



Analisi delle acque superficiali: monitoraggio della contaminazione da metalli pesanti negli ambienti fluviali

CENTRO RISORSE FLIGHT

Training 2000 in collaborazione con IIS Galilei



Co-funded by
the European Union

Sommario

1. INTRODUZIONE	2
2. DESTINATARI	2
3. SETTORE DI APPLICAZIONE	2
4. TIPO	2
5. DRONE UTILIZZATO.....	3
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	4
4. Competenze personali, sociali e professionali	4
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.....	5
10. SCHEMA DELLA LEZIONE	5
Fase 1- Introduzione (coinvolgimento e contestualizzazione)	5
Fase 2 – Esplorazione (Indagine e confronto)	6
Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche)	8
Fase 4– Riflessione e consolidamento (Presentazione).....	12
11. CRITERI DI VALUTAZIONE	16
12. MATERIALI DIDATTICI	17
13. RISORSE ESTERNE	17
14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	18



1. INTRODUZIONE

Questa unità didattica basata sull'apprendimento per progetti (Project-Based Learning, PBL) esplora il modo in cui i metalli pesanti, in particolare il piombo proveniente dalle munizioni da caccia e da reperti storici (come i proiettili della Prima guerra mondiale), contaminano le zone umide. Gli studenti analizzeranno i parametri chimico-fisici delle acque e studieranno i meccanismi attraverso cui il piombo entra nella catena alimentare, attraverso processi di ossidazione e lisciviazione del suolo.

L'attività prevede l'impiego di tecnologie moderne, tra cui droni per il campionamento delle acque e la spettroscopia di assorbimento atomico per la quantificazione dei metalli, al fine di ottenere un quadro della qualità delle acque di tre fiumi italiani (Esino, Cesano e Piave) e di un fiume islandese.

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: Comprendere le proprietà chimiche del piombo e i suoi effetti tossicologici sulla salute umana e sull'ambiente.

O2: Identificare i meccanismi di diffusione del piombo nelle zone umide, inclusi i processi di ossidazione, lisciviazione e l'impatto delle normative ambientali.

O3: Apprendere il processo tecnico del monitoraggio ambientale mediante l'impiego di droni, sonde multiparametriche e spettrofotometria di assorbimento atomico con forno a grafite (AAS-GF).

O4: Analizzare e interpretare i dati ambientali per trarre conclusioni sulla persistenza a lungo termine degli inquinanti

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, compresa l'esperienza nel collegamento di componenti su una breadboard.

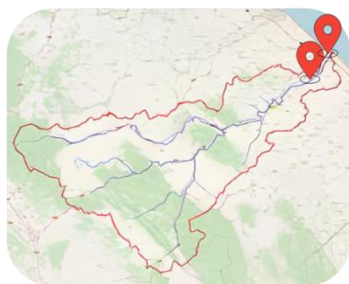
È inoltre consigliabile avere una conoscenza generale delle problematiche ambientali, utile per contestualizzare gli obiettivi del progetto e partecipare alle discussioni sulle implicazioni concrete dei risultati ottenuti.

10. SCHEMA DELLA LEZIONE

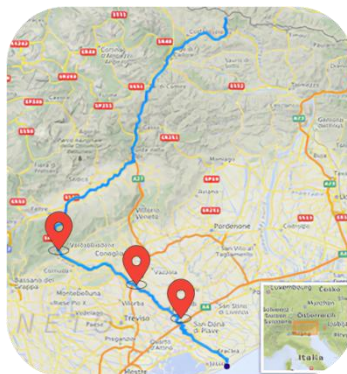
Fase 1- Introduzione (Coinvolgimento e contestualizzazione)

La sessione inizia con un'introduzione al piombo (Pb), un metallo lucente di colore grigio-bluastro, altamente duttile e malleabile, caratterizzato da una bassa conducibilità elettrica. Sebbene presenti una buona resistenza alla corrosione, si ossida facilmente a contatto con l'aria. Nelle acque sotterranee, il Decreto Legislativo 30/09 stabilisce per il piombo un valore limite di 10 µg/L come valore soglia e di 7,2 µg/L per i corpi idrici sotterranei che alimentano le acque superficiali.

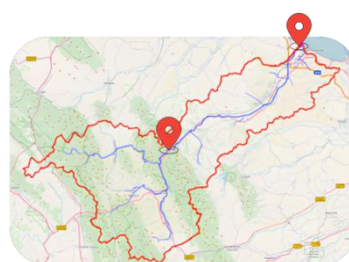
Il progetto nasce dall'introduzione della nuova normativa europea entrata in vigore nel febbraio 2023 (Regolamento (UE) 2021/57), che vieta rigorosamente lo scarico e il trasporto di munizioni da caccia contenenti una percentuale di piombo pari o superiore all'1% in peso all'interno delle zone umide o entro un raggio di 100 metri da esse. Sebbene l'obiettivo principale della normativa sia prevenire l'ingestione dei pallini di piombo da parte degli uccelli acquatici, questo progetto intende verificare se il piombo venga rilasciato nell'ambiente anche attraverso processi di ossidazione e lisciviazione del suolo, contribuendo alla contaminazione delle acque e degli ecosistemi.



Cesaro River (Central Italy)



Piave River (Northern Italy)



Esino River (Central Italy)





Iceland, sampling locations. Source: IIS G. Galilei, Jesi

Domande guida / Discussione in classe

- Perché il piombo viene utilizzato nelle munizioni? Che cosa accade a un proiettile di piombo se rimane sul fondo di un fiume per 100 anni?

Fase 2 – Esplorazione (Indagine e confronto)

Descrizione: In questa fase, gli studenti hanno utilizzato un drone commerciale per raccogliere campioni d'acqua dal fiume mediante un carico utile costituito da una sonda multiparametrica, impiegata per l'analisi dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua.

Il drone è dotato di supporti per il fissaggio di provette e di dispositivi per il campionamento e il rilevamento diretto, utilizzati per l'analisi di: acqua; superfici; area circostante; misurazioni termiche; ispezioni visive.



Drone commerciale DJI Mavic, equipaggiato con un carico utile specializzato e una sonda multiparametrica, utilizzato per il campionamento delle acque e le ispezioni sul campo.

Fonte: IIS "G. Galilei", Jesi.

Strumento portatile per il monitoraggio dei parametri chimico-fisici della qualità delle acque. È dotato di sensori multipli, ciascuno progettato per misurare uno specifico parametro.



Campionamento delle acque sul campo: gli studenti (a sinistra) sono supportati dai docenti (a destra).

Fonte: IIS "G. Galilei", Jesi.

La sonda viene immersa nel corpo idrico mediante il cavo in dotazione e consente di misurare i seguenti parametri:

- pH;
- temperatura;
- ossigeno disciolto;



**Co-funded by
the European Union**

- pressione;
- conducibilità elettrica;
- solidi totali disciolti (TDS);
- potenziale redox (ORP).

Attività di gruppo:

Gli studenti analizzano una tabella contenente i dati dei parametri chimico-fisici (pH, conducibilità elettrica e ossigeno disciolto) per individuare le differenze tra i punti di campionamento situati a monte e alla foce del corso d'acqua.

Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche)

In questa fase gli studenti hanno:

1. Filtrato i campioni d'acqua raccolti per renderli idonei alle successive analisi di laboratorio.
2. Eseguito analisi spettrofotometriche mediante uno spettrofotometro portatile. Questo strumento si basa sull'assorbimento della radiazione elettromagnetica nel campo del visibile: il campione viene attraversato da un fascio di luce monocromatica e i suoi componenti vengono quantificati in funzione del numero di fotoni assorbiti.
3. Determinato la concentrazione dei seguenti parametri:
 - nitrati (NO_3^-);
 - nitriti (NO_2^-);
 - ammoniaca (NH_3);
 - solfati (SO_4^{2-});
 - tensioattivi cationici;
 - tensioattivi anionici;
 - tensioattivi non ionici.
4. I campioni d'acqua, precedentemente filtrati e stabilizzati mediante acidificazione durante la fase di campionamento, sono stati analizzati direttamente mediante spettrometria di assorbimento atomico con forno di grafite (AAS-GF). I campioni di sedimento, invece, sono stati sottoposti ad attacco acido (mineralizzazione) e, dopo opportuna diluizione, sono stati analizzati con la medesima tecnica (AAS-GF).





Analisi dei campioni con gli studenti



Analisi dei campioni con gli studenti

Strumento ad alta precisione in grado di determinare la concentrazione di metalli pesanti in una soluzione, con una sensibilità nell'ordine dei centesimi di parti per miliardo (ppb), equivalenti a ng/L

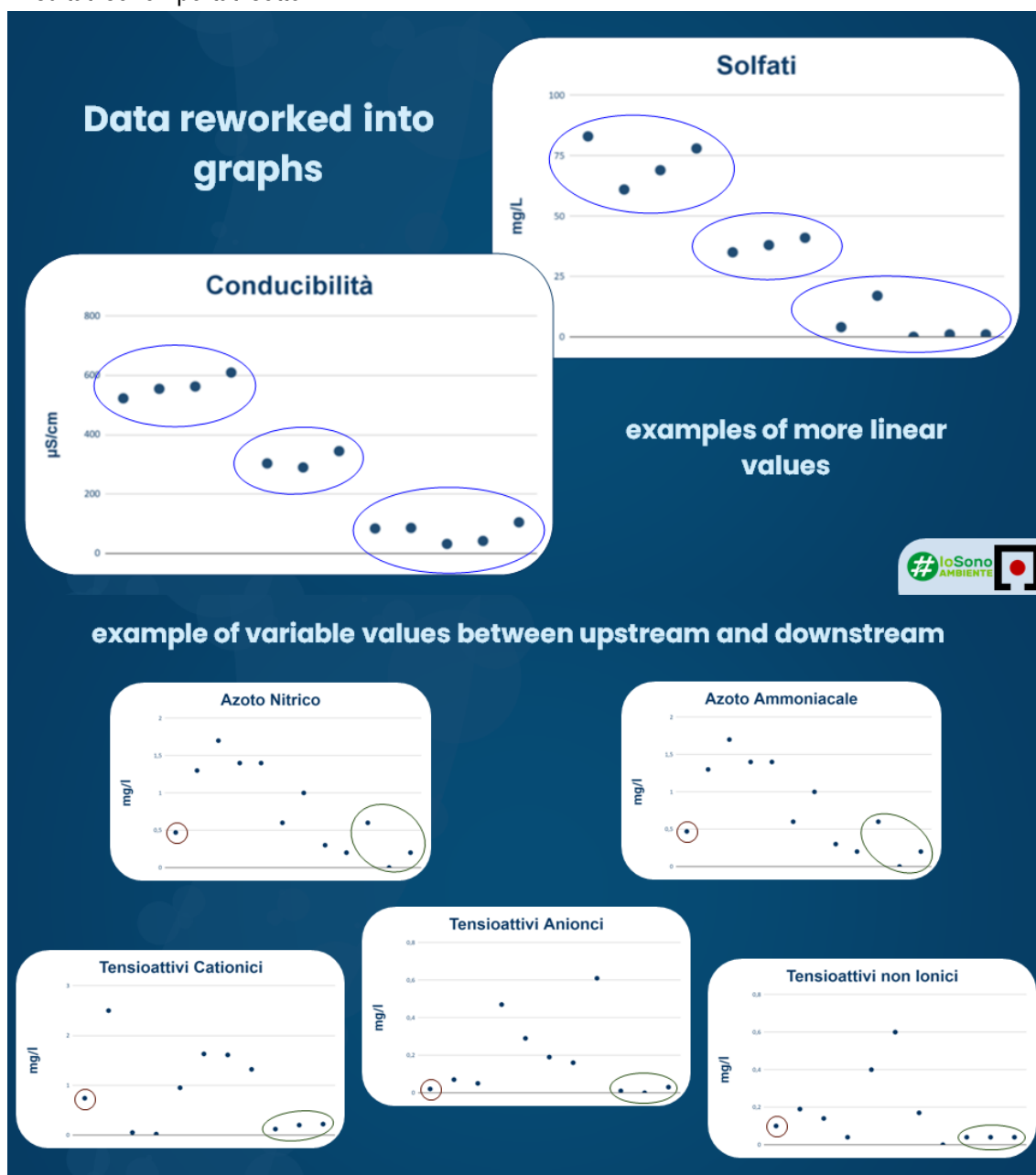


I metalli analizzati sono:

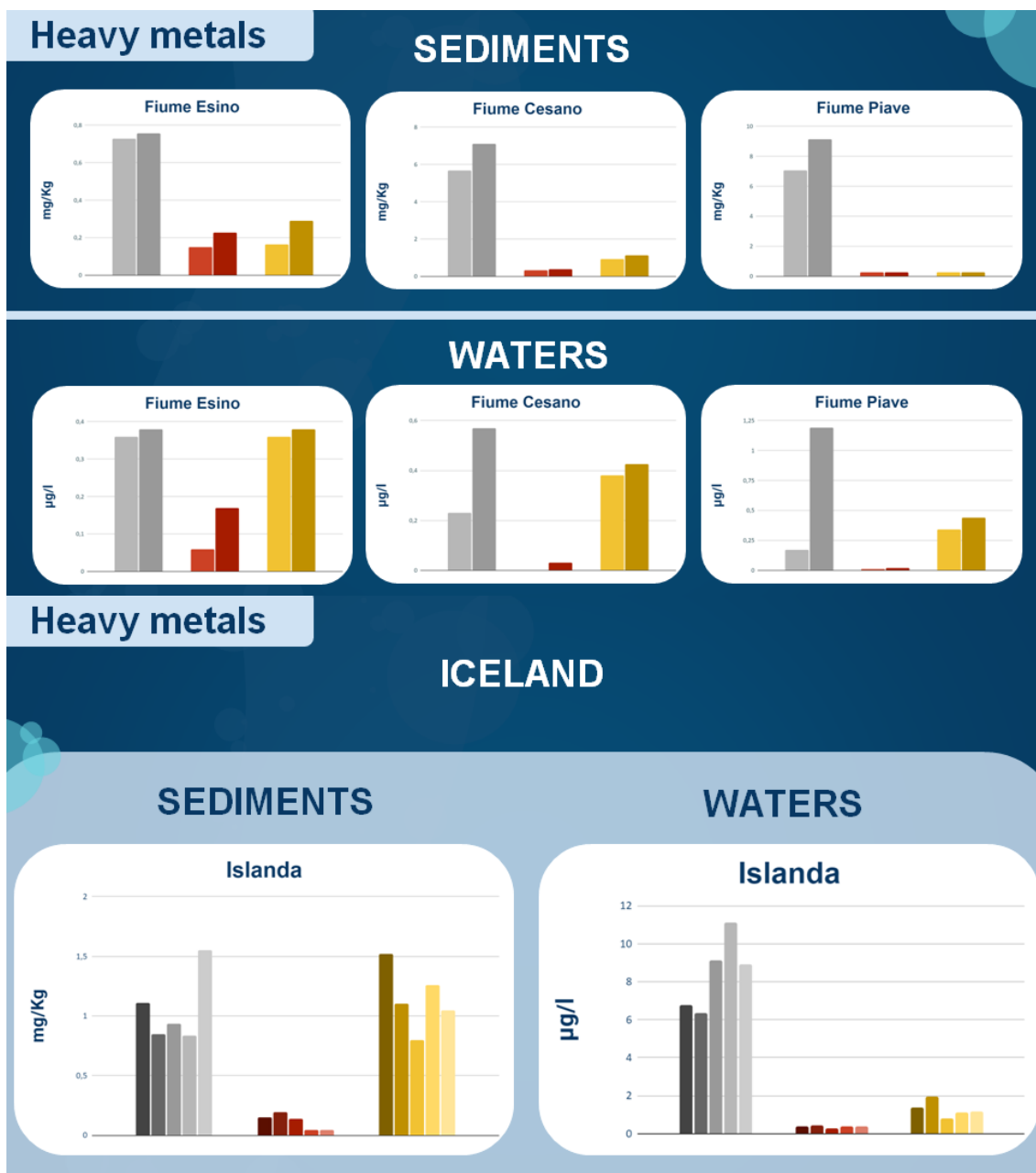
- Piombo (Pb);
- Cadmio (Cd);
- Cromo (Cr).

Lo strumento si basa sull'interazione tra un fascio di luce monocromatica e i singoli atomi di una sostanza.

I risultati sono riportati sotto:



Co-funded by
the European Union



Fase 4– Riflessione e consolidamento (Presentazione)

Presentazioni di gruppo

Ogni gruppo prepara una breve presentazione che ripercorre le principali fasi del progetto di campionamento delle acque. Gli studenti illustrano i punti di raccolta delle acque superficiali selezionati lungo le sponde dei fiumi o nelle zone umide, individuati mediante sistemi di mappatura satellitare, e presentano i dati multiparametrici raccolti sul campo (ad esempio pH, temperatura, ossigeno disciolto e conducibilità).

Gli studenti descrivono inoltre come i risultati ottenuti mediante spettrofotometria di laboratorio e spettrometria di assorbimento atomico con forno di grafite (AAS-GF) abbiano evidenziato i fenomeni di contaminazione da metalli pesanti, con particolare



attenzione alla diffusione del piombo (Pb), e discutono le possibili cause ambientali delle differenze osservate tra i punti di riferimento a monte e i campioni raccolti nelle aree a valle.

L'obiettivo principale rimane l'interpretazione dei dati sulla qualità dell'acqua e dei processi di trasporto degli inquinanti, evitando di formulare conclusioni assolute.

Discussione in classe:

Dopo le presentazioni, il docente guida una discussione plenaria. Gli studenti confrontano i risultati relativi ad acqua e sedimenti ottenuti dai diversi gruppi, al fine di identificare analogie e differenze spaziali nei modelli di contaminazione all'interno delle zone umide e delle vallate fluviali analizzate.

La discussione stimola il pensiero critico sull'interpretazione dei dati analitici e sui limiti delle apparecchiature professionali utilizzate nelle attività sul campo.

I principali argomenti di discussione includono:

- Come la mappatura dei dati provenienti dai sensori multiparametrici e delle concentrazioni di metalli pesanti possa contribuire al monitoraggio dei meccanismi di diffusione di contaminanti chimici invisibili in aree naturali vulnerabili.
- Quali siano i limiti tecnici e scientifici dell'utilizzo di accessori per il campionamento delle acque superficiali collegati a piattaforme drone commerciali rispetto a sistemi di monitoraggio automatico estesi e a lungo termine.
- Come variabili fisiche quali la dinamica delle correnti fluviali, le variazioni locali della temperatura dell'acqua, i depositi storici di munizioni da caccia e i microclimi delle gole fluviali possano influenzare la deposizione e l'accumulo dei metalli pesanti nei sedimenti sommersi.
- Perché il rispetto di rigorosi quadri normativi ambientali (come il Regolamento europeo 2021/57 sui limiti relativi ai pallini di piombo nelle vicinanze delle zone umide) sia fondamentale per la conservazione sostenibile degli ecosistemi.
- Come la combinazione tra campionamento remoto assistito da drone e analisi di laboratorio ad alta precisione tramite spettrometria di assorbimento atomico possa fornire dati utili a supportare la sensibilizzazione ambientale pubblica, le politiche di gestione del territorio e i processi decisionali per la tutela dei bacini idrografici.

Attività di riflessione

Per concludere il progetto, gli studenti completano una breve riflessione individuale guidata da domande e spunti concettuali. Riflettono sia sull'esecuzione tecnica delle attività di laboratorio sia sulle implicazioni ambientali più ampie, rispondendo ai seguenti punti:

1. Che cosa hanno scoperto riguardo alla raccolta sicura di campioni di acqua superficiale non contaminati in ambienti difficilmente accessibili utilizzando configurazioni specializzate di droni commerciali.
2. In che modo l'esecuzione di mineralizzazioni di laboratorio ad alta sensibilità (attacchi acidi) e delle analisi spettrofotometriche abbia influenzato la loro precisione tecnica e il senso di responsabilità professionale.



3. Il ruolo fondamentale della pianificazione collaborativa, della verifica delle procedure di calibrazione delle apparecchiature e dei rigorosi protocolli di sicurezza del gruppo nella realizzazione di attività di ricerca sul campo efficaci e conformi alle normative.
4. Come l'accumulo di metalli pesanti nei corpi idrici naturali possa minacciare la biodiversità acquatica vulnerabile, la sicurezza delle acque sotterranee a valle e i sistemi sanitari pubblici regionali.

Quiz

1. Quali sono le principali fonti storiche e ricreative di contaminazione da piombo nelle zone umide analizzate in questo caso studio?

- a) Fertilizzanti agricoli e pesticidi
- b) Munizioni da caccia e proiettili storici della Prima guerra mondiale
- c) Acque reflue industriali provenienti da industrie tessili
- d) Degrado di vecchie tubature idriche

2. Secondo il testo, quale delle seguenti NON è una proprietà chimica o fisica del piombo (Pb)?

- a) È altamente duttile e malleabile.
- b) È un cattivo conduttore di elettricità.
- c) Resiste alla corrosione ma si ossida facilmente nell'aria.
- d) È un metallo altamente reattivo che brucia nell'acqua.

3. Quale restrizione specifica ha introdotto il Regolamento europeo 2021/57 riguardo alle zone umide?

- a) Il divieto di utilizzare droni entro 100 metri da un fiume.
- b) Il divieto di scaricare o trasportare munizioni contenenti almeno l'1% di piombo in peso all'interno o entro 100 metri dalle zone umide.
- c) Un limite alla quantità di acqua che può essere estratta per uso agricolo.
- d) Un divieto totale di qualsiasi tipo di caccia in Europa.

4. Secondo il Decreto Legislativo 30/09, qual è il valore soglia del piombo nelle acque sotterranee che alimentano le acque superficiali?

- a) 10 µg/L
- b) 7,2 µg/L
- c) 1,0 µg/L
- d) 50 µg/L

5. Quale tipo di drone è stato utilizzato per le operazioni di campionamento delle acque superficiali in questo progetto?

- a) Un drone personalizzato MayFly
- b) Un DJI Mini 4 Pro



- c) Un drone commerciale FID-MAVIC3DJI equipaggiato per il campionamento delle acque superficiali
- d) Un drone agricolo ad ala fissa

6. Durante la fase di esplorazione sul campo, una sonda multiparametrica portatile viene immersa nel corpo idrico. Quale dei seguenti parametri NON misura?

- a) Ossigeno disciolto
- b) pH e temperatura
- c) Solidi totali disciolti e conducibilità
- d) La concentrazione esatta di piombo in parti per miliardo (ppb)

7. Come lo spettrofotometro da campo quantifica i componenti di un campione d'acqua (come nitrati, nitriti e tensioattivi)?

- a) Misurando la conducibilità elettrica dell'acqua.
- b) Attraverso un fascio di luce monocromatica che colpisce il campione e mediante la quantificazione del numero di fotoni assorbiti.
- c) Facendo bollire l'acqua e misurando la massa residua.
- d) Filtrando l'acqua attraverso una rete di carbone.

8. Quale strumento ad alta precisione viene utilizzato in laboratorio per rilevare metalli pesanti come piombo (Pb), cadmio (Cd) e cromo (Cr) con sensibilità dell'ordine dei centesimi di ppb (ng/L)?

- a) Spettrometria di assorbimento atomico con forno di grafite (AAS-GF)
- b) Spettrofotometro da campo
- c) Microcontrollore NodeMCU
- d) Sensore di gas MQ-7

9. Prima che i campioni di sedimento possano essere analizzati mediante AAS-GF per la determinazione dei metalli pesanti, devono essere sottoposti a uno specifico processo di preparazione. Come viene chiamato questo processo?

- a) Acidificazione
- b) Attacco acido (mineralizzazione)
- c) Ossidazione termica
- d) Filtrazione magnetica

10. In quali località geografiche gli studenti hanno condotto le campagne di campionamento delle acque per questo progetto?

- a) Tre fiumi italiani (Esino, Cesano e Piave) e un fiume in Islanda.
- b) Solo nel Parco naturale della Gola della Rossa.
- c) In aree marittime costiere dell'Italia meridionale.
- d) Esclusivamente in bacini geotermici islandesi.

Risposte



**Co-funded by
the European Union**

1. d
2. b
3. b
4. c
5. d
6. b
7. a
8. b
9. a

11. CRITERI DI VALUTAZIONE

La valutazione dell'apprendimento degli studenti viene effettuata utilizzando i seguenti criteri fondamentali:

- Lo studente dimostra una chiara comprensione della differenza tra la caratterizzazione preliminare sul campo mediante analisi multiparametriche (pH, temperatura, ossigeno disciolto e conducibilità) e le analisi di laboratorio ad alta precisione. È in grado di spiegare correttamente il flusso operativo della spettrofotometria e della spettrometria di assorbimento atomico con forno di grafite (AAS-GF), utilizzate per rilevare metalli pesanti in tracce, come il piombo (Pb), nei corpi idrici e negli strati di sedimento. Inoltre, sa descrivere come l'acidificazione chimica, la mineralizzazione del campione (attacco acido) e l'assorbimento della luce permettano di quantificare contaminanti invisibili fino a concentrazioni dell'ordine delle parti per miliardo (ppb).
- Lo studente partecipa attivamente alla pianificazione dei voli del drone da remoto, motivando la scelta geografica dei punti di campionamento attraverso l'analisi delle immagini satellitari, considerando l'accessibilità del territorio, i modelli di deflusso delle acque superficiali e la vicinanza a possibili fonti storiche di contaminazione. È in grado di spiegare le decisioni operative relative all'ottimizzazione delle traiettorie di volo, alla stabilità del carico utile e alla riduzione dei rischi ambientali.
- Lo studente partecipa in modo efficace alle attività di gruppo interdisciplinari, rispettando rigorosamente i ruoli assegnati per la sicurezza in laboratorio e sul campo, i protocolli di gestione dei dati ambientali e contribuendo in modo produttivo alle attività di ricerca condivise.
- Lo studente presenta in modo chiaro i risultati della ricerca tecnica, utilizzando mappe di dati, grafici comparativi o fogli di calcolo per analizzare le tendenze di diffusione degli inquinanti e rappresentare i gradienti locali di concentrazione nei diversi settori delle zone umide analizzate.
- Lo studente riflette sia sui vantaggi operativi sia sui limiti pratici del campionamento delle acque assistito da drone rispetto ai metodi tradizionali di raccolta terrestre. Riconosce l'importanza fondamentale del rispetto delle normative e dell'utilizzo sicuro delle tecnologie nell'ambito dei programmi regionali di conservazione ambientale, come il Regolamento europeo 2021/57 relativo alle restrizioni sui metalli pesanti in prossimità di ecosistemi di zone umide vulnerabili.



12. MATERIALI DIDATTICI

Risorse	Link
DJI-MAVIC 3 DJI manual	https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3/DJI_Mavic_3_User_Manual_v1.8_en.pdf
Principles of Spectrophotometry, Spectroscopy, Protein Determination	https://oercommons.org/authoring/6718-spectrophotometry-spectroscopy-and-protein-determi/view
Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS): Principles, Instrumentation, and Comparisons with Other AS Techniques	https://www.sepscience.com/atomic-absorption-spectrophotometry-aas-principles-instrumentation-and-comparisons-with-other-as-techniques-12134

2- FLIGHT Kit utilizzato: componenti personalizzati per il drone:

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

13. RISORSE ESTERNE

Risorse	Link
Water Framework Directive, European Commission	https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj
Lead in shot, bullets and fishing weights, European Chemicals Agency	https://echa.europa.eu/hot-topics/lead-in-shot-bullets-and-fishing-weights



14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

IIS G. Galilei. (n.d.). *IOSONOAMBIENTE* project, presentation. Retrieved from iisgalileijesi.it/iis-g-galilei-sbarca-in-islanda-per-un-importante-missione-scientifica-internazionale/

Presentazione dei risultati del progetto «*Ricerca sui meccanismi di diffusione degli inquinanti nell'ambiente naturale: l'impatto del piombo contenuto nelle munizioni sulla contaminazione delle acque nelle zone umide*» (disponibile su richiesta).

