BENE COMUNE VIMODRONE | RETE DI MONITORAGGIO AMBIENTALE IOT

GUIDA OPERATIVA UFFICIALE DI SISTEMA

Air Quality Index Dashboard - Operating Manual

AQI Centralina Multi-Stazione | Versione 08.00 (Standard EEA 6 Classi & Medie 24h)Multigas)

SCHEDA METADATI E CONTROLLO DOCUMENTO

Revisione Documento	*08.00 (Release Ufficiale - Standard EEA 6 Classi & Medie 24h)*
Data di Rilascio	*16 Ottobre 2026 (Standard EEA 6 Classi e Medie 24h)*
Dispositivi Target	*Centralina 1 (AQI_01 - Grove V2) e Centralina 2 (AQI_02 - MiCS-6814 V1)*
Integrazione Cloud	*ThingSpeak (Canali primari 3482211, 3482910 + Canale Gas dedicato 3494571)*
URL Dashboard Ufficiale	*https://giuse-arte.github.io/AQI02/index.html*
Progetto Promotore	*Rete di Monitoraggio Ambientale IoT (Bene Comune Vimodrone)*
Stato Documento	*Approvato per il deployment operativo e consultazione pubblica h24*

1. Introduzione e Architettura della Rete

La dashboard AQI 2.0 e un'applicazione web avanzata concepita per il monitoraggio in tempo reale e l'analisi storica della qualita dell'aria urbana, nell'ambito del progetto promosso dalla comunità Bene Comune Vimodrone in sinergia con la rete civica Milano Smart Park (MSP).

Il sistema acquisisce continuativamente i parametri ambientali da una flotta di centraline IoT basate su microcontrollore Espressif ESP32 WROVER. I dati vengono trasmessi con cadenza periodica alla piattaforma cloud ThingSpeak tramite due canali sincronizzati:

[*] Canale Primario: riservato ai parametri microclimatici, alle concentrazioni di polveri sottili (PM1, PM2.5, PM10) e al valore RSSI del segnale Wi-Fi.

[*] Canale Secondario Gas (ID 3494571): dedicato alle concentrazioni dei gas inquinanti (Monossido di Carbonio CO, Biossido di Azoto NO2, Ammoniaca NH3), misurate dai sensori gas multicanale montati sulle diverse stazioni.

La dashboard si aggiorna automaticamente al cambio di qualsiasi filtro o centralina, consentendo sia la consultazione rapida dello stato dell'aria cittadina tramite 13 KPI Cards sintetiche, sia l'approfondimento analitico mediante 12 grafici interattivi con serie temporali a breve, medio e lungo termine.

2. Sensori del Dispositivo e Dotazione Hardware

A seguito degli sviluppi ingegneristici completati nell'autunno 2026, la dotazione sensoriale delle stazioni di monitoraggio e stata notevolmente potenziata. Ciascuna centralina integra un insieme coordinato di sensori fisici specializzati:

2.1 Sensore Ambientale Termo-Igrometrico e VOC - Bosch Sensortec BME680

Sensore MEMS combinato di precisione su bus I2C. Rileva simultaneamente quattro grandezze fisiche:

[*] Temperatura ambientale (in gradi Celsius, con risoluzione 0.1 C).

[*] Umidita relativa dell'aria (in percentuale %, fondamentale anche per compensare le derive degli altri sensori).

[*] Pressione atmosferica barometrica (in ettopascal hPa, calibrata per l'altitudine media di Milano/Vimodrone di 122 m s.l.m.).

[*] Composti Organici Volatili (VOC): rilevati tramite una micropiastra a riscaldamento pulsato che misura la resistenza del gas superficiale in kOhm. Un valore elevato indica aria priva di esalazioni organiche, mentre una brusca discesa evidenzia la presenza di solventi, fumi o composti volatili.

2.2 Sensore Ottico Laser per Particolato Atmosferico - Plantower PMS5003

Rilevatore ottico professionale basato sul principio della diffrazione laser (Mie Scattering). Una ventola interna convoglia un flusso costante d'aria all'interno di una camera ottica buia dove un raggio laser intercetta le polveri in sospensione. Il sensore classifica e quantifica in tempo reale tre frazioni granulometriche in microgrammi per metro cubo (ug/m3):

[*] PM1.0: particolato ultrafine in grado di penetrare in profondità negli alveoli polmonari.

[*] PM2.5: particolato fine (fumo, combustione, aerosol secondario) utilizzato per gli indici di qualita dell'aria.

[*] PM10: polveri toraciche grossolane (sollevamento stradale, sabbie, pollini, usura freni).

2.3 Sensori Gas Multicanale di Nuova Generazione (Grove V1 vs Grove V2)

Per superare i limiti dei precedenti sensori a canale singolo e garantire la quantificazione accurata dei gas tossici urbani, la flotta e stata equipaggiata con due distinte generazioni hardware multigas:

[*] Centralina 1 (AQI_01) - Modulo Seeed Studio Grove Gas Sensor V2 (Multichannel): revisione modulare a 4 socket con 3 sensori ceramici discreti Winsen MEMS (GM-702B per Monossido di Carbonio CO, GM-102B per Biossido di Azoto NO2 e GM-502B per Ammoniaca NH3). Il modulo e coordinato da un microcontrollore ARM Cortex-M0 a 48 MHz (STM32F030,

indirizzo I2C 0x08) che garantisce stabilita termica, totale assenza di freeze sul bus e possibilita di sostituire i singoli elementi.

[*] Centralina 2 (AQI_02) - Modulo Seeed Studio Grove Multichannel Gas Sensor V1: basato sul chip multigas integrato SGX Sensortech MiCS-6814 con microcontrollore Microchip ATmega168 (indirizzo I2C 0x04). Dispone di 3 elementi sensibili a semiconduttore (canale RED per CO, canale OX per NO2, canale NH3) con compensazione sincrona termo-igrometrica in tempo reale operata dal firmware mediante le letture del sensore BME680.

2.4 Diagnostica di Connessione - Modulo Wi-Fi ESP32 (RSSI)

Il firmware monitora in continuo l'intensita di campo radio della rete Wi-Fi tramite l'indice RSSI (Received Signal Strength Indicator), espresso in dBm. Valori superiori a -65 dBm indicano segnale ottimale, tra -65 e -75 dBm segnale buono, inferiori a -80 dBm connessione critica suscettibile di perdite pacchetto.

Nota metrologica: le misure fornite dai sensori a basso costo non sostituiscono le stazioni certificate ARPA ai fini di legge, ma offrono una risoluzione spazio-temporale indispensabile per rilevare microclimi urbani, picchi localizzati di traffico e trend di inquinamento di quartiere.

3. Struttura della Dashboard 2.0

L'interfaccia utente e strutturata in tre livelli logici: la barra superiore (Header e Controlli), la sezione Key Performance Indicators (13 KPI Cards) e l'area dei Grafici Storici (12 Grafici interattivi).

3.1 Header, Barra Controlli e Strumenti di Navigazione

L'header contiene gli strumenti di configurazione globale della sessione di monitoraggio:

[*] Titolo Stazione e Sottotitolo: visualizza la dicitura pulita della centralina ('Device N. AQI_01' o 'Device N. AQI_02') e il periodo temporale attualmente campionato.

[*] Geolocalizzazione e Indirizzo Stradale: coordinate Latitudine/Longitudine, RSSI radio e indirizzo civico ricavato in tempo reale via Reverse Geocoding su OpenStreetMap (con allineamento verticale dedicato a 22px).

[*] Data Inizio con Icona Calendario: consente di fissare la data di partenza dei dati nei grafici. Modificare questo campo attiva inoltre la procedura di reset controllato della configurazione.

[*] Selettore Modalita Temporale: Ultime 24 ore (Live), Giorno specifico, Ultimi 7 giorni, Ultimo mese, Ultimo anno.

[*] Selettore Standard AQI: commutazione immediata tra standard europeo EEA e standard statunitense EPA.

[*] Pulsante Switch Layout (PC / Smartphone): nuovo pulsante a due icone che permette di alternare al volo la vista a due colonne affiancate (ideale per monitor desktop) e la visualizzazione in colonna singola (ideale per smartphone o tablet).

[*] Pulsante Estrai CSV: genera il download immediato dell'archivio tabellare a 16 colonne.

[*] Pulsante Tema Ocra: consente di passare istantaneamente tra il Tema Scuro notturno e il Tema Chiaro Pastello (sfondo #ebf3f0 con testate grafici in blu reale #1b4db1).

[*] Pulsante Contr. Centraline: apre il pannello a tendina per cambiare dispositivo, selezionare i singoli grafici tramite checkbox, impostare la memorizzazione delle preferenze e rendere effettive le scelte tramite il pulsante 'Applica'.

3.2 Sezione Key Performance Indicator Cards (13 KPI Cards su 2 Righe)

Card KPI	Sensore Fisico	Unita	Descrizione e Algoritmo di Calcolo
PM1	PMS5003	ug/m3	Concentrazione istantanea particolato ultrafine + Min/Max periodo.
PM2.5	PMS5003	ug/m3	Concentrazione istantanea particolato fine + Min/Max periodo.
PM10	PMS5003	ug/m3	Concentrazione istantanea particolato grossolano + Min/Max periodo.
PM2.5 (24h)	PMS5003	ug/m3	Media mobile aritmetica calcolata sulle ultime 24 ore reali.
PM10 (24h)	PMS5003	ug/m3	Media mobile aritmetica calcolata sulle ultime 24 ore reali.
AQI Sintetico	PMS5003 / Alg.	Indice	Indice di qualita dell'aria (EEA o EPA) con badge cromatico e pulsante info 'i'.
Umidita	BME680	%	Umidita relativa dell'aria + valori Min/Max del periodo.
Temperatura	BME680	C	Temperatura ambiente istantanea + valori Min/Max del periodo.
Pressione	BME680	hPa	Pressione atmosferica locale barometrica + Min/Max del periodo.
VOC	BME680	kOhm	Resistenza gas MOS + delta numerico e freccia trend rispetto alla baseline 24h.
CO (Monossido)	Grove V2 / MiCS	ug/m3	Concentrazione Monossido di Carbonio (GM-702B o MiCS RED calibrato).
NO2 (Biossido)	Grove V2 / MiCS	ug/m3	Concentrazione Biossido di Azoto (GM-102B o MiCS OX compensato T/Hum).
NH3 (Ammoniaca)	Grove V2 / MiCS	ug/m3	Concentrazione Ammoniaca (GM-502B o MiCS NH3 calibrato).

4. Modalita di Visualizzazione, Filtri e Esportazione CSV

4.1 Gestione delle Modalita Temporali

Il selettore Modalita rimappa in tempo reale la densita e la finestra dei dati senza richiedere ricaricamenti:

[*] Ultime 24 ore (Live): campionamento punto per punto con etichette temporali ogni 4 ore e griglie orarie.
[*] Giorno: seleziona una giornata di calendario specifica (dalle 00:00 alle 23:59).
[*] Ultimi 7 giorni: aggregazione oraria a 1 punto/ora per evidenziare i cicli settimanali.
[*] Ultimo mese: aggregazione oraria sugli ultimi 30 giorni, con griglie secondarie diurne.
[*] Ultimo anno: andamento macro-climatico con medie giornaliere sui 365 giorni precedenti.

4.2 Struttura Estesa del File CSV Esportato (16 Colonne)

Nome Campo CSV	Unita	Descrizione del Dato Registrato
Date/Time	GG/MM/AAAA HH:MM:SS	Data e ora solare della campionatura.
year	Anno	Anno di riferimento a quattro cifre (es. 2026).
month	1-12	Mese numerico dell'anno.
temp	C	Temperatura ambiente rilevata dal sensore BME680.
hum	%	Umidita relativa rilevata dal sensore BME680.
pres	hPa	Pressione atmosferica rilevata dal sensore BME680.
voc	kOhm	Resistenza elettrica dello strato sensibile a gas MOS.
PM1	ug/m3	Concentrazione istantanea di polveri ultrafini PMS5003.
PM2_5	ug/m3	Concentrazione istantanea di polveri fini PMS5003.
PM2_5_mavg	ug/m3	Media mobile 24 ore di PM2.5 calcolata con finestra rolling O(N).
PM10	ug/m3	Concentrazione istantanea di polveri grossolane PMS5003.
PM10_mavg	ug/m3	Media mobile 24 ore di PM10 calcolata con finestra rolling O(N).
MICS_CO	ug/m3	Concentrazione Monossido di Carbonio (canale secondario gas).
MICS_NO2	ug/m3	Concentrazione Biossido di Azoto (canale secondario gas).
MICS_NH3	ug/m3	Concentrazione Ammoniaca (canale secondario gas).
RSSI	dBm	Intensita di segnale Wi-Fi ESP32 associata al pacchetto.

5. Standard di Qualita dell'Aria (EEA ed EPA)

Il calcolo dell'indice sintetico AQI e la colorazione dei badge avvengono secondo i due protocolli internazionali ufficiali (EEA ed EPA). In entrambi gli standard, le concentrazioni di particolato atmosferico (PM2.5 e PM10) utilizzate per determinare la classe di qualita e l'indice sintetico non sono valori istantanei, bensi concentrazioni rigorosamente mediate nelle 24 ore (medie mobili a 24 ore). Il valore finale assegnato alla centralina riflette sempre la concentrazione peggiore riscontrata tra PM2.5 e PM10 nelle ultime 24 ore.

5.1 Standard Europeo EEA (European Environment Agency)

Classe	Descrizione Qualitativa	PM2.5 (media 24h, ug/m3)	PM10 (media 24h, ug/m3)
1	Buona (Good)	0 - 10	0 - 20
2	Accettabile (Fair)	10 - 20	20 - 40
3	Moderata (Moderate)	20 - 25	40 - 50
4	Scadente (Poor)	25 - 50	50 - 100
5	Molto scadente (Very poor)	50 - 75	100 - 150
6	Estremamente scadente (Extremely poor)	> 75	> 150

5.2 Standard Americano EPA (US Environmental Protection Agency)

AQI (0-500)	Descrizione Categoria Sanitaria	PM2.5 (media 24h, ug/m3)	PM10 (media 24h, ug/m3)
0 - 50	Buona (Good)	0.0 - 12.0	0 - 54
51 - 100	Moderata (Moderate)	12.1 - 35.4	55 - 154
101 - 150	Non salubre per gruppi sensibili	35.5 - 55.4	155 - 254
151 - 200	Non salubre (Unhealthy)	55.5 - 150.4	255 - 354
201 - 300	Molto non salubre (Very Unhealthy)	150.5 - 250.4	355 - 424
301 - 500	Pericolosa (Hazardous)	250.5 - 500.4	425 - 604

6. Catalogo dei 12 Grafici Storici Interattivi

Il pannello di visualizzazione include dodici grafici indipendenti gestiti tramite la libreria Chart.js. Ciascun grafico puo essere singolarmente attivato o disattivato tramite il pannello 'Contr. Centraline':

[*] 1. PM1 (PMS5003): andamento temporale del particolato ultrafine in ug/m3.

[*] 2. PM2.5 (PMS5003): concentrazione istantanea di particolato fine in ug/m3.

[*] 3. PM10 (PMS5003): concentrazione istantanea di particolato grossolano in ug/m3.

[*] 4. PM2.5 + PM10 (24h) [COMBO]: grafico combinato delle medie mobili a 24 ore con soglie normative tratteggiate (EEA/EPA). Nota: resta intenzionalmente vuoto nelle prime 24 ore successive a Data Inizio per evitare medie statisticamente insufficienti.

[*] 5. Umidita (BME680): andamento dell'umidita relativa percentuale (%).

[*] 6. Temperatura (BME680): curva termica in gradi Celsius (C).

[*] 7. Pressione (BME680): oscillazioni barometriche locali in ettopascal (hPa).

[*] 8. VOC (BME680): andamento del delta rispetto alla baseline 24h. Curva positiva sopra lo zero indica aria pura; curva negativa al di sotto dello zero segnala presenza di solventi o gas organici.

[*] 9. Monossido di Carbonio CO (Grove V2 / MiCS-6814): andamento in ug/m3 del canale gas riducente, tipico inquinante da combustione veicolare e riscaldamento.

[*] 10. Biossido di Azoto NO2 (Grove V2 / MiCS-6814): andamento in ug/m3 del canale gas ossidante, parametro primario per la valutazione del traffico diesel urbano.

[*] 11. Ammoniaca NH3 (Grove V2 / MiCS-6814): concentrazione in ug/m3 associabile ad emissioni zootecniche, agricole o decomposizione organica.

[*] 12. Segnale Wi-Fi RSSI (ESP32): potenza del link radio espressa in dBm, fondamentale per il monitoraggio della stabilita della connessione IoT.

7. Gestione Multi-Centralina e Sincronizzazione Canali Cloud

La dashboard adotta una potente architettura di persistenza locale (localStorage) strutturata per singola centralina:

[*] Memorizzazione Automatica per Centralina: lo standard AQI selezionato, le date di inizio/fine, la modalita temporale e il giorno scelto rimangono memorizzati in modo permanente e indipendente per ciascun dispositivo.

[*] Flag 'Ricorda preferenze': governa specificamente l'elenco dei checkbox grafici attivi per la stazione in uso. Se disattivato, al cambio centralina o al ricaricamento vengono ripristinati tutti i 12 grafici di fabbrica.

[*] Rilevamento Intelligente del Sensore Gas: la dashboard riconosce in automatico il modello di sensore gas montato sulla stazione attiva (leggendo il campo status del canale ThingSpeak o la configurazione interna in config.js), aggiornando istantaneamente i titoli delle card e dei grafici ('Grove Gas V2' per AQI_01 e 'MiCS-6814 V1' per AQI_02).

[*] Sincronizzazione Multi-Canale: per compensare la latenza e i limiti di ThingSpeak, i feed del canale secondario gas (ID 3494571) vengono associati ai feed primari tramite una finestra di tolleranza temporale di 15 minuti.

8. Specifiche Tecniche, Riferimenti Firmware e Deployment

Riferimenti architetturali ufficiali:

[*] Firmware Stazioni: AQI_FW_13b.ino / AQI_FW_13.ino compilato su ESP32 WROVER con partizioni custom (spazio OTA e logging NVS).

[*] Stack Frontend: Vanilla JavaScript (ES6 Modules puro, senza dipendenze Node o framework pesanti), Chart.js per il rendering dei grafici vettoriali, OpenStreetMap Nominatim API per il reverse geocoding civico.

[*] Compatibilita Cross-Platform: supporto completo per browser moderni (Chrome, Edge, Firefox, Safari) sia su PC Desktop sia su smartphone e tablet con commutazione automatica del layout responsive.

> SUPPORTO TECNICO E DOCUMENTAZIONE DI RETE
>
> Documento redatto nell'ambito del monitoraggio ambientale civico per il comune di Vimodrone e l'area metropolitana milanese. Per segnalazioni, contributi al codice open source o assistenza sulla configurazione delle centraline IoT, consultare il repository ufficiale: https://giuse-arte.github.io/AQI02/index.html oppure contattare il team tecnico della rete Milano Smart Park.