



Università Politecnica delle Marche

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica e dell'Automazione

Acquisizioni e trasmissioni di misure ottenute tramite sensori utilizzando l'ESP32 come client e comunicazione con il broker MQTT

Corso di Sistemi Operativi Dedicati

Professore

Prof. Daniele Marcozzi

Gruppo 8

Eris Prifti
Wafa Mohammad

Anno accademico 2022-2023

Indice

1	Introduzione	2
2	Componenti	2
2.1	Broker MQTT	3
2.2	ESP32	3
2.3	Sensore temperatura e pressione BMP280	4
2.4	Sensore di luminosità BH1750	4
2.5	Modulo RTC PCF8523	5
3	Implementazione	5
3.1	Realizzazione dello schema elettrico	6
3.2	MQTT	8
3.3	Arduino	9
3.3.1	Librerie e inizializzazione	10
3.3.2	Task per la lettura dei sensori	11
3.3.3	Task per l'invio dei dati al broker	12
3.3.4	Altre funzioni	12
3.4	Node Red	13
3.4.1	Installazione	13
3.4.2	Dashboard	15
3.5	MySQL	19
4	Problemi durante la realizzazione e soluzioni	23
5	Implementazioni future	24
6	Conclusioni	24

1 Introduzione

Il progetto consiste nell'andare ad utilizzare il sistema operativo Ubuntu versione 22.04 basato su Linux, visto a lezione, per andare a sviluppare attraverso un microcontrollore ESP32 un meccanismo di comunicazione tra quest'ultimo e il sistema operativo installato in una macchina virtuale. Praticamente non verrà utilizzato solo l'ESP32 come componente fisico ma ci saranno anche altri elementi come un sensore per la misura della luminosità, un sensore per la misura della temperatura e pressione ed inoltre sarà disponibile un modulo RTC utilizzato per tenere traccia dell'ora e della data.

Quello appena descritto si può riassumere nel seguente schema in figura 1:

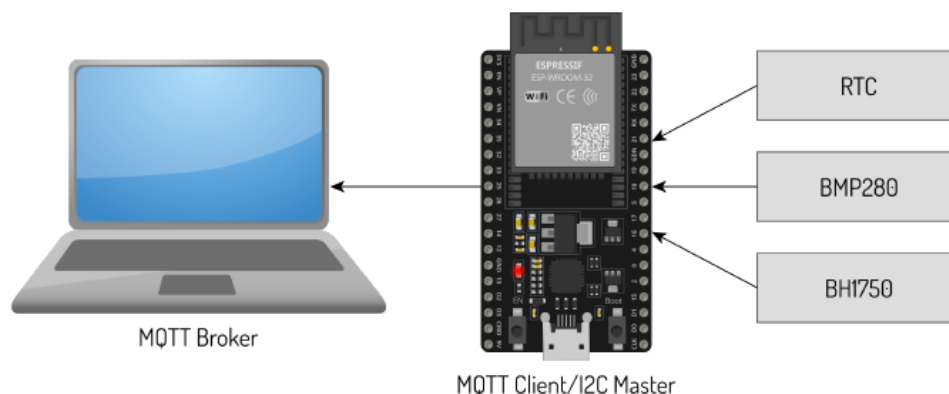


Figura 1: Schema a blocchi

Il sistema da realizzare dovrà rispettare le seguenti specifiche: la scheda ESP32 avrà il compito di acquisire le misure dai vari sensori (associandogli un time stamp) e comunicarle mediante protocollo MQTT al broker. Il coordinamento dei vari task che l'ESP32 dovrà svolgere sarà affidato a FreeRTOS. Il broker MQTT può essere implementato all'interno di un qualsiasi laptop/macchina virtuale con sistema operativo Linux. I dati registrati all'interno del server MQTT dovranno essere visualizzabili mediante browser WEB. Sarà necessario dare all'utilizzatore del sistema la possibilità di accedere allo store dei dati.

2 Componenti

Il sistema utilizzato è composto dai seguenti componenti:

- broker MQTT
- ESP32
- Sensore di temperatura e di pressione BMP280
- Sensore di luminosità BH1750
- Modulo RTC PCF8523 per il timestamp

I vari sensori utilizzano per la comunicazione il protocollo I2C. Il protocollo permette la comunicazione di dati tra due o più dispositivi I2C utilizzando un bus (canale di comunicazione) a due fili, più uno per il riferimento comune di tensione; L'I2C è progettato per consentire la comunicazione tra dispositivi utilizzando solo due linee di segnale: SDA (Serial Data Line) e SCL (Serial Clock Line). SDA è la linea bidirezionale utilizzata

per il trasferimento effettivo dei dati, mentre SCL è la linea di clock generata dal dispositivo master per sincronizzare la comunicazione tra i dispositivi collegati.

Nel bus I2C, possono essere collegati più dispositivi utilizzando un'architettura a bus multi-master, il che significa che più dispositivi possono fungere da master e iniziano la comunicazione in momenti diversi. Tuttavia, nella maggior parte delle applicazioni, viene utilizzato un solo dispositivo master (come un microcontrollore) che controlla l'intera comunicazione nel bus I2C.

2.1 Broker MQTT

MQTT è un protocollo di messaggistica basato su standard, o un insieme di regole, utilizzato per la comunicazione tra macchine. I sensori intelligenti e altri dispositivi di Internet of Things (IoT) devono in genere trasmettere e ricevere dati su una rete con risorse limitate e larghezza di banda limitata. Questi dispositivi IoT utilizzano MQTT per la trasmissione dei dati, in quanto è facile da implementare e può comunicare i dati IoT in modo efficiente. MQTT supporta la messaggistica tra dispositivi e cloud e tra cloud e dispositivo. Il broker MQTT è il sistema backend che coordina i messaggi tra i diversi client. Le responsabilità del broker comprendono la ricezione e il filtraggio dei messaggi, l'identificazione dei client sottoscritti a ciascun messaggio e l'invio dei messaggi a questi. E inoltre responsabile di altri compiti quali:

- Autorizzare e autenticare i client MQTT
- Passare i messaggi ad altri sistemi per ulteriori analisi
- Gestire i messaggi persi e le sessioni dei client

Nella figura 2 si può vedere il funzionamento in maniera schematica del MQTT-Broker.

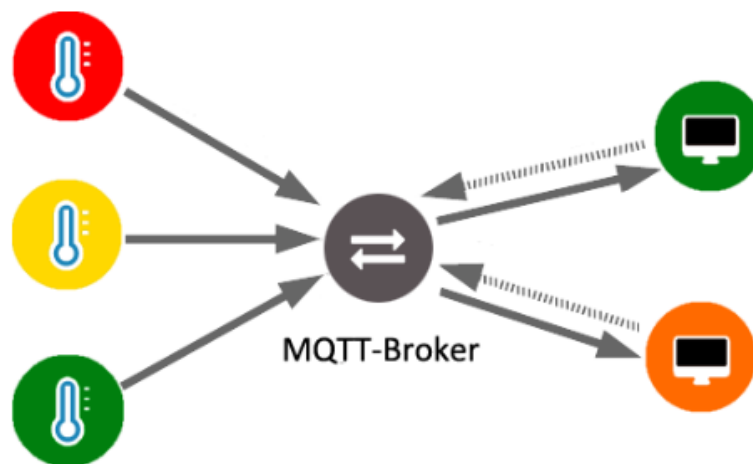


Figura 2: Schema Mqtt

2.2 ESP32

L'ESP32 è un microcontrollore, una scheda versatile e potente per la progettazione di dispositivi connessi e di sistemi IoT. Con le sue funzionalità avanzate e le periferiche integrate, consente di creare soluzioni innovative e personalizzate per soddisfare le esigenze specifiche dei progetti. Una delle principali caratteristiche dell'ESP32 è la sua capacità di elaborazione parallela (valida solo in caso di processore multicore), che gli consente di gestire più processi contemporaneamente. Questo significa che è possibile eseguire diverse

operazioni, come la connessione WiFi, l'elaborazione di dati, il controllo di dispositivi esterni, tutti allo stesso tempo. Un'altra caratteristica interessante dell'ESP32 è la sua capacità di funzionare come un dispositivo dual-mode, ovvero può essere utilizzato sia come un dispositivo autonomo che come un modulo slave in un sistema più grande. Ciò lo rende particolarmente utile per l'Internet of Things (IoT), poiché consente di creare dispositivi connessi in modo semplice e conveniente.

Nella figura 3 si può osservare l'ESP32.

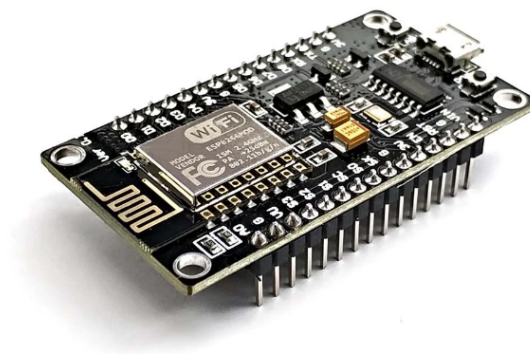


Figura 3: ESP32

2.3 Sensore temperatura e pressione BMP280

Il BMP280 è un sensore che permette la misurazione della temperatura e della pressione atmosferica, ideale per tutti i tipi di rilevamento meteorologico e può essere utilizzato sia in I2C (per un cablaggio semplice e facile) che in SPI (per poter collegare un gruppo di sensori portando a zero il rischio delle collisioni di indirizzi I2C). Tale sensore è in grado di misurare la pressione barometrica con una precisione assoluta di ± 1 hPa e la temperatura con una precisione di $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$. Poiché la pressione cambia con l'altitudine e le misure di pressione sono così buone, è possibile utilizzarlo anche come altimetro con una precisione di ± 1 metro. Nella figura 4 si può osservare il sensore utilizzato per la misura della temperatura e della pressione.

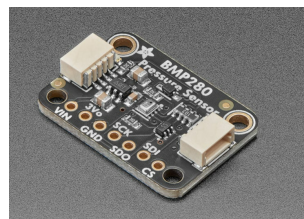


Figura 4: Sensore temperatura, umidità e pressione

2.4 Sensore di luminosità BH1750

Il BH1750 è un sensore di luce ambientale in grado di rilevare la quantità di luce in un ambiente. Il BH1750 fornisce misurazioni della luce a 16 bit in lux, l'unità SI per la misurazione della luce, facilitando il confronto con altri valori, come i riferimenti e le misurazioni di altri sensori. Il BH1750 è in grado di misurare da 0 a 65K+ lux, ma lavorando sulla sua calibrazione e sul tempo di misurazione, può essere usato per misurare fino a 100.000 lux.

Nella figura 5 si può osservare il sensore utilizzato per la misura della luminosità.

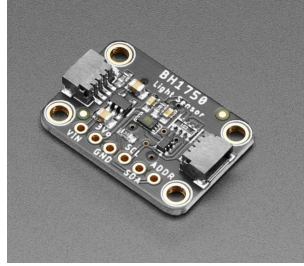


Figura 5: Sensore luminosità

2.5 Modulo RTC PCF8523

IL RTC PCF8523 è un ottimo orologio in tempo reale (RTC) a batteria che consente al vostro microcontrollore di tenere traccia dell'ora anche se viene riprogrammato o se viene a mancare l'alimentazione. Perfetto per il datalogging, la costruzione di orologi, la marcatura temporale, i timer e gli allarmi, ecc. RTC PCF8523 può funzionare con alimentazione a 3,3V o 5V.

Nella figura 6 si può osservare il modulo RTC utilizzato per il timestamp.

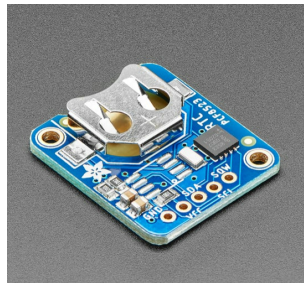


Figura 6: Modulo RTC

3 Implementazione

La realizzazione dell'intero progetto è stato suddiviso principalmente in due sezioni: una prima parte riguardante l'aspetto hardware e una seconda parte riguardante l'aspetto software. Nel dettaglio, l'implementazione del progetto è stata suddivisa nelle seguenti fasi:

- Assemblaggio dei vari componenti hardware.
- Installazione e configurazione del broker MQTT.
- Sviluppo del codice per la programmazione dell'ESP32 attraverso l'Ide di Arduino.
- Installazione e configurazione di Node-Red per la realizzazione di una dashboard.
- Installazione di Xampp per la creazione di un database per la gestione dello storico.

Le suddette fasi saranno descritte in dettaglio nei paragrafi seguenti.

3.1 Realizzazione dello schema elettrico

Lo schema elettrico è stato molto semplice da realizzare attraverso l'utilizzo del sito di Adafruit, ente che ha prodotto questi sensori e continua a produrli. Infatti nei datasheet di Adafruit è possibile trovare come collegare i vari pin dell'ESP32 ai vari sensori.

I due sensori, il BMP280 e il BH1750, vengono collegati in serie attraverso il cavo Qwiic JST SH 4-Pin (cavo dotato di connettori JST SH a 4 pin su entrambe le estremità); Il cavo Qwiic JST SH 4-Pin è un cavo utilizzato per connettere dispositivi compatibili con l'interfaccia Qwiic. L'interfaccia Qwiic è un sistema di connessione plug-and-play sviluppato da SparkFun Electronics che semplifica la connessione tra vari moduli e sensori senza la necessità di saldature o configurazioni complesse.

Il cavo Qwiic JST SH 4-Pin è progettato con un connettore JST SH a 4 pin su entrambe le estremità. Questo tipo di connettore è compatibile con molti moduli Qwiic, consentendo di collegare facilmente i dispositivi tra loro senza errori di polarità o collegamenti incrociati. I quattro pin nel cavo sono (nel nostro caso):

- Il colore nero viene utilizzato per il GND (Ground).
- Il colore rosso viene utilizzato per l'alimentazione 3.3V.
- Il colore blu per l'SDA (Serial Data Line) utilizzato per l'implementazione del protocollo I2C.
- Il colore giallo per SCL (Serial Clock Line) utilizzato per l'implementazione del protocollo I2C.

Con il cavo Qwiic JST SH 4-Pin, è possibile collegare facilmente diversi moduli e sensori Qwiic tra loro creando una rete di dispositivi interconnessi. Questo semplifica notevolmente il processo di prototipazione e sviluppo di progetti, consentendo di risparmiare tempo e sforzi nella connessione dei componenti e concentrarsi maggiormente sulla programmazione e l'interazione con i dati provenienti dai sensori. Se i collegamenti tra i pin dell'ESP32 e i pin dei sensori vengono scambiati, il funzionamento del sistema viene compromesso e si verifica un riscaldamento dei vari dispositivi che potrebbe danneggiarli. In figura 7 è possibile osservare il cavo per collegare in serie i due sensori e anche i suoi colori descritti in precedenza.

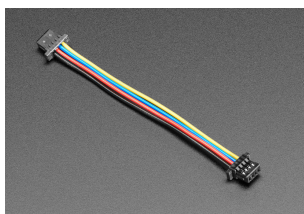


Figura 7: Cavo 4 pin

Per quanto riguarda tutto lo schema elettrico e le connessioni dei sensori ai pin dell'ESP32, sono presenti i seguenti collegamenti:

- Il pin 3.3V dell'ESP32 viene collegato alla Vin del sensore BMP280 e HB1750 e anche alla VCC del sensore RTC-PCF8523.
- Il pin GND dell'ESP32 viene collegato ai pin GND dei vari sensori.
- Il pin G22 dell'ESP32 viene collegato ai pin SCL dei vari sensori.
- Il pin G21 dell'ESP32 viene collegato ai pin SDA dei vari sensori.

Nella 8 è possibile visualizzare i collegamenti realizzati utilizzando il software **Fritzing**. Fritzing è un software open-source di progettazione elettronica che consente agli utenti di creare schemi elettrici in modo intuitivo.

Questo software è stato utilizzato per creare uno schema complessivo dei collegamenti, che rende più facile l'osservazione e la comprensione del circuito.

I collegamenti sono stati realizzati in modo sequenziale, seguendo l'ordine dispositivo-breadboard-dispositivo, al fine di semplificare la lettura dello schema. Ciò significa che i collegamenti del sensore sono stati disposti in modo da essere facilmente identificabili e comprensibili sulla breadboard.

Lo schema creato nel software Fritzing rappresenta una rappresentazione visiva dei collegamenti elencati in precedenza, consentendo di visualizzare chiaramente come i vari componenti sono collegati tra loro. Questo aiuta nella comprensione complessiva del circuito e facilita la verifica dei collegamenti effettuati in base alle specifiche desiderate.

In sintesi, la 8 rappresenta uno schema realizzato con il software Fritzing, che visualizza in modo chiaro e comprensibile i collegamenti sequenziali tra il sensore e la breadboard, consentendo una migliore interpretazione e comprensione del circuito elettronico.

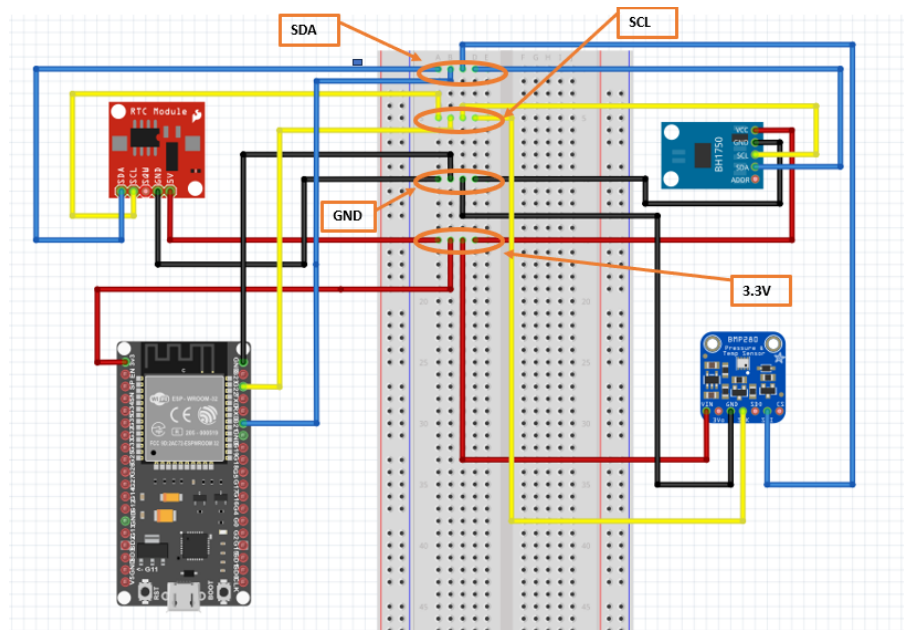


Figura 8: Schema elettrico

Nella figura 9 osserviamo l'intero collegamento fisico tra i vari componenti: il modulo di colore rosso rappresenta il modulo RTC, il dispositivo di colore nero invece rappresenta l'ESP32 mentre i due sensori di colore blu raffigurano rispettivamente il sensore di luminosità (BH1750) ed il sensore relativo alla pressione, umidità e temperatura (BMP280).

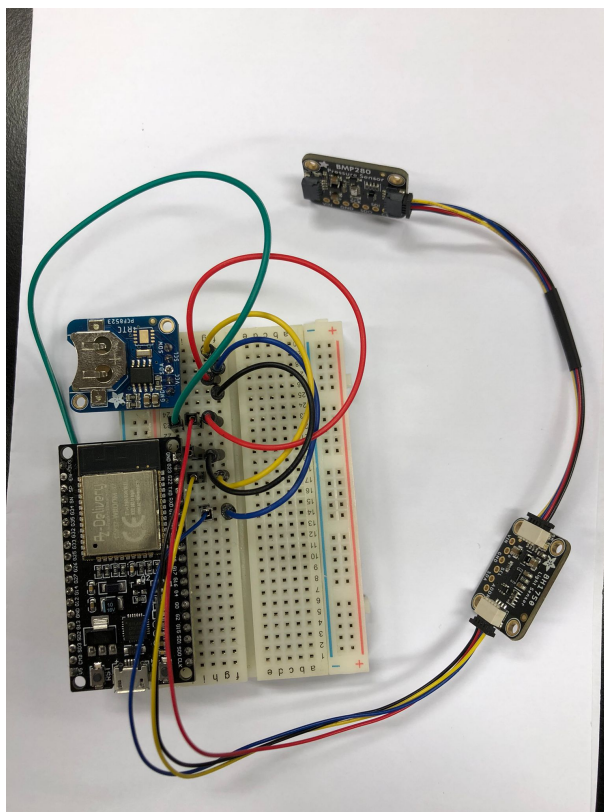


Figura 9: Schema fisico

3.2 MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) è un protocollo di messaggistica leggero e di facile implementazione progettato per le comunicazioni tra dispositivi con risorse limitate e connessioni di rete instabili. Basato sul publish-subscribe, progettato per consentire la comunicazione tra dispositivi, come sensori e dispositivi IoT (Internet of Things). E' stato deciso di utilizzare come broker MQTT **Mosquitto**. Di seguito viene riportata l'installazione di Mosquitto all'interno del sistema operativo Ubuntu.

Gli step per installare e configurare l'applicativo sono i seguenti :

1. Assicurarsi di avere accesso a Internet per poter scaricare il software necessario.
2. Aprire il terminale sul sistema.
3. Installare i pacchetti **mosquitto** e **mosquitto-clients** con il seguente comando:

```
sudo apt update && sudo apt install mosquitto mosquitto-clients -y
```

Il comando **sudo** è l'abbreviazione dalla lingua inglese di super user do, *"esegui come super utente"*, in informatica, è un programma per i sistemi operativi Unix e Unix-like che, con dei vincoli, permette di eseguire altri programmi assumendo l'identità (e di conseguenza anche i privilegi) di altri utenti.

4. Durante l'installazione, potrebbe essere necessario la conferma dell'installazione e l'accettazione di eventuali dipendenze aggiuntive richieste dal broker Mosquitto (nel nostro caso abbiamo fatto in modo di rispondere in modo automatico attraverso il codice -y inserito durante l'installazione).

5. Una volta completata l'installazione, il broker MQTT sarà in esecuzione sul nostro sistema Linux. Attraverso il seguente comando (sempre sul terminale) è possibile controllare lo stato del servizio:

```
sudo systemctl status mosquitto
```

6. Se non dovesse risultare attivo, attraverso il seguente comando si renderebbe tale:

```
sudo systemctl enable mosquitto
```

3.3 Arduino

L'IDE Arduino (Integrated Development Environment) è un ambiente di sviluppo software utilizzato per programmare e caricare codice sulle board Arduino (ad es. Arduino UNO, Arduino Mega, etc.); attraverso l'utilizzo di opportune librerie e possibile programmare altri device (nel nostro caso è stata scaricata la libreria dell'ESP32 in modo tale da potere programmare il dispositivo). Una volta fatto il collegamento tra i vari sensori e l'ESP32, si è proceduto all'implementazione del codice che verrà caricato successivamente sul controllore attraverso l'IDE di Arduino. Dopo aver eseguito il download dell'IDE dal sito ufficiale e installato quest'ultimo nel PC è stato necessario scaricare e installare le librerie relative all'ESP32 all'interno dell'IDE stesso. Quindi i procedimenti sono i seguenti:

1. Avviare Arduino Ide.
2. Nella barra dei menu in alto, cercare la voce "File", si aprirà un menù a tendina e selezionare "Preferences".
3. Selezionare "Additional board manager URLs e incollare il seguente link
https://espressif.github.io/arduino-esp32/package_esp32_index.json
Tutti i relativi codice si possono trovare nel seguente link Github: **<https://github.com/AMON00/IoT>**.

La scheda (board) sarà presente nella sezione "Strumenti" (Tools) e potrà essere selezionata. Inoltre, sarà necessario selezionare la porta seriale corretta per caricare il codice nell'ESP32.

In seguito, si devono scaricare le varie librerie utilizzate per l'implementazione totale del progetto sia per quanto riguarda i sensori che per quanto riguarda la parte dell'ESP32 utilizzato come client che comunica al broker MQTT.

Le librerie utilizzate vengono scaricate nella sezione **Tools**, aprendo il menù a tendina andando poi a selezionare **Manage libraries**. Di seguito vengono elencate le librerie scaricate e che sono state anche utilizzate:

- La libreria **Adafruit BMP280 library** per il sensore della temperatura e pressione.
- La libreria **hp_BH1750** per il sensore della luminosità.
- La libreria **RTCLib** per quanto riguarda il sensore dell'ora e della data.
- La libreria **PubSubClient** per la comunicazione del nostro client con il broker MQTT.
N.B. Questa libreria permette di pubblicare solo con un QoS 0 che non gestisce la ritrasmissione dei pacchetti.
- La libreria **ArduinoJson** per il selezionare dal file json che viene mandato da Node-red alcune caratteristiche per la sincronizzazione del modulo RTC in caso di qualsiasi problema che potrebbe accadere.
- Altre librerie che sono presenti nel codice e non vengono citate qui derivano dal download della scheda ESP32.

Le librerie scaricate includono esempi che sono stati utilizzati inizialmente per verificare il corretto funzionamento dei sensori e per testare gli indirizzi I2C dei vari sensori. Ad esempio, l'indirizzo 0x23 è l'indirizzo del sensore di luminosità BH1750, mentre l'indirizzo 0x77 è l'indirizzo del sensore di pressione e temperatura BMP280. Questi esempi sono stati utilizzati per confermare se i sensori rispondevano correttamente e se l'indirizzo I2C specificato era corretto.

Successivamente, dopo aver installato il broker MQTT e creato una bozza di dashboard nel browser web, è stato testato il funzionamento della libreria Pub-SubClient. Questa libreria consente di stabilire una connessione MQTT e di pubblicare o sottoscrivere a messaggi nel broker MQTT. I risultati di questi test sono stati positivi, indicando che la libreria Pub-SubClient funzionava correttamente e che era possibile comunicare con successo tra il client (ESP32) e il broker MQTT.

Queste prove e i risultati positivi ottenuti confermano che i sensori sono funzionanti, gli indirizzi I2C sono corretti e la libreria MQTT funziona come previsto. Ciò fornisce una base solida per proseguire con lo sviluppo e l'implementazione del sistema utilizzando i sensori, il broker MQTT e le funzionalità di comunicazione offerte dalla libreria Pub-SubClient.

Dopo aver verificato il corretto funzionamento, è stata effettuata una prima prova in cui i tre sensori sono stati utilizzati contemporaneamente, inviando i dati alla porta seriale. Tale prova ha avuto esito positivo. Successivamente è stata fatta una prova dove si andava ad utilizzare il **void loop**, senza utilizzare FreeRTOS, per controllare se si riuscisse ad avere una connessione con il broker e ad avere una visualizzazione dei dati utilizzando tutti i 3 sensori insieme alla libreria per il client.

Il codice implementato in Arduino è diviso in diverse parti le quali verranno viste in modo approfondito con le varie spiegazione nei vari sottocapitoli di seguito riportati.

3.3.1 Librerie e inizializzazione

Nella parte iniziale dello script vengono riportate tutte le librerie e anche le inizializzazioni per i parametri globali utilizzati. Un esempio di come includere una libreria è il seguente:

```
#include <freertos/FreeRTOS.h>
```

Una volta che sono state incluse tutte le librerie, si passa all' inizializzazione delle variabili globali come per esempio il payload che contiene il messaggio che deve essere mandato al broker:

```
char payload[100];
```

Oltre a variabili di questo tipo, ci sono variabili molto più importanti che sono state utilizzate per la comunicazione con il broker MQTT come :

```
const char* ssid = "You SSID";  
const char* password = "password";  
const char* mqtt_server = "your mqtt server";
```

Nel **SSID** si deve metter il nome della rete WiFi, mentre per quanto riguarda la **password**, naturalmente va messa la password della rete WiFi. Per quanto riguarda il **mqtt_server**, va messo l'indirizzo del vostro MQTT server o anche il suo hostname.

Sempre nella parte iniziale del file sorgente sono stati istanziati gli oggetti relativi a ciascun sensore messi a disposizione dalle librerie installate in precedenza.

```
RTC_PCF8523 rtc;  
hp_BH1750 BH1750;  
Adafruit_BMP280 bmp;
```

Successivamente sono stati dichiarati i task che saranno gestiti da FreeRTOS

```
void task1_misure(void *param);  
void task2_invio_dati(void *param);
```

La creazione dei task avviene direttamente nel **void setup()** con il seguente comando:

```
xTaskCreate(task1_misure,"Task delle misure",5000,NULL,2,NULL);
xTaskCreate(task2_invio_dati,"Task stampa e invio dati",5000,NULL,1,NULL);
```

Dove ad ogni task che viene creato vengono passati i seguenti elementi:

- Nome del task utilizzato dalla macchina.
- Nome in stringa che potrebbe essere utile alla persona fisica per il riconoscimento del task.
- Dimensione dello stack.
- Parametro di input del task che è NULL in questo caso.
- Priorità del task.
- Si ha un handle che viene utilizzato per richiamare il task in parti del codice esterno al task, anche in questo caso è NULL.

3.3.2 Task per la lettura dei sensori

In questa sezione vediamo il task utilizzato per la misurazione dei sensori, questo task ha priorità maggiore rispetto al task per l'invio dei dati. Praticamente grazie al ciclo **while(true)** si riesce a ciclare infinitamente come avverrebbe con la funzione predefinita di Arduino **void loop**. All'interno del ciclo while viene messo il codice utilizzato per la misurazione dei sensori.

```
void task1_misure(void *param){
    sensors_event_t temp_event, pressure_event;

    TickType_t xLastWakeTime;
    const TickType_t xFrequency = pdMS_TO_TICKS(600);

    // Inizializzazione della variabile xLastWakeTime con il tempo attuale.
    xLastWakeTime = xTaskGetTickCount();
    while(true){

        //Lettura dell'ora e della data
        DateTime adesso = rtc.now();
        tempo=adesso.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_FULL);

        // Lettura della temperatura
        bmp_temp->getEvent(&temp_event);
        temperatura=temp_event.temperature;

        // Lettura della pressione
        bmp_pressure->getEvent(&pressure_event);
        pressione=pressure_event.pressure;

        // Lettura della luminosità
        lux=BH1750.getLux();
        BH1750.start();

        // Configurazione nuova chiamata del task
        vTaskDelayUntil( &xLastWakeTime, xFrequency );
    }
}
```

3.3.3 Task per l'invio dei dati al broker

Per l'invio dei dati è stato utilizzato un task che ha priorità minore del task che viene utilizzato per le misure. Come il task precedente si ha un ciclo **while** attraverso il quale il client comunica continuamente le misure ogni 5 secondi. Si fa un primo controllo, dove se lo switch su Node-Red è **on** si trasmette un messaggio ogni 5 secondi, mentre se lo switch, sempre in Node-Red, è **off** si resta in attesa che diventi **on**; ciò si può notare nella porzione di codice riportato qui sotto:

```
if(stato==true)
{
    long now = millis();
    if (now - lastMsg > 5000)
    {
        client.publish("on/off","I dati vengono trasmessi");
    }
}
else if(stato==false)
{
    client.publish("on/off","I dati non vengono trasmessi");
}
```

Mentre per quanto riguarda l'invio vero e proprio dei dati avviene, sempre all'interno del ciclo **while**; le misure vengono convertite in char array e utilizzando il seguente codice i char array vengono uniti tutti insieme a generare un unico messaggio chiamato **payload** :

```
sprintf(payload, "\"%s\"_%s",VARIABLE_temperatura, tempoString );
sprintf(payload, "%s \"%s\"_%s", payload,VARIABLE_temperatura, tempString);
sprintf(payload, "%s \"%s\"_%s", payload,VARIABLE_pressione, preString);
sprintf(payload, "%s \"%s\"_%s", payload, VARIABLE_luminosita, lucString);
client.publish("dati", payload);
```

Attraverso **client.publish** le informazioni vengono trasmesse al broker MQTT nella **topic dati** e il messaggio che viene trasmesso, **payload**, contiene il timestamp, la misura della temperatura, la pressione e la luminosità in un dato istante di tempo.

3.3.4 Altre funzioni

Oltre a quello descritto sopra ci sono altre 3 funzioni che vengono implementate:

- **Funzione di callback**, utilizzata per ricevere dati da Node-Red. Nello specifico ha due compiti:
 - Vedere se lo switch è on o off nella dashboard Node-Red per la trasmissione di dati.
 - Sincronizzare il modulo RTC manualmente premendo un pulsante sulla dashboard in caso si dovesse avere un timestamp sbagliato o anche nel caso di mancata alimentazione. Si utilizza il seguente codice per prendere dal file **json** ricevuto da Node-Red i parametri come anno, mese, giorno, ora, minuti e secondi per poi attraverso un'altra riga di comando aggiustare il timestamp a quello desiderato:

```
//Estrazione del time stamp
anno = doc["year"];
mese = doc["month"];
giorno = doc["day"];
ora = doc["hours"];
minuti = doc["mins"];
secondi = doc["secs"];
```

```
//Settaggio del timestamp del rtc.  
rtc.adjust(DateTime(anno, mese, giorno, ora, minuti, secondi));
```

- **Funzione `setup_wifi`**, utilizzata per connettere l'ESP32 alla rete WiFi e in caso di disconnessione vengono fatti vari tentativi finché la connessione è stabile, per questo progetto la rete è la stessa del broker MQTT; inoltre viene utilizzata per .
- **Funzione `reconnect`**, utilizzata per la connessione al broker MQTT e in caso di disconnessione vengono fatti vari tentativi fino a quando non viene stabilita una connessione e allo stesso tempo dice il tipo di errore per il fallimento della connessione.

3.4 Node Red

L'interfaccia utente, dove verranno visualizzati su schermo i dati acquisiti dai vari sensori, è stata realizzata tramite la creazione di una dashboard implementata su Node-Red. Node-Red è un ambiente di sviluppo visuale open-source basato su Node.js che facilita la creazione di applicazioni e automazioni IoT (Internet of Things) in modo intuitivo e veloce. È ampiamente utilizzato per creare flussi di dati, automatizzare processi e integrare dispositivi e servizi diversi.

3.4.1 Installazione

Per l'installazione di Node-Red su Ubuntu si devono seguire i seguenti passaggi:

1. Aprire il terminale sul proprio sistema Ubuntu.
2. Assicurarsi di avere accesso a Internet per poter scaricare il software necessario, aggiornando la lista dei pacchetti a disposizione nei vari repository.

```
sudo apt update
```

3. Utilizzare il gestore dei pacchetti di Ubuntu per installare **Node.js**, che è un prerequisito per Node-Red, tramite il seguente comando:

```
sudo apt install nodejs
```

4. Per verificare che l'installazione sia andata a buon fine basta digitare i seguenti comandi:

```
node --version  
npm --version
```

L'eventuale output positivo (Node-Red ed il gestore dei pacchetti npm risultano essere già installato) potrebbe essere la seguente visualizzazione a schermo:

```
Node-RED version: 2.0.6  
6.14.15
```

In caso contrario, il servizio Node-Red non risulta essere installato:

```
node-red: command not found
Command 'npm' not found
```

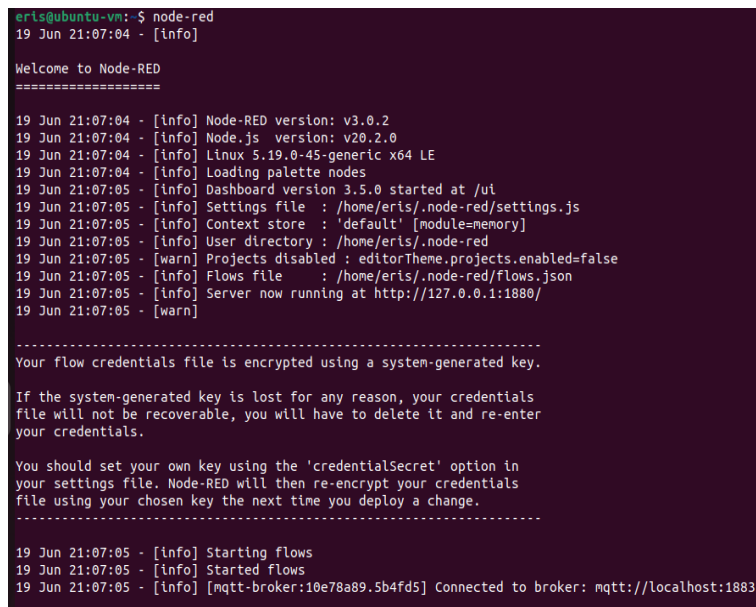
5. tramite **npm** si può quindi procedere all'installazione di Node-Red:

```
sudo npm install -g --unsafe-perm node-red
```

6. Finita l'installazione, attraverso il seguente comando si avvia Node-Red:

```
node-red
```

Nella figura 10 si può osservare il risultato della riga di comando.



```
eris@ubuntu-vm:~$ node-red
19 Jun 21:07:04 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

19 Jun 21:07:04 - [info] Node-RED version: v3.0.2
19 Jun 21:07:04 - [info] Node.js version: v20.2.0
19 Jun 21:07:04 - [info] Linux 5.19.0-45-generic x64 LE
19 Jun 21:07:04 - [info] Loading palette nodes
19 Jun 21:07:05 - [info] Dashboard version 3.5.0 started at /ui
19 Jun 21:07:05 - [info] Settings file : /home/eris/.node-red/settings.js
19 Jun 21:07:05 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
19 Jun 21:07:05 - [info] User directory : /home/eris/.node-red
19 Jun 21:07:05 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
19 Jun 21:07:05 - [info] Flows file : /home/eris/.node-red/flows.json
19 Jun 21:07:05 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
19 Jun 21:07:05 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.
-----

19 Jun 21:07:05 - [info] Starting flows
19 Jun 21:07:05 - [info] Started flows
19 Jun 21:07:05 - [info] [mqtt-broker:10e78a89.5b4fd5] Connected to broker: mqtt://localhost:1883
```

Figura 10: Stato Node-Red

In questo modo Node-Red è stato installato con successo però per avviarlo bisogna ogni volta che si fa l'accesso al proprio sistema operativo. Per configurare l'avvio automatico di Node-RED, si può utilizzare il sistema di init di Ubuntu, chiamato "systemd" seguendo i seguenti passaggi:

- (a) Creare un file di servizio per Node-RED utilizzando il seguente comando:

```
sudo nano /etc/systemd/system/node-red.service
```

- (b) Inserire il seguente contenuto nel file di servizio:

```
[Unit]
Description=Node-RED
After=syslog.target network.target
```

```
[Service]
ExecStart=/usr/bin/node-red
Restart=always
User=<username>
Group=<group>
Environment="NODE_OPTIONS=--max_old_space_size=128"
WorkingDirectory=/home/<username>/

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Assicurarsi di sostituire <username> con il proprio nome utente e <group> con il proprio gruppo utente. Per visualizzare il gruppo utente associato al proprio utente su Ubuntu, tramite il comando **groups** verranno elencati tutti i gruppi a cui appartiene il proprio utente corrente. Il gruppo principale dell'utente sarà indicato come il primo gruppo nella lista restituita.

- (c) Salvare il file di servizio e chiudere l'editor.
- (d) Abilitare e avviare il servizio Node-Red utilizzando i seguenti comandi:

```
sudo systemctl enable node-red
sudo systemctl start node-red
```

In questo modo il servizio Node-Red verrà avviato automaticamente all'avvio del sistema.

- 7. Per accedere all'interfaccia di Node-Red basterà aprire il proprio browser web ed andare all'indirizzo **http://localhost:1880** o anche digitando l'indirizzo ip della macchina e la porta che è sempre la 1880.

3.4.2 Dashboard

La dashboard creata tramite Node-Red può essere suddivisa in due sezioni distinte. La prima sezione è riservata al developer, che ha il compito di programmare e configurare la dashboard secondo le esigenze del cliente. La seconda sezione è destinata all'utente finale, che visualizza e interagisce con la dashboard.

La parte programmata è composta da nodi dove ogni nodo indica un'azione; ciò si può osservare nella figura 11:

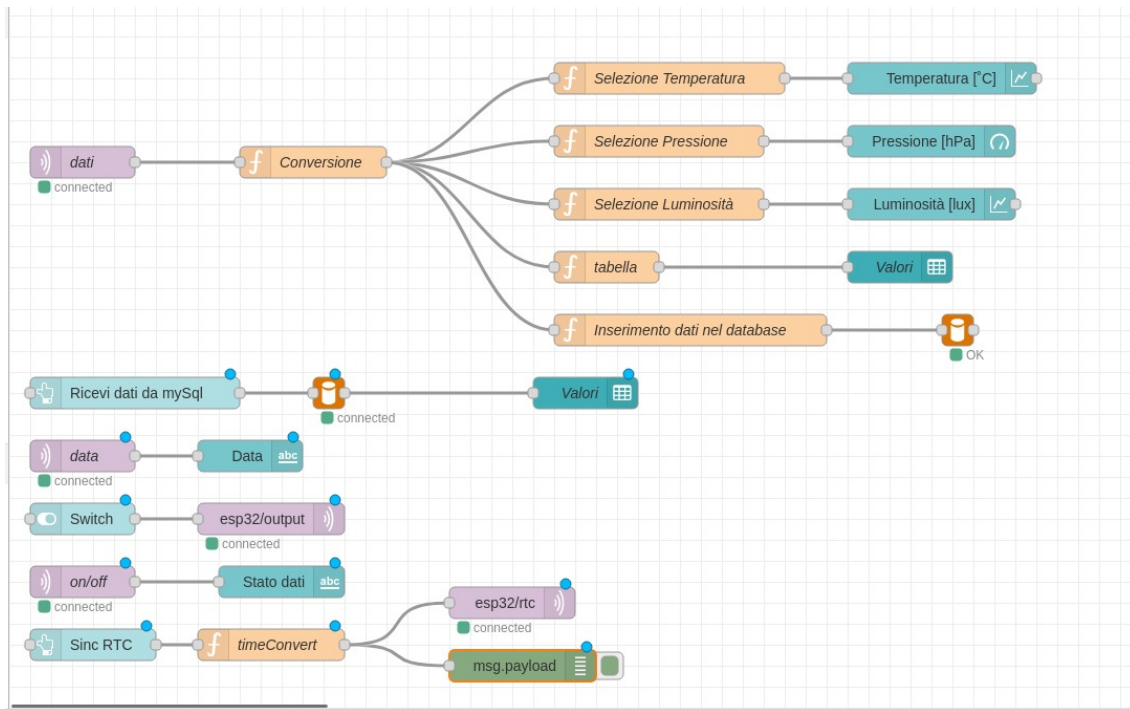


Figura 11: Dashboard composta da nodi

I nodi si possono dividere nelle seguenti categorie:

- Nodi di colore viola vengono utilizzati per la comunicazione MQTT sia in ricezione che in trasmissione e devono essere configurati come in figura 12.

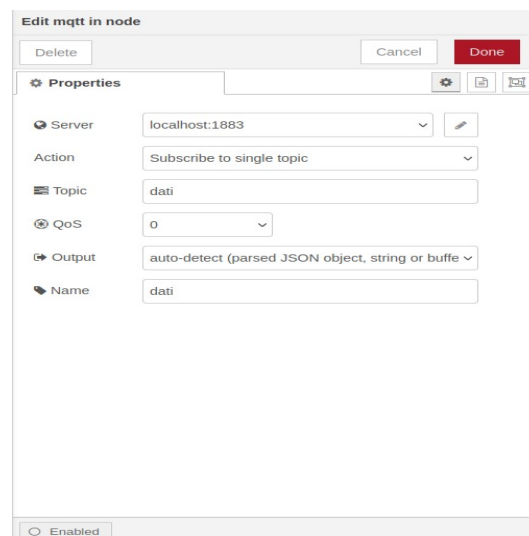


Figura 12: Configurazione nodo MQTT

- Il nodo verde, è un nodo molto importante che ha la funzione di debug e attraverso il quale si può capire se ci sono errori nel flusso dei dati.

- I nodi di colore arancione chiaro sono delle funzioni attraverso le quali è stato possibile estrarre le informazioni per poi passarle ai nodi che vengono utilizzati per la rappresentazione grafica.
- I nodi di colore arancione scuro vengono utilizzati per interrogare il database e pure questi devono essere configurati come in figura 14.

Figura 13: Configurazione nodo MySql

N.B. Nel nostro caso è stato utilizzato l'utente root per la gestione dei dati nel database, sarebbe meglio creare un utente ad hoc che ha i permessi sul database utilizzato. Per creare l'utente lo si fa attraverso la schermata di MySQL:

Nome utente	Nome host	Password	Privilegi globali	Gruppo utenti	Grant	Azione
<input type="checkbox"/> Qualsiasi	%	No	USAGE	No		Modifica privilegi Esporta Blocca
<input type="checkbox"/> Qualsiasi	localhost	No	USAGE	No		Modifica privilegi Esporta Blocca
<input type="checkbox"/> pma	localhost	No	USAGE	No		Modifica privilegi Esporta Blocca
<input type="checkbox"/> root	127.0.0.1	No	ALL PRIVILEGES	Si		Modifica privilegi Esporta Blocca
<input type="checkbox"/> root	:::1	No	ALL PRIVILEGES	Si		Modifica privilegi Esporta Blocca
<input type="checkbox"/> root	localhost	No	ALL PRIVILEGES	Si		Modifica privilegi Esporta Blocca

☐ Seleziona tutto Se selezionati: ☐ Esporta

Nuovo

Figura 14: Aggiunta nuovo utente

- I nodi restanti sono nodi utilizzati per la rappresentazione tabellare e grafica delle informazioni. Il nodo **output** è utilizzato come switch, mentre il nodo **Ricevi dati da mysql** è utilizzato come pulsante per stampare nella tabella i dati.

La seconda parte della dashboard rappresenta l'aspetto estetico come verrà vista dagli utenti, tutto ciò si può osservare in figura 15:

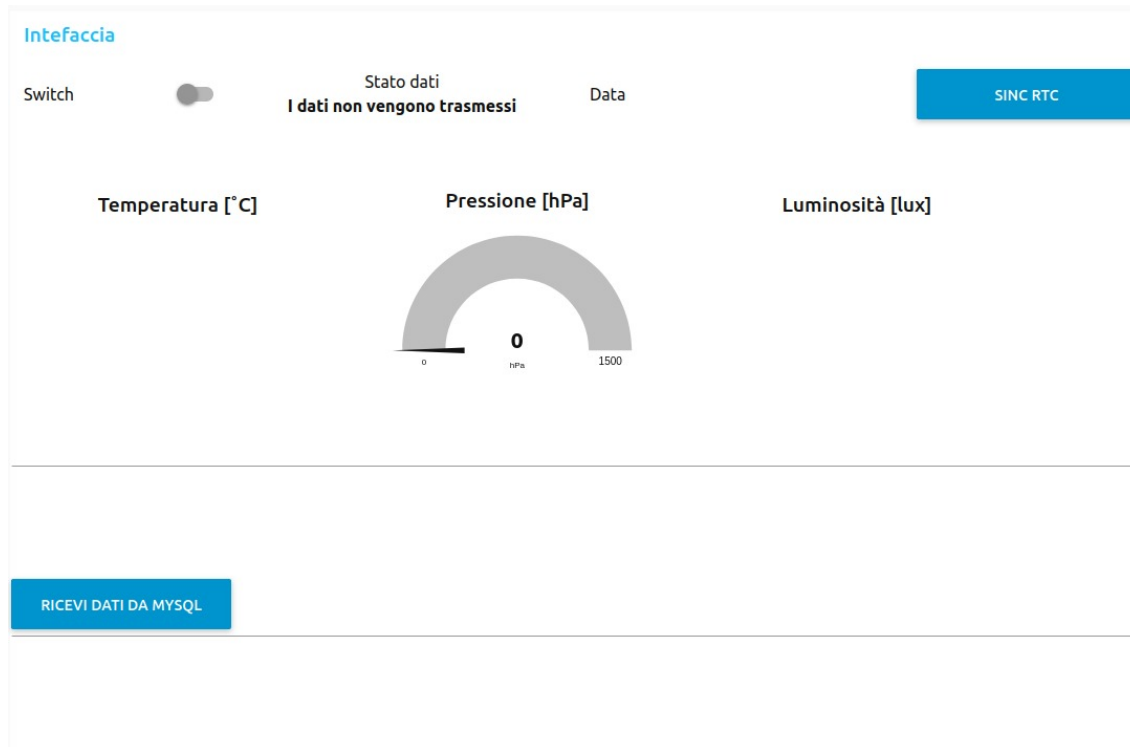


Figura 15: Interfaccia utente vuota

La figura 15 rappresenta l'interfaccia vuota, dove l'ESP32 è spento e di conseguenza non è connesso alla rete e nemmeno al broker MQTT, e dove anche il database, si è connesso, ma senza premere il pulsante per ricevere i dati non mostra nulla a video.

Mentre la figura 16 rappresenta l'interfaccia quando si ha interazione. L'interfaccia è composta:

- Nella parte superiore si ha uno switch che si mette a **on** per ricevere i dati oppure **off** per non ricevere i dati; si ha una box di testo che stampa a video **i dati vengono trasmessi** se i dati vengono trasmessi oppure stampa a video **i dati non vengono trasmessi** se i dati non vengono trasmessi ed ha una dipendenza con lo switch, si ha sempre una box di testo che stampa la data e l'ora di acquisizione dati ed inoltre è presente un pulsante chiamato **sinc RTC** utilizzato per sincronizzare il timestamp della dashboard con il timestamp del modulo RTC.
- Nella parte centrale dell'interfaccia si hanno tre grafici utilizzati per vedere l'andamento nel tempo della temperatura, della pressione e della luminosità; sotto questi grafici si trova una tabella composta da una riga che stampa continuamente i valori del timestamp, della temperatura, della pressione e della luminosità ogni 5 secondi.
- Nella parte finale si ha un pulsante chiamato **Ricevi dati da MySql** utilizzato per stampare tutte le misure, prese fino a quel momento e salvate nel database, nella tabella.

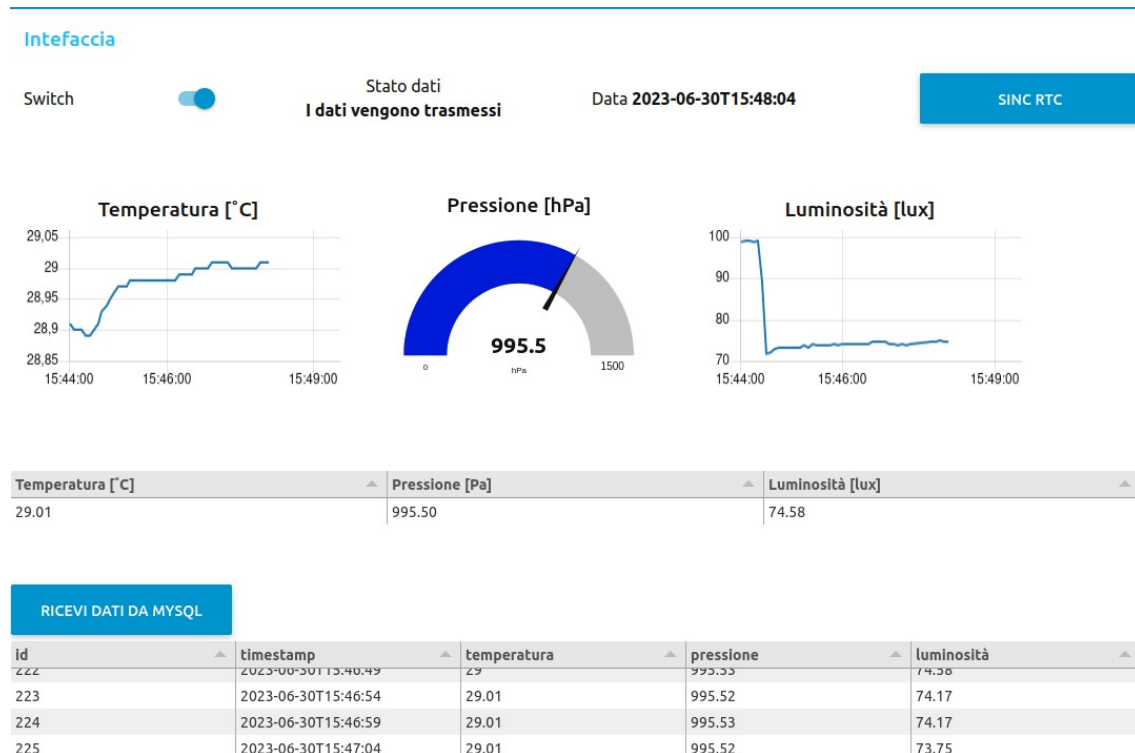


Figura 16: Interfaccia utente con dati

Nella figura 17 e nella figura 18 si può osservare come cambia la box di testo **Stato dati** e il colore dello switch:

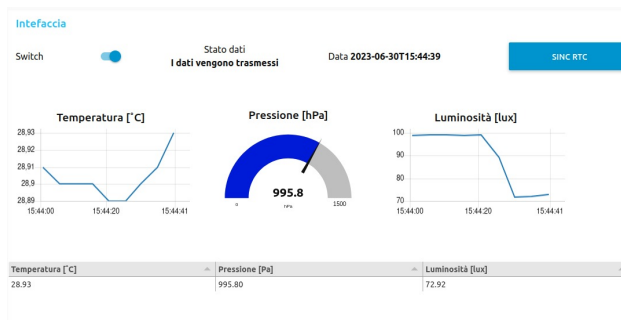


Figura 17: I dati vengono trasmessi

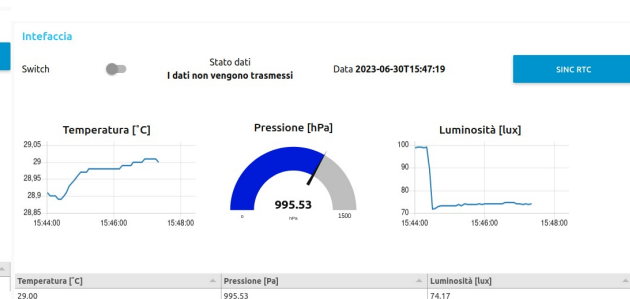


Figura 18: I dati non vengono trasmessi

3.5 MySQL

Per quanto riguarda l'implementazione del database è stato deciso di utilizzare MySql ed è stato possibile installarlo andando a scaricare dal sito di ApacheFriends il pacchetto Xampp che comprende sia Apache che è il nome di un server web libero sviluppato dalla Apache Software Foundation ed è la piattaforma server Web modulare più diffusa, in grado di operare su una grande varietà di sistemi operativi, tra cui UNIX/Linux, Microsoft Windows e OpenVMS; e comprende anche MySql che è un relational database management system composto da un client a riga di comando e un server. Una volta scaricato il pacchetto corretto per linux, è possibile installarlo su Ubuntu con i seguenti comandi da terminale:

```
cd /home/<username>/Scaricati
sudo ./xampp-linux-x64-8.2.4-0-installer.run
```

Il comando **cd** serve a posizionarsi all'interno della directory in cui si trova il pacchetto appena scaricato, con il secondo comando vogliamo installare. Al posto di **username** andrebbe digitato il nome utente (nel nostro caso abbiamo inserito il nome Eris il quale sarebbe il nome utente attuale).

Una volta installato il pacchetto è possibile startarlo in modo che vengono avviati i servizi MySQL e Apache attraverso il comando:

```
sudo /opt/lampp/lampp start
```

Il risultato di questa riga di comando si può vedere nella figura 19:

```
eris@ubuntu-vm:~$ sudo /opt/lampp/lampp start
[sudo] password di eris:
Starting XAMPP for Linux 8.2.4-0...
XAMPP: Starting Apache...ok.
XAMPP: Starting MySQL...ok.
XAMPP: Starting ProFTPD...ok.
eris@ubuntu-vm:~$
```

Figura 19: Inizializzazione Xampp

Dopo aver completato queste azioni, è possibile accedere al browser FireFox e inserire **localhost/**. In questo modo, si aprirà la schermata iniziale contenente la dashboard di Xampp, come illustrato nell'immagine allegata 20:



Figura 20: Dashboard Xampp

Per avviare automaticamente il servizio MySQL di XAMPP all'avvio del sistema Ubuntu, bisogna seguire i seguenti passaggi:

1. Creare un file di servizio XAMPP utilizzando un editor di testo. Ad esempio, si può utilizzare il seguente comando per aprire un nuovo file di servizio:

```
sudo nano /etc/systemd/system/xampp.service
```

2. Incollare il seguente contenuto nel file di servizio:

```
[Unit]
Description=XAMPP
Wants=network.target
After=network.target

[Service]
ExecStart=/opt/lampp/lampp start
ExecStop=/opt/lampp/lampp stop
Type=oneshot

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Assicurarsi di modificare il percorso **/opt/lampp/** se è stato installato XAMPP in una posizione diversa.

3. Salvare il file e chiudere l'editor di testo.
4. Eseguire il seguente comando per ricaricare le modifiche di systemd:

```
sudo systemctl daemon-reload
```

5. Utilizzando il seguente comando per abilitare il servizio XAMPP in modo che venga avviato automaticamente all'avvio del sistema:

```
sudo systemctl enable xampp.service
```

6. Riavviare il sistema per verificare se XAMPP viene avviato automaticamente.
Dopo il riavvio, il servizio MySQL di XAMPP verrà avviato automaticamente all'avvio del sistema Ubuntu. Dopo aver raggiunto questa fase, è necessario fare clic sull'opzione **phpMyAdmin** nell'angolo in alto a destra. In questo modo si accederà alla sezione del database, dove sarà possibile creare un nuovo database chiamato **ESP32_prova** per il progetto, e successivamente creare una tabella denominata **esp32_tabella** per memorizzare i dati. Nella figura 21 si può osservare l'interfaccia di **phpMyAdmin** con il database.

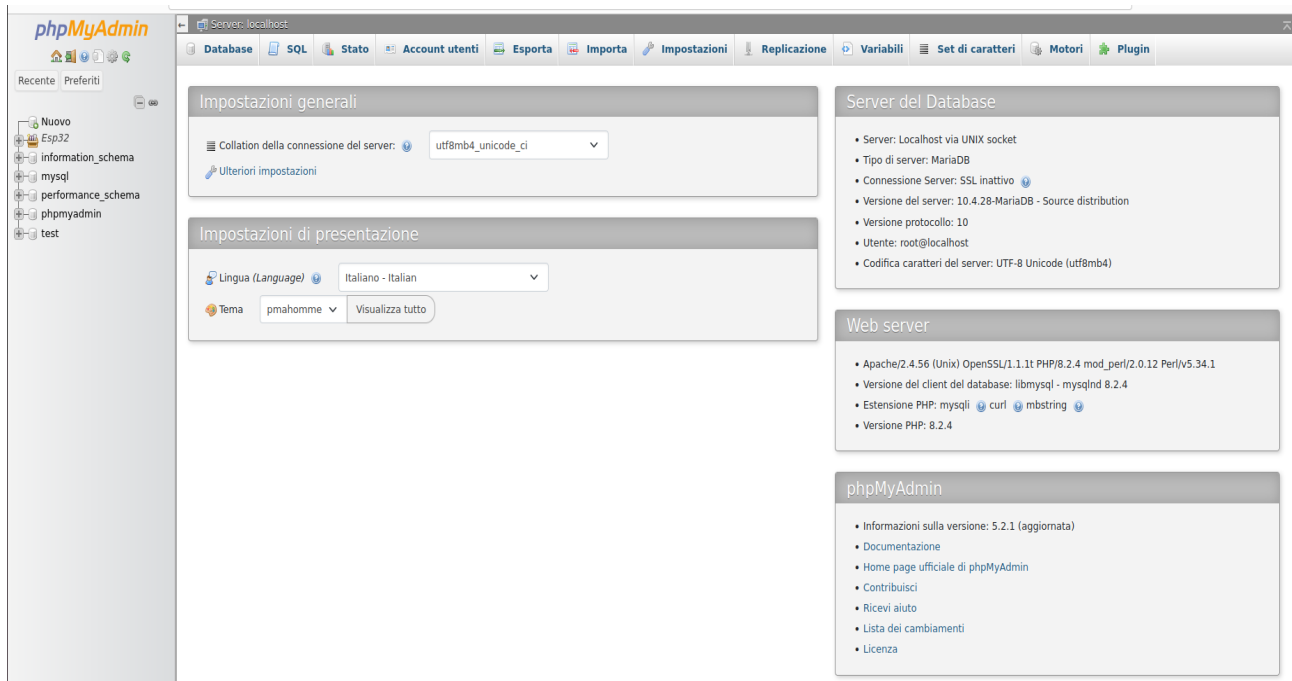


Figura 21: Interfaccia phpMyAdmin

Il risultato della creazione della tabella si può vedere nella figura 22:

id	timestamp	temperatura	pressione	luminosità
70	2023-06-14T21:52:12	28.31	1010.24	41.67
71	2023-06-14T21:52:17	28.31	1010.25	41.25
72	2023-06-14T21:52:22	28.31	1010.25	40.83
73	2023-06-14T21:52:27	28.32	1010.24	41.25
74	2023-06-14T21:52:32	28.32	1010.25	41.25
75	2023-06-14T21:52:37	28.31	1010.25	41.25
76	2023-06-14T21:52:42	28.3	1010.24	39.58
77	2023-06-14T21:52:47	28.31	1010.24	40.42
78	2023-06-14T21:52:52	28.32	1010.25	40.83
79	2023-06-14T21:52:57	28.33	1010.26	40.83
80	2023-06-14T21:53:02	28.33	1010.27	40
81	2023-06-14T21:53:07	28.33	1010.27	40.83
82	2023-06-14T21:53:12	28.33	1010.27	40
83	2023-06-14T21:53:17	28.34	1010.27	41.25
84	2023-06-14T21:53:23	28.35	1010.28	40.42
85	2023-06-14T21:53:27	28.36	1010.28	40.83
86	2023-06-14T21:53:32	28.37	1010.29	40.42
87	2023-06-14T21:53:37	28.38	1010.28	40
88	2023-06-14T21:53:42	28.39	1010.28	39.58
89	2023-06-14T21:53:47	28.39	1010.27	40
90	2023-06-14T21:53:52	28.4	1010.28	39.17
91	2023-06-14T21:53:58	28.41	1010.27	39.58
92	2023-06-14T21:54:02	28.43	1010.27	40.42
93	2023-06-14T21:54:07	28.44	1010.29	40.83
94	2023-06-14T21:54:12	28.45	1010.29	39.58
95	2023-06-14T21:54:17	28.46	1010.29	39.58
96	2023-06-14T21:54:22	28.46	1010.29	39.58

Figura 22: Tabella nel database dove vengono salvate le misure

Come si può vedere dalla figura 22 la tabella è composta da 5 colonne:

- La colonna **id** ed è un numero integer incrementale utilizzato come chiave primaria in modo da identificare univocamente ogni riga che viene salvata nel database (si evita i duplicati solo nel caso di Qo2, altrimenti potrei avere più pacchetti con lo stesso timestamp, ma id diverso).
- La colonna **timestamp** è di tipo varchar di dimensione 25 dove viene salvata l'ora e la data della misura.
- La colonna **temperatura** è di tipo float e viene utilizzata per salvare la misura della temperatura.
- La colonna **pressione** è di tipo float e viene utilizzata per salvare la misura della pressione.
- La colonna **luminosità** è di tipo float e viene utilizzata per salvare la misura della luminosità.

4 Problemi durante la realizzazione e soluzioni

Durante tutto lo sviluppo del progetto ci sono stati diversi problemi e sono state trovate delle soluzioni per risolverli. Questi problemi vengono elencati qui di seguito:

- Il primo problema è stato quello di andare a cambiare le impostazioni per quanto riguarda l'accesso alla rete della macchina virtuale dove è stato installato Ubuntu 22.04; infatti all'inizio la scheda di rete aveva l'opzione **Rete con NAT** e questo attraverso le impostazioni andava cambiato in **Scheda con bridge** in modo da far riuscire a comunicare il client, che in questo caso è l'ESP32, e il broker MQTT. La configurazione "Rete con NAT" consente alla macchina virtuale di accedere a Internet tramite la connessione di rete dell'host, ma potrebbe limitare la comunicazione diretta tra la macchina virtuale e altri dispositivi nella rete. Cambiando la configurazione in "Scheda con bridge", la macchina virtuale sarà in grado di comunicare direttamente con altri dispositivi sulla rete, inclusa la comunicazione tra il tuo ESP32 e il broker MQTT.
- Un secondo problema è stato nella creazione dei task, infatti quando si creavano i task inizialmente veniva data una dimensione dello stack di 1024 e questo era un problema perchè andava a resettare e riavviare ogni volta l'ESP32 come mostrato in figura 23:

```

KLF file SHA256: 71e3503411b82c88

Rebooting...
[REMOVED]
#Guru Meditation Error: Core 0 panic'ed (LoadProhibited). Exception was unhandled.

Core 0 register dump:
PC      : 0x400d16ef  PS      : 0x00060030  A0      : 0x800d1833  A1      : 0x3ffb8930
A2      : 0x00000000  A3      : 0x00000000  A4      : 0x3ffbc7e0  A5      : 0x3ffbc7c0
A6      : 0x3ffc2900  A7      : 0x00000008  A8      : 0x00000001  A9      : 0x00000000
A10     : 0x3ffbc878  A11     : 0x80000001  A12     : 0x00000000  A13     : 0x3ffb8a20
A14     : 0x00000000  A15     : 0x00000000  SAR     : 0x00000000  EXCCAUSE: 0x0000001c
EXCVADDR: 0x00000040  LBEG    : 0x00000000  LEND    : 0x00000000  LCOUNT : 0x00000000

Backtrace: 0x400d16ec:0x3ffb8930 0x400d1830:0x3ffb8950 0x400d1464:0x3ffb8970 0x400d148d:0x3ffb8990 0x400d149e:0x3ffb89b0 0x400d14b5:0x3ffb89d0 0x400d13c4:0:

```

Figura 23: Problema stack del task

Questo problema è stato risolto andando ad aumentare la dimensione dello stack, infatti si dava una dimensione minore rispetto a quello che serviva.

- Il terzo ed ultimo problema che si è presentato è quello in cui le acquisizioni delle misure dei sensori andavano in conflitto perchè si utilizzavano 3 task, un task per ogni sensore, ed essendo che di canale I2C, l'ESP32 ne ha solo uno si andava a creare un conflitto tra i task. Per risolvere questo problema si è deciso di optare per un solo task di acquisizione misure.

5 Implementazioni future

Le implementazioni future che si possono fare sono innumerevoli, però tra tutte è stato deciso di proporre le seguenti idee:

- Implementare tecniche di controllo di sicurezza maggiori tramite l'aggiunta di id e password per gli account in modo che non tutti possono interagire con il broker e trasmettere i dati al database.
- Implementare delle tecniche per aumentare la qualità del servizio quando i pacchetti vengono trasmessi sia alla dashboard che al database.
- Implementazione di un sistema di monitoraggio remoto attraverso applicazione. Sviluppare un'applicazione mobile per visualizzare e controllare i dati raccolti dai sensori e dal modulo RTC. In questo modo, si potrebbe accedere ai dati in tempo reale da qualsiasi luogo e ricevere notifiche o avvisi in base alle condizioni rilevate.
- Creazione di un sistema di allarme. Utilizzando i dati del sensore di luminosità, temperatura e pressione, si potrebbe creare un sistema di allarme personalizzato. Ad esempio, se la luminosità scende al di sotto di una determinata soglia o la temperatura supera un valore predefinito, si potrebbe inviare un avviso o attivare un allarme sonoro.
- Integrazione con servizi di notifica. Si potrebbe integrare il sistema con servizi di notifica come SMS, email o app di messaggistica. In questo modo, quando vengono rilevate determinate condizioni o allarmi, il sistema può inviare notifiche immediate agli utenti interessati. Ad esempio, se la temperatura supera una soglia critica, il sistema può inviare un messaggio di avviso ai dispositivi mobili degli utenti registrati.
- Creazione di un sistema di automazione domestica. Utilizzando i dati raccolti dai sensori e il modulo RTC per gestire l'ora, si potrebbe creare un sistema di automazione domestica. Ad esempio, si programmerebbe il sistema per accendere automaticamente le luci quando la luminosità scende al di sotto di una soglia predefinita o attivare il riscaldamento quando la temperatura scende al di sotto di un certo valore. Questo renderebbe la casa più intelligente e automatizzata.
- Ottimizzare l'interfaccia utente, dashboard, attraverso un numero maggiore di comandi per quanto riguarda la parte che si interfaccia al database, in particolare la possibilità di selezionare una fascia temporale o date precise per recuperare le informazioni. Inoltre si può rendere l'interfaccia più accattivante dal punto di vista estetico, utilizzando altri colori e aggiungendo loghi.

Si possono personalizzare e ampliare queste idee in base alle proprie esigenze e agli obiettivi specifici del proprio progetto.

6 Conclusioni

Si possono personalizzare e ampliare queste idee in base alle proprie esigenze e agli obiettivi specifici del proprio progetto. È possibile adattare la dashboard di Node-Red per includere ulteriori funzionalità e visualizzazioni che siano pertinenti al contesto del progetto. Inoltre, si possono integrare altre tecnologie o servizi, come ad esempio l'utilizzo di un database specifico o l'implementazione di algoritmi personalizzati.

In conclusione, lo sviluppo di questo progetto è stato molto interessante in quanto ha offerto un primo approccio all'implementazione di una soluzione personalizzata. Si ha la libertà di scegliere i mezzi e le tecnologie da utilizzare, purché si raggiunga il risultato desiderato. Il progetto copre diversi aspetti, come la creazione dell'interfaccia, l'utilizzo di una piattaforma come Node-Red, la programmazione dell'ESP32 e la selezione del database. Pertanto, anche nella sua forma ridotta, rappresenta un progetto completo che offre diverse opportunità di apprendimento e adattamento.

Riferimenti bibliografici

- [1] Adafruit: <https://www.adafruit.com>
- [2] Arduino download: <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360019833020-Download-and-install-Arduino-IDE>
- [3] Mosquitto broker: <https://mosquitto.org>
- [4] Node-Red: <https://nodered.org>
- [5] Xampp: <https://www.apachefriends.org/it/index.html>
- [6] FreeRTOS: <https://www.freertos.org/>
- [7] Espressif Systems: <https://github.com/espressif>
- [8] Repository IoT: <https://github.com/AMON00/IoT/tree/main>