

## Appendice 1 – Il fosforo in agricoltura

### Fosforo in agricoltura

Il **fosforo** è un importante elemento per le specie vegetali e animali.

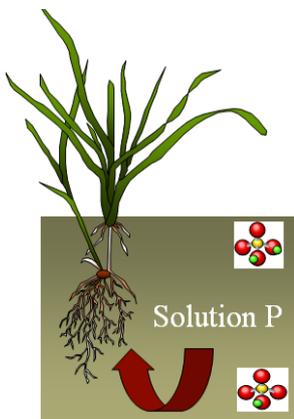
- Costituente essenziale dell'ATP; de lDNA, del RNA e dei fosfolipidi (importanti molecole delle membrane cellulari);

Ruolo importante per:

- Fotosintesi
- Azoto fissazione
- Fioritura, fruttificazione e produzione di semi
- Maturazione e qualità del prodotto

Non tutti il P presente nel suolo è biodisponibile alle piante e, per questo motivo, svolge un ruolo critico in agricoltura. Il valore complessivo di P nel suolo è compreso tra 0,1 e 0,2%: P inorganico (~50 %) e P organico (15-80%). La solubilità P è estremamente ridotta e corrisponde a circa 0,03 mg P/kg.

Nel suolo e nell'acqua, il P esiste in forma solubile quali gli ioni ortofosfati,  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ ,  $\text{HPO}_4^{-2}$  e  $\text{PO}_4^{-3}$ .

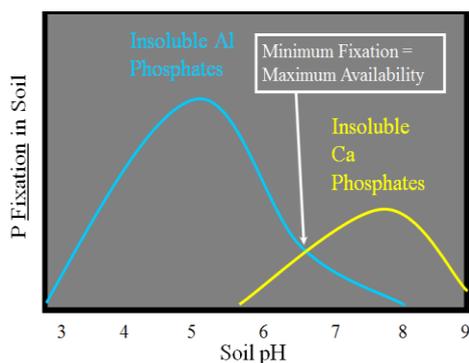


A **pH acido** ( $< 7$ ), è prevalente lo ione ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). La molecola ha 2 atomi di idrogeno (in verde) attaccati a 2 atomi di ossigeno (in rosso). Ulteriori atomi di idrogeno riflettono l'ambiente acido.

A **pH alcalino** ( $> 7$ ), lo ione ortofosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) è il più diffuso. Lo ione presenta 1 atomo di idrogeno (in verde), che riflette l'ambiente alcalino. In un terreno leggermente basico ( $\text{pH} = 7,2$ ), entrambi gli ioni ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) sono presenti in

proporzioni uguali.

Molte proprietà del suolo come ad esempio, l'abbondanza di **Ca, Al e Fe**, il contenuto di **sostanza organica** e il **pH**, influenzano la **solubilità del P** e, di conseguenza, la sua biodisponibilità. Di questi il **pH** è il parametro più critico.

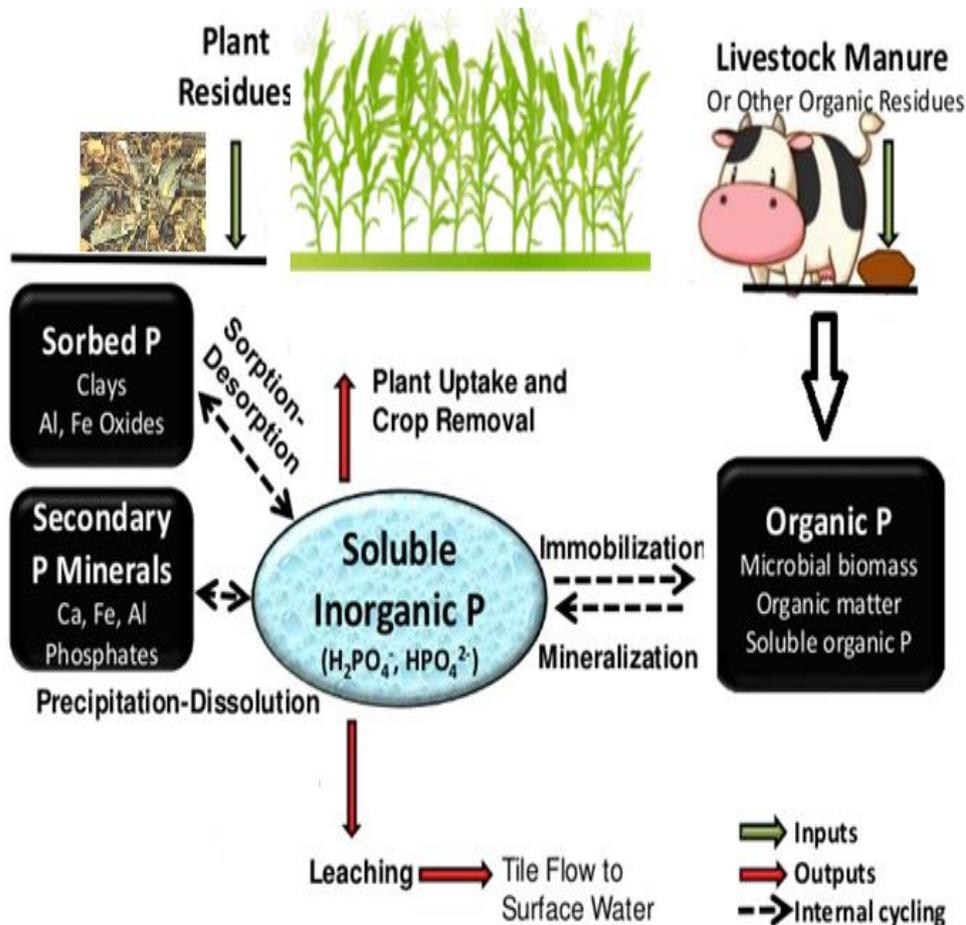


Soil pH is a critical factor

**Figura 1.** Dinamica del P a diversi valori di pH del terreno. P è biodisponibile solo a pH neutro.

## Appendice 1 – Il fosforo in agricoltura

Le reazioni che riducono la solubilità del P si verificano a tutti gli intervalli di pH del suolo, ma possono essere molto pronunciate nei **terreni alcalini** (pH > 7,3) e nei **terreni acidi** (pH < 5,5) (Figura 1). La massima solubilità del fosforo si verifica generalmente in un intervallo di **pH** compreso tra **6,0 e 7,0** (Figura 1).



**Figura 2.** Ciclo del fosforo nell'ecosistema agricolo. Nel terreno ci sono forme P inorganiche e organiche. Solo una frazione limitata di P è solubile e quindi biodisponibile per le piante. La restante parte di P forma precipitati insolubili.

Il **fosforo organico o biologico** (fosfati di inositolo, acidi nucleici e fosfolipidi) proveniente da residui animali e vegetali è mineralizzato dai microrganismi del terreno e trasformato in forme biodisponibili (ortofosfati) (Figura 2).

I microrganismi trasformano il **P inorganico** in **fosfato organico** (immobilizzazione) come ad esempio, i fosfolipidi, gli acidi nucleici e l'ATP (Figura 2). I composti **inorganici di fosfato** nel corso del tempo diventano più cristallini e quindi insolubili.

## Appendice 1 – Il fosforo in agricoltura

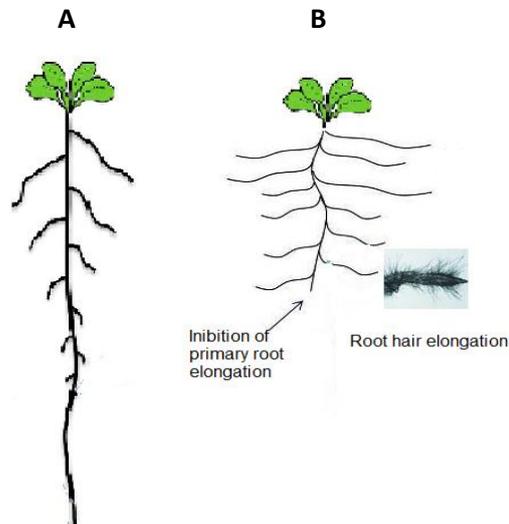
### Dinamica del P nella rizosfera

Le piante hanno sviluppato varie strategie per assimilare i nutrienti dal suolo:

#### 1) Struttura delle radici

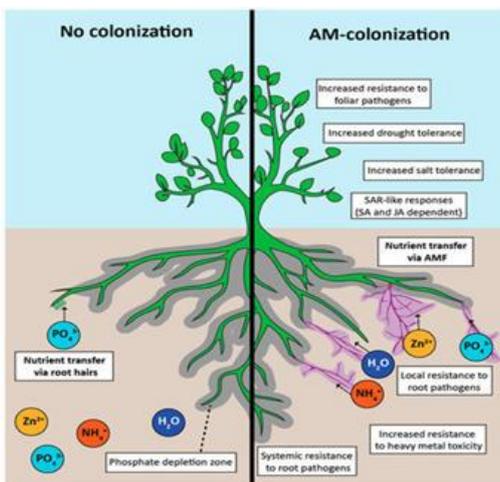
I cambiamenti più comuni riguardano la struttura delle radici (morfologia delle radici, topologia e forme).

La carenza di P ha come effetto principale una notevole alterazione delle radici (Figura 3). In particolare, le piante presentano un'inibizione della crescita della radice principale mentre si osserva la proliferazione delle radici laterali e la crescita e l'aumento della densità dei peli radicali (Figura 3 B).



**Figura 3.** A) Le piante che crescono in presenza di fosforo sono caratterizzate da un normale sviluppo delle radici. B) Le piante cresciute in carenza di P sono caratterizzate da sorprendenti cambiamenti morfologici della radice; vi è principalmente una riduzione della lunghezza della radice primaria, mentre la lunghezza delle radici laterali è aumentata, così come la lunghezza e la densità dei peli radicali.

#### 2) Funghi micorrizici arbuscolari (AMF)



Le piante hanno la possibilità di stabilire associazioni simbiotiche con i funghi. Se il fosforo è disponibile nel terreno, le piante sono in grado di assorbirlo direttamente tramite i trasportatori di fosfato dell'apparato radicale (Figura 4).

Nelle condizioni di mancanza di fosforo, le piante si affidano alle interazioni con i funghi micorrizici per ottenere il fosforo. Questo tipo di simbiosi facilita l'assorbimento di fosforo da parte delle piante dal suolo, aumentando la superficie assorbente della radice.

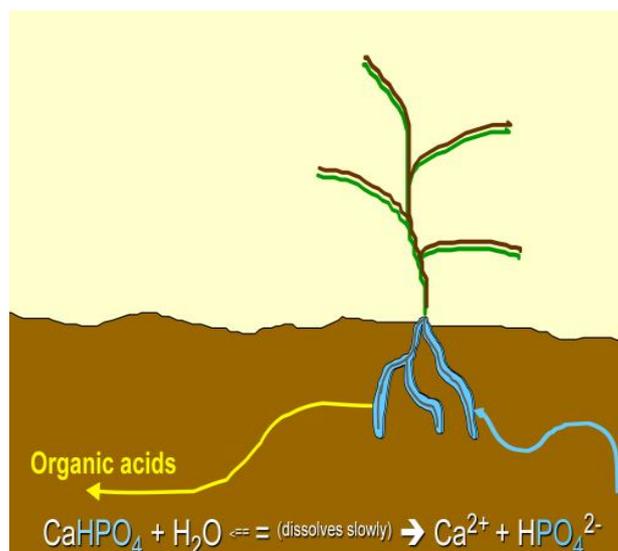
**Figura 4.** Associazioni simbiotiche con organismi fungini sono una strategia per ottenere nutrienti non prontamente disponibili dal suolo.

#### 3) Processi chimici e biologici della rizosfera

## Appendice 1 – Il fosforo in agricoltura

Le radici delle piante possono modificare notevolmente l'ambiente della rizosfera attraverso gli essudati radicali che sono composti organici come il citrato, il malato e l'ossalato (Figura 5).

Il processo di acidificazione provocata dalle radici può diminuire il pH della rizosfera da 2 a 3 unità rispetto al suolo circostante, con il risultato di una sostanziale dissoluzione del P del suolo.



**Figura 5.** Le radici delle piante modificano il pH della rizosfera attraverso la produzione di acidi organici

### Sorgenti di fosforo per le colture

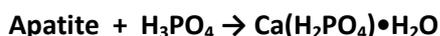
Al giorno d'oggi, il fosforo deriva principalmente dall'estrazione delle rocce fosfatate. La roccia fosfatata si è formata in ambienti marini sulla piattaforma continentale o in depositi ignei.



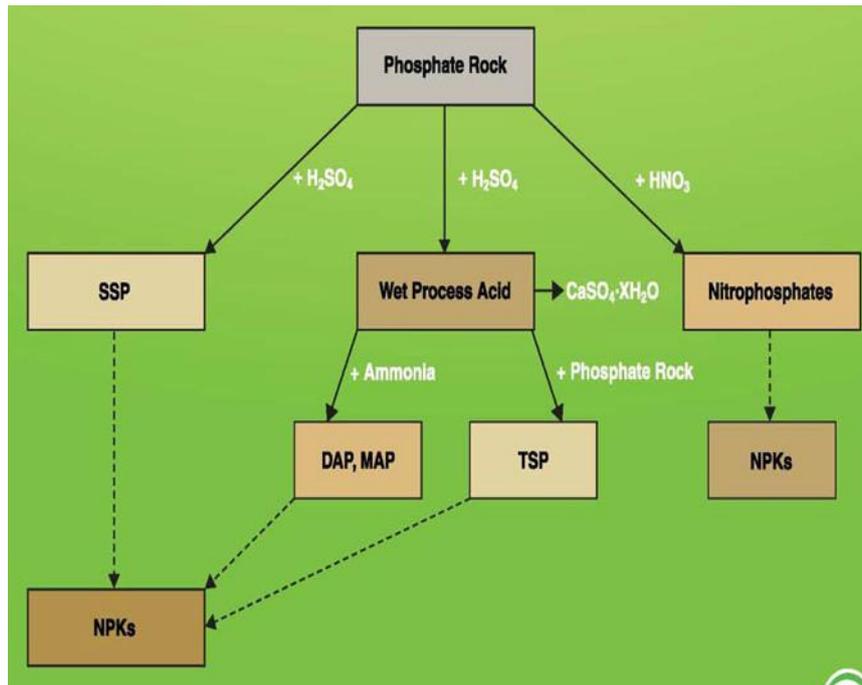
La **roccia** fosfatata viene trasformata in acido fosforico. La maggior parte dei fertilizzanti fosforici è prodotta dalla reazione delle fosforiti con acidi minerali ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ) (Figura 6).

Le principali sorgenti of P nei fertilizzanti sono:

-**Apatite**, ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ), è anche un componente dei denti e delle ossa, è disciolta in acido per rendere solubile il P:

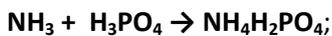


## Appendice 1 – Il fosforo in agricoltura

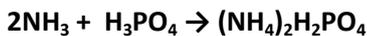


**Figura 6.** Il sistema di produzione dei fertilizzanti fosfatici ha avuto origine dall'estrazione della roccia fosfatica.

-**Ammonio fosfato** è prodotto facendo reagire 1 mole di ammoniaca con 1 mole di acido fosforico:



-**Diammonio fosfato (DAP)** è prodotto facendo reagire 2 mole di ammoniaca con 1 mole di acido fosforico:



Ad ogni modo, il fosforo proveniente dall'estrazione della roccia fosfatica è una risorsa limitata e non rinnovabile. Come conseguenza di ciò, i fertilizzanti fosfatici saranno limitati in futuro.

### Esistono altre risorse di Fosforo?

Gli impianti di depurazione delle **acque reflue** e le **aziende zootecniche** rappresentano le due principali sorgenti di **fosforo**.

Il **fosforo** può essere estratto dalle acque reflue in forma cristallina di magnesio ammonio fosfato (MAP), noto anche come **struvite**.

### Struvite

La **struvite** ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) è un minerale ottenuto da una reazione di precipitazione dell'ammonio, il fosfato e il magnesio in forma di polvere bianca (Figura 7).

## Appendice 1 – Il fosforo in agricoltura

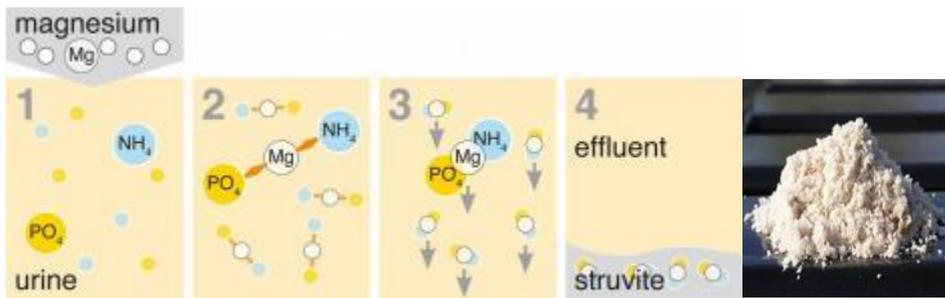


Figura 7. Produzione della struvite dalle acque reflue urbane

La **struvite** apporta i seguenti vantaggi alle colture:

**Biodisponibile:** N, P e Mg nella struvite possono essere facilmente assimilate dalla pianta.

**Rilascio lento:** Grazie alla sua bassa solubilità garantisce un apporto di nutrienti lento ma costante.

**Altamente pura:** i farmaci o le sostanze chimiche che possono essere presenti nelle urine non precipitano con la struvite.

Nella presente attività, gli studenti sono incoraggiati a realizzare un reattore con materiali riciclati per la produzione di struvite da acque reflue sintetiche considerando gli effetti del pH e la concentrazione dei reagenti.

### Reazione



pH modificato a 8.0

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