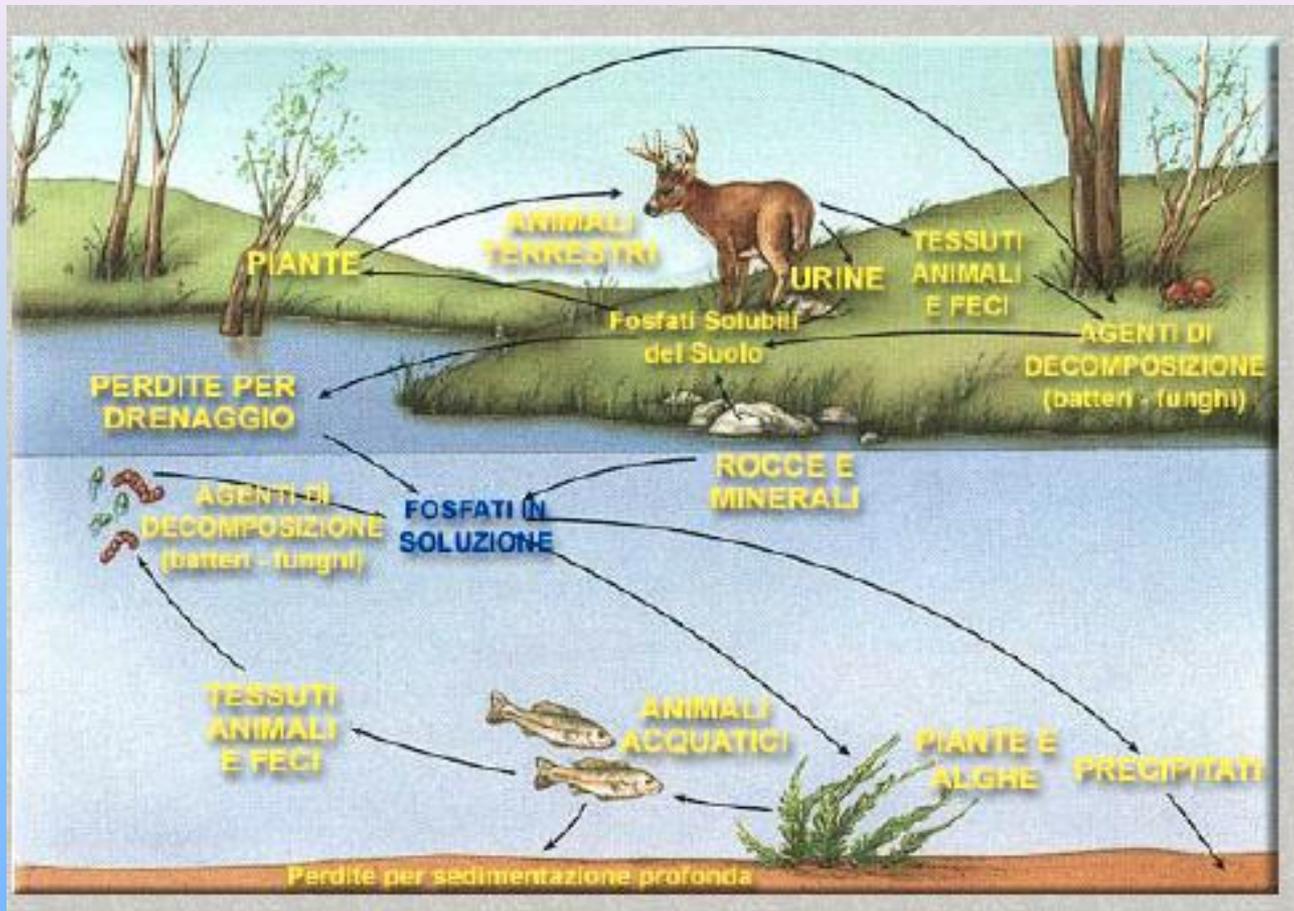


# Il Fosforo



• *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

• Negli **ecosistemi naturali** quantità sufficienti di P sono presenti come biomassa e sostanza organica, tali da sostenere una crescita stabile della vegetazione.

• L'apporto di P è strettamente legato all'attività umana ed animale:

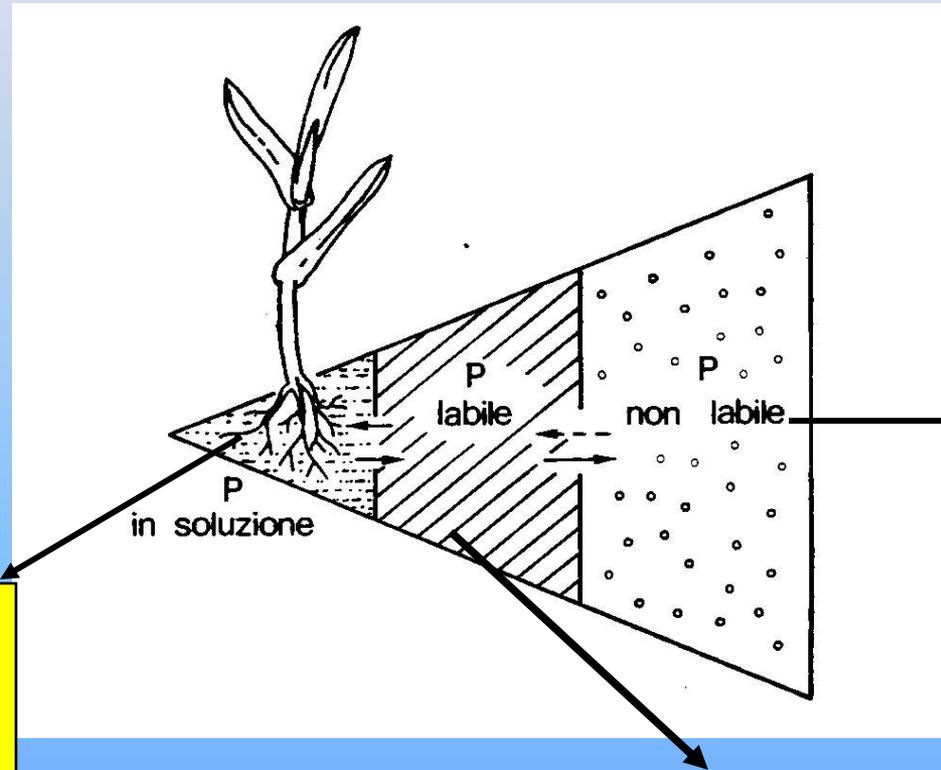
Scarti urbani e industriali, ossa e denti



*Eutrofizzazione*

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

**3 frazioni :**



**Fosfati fissati  
o precipitati**  
a rilascio molto lento

**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

## *La concentrazione del*

*Fosfato in soluzione*      <<      *Fosfati Adsorbiti*

Gli *ioni fosfato disciolti* sono soggetti a reazioni che tendono a rimuoverli dalla soluzione del suolo e a produrre composti a scarsa solubilità.

**Due meccanismi principali**

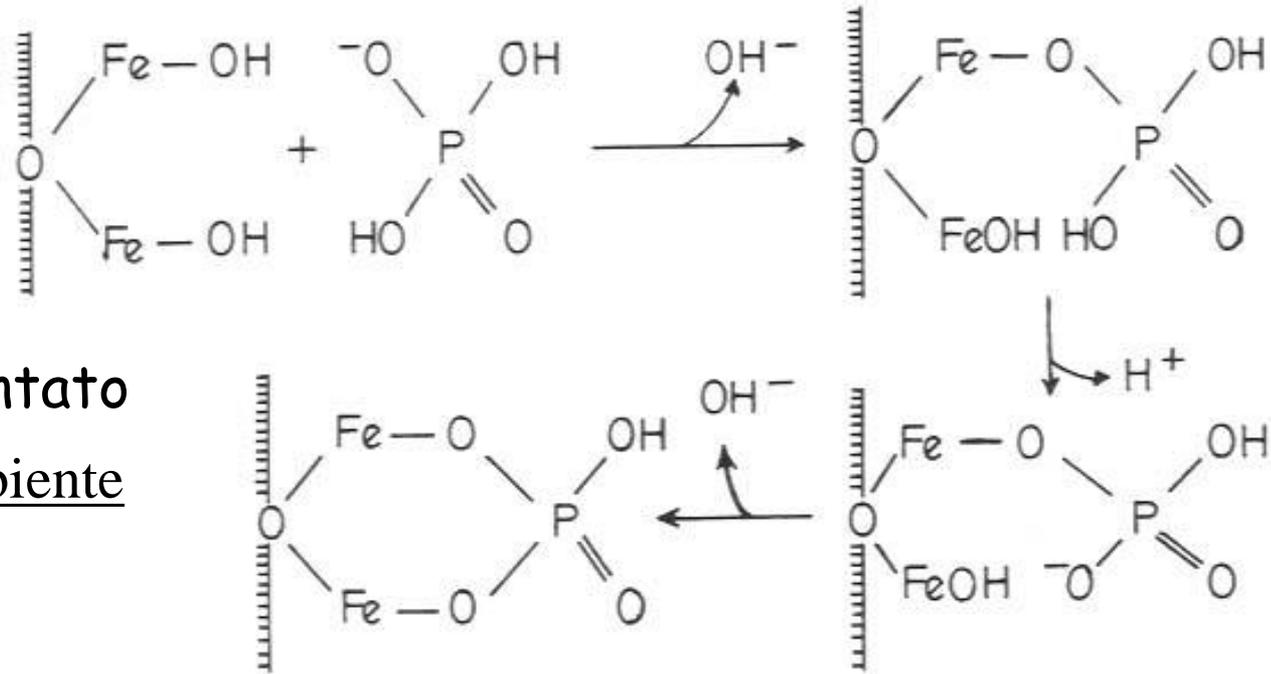
**I) FISSAZIONE**

**II) RITENZIONE**

(reazioni di fissazione e di precipitazione)

# 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 **CaCO<sub>3</sub>** (calcarei e alcalini) si verifica la precipitazione di

**Fosfati di Ca**  **Apatiti**



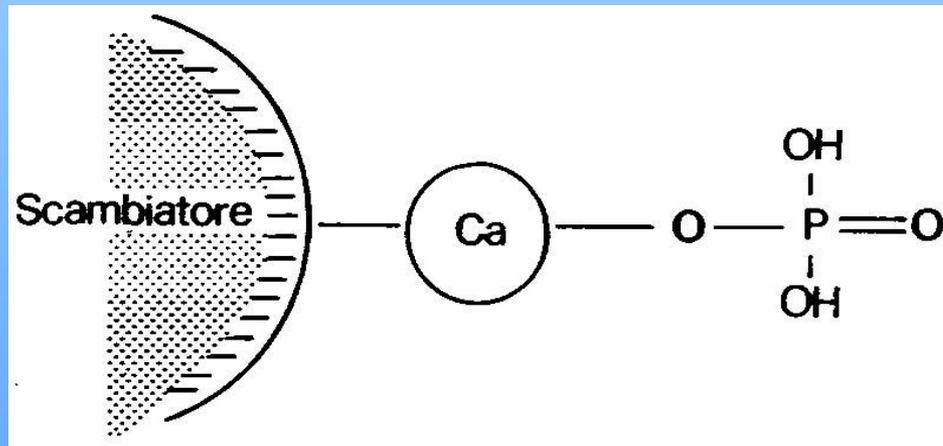
con formula generica  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3[\text{F}, \text{OH}, \text{Cl}]$ , in particolare  
la clorapatite, la fluorapatite e  
l'idrossiapatite.

# Ritenzione del fosfato (Pool labile)

- 1) Reazione con  
 $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  liberi in soluzione



- 2) Coadsorbimento sui minerali argillosi con i cationi metallici di scambio



Il P ritenuto è relativamente disponibile per le piante

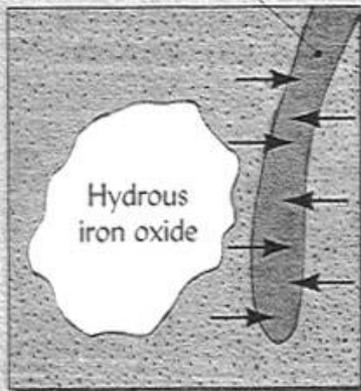
Forme  
inorganiche  
del P  
nel suolo

Composti inorganici  
contenenti Ca

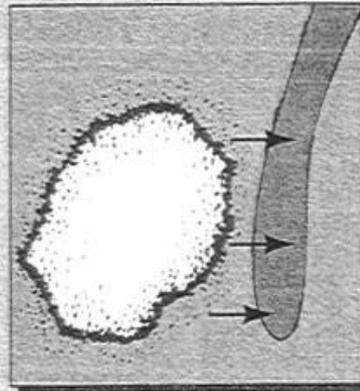
Composti inorganici  
contenenti Fe, Al, Mn

Apatiti

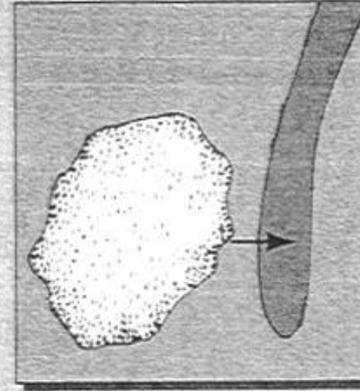
Derivanti dalle reazioni fra ioni fosforici con minerali  
argillosi e/o idrossidi di Fe e Al (**suoli acidi**)



(a)



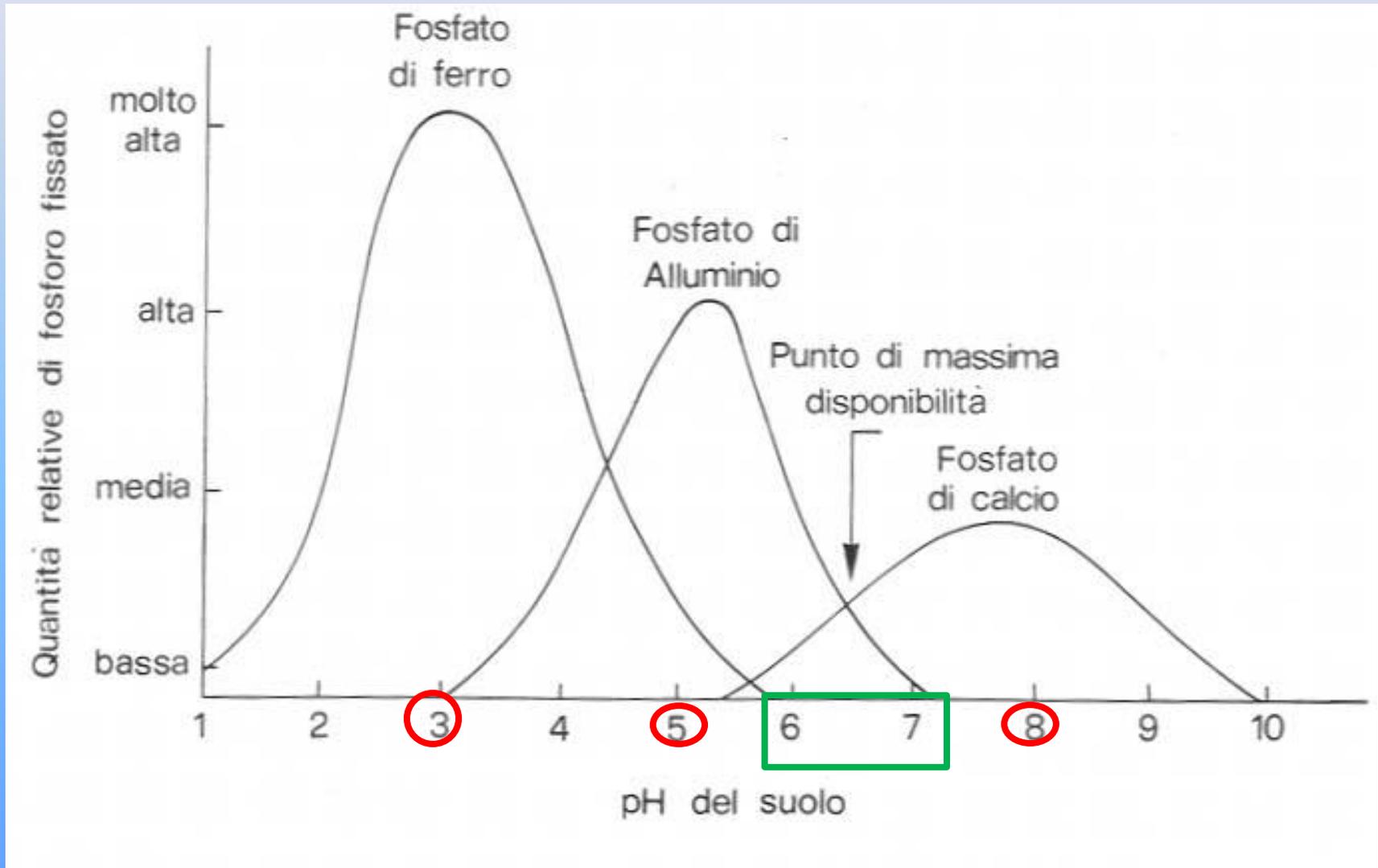
(b)



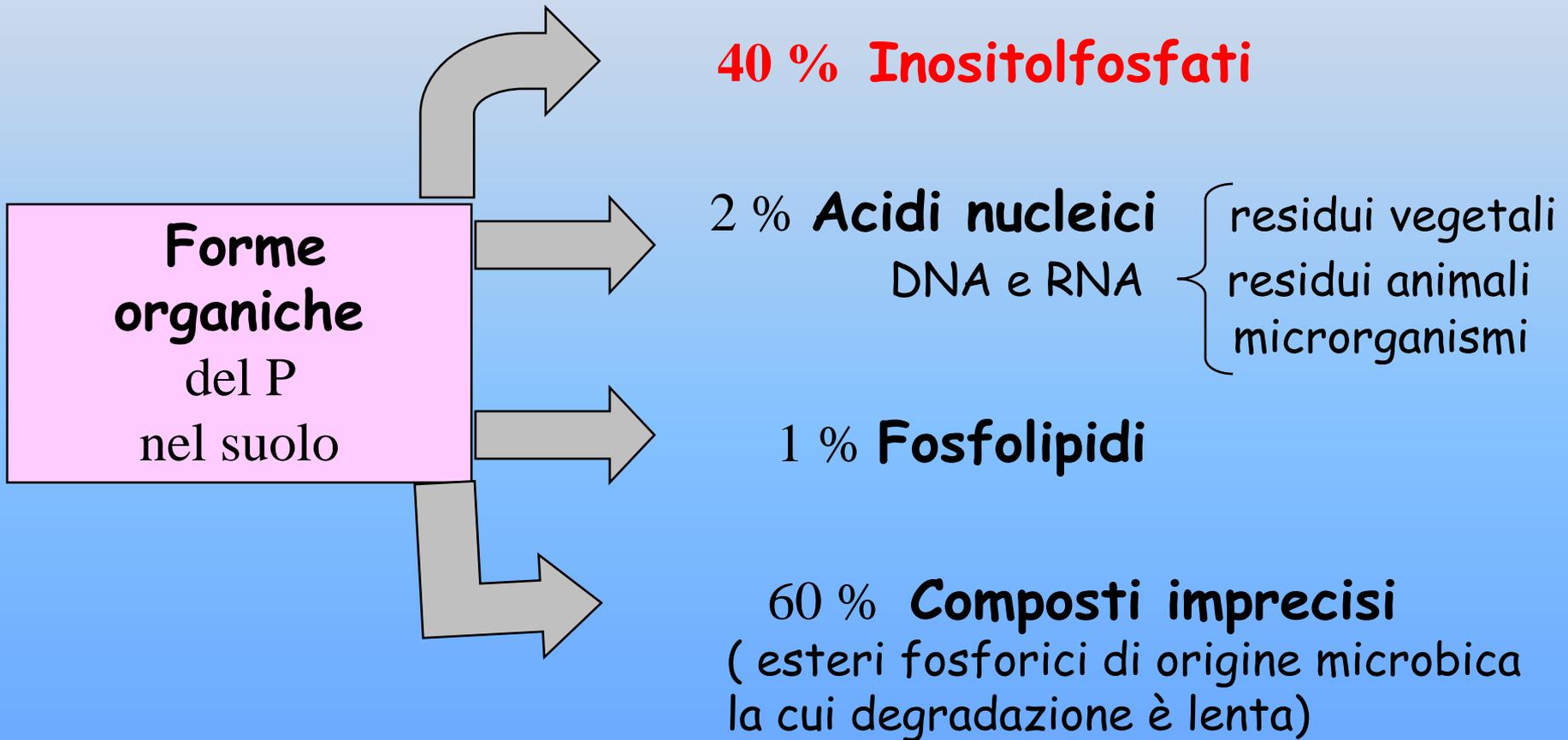
(c)

**Cristallizzazione  
e Invecchiamento  
dei fosfati ferrici**

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

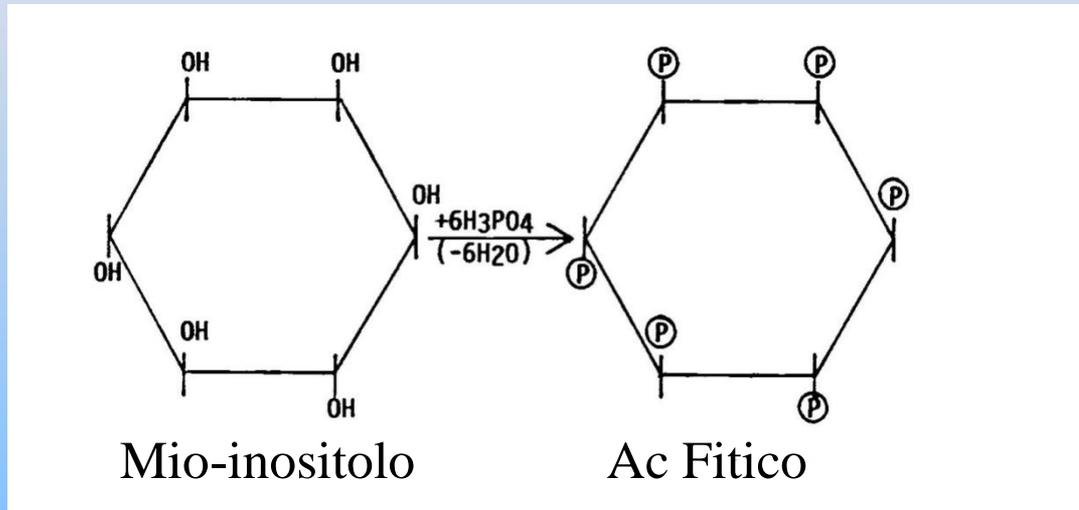


In generale  $P$  organico <  $P$  inorganico



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

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



Mio- inositolo +  $H_3PO_4$   
 $\longrightarrow$  **Acido Fitico**

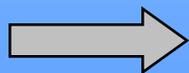
i 6 OH sono esterificati con P

**Acido fitico** + Ca e/o Mg  
 $\longrightarrow$  **Fitina**

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

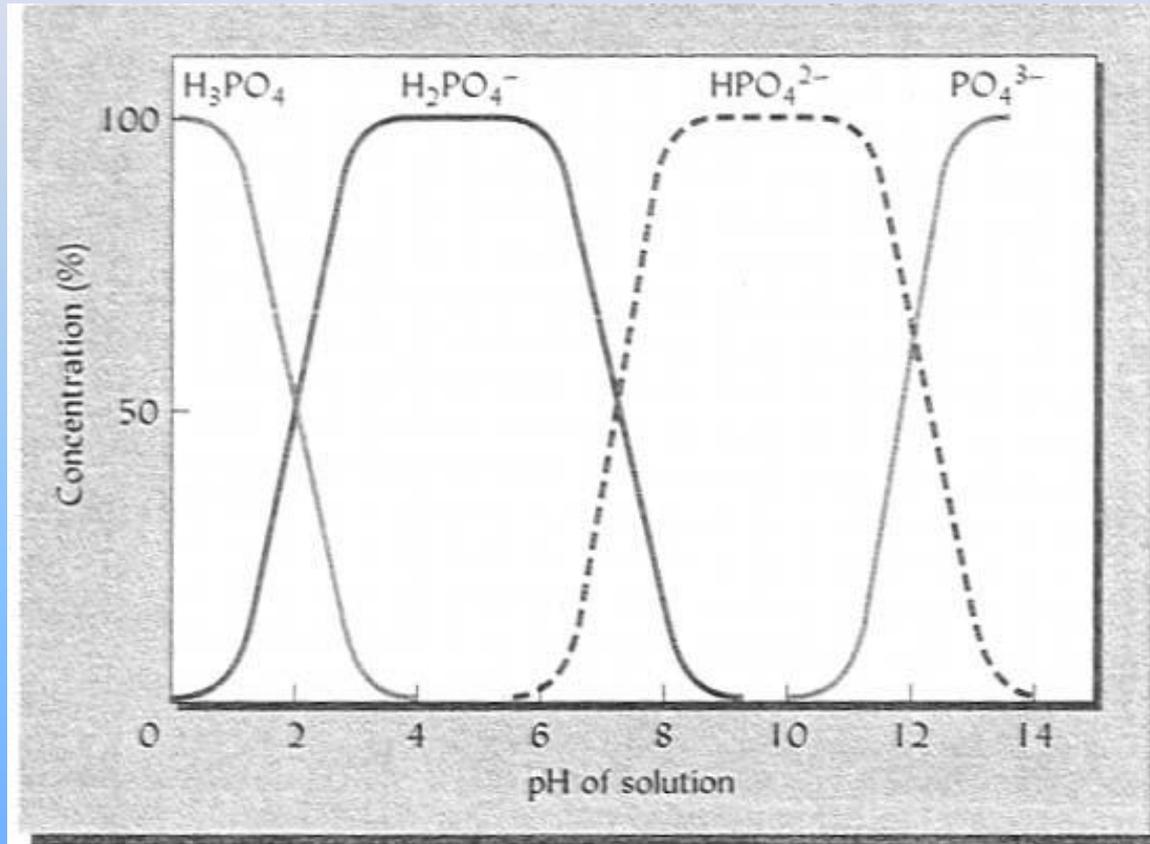
**L'acido fitico** si comporta come i fosfati :

- 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

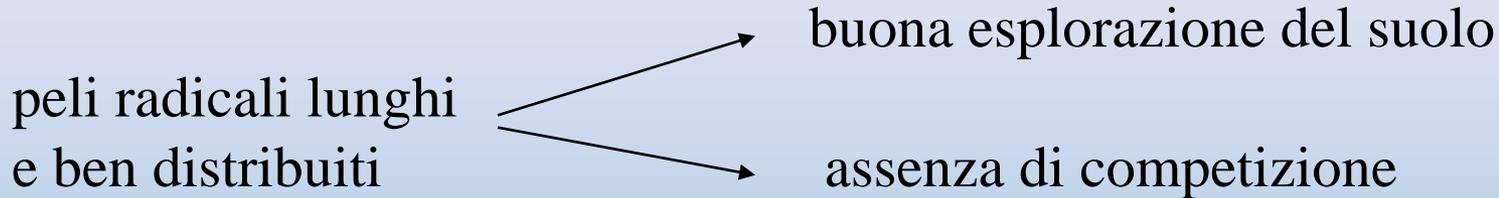
### Assorbimento attivo

contro forte gradiente di concentrazione : Nel citoplasma 10mM ;  
Il P nelle cell radicali e nello xilema è 100-1000 volte  $>$  a quello della soluzione  
del suolo

85-90% di P è nei vacuoli (funzione di riserva)

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

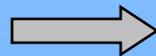
La presenza e quantità di **pelì radicali** può avere effetto sull'assorbimento radicale:



la distribuzione di nutrienti influisce sulla crescita, morfologia e distribuzione delle radici nel profilo del suolo

Le piante **P-carenti** :

- pelì radicali lunghi e abbondanti
- radici più sottili e ramificate



**aumento area superficiale**

La parte aerea declina mentre **le radici** continuano a crescere



traslocazione dei fotosintati  
traslocazione di  $P_{inorg}$  dalle foglie alle radici

# Assorbimento del P

Carriers  
alta affinità

Peli  
radicali

Modificazioni  
della rizosfera

Micorrize

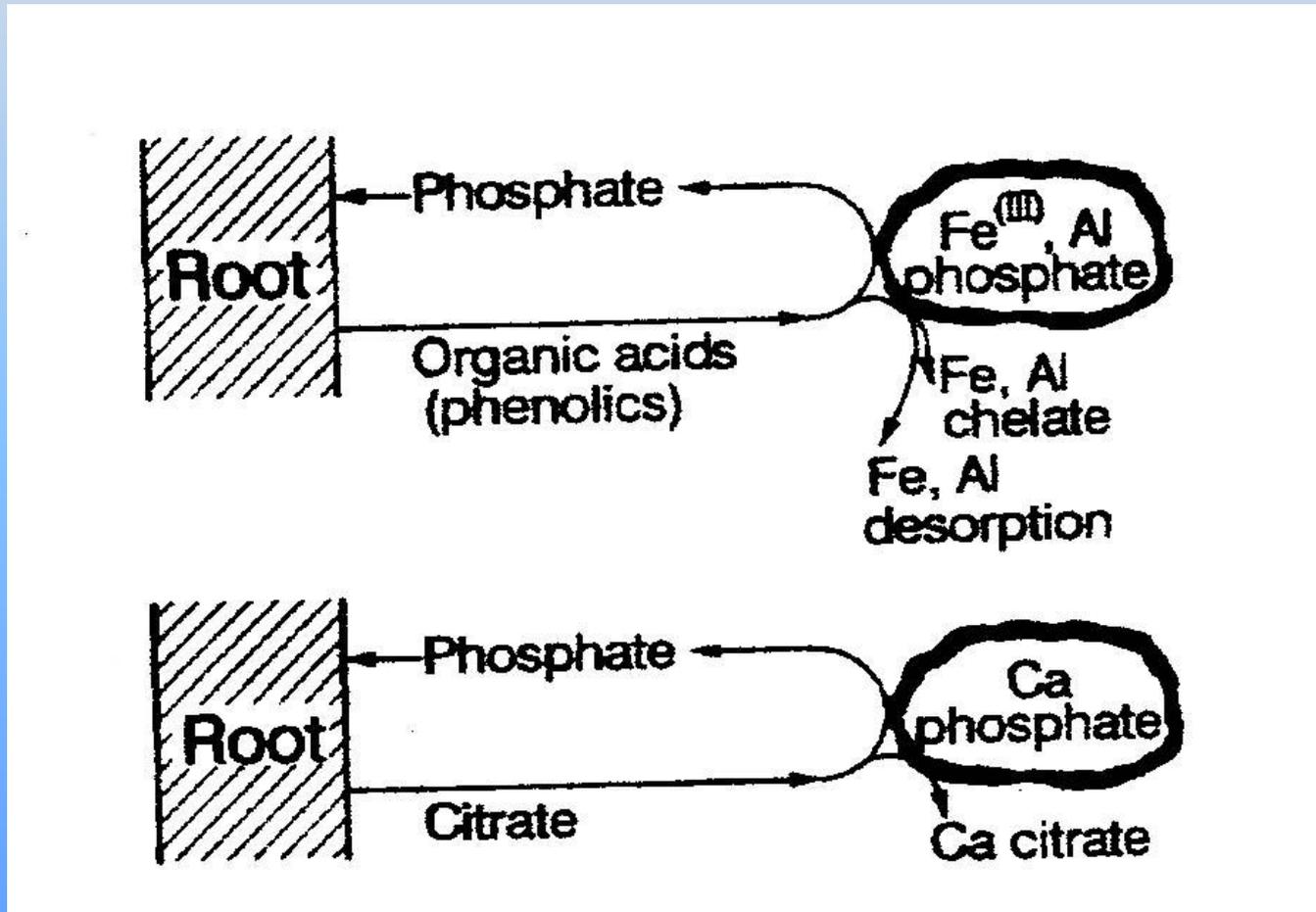
Aumento  
area superficiale  
Migliore esplorazione del suolo

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

Il rilascio di acidi organici e/o fenoli

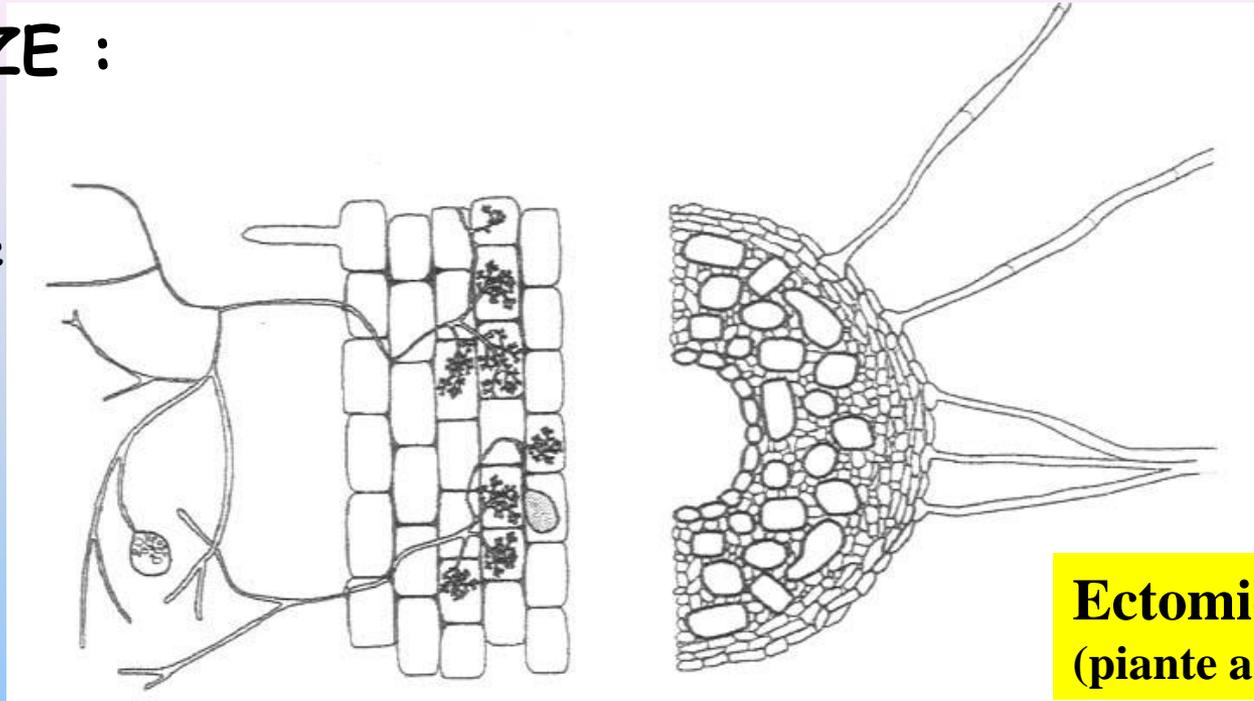


**Mobilizzazione del P da fosfati di Fe e Al**



# MICORIZZEE :

associazione  
simbiontica  
fungo-radice



**Ectomicorizze**  
(piante arboree)

**Endomicorizze**  
(angiosperme erbacee)

**Mantello fungino all'esterno  
e fra le cellule del parenchima  
corticale → reticolo di Hartig  
(20-40µm)**

**VAM:** sono le + importanti e formano

2 strutture

- **vescicole** con granuli di grasso

- **arbuscoli ramificati**= sito di trasferimento dei nutrienti fra fungo e pianta

- Sviluppo del fungo anche all'esterno dell'apice, fino ad alcuni cm dalla radice

- L'infezione è dipendente dalla disponibilità di zuccheri della pianta:

Una notevole quantità di fotosintati vengono utilizzati nelle radici per il mantenimento e la crescita fungina=

10-20% di zuccheri prodotti dalla pianta



diminuzione della crescita radicale

- Gli essudati radicali inducono l'infezione



Relazione negativa fra *infezione* e *rifornimento di P e di nutrienti*

l'infezione è repressa

La risposta alla micorizzazione è maggiore per le

**specie ad elevato bisogno in P**

a parità di fabbisogno, rispondono meglio le

**specie a densità radicale minore:**

—————> Basso Rapporto Radice / parte aerea

- Assenza o scarsa presenza di peli radicali (cipolla e carota)

—————> migliore risposta alla micorizzazione

- Specie coltivate risposta maggiore delle specie selvatiche

—————> minor fabbisogno di P nelle specie selvatiche?

- Scarsa disponibilità di  $H_2O$  nel suolo

—————> diffusione rallentata —————> aumento del deficit di P

## *Azione del fungo:*

*miglioramento dell'acquisizione di acqua e nutrienti*



## 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

**Tabella 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)

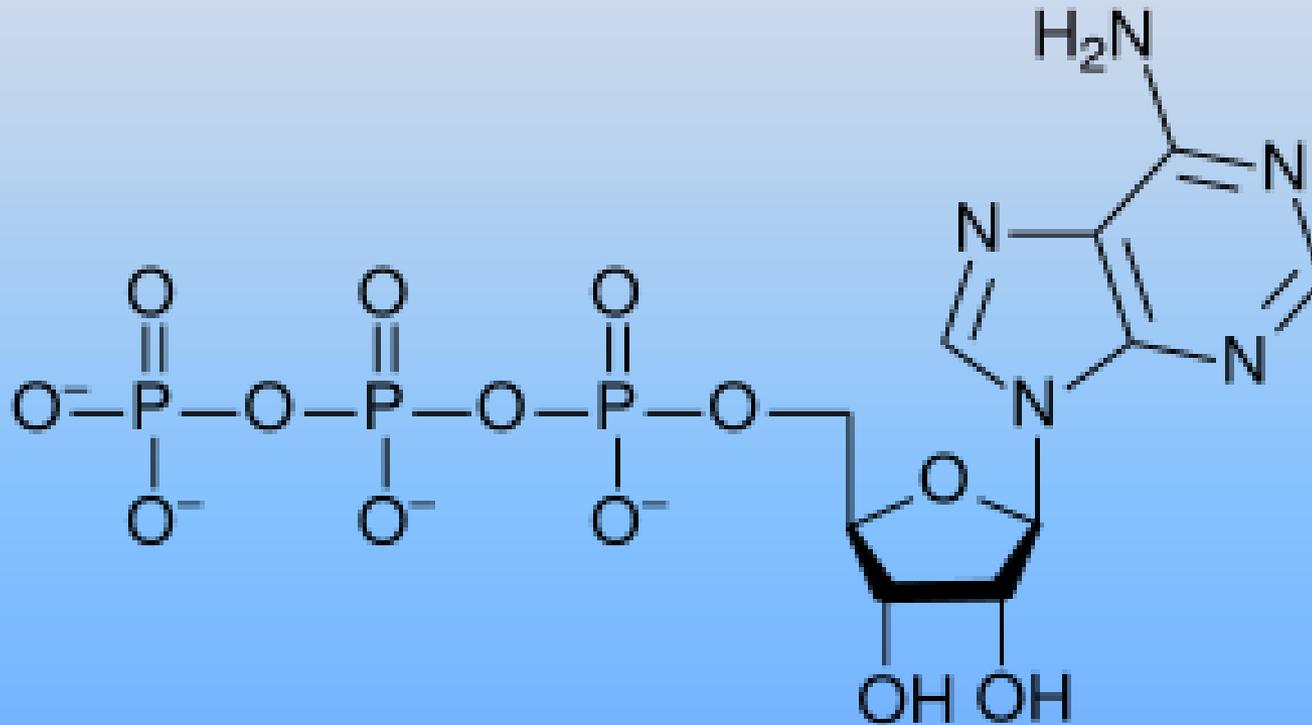
PEPc fosforilata (alla luce ) è attiva

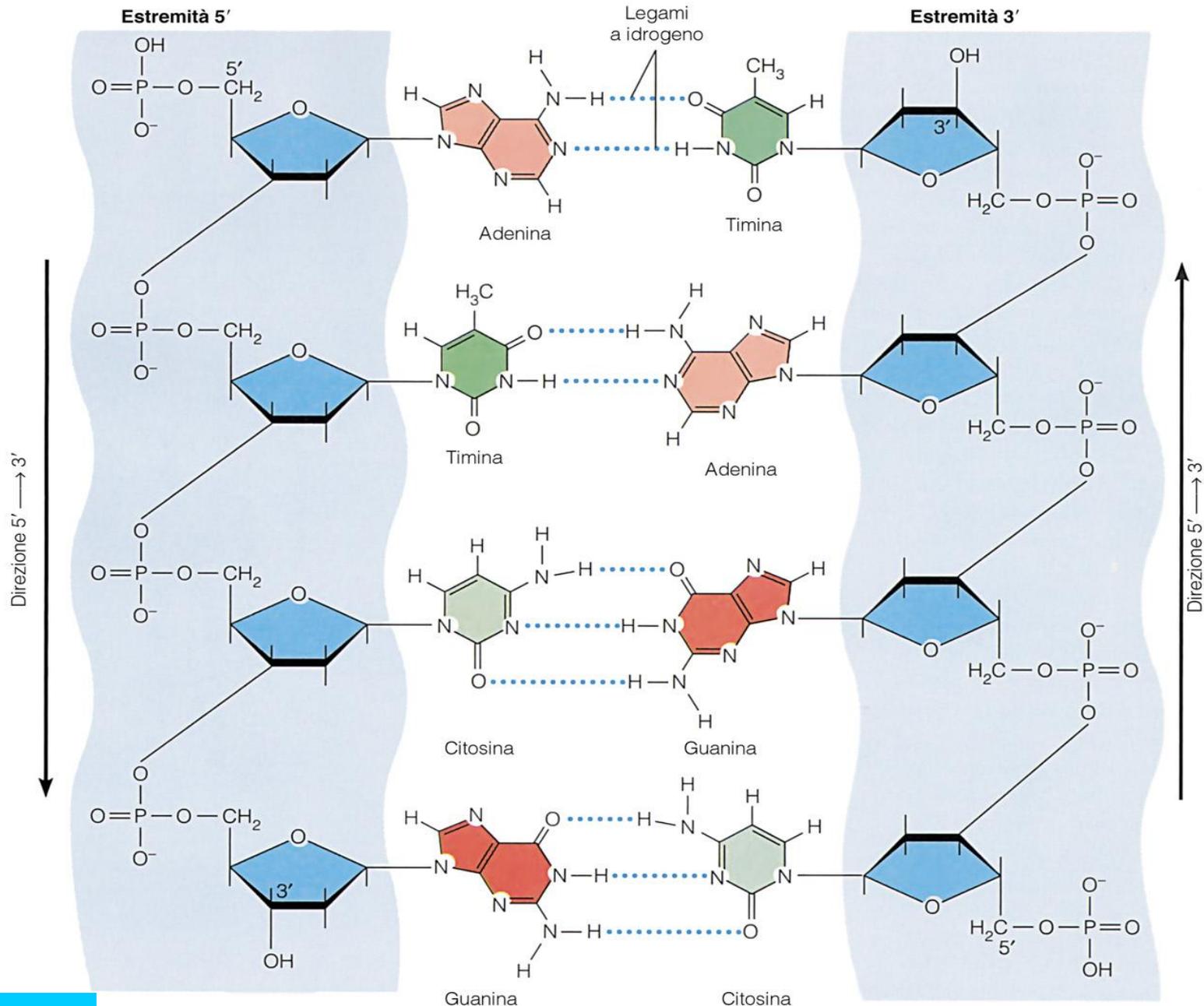
SPS fosforilata (alla luce) è inibita

- **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)