



**Ispezione basata su droni e analisi dei guasti delle linee di trasmissione di energia
inaccessibili**

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).....	9
11. CRITERI DI VALUTAZIONE (Focus sulla salute delle linee di trasmissione energetica e delle infrastrutture).....	11
12. MATERIALI DIDATTICI.....	12



1.INTRODUZIONE

Gli studenti analizzeranno i rischi ambientali attorno alle linee di trasmissione (ENH) in terreni accidentati o aree in cui l'accesso fisico è pericoloso, utilizzando il sensore BME680 e i dati termici per identificare i rischi di surriscaldamento, umidità e corrosione.

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
- ☐ 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

Utilizzando il sensore BME680, gli studenti monitoreranno indirettamente l'aumento del riscaldamento causato da archi elettrici o perdite nelle linee energetiche attraverso la temperatura ambiente.

Utilizzando i dati dei sensori, gli studenti calcoleranno il rischio di scarica (flashover) sugli isolanti causato da elevati livelli di umidità.

Gli studenti osserveranno le condizioni fisiche delle linee in aree inaccessibili tramite la telecamera del drone, analizzando contemporaneamente la relazione altitudine-tensione utilizzando i dati della pressione atmosferica.

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: Rischi di trasmissione dell'energia e fattori ambientali

Parte 1: *Rischi ambientali nelle linee di trasmissione*

Questa sezione si concentra sugli impatti invisibili di fattori quali calore estremo, umidità e pressione atmosferica sulle infrastrutture energetiche:

- **Fattori di deformazione fisica:** analisi dei processi di espansione, cedimento e deformazione fisica nelle linee di trasmissione causati dal calore estremo e dalle variazioni della pressione atmosferica.
- **L'impatto dell'umidità sulle perdite di energia:** analisi tecnica dell'effetto dell'elevata umidità sugli isolanti e delle conseguenti perdite di energia (come la formazione di archi) nelle linee elettriche.
- **Effetti della pressione atmosferica:** valutazione dell'impatto delle differenze di pressione sulla tensione della linea e sulla durabilità ambientale dal punto di vista della salute e sicurezza sul lavoro (OHS).

Parte 2: *Logica operativa di BME680 per il monitoraggio ambientale*

Una discussione tecnica su come il sensore BME680 rende "visibili" queste minacce ambientali alle linee di trasmissione

- **Logica di misurazione multiparametrica:** spiegazione di come il sensore converte i dati di umidità, temperatura e pressione provenienti dall'ambiente in segnali elettrici tramite il suo strato di ossido metallico.
- **Valori soglia per la sicurezza delle infrastrutture:**
 - **TWA (media ponderata nel tempo):** limiti per l'esposizione ambientale a lungo termine.
 - **Soglie critiche:** livelli critici di temperatura e umidità in cui inizia la perdita di energia o la deformazione della linea.
 - **Sensibilità incrociata nei dati ambientali:** analisi del modo in cui i fattori ambientali si influenzano a vicenda e degli effetti della sensibilità incrociata sull'accuratezza complessiva dei dati.

Parte 3: *Introduzione alla calibrazione dei sensori*

Verifica dei sensori prima dell'implementazione sul campo per garantire l'acquisizione di dati affidabili

- **Calibrazione zero:** impostazione dei valori di base (temperatura e pressione di riferimento) in un ambiente pulito e controllato.
- **Calibrazione della campata:** verifica della precisione della misurazione utilizzando valori di riferimento ambientali noti.
- **Avvelenamento del sensore ambientale:** spiegazione dei rischi che il sensore perda sensibilità a causa di inquinamento estremo o esposizione chimica.



Domande guida / Discussione in classe:

- Perché la "deformazione fisica" causata dal calore estremo e dall'umidità nelle linee di trasmissione rappresenta un rischio critico per la continuità energetica?
- In che modo il processo di calibrazione del sensore condotto in un ambiente controllato garantisce l'affidabilità dei dati quando si rilevano perdite di energia sulle linee di trasmissione?
- Perché è obbligatorio per il drone librarsi su una coordinata fissa per 30 secondi per garantire la registrazione accurata di parametri variabili come umidità e calore.

Fase 2 – Esplorazione (Indagine e Confronto)

Fase 2: interazione tra sensore BME680 e ambiente ad alta tensione

Descrizione: In questa fase, gli studenti studiano il ruolo dei dati di pressione e temperatura del sensore nel calcolo dello stato tecnico (densità dell'aria, ecc.) del corridoio della linea di trasmissione. Si concentrano sulle "tre grandi minacce" alla sicurezza delle infrastrutture: perdita di energia (rischio arco), deriva dei sensori e vincoli di accesso fisico.

Parte 1: Processo di calibrazione e verifica tecnica

Questa sezione riguarda l'"azzeramento" e la regolazione della sensibilità dei sensori prima di avvicinarsi al corridoio ad alta tensione:

- **Calibrazione aria zero:** impostazione del sensore sui valori di base al livello di ingresso per stabilire un riferimento pulito per temperatura e pressione.
- **Regolazione della campata:** testare la risposta del sensore utilizzando valori atmosferici noti per garantire che le letture digitali corrispondano alle reali condizioni fisiche dell'ambiente ad alta tensione.
- **Analisi della deriva del sensore:** analisi di come i campi elettromagnetici o gli improvvisi sbalzi di temperatura in prossimità delle linee elettriche possano causare la "deriva" del sensore e perché la verifica pre-volo sia fondamentale.

Parte 2: Profilazione verticale e osservazione dei dati

Gli studenti analizzano come i dati ambientali si traducono in segnali tecnici di salute durante l'avvicinamento graduale alle linee

- **Simulazione dell'approccio verticale:**
 - **Livello di ingresso:** monitoraggio dei dati di riferimento sulla densità dell'aria e sulla pressione di base.
 - **Livello intermedio:** osservazione dell'aumento iniziale della temperatura e delle variazioni della densità dell'aria man mano che il drone si avvicina al corridoio di trasmissione.
- **Zona ad alta tensione (rischio massimo):** misurazione dei dati nel punto più vicino alle linee in cui il rischio di perdita di energia e deformazione fisica è più elevato.
- **Calcolo della densità dell'aria:** utilizzo dei dati di pressione e temperatura per calcolare la densità dell'aria e determinarne l'impatto sulla capacità di isolamento del corridoio.
- **Tempo di risposta (T90):** misurazione del tempo necessario affinché il sensore si stabilizzi a ciascun livello di elevazione per garantire una registrazione accurata dei



dati.

Parte 3: *Rischi di calibrazione impropria nei corridoi tecnici*

- **Pericolo di letture imprecise della densità:** analisi del rischio se un sensore non riesce a rilevare condizioni soggette ad archi elettrici perché è stato azzerato in modo improprio o ha perso sensibilità.
- **Falsi allarmi e sicurezza delle infrastrutture:** discussione su come una calibrazione scadente possa causare "affaticamento da allarme", inducendo il personale a ignorare i segnali effettivi di deformazione fisica o perdita di energia.

Domande guida / Discussione in classe:

- Perché può esistere un rischio critico di perdita di energia al livello di alta tensione anche se i dati ambientali al livello di ingresso appaiono normali?
- In che modo la capacità del BME680 di misurare la pressione atmosferica migliora l'affidabilità dell'analisi della "densità dell'aria" nei corridoi delle linee di trasmissione?
- Quale elevazione (livello di ingresso, medio o alta tensione) rappresenta la sfida più grande per la stabilità dei droni e la registrazione accurata dei dati?

Breve lettura / Infografica:

"Effetto Corona" e densità dell'aria: una guida visiva che mostra come la diminuzione della densità dell'aria aumenta il rischio di archi elettrici nelle linee ad alta tensione e come i dati BME680 aiutano a prevedere questo pericolo.

Attività di lavoro di gruppo:

Piccoli gruppi analizzano i registri di volo verticali per identificare a quale specifica altitudine la densità dell'aria scende al di sotto delle soglie critiche e determinare i protocolli di manutenzione tecnica richiesti per quella sezione della linea.

Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche)

Fase 3: Volo di ispezione su terreno accidentato (applicazione sul campo e protocolli operativi)

Descrizione: Questa fase riguarda i protocolli operativi per condurre voli con droni lungo linee di trasmissione simulate su terreni accidentati utilizzando il sensore BME680 montato. Gli studenti analizzeranno lo stato tecnico della linea raccogliendo dati sulle anomalie di temperatura e sui livelli di umidità in prossimità degli isolatori per classificare le varie zone a rischio.

Parte 1: *Preparazione pre-volo e protocolli di sicurezza*

Pianificazione della missione in terreni accidentati: mappatura dei punti isolanti specifici lungo le linee di trasmissione in terreni difficili dove sono più previste anomalie di temperatura e accumulo di umidità.

- **Valutazione ambientale:** valutazione dell'impatto della velocità del vento, della temperatura e della potenza del segnale GPS —in particolare nelle valli o nei terreni profondi— sulla sicurezza del volo e sulla precisione dei sensori.
- **Preparazione di sensori e DPI:** verificare il montaggio sicuro del sensore calibrato e garantire che siano pronti i dispositivi di protezione individuale (DPI) adeguati per gli ambienti di campo.



Co-funded by
the European Union

Parte 2: Esecuzione operativa e raccolta dati

- **Regola del passaggio del mouse di 30 secondi (registrazione dei dati):** mantenimento di una posizione stabile su ciascuna coordinata per 30 secondi per stabilizzare i dati microclimatici (umidità e calore) in prossimità degli isolanti e garantire che il sensore raggiunga il suo tempo di risposta completo (T_{90}).
- **Gestione dell'altitudine lungo le linee di trasmissione:** osservazione delle fluttuazioni dei livelli di umidità lungo il profilo verticale delle linee di trasmissione a diverse altezze rispetto al terreno accidentato.
- **Registrazione dati sincronizzata:** registrazione simultanea di coordinate GPS con timestamp e valori di temperatura e umidità per mantenere l'integrità spaziale del set di dati.

Parte 3: Classificazione del rischio e classificazione gestionale delle anomalie tecniche

- **Rischio basso/moderato:** identificazione delle aree in cui i valori di umidità o temperatura in prossimità degli isolanti rientrano negli intervalli normali o richiedono un monitoraggio standard.
- **Rischio elevato:** rilevamento di "zone rosse" con anomalie critiche della temperatura che indicano archi elettrici o deformazioni fisiche, che richiedono un intervento amministrativo o una manutenzione immediata.
- **Protocolli di navigazione e di emergenza:** garantire la sicurezza del volo attorno alle linee di trasmissione dell'energia e agli ostacoli fisici su terreni accidentati e implementare protocolli di "ritorno a casa" (RTH) in caso di perdita del segnale GPS.



Fase 4 – Riflessione e Consolidamento (Presentazione)

Fase 4: Previsione e segnalazione dei guasti (priorità manutenzione-riparazione)

Descrizione: Questa fase prevede l'elaborazione di dati grezzi sul campo in un ambiente digitale per identificare i punti "ad alto rischio" e la preparazione di un "rapporto sulla priorità manutenzione-riparazione" per garantire l'affidabilità e la sicurezza dell'infrastruttura.

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 del sensore (anomalia di temperatura, umidità o punteggio IAQ) sia accuratamente abbinata alla coordinata GPS corrispondente per mantenere l'integrità spaziale.

Parte 2: *Analisi dei dati e previsione dei guasti*

- **Definizione delle soglie critiche:** integrazione degli standard di sicurezza industriale per le linee di trasmissione nel foglio di calcolo per stabilire i livelli di "Sicurezza", "Avvertenza" e "Pericolo".
- **Identificazione dei punti ad alto rischio:** determinazione matematica dei punti suscettibili alla deformazione fisica o all'arco in base alle anomalie di temperatura misurate e ai livelli di umidità.
- **Analisi statistica (media vs. picco):** calcolo dei valori medi per filtrare le fluttuazioni temporanee, identificando al contempo i "valori di picco" per individuare con precisione potenziali punti di guasto.

Parte 3: *Documentazione di visualizzazione e manutenzione*

- **Generazione di mappe di rischio:** creazione di mappe di calore o grafici di distribuzione sovrapposti alla struttura o al layout della linea per fornire una rappresentazione visiva della densità dei fattori di rischio.
- **Redazione del "Rapporto sulle priorità di manutenzione e riparazione":** preparazione di un documento formale che classifichi i punti infrastrutturali in base ai livelli di rischio per orientare le azioni di manutenzione immediata o programmata.
- **Risultati del supporto alle decisioni:** finalizzazione dei rapporti che identificano le "zone rosse" per attivare azioni amministrative, come riparazioni di emergenza, maggiore monitoraggio o accesso limitato al personale.



Tempo (s)	Altitudine (m)	Pressione (hPa)	Temperatura (°C)	Umidità (%)	Stato / Rilevamento
0	0 (Entry)	915.8	24.5	60.2	Reference Air Calibration
100	15 (Climb)	915.6	24.2	61.5	Stable Flight
300	45 (Insulator Level)	916.4	38.2	82.4	CRITICAL: Temperature Difference and Humidity Increase
580	25 (Descent)	915.5	25.1	65.8	Transmission Line Oscillation Zone Analysis
750	50 (Pole Top)	916.5	36.5	78.2	WARNING: High Arc Risk
1000	0 (Landing)	915.9	24.8	62.1	Mission Completed – RTH Mode

Attività di riflessione/Domande guida:

- **Valutazione del rischio ambientale:** cosa hai imparato sul processo tecnico di utilizzo della tecnologia dei droni per identificare in che modo fattori come il calore estremo e la pressione atmosferica causano deformazioni fisiche nelle linee di trasmissione dell'energia?
- **Processo decisionale operativo:** in che modo pilotare un drone con un carico utile con sensore BME680 per monitorare la densità dell'aria e la temperatura nei corridoi ad alta tensione ha influenzato il tuo approccio alla sicurezza del volo e alla mitigazione del rischio?
- **La regola dei 30 secondi:** perché la regola del "hovering" di 30 secondi è essenziale per garantire l'accuratezza dei dati di umidità e temperatura raccolti vicino agli isolanti e in che modo ciò influisce sull'affidabilità delle previsioni di guasto?
- **Precisione nella previsione dei guasti:** qual è il ruolo fondamentale di una pianificazione meticolosa e della calibrazione dei sensori nel rilevare con successo anomalie tecniche che potrebbero portare a perdite di energia o guasti alle infrastrutture?
- **Manutenzione basata sui dati:** sulla base della vostra analisi dei dati e del "Rapporto sulle priorità di manutenzione-riparazione" che avete preparato, in che modo i protocolli basati sui dati migliorano il processo decisionale e la gestione della sicurezza per i punti ad alto rischio nel corridoio energetico?



11. CRITERI DI VALUTAZIONE (Focus sulla salute delle linee di trasmissione energetica e delle infrastrutture)

Rischi di trasmissione dell'energia e quiz sulla tecnologia dei sensori: vengono somministrati brevi quiz per misurare le conoscenze tecniche degli studenti riguardo alla deformazione fisica e alla perdita di energia nelle linee di trasmissione causate da calore estremo, umidità e pressione atmosferica. Le domande chiuse valutano il modo in cui il sensore BME680 calcola lo stato di salute tecnico utilizzando dati di pressione e temperatura, mentre le domande aperte esplorano l'importanza critica delle ispezioni con droni su terreni accidentati.

Identificazione delle anomalie delle linee di trasmissione e dei punti ad alto rischio: gli studenti vengono valutati in base alla loro capacità di identificare anomalie di temperatura in prossimità degli isolanti, livelli di umidità e deviazioni nei registri dati. La valutazione comprende l'analisi delle immagini simulate della linea di trasmissione e la marcatura accurata dei punti "ad alto rischio" (aree con potenziale di guasto) all'interno dei set di dati Excel.

Autovalutazione per la previsione dell'ispezione e della manutenzione delle infrastrutture: gli studenti compilano liste di controllo di autovalutazione per valutare la loro competenza nell'utilizzo di droni su terreni accidentati, la loro abilità nell'interpretare i dati dei sensori e la loro fiducia nell'analisi dei fattori ambientali all'interno dei corridoi energetici. Il processo di riflessione si concentra sulle sfide tecniche e sull'uso responsabile della tecnologia dei droni per la sicurezza delle infrastrutture.

Protocolli operativi e revisione paritaria: durante le attività di gruppo, gli studenti valutano la sicurezza dei piani di volo su terreni accidentati, l'accuratezza dei dati di previsione dei guasti e il coordinamento tecnico all'interno del team attraverso protocolli di revisione paritaria.

Portfolio "Priorità manutenzione e riparazione": ciascun gruppo invia un portfolio contenente note di misurazione della linea di trasmissione, tabelle di dati del profilo verticale (Excel/Google Sheets), mappe dei rischi contrassegnati e "Rapporti sulle priorità manutenzione-riparazione".

Raccolta dati e documentazione delle immagini sul campo: la valutazione riguarda l'aderenza del drone alla regola del volo stazionario di 30 secondi vicino agli isolanti, l'allineamento di punti di misurazione selezionati con aree ad alto rischio e la capacità dei dati visivi acquisiti di supportare le decisioni di manutenzione.



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/1fFIacOnKl3LNpETiJVgGhhQkoenCvt5ct/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
- GUVVA-S12SD – UV Intensity

