



Monitoraggio della qualità dell'aria e rilevamento di CO in una discarica controllata

CENTRO RISORSE FLIGHT

Training 2000



Co-funded by
the European Union

Sommario

1. INTRODUZIONE.....	2
2. DESTINATARI	Errore. Il segnalibro non è definito.
3. SETTORE DI APPLICAZIONE	Errore. Il segnalibro non è definito.
4. TIPO	Errore. Il segnalibro non è definito.
5. DRONE UTILIZZATO.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
6. DURATA	Errore. Il segnalibro non è definito.
7. OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO	2
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 mondo del lavoro	5
9. PREREQUISITI	5
10. SCHEMA DELLA LEZIONE	5
Fase 1 – Introduzione (Coinvolgimento e Contestualizzazione).....	5
Fase 2 – Esplorazione (Indagine e Confronto)	7
Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche)	10
Fase 4 – Riflessione e Consolidamento (Presentazione).....	18
11. CRITERI DI VALUTAZIONE	21
12. MATERIALI DIDATTICI	22
13. RISORSE ESTERNE	22
14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	23



1. INTRODUZIONE

Questo progetto coinvolge gli studenti nell'utilizzo di droni e sensori ambientali per la gestione avanzata delle infrastrutture urbane. I partecipanti utilizzano un drone dotato di un sensore BME680 e di un sensore di gas MQ7 presso la discarica controllata per rifiuti urbani di Monteschiantello, a Fano, gestita da Aset S.p.A., l'organizzazione locale responsabile della gestione dei rifiuti.

Storicamente, le discariche a cielo aperto rappresentavano gravi rischi per la salute umana e per gli ecosistemi a causa del rilascio incontrollato di gas serra e percolato tossico. Le moderne discariche controllate risolvono questa problematica attraverso sistemi di contenimento chiusi progettati per isolare i rifiuti dall'ambiente circostante. Tuttavia, l'ispezione di vaste aree collinari alla ricerca di micro-perdite diffuse utilizzando strumenti tradizionali a terra è un'attività lenta e logisticamente complessa. L'integrazione di un sensore per la qualità dell'aria su un drone consente agli studenti di mappare in tempo reale l'efficienza della copertura superficiale del terreno e l'integrità delle reti di estrazione energetica, confrontando direttamente i dati di telemetria del volo con la rete permanente di monitoraggio a terra dell'impianto.

La misurazione della qualità dell'aria e la rilevazione dei livelli di CO tramite sensori a terra richiedono spesso numerosi sopralluoghi e lunghi periodi di lavoro in terreni potenzialmente pericolosi (superfici industriali instabili o celle di discarica con forte pendenza). Questi metodi tradizionali sono lenti e possono coprire soltanto aree limitate. Gli studenti configurano un sistema di registrazione della qualità dell'aria, lo collegano al drone, pianificano un percorso di volo strategico e conducono le operazioni del velivolo. Le considerazioni relative alla sicurezza vengono integrate frequentemente nelle attività operative.

Questo processo permette agli studenti di visualizzare "l'impronta ambientale" nascosta di una moderna struttura di gestione dei rifiuti, valutando al contempo le misure ingegneristiche di protezione progettate per salvaguardare la comunità locale nel lungo periodo.

Poiché le moderne infrastrutture per la gestione dei rifiuti sono rigorosamente standardizzate dalle direttive ambientali dell'Unione Europea (come la Direttiva Discariche UE), le zone operative, le reti di tubazioni e i protocolli di monitoraggio presenti nell'impianto di Monteschiantello sono simili a quelli presenti in quasi tutte le discariche controllate europee.

Gli enti di formazione professionale (VET) possono facilmente replicare questo percorso didattico a livello locale richiedendo la "Mappa del Monitoraggio Ambientale" standard alle autorità regionali competenti nella gestione dei rifiuti. Inoltre, utilizzando hardware di rilevamento a basso costo e open source.

2. DESTINATARI

- ☐ 15
- ☐ 16
- ☒ 17



- ✓ 18
- ✓ Oltre 18 anni

3. SETTORE DI APPLICAZIONE

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

4. TIPO

- ☐ Piano di lezione
- ✓ Progetto
- ☐ Attività

5. DRONE UTILIZZATO

- ✓ Drone Personalizzato
- ☐ Drone Commerciale (DJI)

6. DURATA

- ☐ 1 lezione da 45 minuti - Portogallo
- ☐ 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: Identificare e confrontare le differenze nei gradienti generali di qualità dell'aria nelle diverse zone di gestione delle discariche. Gli studenti riconosceranno come la decomposizione biologica anaerobica influenza la qualità generale dell'aria (concentrazioni di COV) e i livelli di concentrazione di CO, mappando il comportamento di questi gas attorno ai rifiuti attivi rispetto alle cellule sigillate. Capiranno che una diminuzione della resistenza del gas del sensore indica una maggiore concentrazione di gas in tracce, consentendo loro di mappare l'efficienza complessiva di contenimento del bacino.



O2: Pianificare ed eseguire una missione di volo con droni sicura e reattiva in aree critiche delle discariche per raccogliere dati sulla qualità dell'aria, in linea con i protocolli di sicurezza pre-volo stabiliti, tenendosi lontani dai macchinari industriali ed evitando interferenze di downwash dei droni

O3: Analizzare i dati raccolti dai sensori pulendo il file .csv registrato e mappando la traiettoria di volo del drone e i corrispondenti livelli di qualità dell'aria e di CO delle zone di scarica selezionate.

O4: Interpretare i dati per trarre conclusioni sull'efficienza del contenimento del biogas e discutere il ruolo della tecnologia dei droni nel supportare le iniziative di monitoraggio ambientale.

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 mondo del lavoro

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

This checklist merges the EU Key Competences for Lifelong Learning with the core competences expected in European Vocational Education and Training (VET).

9. PREREQUISITI

Gli studenti dovrebbero possedere una conoscenza di base dei protocolli di sicurezza per il pilotaggio dei droni e dei principi fondamentali dell'elettronica, inclusa l'esperienza nel collegamento di componenti su una breadboard. Sebbene non sia richiesta una conoscenza avanzata della programmazione per questo progetto, è fortemente raccomandata una familiarità operativa con l'ambiente Arduino IDE. In particolare, gli studenti dovrebbero essere in grado di configurare l'IDE per la scheda ESP8266 e di caricare il codice su un microcontrollore, come descritto nei materiali del manuale del FLIGHT KIT. Una conoscenza di base delle problematiche ambientali generali sarà utile per contestualizzare lo scopo del progetto e per partecipare alle discussioni sulle implicazioni concrete dei risultati ottenuti nel mondo reale.

10. SCHEMA DELLA LEZIONE

Fase 1 – Introduzione (Coinvolgimento e Contestualizzazione)

La sessione inizia esaminando l'ingegneria specifica e la chimica atmosferica di una moderna discarica controllata. Gli studenti apprendono che, quando i rifiuti organici vengono interrati, compattati e privati dell'ossigeno, speciali batteri anaerobi li decompongono generando biogas. Questo gas è costituito principalmente da una



miscela di metano e anidride carbonica, insieme a tracce di composti organici volatili (VOC) e composti dello zolfo.

L'attenzione si sposta quindi su una discarica controllata locale di Fano (Italia) come esempio reale di contenimento industriale e protezione ambientale. Situato in un'ex cava di argilla geologicamente ottimale, caratterizzata da una bassa permeabilità naturale, l'impianto utilizza avanzate geomembrane in polietilene ad alta densità (HDPE) per isolare completamente i rifiuti. Invece di permettere al biogas di disperdersi come inquinante, il sito utilizza una rete di 120 pozzi di estrazione per catturarlo e convogliarlo verso turbine per la produzione di energia, generando elettricità pulita.

Gli studenti vengono introdotti al payload del drone dotato del sensore BME680, che monitora importanti parametri ambientali:

- Temperatura (°C)
- Umidità (%)
- Pressione (hPa)
- Resistenza del gas
- Altezza (m)

Gli studenti apprendono che la resistenza del gas funziona come un indicatore indiretto: una forte diminuzione della resistenza rivela la presenza di VOC dispersi accidentalmente (fugitive VOCs) che fuoriescono insieme al biogas invisibile.





Vista aerea della discarica di Monteschiattello a Fano, Italia

Domande guida:

1. In che modo il progetto ingegneristico di una discarica controllata come Monteschiattello trasforma un rischio ambientale in un sistema gestito e a ciclo chiuso?
2. Perché l'utilizzo di un drone è più efficace per individuare micro-perdite diffuse di gas su un'ampia superficie collinare della discarica rispetto all'utilizzo esclusivo di stazioni di misurazione fisse a terra?
3. Quali sfide ambientali e operative potremmo affrontare durante il volo di un drone per la raccolta di dati in un ambiente reale di discarica (ad esempio: macchinari pesanti, deriva causata dal vento, turbolenza generata dal flusso d'aria delle eliche del drone)?

Fase 2 – Esplorazione (Indagine e Confronto)

In questa fase, gli studenti passano da una discussione generale sulla gestione dei rifiuti a un'esplorazione mirata di come droni e sensori vengano utilizzati per raccogliere dati ambientali industriali in modo sicuro ed efficace. L'obiettivo è comprendere le capacità e i limiti dell'utilizzo di un drone dotato di un sistema di registrazione ambientale multiparametrico.



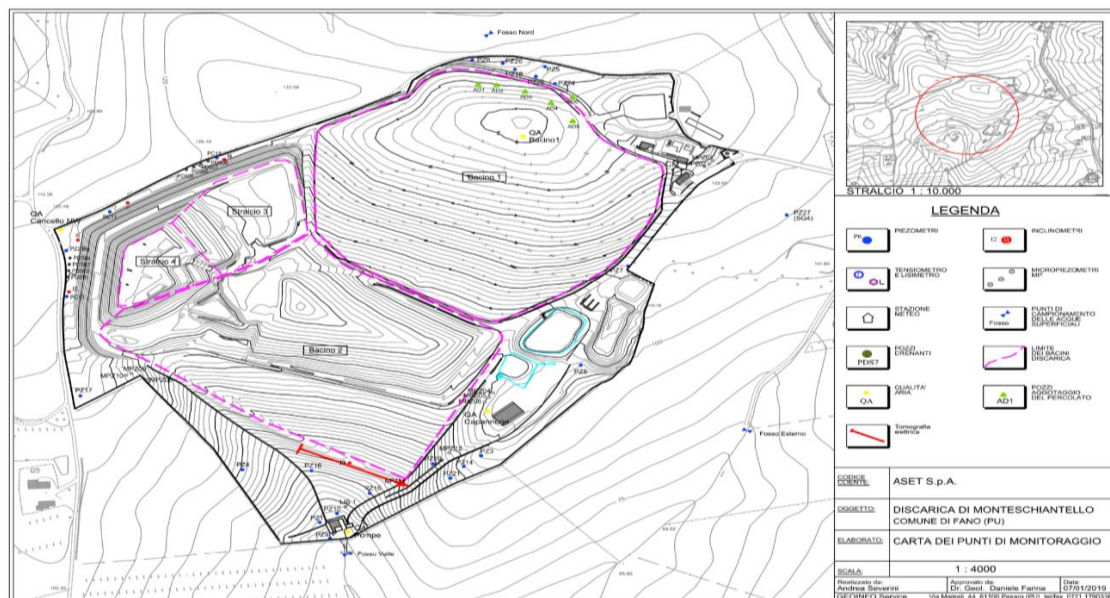
Gli studenti vengono innanzitutto introdotti ai componenti del sistema di registrazione della qualità dell'aria (air quality logger). Il formatore spiega il ruolo di ciascun elemento: il sensore BME680 misura temperatura, umidità, pressione e VOC; il microcontrollore ESP8266 gestisce la raccolta dei dati; la scheda SD memorizza i dati. I seguenti manuali sono utili per una migliore comprensione:

- [2.2.1. Getting Started with NodeMCU](#)
- [2.2.2. Environmental Sensing Modules](#)
- [2.2.3 Data Acquisition, Logging and Field Operations](#)

Successivamente, il formatore presenta il drone commerciale e la sua applicazione nel campo della protezione ambientale. Viene introdotta la configurazione a doppio sensore: il BME680 monitora temperatura, umidità, pressione e la resistenza ai gas associata ai VOC, mentre l'MQ-7 è focalizzato specificamente sulla misurazione dei livelli di monossido di carbonio (CO).

Viene quindi dedicata particolare attenzione alle difficoltà legate al montaggio di un payload personalizzato su un drone. L'importanza di mantenere attivi tutti i sistemi di sicurezza viene fortemente sottolineata, rafforzando i principi di un utilizzo responsabile e professionale del drone.

Utilizzando la mappa ufficiale dell'impianto, gli studenti identificano specifiche aree operative di interesse per pianificare un percorso di volo ottimizzato. Gli studenti confrontano la disposizione delle stazioni di monitoraggio permanenti e dei pozzi per individuare con precisione i punti di studio:



Mappa ufficiale dell'impianto della discarica controllata di Monteschiattello. Fonte: ASET S.p.a

Nell'ambiente selezionato, gli studenti pianificano un percorso di volo strategico per acquisire informazioni sui gradienti della qualità dell'aria, sui VOC e sui livelli di CO.

Punto di osservazione 1: Torcia e unità di cogenerazione – dove il biogas viene bruciato.

Il sensore MQ-7 verifica la presenza di eventuali prodotti della combustione incompleta, mentre il BME680 monitora lo strato della colonna termica immediatamente sopra l'area di emissione, assicurando che il metano estratto venga trattato in modo completo e pulito.

Punto di osservazione 2: Vecchio bacino impermeabilizzato (campo fotovoltaico solare).

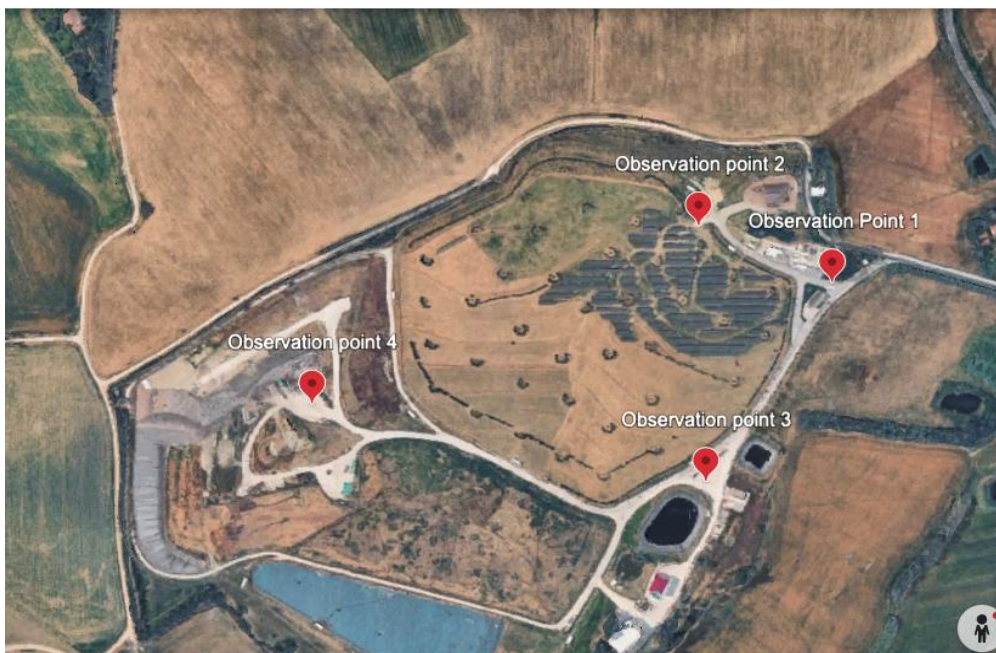
Questa vecchia area è stata riempita, sigillata con una copertura impermeabile e successivamente riconvertita in un campo verde di pannelli solari. La lettura della resistenza ai gas del BME680 fornisce una verifica scientifica del corretto funzionamento della barriera isolante, dimostrando che l'area non disperde gas di decomposizione verso il campo fotovoltaico.

Punto di osservazione 3: Vasca del percolato.

Questo bacino di stoccaggio aperto contiene il deflusso liquido concentrato proveniente dalla discarica. L'elevata concentrazione di composti disciolti provoca una significativa evaporazione locale di sostanze volatili. Gli studenti cercheranno una forte diminuzione della resistenza ai gas del BME680, associata a un aumento dell'umidità relativa dovuto al microclima direttamente sopra la superficie dell'acqua.

Punto di osservazione 4: Area di stoccaggio dei rifiuti

Questa è l'area attiva in cui i rifiuti urbani freschi vengono continuamente scaricati e trattati. Questa zona genera una particolare doppia firma ambientale: i rifiuti freschi riducono la resistenza del BME680 a causa della presenza di composti organici volatili esposti, mentre i compattatori pesanti e i camion di trasporto in attività provocano aumenti immediati e rilevabili dei livelli di CO.

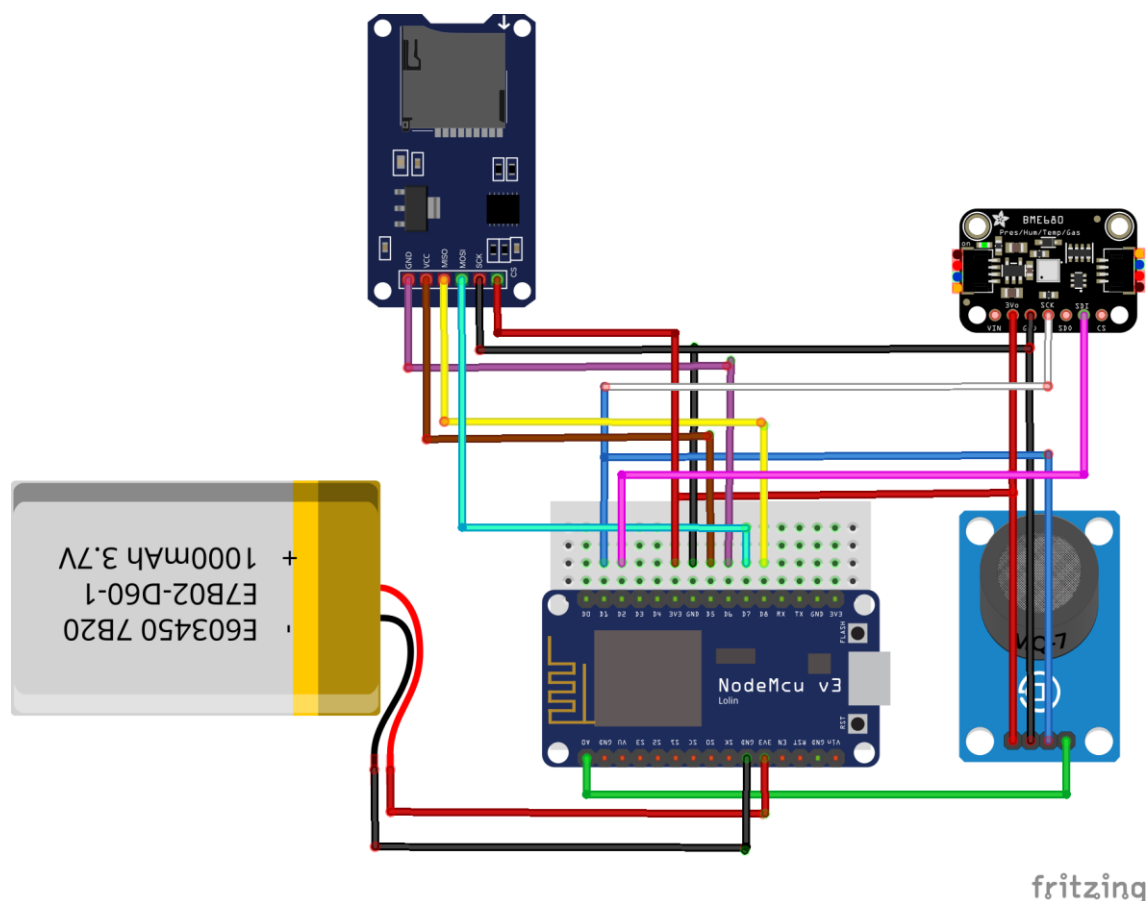


Punti di osservazione del piano di volo. Fonte: Google Earth

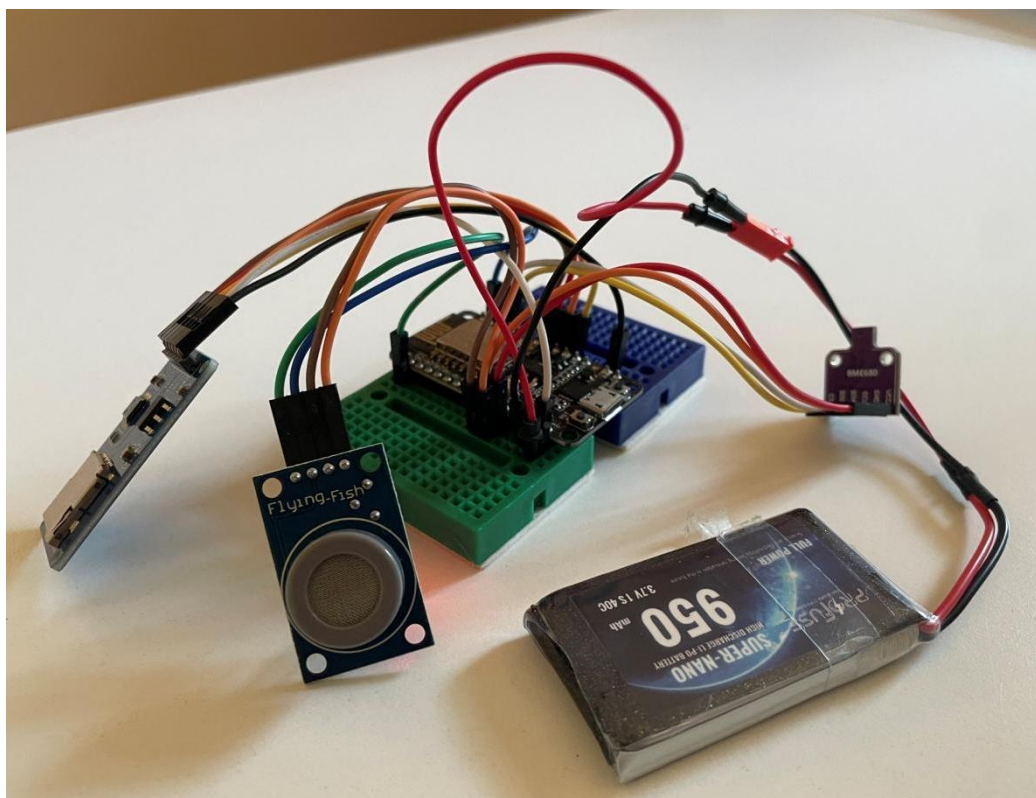
I gruppi discutono l'altezza di volo, la direzione del movimento e i punti in cui potrebbe essere necessario un volo più lento per migliorare la qualità dei dati e ridurre l'oscillazione del payload. Un aspetto importante da comunicare agli studenti prima di iniziare questa attività è mantenere un comportamento rispettoso e responsabile: non devono sorvolare persone o edifici senza aver ottenuto la relativa autorizzazione.

Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche)

La sessione inizia con una breve introduzione ai manuali tecnici, che guidano gli studenti nella configurazione dell'ESP8266, nei test di base dei sensori e nella preparazione della scheda SD. Utilizzando lo schema elettrico fornito e il codice sorgente, il formatore spiega come l'ESP8266 si collega al sensore BME680, al sensore MQ-7 e alla scheda SD, concentrandosi sulla funzione di ciascun componente. Gli studenti caricano il codice e verificano che la registrazione dei dati avvenga correttamente prima di integrare il sistema con il drone.

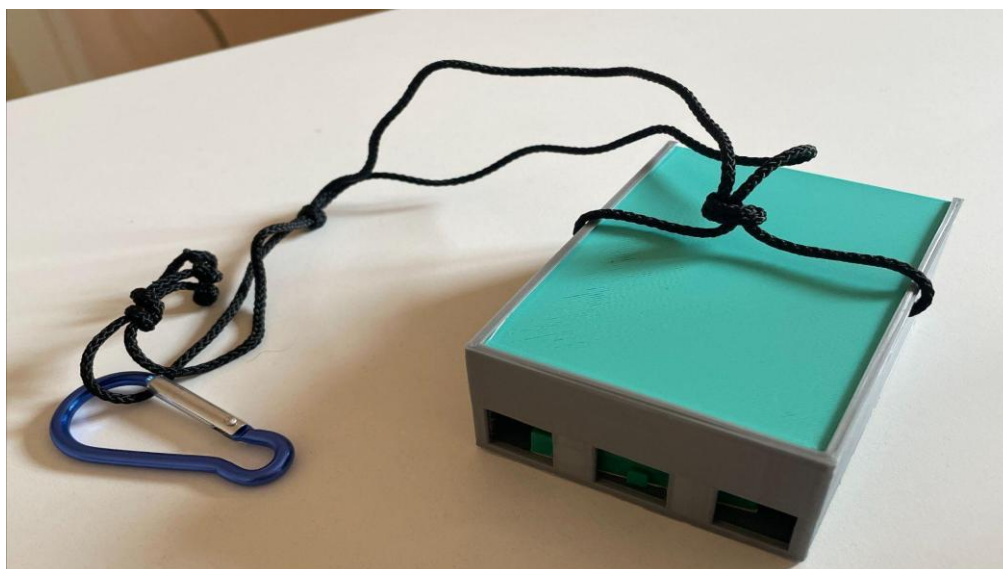


Lo schema elettrico fornito ha uno scopo puramente illustrativo. A causa della disponibilità sul mercato e delle differenze tra i vari produttori, i componenti fisici presenti nel kit potrebbero variare leggermente per colore, forma o disposizione dei pin rispetto alle immagini. Non affidatevi esclusivamente al confronto visivo; leggete sempre le etichette serigrafate stampate sui vostri specifici moduli per garantire un corretto collegamento dei cavi.



Integrazione del sensore BME680 e del sensore di gas MQ7

Gli studenti procedono quindi con l'assemblaggio del sistema di payload sul drone commerciale. Il payload viene fissato saldamente sotto il drone tramite una corda. Un'altra possibilità consiste nell'utilizzare un filo in plastica con una clip per collegare il payload al drone personalizzato.



Payload del drone personalizzato



Drone personalizzato con payload

Viene effettuato un controllo pre-volo per verificare che il sistema di sospensione del payload sia fissato correttamente e che la registrazione attiva dei dati sia funzionante. Le operazioni sul campo vengono svolte lentamente e in modo regolare lungo il percorso pianificato, utilizzando movimenti delicati e progressivi degli stick di controllo per ridurre al minimo l'oscillazione del payload. Il drone rimane sospeso in sicurezza a una distanza regolamentata sopra ciascuna zona operativa designata, consentendo a entrambi i sensori di stabilizzarsi.



Stazione del biogas (Punto di monitoraggio 1)



Stazione del biogas (Punto di osservazione 1) – Drone in hovering



Bacino urbano dei rifiuti riqualificato (Punto di osservazione 2)



Vasca del percolato (Punto di osservazione 3)



Area di stoccaggio dei rifiuti urbani (Punto di osservazione 4)

Dopo il volo, il payload viene rimosso, il drone viene fatto atterrare in sicurezza e la scheda SD viene estratta. Gli studenti trasferiscono i dati registrati su un computer.

La tabella seguente illustra i risultati del monitoraggio registrati durante un momento specifico (16 giugno 2026). Il set di dati contiene informazioni ambientali raccolte dai sensori BME680 e MQ-7, tra cui temperatura, umidità e composti organici volatili (VOC) rilevati attraverso la resistenza ai gas. Mentre il BME680 monitora variazioni ambientali ad ampio spettro, il sensore MQ-7 registra i livelli di monossido di carbonio (CO) come dati analogici grezzi.

Gli studenti apprendono che questa uscita di tensione grezza non mostra automaticamente i valori in parti per milione (ppm); è invece necessario eseguire una fase di conversione dei dati nei fogli di calcolo, trasformando i valori analogici grezzi in valori calibrati in ppm per interpretare correttamente l'intensità dell'impronta di CO nelle diverse zone di studio.

Punto di osservazione	Temp. (°C)	Umidità (%)	Pressione (hPa)	Resistenza del gas (kOhms)	Livello di monossido di carbonio (Analogico) Dati grezzi	Livello di monossido di carbonio (ppm) Stimato
Punto di osservazione 1- Stazione di biogas	28.34	44.14	999.91	48.04	747	0,84

	28.25	44.05	999.92	54.8	762	0,8
	28.18	44	999.92	61.52	774	0,77
	28.13	43.93	999.92	67.85	782	0,75
	28.09	43.89	999.92	73.77	787	0,74
	28.06	43.85	999.93	79.44	793	0,75
	28.05	43.83	999.92	84.83	796	0,76
	28.04	43.79	999.92	89.83	774	0,79
	28.04	44.18	999.91	91.9	771	0,77
	28.04	44.84	999.91	95.71	778	0,76
Punto di osservazione 2-Bacino urbano dei rifiuti riqualificato						1,65
	28.47	63.39	1003.51	11.39	561	
	28.27	63.25	1003.51	14.12	618	1,39
	28.12	63.49	1003.5	17.25	653	1,26
	27.99	63.74	1003.5	20.61	648	1,28
	27.9	63.77	1003.5	24.17	692	1,15
	27.84	63.96	1003.5	27.34	634	1,33
	27.8	64.27	1003.49	30.35	694	1,14
	27.78	64.56	1003.48	33.35	687	1,17
Punto di osservazione 3-Vasca del percolato						
	31.25	54.86	1004.77	165.35	680	1,13
	31.27	55.16	1004.76	165.02	703	1,40



	31.29	55.43	1004.76	165.35	701	1,48
	31.31	55.67	1004.76	165.35	679	1,41
	31.33	55.7	1004.77	169.36	702	1,38
	31.35	55.68	1004.77	168.34	701	1,37
	31.38	55.79	1004.77	167.33	687	1,34
	31.42	55.91	1004.77	168	667	1,53
	31.47	55.75	1004.77	170.05	684	1,42
Punto di osservazione						
4-Area di stoccaggio dei rifiuti urbani	33.76	56.24	1017.92	185.59	693	0,88
	33.56	55.96	1017.93	159.98	713	0,90
	33.4	55.59	1017.93	150.36	710	0,90
	33.26	55.39	1017.93	147.97	725	0,92
	33.15	55.26	1017.92	146.03	730	0,92
	33.07	55.29	1017.92	144.52	729	0,93
	33	55.4	1017.91	143.41	693	0,88
	32.95	55.39	1017.9	143.65	686	0,87
	32.91	55.38	1017.89	143.28	697	0,88
	32.88	55.31	1017.9	144.27	735	0,93



Punto di osservazione	Temp. (°C) media	Umidità (%) media	Pressione (hPa) media	Resistenza del gas (kOhms) media	Altezza (m) media	Livello di monossido di carbonio (Analogico) Dati grezzi media	Livello di monossido di carbonio (ppm) Stimato media
1	28,17	44,31	990,90	88,48	5,54	767,21	0,76
2	31,18	56,17	1003,78	171,50	6,70	713,99	1,02
3	32,88	54,94	1017,92	141,40	4,03	716,45	0,91
4	28,09	63,83	1003,75	21,05	5,11	632,11	1,38

In base alla media dei dati, la qualità dell'aria è buona.

Fase 4 – Riflessione e Consolidamento (Presentazione)

Presentazioni di gruppo:

Ogni gruppo prepara una breve presentazione che ripercorre le principali fasi del progetto. Gli studenti spiegano il percorso di volo pianificato e presentano i dati raccolti in ciascun punto di osservazione. Descrivono inoltre quali schemi hanno osservato nei dati sulla qualità dell'aria e nei livelli di concentrazione di CO, discutendo le possibili ragioni delle differenze tra le diverse aree. L'attenzione rimane focalizzata sull'interpretazione dei dati ambientali piuttosto che sulla formulazione di conclusioni definitive.

Discussione in classe:

Dopo le presentazioni, il formatore guida una discussione. Gli studenti confrontano i registri dei dati provenienti dai diversi gruppi e identificano somiglianze e differenze nelle letture dei gas nelle varie zone di studio. I principali punti di discussione includono:

- Come la combinazione di un sensore di rilevamento ad ampio spettro (BME680) con un sensore specifico per un determinato gas (MQ-7) consenta di distinguere l'impatto operativo dei macchinari pesanti dai normali processi di decomposizione dei rifiuti interrati.
- Quali limitazioni esistano nell'utilizzo di voli con drone di breve durata e localizzati rispetto a stazioni ambientali permanenti di monitoraggio a lungo termine.
- Come variabili ambientali quali velocità del vento, direzione del vento, temperatura ambiente e pressione barometrica influenzino la concentrazione e il movimento dei pennacchi di gas dispersi accidentalmente.



- Perché il rigoroso rispetto delle norme di sicurezza e l'utilizzo responsabile dei droni siano essenziali durante i voli all'interno di aree industriali operative.
- Come questo tipo di dati aerei di monitoraggio a doppio parametro possa supportare i gestori degli impianti nell'ottimizzazione della manutenzione e nella prevenzione delle fughe di gas serra.

Attività di riflessione:

Per concludere il progetto, gli studenti completano una breve riflessione individuale, supportata da domande guida o tracce scritte. Riflettono sia sugli aspetti tecnici sia sugli apprendimenti ambientali, includendo:

11. Cosa hanno imparato sulla raccolta di dati relativi alla qualità dell'aria utilizzando i droni.
12. Come il pilotaggio con un payload sospeso abbia influenzato il processo decisionale.
13. Il ruolo della pianificazione, della sicurezza e del lavoro di squadra nel successo delle attività sul campo.
14. Come l'inquinamento atmosferico possa influenzare la salute umana.

Quiz

1. Quale dei seguenti gas è un potente gas serra prodotto naturalmente dalla decomposizione anaerobica all'interno di una cella di discarica?

a) Monossido di carbonio
b) Metano
c) Azoto
d) Ossigeno
2. L'utilizzo di un drone per misurare i parametri della qualità dell'aria in una discarica controllata è più efficace rispetto alle sole misurazioni da terra perché può coprire rapidamente un'area topografica più ampia e ispezionare in sicurezza terreni difficili da raggiungere.

Vero
Falso
3. Indicare due potenziali difficoltà operative durante il volo di un drone per raccogliere dati ambientali sopra una discarica controllata attiva.
4. Il sensore BME680 è in grado di misurare tutti i seguenti parametri tranne:

a) Temperatura
b) Monossido di carbonio
c) Umidità relativa
d) Resistenza ai gas



5. Il sensore di gas MQ-7 è integrato nel payload per monitorare nello specifico quale parametro ambientale?
- a) Metano
 - b) Monossido di carbonio
 - c) Composti organici volatili
 - d) Diossido di azoto
6. Se un drone registra un aumento del monossido di carbonio (picco del sensore MQ-7) ma la resistenza ai gas rimane stabile nell'area della vasca attiva, questo schema di dati indica probabilmente:
- a) Una grande perdita in un pozzo profondo del biogas
 - b) Evaporazione dalla vasca aperta del percolato
 - c) Emissioni dirette degli scarichi dei macchinari e dei compattatori della discarica in funzione
 - d) Aria ambiente pulita di fondo
7. Perché i pozzi permanenti di monitoraggio dell'impianto sono considerati punti di osservazione fondamentali per un controllo tramite sensori installati su drone?
- a) Sono gli unici punti in cui il drone può stabilire un collegamento radio.
 - b) Permettono agli studenti di confrontare e valutare i dati aerei dinamici tridimensionali con le stazioni permanenti di riferimento a terra.
 - c) Dispongono di grandi piattaforme di atterraggio progettate per la ricarica autonoma del drone.
 - d) I sensori richiedono il calore delle pompe dei pozzi per la calibrazione.
8. Come indica il sensore BME680 la possibile presenza di un pennacchio invisibile di biogas o dell'evaporazione del percolato?
- a) Attivando un forte segnale acustico interno
 - b) Registrando una forte diminuzione localizzata del valore della resistenza ai gas (Ohm)
 - c) Cambiando il colore del LED integrato
 - d) Forzando il drone ad attivare automaticamente la procedura di ritorno alla posizione iniziale
9. Vero o Falso: il sensore BME680 può identificare la percentuale esatta di metano puro disperso da una cella superficiale senza ulteriori analisi di laboratorio.
- Vero
Falso



10. Perché il volo iniziale del Punto di Controllo deve essere sempre effettuato in una posizione sopravento rispetto al bacino della discarica?
- a) I droni possono decollare in sicurezza solo volando direttamente controvento.
 - b) Registra la qualità dell'aria di fondo "pulita" dell'area prima che venga influenzata dalle zone operative locali dell'impianto.
 - c) Le condizioni di vento servono a mantenere il payload del sensore completamente raffreddato.
 - d) Le zone sopravento presentano valori di pressione barometrica inferiori.

Risposte

- 1. b) Metano (CH_4)
- 2. Vero
- 3. Risposta aperta.
Esempi di risposte accettabili includono: navigazione intorno a macchinari pesanti in attività, gestione del peso e del bilanciamento del payload su un velivolo sotto i 250 g, evitare l'interferenza del flusso d'aria delle eliche del drone sui pennacchi di gas, oppure considerare i cambiamenti nella direzione del vento.
- 4. b) Monossido di carbonio
- 5. b) Monossido di carbonio
- 6. c) Emissioni dirette degli scarichi dei macchinari e dei compattatori della discarica in funzione
- 7. b) Permettono agli studenti di confrontare e valutare i dati aerei dinamici tridimensionali con le stazioni permanenti di riferimento a terra.
- 8. b) Registrando una forte diminuzione localizzata del valore della resistenza ai gas (Ohm)
- 9. Falso
- 10. b) Registra la qualità dell'aria di fondo "pulita" dell'area prima che venga influenzata dalle zone operative locali dell'impianto.

11. CRITERI DI VALUTAZIONE

L'apprendimento degli studenti viene valutato utilizzando i seguenti criteri:

- Lo studente dimostra di comprendere che il BME680 misura la resistenza ai gas come indicatore indiretto della qualità dell'aria e dei livelli di CO. È in grado di spiegare che una diminuzione della resistenza indica generalmente una maggiore concentrazione di composti volatili (VOC) e livelli più elevati di monossido di carbonio (CO) associati alle emissioni delle discariche controllate.
- Lo studente contribuisce alla pianificazione del volo e spiega le decisioni relative al percorso, all'altezza e alla sicurezza.
- Lo studente partecipa efficacemente al lavoro di gruppo, rispettando i ruoli assegnati e contribuendo alle attività condivise.



- Lo studente presenta le informazioni in modo chiaro, utilizzando dati visivi a supporto delle spiegazioni.
- Lo studente riflette sia sulle potenzialità sia sui limiti del monitoraggio ambientale basato sui droni e riconosce l'importanza di un uso sicuro e responsabile della tecnologia.

12. MATERIALI DIDATTICI

Risorse	Link
1. Commercial drone DJI 4 Mini Pro	https://docs.google.com/document/d/1fFIacOnKl3LNpETiJVghhQkoenCvt5ct/edit?usp=drive_link&ouid=110204741178376447896&rtpof=true&sd=true
2.2.1. Getting Started with NodeMCU	https://docs.google.com/document/d/1kQgIg533Jtssm3LG2PeQFb5h1b1OKwSLQl-dx8GvcHM/edit?usp=drive_link
2.2.2. Environmental Sensing Modules	https://docs.google.com/document/d/1TaEKu4fmXjR0nPVU_rB5BKxXWu_I-oj9cHaotPzbTBc/edit?usp=drive_link
2.2.3 Data Acquisition, Logging and Field Operations	https://docs.google.com/document/d/19S4BqSk_Rdi75qzwWkpkeVnbttc9otIEB-O9kfYv9Ww/edit?usp=drive_link

2- FLIGHT Kit utilizzato (componenti del drone personalizzato):

- X BME680 – Temperature, Humidity, Pressure, VOCs
- Laser PM2.5 Sensor – Particulate Matter
- X MQ7 Gas Sensor – CO Detection
- GUVa-S12SD – UV Intensity

13. RISORSE ESTERNE

Risorsa	Link
European Parliament and Council, Directive 2008/98/EC of 19 November	https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng



2008 on waste (Waste Framework Directive),	
--	--

14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Aset S.p.A., Piano di Sorveglianza e Controllo (PSC) - Impianto di Monteschiantello, Comune di Fano., <https://www.asetservizi.it/servizi-ambientali/servizi/discardica/discardica-controllata-per-rifiuti-non-pericolosi/>

