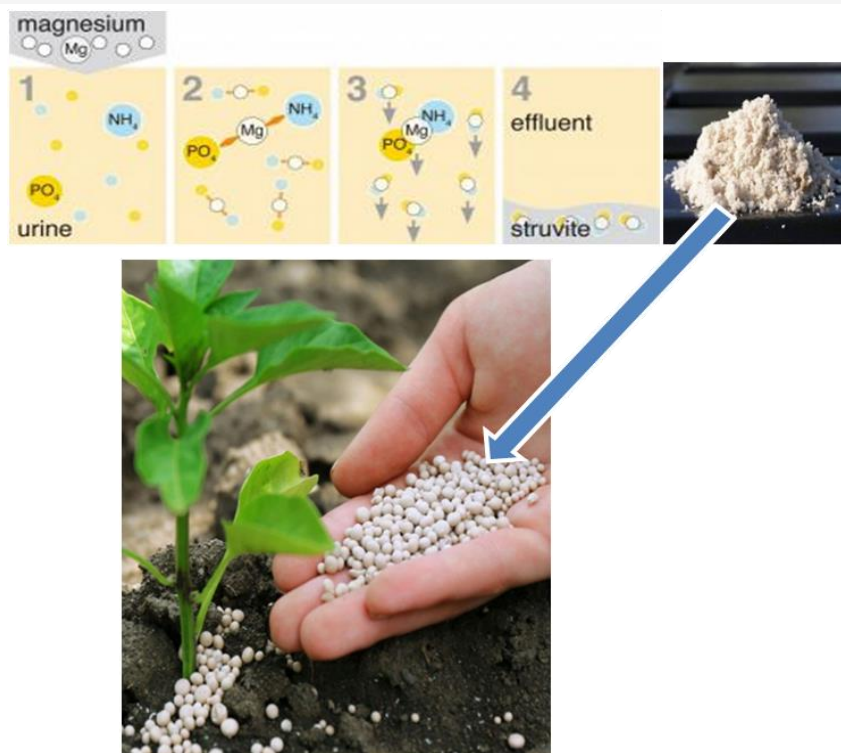


## Carta dell'Insegnante

# Recupero del fosforo dalle acque reflue



## Indice

Introduzione .....	2
Informazioni generali .....	2
Key Competence European Framework.....	4
Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite.....	5
Fondamenti – Principi Teorici .....	6
Procedura di laboratorio.....	7
Percorso didattico .....	7
Valutazione.....	8
Bibliografia .....	9

## Carta dell'Insegnante

### Introduzione

---

L'urina, un prodotto dell'escrezione umana, è una componente delle acque reflue urbane. L'urina è una delle fonti più ricche e accessibili di **fosforo** e **azoto** per la produzione di **struvite**. Il minerale può essere ottenuto da una reazione di precipitazione a pH alcalino, in presenza di **magnesio**.

La presente attività di laboratorio è rivolta a studenti di età compresa tra i **15** e i **19** anni. L'attività si struttura in una fase di apprendimento **teorico** sotto la supervisione dell'insegnante e una fase di formazione **pratica**.

Lo scopo è quello di dimostrare il **recupero del P** in forma di **struvite**, estratta dalle acque reflue utilizzando materiali molto comuni.

Con questa esperienza gli studenti acquisiranno la conoscenza del **recupero del P** dalle acque di scarico, al fine di ridurre lo sfruttamento delle risorse naturali. Gli studenti saranno inoltre stimolati ad acquisire, attraverso il laboratorio, come le acque di scarico siano una risorsa importante di nutrienti in **agricoltura** e per la tutela dell'**ambiente**.

Per concludere, attraverso l'attività di laboratorio gli studenti potranno sviluppare le capacità necessarie per utilizzare le apparecchiature scientifiche in modo corretto e sicuro, effettuare rilevazioni ed eseguire procedure scientifiche ben definite. Inoltre, l'esperienza di laboratorio promuoverà la capacità dello studente a collaborare con gli altri in modo efficace nello svolgimento di attività complesse, nella partecipazione a progetti di lavoro, ad assumere ruoli diversi in momenti diversi, e a dare il proprio contributo alla realizzazione di idee.

Link with <https://ec.europa.eu/easme/en/horizon-2020-societal-challenge-climate-action-environment-resource-efficiency-and-raw-materials>

**Parole chiave:** Fosforo; acque reflue, urine, struvite, pH; fertilizzanti; economia circolare

### Informazioni generali

---

Il **fosforo (P)** è un macronutriente essenziale per la crescita di tutti gli organismi viventi. Il progressivo esaurimento delle risorse naturali si basa su un continuo sfruttamento temporale di queste stesse risorse per uso antropico. Le principali riserve minerarie di **fosforo** si trovano in Cina, Marocco, Stati Uniti e Russia (U.S. Geological Survey, 2017). Le **fosforiti** da cui si estrae il P, sono

## Carta dell'Insegnante

rispettivamente rocce sedimentarie (80-90% del mondo produttivo) e rocce magmatiche (10-20% del mondo produttivo)

L'estrazione della **roccia fosfatica** è in costante crescita e, su scala globale, a partire dal 2017, l'estrazione della roccia fosfatica avrebbe dovuto essere di 35,7 kg/persona. Il P estratto è principalmente utilizzato per la produzione di fertilizzanti (Stewart et al., 2005) data la crescente richiesta mondiale di alimenti. La produzione agricola attuale, tuttavia dipende dal fosforo derivato dalla **roccia fosfatica**, che rappresenta una risorsa non rinnovabile. Le attuali riserve mondiali di P si esauriranno tra 50-100 anni, mentre la richiesta di P è prevista in forte crescita. Il picco mondiale di produzione del P è intorno al 2030. Tale effetto determinerà un costo più elevato dei fertilizzanti e al tempo stesso le rocce fosfatice si esauriranno (Cordell et al., 2009).

Il **fosforo** può quindi essere recuperato da risorse che possiamo chiamare "secondarie", nel senso che è recuperato da materiali di scarto a valle dei processi di produzione. Il recupero del fosforo è una tecnologia di riutilizzo pratico che aiuta anche a prevenire il fenomeno dell'eutrofizzazione (Centro comune di ricerca, 2018).

Un uso sostenibile del **fosforo** comporta diverse azioni volti a rafforzare la tutela degli ecosistemi naturali. Una parte consistente del recupero potenziale del P deriva dallo smaltimento dei processi di depurazione. La Comunità Europea considera il riutilizzo dei residui di trattamento delle acque reflue come "*best practice*" per il recuperare i fosfati da destinare all'agricoltura.

**Legislazione:** La normativa UE sui fertilizzanti riconosce come fertilizzanti solo i prodotti fosfatici di origine minerale primaria, mentre i residui dei prodotti fosfatici recuperati non possono ancora essere etichettati come fertilizzanti (Unione Europea, 2003). La legislazione è attualmente in fase di revisione con l'obiettivo di includere i **residui del P riciclato**, ad esempio, il fosfato di magnesio e ammonio (MAP), denominato anche **struvite** (Commissione Europea, 2016).

**Agricoltura:** Il P recuperato in forma di **struvite** è particolarmente biodisponibile (circa il 94%) per le colture, e pertanto può essere impiegato direttamente come fertilizzante a lenta cessione.

**Ambiente:** La **struvite** è una sostanza ecologicamente compatibile, in quanto riduce il processo di eutrofizzazione e le emissioni di gas serra associate alla produzione e distribuzione dei fertilizzanti minerali fosfatici.

Gli insegnanti possono trovare tutte le informazioni di base aggiuntive per il toolkit nelle Risorse per gli insegnanti nella **Appendice A**.

## Carta dell'Insegnante

# Key Competence European Framework














<b>Competenze letterarie</b>
S1. Capacità di comprendere e interpretare concetti, emozioni, fatti o opinioni in forma orale o scritta.
S2. Capacità di esprimere concetti, emozioni, fatti o opinioni in forma orale o scritta.
S4. Capacità di interagire in modo appropriato e creativo in ogni situazione.
<b>Competenze multilingua</b>
S1. Capacità di comprendere e interpretare concetti, emozioni, fatti o opinioni in forma orale o scritta.
S2. Capacità di esprimere concetti emozioni, fatti o opinioni in forma orale e scritta.
S4. Capacità di interagire in modo appropriato e creativo in ogni situazione.
S5. Conoscenza di vocabolario, grammatica e linguaggio.
S7. Capacità di usare linguaggio tecnico in modo appropriato per l'ambito di lavoro.
<b>Competenze matematiche e in scienze, tecnologia e ingegneria</b>
S1. Capacità di usare pensiero costruito per risolvere un problema in qualsiasi situazione.
S4. Prontezza nell'affrontare nuovi problemi da nuove direzioni.
S5. Capacità di usare ragionamento quantitativo.
S6. Capacità di estrarre informazioni qualitative da dati quantitativi.
S8. Capacità di progettare studi sperimentali e osservazionali e di analizzare dati derivati da essi.
S9. Capacità di formulare problemi complessi di ottimizzazione e presa di decisioni, e di interpretare le soluzioni nei contesti originali dei problemi.
<b>Competenze digitali</b>
S1. Uso critico di tecnologie informatiche per lavorare.
S4. Capacità di usare e maneggiare strumenti tecnologici e macchinari.
<b>Apprendimento sociale, personale e competenza nell'apprendere ad apprendere</b>
S1. Capacità di perseguire e persistere in diversi tipi di apprendimento.

## Carta dell'Insegnante




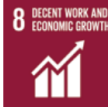




S3. Capacità di ottenere, elaborare e assimilare nuove conoscenze, abilità e qualifiche richieste per obiettivi di carriera.
<b>Competenze civiche</b>
S1. Capacità di interagire in modo funzionale con altre persone.
S3. Capacità di lavorare in modo efficace e di collaborare con altri membri del team.
<b>Competenze imprenditoriali</b>
S2. Conoscenze di base della cultura contemporanea.
<b>Consapevolezza culturale e competenze espressive</b>
S1. Capacità di trasformare le idee in azione.
S2. Creatività/innovazione.
S3. Capacità di pianificare e gestire incarichi.
S4. Indipendenza, motivazione e determinazione.

## Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite

Gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile sono lo schema per raggiungere un futuro migliore e più sostenibile per tutti. Essi affrontano le sfide globali alle quali ci troviamo davanti, incluse quelle legate a povertà, disuguaglianza, cambiamenti climatici, degradazione ambientale, pace e giustizia.

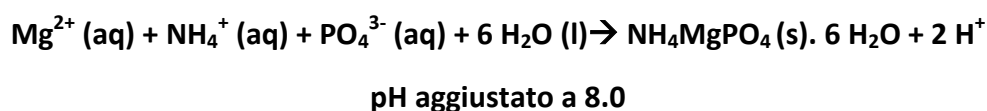
		Enable access to basic services		Equal access to global expertise
		Safe medical devices		Sustainable urbanization
		Access to education		Responsible consumption and production
		Less hardship, more opportunities		Strengthen resilience, reduce disaster impact
		Safe and affordable water		Reduce marine pollution

## Carta dell'Insegnante

	<b>7</b> AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY Energy – the golden thread			<b>15</b> LIFE ON LAND Sustainable use of terrestrial ecosystems
	<b>8</b> DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH Safety of workers and economic growth			<b>16</b> PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS Promote peaceful and inclusive societies
	<b>9</b> INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE Resilient infrastructure and sustainable industrialization			<b>17</b> PARTNERSHIPS FOR THE GOALS Better access to technology and innovation

## Fondamenti – Principi Teorici

Le urine sono componenti delle acque reflue urbane caratterizzate da un alto contenuto di **fosforo** (P) e di **azoto** (N) in forma ionica ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NH}_4^+$ ). Tali elementi derivano dalla decomposizione delle macromolecole biologiche (proteine, acidi nucleici, fosfolipidi) di origine diversa. In condizioni chimiche appropriate, P e N reagiscono per formare un minerale chiamato **struvite**. La struvite si forma a pH alcalino e la sua precipitazione è aiutata dalla presenza di magnesio (Mg) (vedi reazione che segue):



La struvite si forma quando  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  sono presenti in quantità **equimolari** (1:1:1).

In questo laboratorio, gli insegnanti coinvolti hanno il compito di assistere gli alunni nella preparazione della struvite partendo da una soluzione di acque reflue sintetiche, considerando anche l'effetto del pH e la concentrazione dei reagenti utilizzati.

### (Appendice A)

## Carta dell'Insegnante

# Procedura di laboratorio

---

**Riassunto dell'attività.** Lo scopo di questa esperienza è dimostrare il recupero del P in forma di struvite estratta da acque reflue sintetiche. Sono necessari tre reagenti per promuovere la precipitazione della struvite a pH alcalino: magnesio ( $Mg^{2+}$ ), ammonio ( $NH_4^+$ ) e fosfato ( $PO_4^{3-}$ ). La **struvite** precipita sotto forma di polvere bianca, dopo circa 3 ore. La **struvite** ottenuta può essere impiegata per concimare le piante in giardino o in vaso.

Con questa esperienza gli alunni saranno sensibilizzati a riutilizzare le acque reflue, in modo da ridurre lo sfruttamento delle risorse naturali e, di conseguenza, un considerevole beneficio per l'ambiente. In questo contesto, l'esperienza di laboratorio permette di sviluppare capacità di utilizzo corretto e sicuro delle apparecchiature scientifiche, di osservazione, di misurazione e di esecuzione di procedure scientifiche ben definite. Con l'esperienza di laboratorio, lo studente potrà anche promuovere la sua capacità a cooperare efficacemente con gli altri per svolgere compiti complessi, a partecipare a progetti di lavoro, ad assumere ruoli differenti in momenti diversi e a dare il proprio contributo.

### Modulo 1 – Estrazione della struvite

## Percorso didattico

---

**Fase 2 – 30 minuti:** Gli insegnanti illustrano l'argomento e l'esperienza di laboratorio in PowerPoint o con un video preparato.

**Fase 2 – 60 minuti:** Gli studenti sono divisi in gruppi costituiti possibilmente da 3-4 studenti. Ogni gruppo è responsabile del lavoro assegnato per conseguire lo scopo del gruppo stesso.

**Fase 3 – 15 minuti:** Ciascun gruppo deve condividere con gli altri i risultati raggiunti in ogni fase dell'attività di laboratorio utilizzando i video o i report di laboratorio.



## Carta dell'Insegnante

### Valutazione



1. Scrivere le differenti forme di P presenti nella soluzione

**R:** I seguenti ioni  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  sono presenti nella soluzione.

2. Quali ioni sono implicati nella formazione della struvite?

**R:** Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), e ioni fosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

3. Come mai si forma la struvite durante il processo di trattamento delle acque reflue?

**R:** Le acque reflue contengono un'elevata quantità di ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), ioni fosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ ) e Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) che derivano dalla decomposizione dei microrganismi, delle macromolecole, dei prodotti detergenti e chimici, che interagiscono tra loro e formano un minerale chiamato struvite.

4. Quali sono le differenze tra il fosforo biologico e quello minerale?

**R:** Il fosforo biologico deriva dai residui animali e vegetali, quali l'inositol fosfato, gli acidi nucleici e i fosfolipidi. Con il processo di mineralizzazione favorito dai microrganismi, il fosforo biologico si trasforma in composti minerali come gli ortofosfati. Il fosforo minerale è estratto dalle rocce sedimentarie, chiamate fosforiti.

5. Illustrare gli effetti del pH sulla solubilità del P.

**R:** Le reazioni che riducono la solubilità del P si riscontrano in tutti i range di pH ma possono essere molto pronunciate in condizioni alcaline ( $\text{pH} > 7,3$ ) e acide ( $\text{pH} < 5,5$ ) a seconda anche della presenza di alcuni cationi.

6. Descrivere il significato dell'idrossido di sodio usato durante lo svolgimento dell'esperienza di laboratorio.

**R:** Si utilizza l'idrossido di sodio per modificare il pH della soluzione per raggiungere il valore ideale di pH che favorisce la precipitazione della struvite.

7. In che modo il precipitato (struvite) si presenta dopo l'essiccazione?

**R:** La struvite si presenta come un solido bianco.

8. Per quale motivo il Mg è importante per il recupero del fosforo?

**R:** Il Magnesio è un catione bivalente contenuto nelle acque reflue, e interagisce con gli ioni fosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ ) per la formazione della struvite.



## Carta dell'Insegnante

# Bibliografia

---

- European Commission, 2016. Circular Economy Package: Proposal for a Regulation of the European Parliament of the Council Laying Down Rules on the Making Available on the Market of CE Marked Fertilizing Products and Amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009.
- European Union, 2003. Regulation (EC) No 2003/2003 of the European parliament and of the Council of 13 October 2003 relating to fertilizers. Off. J. Eur. Union L304, 1e194Cordell D. et al. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Global Environmental Change 19, 292-305
- Melia P.M. et al. (2017). Trends in the recovery of phosphorus in bioavailable forms from wastewater. Chemosphere 186, 381-395.
- Stewart W.M., et al. (2005). The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production. Agronomy Journal, 97, 1-6.
- AIAM ([www.aiamitalia.it](http://www.aiamitalia.it))
- Weschool (library.weschool.com)
- Science Learn ([www.sciencelearn.org](http://www.sciencelearn.org))
- Treccani ([www.treccani.it](http://www.treccani.it))
- Khan Academy ([www.khanacademy.org](http://www.khanacademy.org))
- U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January (2017) [https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate\\_rock/mcs-2017-phosp.pdf](https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2017-phosp.pdf).
- Joint Research Centre (European Commission), (2018). Critical raw materials and the circular economy. Background report – Study. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d0c609d2-f4ef-11e7-be11-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search>