TEMA 2 - Acque superficiali e il problema dell'eutrofizzazione.

Alghe, microalghe e cianobatteri (nell'insieme detti *fitoplancton*) sono responsabili della produzione di almeno il 50% dell'ossigeno dell'atmosfera terrestre, e sono di conseguenza anche tra i principali fissatori di anidride carbonica. Tuttavia l'eccessiva presenza di questi organismi nelle acque superficiali interne (fiumi e laghi) o nelle acque costiere non è sempre un fatto positivo.

Questo fenomeno di crescita eccessiva di fitoplancton, detto *eutrofizzazione* (termine derivante dal greco *eutrophia: eu* = "buono", *trophòs* = "nutrimento") è promosso dalla presenza nell'ecosistema di quantità eccessive di nutrienti quali per esempio azoto e fosforo, provenienti da fonti naturali o antropiche (quali i fertilizzanti per uso agricolo, alcuni tipi di detersivi, acque reflue di origine domestica, industriale o da allevamento) ed ha come effetto una diminuzione della concentrazione di ossigeno disciolto nell'acqua.

Infatti gli organismi fotosintetici, esaurito il loro ciclo vitale, precipitano verso il fondo dei corsi d'acqua e vengono decomposti da organismi eterotrofi con consumo di ossigeno. Una crescita eccessiva di organismi fotosintetici rappresenta il rischio di rendere la concentrazione di ossigeno in acqua insufficiente e tale da compromettere la vita degli organismi più complessi e ridurne la biodiversità.
L'immagine qui a fianco mostra un caso di fioritura algale con conseguente moria di pesci.

Ossigeno disciolto
Tra l'ossigeno presente nell'aria e quello disciolto nell'acqua vi è un equilibrio di solubilità gas/liquido che dipende dalla temperatura e dalla pressione (e anche dalla salinità). La quantità massima di ossigeno che può dissolversi in acqua in determinate condizioni è il valore di **saturazione**.
La concentrazione di ossigeno disciolto è definita come mg di gas O_2 per litro di acqua (mg/L).
Si ritengono necessarie le seguenti concentrazioni minime di ossigeno:

5 mg/L per le specie ittiche più pregiate quali ad es. i salmonidi;
4 mg/L per gran parte delle specie ittiche;
2 mg/L per la sopravvivenza delle specie ittiche meno pregiate e più resistenti alla carenza di ossigeno.

La diffusione dell'ossigeno dall'atmosfera è lenta, ma è favorita in condizioni di acque "movimentate" come quelle dei tratti di fiume con cascate o rapide, tipici delle aree montane/collinari, mentre può essere insufficiente in caso di corsi d'acqua lenti (fiumi di pianura, laghi) o stagnanti.

Fosforo
I composti del fosforo sono fitonutrienti (sono infatti componente importante dei concimi) e causano la crescita di alghe nelle acque superficiali. Un grammo di fosforo sotto forma di fosfato (PO_4-P) consente la crescita di 100 g di alghe che per la loro decomposizione aerobica richiedono circa 150 g di ossigeno.
La particolare importanza del fosforo nell'ambito del problema dell'eutrofizzazione è legata alla sua relativa rarità in natura rispetto ad altri tipi di fitonutrienti (come per esempio l'azoto): è quindi proprio esso a costituire il *fattore limitante* per la crescita delle alghe. Controllando la concentrazione di fosforo si può quindi tenere sotto controllo la proliferazione di alghe più facilmente che controllando altri nutrienti.

I fosfati provengono da numerose fonti antropiche: in primo luogo i fertilizzanti agricoli, ma anche scarichi urbani, detersivi (oggi meno che in passato), e residui di industrie agricole e alimentari.

Azoto
L'azoto è un componente importante delle proteine, ed è per questo un nutriente fondamentale per i vegetali. Sebbene sia molto abbondante nell'atmosfera sotto forma del gas N_2, gli organismi fotosintetici non sono in grado di utilizzarlo direttamente in questa forma. Per essere biodisponibile, deve trovarsi già legato a molecole organiche, oppure sotto forma di ammoniaca o ione ammonio (NH_3/NH_4^+), azoto nitrico (nitrati NO_3^-) o, in misura minore, nitroso (nitriti NO_2^-).

Tra questi, i principali responsabili dell'eutrofizzazione di origine antropica sono l'azoto ammoniacale e nitrico, in quanto si possono accumulare nei corpi d'acqua superficiali in seguito al dilavamento dei concimi a base di azoto (i nitrati in particolare), oppure, nel caso dell'ammonio, a causa della contaminazione da liquami di origine agricola (allevamento) o umano (fognature non adeguatamente trattate).

Il tuo compito
Oggi analizzerai la concentrazione di saturazione dell'ossigeno nell'acqua, nonché la concentrazione di alcuni nutrienti in alcuni campioni di acque superficiali. In base ai risultati da te ottenuti, potrai valutare la qualità globale di tali acque sotto l'aspetto del problema dell'eutrofizzazione.

Raccomandazioni e indicazioni generali

Indossa sempre i guanti, il camice e gli occhiali di protezione.
Maneggia sotto cappa e col vetro abbassato le soluzioni fortemente acide o alcaline.
In caso di incidenti, dubbi relativi alla sicurezza o problemi avverti immediatamente un assistente.

Nell'Appendice in fondo al testo troverai le istruzioni per alcuni strumenti.
In caso di dubbi sull'utilizzo della strumentazione, contatta un assistente.

Nei calcoli utilizza i valori delle masse atomiche presenti nella **tavola periodica** in Appendice.
Le due parti sperimentali **2.1 e 2.2** di questo tema possono essere eseguite in qualsiasi ordine.

2.1 Determinazione della concentrazione dell'ossigeno disciolto in acqua, a diverse temperature.

La determinazione dell'ossigeno disciolto (OD), che come descritto nell'introduzione riveste un ruolo di fondamentale importanza per conoscere lo stato di salute dell'acqua, viene effettuata con il metodo di Winkler.

Principio del metodo di Winkler
Il metodo si basa sulla reazione dell'ossigeno disciolto con manganese (II) in soluzione alcalina; per successiva acidificazione in presenza di ioduro, il manganese ossidato ritorna a Mn (II), liberando iodio I_2 in quantità proporzionale all'ossigeno inizialmente presente nel campione.

$$Mn^{2+} + 2OH^- + ½\ O_2 \rightarrow MnO(OH)_2$$
$$MnO(OH)_2 + 2I^- + 4H^+ \rightarrow Mn^{2+} + I_2 + 3H_2O$$

Lo iodio prodotto viene titolato con una soluzione a concentrazione nota di tiosolfato sodico $Na_2S_2O_3$, in presenza di salda d'amido come indicatore visivo del punto finale. La reazione che avviene è la seguente:

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$$

L'analisi deve essere effettuata sul campione di acqua cercando di evitare la formazione di bolle d'aria sia in fase di campionamento che durante l'esecuzione dell'analisi.

Domanda 2.1.1
Quante moli di tiosolfato di sodio servono per consumare completamente lo iodio formato a partire da una mole di ossigeno O_2? Rispondi sul **foglio risposte**.

Materiali

- 2 matracci da 100 mL con tappo, uno dei quali si trova nel frigorifero.
- Soluzione di tiosolfato di sodio $Na_2S_2O_3$ **0,0075 M**
- Soluzione di $MnSO_4$ al 40% (Soluzione Winkler #1, – **W1**) in provettina
- Soluzione di soda caustica NaOH al 45% e KI al 12% (Soluzione Winkler #2 – **W2**) in provettina **[Attenzione! Corrosivo! aprire solo dietro il vetro della cappa]**
- Soluzione acquosa di acido solforico H_2SO_4 50% in due aliquote da ca. 1 mL in provettine (**W3**) **[Attenzione! Corrosivo! aprire solo dietro il vetro della cappa]**
- Salda d'amido
- 4 Pipette usa e getta di plastica
- Pipetta da 5 mL con pipettatore verde (vedi istruzioni in appendice)
- Pipetta da 10 mL con bulbo pipettatore "porcellino" (vedi istruzioni in appendice)
- Beuta da 50 mL (per le titolazioni)
- Agitatore magnetico e ancoretta **(chiedi assistenza per l'accensione)**
- Becher dei rifiuti
- Vasca con acqua a temperatura ambiente (in comune)
- Vasca con acqua a bassa temperatura (in comune, in frigorifero)
- Termometri (in comune)
- Carta assorbente (in comune)

Procedimento sperimentale

1. Preleva un campione di acqua a temperatura ambiente immergendovi completamente il primo matraccio fino a riempirlo **completamente (fino all'orlo e non solo fino al segno di taratura)** e senza far rimanere bolle. Eventualmente aiutati con il becher presente nella vasca. Tappa il matraccio cercando di minimizzare la formazione di bolle. Uscirà una piccola quantità di acqua. Annota **sul foglio risposte** la temperatura dell'acqua.
2. Dal frigorifero preleva un campione di acqua fredda nel secondo matraccio, esattamente come nel caso precedente. Annota **sul foglio risposte** la temperatura dell'acqua.

Procedi rapidamente ai due passi successivi per evitare che vari troppo la temperatura del campione!
Quando trasferisci reagenti corrosivi nei passi 3, 4 e 6, lavora **dietro il vetro di protezione della cappa**.

3. In ciascun matraccio aggiungi 0,5 mL di soluzione di Winkler #1 (**W1**) avendo cura di mettere la punta della pipetta il più vicino possibile alla superficie dell'acqua ma senza toccarla.
4. Di seguito e nello stesso modo, aggiungi in ciascun matraccio 0,5 mL di soluzione di Winkler #2 (**W2**) (**attenzione! soluzione fortemente alcalina!**). **Lavora sotto cappa!**
5. Tappa entrambi i matracci (fuoriuscirà una piccola parte del contenuto: asciuga con la carta) e capovolgili più volte per mescolarne i contenuti. Si formerà un precipitato. In questa fase si fissa tutto l'ossigeno presente nella bottiglia, incluso quello indesiderato presente in eventuali bolle.
6. Attendi circa 10-15 minuti che si stabilizzi il precipitato, quindi di nuovo **sotto cappa e con la protezione del vetro**, trasferisci con una pipetta in ciascun matraccio un'intera aliquota da ca. 1 mL di acido solforico 50% (**W3**) **(Attenzione! Acido concentrato!)**.
7. Tappa, asciuga il liquido che fuoriesce, e capovolgi più volte per mescolare. Vedrai il solido sciogliersi lasciando una soluzione giallo-oro contenente lo iodio. Ora, in ambiente acido, non vi è più il rischio che l'ossigeno dell'aria interferisca.
8. Con la pipetta da 10 mL trasferisci 20,0 mL da un matraccio alla beuta.
9. Riempi la pipetta da 5 mL fino al segno di graduazione più alto (–2 mL) con la soluzione di tiosolfato e titola, mescolando costantemente con l'agitatore, il campione contenuto nella beuta fino a che il colore diventa giallo chiaro. Per apprezzare le variazioni di colore, poni la beuta su un foglio bianco.

IMPORTANTE! riempi di nuovo la pipetta appena il liquido raggiunge la tacca più bassa (per es. 4 mL).
Suggerimento: non aspettarti di dover aggiungere volumi di tiosolfato superiori ai 6 mL.

10. Aggiungi **6 gocce** di salda d'amido e agita. Apparirà un colore blu-viola: in caso contrario vorrà dire che avrai già superato il punto finale.
11. Continua la titolazione goccia a goccia e mescolando continuamente fino al raggiungimento del punto finale (soluzione incolore, senza tracce di blu).
12. Annota **sul foglio risposte, con la massima precisione possibile** (anche frazioni di tacca)**,** il volume di soluzione aggiunto. Versa il contenuto della beuta nel contenitore dei rifiuti liquidi e sciacquala rapidamente con acqua deionizzata.
13. Per ciascuno dei due campioni ripeterai la titolazione **(passi 8-12)** tre volte e calcolerai la media.

Analisi dei dati

1. Per ciascuno dei due campioni di partenza calcola la concentrazione media dell'ossigeno in mg/L e stima l'incertezza. Riporta i risultati e i calcoli sul **foglio risposte**.
2. Rappresenta sull'apposito spazio sul **foglio risposte** i due punti sperimentali (concentrazione di O_2 vs. temperatura) e traccia un tratto della retta passante per essi. Riporta sull'asse delle ascisse l'intervallo di temperature **tra 0°C e 25°C**.

Dato che i campioni analizzati si possono supporre in equilibrio con l'aria, questo grafico ti servirà per avere un'idea approssimata dell'andamento della concentrazione massima (saturazione) dell'ossigeno nelle acque dolci al variare della temperatura.

3. Nella tabella che segue sono riportate le concentrazioni di ossigeno rilevate direttamente sul posto per i tre campioni di acque superficiali, oltre alla temperatura dell'acqua al momento del campionamento. Riporta i punti sperimentali sul grafico e calcola per ciascuno dei 3 campioni la percentuale di ossigeno rispetto al valore di saturazione.

Nota: se $S_{O2}(T)$ è il valore di concentrazione di saturazione alla temperatura T e $C_{O2}(T)$ è il valore misurato alla stessa temperatura, la percentuale richiesta è data da $\%_{O2,sat} = 100\% \cdot C_{O2}(T)/S_{O2}(T)$.

Campione	**C1**	**C2**	**C3**
Temperatura (°C)	7	12	16
Conc. O_2 (mg/L)	11,3	7,6	4,5

2.2 Determinazione dell'azoto ammoniacale e nitrico.

Il tuo compito sarà ora quello di determinare quantitativamente **l'azoto ammoniacale** presente nei tre campioni, mentre **i dati relativi all'azoto nitrico sono già stati ottenuti**.

Nota sul modo in cui sono espresse le concentrazioni.
Nell'analisi delle acque di superficie le concentrazioni dell'azoto ammoniacale e nitrico sono espresse come mg/L dell'**elemento chimico azoto** presente sotto forma di ammonio (NH_4-N) o nitrato (NO_3-N), rispettivamente.

Principio del metodo
Per la determinazione dell'azoto ammoniacale sfrutterai i reattivi di un kit commerciale, la cui composizione non è nota ma con buona probabilità è basato su una reazione simile alla seguente:

fenolo (o acido salicilico) + **ammoniaca** + ipoclorito → indofenolo (blu/verde)

La reazione avviene in ambiente basico (dove lo ione ammonio si converte in ammoniaca) ed è catalizzata dal nitroprussiato. La misura sarà sempre di tipo colorimetrico basata su misure allo spettrofotometro.

In Appendice al testo troverai un'Introduzione alla legge di Beer-Lambert e alla spettrofotometria, e le istruzioni per l'uso dello spettrofotometro. Leggi attentamente queste ultime prima di procedere.

Materiali

- 9 provette da 10 mL con tappo incorporato
- 9 cuvette pulite con portacuvette
- 3 provettine da 1,5 mL contenenti le tre soluzioni di reattivi (N1, N2 e N3)
- 3 pipette da 1 mL di plastica usa e getta (pulite) per le aggiunte dei 3 reattivi
- Pipetta da 5 mL con pipettatore verde (sciacquare con H_2O deionizzata se già usata in precedenza)
- Soluzione standard di ammonio (concentrazione **2,0 mg/L NH_4-N**)
- 3 campioni di acque (C1, C2, C3)
- Acqua deionizzata
- Spettrofotometro
- Pennarello indelebile
- Becher dei rifiuti

Procedimento sperimentale

1. Se hai già usato in precedenza la pipetta da 5 mL, sciacquala alcune volte con acqua deionizzata.
2. Prepara 6 soluzioni standard di ammonio a concentrazione crescente (incluso il bianco): in altrettante provette da 10 mL trasferisci con la pipetta da 5 mL quantità crescenti e precise di soluzione standard di ammonio secondo la tabella seguente. Sciacqua alcune volte la pipetta con acqua deionizzata e usala per aggiungere ai campioni acqua deionizzata fino a raggiungere un volume totale di 3,00 mL.

Campione	NØ (bianco)	NA	NB	NC	ND	NE
mL soluz. di ammonio	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00
mL acqua deionizzata	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,00

3. In altre 3 provette da 10 mL trasferisci esattamente 3,00 mL di ciascuno dei tre campioni di acque da analizzare (C1, C2, C3). Per il trasferimento utilizza la stessa pipetta, ma riempila e svuotala preventivamente una-due volte con la soluzione che ti accingi a trasferire (avvinamento).

Attenzione! Nei passaggi seguenti dovrai aggiungere delle gocce sempre uguali dei vari reagenti. Fai attenzione alla presenza di bolle nella punta della pipetta.

4. Con una pipetta aggiungi in ciascuna provetta 2 gocce del reagente **N1**, tappa e mescola.
5. Con una pipetta aggiungi in ciascuna provetta 2 gocce del reagente **N2**, tappa e mescola.
6. Con una pipetta aggiungi in ciascuna provetta 2 gocce del reagente **N3**, tappa e mescola.
7. Dopo **15 minuti** di incubazione a temperatura ambiente, trasferisci l'intero contenuto di ciascuna provetta in una cuvetta contrassegnata con la sigla di quel campione.
8. Imposta sullo spettrofotometro la lunghezza d'onda di **700 nm**.
9. Inserisci la cuvetta in cui è contenuto il bianco **NØ**, e azzera l'assorbanza. Il display indicherà 0.000.
10. Inserisci ciascuna delle altre cuvette e registra nella tabella sul **foglio risposte** i valori delle assorbanze misurate.

Analisi dei dati

1. Calcola e riporta nella tabella sul **foglio risposte** le concentrazioni delle soluzioni **NA-NE**.
2. Riporta sull'apposito spazio sul **foglio risposte** il grafico dell'assorbanza vs. concentrazione per i 6 campioni a concentrazione nota.
3. Traccia sul grafico la retta che meglio approssima l'andamento dei dati.
4. A partire dal grafico, ricava l'equazione della retta di calibrazione e riportala sul **foglio risposte**.
5. RIcava le concentrazioni di azoto ammoniacale (NH_4-N) nei 3 campioni e riportale nella tabella sul **foglio risposte**.
6. Per gli stessi campioni sono stati precedentemente ottenuti anche i dati relativi alla concentrazione di azoto nitrico (NO_3-N):

Risultati dell'analisi dell'azoto nitrico:

Campione	**C1**	**C2**	**C3**
NO_3-N (mg/L)	0,4	4,2	1,8

2.3 Determinazione dei fosfati presenti nelle acque.

Uno dei metodi più frequentemente adottati per determinare i fosfati è per via strumentale spettrofotometrica.

Nota sul modo in cui è espressa la concentrazione.
Nell'analisi delle acque di superficie la concentrazione del fosforo è espressa come mg/L dell'**elemento chimico fosforo** presente sotto forma di fosfati (PO_4-P). Per esprimere correttamente i risultati della tua analisi **dovrai convertire in questa forma** la concentrazione espressa in mg/L di monofosfato potassico (KH_2PO_4) presente nella soluzione standard.

Principio del metodo
Quando i fosfati sono mescolati con una soluzione acida di molibdato si forma in soluzione un complesso che genera un colore giallo pallido. Trattando in seguito con una sostanza riducente, come l'acido ascorbico, il complesso viene convertito in *blu di molibdeno*, una specie di composizione non del tutto nota che colora la soluzione di un blu intenso.

$$PO_4^{3-} + 12MoO_4^{2-} + 27\,H^+ \rightarrow H_3PO_4{\cdot}12MoO_3 + 12H_2O$$

$$H_3PO_4{\cdot}12MoO_3 + \text{riducente} \rightarrow \textit{blu di molibdeno}$$

Dal momento che l'intensità del colore è proporzionale alla quantità di ioni fosfato PO_4^{3-}, l'analita può essere determinato per mezzo di uno spettrofotometro.

L'esperimento è stato eseguito per voi da personale tecnico autorizzato. Di seguito viene riportata sinteticamente la procedura seguita; **l'elaborazione dei dati viene assegnata a te**.

Reagenti utilizzati

- Soluzione standard di fosfato monopotassico **KH_2PO_4 4,40 mg/L**
- 3 campioni di acque (C1, C2, C3)
- Soluzione di acido solforico 2,5 M
- Soluzione di molibdato d'ammonio 4%
- Soluzione di acido ascorbico 0,1 M
- Acqua deionizzata

Procedimento sperimentale

1. Si è cominciato preparando 6 soluzioni standard di fosfato a concentrazione crescente (incluso il bianco): in altrettante provette sono state trasferite quantità crescenti e precise di soluzione standard di fosfato secondo la tabella sul **foglio risposte**. Si è aggiunta ai campioni acqua deionizzata fino a raggiungere un volume totale di 4,00 mL.
2. In 3 ulteriori provette sono stati trasferiti esattamente 4,00 mL di ciascuno dei tre campioni di acque da analizzare (C1, C2, C3).
3. Si è preparato il reattivo mescolando opportunamente le tre soluzioni di acido solforico, molibdato e acido ascorbico.
4. Si è trasferito 1 mL di reattivo in ciascuna delle 9 provette contenenti i campioni da analizzare.
5. Dopo **30 minuti di incubazione a 60°C**, il contenuto di ciascuna provetta è stato analizzato allo spettrofotometro alla lunghezza d'onda di **826 nm**, ricavando le assorbanze riportate in tabella sul **foglio risposte**.

Analisi dei dati

1. Converti nella tabella sul **foglio risposte** la concentrazione di fosfato monopotassico (KH_2PO_4) della soluzione standard in concentrazione di fosforo-fosfato (PO_4-P) e nella tabella successiva esprimi in questa forma la concentrazione di tutti i campioni analizzati.
2. Riporta sull'apposito spazio sul **foglio risposte** il **grafico** dell'assorbanza vs. concentrazione per i 6 campioni a concentrazione nota.
3. Traccia sul **grafico** la retta che meglio approssima l'andamento dei dati.
4. A partire dal grafico, ricava le concentrazioni del fosforo-fosfato (PO_4-P) presenti nei tre campioni di acque di superficie e riportale nella tabella **sul foglio risposte**.

2.4 Conclusioni e valutazione della qualità globale delle acque analizzate.

Il **Livello di inquinamento da Macrodescrittori per lo Stato Ecologico (LIMeco)** è un indice sintetico introdotto dal Decreto Ministeriale 260/2010 che integra alcuni elementi fisico-chimici legati al fenomeno dell'eutrofizzazione:

- Ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione
- Nutrienti (azoto ammoniacale NH_4-N, azoto nitrico NO_3-N, fosforo totale P-tot)

Il calcolo prevede che per ogni campionamento vengano assegnati dei punteggi in base alla concentrazione di tali parametri (ossigeno disciolto, nitrati, fosforo totale, ione ammonio), ricavando il **LIMeco** di ciascun campionamento come **media** tra i punteggi attributi ai singoli parametri in base agli intervalli di concentrazione secondo la tabella 2.4.1.

Tabella 2.4.1 – Attribuzione dei punteggi ai singoli parametri LIMeco

Parametro	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
%O_2 sat.	≥ 90%	≥ 80%	≥ 60%	≥ 20%	< 20%
NH_4-N (mg/L)	< 0.03	≤ 0.06	≤ 0.12	≤ 0.24	> 0.24
NO_3-N (mg/L)	< 0.6	≤ 1.2	≤ 2.4	≤ 4.8	> 4.8
P-tot (mg/L)	< 0.05	≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 0.40	> 0.40
Punteggio	***1***	***0,5***	***0,25***	***0,125***	***0***

Nota: il punteggio va attribuito a ogni singolo parametro.

Tabella 2.4.2 – LIMeco: classificazione di qualità in base alla **media** dei punteggi assegnati

LIMeco	≥ 0.66	≥ 0.50	≥ 0.33	≥ 0.17	< 0.17
STATO	ELEVATO	BUONO	SUFFICIENTE	SCARSO	CATTIVO

2.4.1 – determinazione dello stato di qualità globale
In base ai dati ricavati, completa per ciascun campione la tabella sul foglio risposte indicando il livello di qualità (Livello 1-5) relativo a ciascun parametro e il corrispondente punteggio. Considera come fosforo totale il valore da te ricavato per il solo fosforo da fosfati (PO_4-P).

Calcola quindi la media dei punteggi dei 4 parametri e ricava il LIMeco per quel campione, assegnando la classificazione dello stato di qualità complessiva di quell'acqua in base alla tabella 2.4.2.

2.4.2 – identificazione della provenienza dei campioni
I tre campioni sono stati raccolti uno in un'area di montagna, uno in un'area di pianura ove è praticata agricoltura intensiva, e l'ultimo in un'area pianeggiante a valle di una grande città e di allevamenti intensivi.

In base ai valori dei vari parametri misurati, indica qual è la provenienza di ciascun campione, motivando le tue scelte. Rispondi sul **foglio risposte**.

– Fine del Tema 2 –