

## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

### Modulo 1: Contesto teorico

#### Progetto urina a Wetsus

Uno dei progetti di ricerca presso Wetsus è il recupero dei nutrienti e dell'energia dall'urina. L'urina che abitualmente buttiamo giù dallo scarico con noncuranza contiene vari nutrienti utili e preziosi come il fosfato e alcuni composti dell'azoto. Inoltre, serve molta energia per rimuovere qualsiasi tipo di sostanza in un impianto di trattamento delle acque reflue: il 70% di tutta l'energia del 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 gioca un ruolo nell'approvvigionamento energetico degli organismi.

Il fosforo viene estratto nelle miniere. In seguito, il minerale viene trasformato in fertilizzante. Una parte dei composti del fosforo finiscono direttamente per disperdersi, tramite risciacquo, nell'ambiente. Un'altra parte si disperde attraverso le feci degli animali e il consumo e l'escrezione da parte dell'uomo nell'ambiente.

Il recupero del fosforo dalle miniere è limitato. La richiesta di fosforo aumenterà con la crescita della popolazione mondiale e la coltivazione di colture energetiche per la produzione di biocarburante. Le scorte di fosforo termineranno nel giro di circa 100 anni.

Il fosforo è difficile da recuperare perchè viene usato ed è diffuso in tutto il pianeta. Poiché il fosforo è un elemento essenziale per la vita, dobbiamo fertilizzare in modo più efficace e trovare un metodo per il suo recupero e riciclo per preservare la vita sulla terra.

Nei Paesi Bassi ora viene parzialmente recuperato dagli impianti di trattamento delle acque reflue (Figura 1).

#### Azoto

L'aria è composta all'80% da azoto. L'azoto è un elemento indispensabile nella formazione delle proteine. Le persone lo scaricano attraverso l'urina. L'azoto è presente nell'urina sotto forma di urea.

A differenza del fosforo, non esiste una riserva infinita di azoto. Il problema dell'azoto è la quantità di energia che serve 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).

Scheda dello Studente

Struvite dall'urina

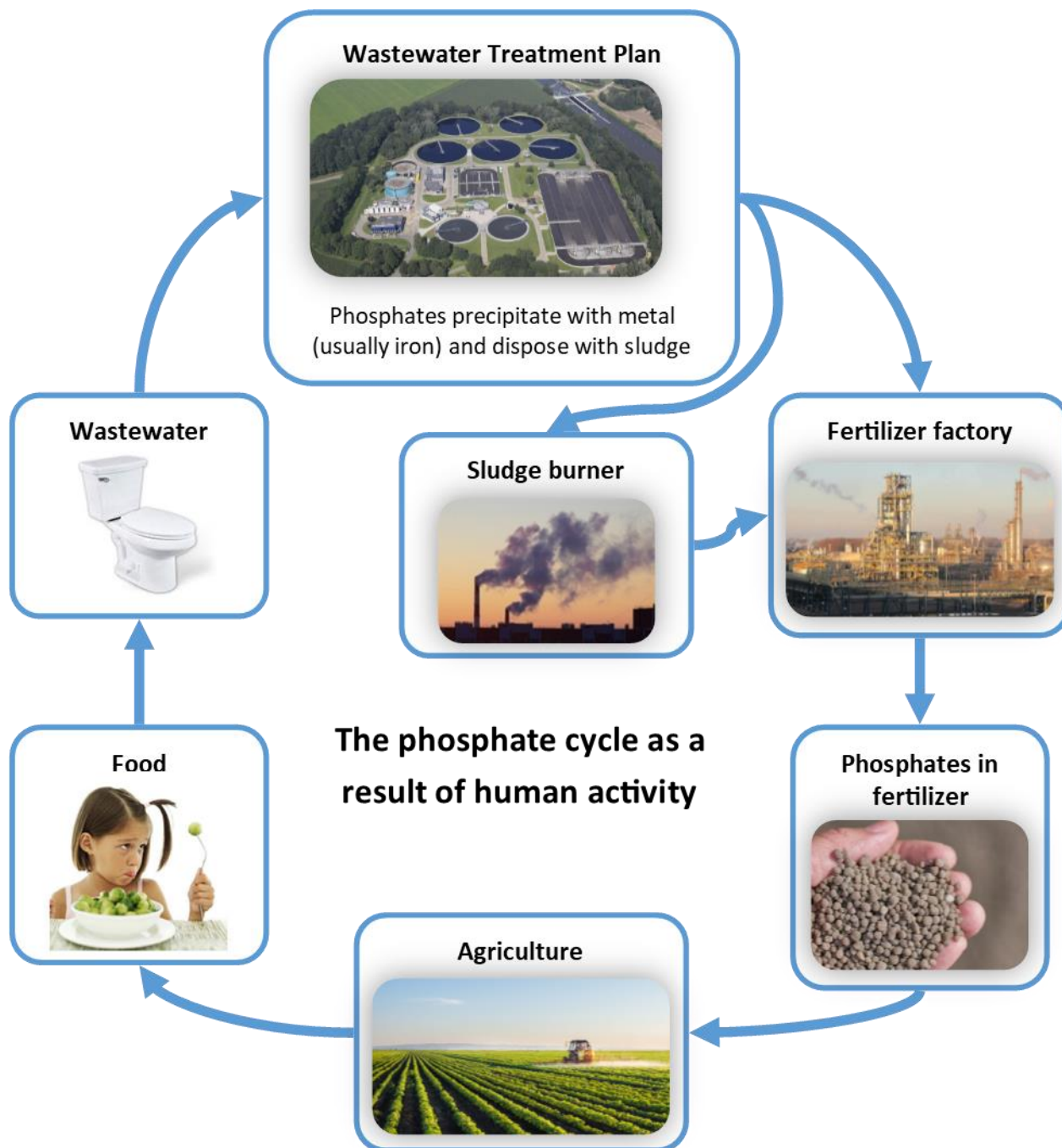


Figura 1, Il ciclo del fosfato come risultato dell'attività umana

## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

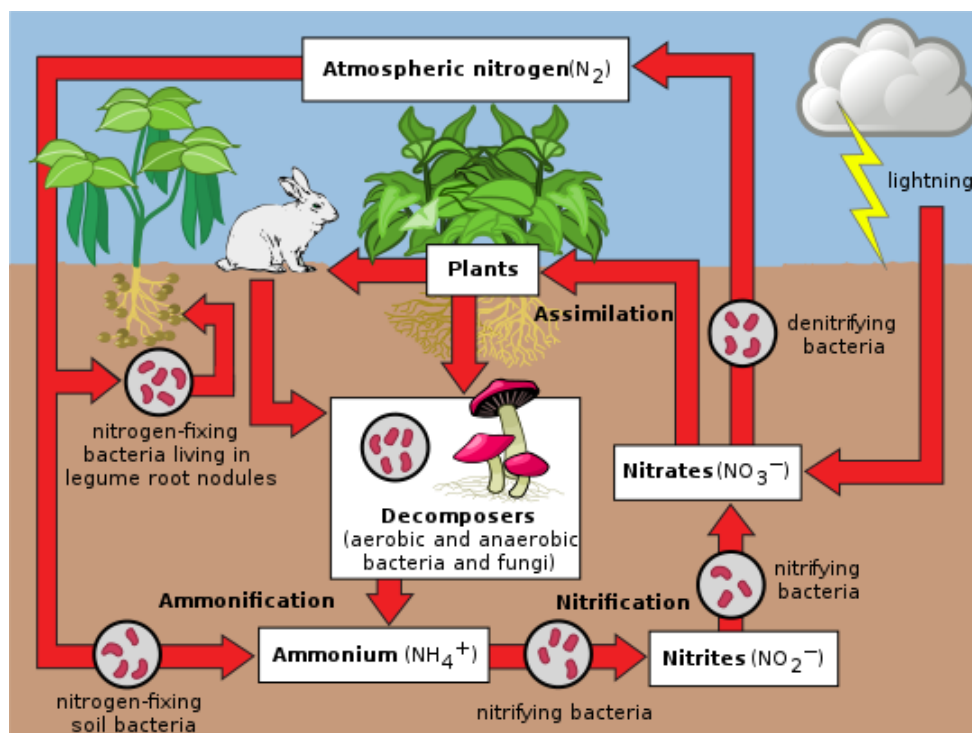


Figura 2, Il ciclo dell'azoto.

Nel ciclo dell'azoto si possono distinguere tre processi:

1. Ammonificazione: la conversione dell'azoto organico in ammonio
2. Nitrificazione: la conversione dell'azoto in azoto sotto forma di nitrato
3. Denitrificazione: la conversione dell'azoto in forma di nitrato di azoto

Nei Paesi Bassi l'azoto sotto forma di urea finisce nell'urina umana 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 passaggi (Figura 3). L'azoto prodotto può essere scaricato nell'ambiente senza problemi, dove diventa nuovamente parte del ciclo dell'azoto.

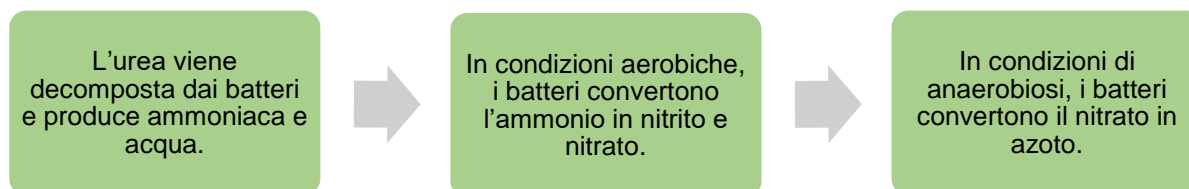


Figura 3, L'azoto nel processo di trattamento delle acque reflue.

L'azoto è un elemento essenziale nella produzione dei fertilizzanti. Dall'aria, viene convertito in nitrato, un componente del fertilizzante. 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

## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

azoto attraverso nitrati e che l'industria dei fertilizzanti la riconverte in azoto in forma di nitrato (Figure 4.).

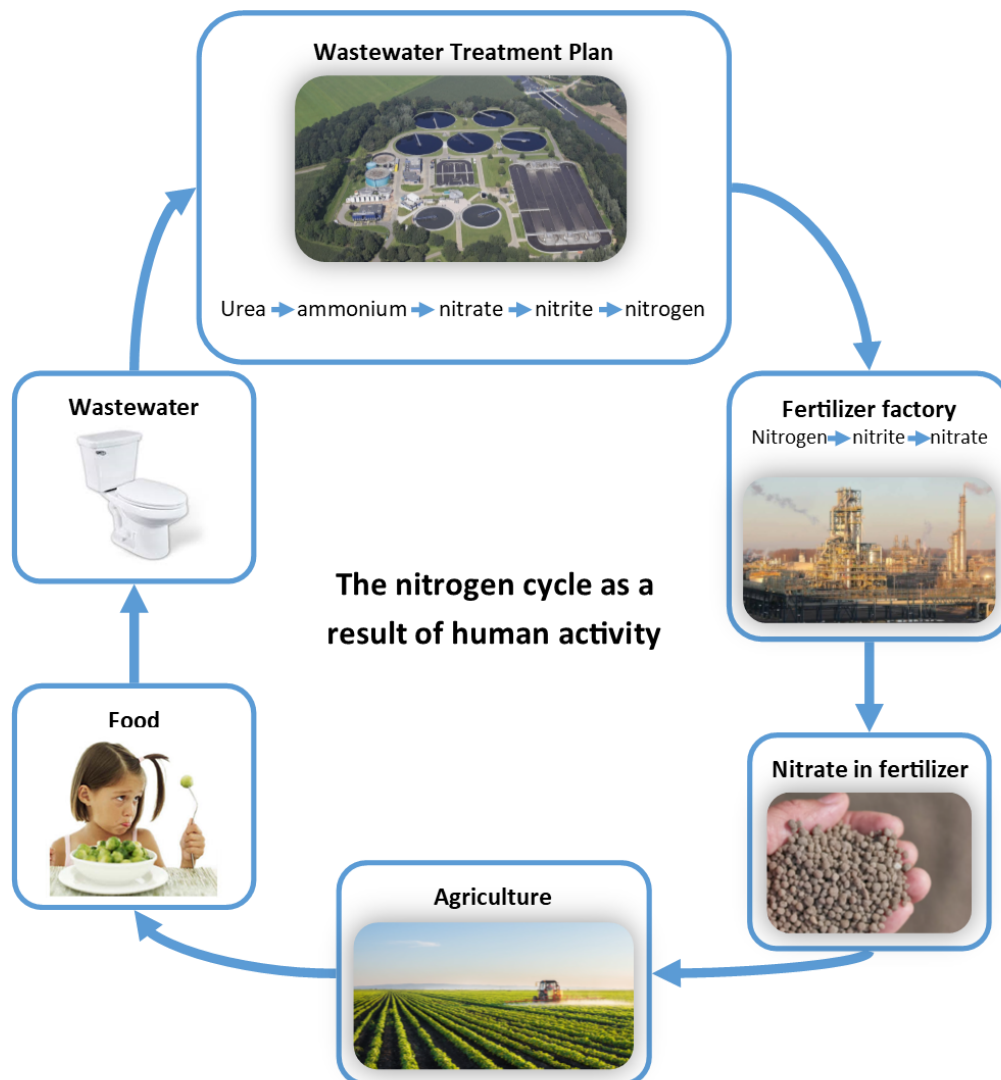


Figura 4, Il ciclo dell'azoto come risultato dell'attività umana.

## La Struvite

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

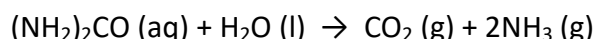
- Risparmia energia, mentre il fosfato e l'azoto non devono essere rimossi dall'urina
- Mantiene il fosforo nel ciclo
- Per conservare un prodotto prezioso (fertilizzante)

## Scheda dello Studente

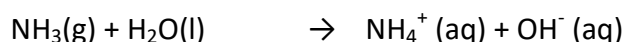
## Struvite dall'urina

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

Per prima cosa, l'enzima ureasi viene aggiunto all'urina. L'ureasi provoca la conversione dell'urea in ammoniaca.

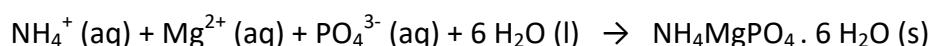


L'ammoniaca reagisce con l'acqua per formare l'ammonio:



Il risultato è un aumento del pH.

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



Da questa struvite risultante può essere determinata la concentrazione di fosfato con una colorimetria. Inoltre, è possibile verificare se la struvite ha un effetto positivo sulla crescita delle piante.

## Domande

1. Perché è importante il recupero di azoto e fosfato dalle acque reflue?
2. Quale fase del processo di trattamento delle acque reflue non è logica se osservi il ciclo dell'azoto e del fosforo nelle Figure 1 e 4?
3. Riesci a pensare a diversi vantaggi nel produrre la struvite direttamente dall'urina?
4. Dove produrresti la struvite dall'urina? Pensa in grande: come potrebbe essere implementato questo metodo di recupero delle risorse nei Paesi Bassi e all'estero?

## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

### Modulo 2: Sintesi della struvite

La struvite è un minerale composto da ammonio, fosfato e magnesio. Risulta essere un buon fertilizzante. La struvite può essere prodotta facilmente direttamente dall'urina. In questo modulo, sintetizzerai la tua stessa struvite.

composto	formula	massa molare 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

### Occorrente

- 200 ml di urina del mattino o urina sintetica (vedi tabella 1)
- bicchiere con coperchio (per l'urina)
- 2 bicchieri (250 mL)
- bacchetta per mescolare
- cucchiaino
- cartina Tornasole o pH-metro
- fagioli di soia
- macinacaffè
- parafilm
- cloruro di magnesio
- matraccio sottovuoto con imbuto
- filtro (tondo)
- pompa idraulica
- frigorifero

### Procedura di Laboratorio

Decidi prima se vuoi usare l'urina del mattino o se vuoi creare l'urina sintetica.

#### Metodo:

1. Versare 200 ml di urina nel bicchiere. Prendere nota del colore e dell'odore.



## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

2. Determinare il pH dell'urina.
3. Macinare i fagioli nel macinacaffè.
4. Aggiungere due cucchiaini di farina di soia e mescolare bene.
5. Coprire il beaker con il parafilm e metterla nel frigorifero per 1.5 ore.
6. Annotare l'odore della miscela.
7. Determinare il pH della miscela.
8. Il valore del pH deve essere 9 o maggiore. Se questo non è il caso, la miscela deve riposare ancora un po' di tempo nel frigorifero. Potrà essere usata solo quando il valore del pH risulterà almeno 9. .
9. Quando  $\text{pH} > 9$ : Filtrare la miscela su un filtro con l'ausilio di una pompa idraulica. Assicurandosi che ci sia meno farina di soia possibile nell'imbuto.
10. Trasferire il filtrato in un bicchiere e poi aggiungere due cucchiaini di cloruro di magnesio al filtrato e mescolare bene. Dopo alcuni minuti, apparirà un precipitato bianco. Questa precipitazione è la struvite. Serviranno alcune ore perché si formi tutta la struvite.
11. Filtrare la sospensione ottenuta con dell'acqua su un filtro ad aspirazione.
12. Lasciare asciugare il filtrato all'aria. Non riscaldare per accelerare il processo di essiccazione.

## Domande e calcoli

La struvite è un sale doppio: consiste in due tipi di ioni positivi e un tipo di ione negativo. La molecola della struvite include anche sei molecole d'acqua.

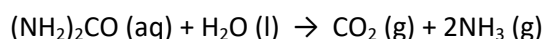
**5. Scrivi le formule degli ioni di cui è composta la struvite.**

**6. Fornisci la formula della struvite.**

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 casa) o facendo precipitare la struvite negli impianti di trattamento delle acque reflue.

**7. Se fossi coinvolto in questo progetto, quali di queste due modalità di produzione della Struvite, attraverso la raccolta separate dell'urina o facendo precipitare la struvite in un impianto di trattamento delle acque reflue, sceglieresti e perché?**

La procedura di laboratorio descrive come può essere prodotta la struvite dall'urina. Per prima cosa, l'ureasi viene aggiunta all'urina. L'idrolisi dell'urea avviene secondo la seguente equazione:



**8. Qual è il ruolo dell'ureasi in questa reazione e come si chiama questo tipo di materiale?**

Il pH della soluzione aumenta nella fase dell'idrolisi.

**9. Scrivi la reazione che determina il valore del pH.**

## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

Puoi calcolare quanto cloruro di magnesio devi aggiungere all'urina per far precipitare tutto il fosfato disponibile sotto forma di struvite. Per fare questo hai bisogno delle seguenti informazioni elencate in Binas (Tabella 85B).

- Puoi riempire 1.0 g.ml<sup>-1</sup> per la densità dell'urina;
- Dopo l'idrolisi, l'ammonio è presente in eccesso.

**10. Calcola la quantità di cloruro di magnesio che si dovrebbe aggiungere.**

Se si aggiunge il cloruro di magnesio all'urina, la miscela può diventare effervescente.

**11. Dai una possibile spiegazione del fenomeno.**

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



## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

### Modulo 3: Determinazione colorimetrica dei fosfati

La Colorimetria è un metodo di determinazione che sfrutta la capacità di assorbimento della luce di una soluzione colorata. Più è alta la concentrazione di una sostanza colorata in una soluzione, maggiore è la quantità di luce che questa soluzione assorbe. In altre parole, il grado di assorbimento di luce è una misura della quantità di sostanza.

Poiché la struvite è disciolta in acqua, non c'è alcuna soluzione colorata. Il fosfato, comunque, può essere reso visibile facendogli formare un complesso che poi diventa blu usando un kit di misurazione del fosfato.

Il colorimetro misura il grado di assorbimento di luce in Assorbenza (E). Per tradurre l'assorbenza in una concentrazione specifica, viene usata come riferimento una curva di calibrazione. Se non c'è un colorimetro a scuola, puoi usare lo spettrofotometro in questo kit di strumenti. Con questo misurerai la quantità di luce espressa in lux che passerà attraverso la cuvetta.

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. Studia la figura 5 per comprendere il principio di base di una curva di calibrazione.

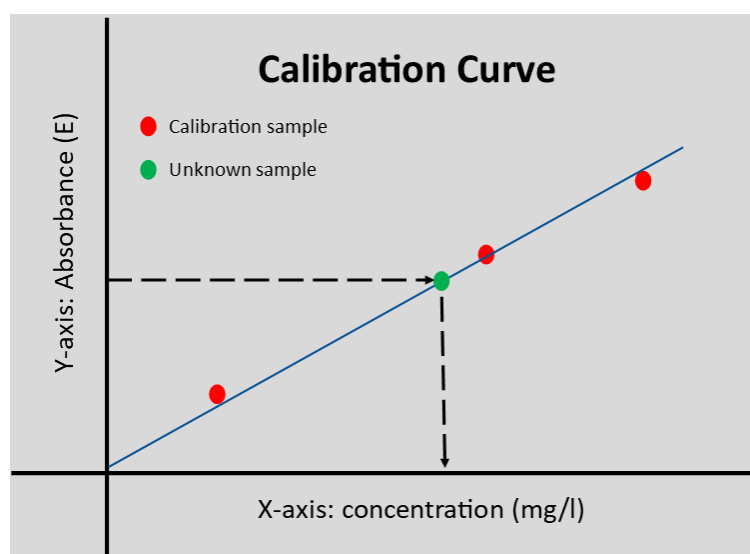


Figura 5, principio di una curva di calibrazione.

## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

### Occorrente



#### Lista dei materiali/strumenti

- Contenitori di vetro (beute/beakers 20 mL – 500 mL)
- Agitatori magnetici
- Bacchette per mescolare
- Bilancia (0.01 g significativi)
- Cilindro graduato (10-100 mL)
- Cucchiaini
- Kit per misurare il fosfato
- Spettrofotometro
- Cuvetta in plastica
- Campioni dai Moduli 2 e 3



### Ulteriori note sulla sicurezza

Indossa un camice da laboratorio e occhiali protettivi. Quando lavori con il kit per misurare il fosforo, indossa i guanti.

Procedura di smaltimento dei rifiuti: misura il pH delle soluzioni prima di smaltirle. Smaltiscili in modo appropriato. I cucchiaini e ecc. possono essere puliti nel lavandino.

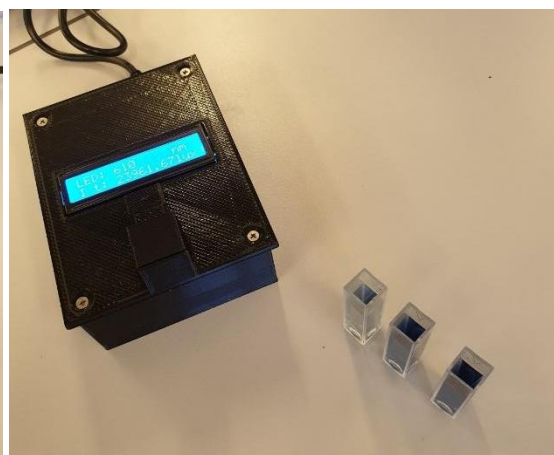
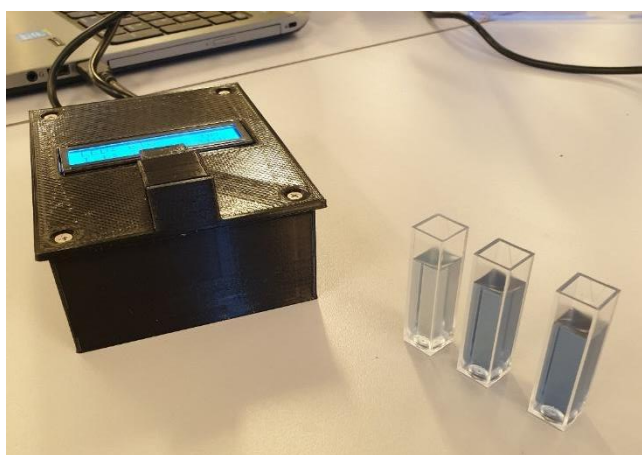
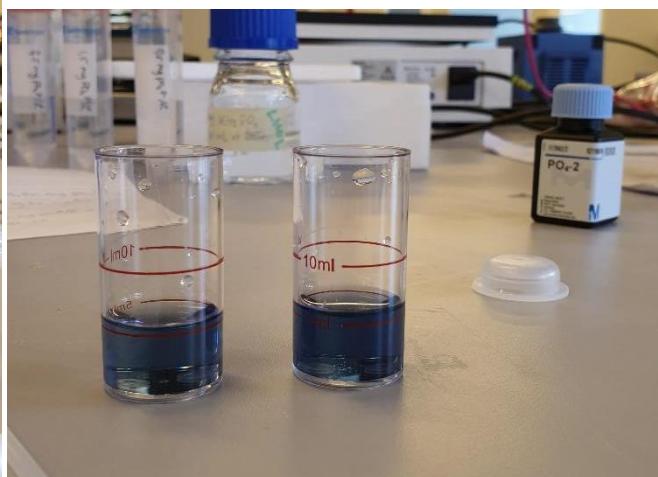
### Procedura:

1. *Preparare innanzitutto una linea di calibrazione: Preparare 4/5 soluzioni con diverse concentrazioni di  $PO_4^{3-}$  che varino tra i 0-5 mg di  $PO_4^{3-}$  /L (questo è l'intervallo di concentrazione che il kit di misurazione del fosfato può misurare).*
2. *Usare il kit di misurazione del fosfato per quindi colorare le diverse concentrazioni. Leggere e seguire le istruzioni del kit: Aggiungere 10 mL del campione nella fiala di plastica inclusa. Aggiungere 5 gocce del barattolo 1 (indossando i guanti!), poi aggiungere 1 cucchiaino (compreso nel tappo) del barattolo 2 e mescolare finché non si sarà dissolto. Vedrai che la soluzione diventerà blu. Maggiore sarà la concentrazione di fosfato, più blu diventerà la soluzione.*
3. *Misurare la quantità di luce assorbita dai diversi campioni usando uno spettrofotometro e le cuvette: Connettere lo spettrofotometro ad un computer. Aggiungere il campione colorato (o nel caso del vuoto quello trasparente) in una cuvetta di plastica e mettere la cuvetta nello spettrometro. Leggere la quantità di lux. Dopo aver misurato tutti i campioni con le concentrazioni differenti di fosfato, si può fare una linea di calibrazione.*

## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

4. Adesso misurare la quantità di lux passante attraverso il campione per il campione di struvite. Determinare con l'ausilio della curva di calibrazione la concentrazione non nota.



## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

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

In questo modulo progetterai un esperimento per testare la tua struvite come fertilizzante per le piante di pisello. La pianta di pisello, *Lathyrus Odoratus*, è una pianta con una crescita veloce quindi puoi osservare propriamente qualsiasi cambiamento nel tasso di crescita.

Quando si utilizzano i semi, le piante devono prima germogliare. Solo quando appaiono le foglie, ysi può iniziare a concimare. Il tipo di esperimento che vuoi progettare dipende da te. Cosa vuoi studiare e perché?

Gli esperimenti sono fatti per studiare se c'è una casuale relazione tra una variabile e un effetto. In un disegno sperimentale si crea una certa procedura di laboratorio per verificare un'ipotesi



modificando variabili differenti e misurando l'effetto.

Ci sono diverse fasi nella progettazione di un esperimento:

1. Quali variabili ci sono e cosa influenzano? In questo modulo puoi riflettere su:
  - Differenti tipi di urine
  - Diversi metodi per sintetizzare l'urina
  - Diversi modi per usare la struvite
  - Differenti condizioni di crescita che interessano le piante di pisello:
  - La resa e la composizione della struvite
  - La crescita delle piante di pisello
2. Fai un'ipotesi. Un'ipotesi deve essere specifica e verificabile. Un'ipotesi potrebbe essere:
  - La struvite ricavata dall'urina di mucca è un fertilizzante più potente della struvite prodotta dall'urina umana.
3. Progetta la procedura di laboratorio sperimentale con le variabili che vuoi verificare. Assicurati che non ci siano altre variabili che influenzino i tuoi risultati. Pertanto, è necessario pensare alle condizioni preliminari del proprio progetto. Le condizioni preliminare potrebbero essere:
  - Tutte le piante ricevono la stessa quantità di acqua e luce
  - Il terreno usato per le piante di pisello non deve contenere alcun nutriente
4. Progetta i campioni e i controlli. Quanti campioni si devono verificare per ottenere un risultato rilevante? Gli esperimenti hanno anche bisogno un controllo positivo e negativo; un controllo positivo è un controllo dal quale si sa che il risultato dovrà essere positivo, e un controllo negativo è un controllo dal quale si sa che il risultato dovrà essere negativo. Questi controlli forniscono anche un riferimento per interpretare i propri dati. Ecco i controlli che ci potrebbero essere:
  - Un fertilizzante commerciale come controllo positivo
  - Nessun fertilizzante come controllo negativo
5. Crea un piano per misurare i risultati. Come verificherai gli esiti dei risultati per testare le tue ipotesi? "Misurare la crescita" come un risultato per quanto un fertilizzante sia potente, ad esempio, non è molto specifico. Come misurerai la crescita, e per quanto tempo? Una misurazione specifica sarebbe:
  - Misurare l'altezza (cm) della pianta di piselli ogni 24 ore per una settimana, iniziando 3 giorni dopo la germinazione.

## Scheda dello Studente

## Struvite dall'urina

### Occorrente

Ora tocca a te scrivere questo capitolo.

### Procedura di Laboratorio

Ora tocca a te scrivere questo capitolo.

### Domande

13. Cosa faresti se i tuoi controlli producessero risultati inaspettati?  
Ad esempio, se la pianta di controllo negativa crescesse meglio o se la pianta di controllo positiva morisse?
14. Quali precondizioni sono importanti nel tuo setup sperimentale? Potrebbero fallire e quale sarebbe il risultato?
15. Come misurerai l'esito del tuo esperimento? Cosa faresti con osservazioni inaspettate che non fanno parte delle tue misurazioni? Stai misurando l'altezza di una pianta per calcolare la crescita, ad esempio, ma osservi anche che ci sono delle foglie bianche o nessun fiore, mentre le piante più piccole sono verdi e in fiore.