



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMA
ZIONE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

Sviluppo con tecnologie Internet of Things per la raccolta dati dal territorio e trasferimento in sistemi GIS mediante Smartphone

Relatore: Prof. Leonardo Badia

Laureando: Andrea Costa

ANNO ACCADEMICO 2020 – 2021

Novembre 2021

Indice

1 - Introduzione	4
2 - Panoramica Generale	6
2.1 - L'internet delle cose (IoT)	6
2.1.1 - Cos'è l'IoT?	7
2.1.2 - Come viene utilizzato	7
2.1.3 - IoT e gli smartphone	8
2.3 - Il Geographic Information System (GIS)	8
2.3.1 - Definizione	8
2.3.2 - Caratteristiche	9
2.3.3 - Cenni sui sistemi di riferimento	9
2.3.4 - Sistemi di riferimento Cartografici	10
2.3.5 - I webGIS	10
2.3.6 - Relazione tra Gis e smartphone	11
2.4 - Il Raspberry Pi	12
2.4.1 - Caratteristiche	12
2.4.2 - Vantaggi e limiti	12
2.4.3 - Le Alternative	13
2.5 - Cenni sul funzionamento di una rete fognaria	14
2.5.1 - Definizioni	14
2.5.2 - Caratteristiche	14
2.5.3 - Impianti di sollevamento	15
2.6 - Lavori correlati	16
2.6.1 - IoT per i sottoservizi	16
2.6.2 - La tecnologia IoT e il GIS	17
2.6.3 - Comunicazioni alternative	18
3 - Lo sviluppo del progetto	20
3.1 - Fase preliminare	20
3.2 - Lo sviluppo del sensore IoT	21
3.2.1 - La circuiteria	21
3.2.2 - La rilevazione dei segnali	23
3.2.3 - Lo sviluppo del software nel Raspberry	24
3.2.3.1 - Il codice per la lettura dei segnali	25
3.2.3.2 - La preparazione del web server	25
3.2.3.3 - La creazione dell'access point	26
3.3 - Installazione del dispositivo Rpi - IoT	27
3.3.1 - Problematiche incontrate e relative soluzioni	29
3.4 - Sviluppo dell'applicazione Android	30
3.4.1 - Premessa	30
3.4.2 - Funzionamento dell'applicazione	31
3.4.3 - Problematiche software	32
3.4.4 - Problematiche tecniche	33

3.5 - Trasferimento dei dati al webGIS	34
3.5.1 - Premessa	34
3.5.2 - Struttura del webGIS	34
4 - Osservazioni	37
4.1 - Installazione sul campo	37
4.2 - I risultati del monitoraggio	37
4.2 - Problematiche complessive	40
5 - Conclusioni	42
Bibliografia	44

1 - Introduzione

La presente tesi nasce in occasione di una discussione con alcuni manutentori che si occupano di gestire la rete fognaria locale. In quella situazione ebbero modo di esprimere il proprio rammarico per le innumerevoli segnalazioni di allarme che gli si presentavano per via di malfunzionamenti di alcuni impianti di sollevamento ed in particolare per gli impianti di depurazione. Capitava infatti che in alcuni momenti della giornata, ingenti quantità d'acqua si presentassero all'ingresso del depuratore, provocando un sovraccarico di lavoro che lo portava in uno stato di sofferenza, e che faceva così scattare i relativi sistemi di protezione. A partire dalla problematica sollevata in quell'occasione dunque si è cercata una soluzione che permettesse agli operatori di comprendere quali cause potessero arrecare il malfunzionamento delle loro apparecchiature. L'idea è quella di installare dei sensori IoT all'interno dei quadri elettrici collegati agli impianti di sollevamento in modo da ottenere informazioni sullo stato di funzionamento delle pompe. Fino ad ora il dato più significativo per i tecnici è stato il conteggio totale delle ore spese dai macchinari, che viene raccolto con cadenza mensile leggendo un contatore analogico situato sulla facciata della cabina elettrica dell'impianto e viene utilizzato come parametro di riferimento per conoscere lo stato della rete. Con i sensori invece, è possibile cogliere il momento esatto in cui le pompe vengono messe in moto, tenendo traccia del tempo che impiegano per arrivare al completo spegnimento. Per costruirli si può utilizzare un Raspberry-Pi, che risulta facile da programmare e altrettanto semplice da integrare con altri componenti elettronici, inoltre è dotato di un'antenna Wi-Fi che permette la creazione di un access point dal quale è possibile generare una rete condivisa. Pertanto se si realizza un circuito che permette ai dispositivi Rpi di interfacciarsi con i segnali emessi dal quadro elettrico e si implementa un server in grado di trasmettere i dati acquisiti all'esterno, si ottengono dei dispositivi IoT indipendenti dalle schede sim, in grado di garantire la messa a disposizione delle informazioni per chiunque le richieda. L'obiettivo è poi fornire ai tecnici un applicativo Android che permetta la rilevazione delle reti wireless gestite dai sensori Rpi-IoT, che sia in grado di connettersi ad esse e che acquisisca automaticamente i dati ottenuti dal monitoraggio per condividerli sul web. In questo modo lo smartphone, che normalmente dispone di un servizio dati, diventa l'intermediario chiave che garantisce la trasmissione delle acquisizioni sulla rete internet. I dati trasmessi sul web vengono poi raccolti su di un sistema informativo geografico noto come webGIS, che si occupa di catalogarli con l'ausilio di un geodatabase e di metterli a disposizione degli utenti su una mappa georeferenziata interrogabile. La forza di questa implementazione si basa sul fatto che tutti gli operatori possiedono almeno un telefono provvisto di una connessione dati e poiché per tenere monitorata la rete sono obbligati a muoversi continuamente lungo il territorio,

questo aumenta la probabilità che si trovino nelle vicinanze di un AP, e quindi aumenta la frequenza con cui i dati possono essere raccolti e trasmessi alla rete. Ne è nata quindi questa tesi, il cui obiettivo è quello di combinare le potenzialità offerte dalle tecnologie Internet of Things (IoT), dagli smartphone e dall'analisi spaziale dei sistemi GIS. Grazie alla collaborazione dell'ente locale (Acque Venete) e della ditta Milan Videoispezioni (Arre) che ha fortemente sostenuto il progetto, si è potuto implementare un sistema alternativo, economicamente vantaggioso rispetto alle strumentazioni attualmente presenti sul mercato, che permette di raccogliere quante più informazioni possibili dalle apparecchiature sparse nel territorio, basandosi principalmente sulla normale attività quotidiana svolta dagli operatori sul campo. Questa tesi si propone di descrivere la metodologia di sviluppo affrontata per implementare l'architettura appena descritta, riportandone difficoltà e strategie adoperate per lo scopo, sperando che possa essere fonte di illuminazione per altri che intendono cimentarsi nel settore dell'IoT.

La tesi è suddivisa in capitoli: dopo questa fase introduttiva viene fatta una panoramica generale sugli argomenti trattati, descrivendo gli strumenti utilizzati e l'architettura che compone il progetto. Vengono poi menzionati alcuni dei lavori che sono stati svolti fino ad ora per risolvere problematiche simili con le tecnologie IoT. Nella terza parte viene descritto l'intero sviluppo del progetto, partendo dai primi test fino alla realizzazione dell'architettura per la raccolta dei dati e il relativo trasferimento su una sistema GIS presente nel web. Per ogni fase vengono poi discussi i metodi utilizzati e le problematiche affrontate per la realizzazione. Nella quarta parte invece, vengono presentati alcuni risultati ottenuti con l'utilizzo del sistema Rpi - IoT sul campo e le relative osservazioni. Infine nell'ultima parte vengono fatte alcune considerazioni sul lavoro svolto traendo le conclusioni del caso.

2 - Panoramica Generale

2.1 - L'internet delle cose (IoT)

Fin dall'antichità l'uomo ha sempre cercato sistemi in grado di facilitare le sue attività, da quello che prima era solo realizzare semplici attrezzature con l'aiuto della natura, oggi è diventato il tentativo di acquisire informazioni senza essere fisicamente in un determinato luogo, e ora il concetto chiave che esprime questa possibilità si chiama "Internet delle cose", abbreviato in IoT. Oggi l'IoT sta conquistando una buona fetta del mercato nazionale grazie alla sua versatilità e alla praticità d'uso. Basta un piccolo sensore dotato di sim card, economicamente poco impegnativo, e le informazioni che prima dovevano essere raccolte da una persona fisica ora possono arrivare direttamente da remoto con un click. Permette di monitorare le apparecchiature domestiche attraverso lo smartphone, impartire comandi, pianificare programmi, ricevere avvisi e raccogliere informazioni per fare analisi. Negli anni, diverse aziende si sono proposte di sviluppare sistemi per il monitoraggio, come i contatori NB-IoT per i consumi idrici, i telecontrolli negli impianti elettrici e i misuratori di livello (data-logger) per il controllo remoto dell'altezza dei canali.

Questi sistemi innovativi hanno facilitato la raccolta delle misurazioni da parte dei tecnici, aiutandoli a rilevare eventuali malfunzionamenti delle loro apparecchiature. Nell'ambito della gestione dell'acquedotto ad esempio, generalmente un operatore deve accedere fisicamente al pozzetto per effettuare la lettura del contatore. Ora con le nuove tecnologie le informazioni possono essere veicolate direttamente su un pc con una sim, o in alternativa possono essere raccolte per mezzo di palmari (con software e hardware proprietari) che ricevono il dato se posti ad una certa distanza dall'obiettivo.

Perché allora ci sono ancora molte aziende che non usano questi sistemi?

Se da un lato questi sistemi hanno contribuito all'efficientamento degli enti che gestiscono queste apparecchiature, dall'altro non sono sempre ritenuti economicamente vantaggiosi. Il prezzo di acquisto per apparecchiature di larga scala è effettivamente considerevole, e ad essi si aggiungono costi fissi legati ad abbonamenti ad operatori telefonici per le schede sim dati 3G/4G o M2M. Il titolare, di fronte a certe cifre, non è sempre ben disposto a fare investimenti di tale importanza in ambito tecnologico, pur consapevole dell'enorme necessità che ha un sistema di monitoraggio per la gestione dei propri mezzi, scegliendo di investire risorse per la sostituzione delle apparecchiature più vecchie.

2.1.1 - Cos'è l'IoT?

L'Internet delle cose (IoT) è un nuovo riferimento per le telecomunicazioni che rappresenta l'insieme di tutti quegli oggetti di diversa natura che sono in grado di comunicare tra loro costituendo parte di una rete internet. Molti di questi fanno parte della nostra vita quotidiana, come gli smartphone, i sensori o i dispositivi come gli RFID.

Il termine IoT ("Internet of Things", tradotto in "internet delle cose") viene utilizzato la prima volta da Kevin Ashton nel 2009 [1], ricercatore presso il MIT, Massachusetts Institute of Technology, dove è stato trovato lo standard per RFID e altri sensori. Ma se pure il termine è nuovo, si parla di questi concetti già da molto tempo, in sostanza dalla nascita di internet e del web semantico (un web fatto di "cose", non di righe di codice: "things, not strings") [2].

2.1.2 - Come viene utilizzato

L'obiettivo principale dell'IoT è ampliare la rete Internet rendendola accessibile ad un'ampia varietà di dispositivi eterogenei che possono comunicare informazioni o addirittura prendere decisioni in base ai dati generati. Questa tecnologia è utilizzata negli ambiti più svariati, come in ambito medico, nell'assistenza sanitaria mobile, nell'automazione domestica ed industriale, nella distribuzione di energia elettrica con i pannelli solari, e in molto altro ancora...

Con l'avanzare della tecnologia per le comunicazioni ed in particolare quella dei microcontrollori, la Wireless Sensor Network (WSN), ha iniziato a svolgere un ruolo sempre più importante nell'IoT: i nodi che compongono tale rete sono costituiti da sensori, che sono dispositivi molto piccoli e dal costo tipicamente basso. Possono rilevare diversi parametri nell'ambiente, memorizzare dati nella loro memoria temporanea e comunicare con gli altri dispositivi utilizzando tecnologie di comunicazione come la IEEE802.15.4 (ZigBee) o il Bluetooth Low Energy (BLE). I nodi sensore inviano i dati al "punto di accesso" della WLAN che vengono poi inoltrati tramite un gateway. Esistono diverse applicazioni nelle città intelligenti (o "smart cities"), dove questi dispositivi svolgono un ruolo importante e forniscono diversi servizi ai cittadini che includono il monitoraggio dell'ambiente, la gestione del traffico ecc.

2.1.3 - IoT e gli smartphone

Lo smartphone ha cambiato radicalmente la vita delle persone consentendogli di essere sempre più connessi ad Internet grazie alla connettività, che permette di interagire con altre persone o con le macchine che ci circondano. Si tratta di un elemento chiave che apre le porte al mondo dell'IoT, potendo svolgere il ruolo di gateway attraverso la rete Wi-Fi, il Bluetooth, l'NFC, e i servizi LTE, 3G, 4G. Di conseguenza, lo smartphone può essere un ottimo hub integrato, dotato di connettività wireless che può fornire un servizio transitorio da vari dispositivi IoT a piattaforme basate sul Web. Inoltre, può gestire individualmente una piattaforma mobile senza la necessità di un server remoto fisso.

Poiché buona parte degli smartphone attualmente presenti in commercio è dotata di sistemi operativi come Android e iOS, è sempre più facile trovare applicazioni che gestiscono gli apparecchi IoT senza comprare dispositivi proprietari, e tutti i dati rilevati sono monitorabili sullo schermo in tempo reale, come ad esempio la temperatura della casa, il consumo elettrico dell'impianto fotovoltaico o la posizione dell'auto nel parcheggio di un centro commerciale.

2.3 - Il Geographic Information System (GIS)

2.3.1 - Definizione

Il GIS (Geographic Information System, o Sistema Informativo Geografico) è un sistema informativo costituito da un database e una mappa geografica costruita su uno specifico sistema di riferimento, geografico o proiettato.

E' in grado di acquisire, registrare, visualizzare, analizzare, condividere e associare dei dati alla loro posizione geografica sulla superficie terrestre elaborandoli per estrarne informazioni. Il suo principale utilizzo è nella cartografia digitale, nella vettorializzazione e nello studio di fenomeni umani e naturali che abbiano una connotazione spaziale.

2.3.2 - Caratteristiche

Il GIS è composto da 3 elementi fondamentali:

1. Un geodatabase, che contenga le informazioni degli oggetti di nostro interesse. Potrebbero essere le quote del terreno di alcune strade locali, l'altezza della segnaletica verticale, l'area di alcuni edifici, il peso degli animali, foto, video, etc... Il geodatabase raccoglie e gestisce anche la loro posizione geografica, ovvero le coordinate spaziali x, y e z (rispetto ad un dato sistema di riferimento).
2. Uno spazio cartografico su cui vengono proiettati gli elementi spaziali, sulla base del sistema cartografico di riferimento, definito da un codice, detto codice EPSG. Si distinguono due tipologie di elementi cartografici:
 - gli elementi vettoriali, rappresentati da punti, linee e poligoni. Sono perlopiù impiegati per definire elementi finiti ed omogenei.
 - i raster, ovvero matrici di pixel contenenti i valori relativi al tematismo rappresentato, generalmente caratterizzati da variazioni progressive (es. quote, distribuzione di inquinanti, temperature...).
3. Un software in grado di gestire il database e di rappresentare i dati sulla mappa georiferita. I più conosciuti e usati ad oggi sono ArcGis di Esri (software proprietario), e QGis, software open-source, fortemente sostenuto dalla comunità del Software libero.

2.3.3 - Cenni sui sistemi di riferimento

La Terra, che spesso viene considerata come una sfera, in realtà è una forma irregolare approssimata da una figura complessa nota come geoide, cioè un solido ideale, la cui superficie risulta in ogni punto perpendicolare alla direzione della gravità. Per ridurre tale complessità ad una forma geometrica matematicamente calcolabile, il geoide è a sua volta approssimato ad un ellissoide. Un punto della superficie terrestre è identificato da due coordinate angolari (*latitudine e longitudine*) che ne danno la sua posizione sull'ellissoide, più una misura lineare che è l'informazione sulla quota, riferita invece al geoide.

Esistono molteplici ellissoidi di rotazione, ognuno con caratteristiche proprie, in quanto sono adattati a specifiche zone del mondo, per ridurre gli errori di proiezione. I più conosciuti sono

l'ellissoide di Hayford e il *WGS84* (1984). Nel tempo ogni nazione ha individuato l'ellissoide che meglio si adattava al proprio territorio, scegliendo quindi il proprio Sistema di Riferimento Geografico.

Il sistema italiano in uso a partire dagli anni '40, ed oggi considerato deprecato (ma ancora ampiamente impiegato) è il *Roma40*: si basa sull'ellissoide *Internazionale* orientato a *Roma Monte Mario* (agganciato a Roma Monte Mario e girato lungo la direttrice Monte Mario – Monte Soratte). Altri sistemi di riferimento impiegati in Italia sono l'*ED50* (sistema europeo che si basa sempre sull'ellissoide Internazionale, ma ha orientamento in Germania, a *Potsdam*), l'*ETRS2000* e il più versatile *WGS84*.

2.3.4 - Sistemi di riferimento Cartografici

Affinché una porzione di ellissoide venga visualizzata su un piano cartografico è necessario procedere con una proiezione.

Proiettare una superficie curva su un piano comporta non pochi problemi e per anni i cartografi si sono scontrati con i connessi problemi di distorsione. Il risultato è una serie di Sistemi di Riferimento Cartografico proiettati.

I punti della superficie terrestre sono sottoposti ad algoritmi di proiezione che convertono latitudine e longitudine in una coppia di coordinate cartesiane con unità di misura metrica, X e Y (che si trovano anche indicati come Est e Nord) [3].

2.3.5 - I webGIS

Si sente spesso parlare di webGIS, e in effetti è uno strumento in cui ci si può imbattere abbastanza facilmente durante l'arco della giornata. Quando ad esempio si prova ad accedere ai servizi di Google, nello specifico GMaps, si sta a tutti gli effetti usando un webGIS. Si pensi a quando si vuole cercare un ristorante nelle vicinanze e il sistema fornisce subito un set di possibili luoghi che potrebbero essere di nostro interesse, il webGIS è proprio questo, la trasposizione del sistema informativo geografico al lato web.

Esso infatti rappresenta un sistema informativo geografico (GIS) pubblicato su web, che permette la visualizzazione di oggetti interrogabili su di una mappa georiferita e dà la possibilità di aggiungere nuove informazioni che possono essere condivise con la comunità che lo utilizza.

Scopo di tale strumento è quello di offrire le potenzialità di analisi del GIS anche a chi non possiede un software specifico per la gestione dei dati, permettendogli di fare analisi, condividere, inserire e fare considerazioni sui dati che osserva nella mappa.

Esistono diversi framework che agevolano la sua costruzione, a lato server si possono trovare software come Express (Node JS), Django (Python), etc... Per il lato client invece, nella costruzione dell'interfaccia fruibile dall'utente, esistono librerie come Leaflet o OpenLayer, entrambe programmabili con poche righe di codice.

In questa tesi ci si è appoggiati ad un WebGIS già preconstituito al fine di integrare le informazioni raccolte a quelle già esistenti sugli stessi elementi, ampliando così le capacità che già possedeva.

2.3.6 - Relazione tra Gis e smartphone

Esri, la società leader nel settore del GIS, ha sviluppato diversi software che permettono la gestione dei dati su PC in ambiente Windows, come Arcmap, Arcview e simili, ma ciò che l'ha contraddistinta è stata la creazione di un gruppo di librerie integrabili con i sistemi Android che hanno contribuito alla visualizzazione dei dati pubblicati nei web server direttamente su smartphone. Visualizzare informazioni, modificare attributi, aggiungere nuovi elementi, sono tutte operazioni che prima si potevano effettuare solamente con i software desktop Gis o attraverso i webGIS. Con le librerie invece, tutte queste possibilità sono state finalmente rese disponibili anche per cellulare.

Questa grande innovazione ha permesso di raccogliere i dati sul campo semplicemente per mezzo di un tablet o di uno smartphone. Sembra scontato, ma fino a pochi anni fa la metodologia prevedeva l'uso di carta e penna, o nei casi migliori l'utilizzo di un file Excel che veniva compilato dagli operatori durante la fase di rilievo. Riferimenti a foto, video e allegati vari dovevano essere salvati con una certa attenzione onde evitare associazioni errate, col rischio di collegare informazioni sbagliate a oggetti completamente diversi.

Fino ad ora queste librerie sono state a pagamento ma col tempo anche la comunità open source si è mossa per la creazione di qualcosa di comparabile e ci è riuscita mettendo a disposizione software già predisposti per la comunicazione con i geodatabase. Ora basta una semplice applicazione per tablet, scaricabile da "Play Store", per gestire una gran mole di dati.

2.4 - Il Raspberry Pi

2.4.1 - Caratteristiche

Il Raspberry Pi è una single-board computer (System on Chip, o SoC), con CPU ARM, sviluppata nel Regno Unito dalla Raspberry Pi Foundation, i cui primi modelli sono stati presentati al pubblico durante l'inverno del 2012. Questa scheda può essere utilizzata come semplice PC a basso costo, ma permette anche di fare prototipazioni attraverso l'utilizzo di dispositivi accessori che ampliano le capacità della scheda stessa. [4]

Il Raspberry è dotato di vari pin, in numero variabile in base ai vari modelli disponibili sul mercato. In genere si hanno a disposizione 40 pin, di cui 2 con tensione di uscita a 5V direttamente collegati all'alimentazione, 8 connessi a massa e 30 disponibili per la gestione di segnali di tipo I/O che supportano una tensione massima pari a 3.3V. [5]

Antenna 802.11n Wireless LAN, Bluetooth 4.1 e Bluetooth Low Energy (BLE) fanno parte del bagaglio di componenti che costituiscono Rpi e sono gli elementi chiave che gli permettono di essere un elemento ideale per svolgere il ruolo di dispositivo IoT. [6]

Nativamente inoltre, dispone di un alloggiamento per micro SD card, che ne costituisce la componente di archiviazione, dove è possibile installare il sistema operativo (di solito Raspbian, ma ne esistono diverse varianti). All'interno di esso si può installare ogni tipo di software normalmente eseguibile in ambiente Linux, software che copre il 90% dei programmi disponibili anche per piattaforme Windows. L'unico limite è la massima capacità di archiviazione del dispositivo. Questa sua versatilità agevola moltissimo le operazioni perchè sul web si possono trovare innumerevoli programmi già funzionanti e pronti all'uso. Raspberry supporta diversi sistemi operativi, principalmente basati su kernel Unix (in particolare Linux/Debian) e su architetture RISC. Il più utilizzato è Raspbian, sistema operativo basato su kernel Linux e derivato da Debian.

2.4.2 - Vantaggi e limiti

In commercio si possono trovare innumerevoli dispositivi per effettuare prototipi, alcuni simili, altri con strutture diverse. Il principale contendente del Rpi è Arduino, una piattaforma open-source utilizzata per la costruzione di progetti di elettronica che consiste in una scheda programmabile con micro-ctrllore e di una parte software, o IDE (Integrated Development Environment), che eseguito sul computer, viene usato per scrivere e caricare nella scheda fisica codice in linguaggio

“C”. Nel Raspberry, a fare la differenza è proprio la presenza del microprocessore, poiché lo identifica come computer dove ci si può installare un sistema operativo e programmi annessi. Con i GPIO si può interagire con circuiti esterni che possono essere costruiti su una breadboard, trasmettere segnali digitali (0 / 1) o valutarli direttamente sullo stato dei pin. Le combinazioni circuitali che si possono costruire sono quasi infinite, ecco perché Rpi si dimostra un ottimo candidato per i test che si vogliono effettuare.

Rpi ha anche alcuni limiti, tra cui quello di gestire unicamente segnali digitali provenienti dall'ingresso, a discapito di quelli continui. Il problema è comunque superabile con un semplice convertitore AC/DC che permette la quantizzazione del segnale continuo in ingresso, cercando di tenere l'errore di quantizzazione più basso possibile.

Un altro limite è dato dal tempo di avvio. Come i computer di casa, necessita di un tempo minimo per permettere al sistema operativo di caricarsi e di eseguire i programmi installati. Arduino invece, poiché composto da un microcontrollore, esegue unicamente il codice contenuto nella memoria FLASH non appena viene alimentato. Questo può essere uno svantaggio se si vogliono eseguire programmi in dispositivi su cui può venire meno l'alimentazione, ma è comunque risolvibile se per gli obiettivi scelti il tempo di avvio è ininfluente all'analisi che si vuole compiere. In alternativa si può stimare il tempo di accensione e considerarlo nelle valutazioni.

Ma la vera forza del “lampone” è la possibilità di poterlo espandere attraverso dei circuiti di “plugin”, che sono schede elettroniche integrabili sulle GPIO. Se installate ampliano notevolmente le funzionalità del dispositivo, consentendogli di eseguire operazioni aggiuntive e leggere informazioni specifiche per l'obiettivo prescelto. Ad esempio, si può integrare un sensore di temperatura: se integrato, Rpi può eseguire analisi temporali sulla variazione della temperatura di una stanza. Nel caso di studio, ad esempio, si potrebbe collegare il Raspberry alla rete elettrica di casa, e mediante un web server inviare le informazioni dei consumi direttamente su uno smartphone via rete internet. Come si evince, forse l'unico vero limite è la capacità di immaginazione.

2.4.3 - Le Alternative

Esistono molti altri tipi di microcontrollori e mini computer, come l'ESP-32, l'orange-Pi, il banana-Pi, etc... Se si guarda alla sostanza, essi rappresentano solo dei cloni dei colossi Raspberry e Arduino, alcuni con prezzi maggiori, altri con caratteristiche tecniche superiori, ma sempre variazioni dei modelli base appena descritti. Nonostante questo il Raspberry si è dimostrato il dispositivo giusto per la tesi oggetto di questo studio, e si è rivelato il più economico nella moltitudine di scelte disponibili attualmente sul mercato.

Arduino invece, come del resto buona parte degli altri microcontrollori, ha un costo superiore e una capacità di memoria FLASH limitata che si aggira tipicamente intorno ai 32 Kb, molto ridotta se confrontata con i 32 Gb disponibili nel Rpi.

2.5 - Cenni sul funzionamento di una rete fognaria

2.5.1 - Definizioni

L'infrastruttura fognaria è un complesso labirinto sotterraneo che permette la raccolta e il convogliamento delle acque reflue domestiche, industriali e urbane, che dopo essere state sottoposte a trattamenti chimici finiscono nelle foci dei fiumi o direttamente in mare.

Bisogna distinguere le acque reflue in due principali categorie: acque nere e acque bianche. Le prime riguardano le acque di scarto provenienti da attività domestiche ed industriali, caratterizzate da un'elevata concentrazioni di sostanze. Le seconde invece, sono quelle meteoriche di dilavamento, le acque utilizzate per il lavaggio delle strade e quelle di raffreddamento provenienti da attività industriali.

2.5.2 - Caratteristiche

Ci sono poi due tipi di fognatura che possono essere utilizzati: quello a sistema misto e quello separato. Il primo raccoglie sia le acque reflue di insediamenti civili e industriali, sia quelle di origine pluviale.

Nel sistema separato invece si differenziano due tubazioni: uno dedicato alla raccolta degli scarichi civili e/o industriali che portano al depuratore mentre l'altro è dedicato esclusivamente alla raccolta delle acque di drenaggio meteorico, che vengono inviate ai corsi d'acqua superficiali.

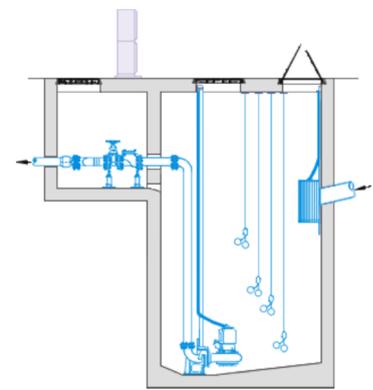
Una rete fognaria è un insieme di tubi interconnessi tra loro che sono dislocati nel sottosuolo. Si può pensare ad un grafo, dove i nodi sono rappresentati da pozzetti di ispezione e gli archi da tubi che incidono su essi. In tale struttura esiste un nodo principale chiamato impianto di depurazione, che ha il compito di raccogliere le acque reflue per depurarle attraverso dei fanghi speciali. Una volta depurate, vengono rilasciate all'esterno nei fossati o lungo i canali. Il principio che fa funzionare la struttura si basa sulla presenza della gravità: durante la posa dei tubi viene mantenuta

una lieve pendenza (attorno all'1%) che permette lo scorrimento delle acque al loro interno. Poiché la rete si estende per diversi chilometri, non è fisicamente possibile mantenere costante l'inclinazione e serve dunque un sistema intermedio, chiamato impianto di sollevamento, che si occupa di accumulare le acque reflue provenienti dalle tubazioni, per poi "risollevarle" su di un pozzetto posto ad una quota più alta non appena la vasca di contenimento raggiunge il limite.

2.5.3 - Impianti di sollevamento

Un impianto di sollevamento è un sistema costituito da:

- Una vasca di contenimento, generalmente di dimensioni circa 2.5 m di larghezza, 2 m di lunghezza e 3 m di profondità, ma se ne possono trovare di dimensioni variabili in base alla capacità di cui si ha bisogno.
- Delle pompe a immersione, di solito almeno in quantità pari a 2 (ma possono essere anche più di 5), agganciate su delle staffe d'acciaio poste su di una delle pareti della vasca.
- Dei galleggianti, direttamente connessi alle pompe. Ce ne sono almeno 3, di cui uno, il più profondo, si chiama "galleggiante di minima", e gli altri due sono i "galleggianti di massima".
- Una cabina elettrica, posta nelle vicinanze della vasca e su cui arriva la 380V alternata trifase. All'interno sono presenti un set di componenti elettrici quali trasformatori, teleruttori, relé, contatore, etc... che si occupano del corretto funzionamento delle pompe quando le vasche vengono riempite da un liquido. Le pompe vengono alimentate grazie ad un cavidotto che le collega direttamente alla cabina.
- Tubature, incidenti alla vasca e che versano su di essa un certo liquido. Altre invece, tipicamente di acciaio o ghisa sono connesse alle pompe e sono utilizzate per rilanciare il liquido in un punto meno profondo e lontano dalla vasca.



Lo scopo di questo sistema è quello di raccogliere dei liquidi che giungono alla vasca per mezzo delle tubature che incidono su essa. Appena il livello del liquido contenuto nella vasca raggiunge una certa quota, dei galleggianti direttamente connessi alle pompe, inviano un segnale all'impianto elettrico che inizia ad alimentarle attraverso i teleruttori contenuti al suo interno. Così facendo, il

fluido viene rilanciato attraverso le condotte di acciaio e viene portato su una nuova tratta che si trova ad un livello più alto rispetto alla quota della vasca, in genere a 50-60 cm dal piano terreno. Nella cabina elettrica è presente un contatore che quantifica il tempo speso dalle pompe per svuotare l'intera vasca. Lo svuotamento avviene secondo il seguente principio: quando il livello del fluido supera il galleggiante di minima, posto alla quota più bassa, vengono attivate le pompe senza però metterle in funzione. Si tratta cioè di uno stato di attesa, in cui gli apparecchi attendono che il livello superi anche uno dei due galleggianti rimanenti alla quota più alta. Quando succede, il segnale arriva alla cabina, la quale decide la pompa più opportuna da azionare per rilanciare il liquido sulla condotta in acciaio. Il loro funzionamento continuerà fintanto che il livello non scenderà sotto al livello del galleggiante di minima, a quel punto un nuovo segnale avviserà la centralina, che spegnerà il meccanismo di rilancio tornando allo stato iniziale. Questi impianti sono stati scelti per lo studio del progetto proposto in questa tesi e verranno usati come riferimenti da cui attingere le informazioni da inserire su di un GIS. Si precisa per completezza che tali sistemi non sono esclusivi dell'ambito fognario, ma sono utilizzati anche in altri ambiti, tipicamente nelle industrie chimiche, dove si richiede l'innalzamento del livello di un determinato liquido.

2.6 - Lavori correlati

2.6.1 - IoT per i sottoservizi

Nel corso degli ultimi anni l'internet delle cose (IoT) ha avuto un ruolo determinante nelle applicazioni che si occupano di monitoraggio delle apparecchiature esterne. Di queste, fortunatamente alcune sono specifiche nel settore dei sottoservizi, dove non è sempre possibile verificare lo stato delle apparecchiature in prima persona a causa degli spazi confinati e del pericolo correlato agli ambienti poco salubri (fognature, gasdotti, etc...). Con il loro avvento, oggi il monitoraggio è nettamente semplificato, basta un semplice computer o un telefono di ultima generazione per interfacciarsi direttamente con il sensore, leggere informazioni da esso o, se predisposto, impartirgli comandi che modificano lo stato delle reti. L'IoT non solo ha reso più fruibili i dati provenienti da oggetti interconnessi, ma ha aumentato a dismisura il numero di informazioni che possono essere acquisite e che prima non erano fisicamente accessibili per la natura stessa della rete in esame.

Con il crescere delle applicazioni IoT è aumentato il numero di device in grado di connettersi alla rete. In concomitanza è anche calato il prezzo di acquisto di ciascun dispositivo. Questi fattori hanno dato la possibilità a molti ricercatori di cimentarsi nella sperimentazione di nuovi progetti. Se ne possono trovare di vario tipo: in India ad esempio, alcuni ricercatori dell'Amity University a Mumbai [7] hanno sviluppato un sistema IoT che permette l'analisi dei livelli di tossicità dei gas sulfurei presenti all'interno di una rete fognaria. Il loro controllo permette di avvisare gli operatori in tempo reale sullo stato della condotta su cui stanno operando, consentendogli di mettersi in sicurezza qualora i livelli di ppm presenti nell'aria superassero i limiti di guardia. Il progetto, inizialmente pensato con un microcontrollore Arduino, è stato poi sviluppato con il mini-computer il Raspberry-Pi grazie alla facilità e l'efficienza con cui è in grado di gestire più dispositivi che forniscono vari tipologie di input contemporaneamente.

L'interesse crescente ha coinvolto anche molte aziende private, come la Smart Cover Systems [8], che ha investito ingenti somme per lo sviluppo di sensori in grado di rilevare eventuali compromissioni della rete fognaria inviando costantemente dei dati ai loro server. Tali sensori, muniti di tecnologia a ultrasuoni e software proprietario, vengono posti sul fondo del chiusino in ghisa in cima al pozzetto di ispezione e sono quindi in grado di determinare i livelli di liquido contenuti all'interno. Le informazioni vengono poi convogliate per mezzo di una sim ad un accentratore che si occupa di spedirli in un data center dove poi vengono catalogati e utilizzati per inviare alert ai responsabili dell'ente gestore in occasione di eventuali anomalie della rete.

2.6.2 - La tecnologia IoT e il GIS

Se poi le informazioni vengono indirizzate su di un sistema informativo geografico, allora le si possono anche visualizzare su una mappa georeferenziata, che evolve dinamicamente permettendo all'utente di interrogarla. Si può forse dire che la posizione geografica sia proprio la chiave che lega l'IoT e il GIS. La potenza del geodatabase permette inoltre di compiere analisi qualitative sui valori raccolti sul campo, un esempio molto interessante ci viene dalla China University of Mining and Technology, Xuzhou, [9] dove queste tecnologie hanno permesso di studiare la relazione tra il fumo che si produce da un edificio in fiamme e il comportamento dell'uomo durante la fase di evacuazione. L'IoT ha permesso di osservare in maniera precisa e automatica i valori chiave quali la temperatura, la densità di monossido di carbonio (CO) e la densità luminosa. I dati sono stati poi trasferiti su di un geodatabase attraverso la rete wireless presente nell'edificio, e processati con le funzionalità del GIS. Grazie ai risultati ottenuti, qualora si verificasse un incendio nell'edificio,

sarebbe possibile avviare un protocollo efficace che garantisce le migliori condizioni per l'evacuazione e guida velocemente le persone.

2.6.3 - Comunicazioni alternative

Con l'IoT le informazioni ci possono giungere anche dagli angoli più remoti della terra. Quello che fino a qualche anno fa sembrava una sfida, con l'avvento del 5G, le reti wireless ed il Bluetooth ora bastano pochi istanti per visualizzare lo stato di un determinato oggetto attraverso una notifica sul proprio telefono. Ma come arriva il dato? I protocolli sono molteplici e chi si è cimentato in questo mondo ne ha provato diversi, i più comuni sfruttano una SIM per connettersi alla rete internet, altri invece utilizzano i protocolli Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, etc... con cui avviano la comunicazione con un nodo centrale, il Gateway, direttamente connesso alla rete.

Un'idea alternativa, come citato in un articolo da alcuni ricercatori della Gachon University in Corea [10], può sfruttare l'antenna Wi-Fi presente all'interno di uno smartphone per attivare un Access Point attraverso la modalità Tethering, creando così un vero e proprio Gateway in grado di interconnettere molteplici device nelle vicinanze quando esso si fosse avvicinato. In questo modo, appena un sensore avesse rilevato la presenza dello smartphone, avrebbe cercato di creare una connessione e inviare i dati.

Il progetto, che è anche l'anima di questa tesi, vuole dare un'alternativa a quelli che fino ad ora sono stati i metodi convenzionali per il trasferimento dei dati raccolti da sensori, senza però stravolgere la struttura base che compone l'Internet delle cose. Dovendo interconnettere oggetti che si trovano a distanze diverse, nella versione classica, si utilizzano dispositivi dotati di sim card che comunicano con un accentratore (solitamente un server) presente in azienda. Qui invece il ruolo di gateway lo si vuole dare allo smartphone.

In questo modo l'accentratore diventa mobile ed è gestibile attraverso un'applicazione Android/iOS che può essere condivisa con altri apparecchi. I sensori sono distanti tra loro, ma se più persone hanno l'applicazione installata sul proprio smartphone, poiché si muovono nel territorio, la probabilità di avvicinarsi ad un sensore aumenta, e quindi aumenta anche il numero di interazioni "device - gateway". Più interazioni ci sono e più informazioni vengono scambiate. Una volta che l'informazione raggiunge il telefono ha accesso alla rete internet, e quindi può essere spedita in un web server che raccoglie i dati. Non è più dunque il web server che comunica l'informazione all'utente attraverso lo smartphone, ma è quest'ultimo che la condivide su un web server e agli altri nodi gateway.

Ormai la maggior parte delle persone possiede un telefono ed è questa la motivazione chiave che ha portato al progetto qui discusso. Si vuole sfruttare il cosiddetto effetto “endemico” che si ha quando le persone interagiscono con il territorio, funziona quindi se ciascuno dà il proprio contributo tenendo l’applicazione con sé. Anche perché dotare i sensori di una sim 4G o M2M va bene quando ce ne sono pochi, e soprattutto l’ammontare di dati è relativamente basso. Cosa succede però se il numero di sensori da predisporre è dell’ordine del migliaio e i dati forniti da ciascun sensore, possono pesare diversi Mb? Le sim attualmente presenti in commercio offrono piani in abbonamento, obbligando chi decide di utilizzarle un abbonamento mensile o annuale. Un’azienda che vuole puntare sull’Internet delle cose deve mettere in conto dei costi fissi mensili non indifferenti, ma la maggior parte non è disposta a farlo.

3 - Lo sviluppo del progetto

3.1 - Fase preliminare

Dopo un lungo e attento periodo di ricerca, in cui è stato possibile valutare gli strumenti disponibili sul mercato e comprendere le problematiche da affrontare nello sviluppo del progetto, si è iniziata a studiare una strategia vincente che permettesse di raccogliere quante più informazioni possibili dagli impianti di sollevamento, in modo da analizzare le cause scatenanti delle ingenti masse d'acqua all'interno della rete fognaria. Per raggiungere l'obiettivo era chiaro che servisse un dispositivo elettronico in grado di registrare segnali analogici di natura diversa, e che nel contempo fosse in grado di trasferirli al mondo esterno per mezzo di un protocollo controllabile anche dallo smartphone. Bisognava quindi trovare una soluzione che fosse facilmente reperibile, dal costo contenuto e soprattutto flessibile e adattabile a diverse situazioni e dati in ingresso.

Si è perciò deciso di costruire qualcosa di personalizzato utilizzando delle schede di prototipazione, in modo da essere indipendenti da strumenti specifici. In commercio si possono trovare dispositivi come il Raspberry - Pi, Arduino, ESP-32, UDOO e molti altri. Ciascuno con le proprie peculiarità, ma tutte accomunate dalla capacità di essere programmate e ampliate da circuiteria fai-da-te.

Con le valutazioni effettuate assieme ai tecnici della ditta Milan, si è scelto di utilizzare il single-board computers Raspberry, identificato come la soluzione più efficiente per il caso di studio, almeno durante il primo periodo di test. Il "lampono", come descritto anche nel capitolo 1, ha dimostrato di possedere notevoli vantaggi rispetto ai suoi concorrenti, tra cui quello di ridurre notevolmente il carico di lavoro necessario alla programmazione delle operazioni che deve svolgere, oltre al fatto di possedere un microprocessore e GPIO per la comunicazione in ingresso e uscita.

La sua programmazione infatti non richiede particolari capacità, se non le basi di informatica e la conoscenza di alcuni linguaggi come python o node js, di gran lunga più semplici ad altri come Java, C e simili che richiedono svariate linee di codice per realizzare operazioni basilari.

Nella moltitudine di informazioni che si possono raccogliere dagli impianti di sollevamento, quella che si è rivelata di fondamentale importanza per l'obiettivo prefissato è stata la misurazione delle ore di funzionamento delle pompe per svuotare la vasca dalle acque reflue. Questo dato poteva risultare utile per l'individuazione delle cause delle grandi moli d'acqua presenti nelle reti fognarie. In base ai tempi di funzionamento e alla loro specifica collocazione spaziale e temporale si sarebbe infatti potuto comprendere se il problema fosse dovuto ad un evento meteorologico, come ad

esempio un violento acquazzone, oppure ad una eventuale perdita dell'acquedotto, poiché in molti casi la rete fognaria e quella idrica viaggiano parallelamente una di fianco all'altra, ed è facile che dopo una rottura tutto il contenuto venga riversato sulla rete delle acque nere, raggiungendo in gravità il sollevamento monitorato.

Si ricorda, come specificato nel capitolo 2.5.1, che la fognatura per come è progettata può essere a sistema misto o separato. Quella che qui si considera rappresenta un sistema separato che non permette la presenza di acque piovane al suo interno, perciò un loro rilevamento è un chiaro indice di anomalie della struttura che permettono il loro deflusso e che quindi vanno necessariamente risolte.

3.2 - Lo sviluppo del sensore IoT

Scelto il Raspberry-Pi come candidato ottimale per il monitoraggio dello stato dei sollevamenti, è iniziata la pianificazione per gestire il lavoro di trasformazione che avrebbe reso il dispositivo un vero e proprio sensore IoT. Il processo è stato suddiviso in due parti: una prima fase, in cui si è definita la componentistica hardware necessaria all'interazione tra cabina e dispositivo, e una seconda per la scelta del linguaggio di programmazione più efficace a garantire la lettura del dato in modo corretto.

3.2.1 - La circuiteria

L'informazione chiave che si vuole raccogliere è il tempo di funzionamento delle pompe degli impianti di sollevamento.

La centralina è dotata di specifici componenti in grado di emettere un segnale analogico di tensione (24V alternati) quando si attiva una delle pompe dell'impianto. Per ogni pompa installata esiste il suo relativo componente che ne identifica l'apparecchiatura e ne rivela l'attività. Perciò se ci si connette con un Raspberry diventa molto semplice calcolare il tempo di funzionamento, trattandosi a tutti gli effetti di leggere un segnale booleano, acceso / spento.

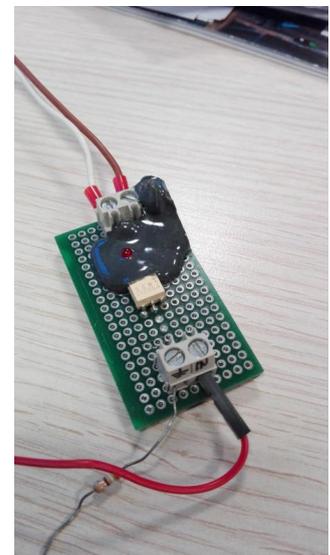
Con i segnali emessi dalla centralina è quindi sufficiente calcolare il tempo che intercorre tra il primo fronte di salita e l'ultimo.

Poiché il Raspberry è in grado di leggere unicamente segnali digitali con tensione massima di 3.3V, non è fisicamente possibile realizzare una connessione diretta con la centralina poiché essa risponde

emettendo segnali analogici alternati a 24 V alternata. Per aggirare il problema serve un convertitore A/D che permetta la traduzione del segnale in uno compatibile col “lampono”. Per farlo è stata presa una scheda millefori dove si è costruito il circuito addetto alla conversione del segnale. Nel dettaglio, lo schema può essere così descritto:

1. Conversione del segnale alternato in continuo, utilizzando un raddrizzatore a semionda, realizzato con un diodo e un condensatore. Questa configurazione ha sostituito la prima ipotesi, ovvero quella di impiegare un ponte a diodi, in quanto ci si è resi conto che tale circuiteria sarebbe risultata ridondante, costosa e con maggiore rischio di rotture.
2. Inserimento di un diodo led, per segnalare lo stato di funzionamento del circuito.
3. Riduzione della tensione a 3.3V in continua, con uno step-down personalizzato: per fare ciò si è utilizzato un fotoaccoppiatore, ovvero un componente elettronico (spesso un quadripolo) che permette di trasferire un segnale fra due circuiti mantenendo l'isolamento galvanico tra gli stessi. Il segnale in ingresso attiva un led all'interno del chip la cui luce viene recepita da una fotoresistenza che varia il suo valore in funzione dei raggi emessi. La presenza del segnale in ingresso avrebbe permesso la chiusura del circuito in uscita, così da poterlo utilizzare come un vero e proprio interruttore.
4. Lettura del segnale sui GPIO del Rpi: presi 2 pin, di cui uno posto a tensione massima 3.3V leggibile dal dispositivo, e l'altro connesso a massa, una volta connessi in serie con l'uscita del fotoaccoppiatore, si inserisce di fatto un interruttore controllato dal segnale di ingresso. La chiusura del circuito effettua il pull-down del pin la cui tensione scende per effetto della connessione diretta a massa.

Questo circuito così realizzato garantisce la lettura del segnale a 24V direttamente dai pin del Raspberry, il quale per conoscere lo stato delle pompe deve semplicemente leggere lo stato dei suoi pin. Se si legge un valore alto della tensione allora il macchinario è in fase di funzionamento, se si legge un valore basso invece si registra lo stato di inattività. Inizialmente testato con una millefori, dello stagno e della resina, il circuito è stato poi stampato su di una scheda per la prototipazione, PCB per renderlo più piccolo e maneggevole.



3.2.2 - La rilevazione dei segnali

Una volta realizzato il circuito che permette al Rpi di rilevare lo stato di attività delle pompe negli impianti di sollevamento, si è dovuto trovare il modo corretto ed efficace per poterlo analizzare. I primi test effettuati hanno tuttavia evidenziato l'insufficienza della sola lettura dello stato alto/basso: si sono infatti fin da subito riscontrati dei valori inattesi, in cui il periodo di attività della pompa veniva percepito come una continua variazione dello stato in ON/OFF.

Il motivo era legato al fatto che venivano utilizzati sistemi che lavorano in regime sinusoidale, i cui segnali sono oscillatori. Quello che viene prodotto dalla conversione, sebbene sia un segnale che ne



approssima uno stazionario, mantiene comunque del rumore che viene propagato sulle GPIO del Rpi. Il raddrizzatore a semionda infatti, per come è definito, alterna fasi in cui la tensione positiva è presente (semionda positiva) a fasi in cui si annulla (semionda negativa). Per alleviare le cadute di tensione dovute a quest'ultima si è inserito un condensatore in uscita al diodo per creare un filtro. Ciò nonostante l'effetto ondulatorio positivo che si ha sul fotoaccoppiatore, e di conseguenza anche sul pin in lettura al Raspberry, è rimasto invariato.

Le attività dell'impianto vengono quindi percepite dal Rpi come un'oscillazione continua tra 0 e 3.3V avendo così una lettura incerta del segnale interessato. Per risolvere il problema si è scelto di rivedere la procedura con cui si decide se il macchinario è in funzione o meno: Mentre prima si effettuava la lettura del valore alto/basso, corrispondenti dello stato di ON/OFF, dopo le osservazioni fatte si è scelto di considerare la presenza o meno dei fronti di salita/discesa del segnale. Questa scelta è stata cruciale e ha permesso di leggere correttamente le informazioni provenienti dal macchinario.

3.2.3 - Lo sviluppo del software nel Raspberry

I segnali dunque potevano giungere al Raspberry mediante l'adattatore step-down per essere interpretati. Bisognava trovare il modo per valutare gli intervalli temporali dalla lettura della tensione sui GPIO e immagazzinarli nella memoria del dispositivo.

Per fare questo si è scelto di sfruttare le potenzialità di Python, un linguaggio di programmazione snello e facile da utilizzare, progettato appositamente per le applicazioni nell'ambiente Raspbian, il sistema operativo installato sul Rpi.

Da qui è iniziata la vera e propria scrittura codice per l'acquisizione dei dati, portando ad un programma strutturato e sufficientemente stabile per effettuare i primi test.

Per le prove è stato utilizzato un trasformatore per barre DIN che permette l'abbassamento di tensione da ~ 220V a ~ 24V.

Le prime prove sono state effettuate con il metodo della lettura ON/OFF sui pin, dove si sono evidenziati risultati poco soddisfacenti. Con questo metodo infatti si è registrata una continua oscillazione durante il periodo di attività delle pompe, leggendo correttamente lo stato di OFF, ma portando a letture incoerenti nella fase ON.

Nei test successivi si è impiegato l'uso del metodo con i fronti di salita e si sono iniziati a vedere i primi risultati coerenti. Per fare ciò si è fatto uso di una libreria di Python già integrata nei moduli di Raspbian che prende il nome di Rpi.GPIO.

Questa libreria permette di effettuare la maggior parte delle operazioni che si possono svolgere con i PIN del dispositivo, tra cui la lettura del valore di tensione presente in ingresso su di essi. Tra le varie funzioni, ne esiste una in particolare che è in grado di leggere la presenza di fronti di salita/discesa presenti in un determinato ingresso. Questa funzione prende il nome di "Event Detection", ed è proprio grazie ad essa che è stato possibile leggere correttamente i valori in uscita dagli impianti elettrici.

Questi dati andavano poi catalogati in base al numero identificativo dell'apparecchio, in funzione del suo stato di attività. Serviva dunque un database e la scelta è ricaduta su "SQLite", un dbms molto minimale e semplice da utilizzare, con il vantaggio di essere facilmente esportabile per via della sua struttura a singolo file.

Per garantire l'interazione con Python si è fatto uso di un'ulteriore libreria di terze parti chiamata SQLAlchemy, ottima per gestire qualsiasi tipo di database con questo linguaggio di programmazione.

Per completare il codice mancava ancora un ingrediente fondamentale, il tempo. Raspberry non possiede nativamente delle batterie in grado di mantenere attivo il suo orologio interno. Se viene spento, il tempo rimane congelato all'ultimo istante misurato finché non avviene una riaccensione. Per integrare questa funzionalità mancante lo si è dotato di una scheda DS3231M RTC costituita da una batteria tampone e una memoria EEPROM, che permette di mantenere attivo l'orologio interno anche quando viene meno l'alimentazione.

3.2.3.1 - Il codice per la lettura dei segnali

Riassumendo, il programma è stato scritto interamente in Python, utilizza le librerie Rpi.GPIO e SQLAlchemy e per l'archiviazione dei dati il dbms SQLite. La lettura sui pin avviene in maniera ciclica a intervalli dell'ordine di una frazione di secondo. Ad ogni iterazione viene analizzato lo stato di ciascuno degli ingressi connessi. Quando una nuova fase oscillatoria viene rilevata, si inserisce una nuova riga nel database, specificando l'identificativo della pompa attivata, l'istante iniziale della sua attività e la fase in cui si trova (attiva / spenta). Per scongiurare eventuali perdite dovute a spegnimenti fortuiti, ogni 30 secondi viene aggiornata la riga del db a cui è associata l'attività in fase di studio, specificando su una colonna dedicata la misura temporanea raccolta fino a quel momento. Una volta che l'oscillazione sul pin è terminata, il programma aggiorna definitivamente la riga del db associata inserendo l'orario di fine lavoro e il nuovo stato di spegnimento. Per ogni nuova attività si inserisce una nuova riga nel database e il procedimento viene ripetuto come appena descritto.

La scelta di utilizzare un sistema ciclico piuttosto dei classici multithread è stata una scelta obbligata: nella libreria GPIO esistono infatti alcune funzioni più efficienti che permettono la rilevazione di eventi con i thread, sfortunatamente però nel periodo in cui sono stati effettuati i test tali codici presentavano alcuni bug che ne hanno impedito il loro utilizzo nel codice.

3.2.3.2 - La preparazione del web server

Dopo la lettura dei dati, è iniziata la costruzione di un web server che permettesse la comunicazione wireless tra il Raspberry e il mondo esterno. Solo così sarebbe stato a tutti gli effetti un dispositivo IoT.

Dovendo spedire unicamente informazioni relative al database, bastava un sistema minimale. La scelta è caduta su Flask, un framework scritto in Python, basato sullo strumento Werkzeug WSGI

che permette la creazione di web server. Sono bastate poche righe di codice per collegarlo al database SQLite e avere accesso ai dati da trasmettere all'esterno tramite richiesta POST.

3.2.3.3 - La creazione dell'access point

Il punto cruciale è stato capire quale fosse il protocollo ottimale per la comunicazione: Raspberry è in grado di gestire nativamente il Wi-Fi (protocollo 802.11n, frequenza 2.4 GHz) e il Bluetooth (802.15, frequenza 2.4 GHz).

Sono stati fatti test con il Bluetooth, ormai diventato uno standard per i dispositivi accessibili da smartphone come i contapassi, radio, auricolari, etc... Il suo punto di forza sta nel fatto che non impedisce al telefono la comunicazione via internet per via dei protocolli diversi. Quando si tratta di trasmettere importanti moli di informazioni però, si è dimostrato molto lento e dalla connessione spesso instabile, senza contare la bassa copertura che è in grado di offrire anche in spazio aperto. Poco pratico per l'obiettivo di tale studio.

Si è scelto quindi di utilizzare il Wi-Fi, poiché in grado di sopperire alle mancanze del Bluetooth. Di norma, le antenne Wi-Fi sono poste nella modalità ricezione, settate in modo da rendere i dispositivi dei client. Esistono alcuni programmi multipiattaforma che permettono di accedere alla modalità trasmissione, trasformando il dispositivo in un vero e proprio Access Point, dotato di rete propria, su cui gli altri dispositivi possono connettersi. Nei sistemi basati su Linux come Raspbian, si può utilizzare Hostapd, alternativa al noto wpa_supplicant nella versione "demone", per implementare la creazione di un Access Point e gestire la negoziazione delle chiavi ad accesso protetto (WEP, WPA e WPA2), e in aggiunta Dnsmasq, un server DHCP che fornisce gli indirizzi IP interni durante la connessione di un nuovo nodo alla rete ed instrada il dispositivo su di una rete internet se presente. Per come è stato pensato all'inizio, il dispositivo Rpi non dispone di accesso alla rete internet poiché privo di scheda SIM, perciò gli utenti che vengono associati una volta ottenuto l'indirizzo IP entreranno in una rete completamente privata.

Hostapd per funzionare ha bisogno di un file di configurazione dove vengono specificati: SSID, tipologia di accesso, indirizzo di AP su cui creare la rete, canale, e la modalità di funzionamento (2 per la trasmissione).

Con questa configurazione il dispositivo è visto a tutti gli effetti come un normale router, dove un dispositivo provvisto di password può accedere e scambiare informazioni con esso.

Una volta impostato il dispositivo nella modalità Access Point, aver attivato il web server in Flask e il software per la lettura dei dati negli impianti, si è giunti alla realizzazione di un vero e proprio sensore IoT in grado di acquisire informazioni per condividerle con il mondo esterno.

In alternativa al sistema fin qui descritto, basato sulla rete Wi-Fi, si sarebbe potuto usare dei sistemi di trasmissione a lungo raggio come LoRa, ZigBee o altri per spedire le informazioni direttamente sul web. Questi tipi di sistemi sono eccezionali per garantire le informazioni in tempo reale, ma utilizzano un tipo di protocollo che non è coperto dagli smartphone. Solitamente questi sistemi si interfacciano ad un nodo centrale che fa da hub ed è connesso alla rete internet o tramite sim o tramite una rete LAN. Nelle prime fasi progettuali è stata fatta una valutazione sull'utilizzo di sistemi di questo tipo, e si sono fatte anche alcune prove con i dispositivi LoRa.

I test hanno dato risultati poco soddisfacenti: sebbene questi dispositivi siano in grado di comunicare a distanze importanti, la presenza di edifici e strutture varie ha limitato fortemente il segnale informativo, trasmettendo informazioni incomplete o talvolta mancanti del tutto. Se si tiene conto anche del fatto che la distanza tra gli impianti può variare da qualche decina di metri a qualche chilometro, e che la quantità di dati trasmissibili è inversamente proporzionale alla distanza tra i dispositivi radio, è venuta meno la possibilità di utilizzare metodi come questo.

3.3 - Installazione del dispositivo Rpi - IoT

All'interno della centralina di un impianto di sollevamento si possono trovare dei componenti simili a degli interruttori, chiamati teleruttori, che sono in grado di interrompere o stabilire la corrente all'interno di un circuito, aprendo e chiudendo i canali di contatto tra l'impianto e la struttura di alimentazione.

Vengono utilizzati in questo contesto per la loro capacità di gestire le tensioni elevate 380V e la loro affidabilità. Tale tensione è la responsabile del moto reale delle pompe nella vasca. Oltre a questa tensione, il teleruttore in uso dispone di un'uscita separata che alimenta coerentemente un contaore, un dispositivo tipicamente meccanico, che attraverso delle rotelle esprime una misura del tempo speso per l'attività svolta.

Da essi quindi, se ci si connette all'uscita, è possibile creare una connessione in parallelo che permette di stabilire se le pompe sono in funzione oppure meno.

Si tenga presente che la possibilità di connettersi direttamente a questi dispositivi è piuttosto rara: essendoci circuiterie di vario tipo all'interno di una centralina, è facile trovare più linee connesse agli



alloggiamenti, e questo rende necessario uno studio di massima da effettuare in loco per valutare il punto più consono a creare la connessione. Nel migliore dei casi ci si può connettere ai teleruttori, in altri invece ci si deve collegare direttamente ai contaore o sui led di segnalazione, che vengono alimentati alla stessa tensione. E' chiaro quindi che risulta difficile creare una procedura standard per l'installazione dei dispositivi, e ci si deve affidare alla propria esperienza per realizzare connessioni funzionali che non disturbino il lavoro di altri manutentori.

Fortunatamente, ad agevolare le operazioni ci sono dei TAG numerici che identificano la tipologia di cavo e lo schema del relativo impianto, come si può vedere in figura.

Per installare il dispositivo nella cabina elettrica dell'impianto ci si è procurati una scatola di derivazione IP65, un cavo multipolare 8 x 0.50, uno spelafili, una crimpatrice, dei capicorda, dei pressacavi, cacciaviti e nastro isolante. La scelta del cavo multipolare è motivata dal numero di pompe che si possono trovare all'interno dei sollevamenti, il cui numero può variare da 2 a 5. Il dispositivo IoT viene quindi inserito sulla scatola e connesso con il cavo multipolare ai contatti che portano la tensione ai contaore.

Nonostante l'impianto sia ben sigillato, per trasferire energia alle pompe sfrutta un cavidotto costituito da un corrugato da DN 100 direttamente connesso alla vasca del sollevamento. I gas sulfurei che sono emanati dalle acque reflue presenti nella vasca sono così in grado di risalire all'interno del tubo per giungere all'impianto elettrico, provocando così il rischio di usura dei componenti. Per evitare il problema, gli elettricisti hanno impermeabilizzato la cabina suddividendola in due strati, una contenente l'intero comparto elettrico che è quindi sigillata e una parte esterna a copertura della centralina, dove possono arrivare i vapori. Non potendo installare il dispositivo assieme agli altri componenti presenti per mancanza di spazio, si è scelta una via intermedia che prevede il posizionamento del sensore tra i due strati protettivi: è stato inserito lasciandolo nella scatola in pvc resistente agli agenti acidi e connettendolo mediante cavo alla parte elettrica interna su di un percorso sicuro predisposto dai tecnici.

Per ampliare ulteriormente il bagaglio informativo utile a comprendere le cause dei malfunzionamenti nei sollevamenti, si è deciso di installare un pluviometro in un impianto che si trovasse il più vicino possibile al baricentro della rete complessiva, in modo da rilevare eventuali correlazioni legate anche agli effetti meteorologici. Tale inserimento non ha comportato particolari problemi grazie alla versatilità del dispositivo Raspberry che è in grado di poter gestire plugin di ogni tipo. Il nuovo sensore è costituito da un quadripolo, in cui una porta è dedicata all'alimentazione (12V), e l'altra specifica un semplice circuito aperto che viene chiuso nel momento in cui il sensore rileva la presenza di acqua. Si può dire che tale dispositivo si



comporta come un sistema controllato in tensione. E' bastato quindi connettere, per mezzo di una resistenza, l'uscita del quadripolo a due PIN del Raspberry (GPIO e massa), in modo da poter associare la presenza di tensione ad un possibile evento temporalesco all'esterno. Il nuovo componente ha comportato un'integrazione ulteriore anche nel codice di lettura e nella relativa implementazione del trasferimento dati tra Rpi-IoT, smartphone e webGIS.

3.3.1 - Problematiche incontrate e relative soluzioni

Per spedire le informazioni all'esterno, il web server Flask nel Rpi deve effettuare una richiesta di SELECT sull'intero database in funzione alla richiesta ricevuta col metodo POST, prosegue convertendo il gruppo di righe in un'unica lista JSON e solo a quel punto il messaggio è pronto per essere inviato al mittente.

Inizialmente si pensava che la richiesta, e la relativa risposta, potessero essere eseguite in tempi ragionevoli, anche se il numero di informazioni fosse stato considerevole. Questa considerazione è stata smentita fin da subito poiché la mole di dati prodotti da alcuni impianti risultava interminabile il tempo di risposta del web server presente nel dispositivo Rpi.

Una stima dei tempi di acquisizione per un singolo pacchetto dati contenente informazioni raccolte nell'arco di trenta giorni, effettuata su un impianto in cui le pompe vengono attivate molto frequentemente e ci si è posti in condizione di spazio libero a circa 3 metri di distanza, ha portato valori che si aggirano attorno ai ~ 300 secondi (5 minuti) di attesa. Un tempo decisamente inaccettabile per l'obiettivo che ci si è posti, in questo modo si rischiava di non avere mai la totalità dei dati richiesti.

Era chiara la necessità di trovare un modo più efficiente per trasmettere i dati presenti nel database. La questione è stata risolta creando una nuova colonna nel database di tipo testuale, contenente per ciascuna riga la versione tradotta in formato JSON di tutte le informazioni specifiche dell'attività registrata. In questo modo la procedura di trasferimento dei dati si sarebbe occupata di impacchettare soltanto quelli relativi ad un'unica colonna, escludendo le rimanenti ed evitando ulteriori conversioni. Questo aumentò notevolmente le prestazioni, producendo tempi ragionevoli anche per pacchetti contenente molti mesi di informazioni.

Una stima successiva effettuata molti mesi dopo ha mostrato che con questo metodo era possibile ricevere in meno di 10 secondi una mole di dati acquisiti in quasi 2 anni di lavoro.

Per tenere traccia di eventuali errori logici presenti nel codice è stato costruito un sistema di log, con il compito di evidenziare eventuali bug su di un file separato. Fondamentale qualora si presentassero eventuali malfunzionamenti durante l'attività del dispositivo. Questo sistema è stato

realizzato pensando anche allo spazio di memoria: ogni settimana i file di log meno recenti vengono archiviati attraverso una compressione zip e spostati in una cartella a parte.

3.4 - Sviluppo dell'applicazione Android

3.4.1 - Premessa

La forza del progetto sta proprio nella continua operatività dei manutentori, che si trovano spesso a doversi muovere lungo il territorio per gestire le problematiche degli utenti o per controllare il corretto funzionamento della rete. Poiché il numero di addetti è molto vasto e gli spostamenti sono frequenti, la probabilità che questi si trovino a ridosso di un sollevamento è molto alta. Se fossero quindi in possesso di uno smartphone programmato in modo da poter comunicare con i sensori IoT degli impianti, le informazioni potrebbero essere raccolte automaticamente e gestite per essere condivise attraverso la rete internet.

Si è deciso quindi di sviluppare un programma di acquisizione che fosse in grado di connettersi automaticamente alla rete del dispositivo IoT, di inviare una richiesta al servizio REST del sensore e quindi di salvare le informazioni raccolte su una memoria interna, dove rimarranno in attesa finché non sarà disponibile una connessione a internet, a quel punto una seconda richiesta verrà eseguita rilanciando le informazioni nel web, permettendo la condivisione delle misurazioni con i colleghi in campo e in ufficio.

Per essere sicuri che gli operatori utilizzassero l'applicativo, bisognava presentare qualcosa di semplice che svolgesse le sue funzioni interamente in background, durante tutto il suo ciclo di funzionamento. Un utente in possesso del programma avrebbe potuto visionare i dati raccolti, sia in tempo reale, che in momenti separati, senza dover agire manualmente sul programma per eseguire l'acquisizione delle informazioni.

L'applicativo è stato realizzato utilizzando il linguaggio Java, tipico degli ambienti con sistema Android, grazie all'utilizzo di un software ausiliario chiamato "Android Studio" che ha permesso l'intero sviluppo del codice e del controllo degli errori mediante la fase di debug, rimandando lo sviluppo in ambienti iOS ad un momento successivo al completamento dell'intero progetto.

L'attività per sviluppare questa parte ha richiesto 2 mesi di lavoro, in cui sono state fatte diverse ricerche sulla documentazione ufficiale di Android, al fine di creare un codice compatibile con la maggior parte degli smartphone presenti in commercio.

Le maggiori difficoltà affrontate hanno riguardato due tematiche importanti: la compatibilità con dispositivi di marche diverse e la gestione delle funzioni nelle diverse API.

3.4.2 - Funzionamento dell'applicazione

L'attività principale dell'applicazione è quella di rilevare la presenza di reti Wi Fi conosciute attraverso la scansione dell'area circostante.

Appena il rilevamento porta alla lettura di una rete contenente la parola “pompa” nell' SSID, un Intent notifica il dispositivo della possibile presenza di un sensore Rpi - IoT nei paraggi. A quel punto se presenti ulteriori parametri identificativi (ad esempio ise 123, equivalente di “Impianto di Sollevamento Zona Est, identità 123), inizia la richiesta di associazione all'Access Point nel tentativo di aggregarsi alla rete. Una volta garantito l'accesso gli verrà assegnato un nuovo indirizzo IP e inizierà la comunicazione.

La rete Wi-Fi del sensore è protetta da password. E' l'applicativo Android che genera automaticamente la chiave di accesso che gli permette di entrare, sfruttando un algoritmo interno specificato nel codice che evita all'utente il compito di doverla inserire manualmente ogni qualvolta incontra un nuovo impianto.

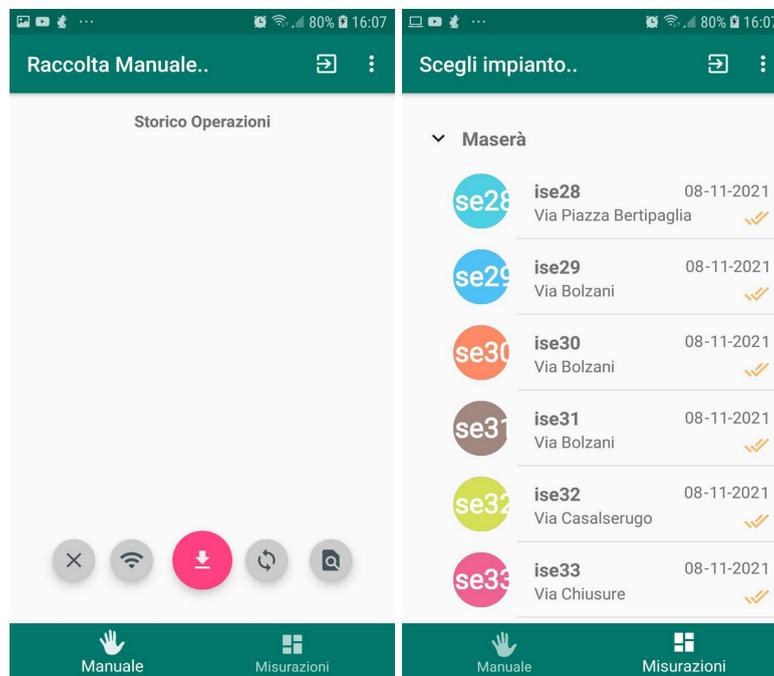
Una volta agganciati alla rete, lo smartphone procede con l'avvio di una richiesta POST al web server in Flask, i cui parametri contengono l'ultima data utile dal quale si vuole iniziare a prelevare i dati dal sensore.

I dati vengono dunque impacchettati e spediti sotto forma di JSON al dispositivo mobile per essere immagazzinati nella memoria. Una volta salvati in memoria i dati non vengono nuovamente spaccettati poiché la procedura è molto lenta e provocherebbe un rallentamento importante del dispositivo. Questi rimangono salvati sotto forma di pacchetto JSON, finché non si presenterà una nuova connessione alla rete internet su cui potranno essere veicolati fino al web server on-line.

Il vantaggio di tenerli in quel formato è che possono essere rispediti nella rete facilmente, evitando nuove forme di impacchettamento. Inoltre il JSON possiede alcune importanti proprietà che permettono di accedere agli oggetti con il metodo “chiave-valore”.

L'applicazione sviluppata per Android dunque simula il comportamento di un gateway e rappresenta uno stato intermedio che collega il sensore contenuto nell'impianto, su cui si raccolgono i dati, e un web server on-line pronto ad ospitare i dati nella rete internet. L'impiego dello smartphone evita così l'uso di schede SIM per ogni apparecchio installato.

Nella seguente figura si può vedere come si presenta l'applicazione. Essa è formata essenzialmente da due schermate: la sezione "Manuale", che viene impiegata per la gestione della comunicazione e per effettuare eventuali controlli di debug, e la sezione "Misurazioni", dove vengono visualizzate le informazioni relative a ciascun impianto raggruppato per comune.



3.4.3 - Problematiche software

Sebbene smartphone di marche diverse siano gestiti dallo stesso sistema Android, dai test effettuati con l'applicazione ci si è resi conto che il comportamento di alcuni dispositivi era diverso. Se si prende ad esempio la fase di autenticazione durante la connessione ad una rete Wi-Fi, si poteva notare come alcuni dispositivi si agganciassero istantaneamente, mentre altri provassero ad accedere senza però riuscirci. Per questi dispositivi è stato necessario trovare un punto di incontro tra i loro settaggi e i parametri dell'applicativo.

Altri problemi invece si sono manifestati a causa della versione di Android installata in uno specifico smartphone. Per inciso, ogni versione ha le sue regole e i suoi limiti specifici. I dispositivi con API fino alla versione 6 (Marshmallow) permettevano qualsiasi tipo di operazione ed erano ideali per l'obiettivo proposto. Dalle versioni successive, 7 (Nougat) e 8 (Oreo) le restrizioni hanno cominciato ad essere più stringenti: la possibilità di accedere alla memoria del dispositivo, al GPS e alla rete internet, come molte altre funzionalità, dovevano essere riprogrammate a livello di codice, in modo da permettere all'utente la possibilità di scelta in merito alla loro abilitazione.

Un'altra limitazione importante è stata imposta sulla gestione degli Intent, che sono una forma di messaggistica gestita dal sistema operativo di Android con cui una componente può richiedere

l'esecuzione di un'azione da parte di un'altra componente. Quando ad esempio uno smartphone si accorge della presenza di una rete Wi-Fi nelle vicinanze, un messaggio di avviso (intent) viene inviato all'interno del sistema, che viene rilevato per mezzo di uno strumento ausiliario chiamato "Broadcast Receiver", responsabile della gestione degli eventi.

Con queste nuove versioni i Receiver erano disponibili unicamente per "Intent" esterni, che sono generati e gestiti solamente dal programmatore. Per quelli interni, che invece riguardano eventi come le scansioni delle reti Wi-Fi, le attività del Bluetooth e altri, la disponibilità dei Receiver era limitata alle sole applicazioni "in primo piano", ovvero quelle controllate in tempo reale dall'utente. Durante la fase di background entrava in funzione una modalità di risparmio energetico chiamata Doze che si occupa di far rispettare i vincoli descritti poco fa.

Dalle versioni 9 (Pie), 10 e 11 le limitazioni si sono fatte ancor più stringenti: ai vincoli precedenti si è sommata anche una riduzione importante delle scansioni ad opera delle reti Wi-Fi durante i periodi di inattività dello smartphone.

Molte di queste limitazioni sono state risolte con dei trucchi (i cosiddetti "workaround") che hanno permesso di aggirare i problemi, come ad esempio l'aver impostato forzatamente la modalità "in primo piano" all'interno del codice.

Con il passare delle versioni i vincoli si facevano sempre più impattanti ed era chiaro che occorreva mettersi ai ripari.

Alla fine la soluzione definitiva è stata realizzata trovando un compromesso tra le attività che potevano continuare in background e quelle che necessitavano di una gestione manuale. Il risultato ha portato alla formazione di un applicativo stabile in grado di connettersi automaticamente alle reti controllate dai sensori Rpi - IoT, e di acquisire i dati come ci si era proposti. Il pegno da pagare è stato quello di ridurre il numero di scansioni effettuate nell'unità di tempo, che ha ridotto considerevolmente la probabilità di interazioni tra app e dispositivo.

3.4.4 - Problematiche tecniche

Per adempiere alle quotidiane manutenzioni, i manutentori spesso spegnevano gli impianti durante le fasi di acquisizione provocando così la disattivazione del Raspberry. L' Rpi aveva dunque dei momenti di inattività, che non potevano essere gestiti senza alimentazione. Fortunatamente all'interno di una centralina è presente una batteria tampone da 12V, direttamente connessa ad una lampadina esterna alla cabina, che segnala l'eventuale mancanza di elettricità. Poiché il dispositivo di acquisizione opera con tensione di alimentazione di 5V, si è pensato di sfruttare la batteria

presente all'interno costruendo un ulteriore circuito di step-down, che converta la tensione in modo da poterla utilizzare.

3.5 - Trasferimento dei dati al webGIS

3.5.1 - Premessa

Ormai la maggior parte della popolazione mondiale possiede uno smartphone dotato di connessione ad internet. Ed è questo che rafforza la potenzialità del progetto. Più persone possiedono l'applicativo nel proprio dispositivo mobile e più frequente è l'interazione che può avvenire tra dispositivo e sensore IoT.

Una volta che i dati vengono raccolti bastano pochi secondi per inviarli alla rete, questo soprattutto grazie alle velocità che si possono raggiungere attualmente con i sistemi 4G e 5G.

L'applicazione spedisce le informazioni ad un webGIS, simile ad un web server normale ma con la potenzialità di poter rappresentare i dati su di una mappa georiferita che può essere interrogata e può compiere analisi spaziali mediante un geodatabase. I dati vengono raccolti e finalmente spaccettati tramite un processo dotato di coda che viene eseguito parallelamente al webGIS. Lo spaccettamento è un processo lungo e dispendioso ma fondamentale per popolare completamente le tabelle del geodatabase, su cui possono essere fatte analisi spaziali e temporali.

Questo webGIS è stato chiamato "Catasto Del Sottosuolo" ed è stato sviluppato interamente dalla ditta Milan di Arre (PD). Esso contiene informazioni su tutte le reti dell'ente locale, in particolare quelle di acquedotto, fognatura, rete elettrica e molte altre.

3.5.2 - Struttura del webGIS

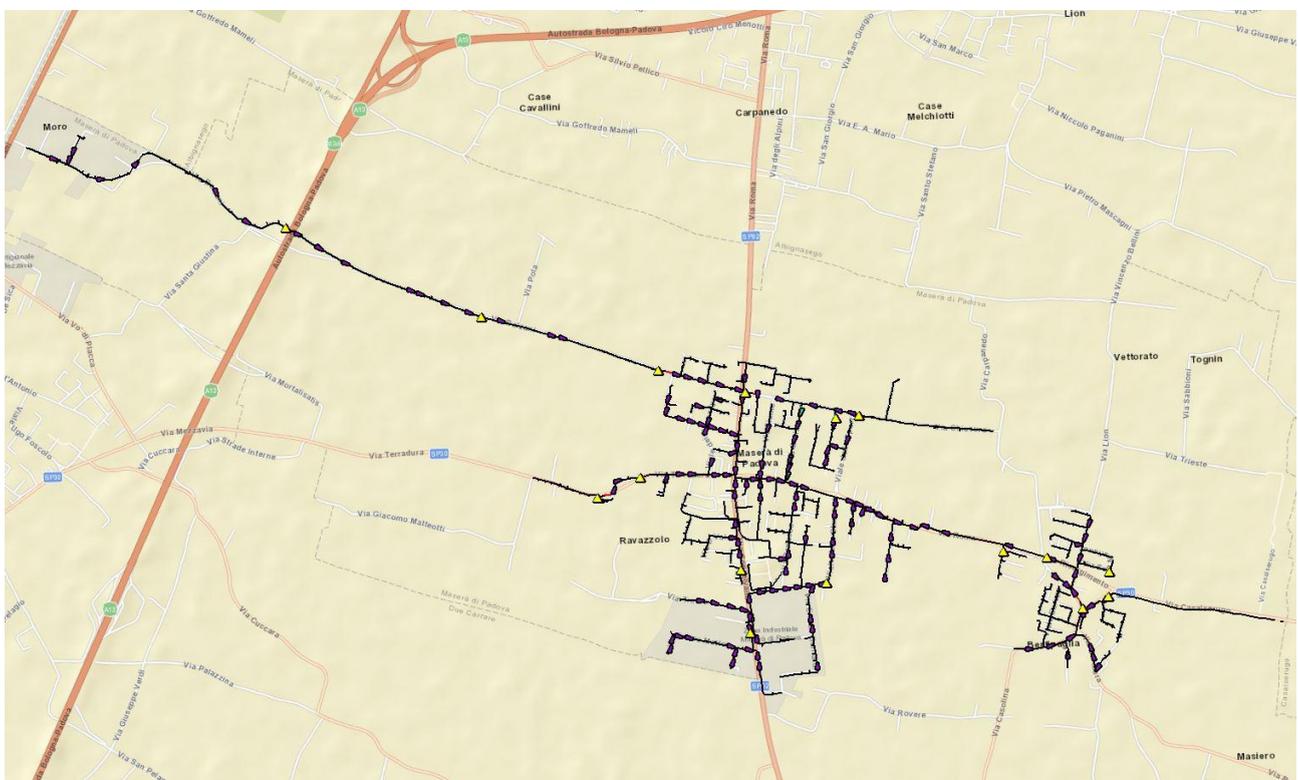
Il webGIS è stato realizzato con un framework chiamato "Grails" basato su un linguaggio di programmazione simile a Java che prende il nome di "Groovy".

Per la rappresentazione delle mappe utilizza ArcGis Server 10.3, un server sviluppato da ESRI che permette l'interazione tra dati mostrati sulla mappa e quelli presenti nel geodatabase, rappresentato da SQL Server.

L'unione di questi software ha permesso di creare un sistema potente con cui vengono digitalizzati ogni giorno grandi moli di dati, tra cui il sistema fognario che viene considerato per questo progetto.

Il webGIS “Catasto Del Sottosuolo” è in grado di mostrare su di una mappa georiferita con EPSG 32632 tutti i dati della rete fognaria identificati come punti e linee: i nodi rappresentano i pozzetti da cui è possibile effettuare ispezioni per il controllo, e tutti quegli apparecchi sparsi nel territorio che possono essere identificati in maniera puntuale, come impianti di sollevamento, i depuratori, gli sforatori, e molti altri. Gli archi rappresentano invece le linee di connessione che incidono su tali nodi. Questi oggetti sono interrogabili grazie ad un semplice click del mouse, che permette la visualizzazione di un menù a tendina, su cui sono riportate tutte le informazioni che compongono l'elemento.

Per il caso di studio sono stati presi in esame i sollevamenti, che sono rappresentabili con dei nodi, per mezzo di triangolini gialli.



Questo perché un'altra potenzialità del GIS è quella di poter rappresentare graficamente gli oggetti. Grazie ad una stilizzazione che può essere effettuata in base ai parametri che compongono gli elementi nel database, si parla anche di categorizzazione.

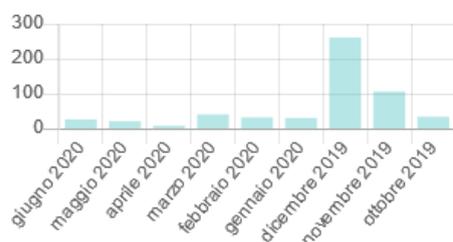
Una volta cliccato il punto che rappresenta un impianto, le informazioni che si possono visualizzare sono: il nome del nodo, il materiale di cui è composto, le dimensioni, le angolazioni con cui incidono le condotte, le pompe presenti, foto e video dello Stato interno, è il monte ore visualizzato nei contatori contenuti nella centralina. Quest'ultima informazione è a sua volta interrogabile e permette di visualizzare l'andamento medio, anche con l'ausilio di un grafico, delle ore di lavoro raccolte manualmente dai manutentori una volta ogni 45 giorni.

Con i dati raccolti dai sensori si è potuto dinamicizzare questo catalogo aggiungendo informazioni nuove che cambiano continuamente nel tempo.

Fino ad ora queste misurazioni sono state statiche e potevano offrire solo un andamento medio analizzabile l'una tantum, cioè solo dopo l'inserimento delle ore da parte dei tecnici. Con l'integrazione dei dati del dispositivo IoT, raccolti attraverso uno smartphone e rilanciati sul geodatabase on-line, è stato possibile dinamicizzare tali informazioni permettendo di avere una conoscenza puntuale del funzionamento dei vari impianti giorno per giorno. Se ci fosse stato uno sversamento da parte di qualche malfattore o ci fosse stata una perdita dovuta ad una condotta dell'acquedotto malconcia lungo la linea che porta al sollevamento, la si sarebbe potuta individuare tempestivamente osservando delle anomalie sulle ore di funzionamento nei sollevamenti, potendone comprendere il momento iniziale in cui è venuto il fatto.

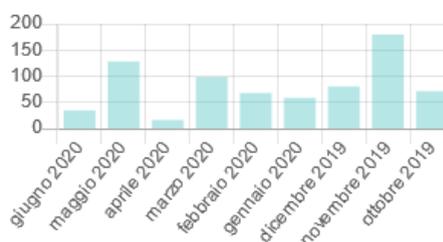
Pompa 1

Data	Ore
giugno 2020	25h 59m
maggio 2020	20h 55m
aprile 2020	7h 49m
marzo 2020	40h 19m
febbraio 2020	32h 0m
gennaio 2020	30h 15m
dicembre 2019	260h 45m
novembre 2019	106h 9m
ottobre 2019	33h 29m



Pompa 2

Data	Ore
giugno 2020	34h 30m
maggio 2020	128h 6m
aprile 2020	16h 18m
marzo 2020	98h 39m
febbraio 2020	67h 46m
gennaio 2020	58h 42m
dicembre 2019	80h 20m
novembre 2019	179h 34m
ottobre 2019	71h 22m



4 - Osservazioni

4.1 - Installazione sul campo

Una volta creato un sistema stabile in grado di raccogliere le informazioni da un singolo impianto di sollevamento, era giunto il momento di testare le sue potenzialità applicandolo su un'area più vasta, grande almeno come quella di un piccolo comune, in modo da poter individuare le eventuali anomalie negli andamenti della rete. A tale scopo l'ente ha proposto di testare il monitoraggio sul comune di Maserà di Padova (PD), dove si sono potuti osservare, anche grazie al supporto del webGIS "Catasto Del sottosuolo", diverse anomalie sul numero totale di ore rilevate negli impianti. A Maserà sono distribuiti lungo tutto il territorio 16 impianti di sollevamento, connessi ad una rete isolata che porta le acque reflue in un depuratore posto al centro del paese. Dopo un'analisi preliminare, che ha permesso di individuare la posizione delle apparecchiature e di determinare le specifiche per l'apertura del cantiere di lavoro, è iniziata ufficialmente la campagna di installazione dei dispositivi IoT all'interno degli impianti. L'installazione complessiva ha richiesto circa una settimana di tempo, durante la quale si ha avuto modo di cogliere differenze importanti rispetto agli schemi di progettazione cartacei. Tali variazioni non hanno comportato problemi particolari, se non quello di dover riadattare qualche componente della cabina per garantire il corretto funzionamento dell'intero impianto.

4.2 - I risultati del monitoraggio

Il monitoraggio del comune di Maserà è iniziato nel febbraio del 2019 ed è tuttora in corso. Se ci si avvicina agli impianti è possibile osservare sullo smartphone, nella schermata dedicata alle reti Wi Fi, la presenza di una dicitura simile a "Pompa ise35", che indica la presenza del sensore IoT costruito con le schede Raspberry. Dai rilevamenti si è osservato che un sollevamento in condizioni ottimali spende circa dai 3 ai 10 minuti per svuotare l'intero contenuto della vasca e riversarlo in un pozzetto posto ad una quota più alta.

L'intervallo tra un'attivazione e l'altra può variare dai 15 minuti, per impianti su cui versano molte condotte principali con diversi allacciamenti annessi, fino ad arrivare a intere giornate di attesa, per quelli posti all'estremità della rete.

Le pompe vengono azionate in modo alternato. Questo garantisce un tempo di riposo minimo che permette il raffreddamento del motore.

Si tenga presente che per ipotesi il sistema fognario in fase di monitoraggio gestisce unicamente le acque reflue, lasciando la gestione di quelle pluviali ad una rete separata.

Alcuni impianti hanno mostrato subito delle anomalie, indipendentemente dalla presenza o meno di giornate piovose. Su questi si è osservato una continua alternanza tra stato di accensione e stato di spegnimento. Si pensava inizialmente che il dato riportato fosse falsato da qualche bug del sistema IoT, ma è stato presto smentito osservando che le vasche di contenimento risultavano sempre scariche, indipendentemente dal numero di versamenti che potevano verificarsi. Da queste informazioni si è capito che il problema dipendeva principalmente da un attorcigliamento di almeno uno dei cavi che compongono i galleggianti di massima: poiché essi determinano l'effettivo funzionamento delle pompe, se attorcigliati, trasferiscono il loro compito al galleggiante di minima, che diventa di fatto l'unico galleggiante disponibile in tutto l'impianto. Trovandosi alla quota più bassa rispetto agli altri, forzerà l'attivazione del sollevamento non appena il liquido raggiungerà qualche decina di centimetri di altezza. Questa alternanza continua, tra stato di accensione e spegnimento, porta inevitabilmente alla rottura delle pompe con il conseguente disservizio dell'impianto.

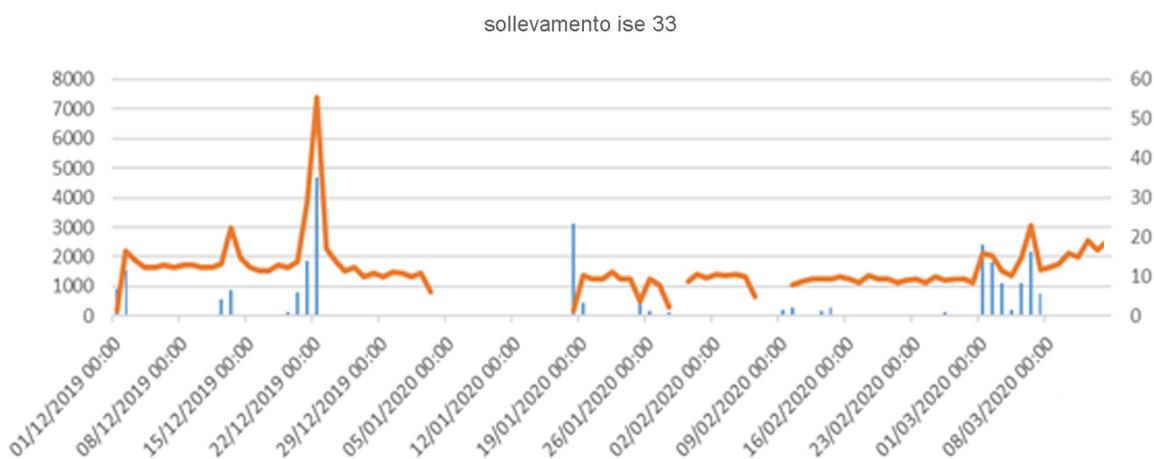
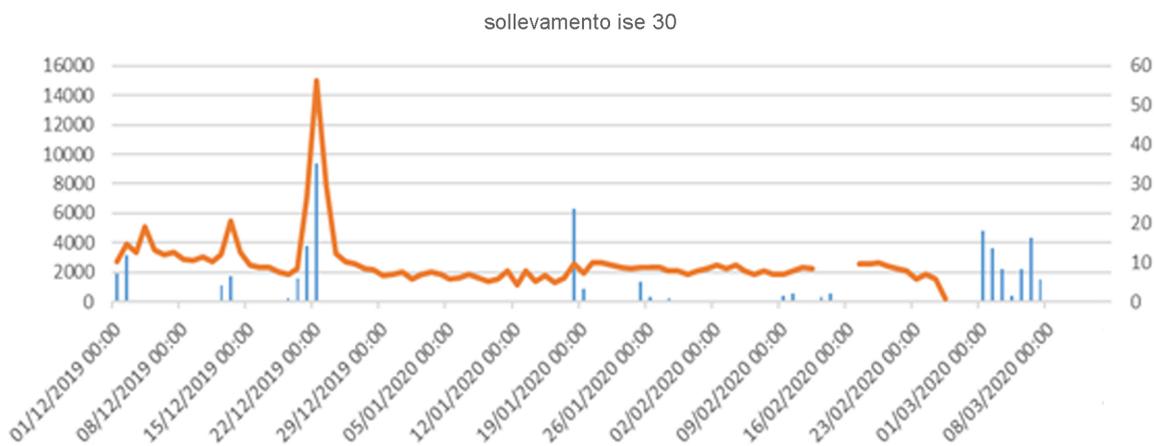
Un altro fattore che può verificarsi è il blocco della sfera contenuta all'interno del galleggiante stesso. In questo caso il problema non è visibile ma porta le stesse informazioni durante il monitoraggio, assieme alle conseguenze appena descritte.

Per risolvere il problema occorre aprire il comparto vasche e rilasciare i galleggianti bloccati.

In altri casi invece una delle pompe poteva rimanere costantemente in funzione, a volte anche per diverse settimane, facendo salire a dismisura le lancette dei contatori. Questo fenomeno, a differenza dei precedenti, si verificava quando il blocco riguardava il galleggiante di minima, ovvero il sensore che determina lo spegnimento dei macchinari. Una volta che l'impianto entra in funzione e le vasche vengono svuotate, è la posizione di questo galleggiante che determina se c'è ancora materiale da rilanciare, per cui, se esso rimane bloccato, una volta che la pompa è entrata in funzione il sistema non è più in grado di capire se l'intero contenuto è stato smaltito o meno. Questo non solo determina il continuo funzionamento dell'impianto, ma porta inevitabilmente all'usura e alla rottura del macchinario, che lavora ininterrottamente finché qualcosa non ristabilisca il corretto funzionamento del galleggiante. Anche questo è un problema che si può risolvere agendo direttamente sul sensore.

I dati più significativi sono stati acquisiti in occasione di un forte temporale avvenuto in data 22 dicembre 2019. Circa 30 minuti dopo che la pioggia è iniziata a scendere, alcuni sollevamenti che si trovano alle estremità della rete sono entrati in funzione e hanno continuato il loro lavoro

ininterrottamente per circa 90 minuti. Dopo 1 ora dallo spegnimento sono entrati in funzione altri impianti posti in serie ai precedenti. Questi nuovi macchinari hanno poi lavorato per altri 100 minuti prima di fermarsi. Il processo di rilancio è continuato per alcune ore creando una sorta di effetto valanga, che ha portato la mole di acque reflue fino all'impianto di depurazione. Dalle informazioni raccolte si è potuto dedurre come gli effetti temporaleschi siano la causa principale dello stato di sofferenza del depuratore. Questo significa che alle estremità della zona, in prossimità dei tratti che giungono ai sollevamenti, esistono delle connessioni che permettono all'acqua piovana di penetrare nella condotta fognaria, aumentando notevolmente la portata complessiva all'interno della rete.



■ precipitazioni — sollevamento

Il grafico presentato mette in correlazione le rilevazioni ottenute con il monitoraggio di alcuni sensori Rpi - IoT (linea arancione) e quelle ottenute dal pluviometro installato in uno degli impianti (linee azzurre). Come si evince, nei giorni in cui si sono verificati fenomeni piovosi si ha avuto un incremento del numero di ore spese dagli impianti di sollevamento: nel grafico riportato si vede come questo accada nei giorni del 1 dicembre, 15 dicembre e in particolar modo il 22 dicembre, dove si ha avuto un picco notevole. Mancano alcune informazioni sui sollevamenti nel periodo compreso tra gennaio e febbraio a causa di alcuni aggiornamenti effettuati e questo fatto è evidenziato da alcuni tratti di linea arancione assenti.

Nel novembre del 2019, l'ente ha richiesto di poter effettuare una simile campagna di monitoraggio anche sul comune di Pojana Maggiore (VI) dove sono stati installati altri 12 dispositivi. Ad un anno dall'inizio del progetto altri impianti sono stati integrati con i sensori IoT, per un totale di 40 apparecchi sparsi nel territorio. Tuttora i dati vengono raccolti e trasferiti al webGIS mediante smartphone.

4.2 - Problematiche complessive

1. Il minutaggio rilevato dalla scheda Raspberry si è rivelato sufficientemente accurato per lo scopo proposto dal progetto. Prima di procedere all'installazione del sensore, si è preso nota del valore segnalato dal contatore analogico, a impianto spento, e lo si è inserito nel database del dispositivo indicandolo come istante da cui iniziare ad effettuare le misurazioni. Dopo 365 giorni si è tornati all'impianto per confrontare i valori registrati con quelli analogici: si è osservato che il Raspberry rimane indietro di circa 1 ora rispetto alla misurazione visibile sul contatore meccanico presente all'interno dell'impianto stesso. Questo margine è principalmente dovuto alla parte di programmazione dedicata alla valutazione delle oscillazioni sui PIN nel Raspberry. Effettuando letture a ciclo continuo, per quanto l'intervallo di iterazione sia piccolo, si compie sempre un errore dell'ordine di frazioni di secondo che identificano la sensibilità dello strumento. Queste perdite, che vengono sommate di volta in volta sul database, producono dei piccoli scostamenti dal valore reale, che sono visibili solamente dopo aver acquisito dati per un tempo sufficientemente lungo. Si tenga presente che il contatore meccanico contenuto nei quadri elettrici è composto da ingranaggi numerati che evidenziano solamente il numero totale di ore spese dalle pompe, e, proprio per la sua natura, non è in grado di fornire ulteriori informazioni su minuti e secondi.

2. La gestione del calore sul processore del Rpi. Posto a temperatura ambiente, il processore è in grado di sviluppare una temperatura che si aggira attorno ai 40 °C. Dovendo lavorare in una cabina elettrica situata all'aperto, il core del Raspberry è continuamente sottoposto a sbalzi di temperatura: in inverno, dove si possono toccare valori intorno ai -10 °C, poteva mantenere temperature intorno ai 20 °C, in estate invece, dove le temperature esterne superano i 40 °C, si avvicinava alla temperatura critica di 75 °C, molto vicina a quella di soglia massima, posta a circa 80 °C. Il superamento della temperatura limite provocherebbe l'immediato spegnimento del dispositivo, per impedire danneggiamenti ai componenti interni del processore. Per scongiurare tale rischio è stato inserito un dissipatore sulla superficie del core, che ha garantito un abbassamento di temperatura valutata attorno ai 60 °C.

3. La scelta del canale per la comunicazione Wi-Fi. Alcuni impianti sono situati su zone urbane caratterizzate da una presenza massiccia di ulteriori rete Wi-Fi. Tale condizione provocava interferenze nelle operazioni di trasferimento dei dati tra Rpi-IoT e lo smartphone, con evidenti rallentamenti nella comunicazione e frequenti disconnessioni dalla rete. Utilizzando l'app gratuita "Wi-Fi Analyzer", si sono potute analizzare le caratteristiche principali delle reti presenti, individuando i canali usati e quelli rimasti liberi. Dai dati rilevati è stato possibile impostare un settaggio corretto per garantire una trasmissione efficiente e libera da interferenze.

5 - Conclusioni

La sperimentazione descritta ha condotto alla realizzazione di un sistema che permettesse la raccolta delle informazioni inerenti alle ore di funzionamento delle pompe negli impianti di sollevamento attraverso l'utilizzo delle tecnologie Internet of Things implementate per mezzo di un dispositivo elettronico a basso costo chiamato Raspberry. Il sensore è stato connesso alla cabina elettrica tramite una scheda realizzata ad hoc ed è stato implementato il codice necessario a gestire le informazioni che giungevano dalle pompe. Successivamente si è aggiornato il programma in modo da renderlo compatibile con altri sensori ausiliari come il rilevatore di pioggia installato appositamente per verificare una eventuale correlazione con gli effetti meteorologici. Effettuati i test per la verifica del corretto funzionamento si è passati allo sviluppo della parte di trasferimento dati: è stato creato un server all'interno del dispositivo IoT per trasmettere le informazioni all'esterno, per poi passare alla creazione di un applicativo Android utile per raccogliere e visualizzare le informazioni ricevute. Sono stati effettuati ulteriori test per verificare la comunicazione tra Raspberry e smartphone effettuando delle verifiche nelle varie condizioni di utilizzo quali: campo aperto, spazio urbano e ambienti interni.

Ultimata la comunicazione tra i due dispositivi è iniziata la fase di ampliamento del webGIS on-line, per predisporlo alla raccolta dei dati inviati dallo smartphone. Completata la terna che realizza l'intera comunicazione, sono stati installati vari dispositivi lungo il territorio per verificare il comportamento degli impianti di sollevamento durante la loro quotidiana attività. L'applicazione è stata poi installata negli smartphone dei referenti di zona in modo che potessero raccogliere le informazioni dai dispositivi Internet of Things, sfruttando il loro lavoro di controllori che li obbliga a muoversi continuamente lungo tutto il territorio.

Nonostante il mercato attuale offra diverse soluzioni per il monitoraggio degli oggetti di interesse con le tecnologie IoT, questo progetto ha mostrato di essere una valida alternativa che, seppur con i suoi limiti, è in grado di acquisire dati abbattendo il vincolo dei costi fissi legati alla necessità di utilizzare schede sim, e senza disporre di dispositivi di interfacciamento specifici.

Ma soprattutto, alla luce dei risultati ottenuti si può dire che sia in grado di segnalare le anomalie nel funzionamento delle pompe permettendo di intervenire preventivamente e di evitare quindi fenomeni di usura, rottura e i connessi disservizi.

Inoltre si tenga presente che se anche il progetto qui presentato è stato costruito con l'obiettivo di acquisire dati dai contatori degli impianti di sollevamento, il sistema è completamente configurabile: se si guarda la struttura in tutta la sua interezza si potrà notare come l'architettura IoT può essere modellata a piacimento e questo garantisce la possibilità di interfacciarsi con oggetti le

cui informazioni sono completamente diverse, indipendentemente dal tipo di ambito considerato (agricolo, marino, industriale, etc..). I dispositivi che si trovano in commercio invece sono specifici, e non permettono variazioni. Bisogna ogni volta rivolgersi all'azienda del settore e comprare l'apparecchio più consono per svolgere il lavoro richiesto.

A tal proposito, il fatto di aver creato un'applicazione disponibile per Android ha inoltre aumentato il range dei possibili utilizzatori: non importa se si possieda uno smartphone di marca Samsung, Huawei o altri, il programma è comunque funzionale a tutti i dispositivi e si scongiura così il rischio di dover gestire molti applicativi diversi.

Ad arricchire il sistema IoT qui c'è anche la potenza del webGIS, che con il geodatabase ha permesso di fare le analisi spaziali con cui si è evidenziato lo spostamento dei flussi d'acqua sulla rete fognaria, contribuendo al calcolo dei tempi di inizio attività per ciascun impianto rappresentandoli sulla mappa. Senza questa visualizzazione non si sarebbe potuto fare la valutazione di insieme che ha permesso all'ente di comprendere la problematica e poi di risolverla. Infine, uno degli aspetti caratteristici di questo progetto è stato l'impiego del protocollo di comunicazione Wi-Fi che va a sostituire altri sistemi attualmente in uso come LoRa, ZigBee, etc.. Questi sono stati infatti considerati non adeguati in quanto la mole di dati trasferibile risultava insufficiente, come pure la distanza coperta dal segnale: questi due fattori tra l'altro risultano tra loro inversamente proporzionali. Inoltre la scelta del Wi-Fi permette di evitare i limiti legali imposti sulle frequenze radio su cui si basano gli altri sistemi.

Nel suo complesso, con questa tesi si è voluto dimostrare l'esistenza di un sistema alternativo per acquisire dati dal territorio, trasferendoli ad un webGIS on-line attraverso uno smartphone. Questo non vuole essere un punto di arrivo ma l'inizio di qualcosa più grande che forse un giorno vedrà connessi una miriade di dispositivi tra loro, con tecnologie a basso costo, che possono rimanere indipendenti dai sistemi provvisti da sim 4G e 5G.

Bibliografia

- [1] Ashton, Kevin. "That 'Internet of Things' Thing." RFID Journal, 22 Giugno 2009.
- [2] Bellini, Mauro. "*Cos'è l' IoT (Internet of Things): definizione e genesi dell' internet delle cose*", 19 Maggio 2020.
- [3] Corradeghini, Paolo. "I Codici EPSG." 2017, <https://3dmetrica.it/i-codici-epsg/>.
- [4] Lanza, Francesco. "Raspberry Pi: Guida all'uso." 26 Marzo 2018,
- [5] *The Raspberry Pi GPIO pinout guide*, <https://pinout.xyz>.
- [6] Vito Lavecchia. *Caratteristiche, usi e funzionamento del Raspberry Pi*.
- [7] Amity University Mumbai, India. "IoT based Sewage Monitoring System." 9 Ottobre 2020.
- [8] Jessica Davies. "Troubles *Downstream: IoT Meets the Sewer*", 02 Ottobre 2018.
- [9] Liu Shu-jin, and Zhu Guo-qing. "The application of GIS and IoT technology on Building fire evacuation." 2014.
- [10] Giulia Cisotto, Anna V. Guglielmi, Leonardo Badia, and Andrea Zanella. "Joint compression of EEG and EMG signals for wireless biometrics." IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp. 1-6, 2018.
- [11] Ángel Fernández Gambin, Elvina Gindullina, Leonardo Badia, and Michele Rossi. "Energy cooperation for sustainable IoT services within smart cities." IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 1-6, 2018.
- [12] Wooseong, Kim, et al. "Smartphone assisted personal IoT service." 2015.
- [13] Nicolò Michelusi, Leonardo Badia, and Michele Zorzi. "Optimal transmission policies for energy harvesting devices with limited state-of-charge knowledge." IEEE Transactions on Communications 62, no. 11 (2014): 3969-3982.
- [14] Leonardo Badia, Marco Levorato, Federico Librino, and Michele Zorzi. "Cooperation techniques for wireless systems from a networking perspective." IEEE Wireless Communications 17, no. 2 (2010): 89-96.