

## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

### Modulo 1: Contesto teorico

#### Wetsus

Il nome Wetsus è una composizione della parola frisona per acqua ("wetter") e della parola inglese "sustainable". Wetsus è un istituto di ricerca che studia vari fenomeni e tecniche dell'acqua. Questo crea soluzioni sostenibili per l'acqua potabile, l'energia e il cibo. Wetsus collabora con numerose aziende, università e laboratori.

L'idea è quella di diffondere le soluzioni sostenibili come prodotto di esportazione in tutto il mondo. Vogliamo anche fare in modo che nessuno debba morire per la mancanza di acqua potabile e che non si distrugga più il nostro pianeta con l'uso di tecniche sporche e dispendiose.

Le applicazioni principali sono la purificazione dell'acqua potabile e la rimozione dei composti dalle acque reflue. Ciò consente di migliorare la salute di tutte le persone e le condizioni di vita. Questo è necessario perché l'acqua contaminata è attualmente la prima causa di morte dei bambini.

L'acqua è veramente sostenibile solo se viene filtrata con tecnologie intelligenti, che sono in grado di purificare l'acqua salata o inquinata e allo stesso tempo di produrre energia. Inoltre, tutti i tipi di organismi presenti in natura, come vermi, batteri e alghe, sono qui per aiutarci in molti processi.

Non abbiamo ancora finito di inventare soluzioni intelligenti per la tecnologia dell'acqua e ci vorrà molto tempo prima che tutti abbiano accesso all'acqua potabile sulla terra e che la terra sia salvata per sempre dall'inquinamento e dai rifiuti. Stiamo lavorando sodo e abbiamo bisogno di giovani ricercatori con idee fresche e grandi progetti.

#### Progetto sull'urina presso Wetsus

Uno dei progetti di ricerca di Wetsus è il recupero di nutrienti ed energia dall'urina. L'urina che gettiamo incautamente nel water contiene molti nutrienti utili e preziosi, come fosfati e composti azotati. Inoltre, la rimozione di tutti i tipi di sostanze in un impianto di trattamento delle acque reflue richiede molta energia: Il 70% dell'energia totale di questo sistema.

#### Fosforo

Il fosforo è un elemento insostituibile e indispensabile per la vita delle piante e degli animali. Il fosforo fa parte del DNA e svolge un ruolo nell'approvvigionamento energetico degli organismi.

Il fosforo viene estratto nelle miniere. Poi, il minerale viene trasformato in fertilizzante. Una parte dei composti di fosforo finisce direttamente nell'ambiente dopo la dispersione, tramite risciacquo. Un'altra parte finisce nell'ambiente attraverso le feci degli animali, il consumo e l'escrezione da parte dell'uomo.

Il recupero del fosforo dalle miniere è limitato. La domanda di fosforo aumenterà a causa della forte crescita della popolazione mondiale e della coltivazione di colture energetiche per la produzione di biocarburanti. Le scorte di fosforo si esauriranno nel giro di circa 100 anni.

Il fosforo è difficile da recuperare perché viene utilizzato e diffuso in tutto il pianeta. Poiché il fosforo è un elemento essenziale per la vita, dobbiamo fertilizzare in modo più efficiente e trovare un metodo di recupero e riciclaggio per mantenere la vita sulla Terra.

## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

Attualmente nei Paesi Bassi il fosfato viene in parte recuperato dagli impianti di trattamento delle acque reflue (Figura 1).

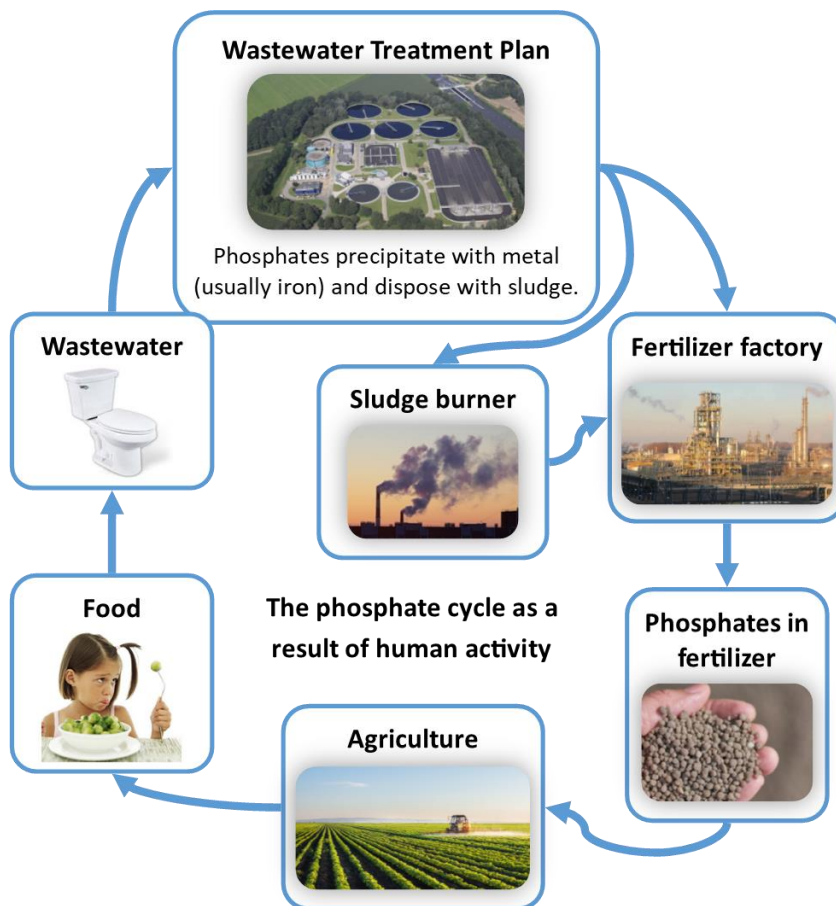


Figura 1, Il ciclo dei fosfati come risultato dell'attività umana.

## Azoto

L'aria è composta per l'80% da azoto. L'azoto è un elemento indispensabile per la formazione delle proteine. Le persone scaricano l'azoto attraverso l'urina. L'azoto è presente nelle urine sotto forma di urea. A differenza del fosforo, non esiste una riserva infinita di azoto. Il problema dell'azoto è la quantità di energia necessaria per riciclarlo in una forma che possa essere riutilizzata dagli organismi. In natura l'azoto viene convertito in diverse forme nel cosiddetto ciclo dell'azoto (Figura 2).

Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

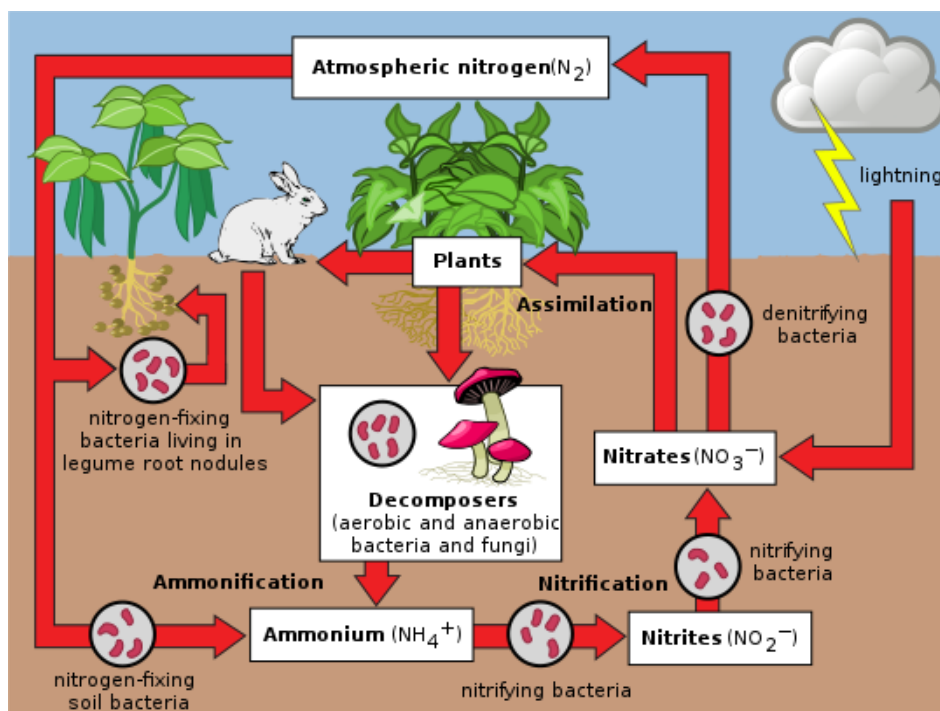


Figura 2, Ciclo dell'azoto.

Nei Paesi Bassi l'azoto sotto forma di urea finisce in un impianto di trattamento delle acque reflue. Nel processo di trattamento delle acque reflue l'urea viene convertita in azoto in una serie di fasi (Figura 3). L'azoto prodotto viene scaricato nell'ambiente, dove rientra nel ciclo dell'azoto.

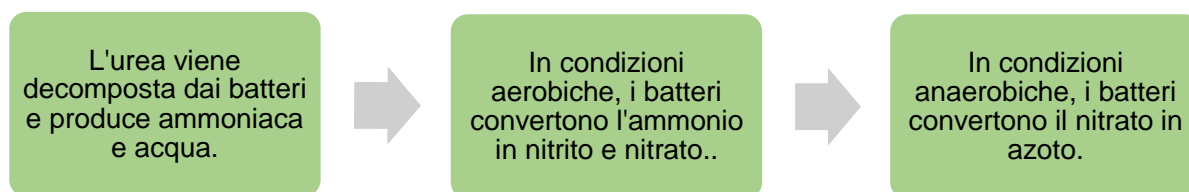


Figura 3, Processo di azoto in un impianto di trattamento delle acque reflue.

L'azoto è un elemento essenziale per la produzione di fertilizzanti. L'azoto presente nell'aria viene convertito in nitrato, un componente dei fertilizzanti. Studiando il calendario del percorso dell'azoto nella vita umana nei Paesi Bassi, si nota che nel trattamento delle acque reflue l'urea viene convertita in azoto attraverso il nitrato e che l'industria dei fertilizzanti la riconverte in azoto sotto forma di nitrato (Figura 4).

Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

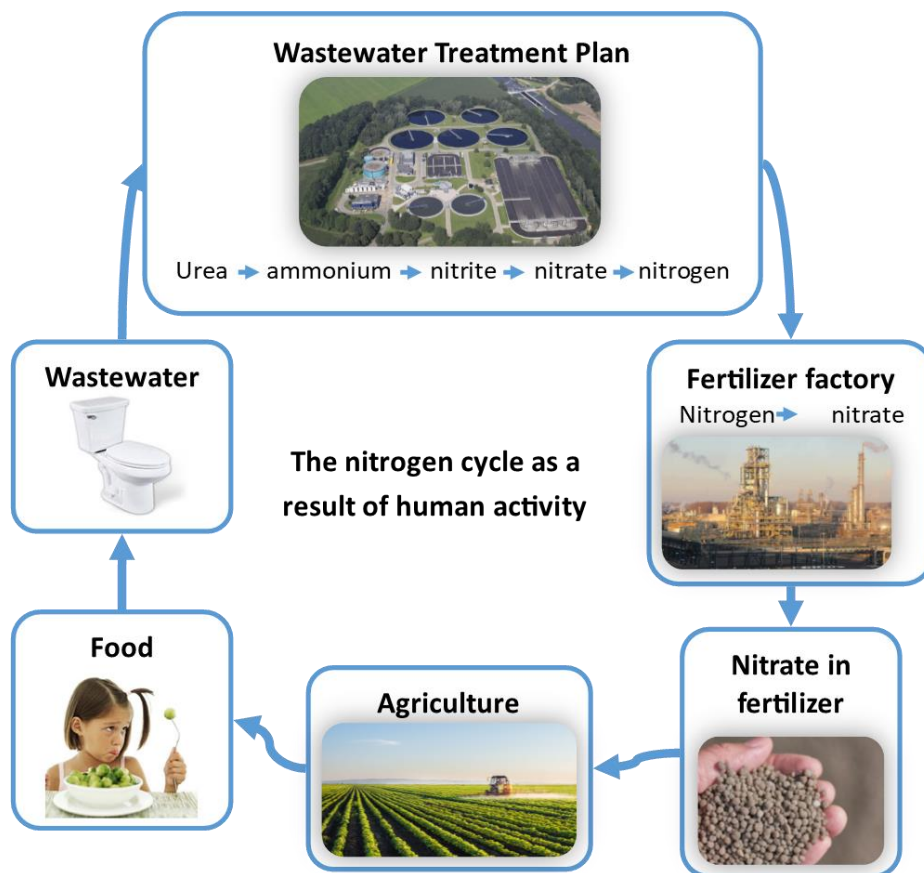


Figura 4, Il ciclo dell'azoto come risultato dell'attività umana.

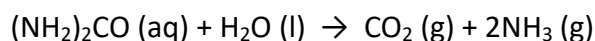
## Struvite

La struvite ( $(\text{NH}_4) \text{Mg} \text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) è un minerale composto da ammonio, fosfato e magnesio, ottimo per essere utilizzato come fertilizzante. La struvite può essere ricavata dall'urina in modo semplice. I vantaggi della produzione di un fertilizzante direttamente dall'urina sono:

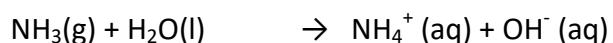
- Risparmia energia, mentre il fosfato e l'azoto non devono essere rimossi dall'urina
- Mantenere il fosforo nel ciclo
- Conservare un prodotto di valore (fertilizzante)

In questo modulo, gli studenti possono produrre struvite dall'urina del mattino. Un'alternativa all'urina del mattino è una forma sintetica di urina (vedi Modulo 2 - Sintesi della struvite).

All'inizio l'enzima ureasi viene aggiunto all'urina. L'ureasi provoca la conversione dell'urea in ammoniaca.



L'ammoniaca reagisce con l'acqua formando ammonio:

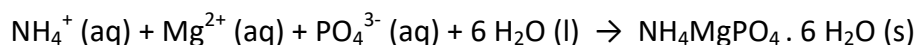


Il risultato è un aumento del pH.

## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

Successivamente, viene aggiunto cloruro di magnesio e in questa fase si forma la struvite:



Dalla struvite ottenuta è possibile determinare la concentrazione di fosfati con la colorimetria. Inoltre, è possibile verificare se la struvite creata ha un effetto positivo sulla crescita delle piante.

## Procedura

- *Lasciate che gli studenti leggano o presentino le informazioni di base*
- *Facoltativo: discutere il contenuto o le domande nel gruppo*

## Domande e risposte

*Perché è importante il recupero di azoto e fosfati dalle acque reflue? La risposta dovrebbe includere il fatto che le risorse minerarie sono limitate. Altre risposte riguardano i vantaggi di un sistema circolare: migliore per l'ambiente, meno energia necessaria, meno emissioni di CO<sub>2</sub>, meno trasporti, un modo più ecosostenibile di avere risorse / non dipendente dai Paesi che possiedono le miniere.*

- 1. Quale fase del processo di trattamento delle acque reflue non è logica se si guarda al ciclo dell'azoto e del fosforo nelle Figure 1 e 4? L'impianto di trattamento delle acque reflue scarica i composti di fosfato (principalmente dall'urina) con i fanghi nell'inceneritore. Nell'impianto di trattamento delle acque reflue l'urea viene convertita in azoto attraverso i nitrati. L'azoto è una materia prima per l'industria dei fertilizzanti. Qui l'azoto viene ritrasformato in un composto di nitrato.*
- 2. Riesci a pensare a diversi vantaggi della produzione di struvite direttamente dall'urina?*
  - Si risparmia energia, poiché il fosfato e l'azoto non devono essere rimossi dall'urina e l'urina non viene diluita in un impianto di depurazione.
  - Mantenere il fosforo nel ciclo
  - Mantenere un prodotto prezioso (fertilizzante)
- 3. Dove si può produrre struvite dall'urina? Pensate in grande: come si potrebbe implementare questo metodo di recupero delle risorse nei Paesi Bassi e all'estero? L'urina di animali o persone può essere raccolta facilmente. La possibilità di ottenere un fertilizzante economico e facile da produrre ha applicazioni in diversi Paesi e in diverse situazioni. Pensate a luoghi come una fattoria, un sistema di raccolta delle urine in un ospedale, un sistema di toilette che separa le urine, ecc. Si pensi alle possibilità all'estero: nelle regioni povere dell'Africa la gente usa la stessa toilette e non ci sono impianti per le acque reflue. Qui l'urina può essere raccolta e utilizzata per la produzione di fertilizzanti.*

Per l'insegnante

Struvite dall'urina

## Modulo 2: La sintesi della struvite

### Occorrente

- 200 ml di urina del mattino o di urina sintetica (vedi tabella 1).
- tazza con coperchio (per l'urina)
- 2 tazze (250 mL)
- agitatore
- cucchiaino
- carta o misuratore di pH
- soia
- macinino per fagioli
- parafilm
- cloruro di magnesio
- matraccio sottovuoto con imbuto
- filtro (rotondo)
- pompa dell'acqua
- frigorifero

composto	formula	molmass g/mol	concentrazione g/L
Urea	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	60,062	<b>20</b>
Idrogenocarbonato di sodio	$\text{NaHCO}_3$	84,008	<b>2,1</b>
Solfato di sodio	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	322,16	<b>3,2</b>
Cloruro di ammonio	$\text{NH}_4\text{Cl}$	53,49	<b>1,3</b>
Cloruro di sodio	$\text{NaCl}$	58,44	<b>5,2</b>
Potassio diidrogeno fosfato	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	136,086	<b>0,95</b>
Idrogenofosfato di potassio	$\text{K}_2\text{HPO}_4$	174,78	<b>1,2</b>
Cloruro di calcio	$\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	147,032	<b>0,37</b>
Solfato di magnesio	$\text{MgSO}_4$	120,37	<b>0,499</b>

Tabella 1, Ricetta per 1 litro di urina sintetica

### Procedura

Per prima cosa decidete se volete lasciare che gli studenti usino l'urina del mattino o se volete fare l'urina sintetica con loro o per loro.

#### Metodo:

1. Aggiungere 200 ml di urina alla tazza. Annotare il colore e l'odore.
2. Determina il pH dell'urina.
3. Macinare i chicchi in un macinacaffè.
4. Aggiungere due cucchiaini di farina di soia all'urina e mescolare bene.



## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

5. Coprire il becher con il parafilm e metterlo in frigorifero per 1,5 ore.
6. Osservare l'odore della miscela.
7. Determinare il pH della miscela.
8. Il valore del pH deve essere pari o superiore a 9. In caso contrario, la miscela deve riposare per qualche tempo in frigorifero. Solo quando il valore del pH raggiunge 9, può essere utilizzata.
9. A pH>9: filtrare la miscela su un filtro con l'ausilio di una pompa a getto d'acqua. Assicurarsi che nell'imbuto sia presente la minor quantità possibile di farina di soia.
10. Trasferire il filtrato in una tazza, quindi aggiungere due cucchiaini di cloruro di magnesio al filtrato e mescolare bene. Dopo alcuni minuti, appare un precipitato bianco. Questo precipitato è la struvite. Ci vogliono alcune ore prima che si formi tutta la struvite.
11. Filtrare la sospensione ottenuta su un filtro ad aspirazione con l'uso di acqua.
12. Lasciare asciugare il filtrato all'aria. Non riscaldare per accelerare il processo di essiccazione.

## Domande e risposte

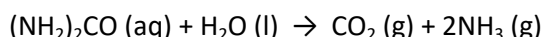
La struvite è un sale doppio: è composta da due tipi di ioni positivi e da un tipo di ioni negativi. La molecola di struvite comprende anche sei molecole d'acqua.

1. *Scrivere le formule degli ioni di cui è composta la struvite.  $Mg^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $NH_4^+$*
2. *Indicare la formula della struvite.  $NH_4MgPO_4 \cdot 6 H_2O$*

Poiché l'urina, tra le altre cose, è composta da ammonio e fosfato, la struvite può essere prodotta in modo semplice. La struvite può essere prodotta raccogliendo l'urina attraverso servizi igienici decentralizzati (raccolta separata dell'urina in ogni famiglia) o facendo precipitare la struvite negli impianti di trattamento delle acque reflue.

3. *Se foste coinvolti in questo progetto, quale dei due metodi di produzione della struvite, attraverso la raccolta differenziata dell'urina o la precipitazione della struvite in un impianto di trattamento delle acque reflue, scegliereste e perché? La risposta dell'alunno deve contenere una motivazione che descriva i vantaggi e gli svantaggi dei metodi.*

La procedura di laboratorio descrive come si può ottenere la struvite dall'urina. Nella prima fase, all'urina viene aggiunta l'urea. L'idrolisi dell'urea avviene secondo la seguente equazione:



4. *Qual è il ruolo dell'ureasi in questa reazione e come chiamiamo questo tipo di materiale? L'ureasi è un enzima. Un altro termine per definirlo è biocatalizzatore. Si tratta di sostanze che assicurano che una*

## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

*reazione avvenga a una temperatura bassa, come quella corporea. Un catalizzatore non viene consumato durante la reazione e quindi non fa parte dell'equazione di reazione.*

*Il pH della soluzione aumenta durante la fase di idrolisi.*

5. *Scrivi la reazione che determina il valore del pH.*  $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

È possibile calcolare la quantità di cloruro di magnesio da aggiungere all'urina per far precipitare tutto il fosfato disponibile come struvite. A tal fine sono necessarie le seguenti informazioni elencate in Binas (Tabella 85B):

- La densità dell'urina può essere di 1,0 g.ml<sup>-1</sup> ;
- Dopo l'idrolisi l'ammonio è presente in eccesso.

6. *Calcolare la quantità di cloruro di magnesio da aggiungere.*

L'urina contiene lo 0,4% di fosfato ( $M = 94,97 \text{ g/mol}$ ) e lo 0,02% di magnesio ( $M = 24,31 \text{ g/mol}$ ).

$M_{\text{cloruro di magnesio}} = 95,22 \text{ g/mol}$

200ml di urina  $\equiv$  200g urina

200 g di urina sono 0,8 g di fosfato  $\equiv 0,8/94,97 \text{ mol di fosfato} \equiv 0,8/94,97 \text{ mol di magnesio}$

È quindi necessario aggiungere  $0,8 / 94,97 \text{ mol di magnesio}$ . L'urina contiene già lo 0,02% di magnesio ( $= 0,04 \text{ g} \equiv 0,04/24,31 \text{ mol di magnesio}$ ).

È necessario aggiungere ancora  $0,8/94,97 - 0,04/24,31 \text{ mol di magnesio}$ .

$0,8/94,97 - 0,04/24,31 \text{ mol di magnesio} \equiv (0,8/94,97 - 0,04/24,31) \times 95,22 = 0,64 \text{ g di cloruro di magnesio}$ .

Se all'urina viene aggiunto cloruro di magnesio, la miscela può diventare effervescente.

7. *Fornite una possibile spiegazione di questo fenomeno. La soluzione è calda e i gas residui,  $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_3$ , possono fuoriuscire.*

8. *Calcolare quante moli di azoto contiene 1 grammo di struvite se è pura al 100%.*

*1 g di struvite corrisponde a  $1/245,28 \text{ mol di struvite}$ .*

*$1/245,28 \text{ mol di struvite}$  corrispondono a  $1/245,28 \text{ mol di azoto} = 4,08 \text{ mmol N}_2$*



Per l'insegnante

Struvite dall'urina

### Modulo 3: Determinazione colorimetrica dei fosfati

La colorimetria è un metodo di determinazione che utilizza la capacità di assorbimento della luce di una soluzione colorata. Quanto più alta è la concentrazione di una sostanza colorata in soluzione, tanto più la soluzione assorbe luce. In altre parole, il grado di assorbimento della luce è una misura della quantità di sostanza.

Poiché la struvite è disciolta in acqua, non si ottiene una soluzione colorata. Il fosfato, invece, può essere reso visibile lasciando che formi un complesso che diventa blu utilizzando un kit di misurazione del fosfato.

Il colorimetro misura il grado di assorbimento della luce in assorbanza (E). Per tradurre l'assorbanza in una concentrazione specifica, si usa una curva di calibrazione come riferimento. Se a scuola non avete un colorimetro, potete utilizzare lo spettrofotometro contenuto in questo kit di strumenti. Con questo misurerete la quantità di luce, espressa in lux, che passerà attraverso la provetta.

Una curva di calibrazione, detta anche curva standard o curva di riferimento, è un metodo generale per determinare la concentrazione di una sostanza in chimica analitica. Un campione sconosciuto viene confrontato con una serie di campioni standard a concentrazione nota. Studiate la figura 5 per comprendere i principi di base di una curva di calibrazione.

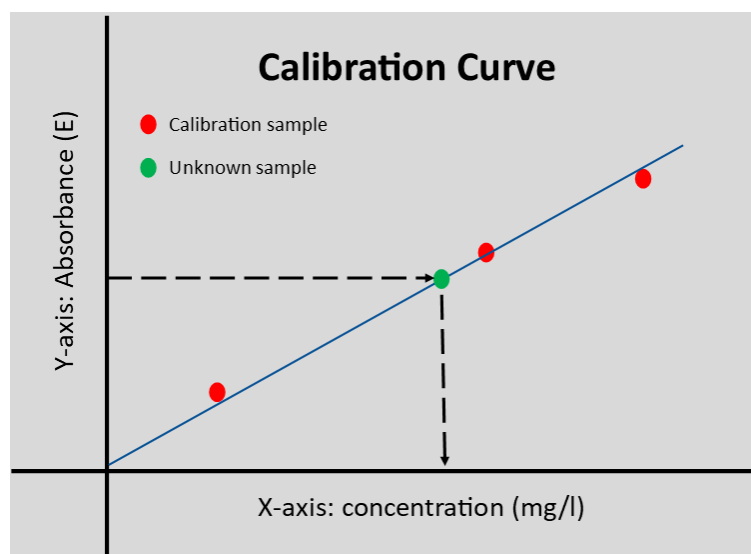


Figura 5, principio di una curva di calibrazione.

## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

### Occorrente



#### Lista dei materiali/strumenti

- Vetreria (erlenmeyers/beakers 20 mL - 500 mL)
- Barre di agitazione magnetiche
- Agitatori
- Equilibrio (0,01 g significativo)
- Cilindro di misura (10-100 mL)
- Cucchiaini
- Kit di misurazione dei fosfati
- Spettrofotometro
- Cuvette di plastica
- Campioni dai Moduli 2 e 3

### Ulteriori note sulla sicurezza



Indossare un camice da laboratorio e occhiali di sicurezza. Quando si lavora con il kit di misurazione dei fosfati, indossare i guanti.

Procedura di smaltimento: misurare il pH delle soluzioni prima di smaltirle. Smaltirle di conseguenza. I cucchiaini ecc. possono essere puliti nel lavandino.

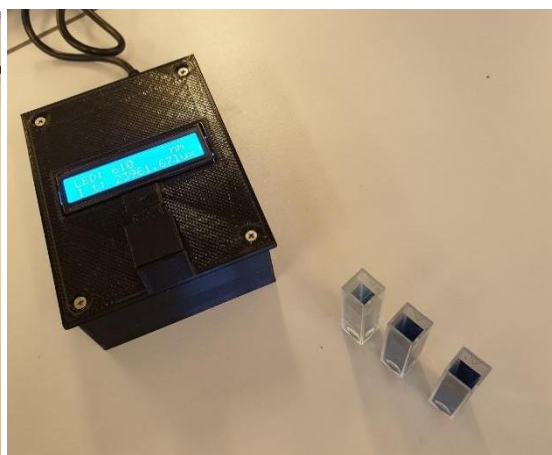
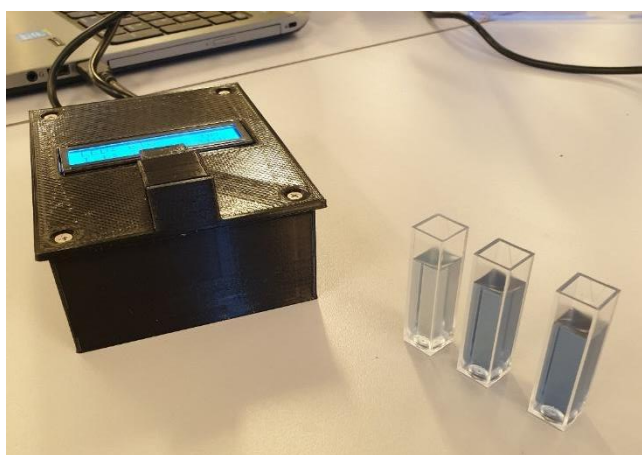
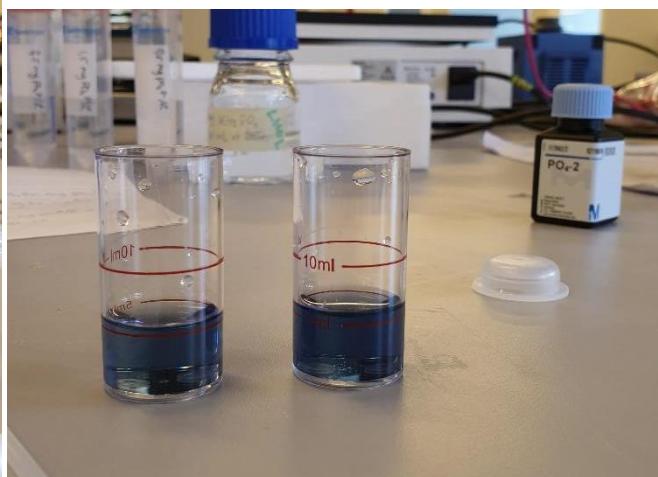
### Procedura:

1. *Preparare innanzitutto una linea di calibrazione: Preparare 4/5 soluzioni con diverse concentrazioni di PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> che vanno da 0 a 5 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L (questo è l'intervallo di concentrazione che il kit di misurazione dei fosfati può misurare).*
2. *Utilizzate il kit di misurazione dei fosfati per colorare di conseguenza le diverse concentrazioni. Leggere e seguire le istruzioni del kit: Aggiungere 10 mL di campione nella fiala di plastica in dotazione. Aggiungere 5 gocce del barattolo 1 (indossando i guanti!), quindi aggiungere 1 cucchiaino (incluso nel tappo) del barattolo 2 e mescolare finché non si scioglie. Si vedrà la soluzione diventare blu. Più alta è la concentrazione di fosfato, più blu diventerà la soluzione.*
3. *Misurare la quantità di luce assorbita dai diversi campioni utilizzando uno spettrofotometro e delle cuvette: Collegare lo spettrofotometro a un computer. Aggiungere il campione colorato (o, nel caso del bianco, trasparente) in una cuvetta di plastica e inserire la cuvetta nello spettrofotometro. Leggere la quantità di lux. Dopo aver misurato tutti i campioni con le diverse concentrazioni di fosfato, è possibile creare una retta di calibrazione.*

## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

4. Misurare ora la quantità di lux che passa attraverso il campione per il campione di struvite. Determinare con l'aiuto della curva di calibrazione la concentrazione dell'incognita.



## Calcoli

Gli studenti possono calcolare la concentrazione di fosfato nel loro campione. Controllare e discutere i risultati.

## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

### Modulo 4: Uso della struvite in un design sperimentale

In questo modulo gli studenti progetteranno un esperimento per testare la struvite come fertilizzante sulle piante di piselli. La pianta di pisello, *Lathyrus Odoratus*, è una pianta a crescita rapida, per cui è possibile osservare correttamente eventuali differenze nel tasso di crescita. Quando si usano i semi, le piante devono prima germogliare. Solo quando compaiono le foglie, si può iniziare a fertilizzare. Il tipo di esperimento dipende da voi e dagli studenti. Cosa vogliono indagare e perché? Cosa è possibile fare per il progetto?

Gli esperimenti sono fatti per studiare se esiste una relazione causale tra una variabile e un effetto. In un disegno sperimentale si crea una determinata procedura di laboratorio per verificare un'ipotesi cambiando diverse variabili e misurando l'effetto.



La progettazione di un esperimento prevede diverse fasi:

1. Quali sono le variabili e cosa influenzano? In questo modulo si potrebbe pensare a:
  - Diverse tipologie di urina
  - Diversi metodi per sintesi della struvite
  - Diversi modi di usare la struvite
  - Diverse condizioni di crescita delle piante di pisello
  - che colpiscono:
    - La resa e la composizione della struvite
    - La crescita delle piante di pisello
2. Progettare un'ipotesi. L'ipotesi deve essere specifica e verificabile. Un'ipotesi potrebbe essere:
  - La struvite proveniente dall'urina di mucca è un fertilizzante più potente della struvite proveniente dall'urina umana.
3. Progettate le procedure sperimentali di laboratorio con le variabili che volete testare. Assicuratevi che non ci siano altre variabili che influenzino i risultati. Pertanto, dovete pensare alle precondizioni del vostro progetto. Le precondizioni possono essere:
  - Tutte le piante ricevono la stessa quantità di acqua e di luce.
  - Il terreno utilizzato per le piante di piselli non deve contenere sostanze nutritive.
4. Progettare i campioni e i controlli. Quanti campioni dovete analizzare per ottenere un risultato rappresentativo? Gli esperimenti necessitano anche di un controllo positivo e di un controllo negativo; un controllo positivo è un controllo dal quale si sa che il risultato deve essere positivo, mentre un controllo negativo è un controllo dal quale si sa che il risultato deve essere negativo. Questi controlli forniscono un riferimento per interpretare i propri dati. In questo caso i controlli potrebbero essere:
  - Un fertilizzante commerciale come controllo positivo
  - Nessun fertilizzante come controllo negativo
5. Preparate un piano per misurare i risultati. Come farete a testare i risultati dell'esperimento per verificare la vostra ipotesi? Misurare la crescita" come risultato della potenza di un fertilizzante, ad esempio, non è molto specifico. Come misurerete la crescita e per quanto tempo? Una misurazione specifica sarebbe:

## Per l'insegnante

## Struvite dall'urina

- Misurare l'altezza (cm) della pianta di pisello ogni 24 ore per una settimana, a partire da 3 giorni dopo la germinazione.

## Occorrente

Dipende dagli studenti, ma sono come minimo necessari:

- Semi di pisello (*Lathyrus Odoratus*)
- Lana di roccia per coltivazioni
- Un fertilizzante a scelta come controllo positivo
- Accesso ad acqua e luce

## Procedura

*Assicurarsi che i limiti del modulo siano chiari a tutti gli studenti (cosa possono usare, quanto tempo c'è per l'esperimento ecc.).*

- *Gli studenti possono scrivere il proprio progetto sperimentale.*
- *Verificare l'allestimento: controllando la relazione scritta o lasciando che i partecipanti presentino il loro allestimento e ne discutano con il gruppo.*
- *Lasciate che gli studenti eseguano i loro esperimenti e generino dati, risultati e conclusioni.*
- *Discutere i risultati e le conclusioni con gli studenti.*

## Domande e risposte

1. *Cosa fareste se i vostri controlli avessero risultati inaspettati? Per esempio, se il vostro controllo negativo cresce meglio o se la pianta del controllo positivo muore? È importante misurare un valore che dia un risultato positivo e uno negativo con cui confrontare i propri risultati. Se i controlli hanno un risultato sbagliato, qualcosa potrebbe essere andato storto nell'esperimento e i risultati non possono essere interpretati. Si potrebbe ricominciare da capo, perché ora come si fa a sapere che i risultati del campione sono rappresentativi se i controlli non lo sono?*
2. *Quali precondizioni sono importanti nella vostra configurazione sperimentale? Potrebbero fallire e quale sarebbe il risultato? E se non tutte le piante ricevessero la stessa quantità di luce e questo influenzasse il tasso di crescita? Oppure una distribuzione disuguale dell'acqua. Le precondizioni sono anche un risultato misurabile: cosa succede se una pianta non cresce in altezza, ma in larghezza.*
3. *Come misurerete il risultato del vostro esperimento? Cosa fareste con le osservazioni inaspettate che non fanno parte della vostra misurazione? Per esempio, misurate l'altezza di una pianta per misurarne la crescita, ma osservate anche foglie bianche o nessuna fioritura, mentre le piante più piccole sono verdi e fioriscono. Nella scienza gli esperimenti hanno spesso esiti imprevisti. Un buon scienziato è paziente e disposto a eseguire esperimenti più e più volte. A volte è necessario cambiare l'assetto sperimentale e il modo di misurare i risultati per ottenere un risultato più affidabile.*