

PROGETTO A2A

risparmio energetico e comfort a scuola
monitoraggio della CO₂



5A
ENERGIA



La classe si è posta l'obiettivo di

- *valutare la quantità di CO₂ emessa dagli studenti durante le ore di lezione negli ambienti scolastici per garantire una qualità accettabile dell'aria ottimizzando allo stesso tempo il tempo di ricambio di aria che comporta sprechi di energia termica*
- *individuare dei sensori affidabili a basso costo per monitorare la CO₂ negli ambienti scolastici*
- *realizzare dei prototipi di dispositivi con Arduino e/o NODE MCU per monitorare il livello della CO₂ e avvisare in caso di criticità*

Il problema della ventilazione dei locali

Il virus COVID-19 ci ha fatto capire che la ventilazione dei locali è fondamentale per garantire il benessere e la sicurezza delle persone negli ambienti. La normativa vigente individua il limite di 1000 ppm la concentrazione di CO₂ per garantire una buona qualità dell'aria.

La quasi totalità delle scuole si affida ad una ventilazione degli ambienti effettuata aprendo sporadicamente le finestre dei locali in cui stazionano gli studenti.

Attraverso una strumentazione semiprofessionale gli studenti della 5AME hanno valutato la qualità dell'aria ambiente durante un'ora di lezione a metà mattinata (fine ottobre 2020) mantenendo tutte le finestre e le porte chiuse.

Con 16 persone presenti in un'aula di circa 40 m² con altezza 3 m con temperatura interna di 22°C e umidità relativa del 35% la concentrazione di CO₂ rilevata era pari a 515 ppm (l'aula era stata arieggiata alla fine dell'ora precedente). La concentrazione esterna di CO₂ rilevata dallo strumento era di 412 ppm, in linea con quanto previsto.

Dopo 30 minuti di lezione la temperatura si era portata a 23°C con umidità relativa 38% e con una concentrazione di CO₂ di 1200 ppm che risulta già superiore alle 1000 ppm generalmente consigliata per garantire il benessere e mantenere buona l'attenzione degli studenti.

Dopo 55 minuti di lezione la situazione si era portata a 23,9°C con umidità relativa 39% e soprattutto una concentrazione di CO₂ di 1800 ppm. E' stato sufficiente uscire 2 minuti dall'aula e poi rientrare per rendersi conto della "pesantezza dell'aria" e della scarsa salubrità del locale.

Aprendo le due finestre e la porta dell'aula in 5-6 minuti il microclima si è riportato ai valori iniziali. Questa analisi ha portato tutta la scuola ad adottare la procedura ottimale di effettuare un ricambio aria di 5 minuti alla fine della lezione ed uno intermedio di 5 minuti dopo 30 minuti di lezione in modo da mantenere sempre il livello della CO₂ interno alle 1000 ppm ed evitare di lasciare sempre aperte le finestre durante le lezioni.

Scheda tecnica dello strumento di misura utilizzato

Portable Indoor Air Quality CO₂ Meter

✓ **Measures Carbon Dioxide (CO₂), Temperature, Humidity, Dew Point, and Wet Bulb**
And calculates statistical 8 hour and 15 minute time weighted averages

Features:

- Checks for Carbon Dioxide (CO₂) concentrations
- Calculates statistical weighted averages of TWA (8 hour time weighted average) and STEL (15 minute short term exposure limit)
- Maintenance free NDIR (non-dispersive infrared) CO₂ sensor
- Measurement ranges:
 - CO₂: 0 to 5,000ppm
 - Temperature: 14 to 140°F (-10 to 60°C)
 - Humidity: 0.0 to 99.9%
- User programmable audible alarm
- Backlit triple LCD display
- Built-in RS-232 interface for capturing readings on PC
- Data acquisition software and cable included to record and document CO₂, Humidity and Temperature data
- Optional 33% and 75% RH calibration bottles (RH300-CAL)
- Complete with software and cable, 4 AA batteries, and carrying case

Applications:

- Check air quality in schools, office buildings, greenhouses, hospitals and anywhere that high levels of carbon dioxide are generated



Measure CO₂ level in office buildings to check the air quality of conference rooms insuring proper ventilation.



Specifications	Range	Resolution
Carbon Dioxide (CO ₂)	0 to 5,000ppm	1ppm
Temperature	14 to 140°F (-10 to 60°C)	0.1°F/°C
Humidity	0.0 to 99.9%	0.1%
Wet Bulb and Dew Point	Calculated	
Dimensions	7.9x2.7x2.3" (200x70x57mm)	
Weight	6.7 oz. (190g)	

Ordering Information:

C0250Portable Indoor Air Quality CO₂ Meter
RH300-CAL33% and 75% RH Calibration Kit



Lo strumento testato all'aria aperta indica mediamente concentrazioni di CO₂ pari 410 ppm che è un valore tipico riscontrabile.

IL SENSORE di CO₂ MH Z19B

Dopo varie ricerche effettuate sul web è stato individuato come sensore ottimale per il progetto il modello MH-Z19B di tipo NDIR.

Questo sensore risulta molto usato in svariati progetti e anche l'ente nazionale ENEA lo ha utilizzato in una ricerca sul controllo della CO₂ presente nelle serre effettuata qualche anno fa.

Si tratta di un sensore relativamente economico (il costo oscilla fra i 25-30 euro) che può essere facilmente interfacciato a microcontrollori a 5V o a 3.3V come Arduino, Raspberry e NODE MCU.

Le ricerche effettuate indicano anche una buona durata e stabilità a lungo termine.

Il sensore può essere acquistato con fondo scala a 5000 ppm oppure a 2000 ppm. Per il monitoraggio degli ambienti scolastici è stato scelto il secondo modello poiché una concentrazione di CO₂ superiore a 1500 ppm è già critica.

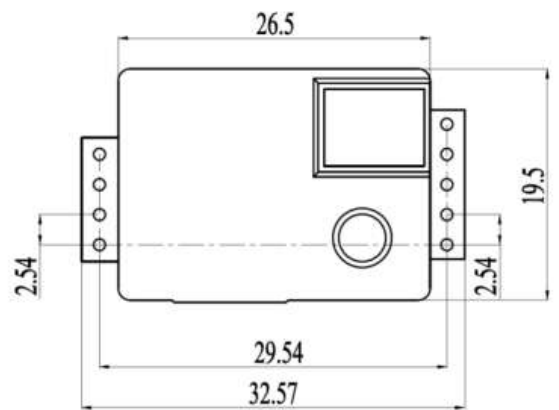
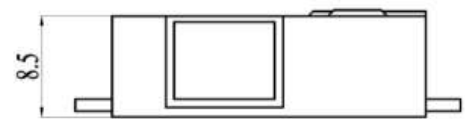
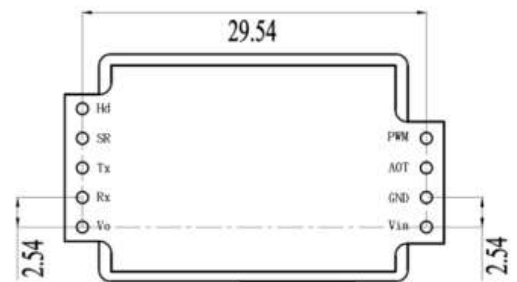
MH-Z19 NDIR infrared gas module is a common type, small size sensor, using non-dispersive infrared (NDIR) principle to detect the existence of CO₂ in the air, with good selectivity, non-oxygen dependent and long life. Built-in temperature sensor can do temperature compensation; and it has UART output and PWM output. It is developed by the tight integration of mature infrared absorbing gas detection technology, precision optical circuit design and superior circuit design.

Target Gas	Formula	Measuring Range	Accuracy	Remark
Carbon Dioxide (CO ₂)	CO ₂	0~2000 ppm	± (50ppm+5% reading value)	Temperature compensation
		0~5000 ppm		Temperature compensation



Scheda tecnica del sensore MH-Z19

Product Model	MH-Z19
Target Gas	CO2
Working voltage	3.6 ~ 5.5 V DC
Average current	< 18 mA
Interface level	3.3 V
Measuring range	0 ~ 0.5% VOL optional (refer to Table 2)
Output signal	UART
	PWM
Preheat time	3 min
Reponse Time	$T_{90} < 60$ s
Working temperature	0 ~ 50 °C
Working humidity	0 ~ 95% RH (No condensation)
Dimension	33 mm×20 mm×9 mm (L×W×H)
Weight	21 g
Lifespan	> 5 years



Principio di funzionamento sensori gas NDIR

Il principio di funzionamento del sensore NDIR si basa sul principio fisico che alcuni tipi di gas assorbono determinate lunghezze d'onda di energia infrarossa.

In pratica un filamento genera l'energia a infrarossi, che concentrata passa attraverso il gas da misurare e arriva al rivelatore. Il rivelatore è doppio: il primo, definito "attivo", ha un filtro ottico per il gas da misurare, mentre il secondo, chiamato "riferimento" ha un filtro con una lunghezza d'onda differente. Il rivelatore attivo viene usato per rilevare il gas, mentre il rivelatore di riferimento fornisce il valore di "zero".

La differenza di segnale tra i due rivelatori fornisce il valore di concentrazione di gas.

Il vantaggio di questa tecnica è che è selettiva soprattutto per gas come l'anidride carbonica, che è difficile da misurare con altri sistemi ed inoltre ha il vantaggio di compensare i cambiamenti che si verificano nella sensibilità del rivelatore con il tempo. L'unica causa di interferenza può essere dato dalla presenza di vapore

Introduction

Single Beam(Single light source, single wavelength) NDIR CM1106 (Miniature size) can be used to detect CO2 concentration of indoor air by adopting advanced non-dispersive infrared technology(NDIR). It is widely used in IAQ monitor, air conditioner with purifying function, air purifier, ventilation system, automotive, agricultural IOT and other consumer electronic products etc.

Features

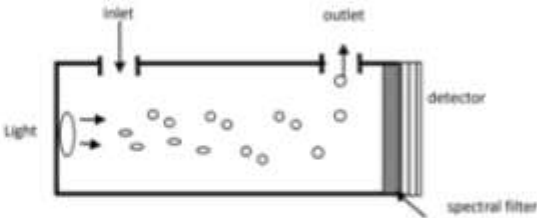
- Advanced non-dispersive infrared technology (NDIR) with independent intellectual property
- High accuracy: temperature calibration within whole measurement range
- High stability: advanced auto-calibration at background
- Small size and compact structure, easy to install

Applications

- ✓ IAQ monitor
- ✓ Air conditioner with purifying function
- ✓ Air purifier
- ✓ Ventilation system
- ✓ Automotive

Principle of particle measurement

Molecule like CO2 and CO is composed of different types of atoms, it has absorption spectrum in infrared range. Absorption intensity abides by Lamber-Beer's Law. When light wave corresponded to certain gas with absorption spectrum passes through measured gas, the intensity of light wave will be significantly weakened. The intensity attenuation is related to concentration of measured gas. This relation follows Lamber-Beer's Law. Basic working principle of NDIR sensor is as below,



Basic mathematical model: A majority of both organic and inorganic polyatomic gas have specific absorptive wavelength in infrared region. When infrared light passed by, the light transmissivity of this gas molecule to certain wavelength can be expressed by Lambert-Beer Law:

I stands for light transmissivity, $I = I_0 e^{-kpc}$
 i stands for light absorption intensity, $i = I_0 - I = I_0 (1 - e^{-kpc})$
 I_0 : incident light intensity.
 c : thickness of gaseous medium
 p : gas concentration
 k : absorption coefficient

acqueo che assorbe l'infrarosso.

Prototipo sistema di monitoraggio della CO₂

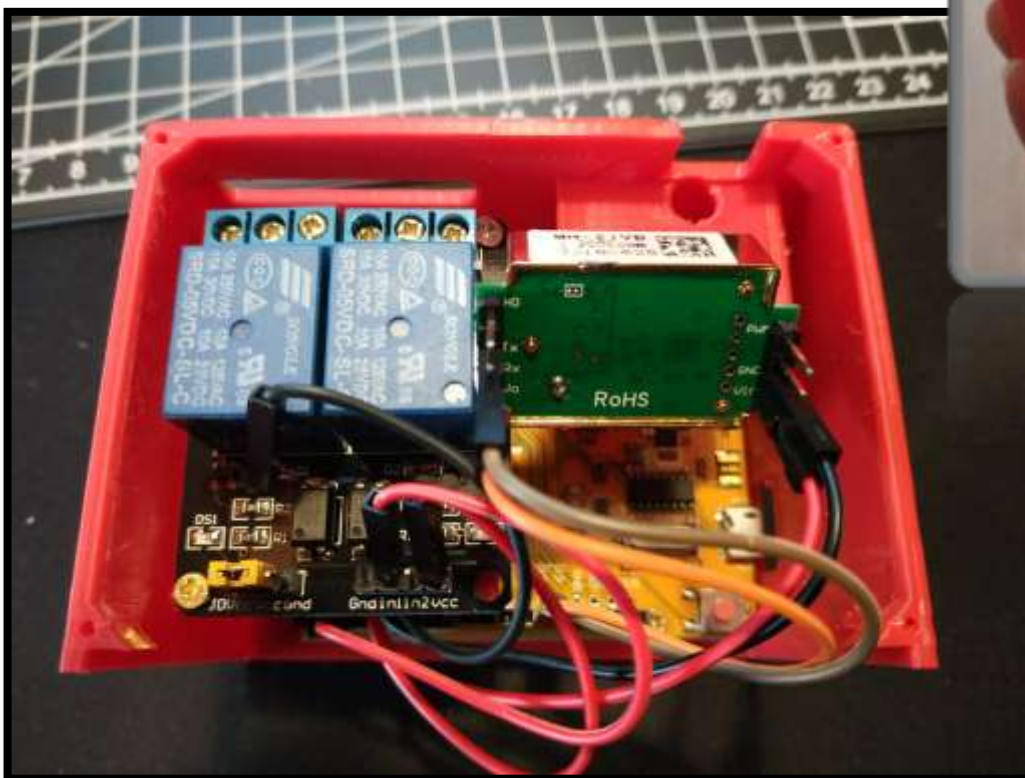
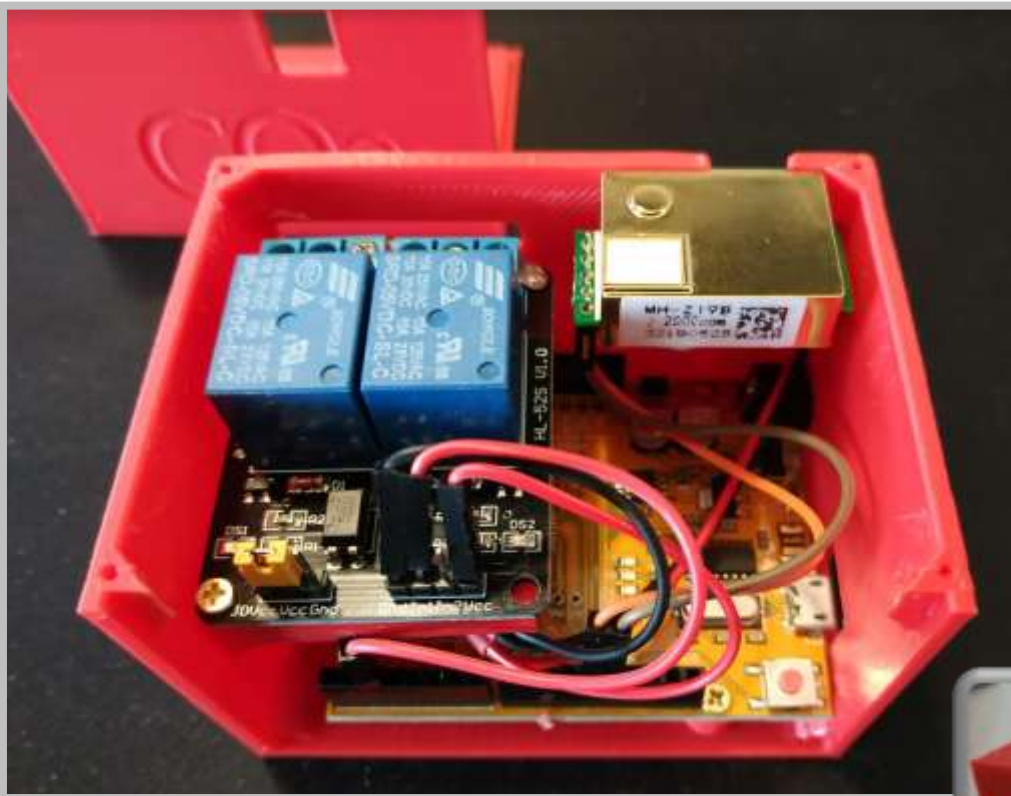
Il sistema utilizza un sensore MH Z19B per rilevare la presenza di CO₂ nell'ambiente nel range 0-2000 ppm tipico del settore residenziale e terziario.

Il sensore ha una precisione di +/-50ppm ed un tempo di risposta regime di circa 2 sec. (tempo di preriscaldamento 60 s). Il sistema è gestito da una scheda Arduino R1 affiancata da uno shield relè a 2 canali da 10 A che possono essere usati per comandare una macchina di ventilazione o una luce di segnalazione esterna.

Tramite porta USB è possibile monitorare la concentrazione di CO₂ nel tempo.

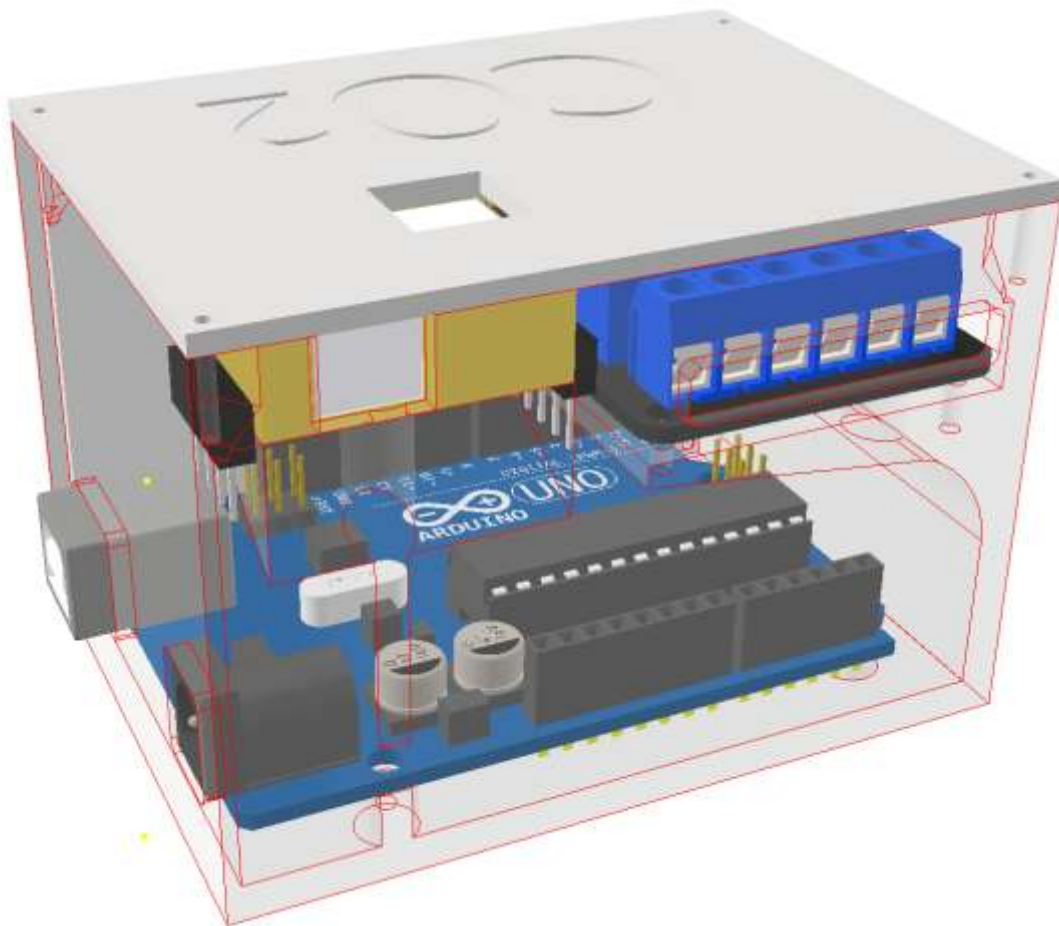


Dettaglio cablaggio interno

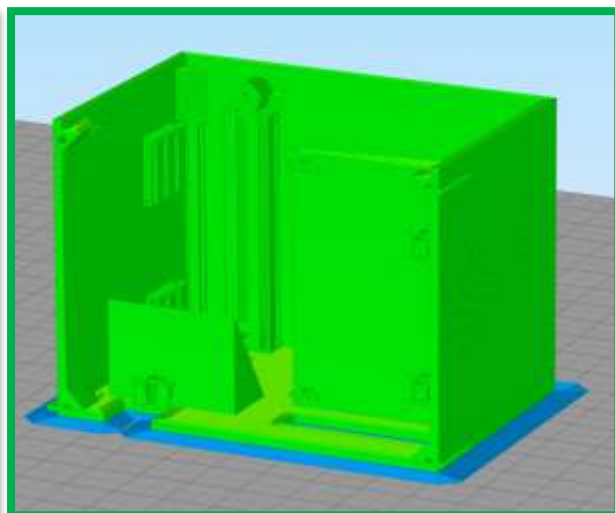
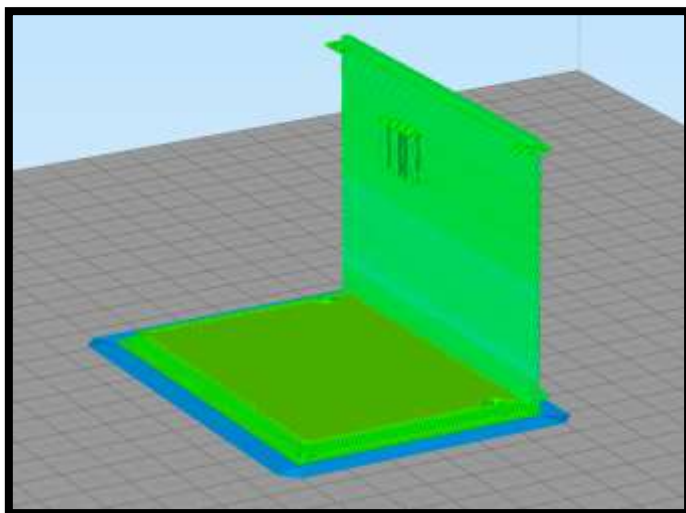


L'interrogazione del sensore da parte di Arduino avviene tramite un collegamento UART (seriale).

MODELLO 3D DEL CONTENITORE PER STAMPA 3D

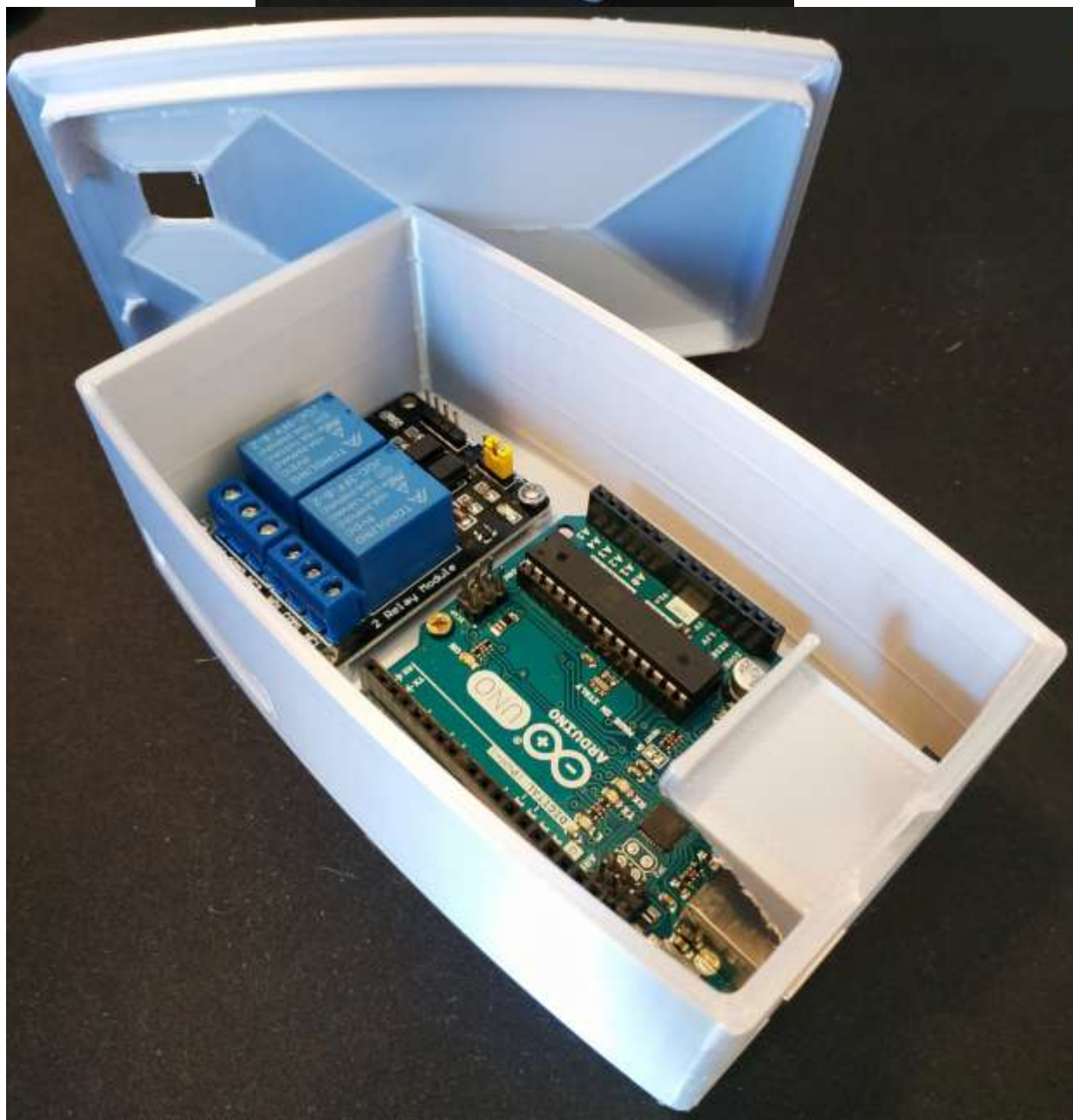


Anteprima di stampa 3D



MATERIALE PLA LAYER 0,2 mm VELOCITA' STAMPA 60mm/min
SUPPORTI ABILITATI (presenti in misura ridotta e facilmente rimovibili)
TEMPO COMPLESSIVO DI STAMPA 5 ore

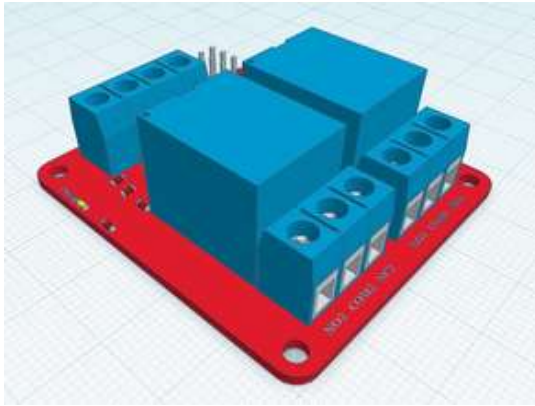
ALTRO PROTOTIPO



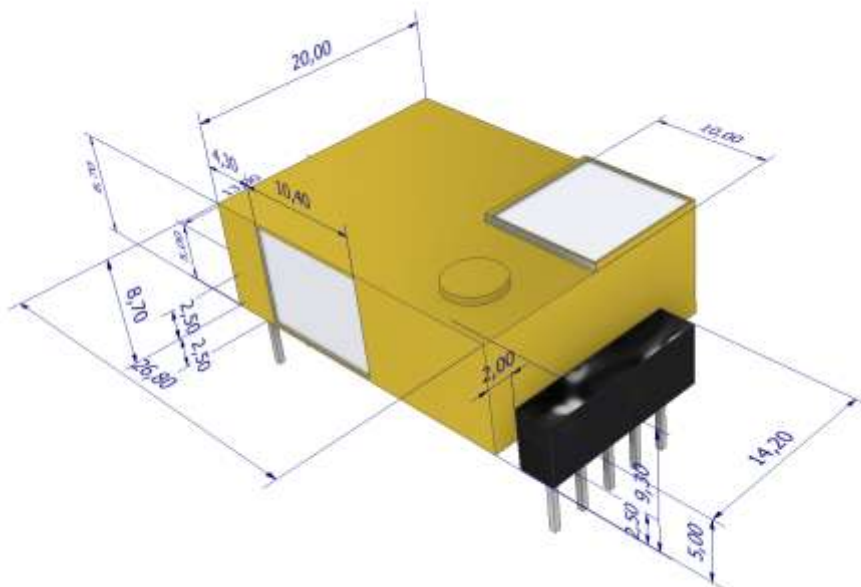
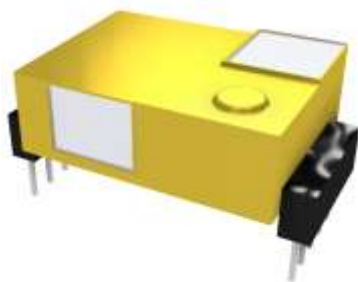
MODELLO 3D SHIELD RELE' 2 CANALI

Lo shield relè da 10A a due canali per Arduino consente di comandare

- l'accensione e lo spegnimento di una VMC
- luce di sicurezza che indica il superamento del limite di CO₂ presente in ambiente



MODELLO 3D DEL SENSORE CO₂ MH Z19B



SECONDO PROTOTIPO SISTEMA MONITORAGGIO CO₂

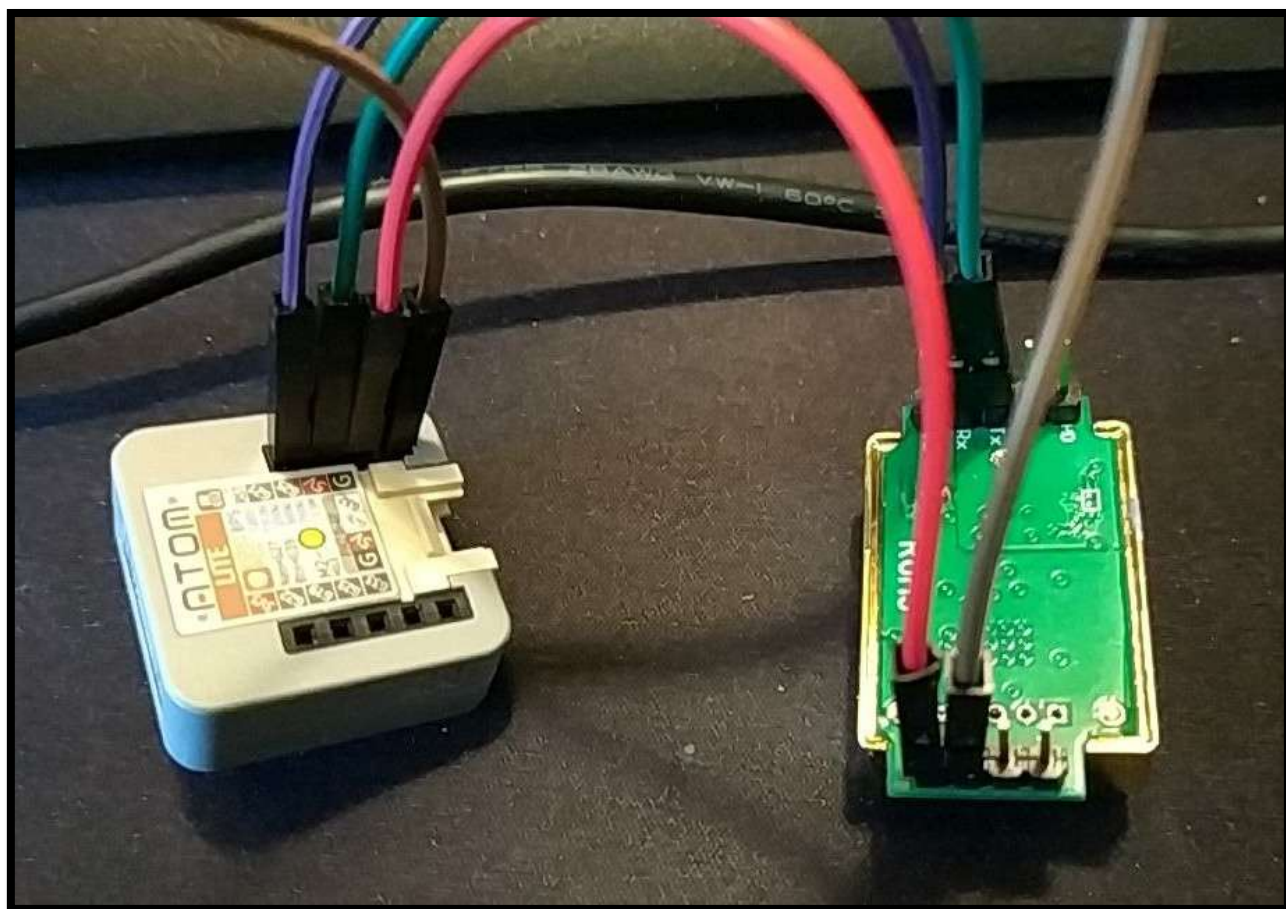
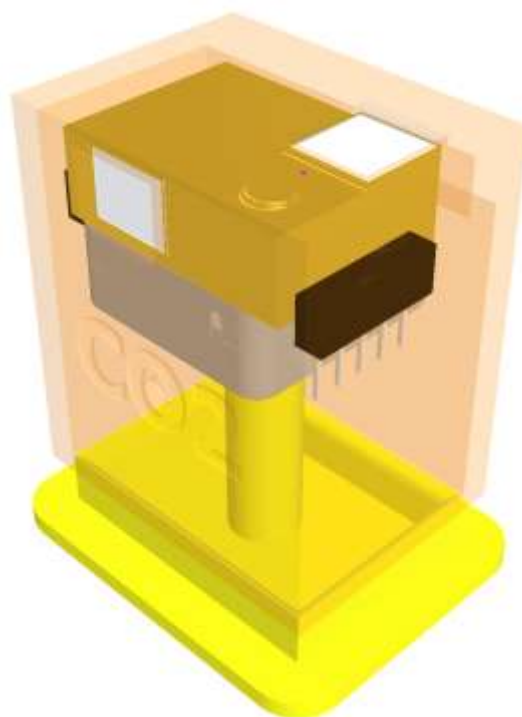
Questa versione mini (35x25x40 mm) utilizza come sistema di controllo un processore ESP32 dotato di connettività wiifi e bluetooth nativa. Non è prevista la presenza di relè per attivare macchine esterne ma di un LED o un piccolo buzzer per avvisare il superamento dei limiti di CO₂ previsti. Il sistema può essere interrogato via bluetooth da smartphone.

L'impiego più adatto è quello nelle aule o negli ambienti scolastici in modo da procedere ad un ricambio di aria "aprendo le finestre" solo quando è necessario senza sprecare calore.

Nello specifico è stato utilizzato un ESP32 nella configurazione Atom Lite di M5Stack. Si tratta di una versione estremamente ridotta e stabile pronta all'uso del processore ESP32.



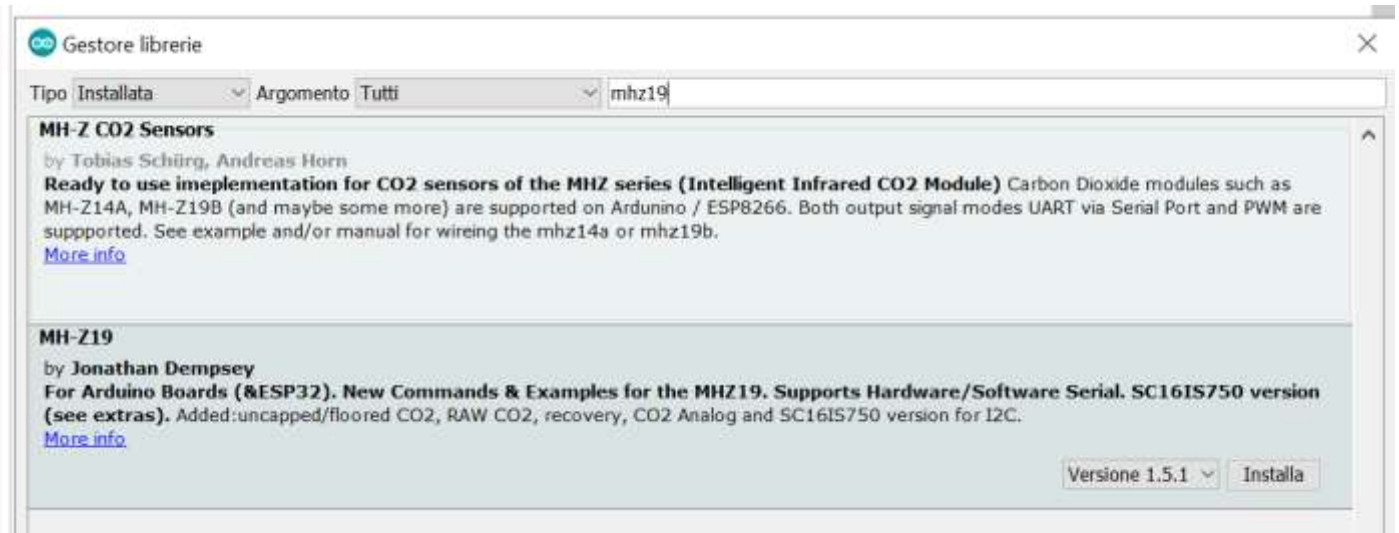
Prototipo stampato e assemblato



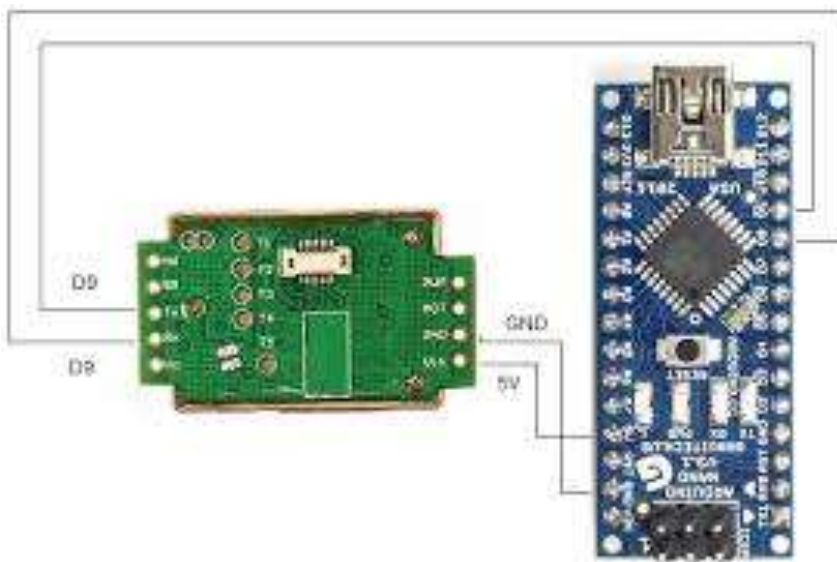
PROGRAMMAZIONE CON IDE ARDUINO

Per poter interrogare il sensore è necessario stabilire una comunicazione seriale (UART) tramite una libreria dedicata disponibile sul "repository" di Arduino.

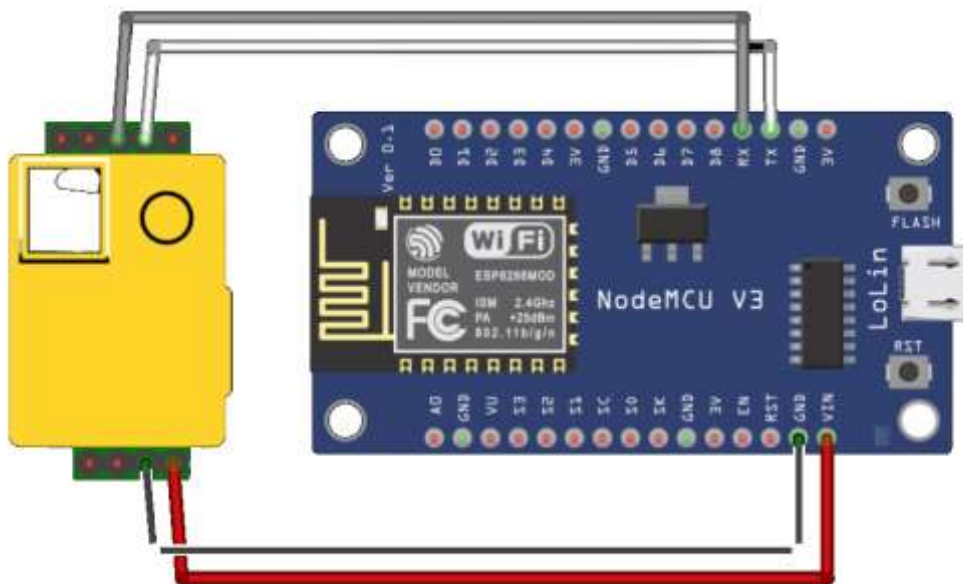
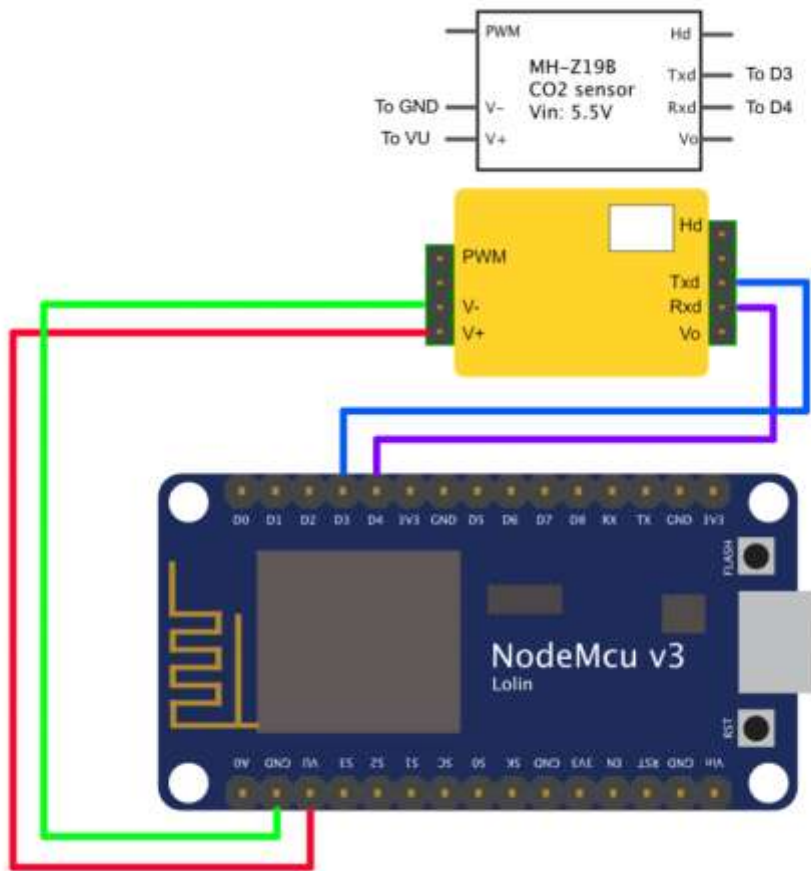
Nel gestore delle librerie indicare la parola "mhz19" per individuare la libreria da installare nell' IDE Arduino.



Schemi tipici di collegamento del sensore con Arduino



Schemi tipici collegamento con ESP32 o ESP2866



Codice Arduino per sensore di CO₂ MHZ 19

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <MHZ19.h>

int falto=0;

SoftwareSerial ss(13,12); // RX, TC -> comunicazione seriale
MHZ19 mhz(&ss);

void setup()
{
  pinMode( 2,OUTPUT );
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(F("Starting..."));
  ss.begin(9600);
}

void loop()
{
  MHZ19_RESULT response = mhz.retrieveData();
  if (response == MHZ19_RESULT_OK)
  {
    Serial.print(F("CO2: "));
    Serial.println(mhz.getCO2());
    Serial.print(F("Min CO2: "));
    Serial.println(mhz.getMinCO2());
    Serial.print(F("Temperature: "));
    Serial.println(mhz.getTemperature());
    Serial.print(F("Accuracy: "));
    Serial.println(mhz.getAccuracy());
  }
  else
  {
    Serial.print(F("Error, code: "));
    Serial.println(response);
  }

  delay(100);

  if (falto==0 )
  { digitalWrite( 2,HIGH ); falto=1; }
  else
  { digitalWrite( 2,LOW ); falto=0; }

  delay(15000);
}
```

Codice ATOM Lite per sensore di CO₂ MHZ 19

```
#include <MHZ19_uart.h>

// ESP 32 DEV KIT
//const int rx_pin = 4; //Serial rx pin no
//const int tx_pin = 5; //Serial tx pin no

// ATOM LITE ESP 32
// Grove RX: 26, TX: 32 | GPIO RX: 25, TX: 21
const int rx_pin = 25; //Serial rx pin no
const int tx_pin = 21; //Serial tx pin no

MHZ19_uart mhz19;

#include "BluetoothSerial.h"

#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth is not enabled! Please run `make menuconfig` to and enable it
#endif

// Bluetooth Serial object
BluetoothSerial SerialBT;

// Handle received and sent messages
String message = "";
char incomingChar;
String temperatureString = "";

// Timer: auxiliar variables
unsigned long previousMillis = 0; // Stores last time temperature was published
const long interval = 5000; // interval at which to publish sensor readings

void setup() {
  //pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
  // Bluetooth device name
  SerialBT.begin("ESP32_CO2");
  Serial.println("Device started! Pair it with bluetooth!");

  mhz19.begin(rx_pin, tx_pin);
  mhz19.setAutoCalibration(false);
  // need 180000 --> 3 minutes
  //while( mhz19.isWarming() ) {
  // Serial.print("MH-Z19 now warming up... status:");Serial.println(mhz19.getStatus());
  // delay(1000);
  //}
}

void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();

  // Send temperature readings
  if (currentMillis - previousMillis >= interval){
    previousMillis = currentMillis;
```

```

    //sensors.requestTemperatures();
    //temperatureString = String(sensors.getTempCByIndex(0)) + "C " +
String(sensors.getTempFByIndex(0)) + "F";
    //temperatureString = millis();
    //SerialBT.println(temperatureString);

    int co2ppm = mhz19.getPPM();
    int temp = mhz19.getTemperature();

    SerialBT.print("co2: "); SerialBT.println(co2ppm);
    SerialBT.print("temp: "); SerialBT.println(temp);

    Serial.print("co2: "); Serial.println(co2ppm);
    Serial.print("temp: "); Serial.println(temp);

}

// Read received messages (LED control command)
if (SerialBT.available()){
    char incomingChar = SerialBT.read();
    if (incomingChar != '\n'){
        message += String(incomingChar);
    }
    else{
        message = "";
    }
    Serial.write(incomingChar);
}

// Check received message and control output accordingly
if (message == "led_on"){
    //digitalWrite(ledPin, HIGH);
}
else if (message == "led_off"){
    //digitalWrite(ledPin, LOW);
}
delay(20);
}

```