



**Monitoraggio delle polveri sospese nell'aria provenienti dai rifiuti solidi negli
impianti di trattamento delle acque reflue**

CENTRO RISORSE FLIGHT

Amministrazione idrica e fognaria di Gaziantep - TURCHIA



Co-funded by
the European Union

Sommario

1.	INTRODUZIONE.....	2
2.	DESTINATARI.....	2
3.	SETTORE DI APPLICAZIONE.....	2
4.	TIPO.....	2
5.	DRONE UTILIZZATO.....	2
6.	DURATA.....	3
7.	OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO.....	3
8.	COMPETENZE CHIAVE SVILUPPATE.....	3
1.	Comunicazione e lingue.....	3
2.	Competenze matematiche, scientifiche, tecniche e professionali.....	3
3.	Competenze digitali.....	3
4.	Competenze personali, sociali e professionali.....	3
5.	Sicurezza, qualità e sostenibilità.....	4
6.	Cittadinanza e competenza culturale.....	4
7.	Creatività, capacità di risoluzione dei problemi e spirito imprenditoriale.....	4
8.	Apprendimento basato sul lavoro e integrazione nel mondo del lavoro.....	4
9.	PREREQUISITI.....	4
10.	SCHEMA DELLA LEZIONE.....	5
	Fase 1 – Introduzione (Coinvolgimento e Contestualizzazione).....	5
	Fase 2 – Esplorazione (Indagine e Confronto).....	6
	Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche).....	7
	Fase 4 – Riflessione e Consolidamento (Presentazione).....	8
11.	CRITERI DI VALUTAZIONE (focus sulle polveri industriali e sulle emissioni).....	9
12.	MATERIALI DIDATTICI.....	11



1. INTRODUZIONE

Gli studenti misureranno i dati relativi a particolato e gas utilizzando il sensore BME680 per analizzare gli effetti della concentrazione di polvere e della qualità dell'aria sulla salute dei lavoratori e sulla durata di vita dei macchinari nelle sezioni dei rifiuti solidi (essiccazione dei fanghi o separazione meccanica) degli impianti di trattamento delle acque reflue.

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

Gli studenti monitoreranno i composti organici volatili e la densità della polvere in tempo reale utilizzando l'indice IAQ (Indoor/Outdoor Air Quality) del sensore BME680.

Utilizzando i dati raccolti dai droni, gli studenti dimostreranno come la polvere rimane sospesa a diverse altezze (a livello del suolo rispetto alle linee di trasferimento del soffitto) nelle aree di smaltimento dei rifiuti solidi.

Gli studenti svilupperanno una "Strategia di soppressione e filtrazione della polvere" contro i rischi di usura dei componenti meccanici e i rischi per la salute del personale causati da elevati livelli di polvere.

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

Ci si aspetta che gli studenti acquisiscano una conoscenza di base di Arduino/MicroPython e delle norme fondamentali in materia di salute e sicurezza sul lavoro.

Per quanto riguarda l'uso della tecnologia, gli studenti devono avere familiarità con i principi fondamentali della sicurezza del volo dei droni, tra cui i controlli pre-volo, le procedure di decollo e atterraggio sicuri, la gestione della batteria e il mantenimento della linea visiva. Competenze digitali di base, come l'utilizzo di un dispositivo mobile o di un tablet per il controllo del volo e la revisione delle immagini acquisite, favoriranno una partecipazione efficace alla lezione.



10. SCHEMA DELLA LEZIONE

Fase 1 – Introduzione (Coinvolgimento e Contestualizzazione)

Fase 1: Il “Pericolo Invisibile” (Polveri industriali ed emissioni di gas negli impianti di trattamento e logica dei sensori)

Parte 1: *Caso di studio “Il Pericolo Invisibile” e introduzione tecnica*

Questa sezione si concentra sui rischi presenti negli impianti di trattamento delle acque reflue, in particolare nelle unità di essiccazione dei fanghi e di separazione meccanica, che spesso non sono percepibili dai sensi umani.

Introduzione ai “killer silenziosi”: un'esplorazione dettagliata delle caratteristiche (incolore, inodore) e degli effetti fisiologici delle perdite di biogas (metano, acido solfidrico) e del particolato fine (PM) generati durante il trattamento dei rifiuti solidi.

Comportamento fisico dei gas e delle polveri: discussione su dove si accumulano le emissioni in base alla densità; ad esempio, come i gas più pesanti dell'aria creano "sacche di gas" letali nei serbatoi di sedimentazione e come le concentrazioni di polvere si disperdono attraverso le correnti d'aria.

Prospettiva di Salute e Sicurezza sul Lavoro (SSL): analizzare scenari per comprendere le conseguenze di una ventilazione inadeguata o del mancato utilizzo di dispositivi di protezione individuale (DPI) in zone ad alto rischio come le aree di essiccazione dei fanghi

Parte 2: *Logica di funzionamento dei sensori e infrastruttura tecnica*

Questa parte approfondisce il funzionamento del sensore **BME680** e di tecnologie analoghe, illustrando come rendano misurabili minacce normalmente invisibili.

Principi dei sensori elettrochimici e MOX: spiegazione di come le molecole di gas reagiscono con gli elettrodi dei sensori per generare un segnale elettrico, che viene poi convertito in un valore numerico (ppm o variazione di resistenza).

Valori soglia e livelli di allarme:

- **TWA (media ponderata nel tempo):** limite di esposizione su un turno di 8 ore.
- **STEL (limite di esposizione a breve termine):** soglia di sicurezza per intervalli di 15 minuti.
- **Sensibilità incrociata:** analisi della capacità di un sensore di reagire a gas diversi da quello bersaglio e del suo impatto sull'accuratezza complessiva dei dati.

Parte 3: *Introduzione alla calibrazione dei sensori*

Preparazione per l'implementazione sul campo, sottolineando perché i sensori devono essere verificati periodicamente per mantenere dati affidabili:

- **Calibrazione zero:** assicurarsi che il sensore visualizzi esattamente "0" in ambienti con aria pulita in cui non sono presenti gas target o polvere industriale.
- **Calibrazione della campata:** verifica della precisione della misurazione utilizzando un gas di prova di concentrazione nota.
- **Avvelenamento dei sensori:** spiegazione dei rischi di perdita di sensibilità dei sensori a causa dell'esposizione a sostanze chimiche ad alta concentrazione o silicioni.



Domande guida / Discussione in aula:

1. Perché il monitoraggio delle concentrazioni di gas e polveri negli impianti di trattamento delle acque reflue rappresenta una difesa fondamentale contro un "pericolo invisibile"?
2. In che modo il processo di calibrazione dei sensori in un ambiente controllato garantisce l'affidabilità dei dati raccolti durante le attività di monitoraggio sul campo?
3. Perché è importante che il drone mantenga una posizione stazionaria (hovering) sullo stesso punto per circa 30 secondi durante il campionamento, al fine di garantire misure stabili, ridurre le fluttuazioni dovute alla turbolenza del rotore e ottenere una registrazione accurata dei dati ambientali?

Fase 2 – Esplorazione (Indagine e Confronto)**Fase 2: Calibrazione del modulo IAQ BME680 e descrizione dell'integrazione software**

In questa fase, gli studenti indagano le “tre grandi minacce” alla sicurezza operativa negli impianti di trattamento: accumulo di gas (avvelenamento), deriva dei sensori (misurazione imprecisa) e vincoli di accesso fisico. Imparano come integrare l'algoritmo che calcola l'indice di qualità dell'aria (IAQ) nel software del drone utilizzando i dati di resistenza al gas e umidità del sensore.

Parte 1: Processo di calibrazione e verifica tecnica

Questa sezione riguarda l'"azzeramento" e la regolazione della sensibilità dei sensori prima dell'impiego sul campo:

- **Calibrazione aria zero:** gli studenti imparano come impostare il sensore esattamente su "0" in condizioni di aria pulita, dove non è presente alcun gas bersaglio, per eliminare il rumore di fondo.
- **Regolazione della campata:** la risposta del sensore viene testata utilizzando uno "Span Gas" di concentrazione nota (ad esempio, 25 ppm di H₂S) per abbinare le letture digitali alla concentrazione fisica effettiva.
- **Analisi della deriva del sensore:** una discussione sul motivo per cui la sensibilità del sensore cambia nel tempo a causa di fattori ambientali e su come la calibrazione periodica impedisce un "falso senso di sicurezza" per i lavoratori.

Parte 2: Osservazione delle differenze nei dati tra aria pulita e inquinata

Gli studenti confrontano i dati attraverso scenari controllati creati in laboratorio:

- **Configurazione della simulazione:** perdite di gas a bassa e alta intensità vengono simulate all'interno di una camera controllata per osservare le reazioni dei sensori in tempo reale.
- **Tempo di risposta (T₉₀):** gli studenti misurano il tempo "T₉₀", ovvero il tempo impiegato dal sensore per raggiungere il 90% del valore finale stabilizzato dopo l'esposizione al gas, un parametro essenziale per i sistemi di allerta precoce.
- **Algoritmo IAQ e grafici sull'inquinamento:** monitoraggio di come i cambiamenti nella resistenza al gas e nell'umidità si traducono in segnali digitali e di come vengono attivate soglie di allarme specifiche (ad esempio, limite di allarme inferiore LAL).



Parte 3: Rischi di calibrazione impropria

Esplorazione dei pericoli operativi associati a una calibrazione errata o trascurata:

- **Pericolo di deriva negativa:** analisi del rischio di avvelenamento se un sensore non riesce a rilevare il gas esistente perché è stato azzerato in modo improprio o ha perso sensibilità.
- **Falsi allarmi e "stanchezza da allarme":** analisi di come i sensori che si attivano in aria pulita a causa di una calibrazione non adeguata inducano il personale a ignorare i segnali di pericolo effettivi.

Domande guida / Discussione in classe:

- Perché può ancora esistere un accumulo letale di gas sul fondo di un serbatoio confinato anche se i sensori in altre parti della struttura mostrano livelli di "aria pulita"?
- In che modo un processo di calibrazione difettoso o incompleto crea un senso di "falso senso di sicurezza" durante le ispezioni sul campo?
- Quale delle tre minacce (accumulo di gas, deriva dei sensori o difficoltà di accesso) è la più difficile da rilevare senza una soluzione tecnologica come un drone?

Breve lettura / Infografica:

L'effetto "collasso invisibile": come i gas più pesanti dell'aria si accumulano nelle sezioni inferiori dei bacini di trattamento, creando sacche letali e non rilevabili.

Attività di lavoro di gruppo:

Piccoli gruppi analizzano le foto dei casi di studio e i dati dei sensori per identificare quale "minaccia" è responsabile di un potenziale rischio di incidente e determinare le coordinate esatte in cui il drone dovrebbe librarsi per l'ispezione.

Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche)

Attività pratica:

Fase 3: Volo di campionamento dell'aria tridimensionale (applicazione sul campo e protocolli operativi)

Parte 1: Preparazione pre-volo e protocolli di sicurezza

- **Coordinare la selezione e la pianificazione della missione:** predefinire i punti ad alto rischio sulla mappa dei rischi dell'impianto, come serbatoi di sedimentazione, locali valvole e ingressi delle acque reflue, dove è più probabile l'accumulo di gas.
- **Valutazione ambientale:** valutazione dei fattori che influiscono direttamente sulla sicurezza del volo, come la velocità del vento, la temperatura e la potenza del segnale GPS.
- **Integrazione del sensore:** garantire che il sensore calibrato sia montato saldamente sul drone e verificare che tutte le unità di trasmissione dati funzionino correttamente.

Parte 2: Esecuzione operativa e logica "hovering"

- **La regola del passaggio del mouse di 30 secondi (registrazione dei dati):** mantenere una posizione stabile su ciascuna coordinata per 30 secondi per consentire al sensore di raggiungere il suo tempo di risposta completo (90) e garantire la cattura di una concentrazione media di gas stabile e accurata.
- **Gestione dell'altitudine:** esecuzione di misurazioni a diverse altezze in base alla



densità dei gas monitorati.

- **Registrazione dati sincronizzata:** registrazione simultanea delle coordinate GPS con timestamp e dei valori di concentrazione del gas (ppm) durante il volo per creare un set di dati affidabile.

Parte 3: *Gestione dei rischi sul campo*

- **Navigazione attorno agli ostacoli fisici:** garantire la sicurezza del volo durante le manovre in prossimità di condotte, linee ad alta tensione o sistemi di gru mobili all'interno della struttura.
- **Perdita di segnale e protocolli di emergenza:** implementazione di override manuali o protocolli "Return to Home" (RTH) in caso di perdita del segnale GPS in aree confinate o profonde dell'impianto.

Fase 4 – Riflessione e Consolidamento (Presentazione)

Fase 4: Mappatura dell'inquinamento e pianificazione dei dispositivi di protezione (mappatura del rischio con fogli Excel/Google)

Descrizione:

Questa fase prevede l'elaborazione di dati grezzi sul campo in un ambiente digitale per creare la "Mappa critica dell'inquinamento" della struttura e preparare raccomandazioni tecniche per i tipi di maschere ideali e le portate di ventilazione.

Parte 1: *Trasferimento dati e conversione del formato*

- **Scarico dati:** trasferimento di file con timestamp in formato .csv o .txt dalla memoria interna del drone o da un data logger specializzato a un computer.
- **Pulizia dei dati:** filtraggio del set di dati per rimuovere il rumore dai periodi di decollo, atterraggio e transito, concentrandosi esclusivamente sulle finestre "hovering" di 30 secondi su ciascuna coordinata designata.
- **Sincronizzazione spaziale:** garantire che ogni lettura della concentrazione del gas (ppm) sia accuratamente abbinata alla coordinata GPS corrispondente (latitudine/longitudine) per mantenere l'integrità spaziale.

Parte 2: *Analisi dei dati in Excel/Fogli Google*

- **Definizione delle soglie critiche:** integrazione di standard di sicurezza industriale (come i limiti H2S) nel foglio di calcolo per stabilire i livelli di "Sicuro", "Avvertenza" e "Pericolo".
- **Formattazione condizionale:** utilizzo di regole automatizzate per evidenziare le celle: rosso per concentrazioni superiori alle soglie di sicurezza critiche, giallo/arancione per livelli moderati che richiedono monitoraggio e verde per zone sicure.
- **Analisi statistica (media vs. picco):** calcolo della concentrazione media su ciascun intervallo di 30 secondi per filtrare le fluttuazioni temporanee identificando al contempo il "valore di picco" per individuare l'esatta fonte di una perdita.

Parte 3: *Visualizzazione e reporting*

- **Generazione di mappe di rischio:** creazione di mappe di calore o grafici di distribuzione sovrapposti al layout dell'impianto per fornire una rappresentazione visiva della densità e del movimento del gas.
- **Rilevamento delle anomalie:** formare gli studenti a distinguere tra perdite di gas



reali e anomalie tecniche, come "flatlining" dei sensori o picchi di interferenza.

- **Risultati del supporto alle decisioni:** finalizzazione dei report che identificano le "zone rosse" per attivare azioni amministrative immediate, come manutenzione di emergenza, maggiore ventilazione o accesso limitato al personale (inclusi i tipi di mascherine ideali).

Attività di riflessione/Domande guida:

- Cosa hai imparato sul processo tecnico di raccolta dei dati sulla concentrazione del gas negli impianti di trattamento utilizzando la tecnologia dei droni?
- In che modo pilotare un drone con un carico utile di sensori integrato e sensibile ha influenzato il processo decisionale operativo e l'approccio alla sicurezza del volo?
- Perché la regola del "hovering" di 30 secondi e il processo di registrazione dei dati sono così critici per l'accuratezza dei risultati finali?
- Qual è il ruolo fondamentale di una pianificazione meticolosa, della calibrazione dei sensori e del lavoro di squadra nel rilevare con successo i "pericoli invisibili" (perdite di gas) durante il lavoro sul campo?
- Sulla base dei dati analizzati in Excel, quali conclusioni puoi trarre sui rischi per la salute del personale e sulle decisioni di gestione sicura all'interno dell'impianto di trattamento?

11. CRITERI DI VALUTAZIONE (focus sulle polveri industriali e sulle emissioni)

Quiz sulle emissioni industriali e sulla tecnologia dei sensori: i quiz vengono somministrati per misurare le conoscenze tecniche degli studenti riguardo ai rischi di perdite di biogas e polvere (particelle fini) generate durante il trattamento dei rifiuti solidi. Le domande chiuse valutano il modo in cui il sensore BME680 calcola l'indice di qualità dell'aria (IAQ) utilizzando i dati sulla resistenza ai gas e sull'umidità, mentre le domande aperte richiedono agli studenti di analizzare l'impatto del comportamento delle sospensioni di polvere a diverse altezze sulla sicurezza della struttura.

Identificazione delle anomalie nelle emissioni di polveri e gas: gli studenti vengono valutati in base alla loro capacità di identificare potenziali fonti di emissione all'interno della struttura e letture errate nei registri dei dati. La valutazione comprende l'analisi delle immagini sul campo provenienti da aree con elevato accumulo di polvere e la marcatura accurata di questi dati in Excel in base a soglie critiche (utilizzando codici colore rosso/giallo).

Autovalutazione della qualità dell'aria e dell'uso della tecnologia: gli studenti compilano liste di controllo di autovalutazione per valutare le loro competenze pratiche nella calibrazione del modulo IAQ e nella categorizzazione dei dati sulla qualità dell'aria. Il processo di riflessione si concentra sulle sfide tecniche incontrate nello sviluppo di strategie di soppressione e filtrazione delle polveri all'interno dell'impianto.

Mappatura delle emissioni e revisione paritaria: durante le attività di gruppo, gli studenti utilizzano protocolli di revisione paritaria per valutare l'accuratezza della "Mappa critica dell'inquinamento" generata, le precauzioni di sicurezza nella pianificazione del volo dei



droni e la coerenza tecnica delle portate di ventilazione proposte.

"Mappa critica dell'inquinamento" e portfolio strategici: ogni gruppo prepara un portfolio didattico contenente tabelle di dati tridimensionali di campionamento dell'aria raccolti dal drone, note strategiche per la soppressione della polvere e raccomandazioni sui tipi di maschere ideali. Questo portfolio dimostra la trasformazione dell'analisi teorica del rischio in una pratica "Mappa critica dell'inquinamento".

Dati del drone e documentazione del campo visivo: la valutazione include la qualità delle immagini delle emissioni di polvere acquisite dal drone e il loro allineamento con i dati analizzati. Gli studenti vengono valutati in base all'esecuzione di voli sicuri (la regola del volo stazionario di 30 secondi), alla selezione appropriata dell'altitudine e alla loro capacità di interpretare i dati visivi per supportare le decisioni sulla portata della ventilazione.



12. MATERIALI DIDATTICI

1-

Risorse	Link
1. DJI Mini 4 Pro with DJI RC 2 remote controller Handbook_V4	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):

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

