



Sentinelle del cielo: mappatura 3D dei pennacchi di emissioni industriali con droni autonomi personalizzati

CENTRO RISORSE FLIGHT

Direzione nazionale dell'istruzione del distretto di Darica



KOCAELİ - DARICA
İLÇE MİLLÎ EĞİTİM MÜDÜRLÜĞÜ



**Co-funded by
the European Union**

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Sommario

1. INTRODUZIONE	2
2. DESTINATARI	2
3. SETTORE DI APPLICAZIONE	3
4. TIPO	3
5. DRONE UTILIZZATO	3
6. DURATA.....	3
7. OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO	3
8. COMPETENZE CHIAVE SVILUPPATE	4
1. Comunicazione e lingue	4
2. Competenze matematiche, scientifiche, tecniche e professionali	4
3. Competenze digitali	4
4. Competenze personali, sociali e professionali	4
5. Sicurezza, qualità e sostenibilità.....	4
6. Cittadinanza e competenza culturale.....	5
7. Creatività, capacità di risoluzione dei problemi e spirito imprenditoriale	5
8. Apprendimento basato sul lavoro e integrazione nel contesto lavorativo	5
9. PREQUISITI	5
10. SCHEMA DELLA LEZIONE	7
Fase 1 – Introduzione (Coinvolgimento e contestualizzazione).....	7
Fase 2 – Esplorazione (Indagine e confronto)	8
Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche)	9
Fase 4 – Riflessione e consolidamento (Presentazione)	10
11. CRITERI DI VALUTAZIONE.....	11
12. MATERIALI DIDATTICI.....	13
13. RISORSE TECNICHE.....	13
14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	15



1. INTRODUZIONE

In questo progetto, gli studenti utilizzano un drone autonomo costruito su misura, equipaggiato con un data logger IoT indipendente (NodeMCU + sensore PM2.5 + BME680 + GPS esterno) per analizzare la qualità dell'aria vicino a zone industriali. A differenza delle stazioni di monitoraggio standard, questo sistema consente missioni di "Campionamento a griglia" dinamiche. Gli studenti programmeranno il drone per seguire traiettorie di volo autonome sottovento ai camini delle fabbriche, al fine di catturare la dispersione del particolato (PM2.5) e dei composti organici volatili (VOC). I dati registrati (CSV) vengono poi visualizzati utilizzando Kepler.gl per creare mappe di calore volumetriche 3D, permettendo agli studenti di valutare in modo scientifico come l'inquinamento si diffonde e influisce sull'ambiente scolastico.



2. DESTINATARI

- ☐ 15
- ☒ 16
- ☒ 17
- ☒ 18
- ☐ Oltre 18 anni



Co-funded by
the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

3. SETTORE DI APPLICAZIONE

- ☐ Agricoltura
- ☐ Risposta alle emergenze
- ☐ Costruzioni
- ☐ Gestione delle acque
- Protezione ambientale
- Altro

4. TIPO

- ☐ Piano di lezione
- Progetto

5. DRONE UTILIZZATO

- Drone personalizzato
- ☐ Drone commerciale (DJI)

6. DURATA

- ☐ 1 lezione da 45 minuti
- ☐ 1 lezione da 60 minuti
- ☐ 1 blocco da 90 minuti
- ☐ 2 lezioni da 45 minuti
- 2 lezioni da 60 minuti
- ☐ Doppia sessione (2 × 60 minuti) con compiti a casa facoltativi basati su progetti.

7. OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO

O1: Comprendere la fisica della "dispersione del pennacchio" e come la direzione del vento e la distanza influenzano la diluizione degli inquinanti (PM2.5/COV).



O2: Padroneggiare l'integrazione tecnica di un data logger IoT autonomo (NodeMCU) con una piattaforma di volo autonoma, garantendo l'assenza di interferenze con i comandi di volo.

O3: Eseguire "missioni a griglia" autonome utilizzando il software di controllo a terra (Mission Planner/QGroundControl).

O4: Trasforma i dati di log CSV grezzi in visualizzazioni geospaziali 3D interattive utilizzando Kepler.gl per identificare i punti critici di inquinamento.

8. COMPETENZE CHIAVE SVILUPPATE

1. Comunicazione e lingue

- ☐ Competenza di alfabetizzazione (comprensione e produzione di testi scritti/orali)
- ☐ La comunicazione in contesti professionali
- ☐ Competenza multilingue

2. Competenze matematiche, scientifiche, tecniche e professionali

- ☐ Competenza matematica
- Competenza scientifica, tecnologica e ingegneristica (STEM)
 - ☐ Competenze numeriche applicate ai compiti lavorativi
 - ☐ Interpretazione di informazioni tecniche (manuali, diagrammi, norme)
 - ☐ Competenze professionali/tecniche
 - ☐ Esecuzione di compiti pratici

3. Competenze digitali

- Competenza digitale (alfabetizzazione digitale generale)
 - ☐ Utilizzo di strumenti digitali in ambito lavorativo

4. Competenze personali, sociali e professionali

- ☐ Competenza personale, sociale e di apprendimento
- ☐ Lavoro di squadra e collaborazione
- ☐ Autonomia e responsabilità
- ☐ Etica del lavoro e comportamento professionale
- ☐ Adattabilità e flessibilità
- ☐ Collaborazione con supervisori e colleghi

5. Sicurezza, qualità e sostenibilità

- ☐ Applicazione delle norme in materia di salute e sicurezza (OHS/SST)
- ☐ Procedure di qualità e norme sul luogo di lavoro
- Consapevolezza ambientale e di sostenibilità



6. Cittadinanza e competenza culturale

- ☐ Competenza di cittadinanza
- ☐ Consapevolezza culturale e competenza espressiva

7. Creatività, capacità di risoluzione dei problemi e spirito imprenditoriale

- ☐ Risoluzione dei problemi e pensiero critico
- ☐ Competenza imprenditoriale
- ☐ Iniziativa e creatività
- ☐ Il processo decisionale in situazioni lavorative reali

8. Apprendimento basato sul lavoro e integrazione nel contesto lavorativo

- ☐ Integrazione nelle routine lavorative
- ☐ Seguendo le istruzioni e le procedure professionali
- ☐ Utilizzo di strumenti, attrezzature e tecnologie

Questa lista di controllo unisce le competenze chiave dell'UE per l'apprendimento permanente con le competenze fondamentali previste nell'istruzione e formazione professionale europea (IFP).

9. PREQUISITI

1. Sistemi integrati ed elettronica

Questo ambito riguarda le conoscenze hardware necessarie per integrare il NodeMCU con i sensori e l'alimentazione

• Protocolli di comunicazione:

- **I2C:** comprensione di come collegare il **BME680** al NodeMCU (pin SDA/SCL)
- **UART (Seriale):** comprensione della comunicazione seriale per il **modulo GPS** e, potenzialmente, per il **sensore PM2.5** (linee TX/RX)
- **SPI:** il **modulo MicroSD** utilizza tipicamente il protocollo SPI; è fondamentale saperlo cablare correttamente

• Gestione dell'alimentazione:

- Il sistema è alimentato da una batteria separata 1S da 950mAh. È necessario comprendere la regolazione della tensione (conversione del range 3,7V–4,2V della batteria nei 3,3V o 5V richiesti dai sensori).
- *Nota critica:* i sensori PM2.5 spesso richiedono 5V per la ventola interna, mentre il NodeMCU lavora a 3,3V logici. È necessario comprendere il



cambio di livello (adattamento dei livelli logici) per evitare di danneggiare la scheda.

2. Software e programmazione (firmware)

Competenze di programmazione necessarie per raccogliere e registrare i dati in modo efficiente.

- **Linguaggio Arduino/C++:** sintassi base per programmare il NodeMCU
- **Integrazione librerie:** utilizzo di librerie come Adafruit_BME680, TinyGPS++ e SD.h
- **Temporizzazione e programmazione asincrona:**
I dati GPS arrivano a intervalli specifici (es. 1Hz o 10Hz). L'uso di `delay()` blocca il programma e causa perdita di dati. È necessario usare `millis()` per un'esecuzione non bloccante, così da leggere i sensori e scrivere su SD senza bloccare il microcontrollore
- **Formattazione dati:** strutturare correttamente i dati su scheda SD in formato CSV (es. Time, Lat, Lon, PM2.5, Temp, VOC)

3. Operazioni con droni e pianificazione del volo

Conoscenze necessarie per voli autonomi sicuri e raccolta efficace dei dati.

- **Pianificazione missione:** definizione di **waypoint** e **griglie di campionamento** (pattern a “Tagliaerba”) per missioni autonome
- **Meteo e sicurezza:** comprensione di come direzione e velocità del vento influenzano stabilità e consumo della batteria
- **Integrazione carico utile:** montaggio del sistema di acquisizione dati senza alterare il **centro di gravità (CG)** del drone, fondamentale per la stabilità

4. Fisica ambientale e conoscenza dei sensori

Comprensione della natura dei dati raccolti.

–Comportamento dei sensori:

- **BME680:** necessita di un periodo di “burn-in” (riscaldamento del sensore) per ottenere misurazioni affidabili dei gas (VOC)
- **PM2.5:** attenzione al “prop wash” (turbolenza generata dalle eliche del drone), che può alterare il campionamento dell'aria e produrre dati errati



–**Dispersione del pennacchio (plume):** comprensione dei processi fisici di **advezione** e **diffusione** per interpretare correttamente le mappe di inquinamento

5. Visualizzazione dei dati e GIS

Competenze per trasformare dati grezzi in informazioni utili.

- **Pulizia dati:** elaborazione dei CSV (es. eliminare coordinate 0,0 prima del fix GPS)
- **Uso di Kepler.gl:**
 - comprensione dei layer (Point, Hexbin, Heatmap)
 - uso dei filtri (soprattutto animazioni temporali)
 - formattazione corretta di latitudine e longitudine per il riconoscimento del software Kepler.gl

Riepilogo: Questa sezione in sostanza afferma: *"Per avere successo in questo progetto, bisogna saper saldare i componenti, scrivere codice non bloccante, pilotare un drone in sicurezza e capire come il vento trasporta l'inquinamento."*

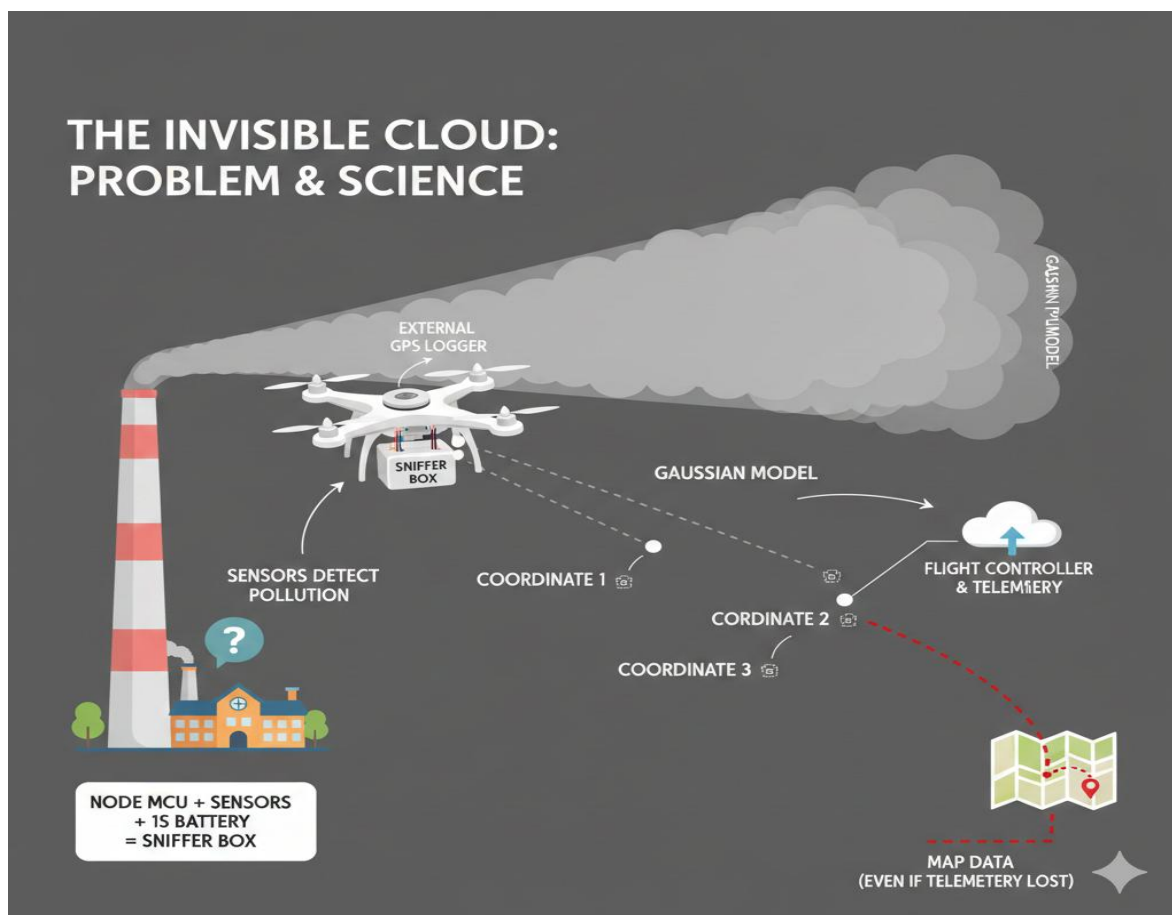
10. SCHEMA DELLA LEZIONE

Fase 1 – Introduzione (Coinvolgimento e contestualizzazione)

La sessione inizia con il concetto di "Nuvola Invisibile".

- **Il problema:** Vediamo del fumo uscire dal camino, ma dove va? Arriva fino alla nostra scuola?
- **La scienza:** Spiega il Modello a **pennacchio gaussiano**. L'inquinamento si diffonde a forma di cono. Per catturarlo, dobbiamo volare *Attraverso* esso a coordinate diverse.
- **L'ingranaggio:** Presentazione del drone personalizzato e dei sensori (NodeMCU + sensori + batteria 1S). Spiegazione del motivo per cui utilizziamo un GPS separato per il registratore di dati (per mappare i dati anche se il drone perde la telemetria).





Fase 2 – Esplorazione (Indagine e confronto)

Test al banco: Gli studenti accendono i sensori.

Verifica il blocco GPS (LED blu lampeggiante).

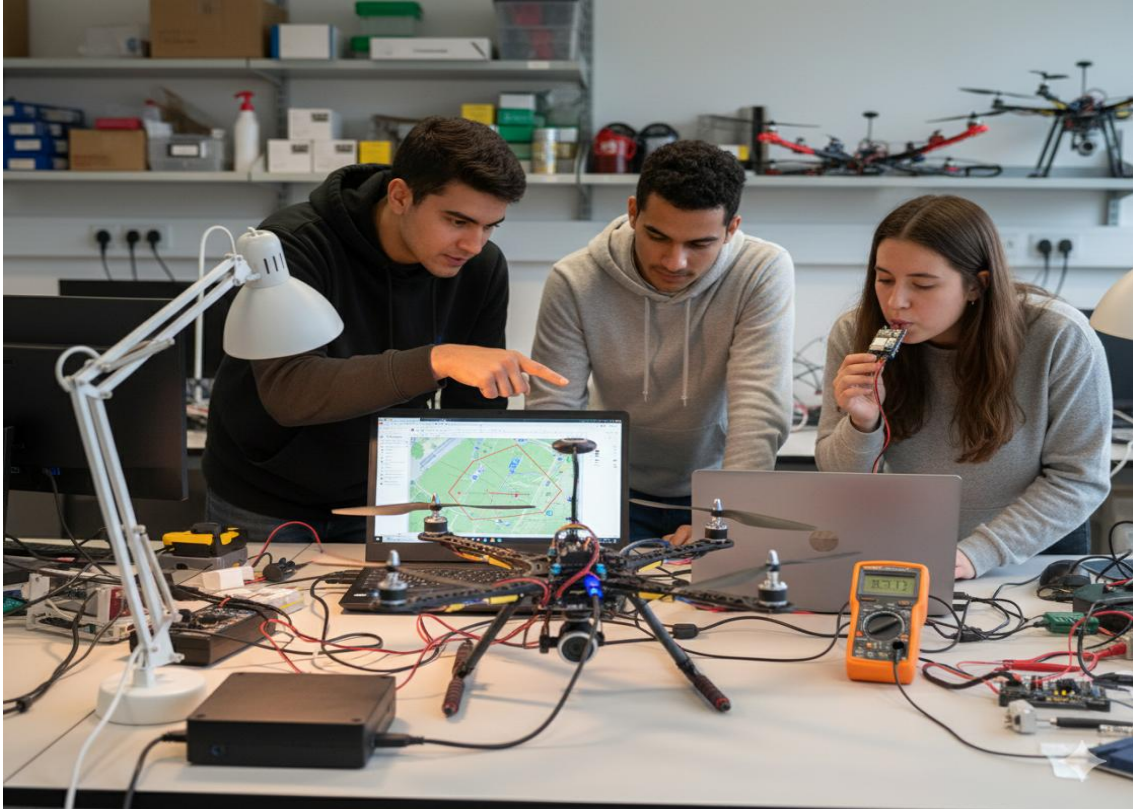
Verifica la risposta del BME680 (soffiare su di esso -> La resistenza diminuisce).

Verifica la capacità di scrittura della scheda SD.



Co-funded by
the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



Pianificazione della missione: Utilizzando Mission Planner, gli studenti disegnano un poligono su un campo sicuro sottovento rispetto all'obiettivo.

Modello: "Rilievo (griglia)"

Altitudine: 30 metri.

Velocità: 3 m/s (velocità ridotta per un migliore campionamento del sensore).

Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche)

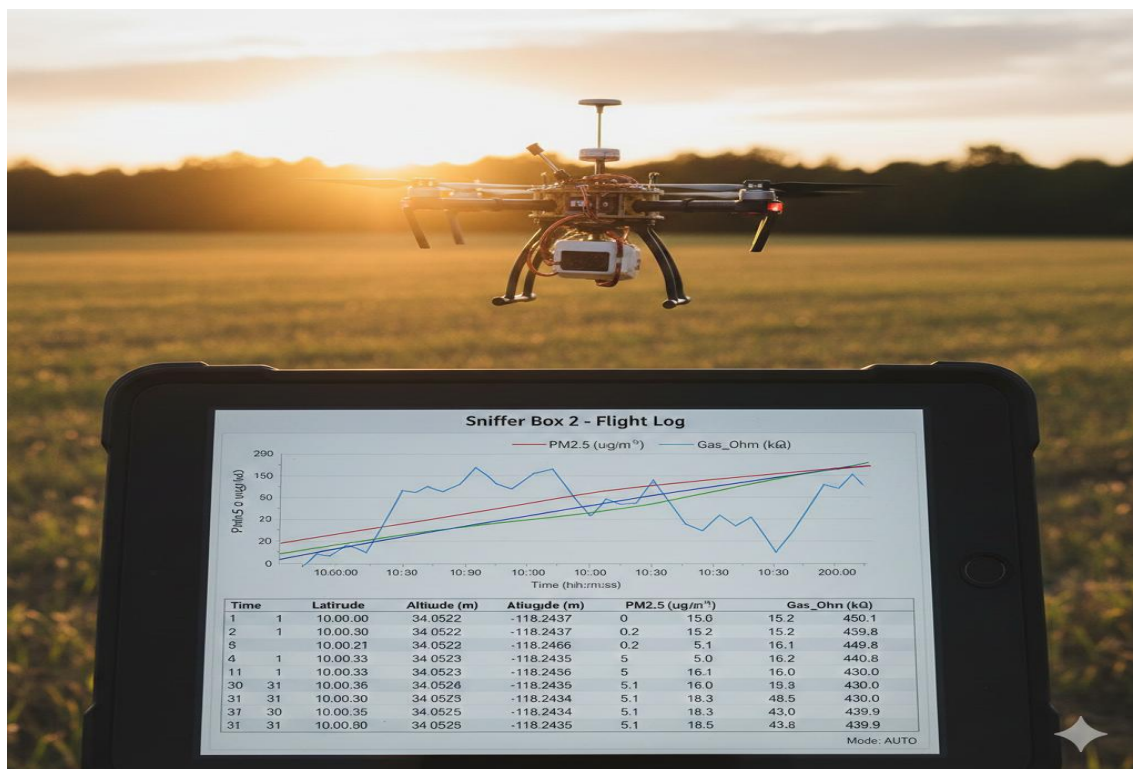
Distribuzione: Recati sul campo.

Prima del volo: Accendi i sensori 2 minuti prima dell'orario previsto per l'inizializzazione del GPS.



**Co-funded by
the European Union**

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



Volo: Arma il drone personalizzato. Decolla a 5 m. Passa a **AUTO** modalità.

- Il drone esegue autonomamente lo schema a griglia.
- I log di NodeMCU Latitudine, Longitudine, Altitudine, PM2.5, Gas_Ohm, Tempo ogni secondo.

Fase 4 – Riflessione e consolidamento (Presentazione)

Elaborazione dei dati: Importa il file CSV nel computer. Rinomina le colonne per maggiore chiarezza.

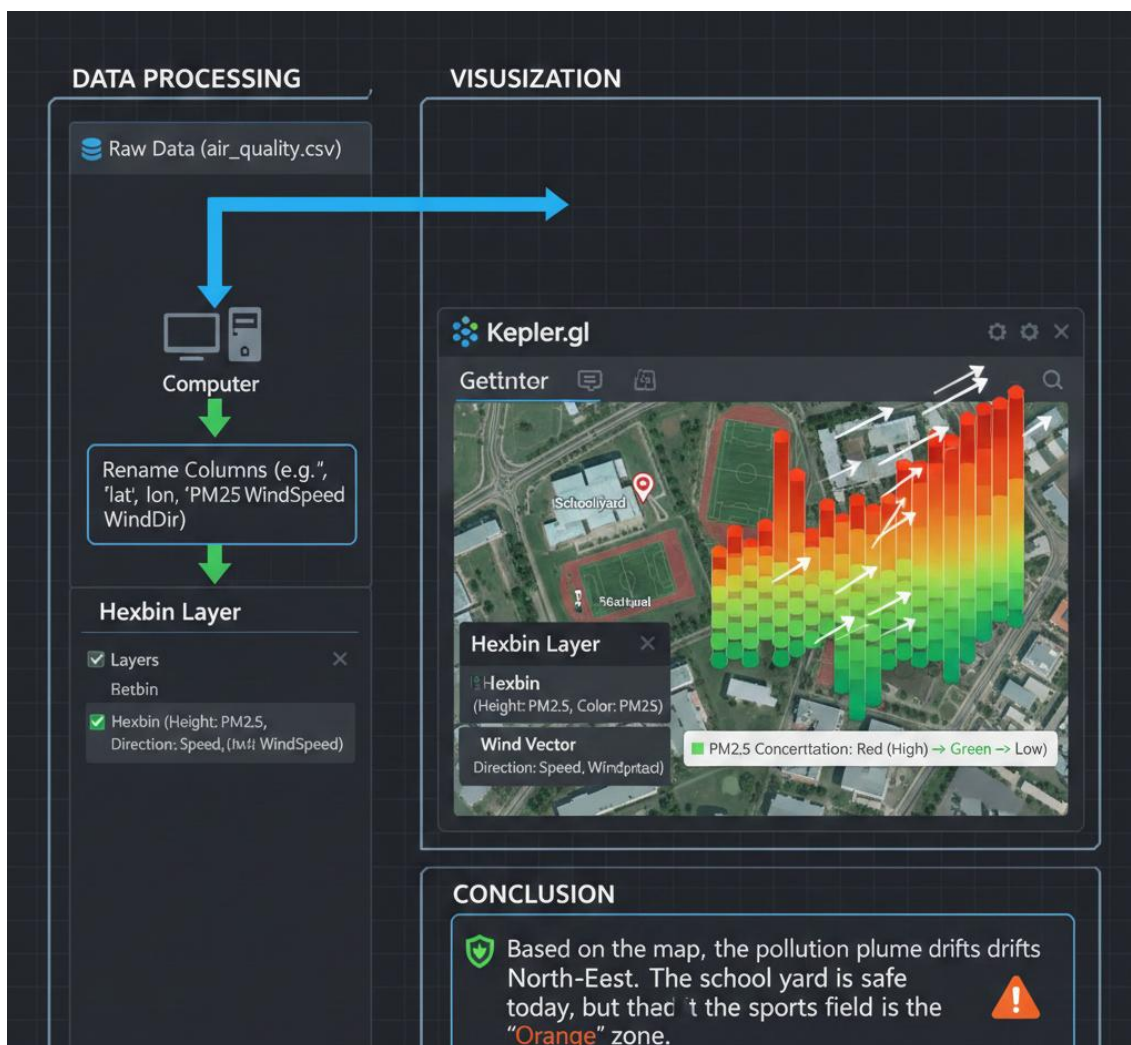
Visualizzazione: Caricare su Kepler.gl.

- **Immagine 1:** Crea un livello "Hexbin". L'altezza degli esagoni corrisponde alla concentrazione di PM2.5. Il colore varia dal rosso (alta) al verde (bassa).
- **Immagine 2:** Aggiungi un "Vettore del vento" (se i dati lo consentono) o una sovrapposizione sulla mappa satellitare.



Co-funded by
the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



Conclusion: "In base alla mappa, la nube inquinante si sposta verso nord-est. Il cortile della scuola è sicuro oggi, ma il campo sportivo si trova nella zona 'arancione'."

11. CRITERI DI VALUTAZIONE

A. Quiz con domande chiuse o aperte (valutazione cognitiva)

Obiettivo: Verificare la comprensione teorica della fisica e dell'elettronica.

- **Quiz 1: La fisica dell'aria (a risposta multipla)**
 - Domande su Inversione termica (Perché fa più freddo in basso?), Dispersione del pennacchio (In che modo il vento influisce sull'inquinamento?), e Punto di rugiada logica di calcolo.
- **Quiz 2: Risoluzione dei problemi tecnici (a risposta aperta / basato su scenari)**
 - **Scenario:** "Il tuo NodeMCU è acceso, ma il file CSV è vuoto. Elenca 3 possibili cause." (Risposte attese: inversione TX/RX, nessun aggancio GPS, velocità di trasmissione errata, formattazione della scheda SD).
 - **Scenario:** "Il drone oscilla (vibra) durante la missione di volo stazionario. Quale impostazione PID o problema hardware potrebbe esserne la causa?"
- **Quiz 3: Alfabetizzazione digitale**



Co-funded by
the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

- Dato un esempio di riga CSV non elaborata (ad esempio, \$GPGGA,...), identifica quale parte rappresenta latitudine, longitudine e altitudine.

B. Strumenti di autovalutazione (apprendimento riflessivo)

Obiettivo: Incoraggiare gli studenti a monitorare il proprio percorso di apprendimento.

- **Registro di volo dello studente (il "diario di bordo"):** Gli studenti devono compilare una scheda di riflessione post-volo:
 - *Livello di fiducia:* "Su una scala da 1 a 5, quanto mi sono sentito sicuro durante la saldatura del sensore?"
 - *Il momento "Aha!":* "Qual è stato il più grande ostacolo tecnico che ho superato oggi?" (ad esempio, "Ho capito che il GPS deve essere all'esterno per agganciare il segnale").
 - *Controllo di sicurezza:* "Ho seguito scrupolosamente la lista di controllo pre-volo? In caso contrario, cosa ho tralasciato?"

C. Protocolli di revisione tra pari (valutazione collaborativa)

Obiettivo: Valutare il lavoro di squadra, la comunicazione e la cultura della sicurezza.

- **Criteri di valutazione per la "Gestione delle risorse dell'equipaggio" (CRM):**
 - **Valutazione del progetto pilota:** (Valutato dal responsabile dei dati) - "Il pilota ha comunicato chiaramente prima di armare il drone? Ha avvertito dei cambi di modalità (da stazionamento ad automatico)?"
 - **Valutazione del responsabile dei dati:** (Valutato dal pilota) - "L'ufficiale ha confermato che i sensori stavano registrando *Prima* del decollo per risparmiare batteria?"
- **Revisione del codice:** I team si scambiano il codice Arduino/NodeMCU.
 - "Il codice è commentato/spiegato?"
 - "Hanno utilizzato la libreria corretta per BME680?"

D. Portfolio e risultati pratici (valutazione sommativa)

Obiettivo: Valutare il prodotto finale tangibile e la qualità dei dati.

- **1. Qualità costruttiva della "scatola nera" (criterio di valutazione dell'hardware):**
 - **Eccellente:** Il cablaggio è ordinato, saldato correttamente e isolato con guaina termorestringente. Il posizionamento del sensore riduce al minimo le interferenze generate dal flusso d'aria dell'elica.
 - **Soddisfacente:** Il cablaggio funziona, ma è disordinato (vengono utilizzati cavi di collegamento anziché saldature). Rischio di disconnessione dovuta alle vibrazioni.
 - **Da migliorare:** Connessioni allentate, fili scoperti, sensore ostruito o a contatto con il telaio.
- **2. Il piano di missione (rotta di volo):**
 - **Passaggio:** I waypoint sono impostati ad altitudini di sicurezza, la griglia copre l'area bersaglio ed è configurato il RTL (Return to Launch).
 - **Fallire:** Il percorso interseca degli ostacoli e l'altitudine è troppo bassa per garantire la sicurezza del GPS.
- **3. La visualizzazione Kepler.gl (prodotto dati):**
 - **Livello 3 (Avanzato):** La mappa 3D è pulita (il rumore di decollo/atterraggio è stato rimosso). La scala di colori (sfumatura) rappresenta in modo logico i livelli di inquinamento/temperatura. È fornita una legenda dettagliata.



- **Livello 2 (Competente):** La mappa viene generata, ma include dati "rumorosi" (ad esempio, picchi improvvisi durante l'attivazione).
- **Livello 1 (Base):** Il file CSV è stato importato, ma il tipo di visualizzazione (Arco/Punto/Esagono) non è appropriato per il tipo di dati.
- **4. Relazione finale (Conclusioni scientifiche):**
 - Un riassunto esecutivo di una pagina indirizzato al preside della scuola o a un agricoltore locale.
 - *Deve includere:* Uno screenshot della mappa Kepler.gl, un grafico che mostra la correlazione (ad esempio, "All'aumentare dell'altitudine, la temperatura è aumentata di 2 °C") e una raccomandazione specifica.

12. MATERIALI DIDATTICI

- 1- **Software:** Mission Planner, Kepler.gl, Excel, Arduino IDE.
- 2- Kit di volo (componenti per droni personalizzati) utilizzato:
 - BME680 – Temperatura, umidità, pressione, COV
 - Sensore laser PM2.5 – Particolato
 - ☐ Sensore di gas MQ7 – Rilevamento di CO
 - ☐ GUVB-S12SD – Intensità UV

13. RISORSE TECNICHE

Risorsa	Descrizione e utilità	Collegamento
Guida per l'utente di Kepler.gl	La documentazione ufficiale dello strumento di analisi geospaziale utilizzato per visualizzare i dati CSV in 3D (esagoni/archi).	kepler.gl/docs
Indice mondiale della qualità dell'aria (WAQI)	Mappa dell'inquinamento atmosferico in tempo reale. Utilizzata dagli studenti per confrontare i dati locali raccolti dai loro droni con i dati ufficiali delle stazioni di rilevamento cittadine.	waqi.info
Documentazione di ArduPilot Mission Planner	Guida su come impostare le missioni "Auto Grid" e configurare i waypoint per il rilevamento autonomo.	ardupilot.org/planner



NOAA - Nozioni di base sulla dispersione atmosferica	Una guida semplificata su come si diffondono gli inquinanti nell'atmosfera (concetto del modello a pennacchio gaussiano).	noaa.gov (Cerca: Nozioni di base sulla dispersione)
Scheda tecnica Plantower PMS5003/7003	Specifiche tecniche del sensore PM2.5, che illustrano il funzionamento della diffusione laser per il conteggio delle particelle.	[Schede tecniche di Sparkfun/Adafruit]



14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).(2021).*Linee guida globali dell'OMS sulla qualità dell'aria: particolato (PM2.5 e PM10), ozono, biossido di azoto, anidride solforosa e monossido di carbonio.* Organizzazione mondiale della sanità.

- (Contesto: Utilizzato per definire i limiti di sicurezza del PM2.5 misurato dal drone.)

Villa, T. F., Gonzalez, F., Miljevic, B., Ristovski, Z. D., & Morawska, L.(2016).*Panoramica sui piccoli veicoli aerei senza pilota per la misurazione della qualità dell'aria: applicazioni attuali e prospettive future.*Sensori, 16(7), 1072.

- (Contesto: Dimostrazione accademica che l'utilizzo di droni per il campionamento dell'aria è un metodo scientifico valido.)

Ingegneria Uber.(2018).*Kepler.gl: Un potente strumento open source per l'analisi geospaziale di grandi insiemi di dati.*Recuperato da<https://kepler.gl/>

- (Contesto: Riferimento al software utilizzato per visualizzare i dati 3D.)

Plantower.(2016).*Scheda tecnica della serie PMS5003: Sensore digitale universale per la concentrazione di particelle.*Plantower Co., Ltd.

- (Contesto: Specifiche tecniche relative alla fisica della diffusione laser utilizzata nel sensore del progetto.)

Agenzia per la protezione ambientale degli Stati Uniti (EPA).(s.d).*Nozioni di base del modello a pennacchio gaussiano.*Centro di supporto per la modellazione atmosferica regolamentare (SCRAM).

- (Contesto: Il modello fisico teorico che spiega come il fumo si propaga da un camino.)

