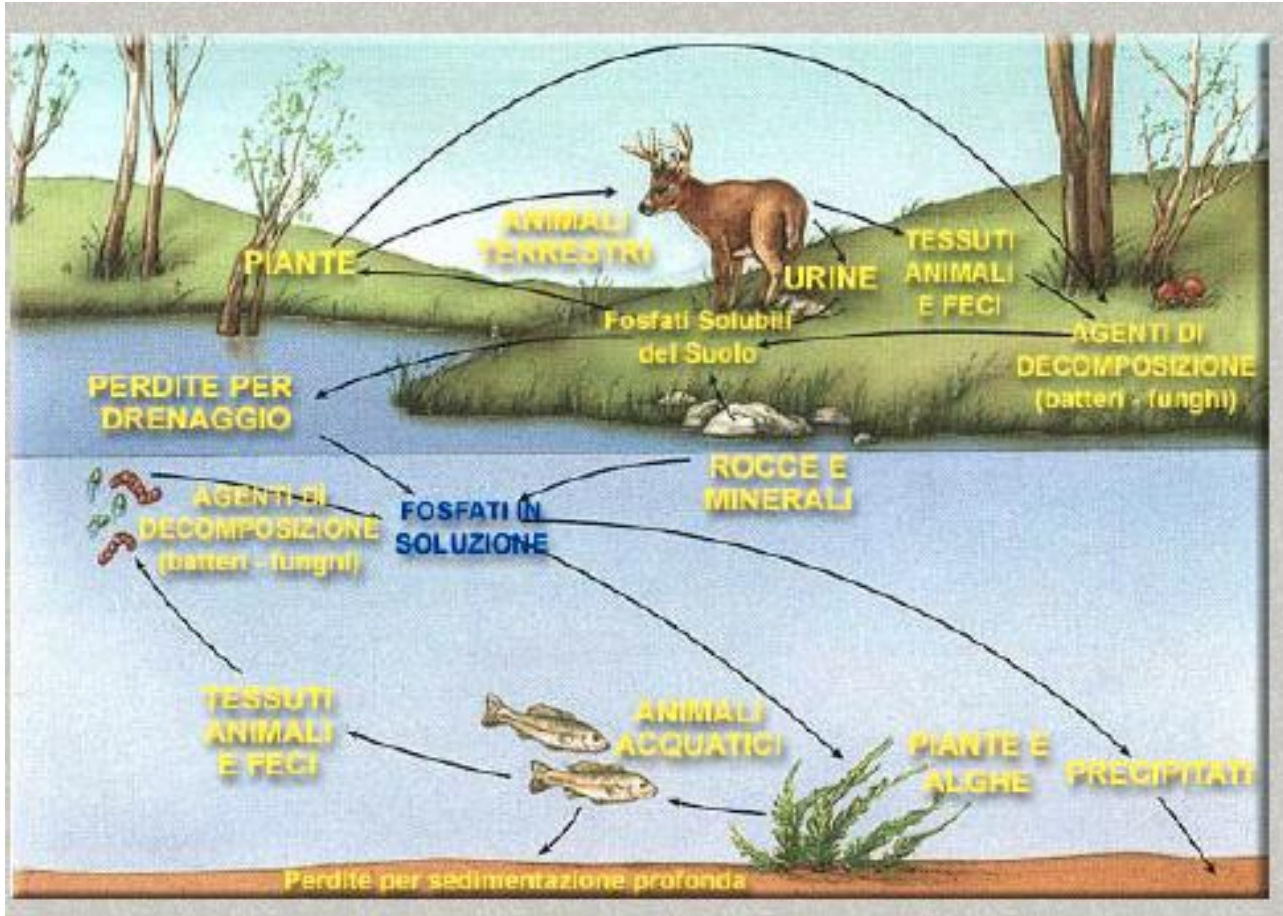


# Il Fosforo



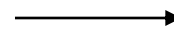
*• Il naturale rifornimento di P nei suoli è basso, come anche la sua disponibilità*

- Input dall'atmosfera e dalle piogge sono trascurabili

- Le perdite sono basse sia perché non forma gas sia per lisciviazione
- Il P è strettamente legato all'attività umana ed animale:

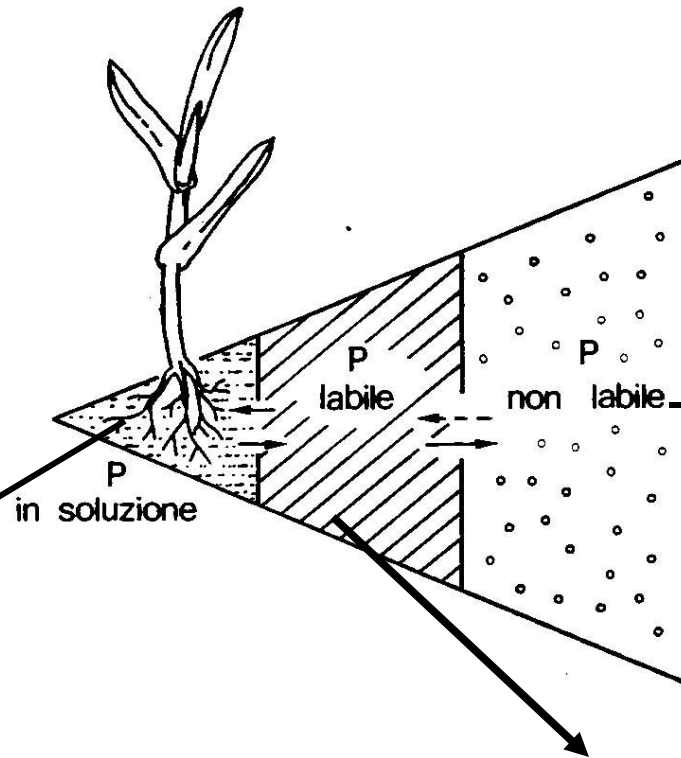
Ossa e denti

Scarti urbani e industriali



*Eutrofizzazione*

Ai fini della nutrizione della pianta i **fosfati** del suolo sono divisi in **3 frazioni** :



### Fosfati solubili

La mineralizzazione della **sostanza organica** è la fonte principale

### Fosfati allo stato solido

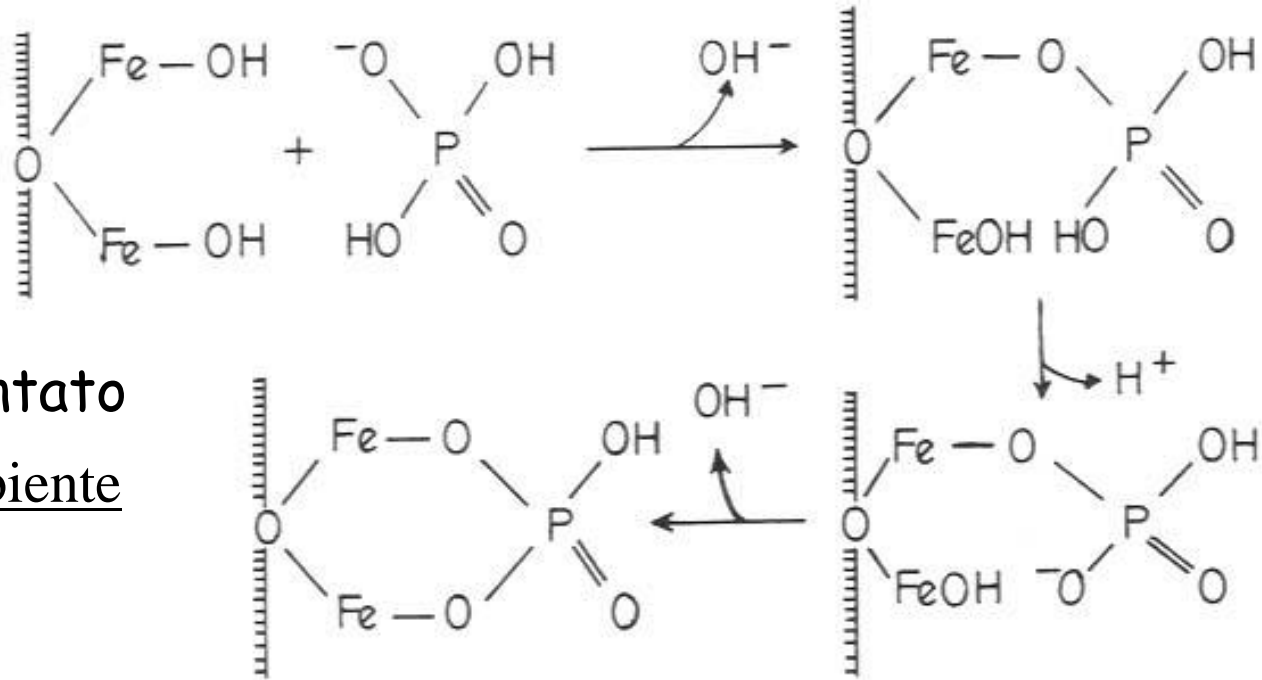
o adsorbiti dai colloidali e in equilibrio con la soluzione del suolo

### Fosfati fissati o precipitati

a rilascio molto lento

# Fissazione del Fosfato o Immobilizzazione (Pool non labile)

- Su **idrossidi di Fe, Al, Mn**, con doppio legame di coordinazione

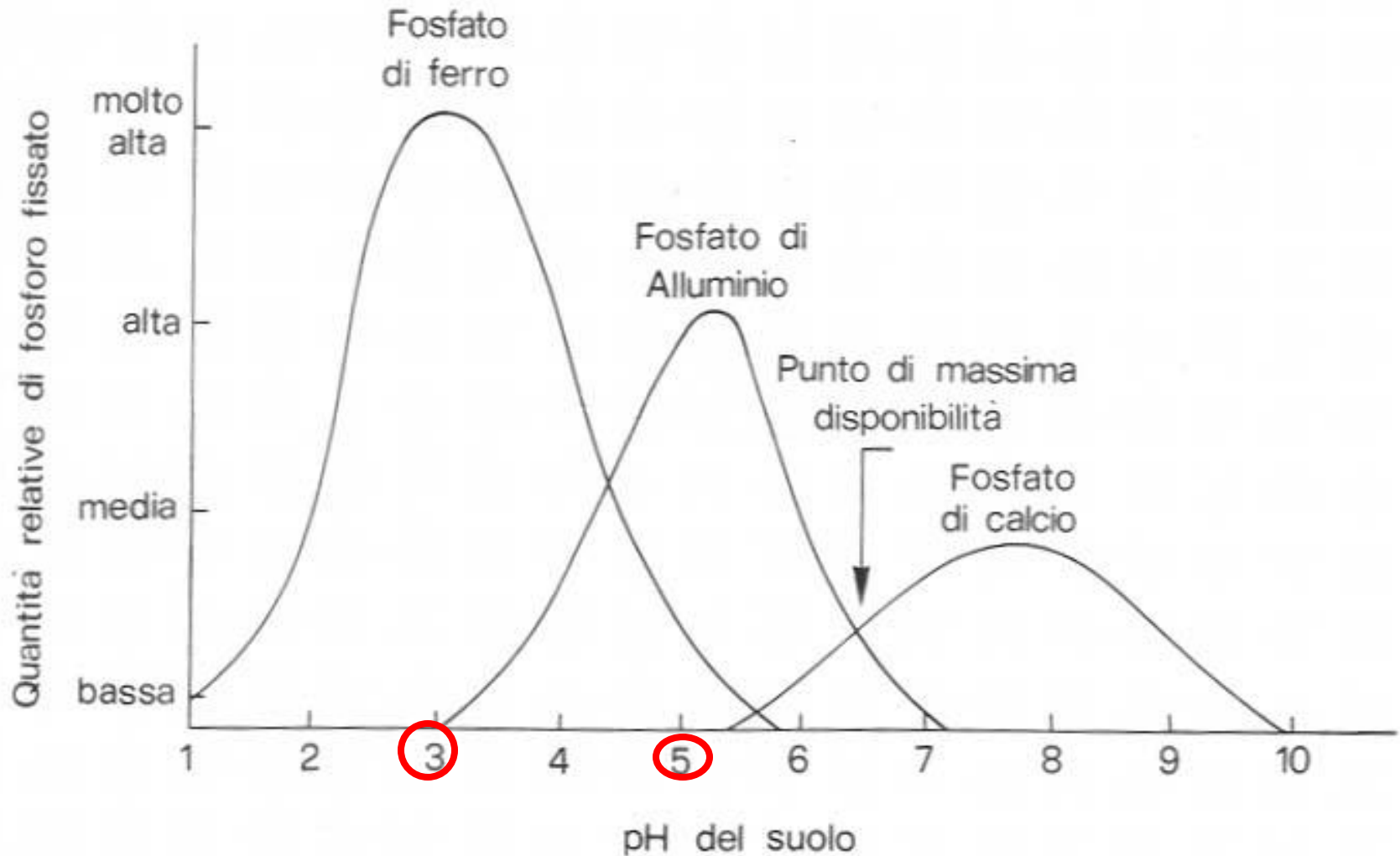


Legame **bidentato**  
favorito in ambiente  
acido

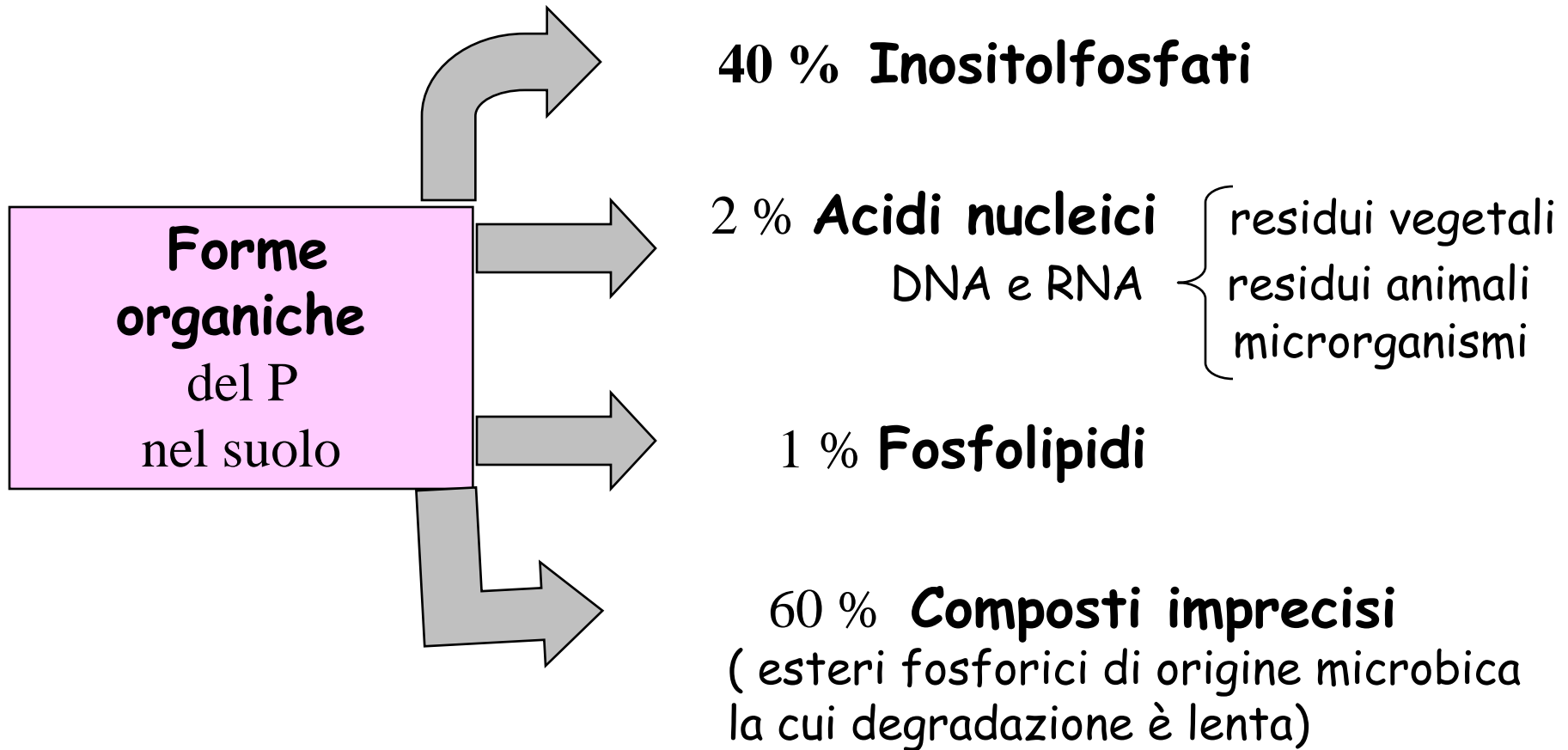
- Nei suoli con  **$\text{CaCO}_3$**  (calcarei e alcalini) si verifica la precipitazione di

**Fosfati di Ca**  $\longrightarrow$  **Apatiti**

Esiste una stretta **correlazione** fra  
**pH** del suolo e **disponibilità** di fosforo

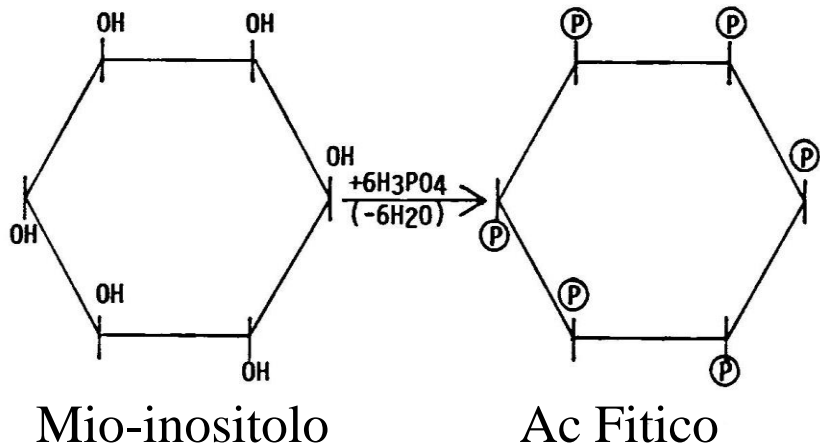


In generale **P organico** < P inorganico



Gli **inositolfosfati** = esteri dell'acido fosforico + inositolo (alcool ciclico)

il **mio-inositolo** è la forma + abbondante , :



i 6 OH sono esterificati con P



• è la forma di accumulo di P in semi e grani

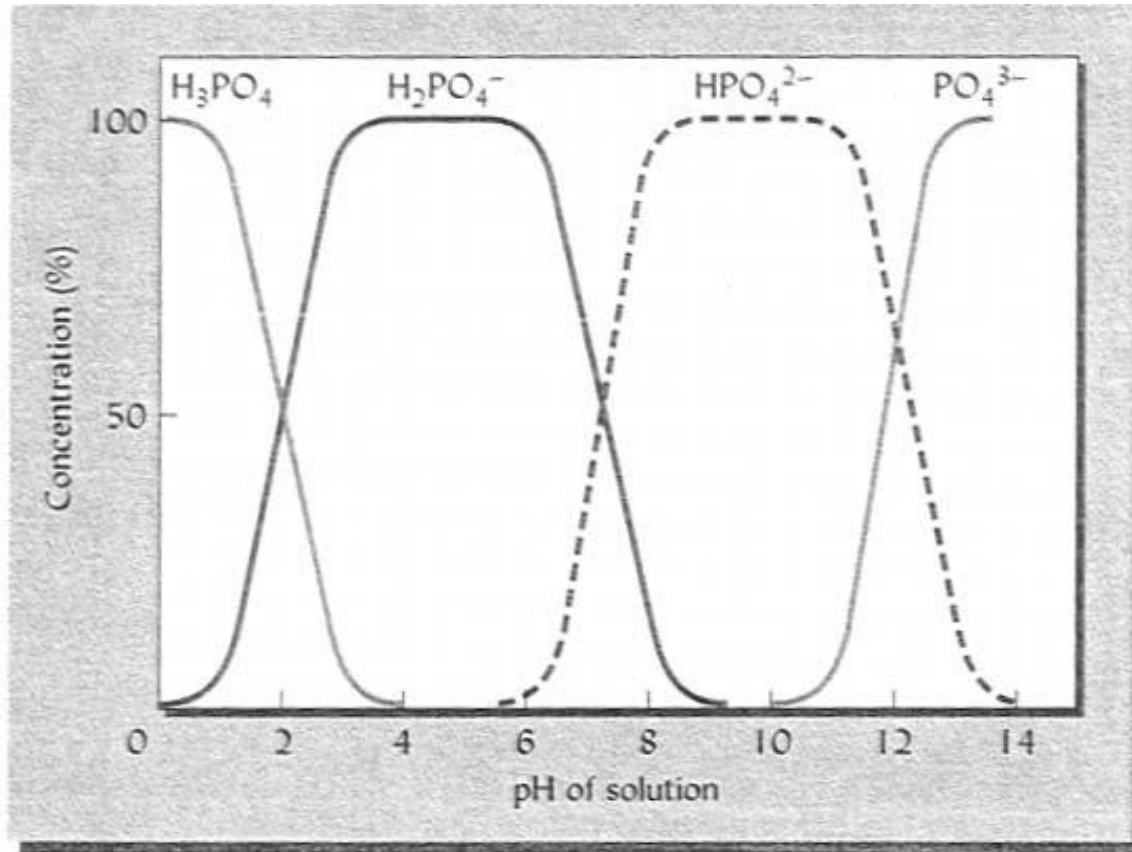
**L'acido fitico** si comporta come i fosfati :

- in ambiente acido                      Fitati di Fe e Al (insolubili)
- in ambiente alcalino                  Fitato di Ca (insolubile)
- ha anche affinità per Zn, Fe e metalli pesanti



La migliore disponibilità fosfatica della fitina a **pH = 6**  
anche l'attività degradativa della **FITASI** è max a  $5 < \text{pH} > 7$

Lo **stato** e la **dinamica** dei composti del P sono dominati dalla dipendenza e dal grado di dissociazione dell'acido ortofosforico  $\text{H}_3\text{PO}_4$  **in funzione del pH**



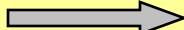
**I principali ioni circolanti sono  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$**

La forma più protonata è predominante a elevate concentrazioni di  $\text{H}^+$

## Movimento del P nel suolo per **diffusione**


### Assorbimento radicale



- 2 diversi tipi di trasportatori
  - **$I_{\text{max}}$  di  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  è 10 volte  $>$   $I_{\text{max}}$  di  $\text{HPO}_4^{=}$**
-  L'aumento del pH della soluzione esterna  
diminuzione vel di assorbimento del P
- Diminuzione dell' **$I_{\text{max}}$**  al crescere dell'età della pianta

### Assorbimento attivo

contro forte gradiente di concentrazione : Il contenuto di P delle cell radicali e dello xilema è 100-1000 volte superiore a quello della soluzione del suolo

- ATPasi pompa  $\text{H}^+$  nell'apoplasto  protonazione di un ipotetico trasportatore
- Cotrasporto  $\text{PO}_4^- / \text{H}^+$  favorito da bassi pH esterni



# Assorbimento del P

Carriers  
alta affinità

Peli  
radicali

Modificazioni  
della rizosfera

Micorrize

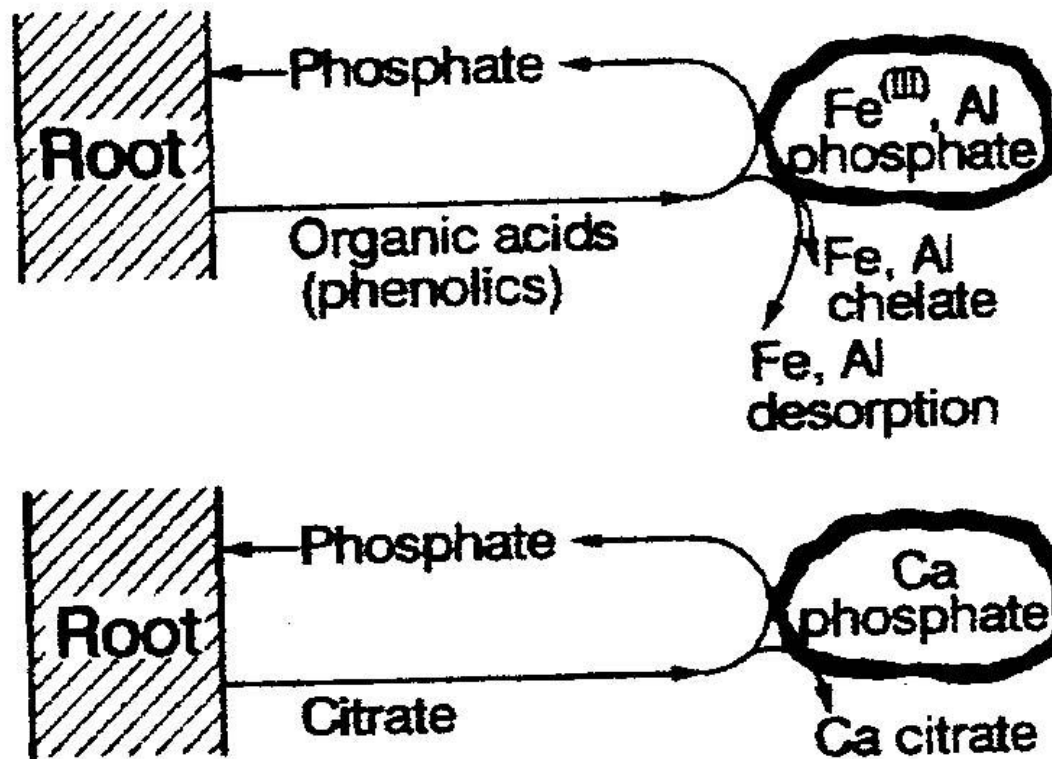
Aumento  
area superficiale  
Migliore esplorazione del suolo

1. Variazioni di pH
2. Rilascio di comp. organici
3. Estrusione di Enzimi  
(fosfatasi e fitasi)

Il rilascio di acidi organici e/o fenoli



**Mobilizzazione del P da fosfati di Fe e Al**



## Tipi di legame, esempi di composti e principali funzioni dei composti organici del fosforo

Tipi di legame	Esempi di composti	Funzione
-C-O-P-	Fruttosio-6-fosfato, glucosio-6-fosfato	Intermedi del metabolismo, riserva
-C-O-P-O-C-	Fosfatidilcolina, DNA, RNA	Ruolo strutturale, genetico
-P-O-P-	ATP, ADP, UTP, CTP, GTP	Trasportatori di energia, enzimi

*Dopo 10' dall'assorbimento fino all'80% del P assorbito è organicato.*

- Al contrario di Nitrato e Solfato non viene ridotto all'interno della pianta ma resta in forma ossidata
- I composti organici possono nuovamente rilasciare Pi inorganico
  - Il P nella pianta è molto mobile in ogni direzione

A seconda le **diverse strutture e funzioni nella pianta** :

la quantità, il turnover, la velocità di sintesi sono diverse:

L'ATP è presente in **concentrazioni molto basse** ma  
**elevate velocità di sintesi** per soddisfare le richieste energetiche

**Tab. 1.1 – Quantità, turnover e velocità di sintesi di alcuni composti fosforati (i dati si riferiscono a *Spirodela* e sono espressi in massa di peso fresco)**

<b>Composti fosforati</b>	<b>Quantità</b>	<b>Turnover</b>	<b>Velocità di sintesi</b>
	nmol P g <sup>-1</sup>	min	nmol P g <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>
ATP	170	0.5	340
Glucoso-6-fosfato	670	7	95
Fosfolipidi	2700	130	20
RNA	4900	2800	2
DNA	560	2800	0.2

da: Marschner H., Mineral Nutrition of Higher Plant. 2<sup>nd</sup> Edition, 1995. Academic Press Inc., London.

## Funzioni metaboliche:

- **Formazione di legami pirofosfato** per il trasferimento di energia con ATP

Il P è trasferito a un accettore

—————> aumento dell'energia e della reattività del composto fosforilato

I composti organici fosforilati sono i principali intermedi del metabolismo

- **Fosforilazione di Enzimi** —————> modulazione dell'attività  
(PEPc , SPS)

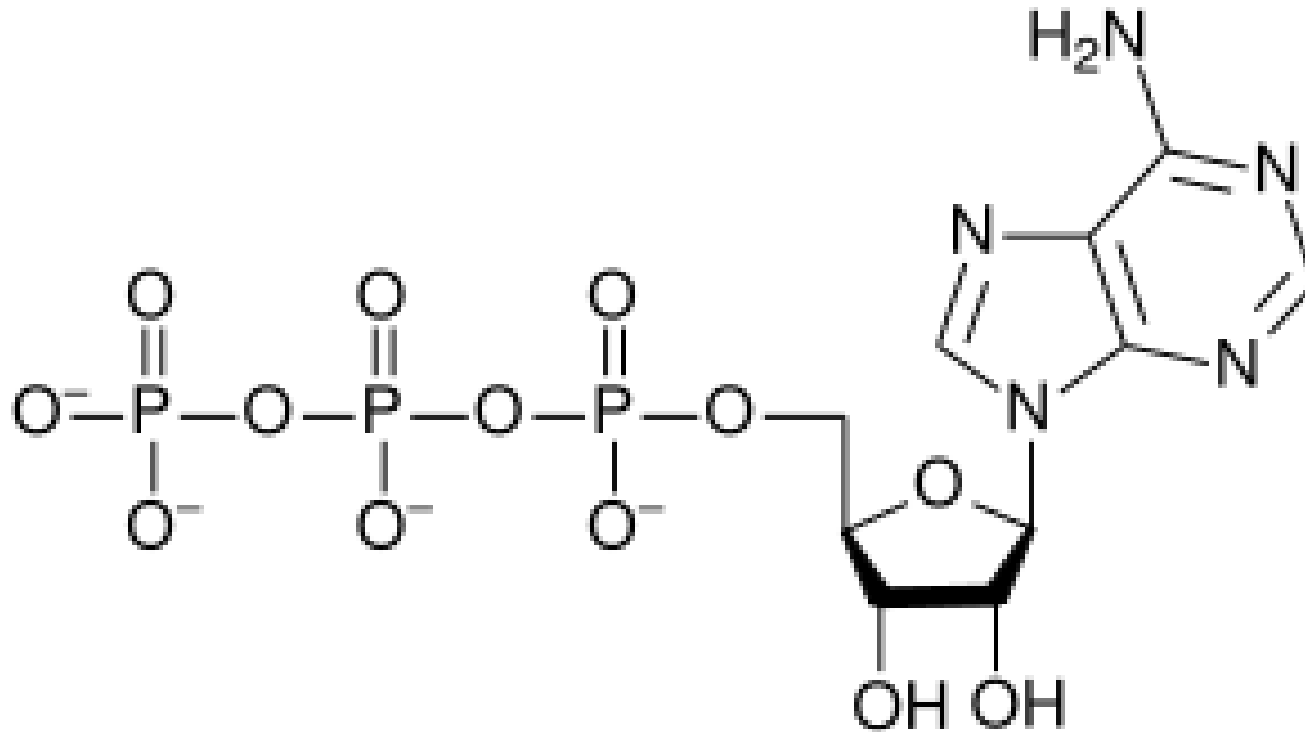
PEPc fosforilata (alla luce ) è attiva

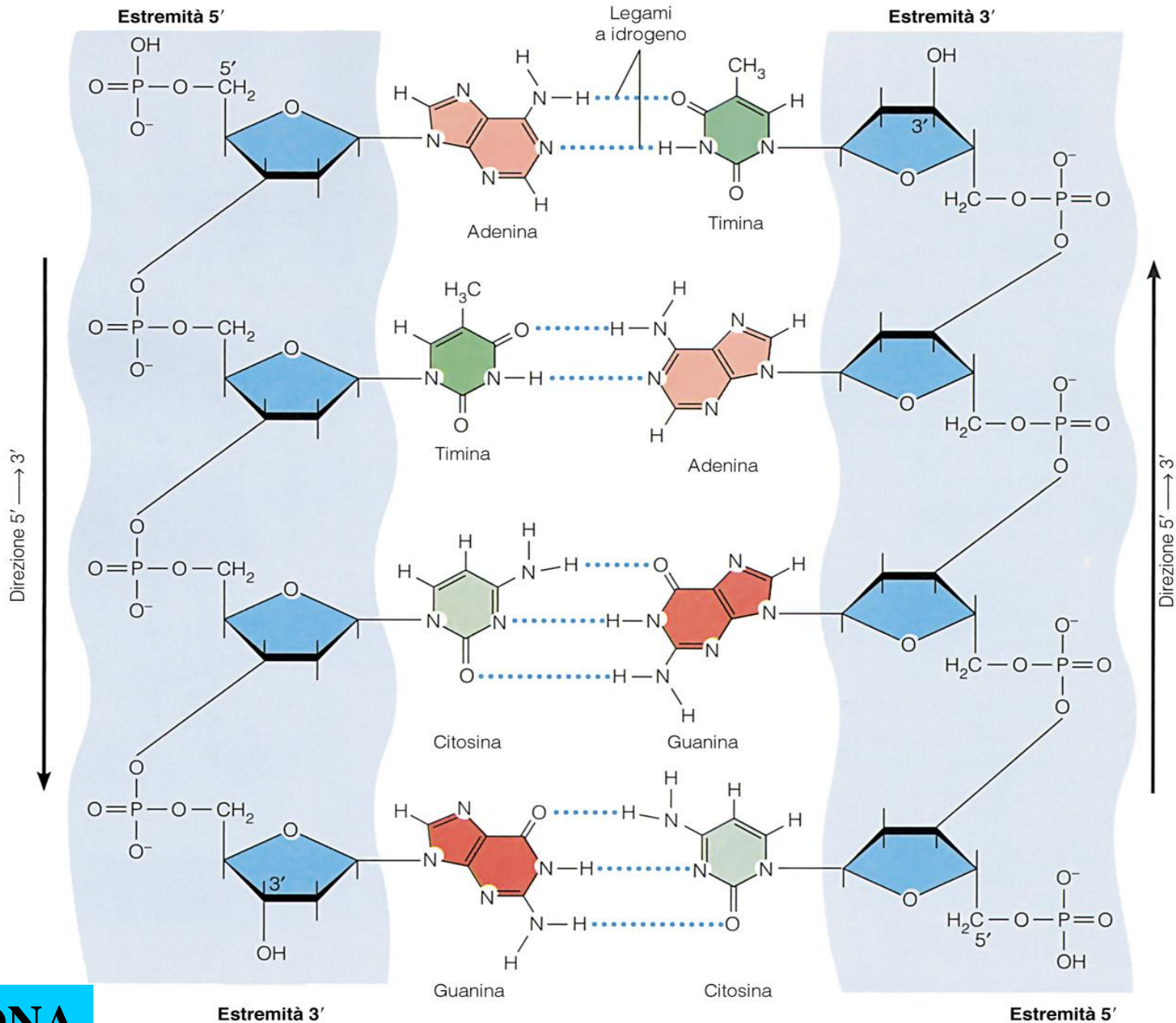
SPS fosforilata (alla luce) è inibita

- **Sintesi degli acidi nucleici** (in tutti gli organismi)

# ADENOSINATRIFOSFATO

ATP





# Carenza e Tossicità nella pianta

La richiesta per una crescita ottimale è fra 0.3 – 0.5 % del peso secco

A contenuti di P > 1% p.s.  $\longrightarrow$  Tossicità

La **carenza** di P comporta:

Riduzione della sintesi di RNA



Riduzione della crescita vegetativa



Peggioramento della qualità



Piante piccole

Apparato radicale ridotto

Steli sottili

• La carenza si manifesta nelle foglie più vecchie  $\longrightarrow$  colorazione verde scuro

• **L'eccessivo rifornimento** di P  $\longrightarrow$  depressione della crescita

- Il P interferisce sull'assorbimento di alcuni nutrienti e
- sulla traslocazione di alcuni micronutrienti (Zn, Fe, Cu)