo *edge*, voglio poter subentrare al posto di un altro nodo *edge* in modo da svolgere i suoi compiti. (E)
* Come nodo *edge*, voglio poter mandare dei messaggi di *ping* all’*application server* in modo da avere informazioni sul suo funzionamento. (M)
* Come nodo *edge*, voglio poter analizzare le risposte ai messaggi di *ping* mandati all’*application server* in modo da rilevare se sta mal funzionando. (A)
* Come nodo *edge*, voglio poter mantenere i dati che ricevo in un *buffer* locale in modo da evitare perdite di dati quando l’*application server* non li può ricevere.(E)
* Come nodo *edge*, voglio essere in grado di mandare messaggi ad un indirizzo di rete assegnato in modo da avvisare che l’*application server* è malfunzionante.(E)

### Lato application server:

Requisito R0:

* Come *application server* voglio essere in grado di valutare lo stato di carica delle sentinelle in modo da sapere quando la loro autonomia oltrepassa una certa soglia. (A)
* Come *application server* voglio essere in grado di determinare la frequenza e potenza del segnale di trasmissione per le sentinelle in modo da allungare il loro ciclo di vita. (P)
* Come *application server* voglio essere in grado di analizzare il livello di traffico in ingresso ad un nodo *edge* in modo da rilevare situazioni di congestione del nodo. (A)
* Come *application server* voglio essere in grado di determinare la frequenza di trasmissione delle sentinelle in modo da diminuire il flusso di dati in arrivo ad un nodo *edge* congestionato. (P)
* Come *application server* voglio essere in grado di analizzare il livello di traffico di un nodo *edge* in modo da rilevare situazioni di sottoutilizzo della rete. (A)
* Come *application server* voglio essere in grado di determinare la frequenza di trasmissione delle sentinelle in modo da aumentare il flusso di dati in arrivo ad un nodo *edge*. (P)

Requisito R1:

* Come *application server*, voglio poter fare delle analisi sui dati (le risposte ai *ping*) delle sentinelle ricevuti dal nodo *edge* in modo da sapere quando una sentinella è guasta. (A)
* Come *application server*, voglio poter fare delle analisi sui dati (le risposte ai *ping*) delle sentinelle ricevuti dal nodo *edge* in modo da sapere quando un sensore di una sentinella è guasto (A)
* Come *application server*, voglio poter comunicare ad un nodo *edge* di riavviare una sentinella in modo da ripristinare il suo funzionamento. (P)
* Come *application server*, voglio poter decidere a quale nodo *edge* assegnare ad un gruppo di sentinelle in modo da subentrare ai compiti di un nodo *edge* malfunzionante o guasto. (P)
* Come *application server*, voglio poter inviare un messaggio di allerta in modo da notificare il malfunzionamento di un nodo *edge* e comunicare i suoi dati. (E)

### Lato watchdog:

* Come sentinella, voglio poter generare dei dati fittizi in modo da simulare una rilevazione di dati da parte di sensori.
* Come sentinella, voglio poter simulare diversi stati di funzionamento in modo da simulare un dispositivo elettronico fisico.

## Deployment Diagram

Lo scopo di questa fase è quello di realizzare un *deployment diagram*, ossia un diagramma che ha il compito di rappresentare la vista statica delle componenti della rete. In altre parole si vogliono descrivere le parti hardware della rete e le relazioni tra esse. In un primo momento si è optato per un diagramma informale, che non segue alcuna regola di raffigurazione, ma che aiuta a inquadrare l’idea del progetto.

In un secondo momento si sono seguiti i principi del *Deployment Diagram UML* che, oltre a raffigurare la parte hardware del sistema, sottolinea anche il software che viene eseguito su una determinata componente.

### Deployment Diagram Informale

Nel seguente diagramma sono rappresentati gli attori della rete : *watchdog, edge device* e la *cloud virtual machine*. Inoltre, sono ritratte le aree in cui risiedono le parti hardware. L’area di acquisizione contiene sia *watchdog* che *edge device*: è noto che la comunicazione tra essi avviene tramite protocollo *LoRaWan* e che un *edge device* riceve messaggi da più *watchdog*. I messaggi scambiati tra la rete di acquisizione e la *cloud virtual machine* avvengono tramite il protocollo *MQTT* che viene espresso come un canale di comunicazione. Le *client application* sono tutte quelle applicazioni che possono interagire con le *server application*.



### Deployment Diagram UML

Nel *deployment diagram UML* sono definiti tre *Subsystem* principali:

* *Watchdog*: questo sottosistema contiene due *device* hardware, un microcontrollore Arduino e i relativi sensori. Si può notare che un Arduino può avere uno o più sensori (per esempio di umidità, di temperatura, di CO2, ...), mentre un sensore può interfacciarsi ad uno ed un solo microcontrollore. Su entrambi i dispositivi girano dei componenti software *embedded*, che verranno simulati successivamente con la tecnica del *digital twin,* discussa nel capitolo introduttivo.
* *Edge-device*: tale sottosistema comunica con il *watchdog* attraverso il protocollo *LoRaWan* e con il *cloud server VM* per mezzo del protocollo *MQTT*. Un *edge device* riceve messaggi provenienti da zero (caso estremo) a molti *watchdog* e li inoltra ad uno ed un solo *cloud server VM*. Il sistema operativo installato su questo dispositivo sarà verosimilmente il *ChirpStack gateway,* uno strumento messo a disposizione da *ChirpStack* per semplificare le operazioni di configurazione del *gateway*. Anche in questo caso verrà sfruttata la tecnica del *digital twin*.
* *Cloud Server*: questo sottosistema comunica con un numero di *edge device* che può variare da zero(caso estremo) a molti. È stato deciso di esplodere alcune componenti software indicate da *ChirpStack*, quali il *broker MQTT*, il *network server*, l’*application server* e l’interfaccia grafica.



# Iterazione 1

Durante questa iterazione si è iniziato lo sviluppo dell’intera architettura software seguendo un approccio di tipo *top-down*.

Parallelamente è stato installato lo stack *ChirpStack* su macchina virtuale *Ubuntu* e si è fatto il *set up* dell'ambiente di lavoro.

## Component diagram

Per la rappresentazione delle componenti si è iniziato con rappresentare ad alto livello il sistema mediante tre macro-componenti che comunicano tra loro tramite delle interfacce che verranno implementate nelle iterazioni successive.



## Class diagram

In questa iterazione iniziale il diagramma delle classi mostra tre componenti software, ognuno dei quali presenta una lista di metodi “fittizzi” che servono solo per indicare le varie funzioni che ciascuno di essi dovrà implementare.

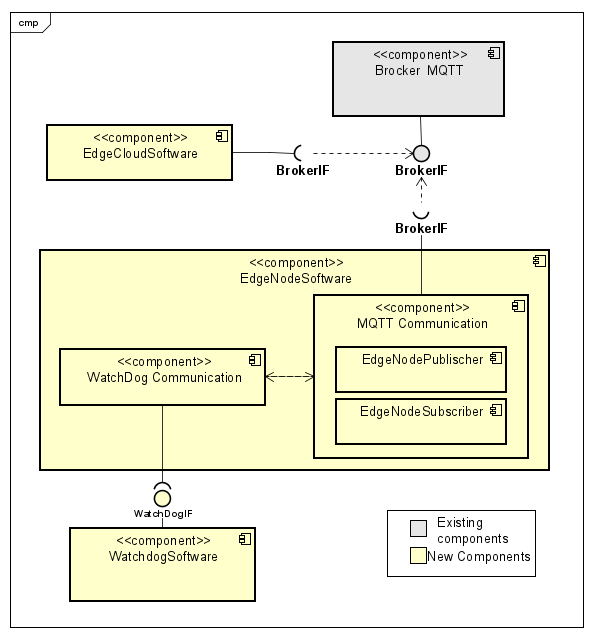


# Iterazione 2

In questa fase del progetto si è passati a dettagliare la componente *EdgeNodeSoftware*. In particolare si è implementato il funzionamento di un *edge-node* e se ne è fatta una simulazione.

## Component diagram

La componente *EdgeNodeSoftware* deve poter comunicare sia con la componente *WatchdogSoftware* che con la componente *EdgeCloudSoftware*. Per fare ciò esso sfrutta due sottocomponenti:

* *WatchDog Communication* per ricevere dati da più *watchdog* mediante l’interfaccia *WatchDogIF*
* *MQTT Communication* per scambiare dati con l’*application server* appoggiandosi sull’interfaccia *BrokerIF* messa a disposizione da un *Broker MQTT* già esistente (non necessita implementazione)

## Class diagram

Rispetto al diagramma delle classi precedente è stato aggiunto un’interfaccia *broker* (già esistente) ed è stata esplosa la componente *EdgeNodeSoftware* in:

* Un’interfaccia *EdgeDevice* nella quale sono presenti tutti i metodi esposti dall’*edge-node* relativi alla sua comunicazione con gli altri componenti all’interno della rete
* Una classe *EdgeNode* in cui vengono riportati campi e metodi necessari per il corretto funzionamento di un *edge-node* ed implementati i metodi dell’interfaccia *EdgeDevice*. Questo fa si che un *edge-node* possa scambiare dati con l’esterno.



# Iterazione 3

In questa iterazione è stato implementato il funzionamento di un *watchdog*, andando a dettagliare la componente *WatchDogSoftware*, ed è stata fatta una simulazione dello stesso.

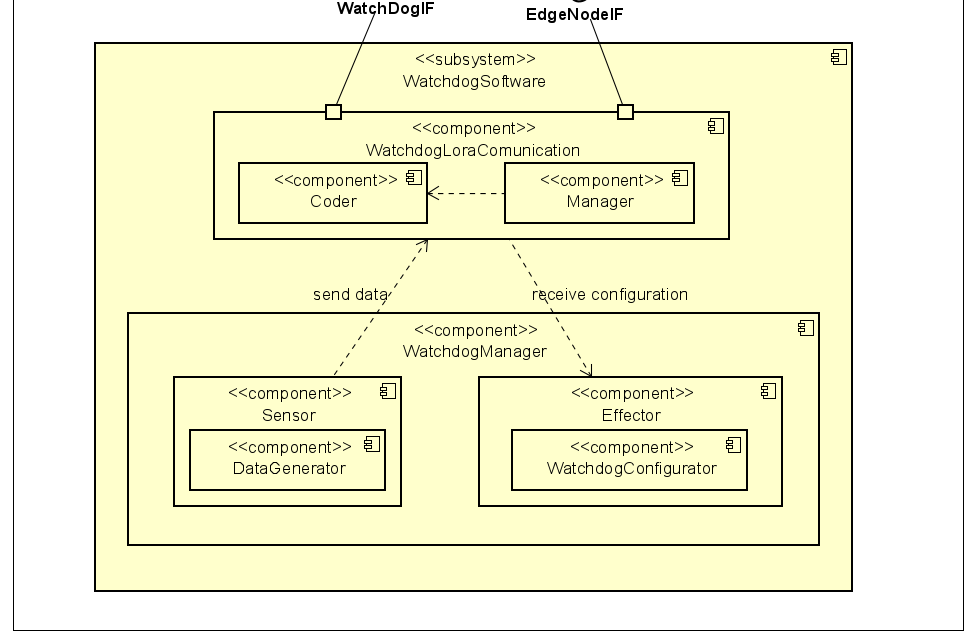
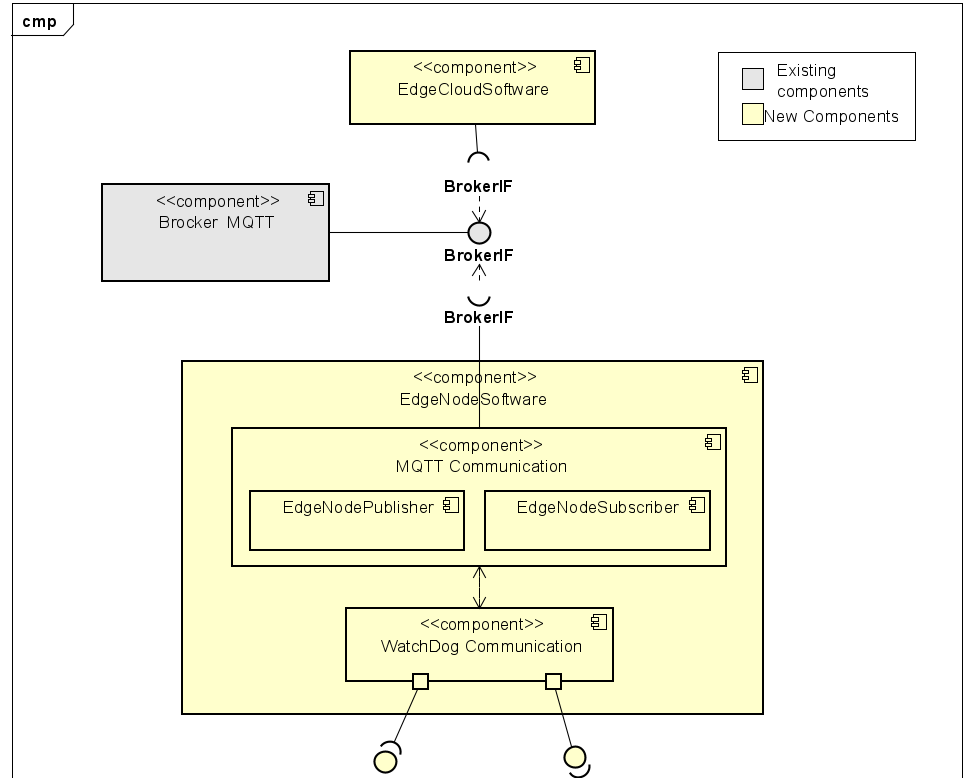
## Component diagram

La componente *WatchdogSoftware* deve essere in grado di comunicare con l’*edge device* connesso tramite il protocollo *LoRaWAN*: ciò è stato fatto tramite una sottocomponente *WatchdogLoraCommunication* la quale scambia dati con l’*EdgeNodeSoftware* attraverso le interfacce *WatchDogIF* ed *EdgeDeviceIF*. A sua volta questa sottocomponente è stata suddivisa in:

* Una componente *Coder* che si occupa della codifica dei dati da inviare. Essa prende in pasto i messaggi in formato *JSON* e li converte in un formato congruo al protocollo *LoRaWAN*
* Una componente *Manager*

All’interno di *WatchdogSoftware* vi è poi un’altra sottocomponente, chiamata *WatchdogManager*: si tratta di una componente che si occupa della gestione del *watchdog* mediante due ulteriori sottocomponenti:

* *Sensor*, il quale ha il compito di campionare i dati ambientali (nel caso di questo progetto i dati verranno simulati attraverso la componente *DataGenerator*)
* *Effector*, il quale si occupa del settaggio della configurazione del *watchdog* mediante la componente *WatchdogConfigurator* (frequenza di campionamento, potenza di trasmissione,…)



## Class diagram

Come fatto per l’*EdgeNodeSoftware*, anche per il componente *WatchDogSoftware* è stato esploso in:

* Un’interfaccia *WatchDog* nella quale sono presenti tutti i metodi esposti dal *watchdog* relativi alla sua comunicazione con gli *edge-node* all’interno della rete
* Una classe *watchdog* in cui vengono implementati campi e metodi necessari per il corretto funzionamento di un *watchdog* ed i metodi dell’interfaccia *WatchDog*. Questo fa si che un *watchdog* possa scambiare dati con l’*edge-device* al quale è connesso.



## State machine watchdog



# Iterazione 4

In questa fase del progetto si è sviluppato il funzionamento dell’*application server* e, in parallelo, è stato implementato il requisito R0. Per fare ciò è stato necessario dettagliare ulteriormente la componente *EdgeCloudSoftware* ed introdurre un *MAPE\_K loop* per gestire l'*adaptation goal* di configurazione per allungare il ciclo di vita dei *watchdog*.

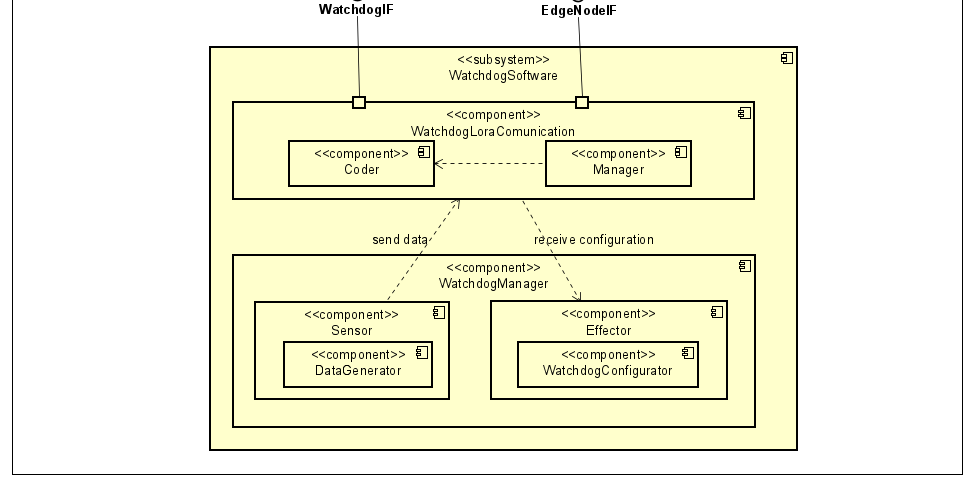
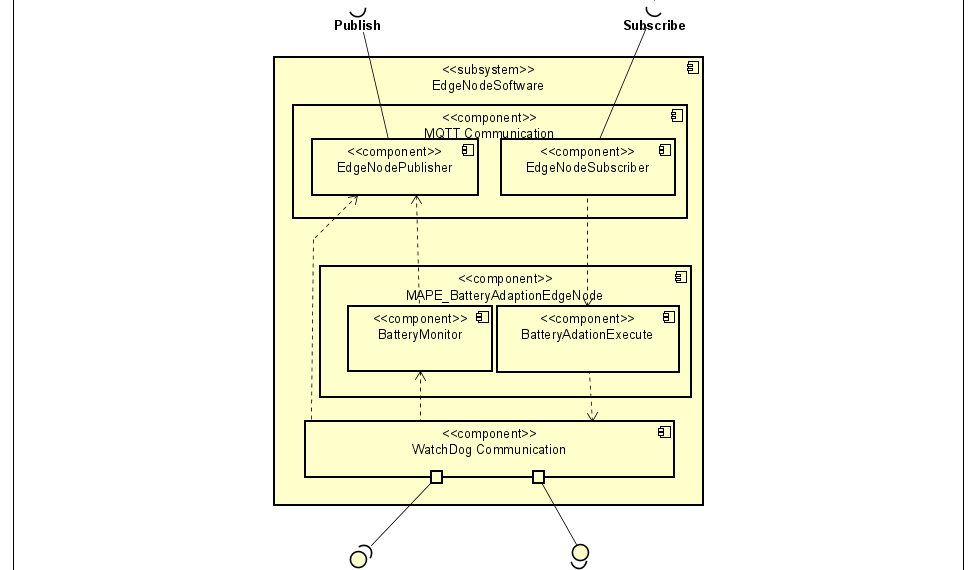
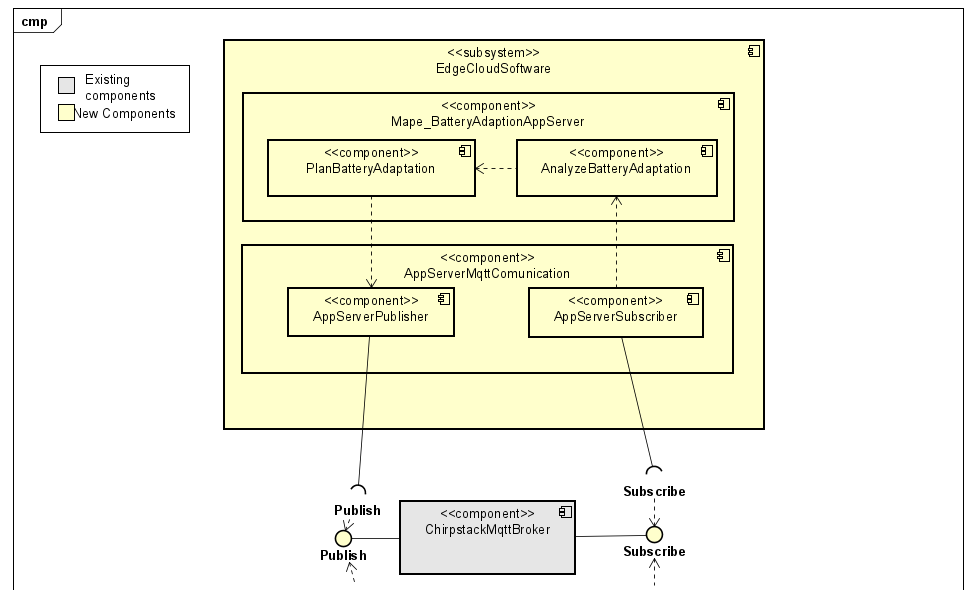
## Component diagram

Rispetto al *component diagram* dell’iterazione precedente sono stati dettagliati tre componenti:

* Il *ChirpstackMQTTBroker*, il quale comunica con l’*application server* e gli *edge-nodes* non con una sola interfaccia (chiamata precedentemente *BrokerIF*), ma mediante due interfacce distinte, una di *publish* e una di *subscribe*
* L’*EdgeNodeSoftware*, nel quale è stata aggiunta la componente *MAPE\_BatteryAdaptationEdgeNode* con lo scopo di
  + Monitorare la batteria dei *watchdog* tramite il sottocomponente *BatteryMonitor* (*Monitor*)
  + Configurare i vari *watchdog* in base alle analisi svolte sul livello della batteria eseguite dall’*EdgeCloudSoftware* tramite il componente *BatteryAdaptationExecute* (*Execute*)

Inoltre, avendo distinto le funzioni di *publish* e di *subscribe* nelle interfacce esposte dal *broker*, si è dettagliato il componente di *MQTTCommunication* con due sottocomponenti *EdgeNodePublisher* ed *EdgeNodeSubscriber*, che richiedono rispettivamente l’interfaccia *Publish* e l’interfaccia *Subscribe* del *broker MQTT*

* L’*EdgeCloudSoftware* è composto da 2 sottocomponenti:
  + *AppServerMQTTCommunication* serve per la comunicazione tra *application server* e *broker MQTT*. Come fatto per l’*EdgeNodeSoftware* si sono distinte due sottocomponenti *AppServerPublisher* ed *AppServerSubscriber*, che richiedono rispettivamente l’interfaccia *Publish* e l’interfaccia *Subscribe* del *broker MQTT*
  + *MAPE\_BatteryAdaptationAppServer*, invece, costituisce le funzioni di *Analize* e di *Plan* del *MAPE loop* tramite le sottocomponenti *AnalizeBatteryAdaptation* e *PlanBatteryAdaptation*

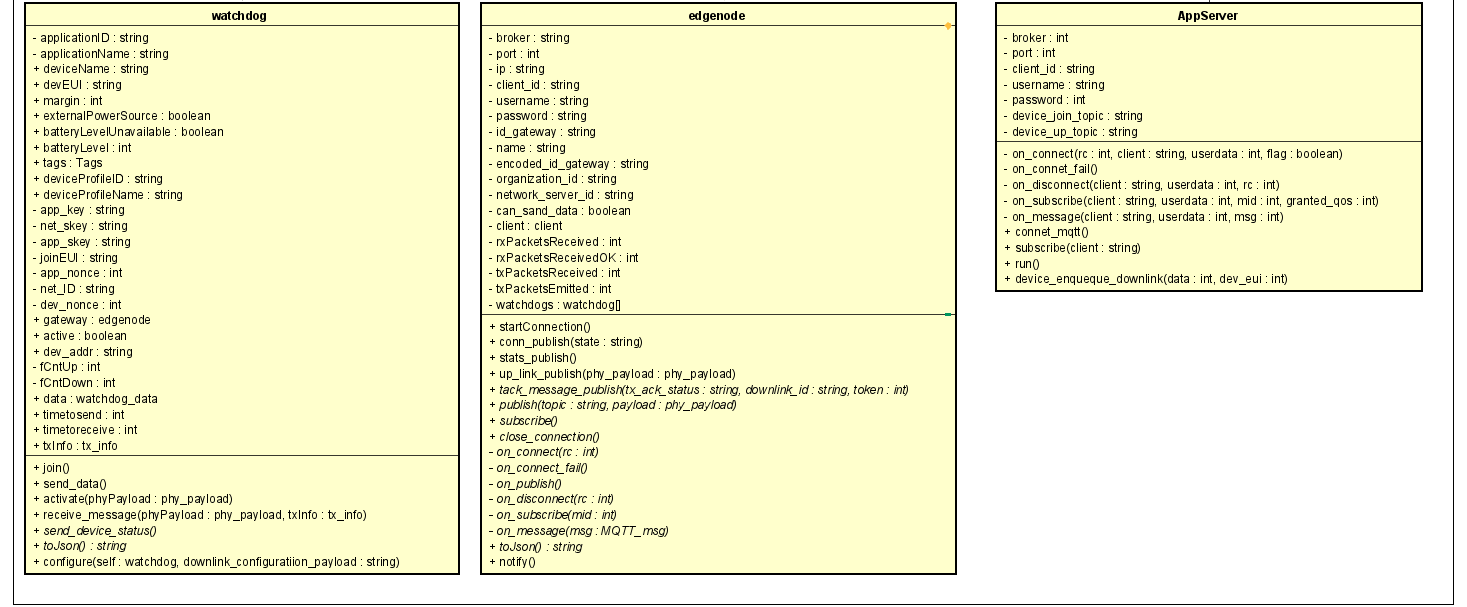
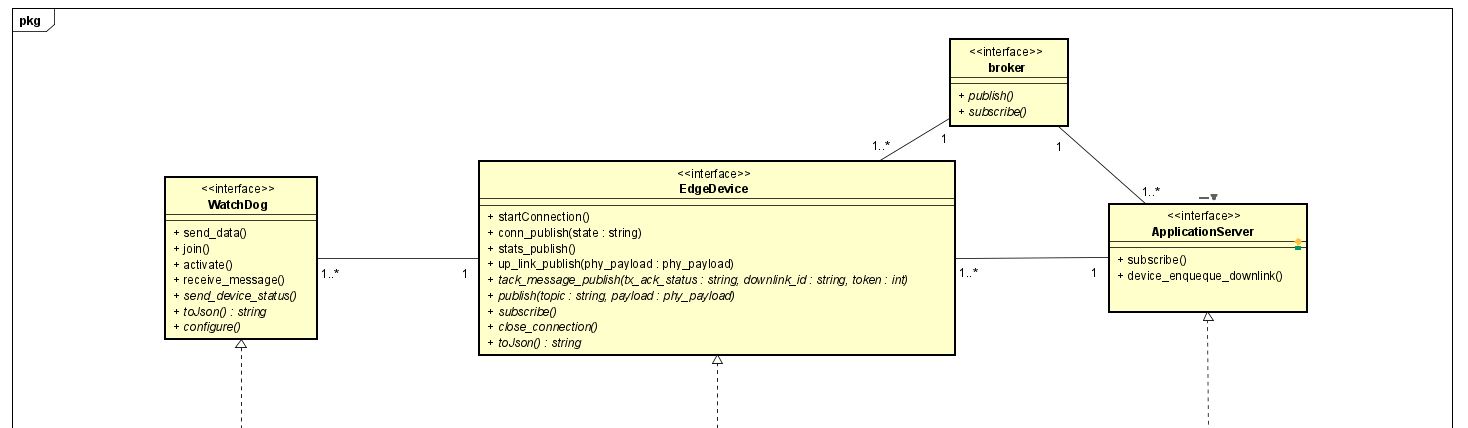


## Class diagram

Come fatto per l’*edge-node* ed il *watchdog*, l’interfaccia *ApplicationServer* presente nei diagrammi delle iterazioni precedenti è stata esplosa in:

* Un’interfaccia *ApplicationServer* nella quale sono esposti due metodi che permettono all’*application server* di inviare e di ricevere dati
* Una classe *AppServer* in cui vengono implementati campi e metodi necessari per il corretto funzionamento dell’*application server* ed i metodi dell’interfaccia *AppServer*. In questo modo l’*application server* può mandare dati a tutti i componenti della rete passando attraverso il *broker MQTT*

Inoltre, è stato aggiunto il metodo *configure*() alla classe *watchdog*, fondamentale per poter configurare tale dispositivo dopo che l’*application server* ha elaborato i dati che gli sono arrivati dallo stesso.



# Iterazione 5

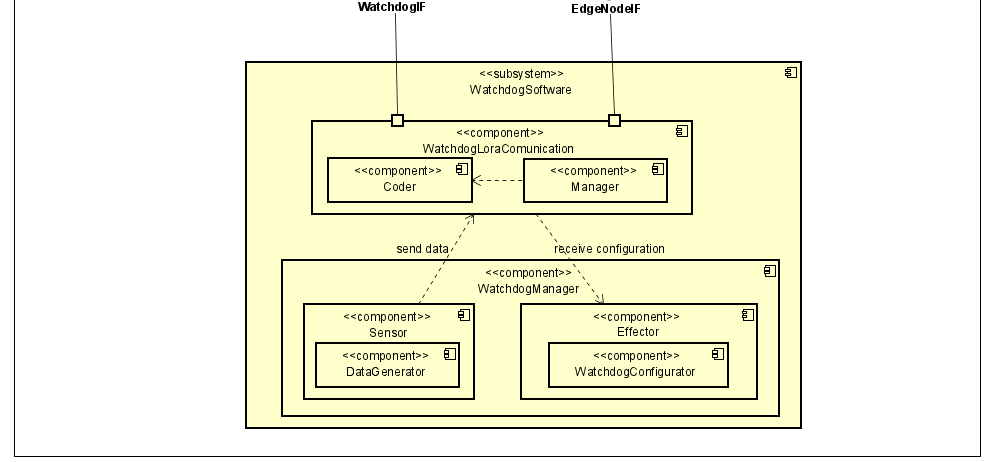
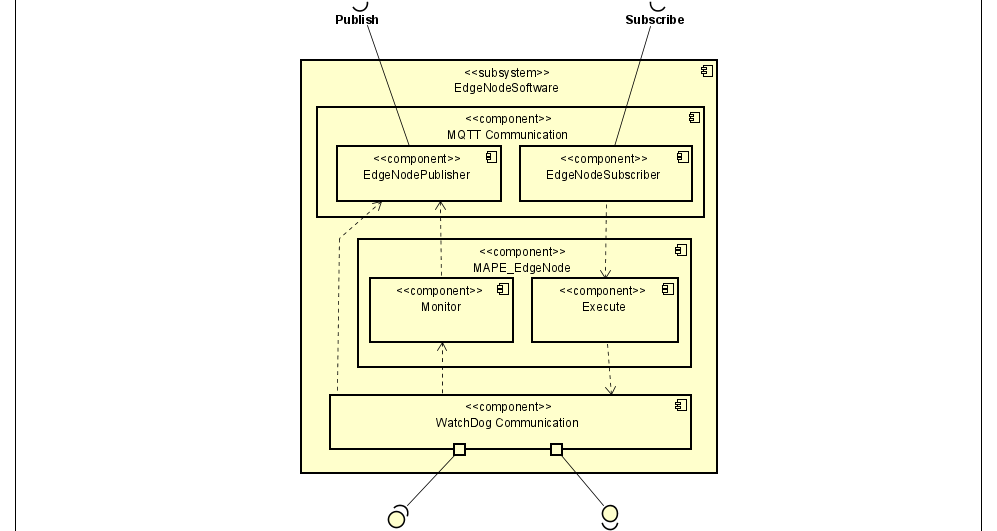
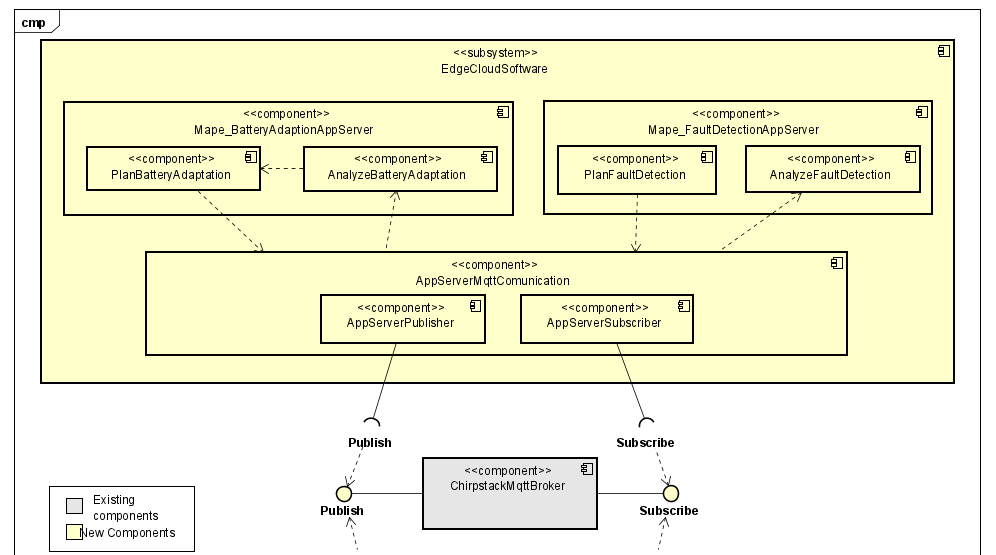
Quest’ultima iterazione del progetto ha l’obiettivo di implementare il requisito R1. Per fare ciò è stato necessario dettagliare ulteriormente la componente *EdgeCloudSoftware* ed introdurre un ulteriore *MAPE-K loop* per gestire il goal di auto-diagnosi dei guasti.

## Component diagram

La struttura di questo *component diagram* è la medesima rispetto a quello dell’iterazione 4. L’unica differenza si nota nella componente *EdgeCloudSoftware* nel quale è stato introdotto *Mape\_FaultDetectionAppServer*.

Quest’ultimo è costituito da due sottocomponenti, *AnalyzeFaultDetection* e *PlanFaultDetection*, le quali corrispondono alle funzioni di *Analyze* e di *Plan* per il *MAPE\_K loop* relativo al goal della gestione dei guasti.

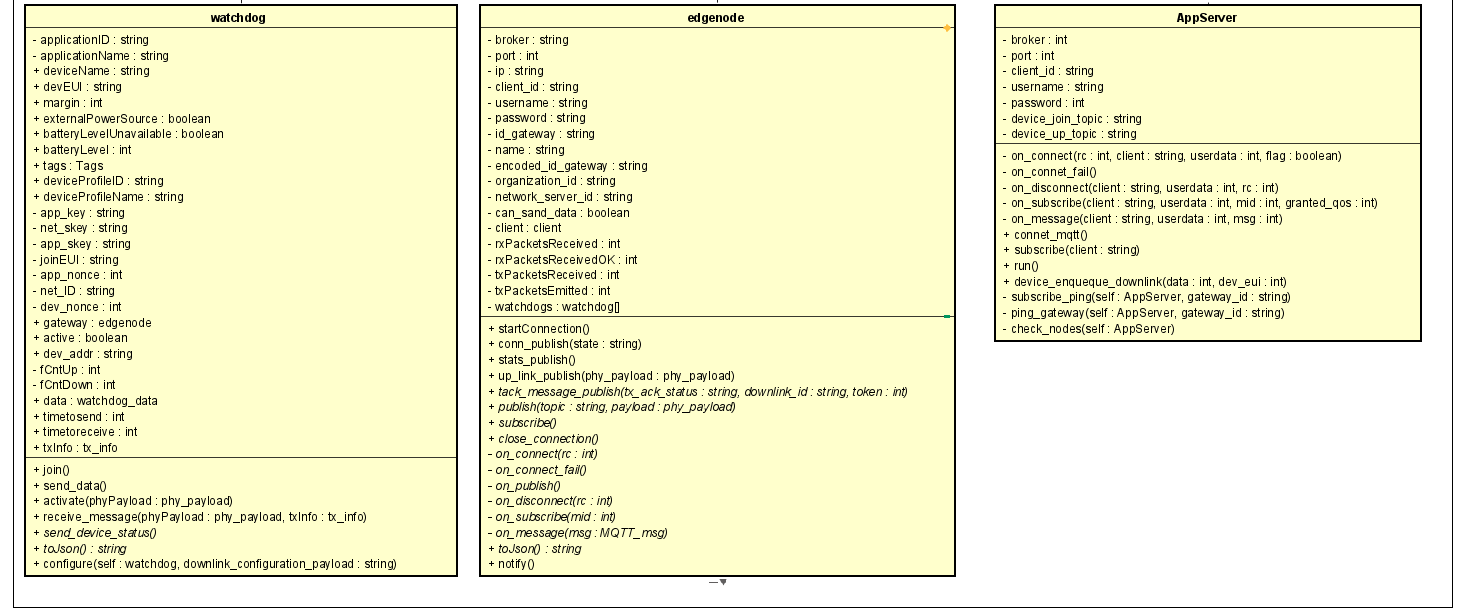
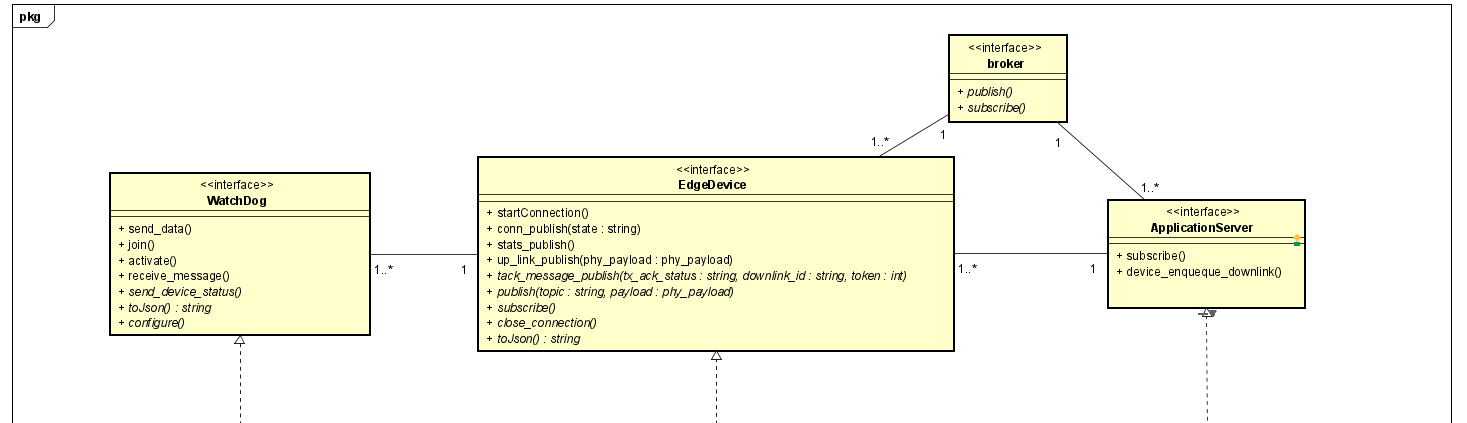
Nell’*EdgeNodeSoftware*, invece, si sono mantenute le componenti di *Monitor* e di *Execute* introdotte nell’iterazione 4.



## Class diagram

La struttura è identica a quella del *class diagram* dell’iterazione precedente.

L’unica differenza si può trovare nella classe *AppServer*, nella quale sono stati aggiunti dei metodi necessari per implementare la funzione di *ping-echo*.



## L’algoritmo *check\_nodes*

L’algoritmo *check\_nodes* è stato implementato nell’iterazione 5 con l’obbiettivo di soddisfare il requisito *”R1: Azioni di auto-diagnosi manutentiva di risoluzione autonoma dei guasti”*. Tale algoritmo ha il compito di eseguire un controllo su tutti i nodi della rete. In particolare, vengono eseguiti due cicli ***for***: il primo che controlla i *watchdog* e analogamente il secondo fa un check sui nodi *edge-device (gateway)*. Questi ultimi, se non inviano pacchetti, vengono interrogati periodicamente con un messaggio di *ping*. I dispositivi *watchdog*, invece , non vengono interrogati direttamente, ma viene sfruttato l’arrivo dei dati in *uplink* come segnale di vita, aggiornando la marca temporale ad ogni ricezione di un pacchetto. Questa strategia permette di semplificare il controllo sfruttando il fatto che le sentinelle devono inviare i dati periodicamente, che risulta quindi essere una ***precondizione*** di questo algoritmo di controllo. Lo stesso discorso non vale necessariamente anche per i nodi *edge* dal momento che questo sono “al servizio” delle sentinelle; pertanto, un certo nodo *edge* può anche non essere utilizzato, ma essere comunque funzionante. Quindi per robustezza, oltre all’aggiornamento della marca temporale alla ricezioni di pacchetti, viene aggiunto il controllo diretto tramite *ping*, attuando un approccio ibrido.

Per ogni ciclo di controllo, il primo *if-statement* verifica se il dispositivo ha risposto al *ping* entro il *time-out*, altrimenti viene incrementato il numero di mancate risposte (*num\_failure*). Il secondo *if-statement* fa un controllo sul numero di mancate risposte: Se queste sono maggiori di tre, il nodo deve essere ripristinato manualmente. Il conteggio del numero di fallimenti è utile dal momento che potrebbe succedere che un nodo non risponda ad un *ping* ma sia funzionante (es: *packet lost*, congestione della rete…), dopo il terzo tentativo non andato a buon fine è improbabile che il dispositivo sia funzionante ma non riesca a rispondere al ping, perciò viene etichettato come guasto (KO). La condizione di guasto ovviamente non è rigida, se in un momento successivo si riceve un segnale di corretto funzionamento del nodo, viene aggiornato il suo stato come funzionante (OK). Questa funzionalità viene implementata nella componente di comunicazione.

### Pseudocodice

**Alg** check\_nodes{

**for-each** watchdog **in** active watchdog **do**

sleep\_time = current\_time – last\_response ;

**if** (sleep\_time > timeout)

O(c)

watchdog.num\_failure =+ 1;

**endif**

O(n)

**if** (watchdog.num\_failure >= 3

watchdog.state = KO

O(c)

watchdo.active = false

**endif**

**endfor**

O(n+m)

**for-each** edgenode **in** active edgenode **do**

sleep\_time = current\_time – last\_response ;

**if** (sleep\_time > timeout)

edgenode.ping(); //invio segnale di ping

O(c)

**endif**

O(m)

**if** (edgenode.pending\_ping >= 3)

edgenode.state = KO

O(c)

edgenode.active = false

**endif**

**endfor**

}

### Analisi complessità-tempo

Nel valutare la complessità tempo dell’algoritmo procediamo con un approccio *bottom-up*: anzitutto consideriamo le complessità dei blocchi interni, dopodiché valutiamo quelle esterne per iterazione, finché non abbiamo valutato l’intero algoritmo.

Definiamo una costante *c*, è facile notare che negli *if-statement* vengono eseguite solo operazioni elementari (confronto, assegnamento, incremento…) , perciò hanno una complessità *O(c),* ovvero uno sforzo computazionale costante, indipendentemente dalla cardinalità dei nodi nella rete. Definiamo ora con *n* il numero di *watchdog* e con *m* il numero di *edge node* attivi nella rete, i 2 cicli *for* vengono eseguiti tante volte quanti sono i dispositivi attivi, rispettivamente *n* volte e *m* volte. La complessità totale dell’algoritmo sarà la somma di quest’ultimi:

*T(n,m) = O(n+m)*

Si può osservare che:

* la complessità dipende dal numero totale di nodi della rete.
* *T(n,m)* vale sia per il caso peggiore che per il caso migliore.
* questo può essere considerato come l’algoritmo più esigente della rete in termini di sforzo computazionale; infatti, esso viene eseguito sul *cloud server* dove non abbiamo la necessità di conservare le risorse energetiche, che invece avremmo dovuto tenere in considerazione sugli altri dispositivi.

Solitamente in una rete di questo tipo si ha *n > m*, ovvero che il numero di dispositivi *watchdog* è maggiore degli *edge node*. Questo porta a poter scrivere la complessità tempo in funzione del solo numero di *watchdog,* sfruttando la regola di semplificazione della notazione asintotica per la somma.

*T(n) = O(n)*

### Implementazione

Immagine che contiene testo

Descrizione generata automaticamente

O(m)

O(n)

O(c)

O(c)

O(c)

O(c)

## Analisi statica codice

L'analisi statica del codice richiede uno sforzo minimo da aggiungere al carico di lavoro ed è utile sia per scovare gli errori più comuni che per dare un *feedback* sul grado di complessità del codice. Uno degli indicatori più utilizzati per questo scopo è la complessità ciclomatica, chiamata anche complessità *McCabe*, definita come:

*CC = E - N + 2P*

dove *N* è il numero di nodi nel diagramma di flusso di controllo, *E* è il numero di archi e *P* è il numero di nodi di condizione (istruzioni *if*, cicli *while/for*).

Un *tool* utile per effettuare l’analisi statica del codice *Python* è *Radon*.

*Radon* è uno strumento *Python* che calcola varie metriche dal codice sorgente quali:

* La complessità di *McCabe*, ovvero la complessità ciclomatica
* Metriche grezze (righe di commento, righe vuote..)
* Metriche di Halstead
* Indice di manutenibilità

Una volta effettuata l’installazione di *Radon*[[1]](#footnote-1), abbiamo dato in pasto il nostro progetto al *tool* tramite il comando *$radon cc our\_code.py* . Di seguito, si riportano alcuni esempi dell’analisi.

* Complessità di *McCabe* nell’implementazione del *watchdog*:

Immagine che contiene testo

Descrizione generata automaticamente

* Complessità di *McCabe* nell’implementazione dell’*edge-node*:

Immagine che contiene testo

Descrizione generata automaticamente

* Complessità di *McCabe* nell’implementazione dell’*application server*:

Immagine che contiene testo

Descrizione generata automaticamente

La prima lettera dell’*output* mostra il tipo di blocco (M per modulo, C per classe). Quindi *Radon* fornisce il numero di riga della componente analizzata, il nome della classe o funzione e la complessità di *McCabe*, espressa con un voto (da A ad F) ed infine rappresentata sotto forma di numero (da 0 a 61). In genere, una complessità inferiore o all’incirca 10 è un buon segnale. L’indice di complessità dell’intero progetto generato da *Radon* è di grado A con una media intorno al 2 su 61.



1. https://pypi.org/project/radon/ [↑](#footnote-ref-1)