

CARBOSSILAZIONE/OSSIGENAZIONE

COSA SUCCEDDE SE LA TEMPERATURA AUMENTA?

LEGGE DI HENRY: a T costante, la quantità di un gas che si scioglie in un dato liquido è proporzionale alla pressione parziale del gas in equilibrio con il liquido

$$P_{\text{gas}} = k_H \cdot x$$

P_{gas} pressione parziale del gas

x frazione molare del gas

k_H costante di Henry

A T costante, la solubilità di un gas è direttamente proporzionale alla pressione che il gas esercita sulla soluzione

Si può anche scrivere

$$[\text{gas}] = p_{\text{gas}} \cdot \alpha \cdot \frac{10^6}{V_0}$$

α = coefficiente di assorbimento di Bunsen

(volume di gas assorbito da un volume di acqua alla pressione di 1 atmosfera)

V_0 = volume normale di un gas ideale a T e P standard

($V_0 = 22.4 \text{ L mol}^{-1}$)

Il coefficiente di assorbimento è diverso per ogni gas e **diminuisce all'aumentare della T**; quindi un aumento di T determina una diminuzione della concentrazione di gas nella soluzione in maniera diversa da gas a gas

$$[\text{gas}] = P_{\text{gas}} \cdot \alpha \cdot \frac{10^6}{V_0}$$

Temperature (°C)	α (CO ₂)	[CO ₂] (μM in solution)	α (O ₂)	[O ₂] (μM in solution)	$\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{O}_2]}$
5	1.424	21.93	0.0429	401.2	0.0515
15	1.019	15.69	0.0342	319.8	0.0462
25	0.759	11.68	0.0283	264.6	0.0416
35	0.592	9.11	0.0244	228.2	0.0376

INOLTRE

L'aumento della temperatura modifica le costanti cinetiche della Rubisco, aumentando il tasso di ossigenazione rispetto alla carbossilazione

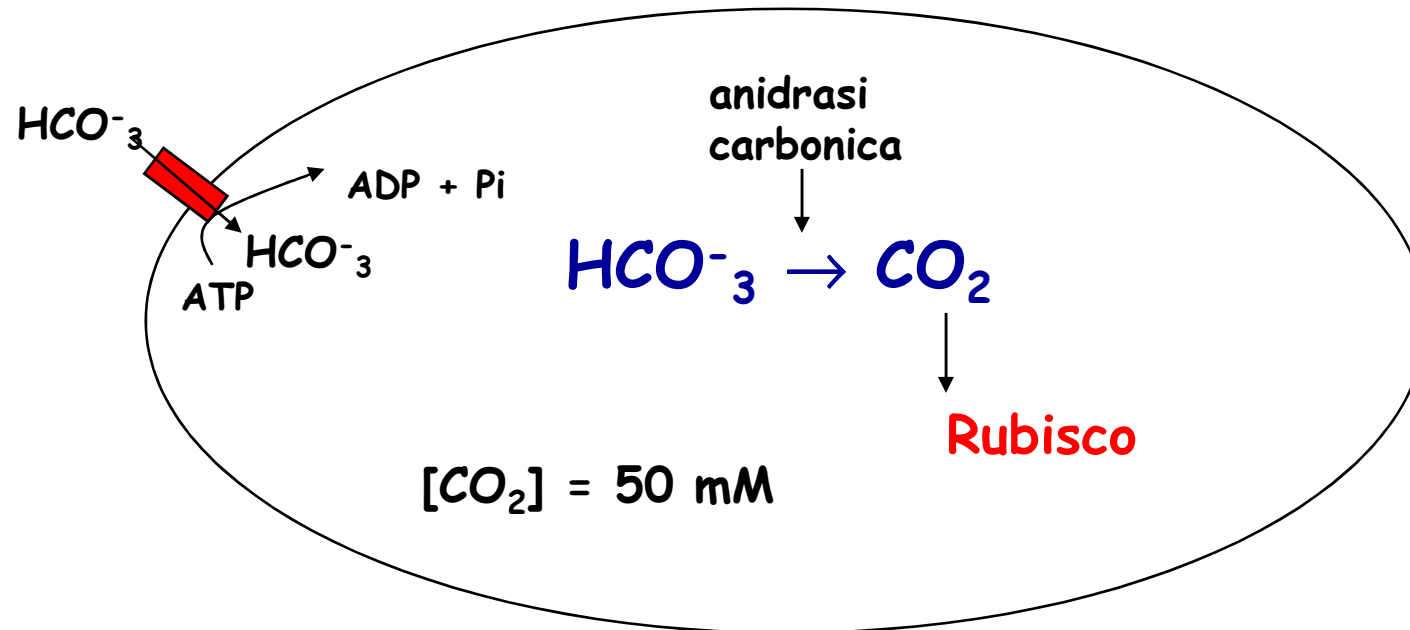
LA FOTORESPIRAZIONE
AUMENTA ALL'AUMENTARE DELLA
TEMPERATURA

MECCANISMI DI CONCENTRAZIONE DELLA CO₂

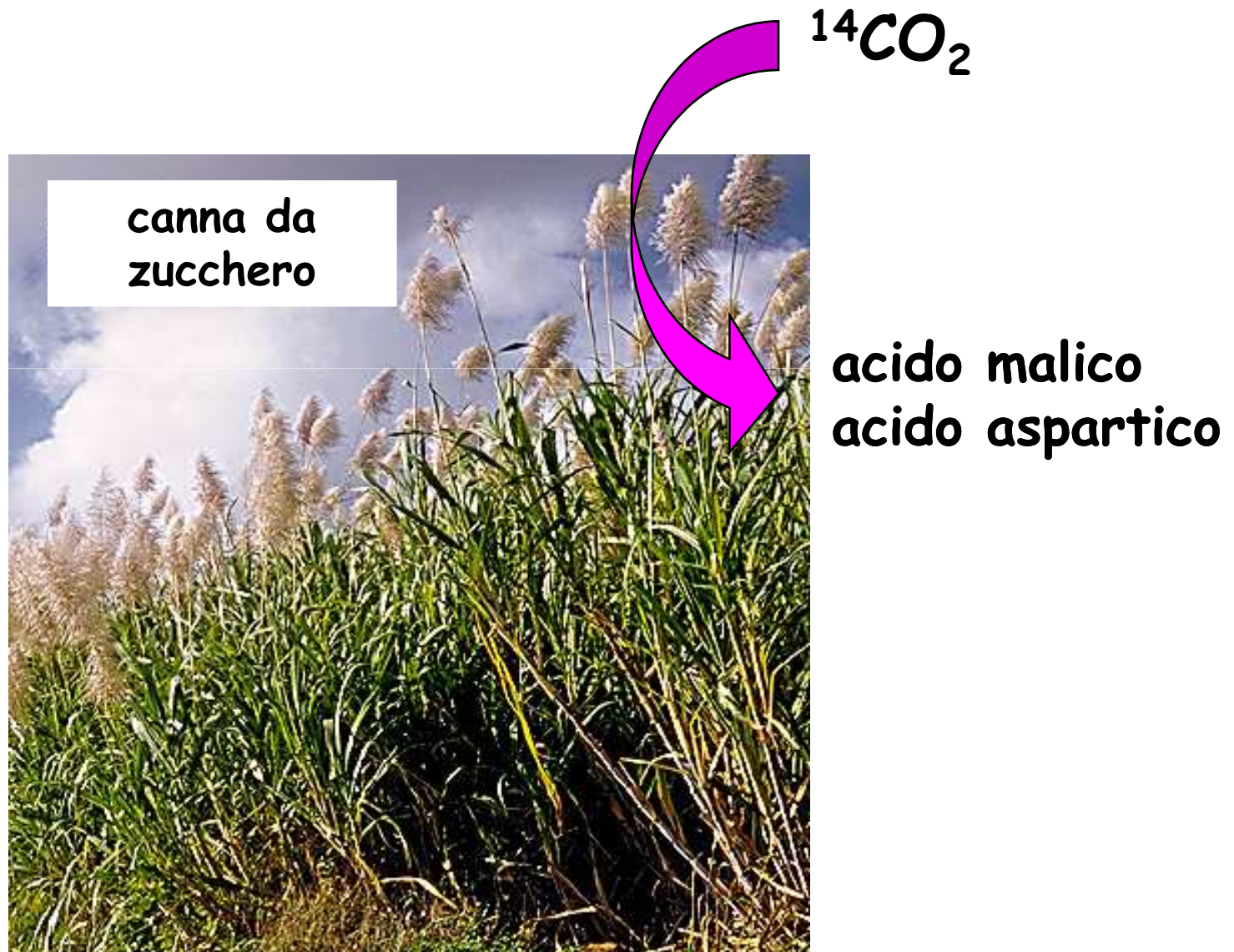
- ➔ Alghe e cianobatteri: POMPE PER LA CO₂
- ➔ Alcune piante: adattamenti metabolici
piante C₄/CAM

Alghe e cianobatteri

pompe per la $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$



PIANTE C4

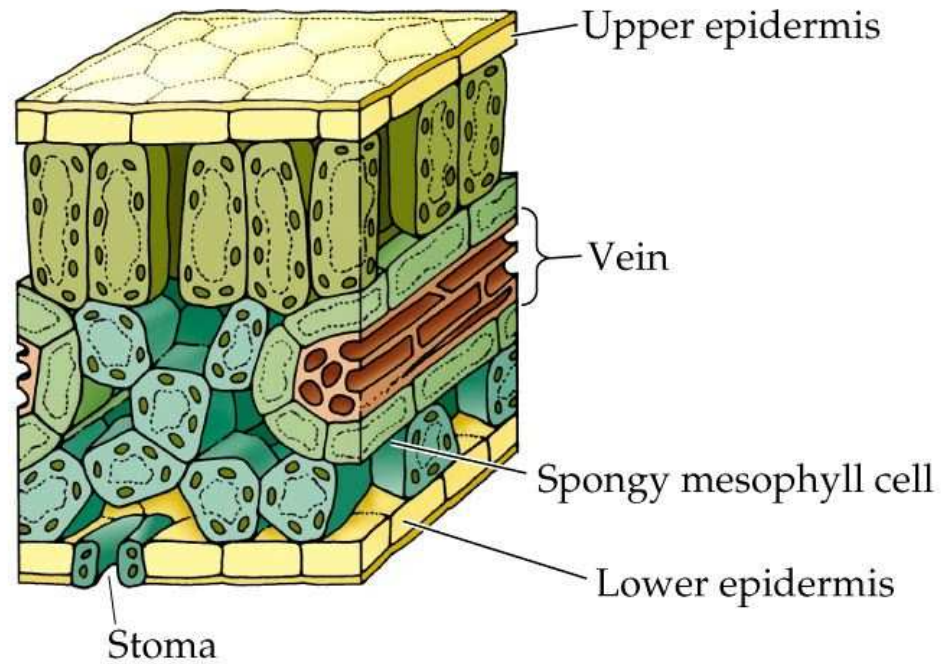


Il metabolismo C_4 si è evoluto a partire da 7 milioni di anni fa, in conseguenza del calo di pCO_2 nell'atmosfera

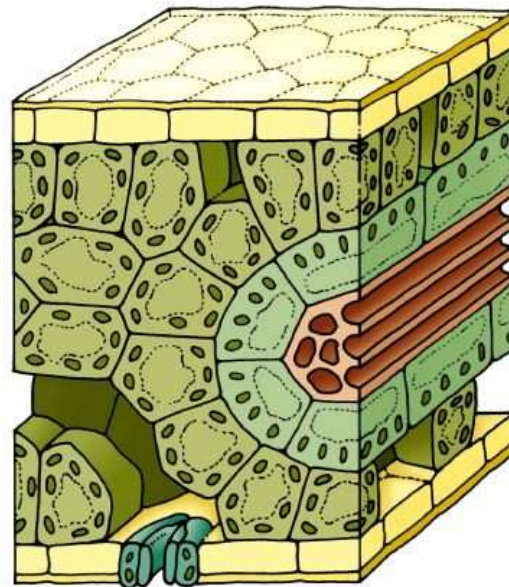


Evoluzione polifiletica

(a) Arrangement of cells in a C_3 leaf

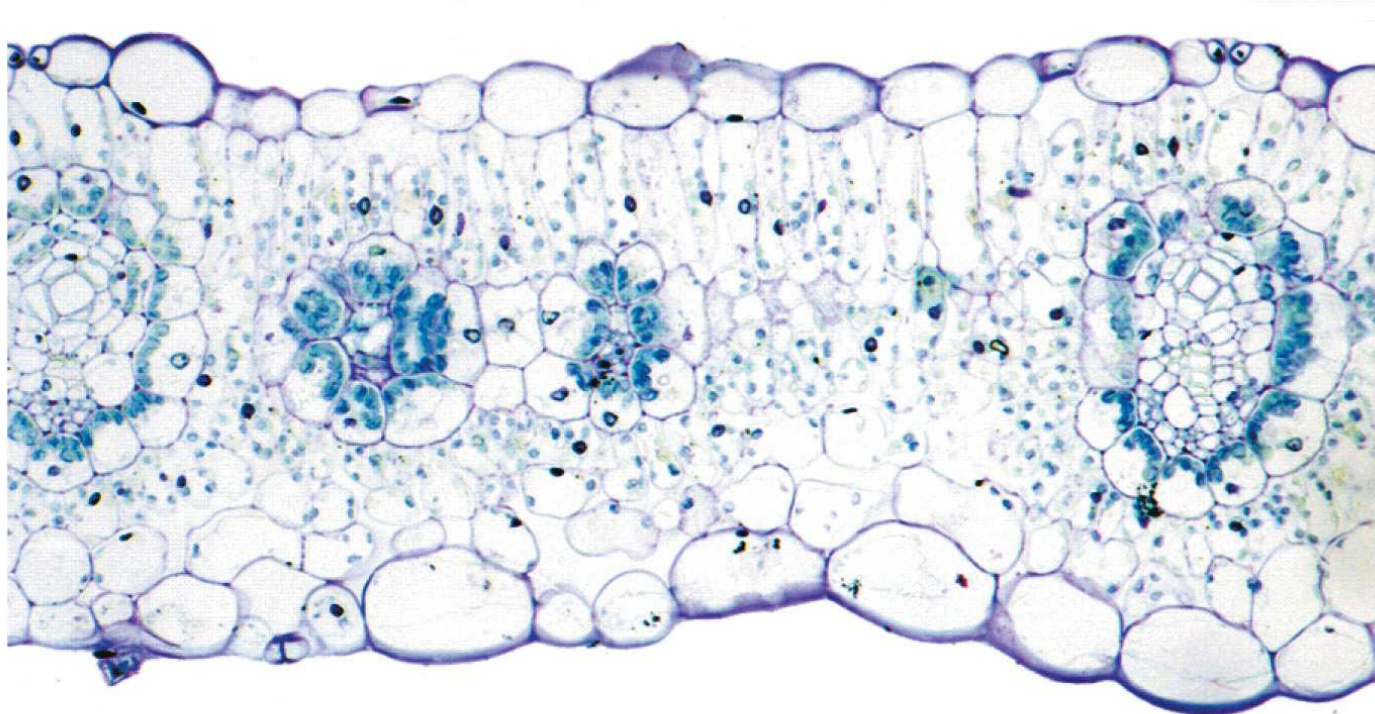


(b) Arrangement of cells in a C_4 leaf



Anatomia Kranz

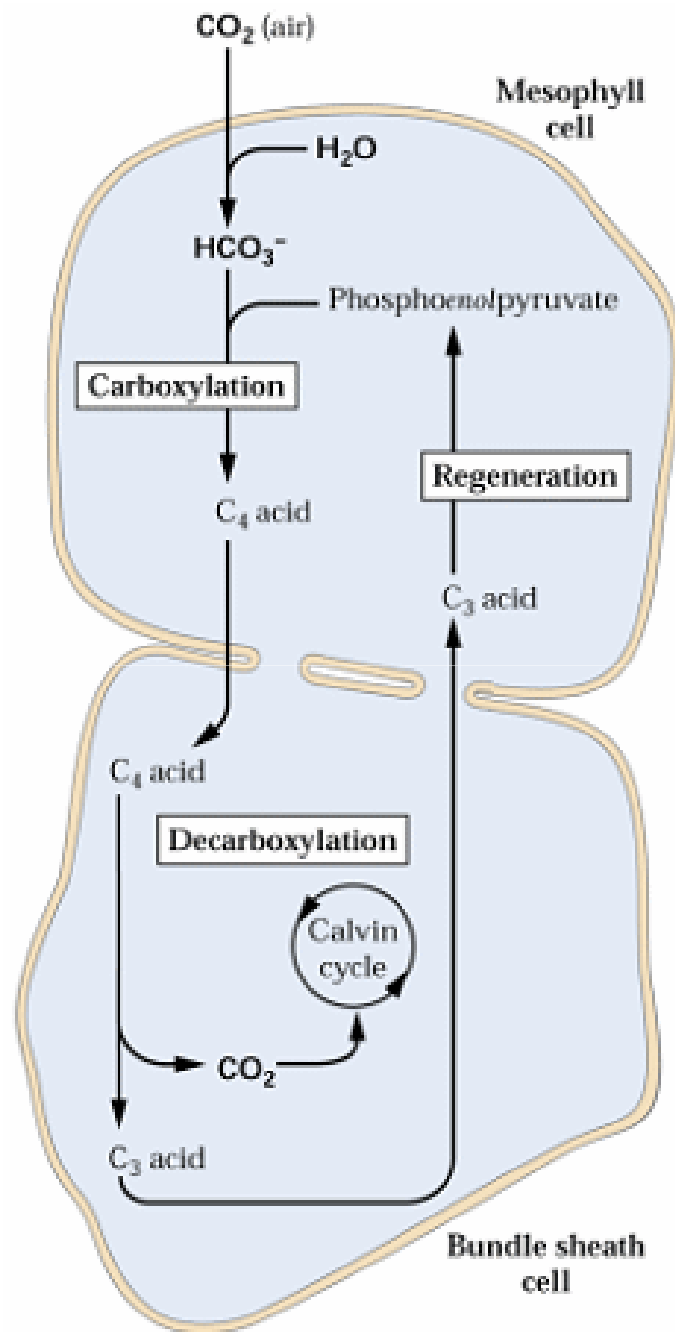
Anatomia Kranz



le cellule della guaina del fascio e
quelle del mesofillo sono in
comunicazione tramite i **plasmodesmi**

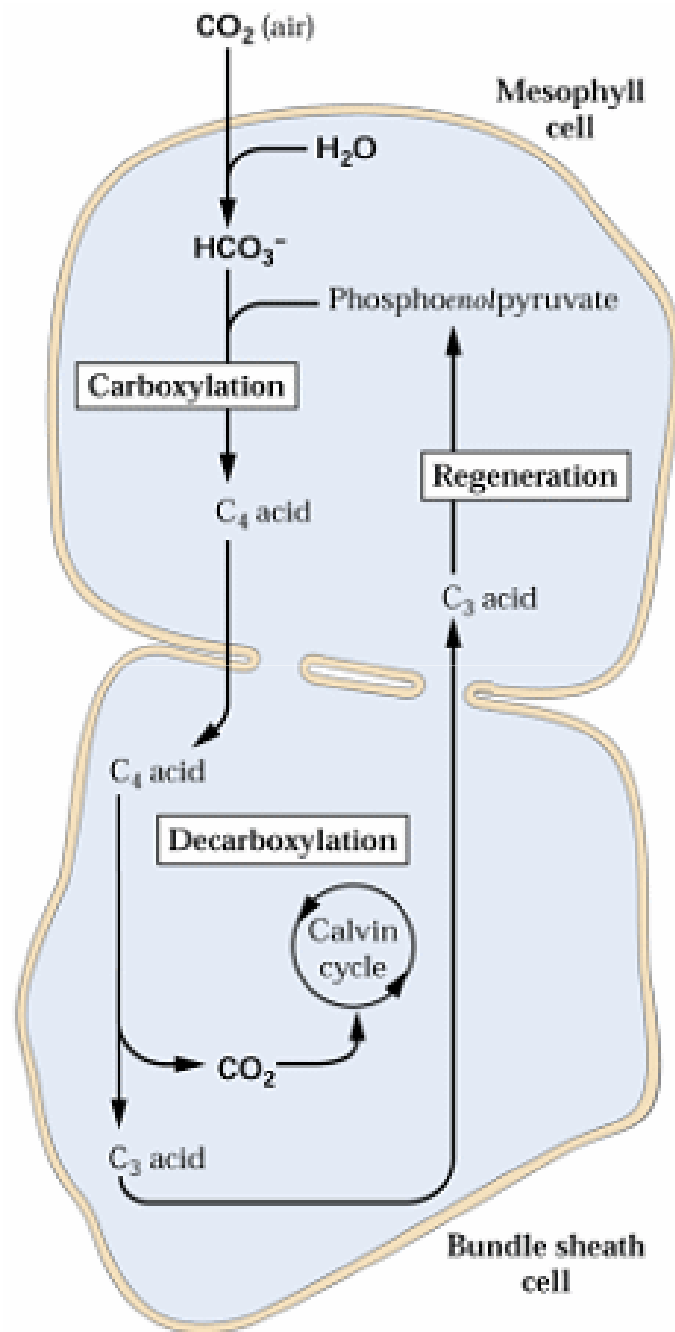


Plasmodesmata



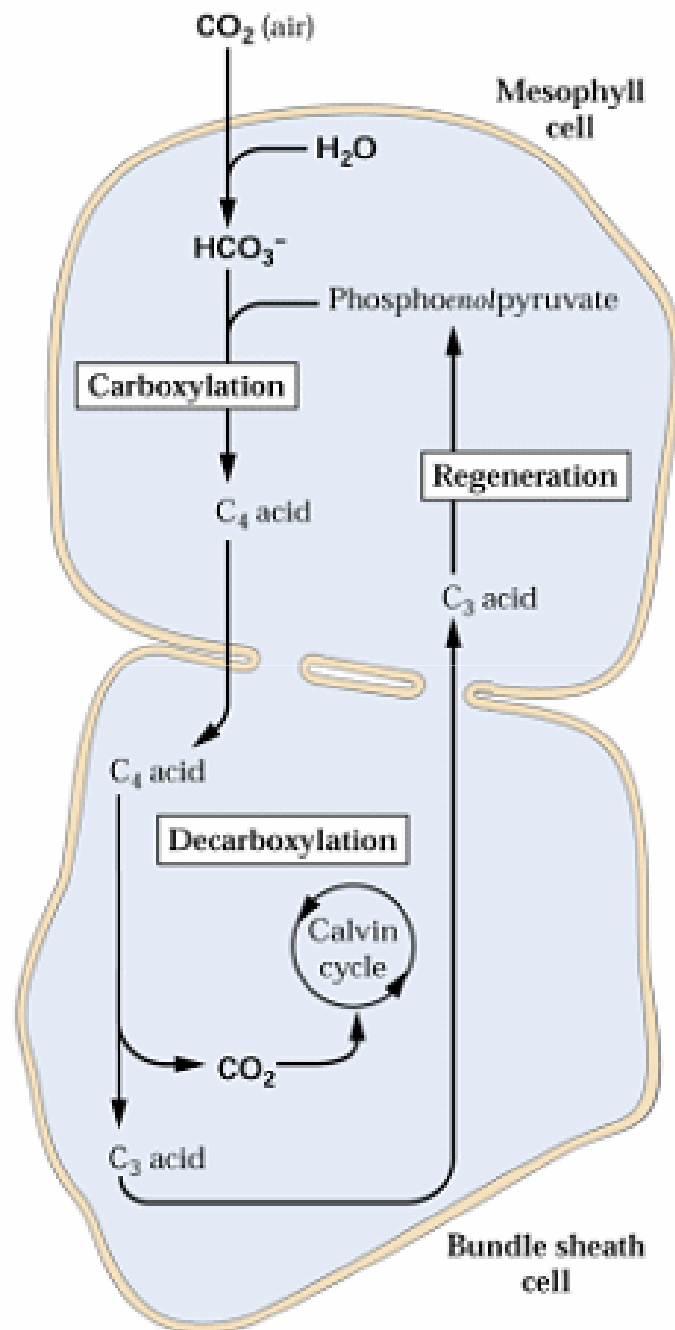
FISSAZIONE CO_2

viene carbossilato il
fosfoenolpiruvato, con formazione
di ossalacetato



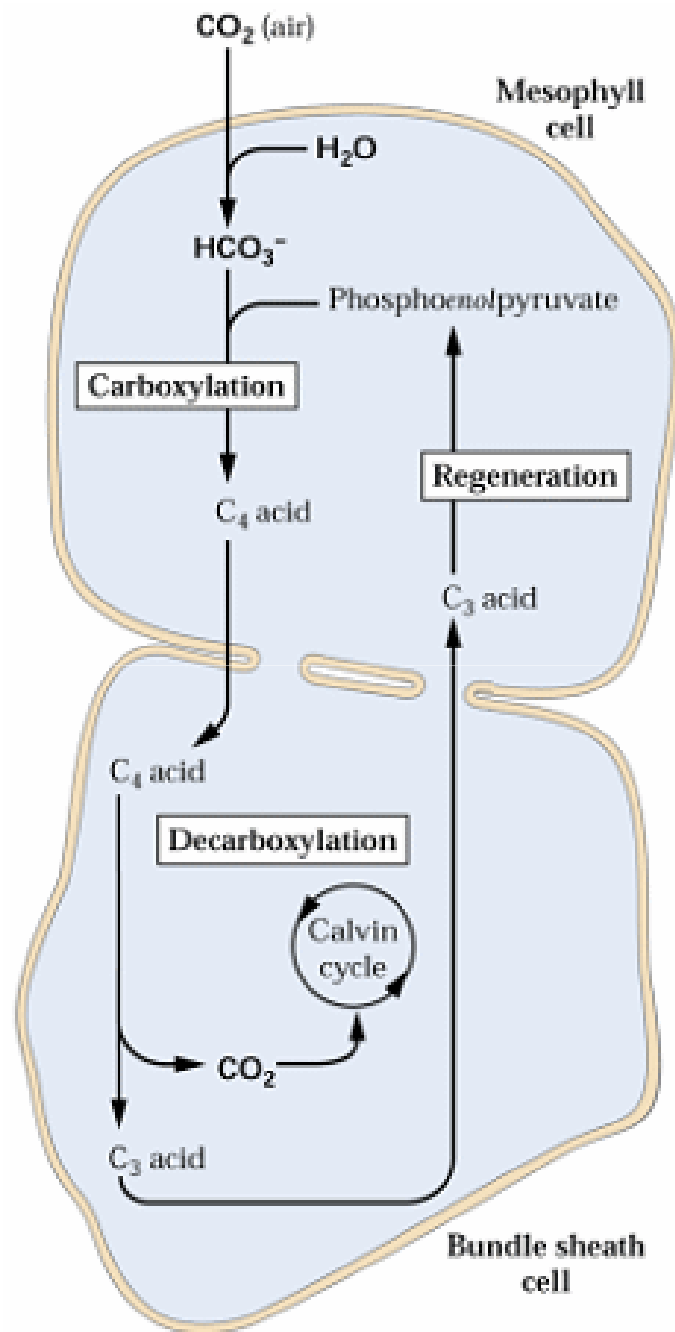
TRASPORTO

l'acido C_4 viene trasportato
nelle cellule della guaina del
fascio



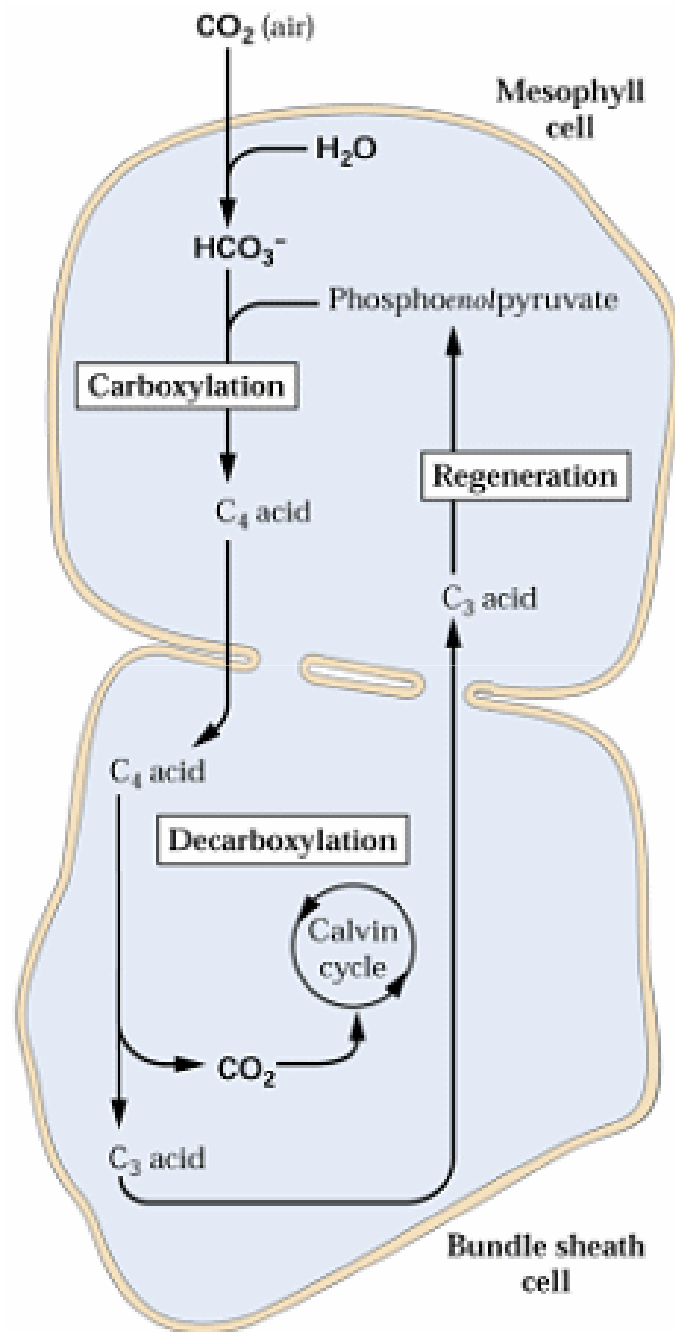
DECARBOSSILAZIONE

l'acido C_4 viene decarbossilato, con liberazione di CO_2 , che entra nel ciclo di Calvin



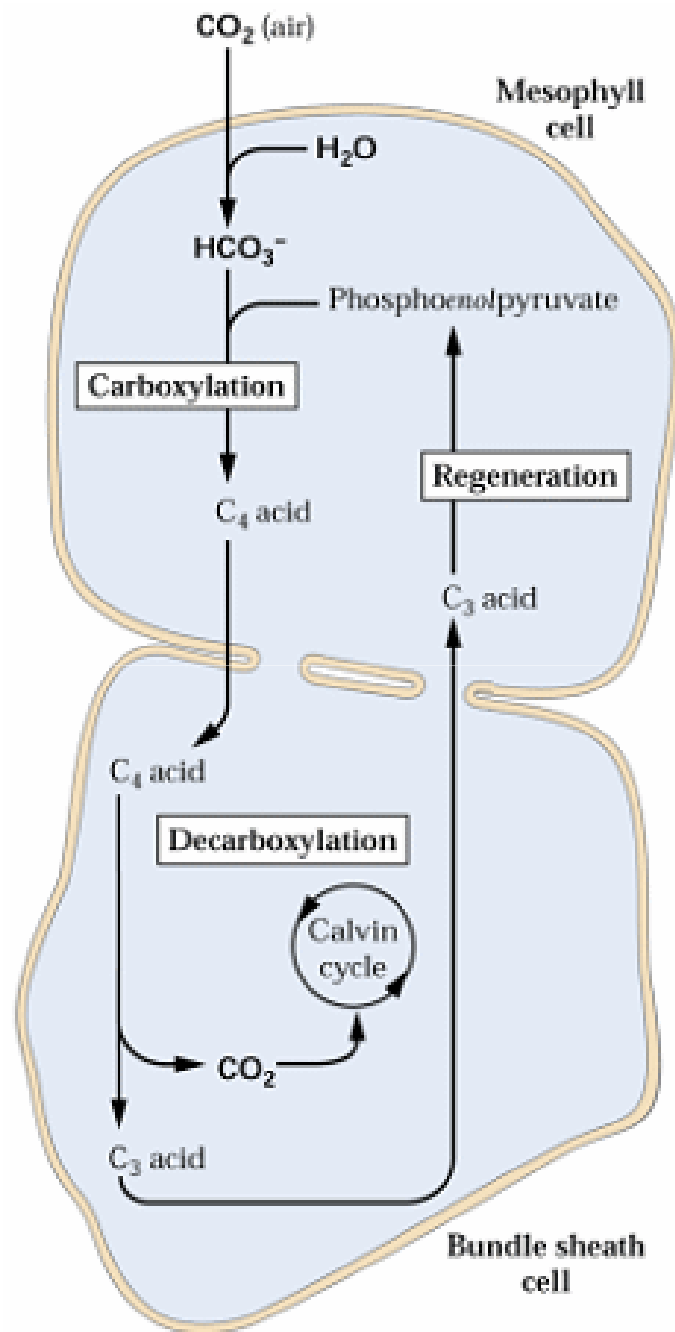
TRASPORTO

l'acido C_3 viene trasportato
nelle cellule del mesofillo



RIGENERAZIONE

il fosfoenolpiruvato viene
rigenerato

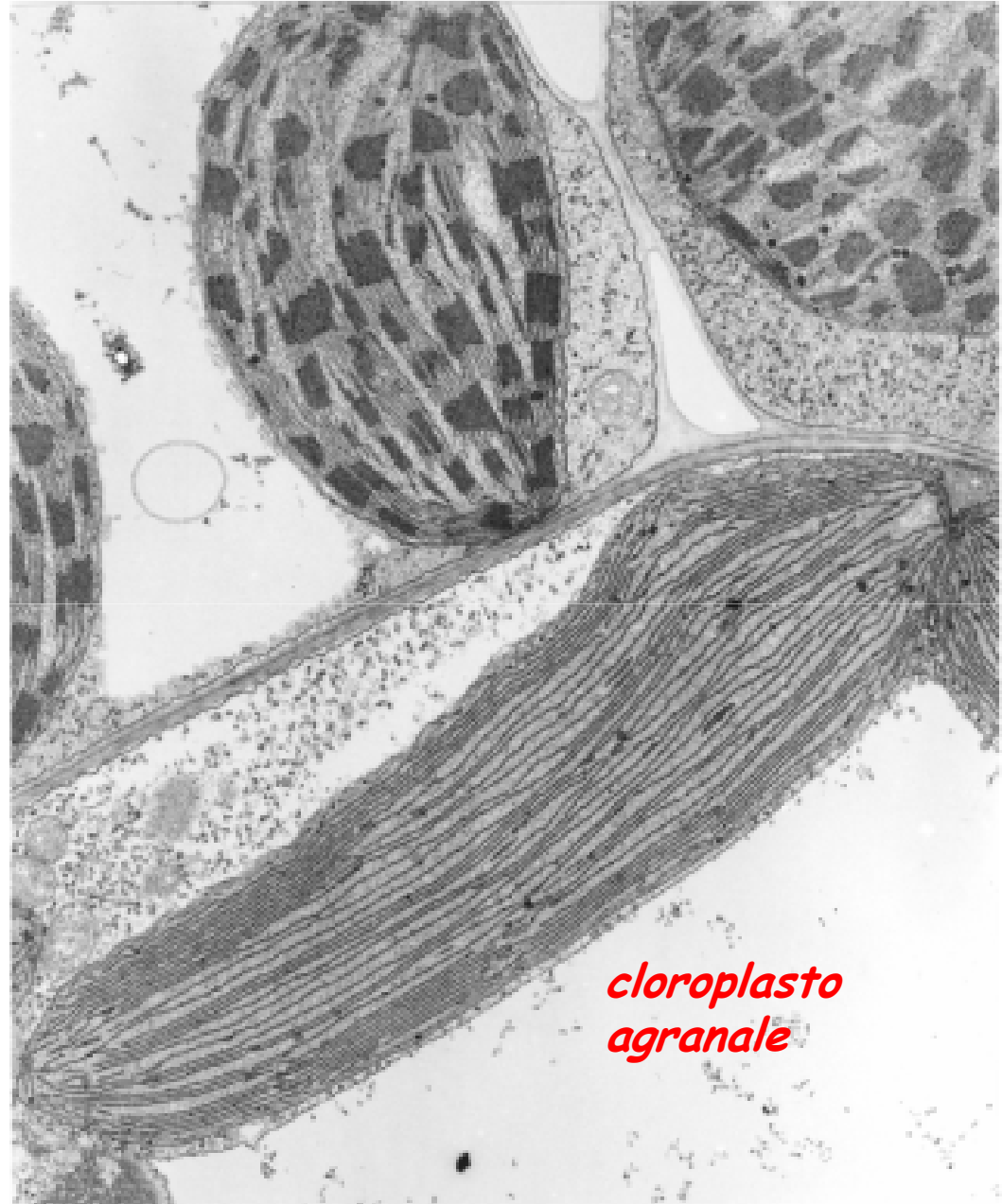


RISULTATO

+ CO_2 nei pressi della Rubisco

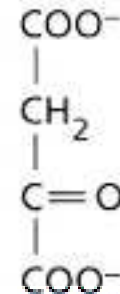
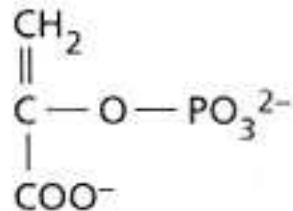
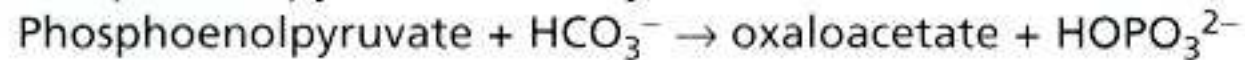
- fotorespirazione

i cloroplasti delle cellule della
guaina del fascio hanno una
morfologia particolare



il fosfoenolpiruvato viene
carbossilato a ossalacetato

1. *Phosphoenolpyruvate carboxylase*



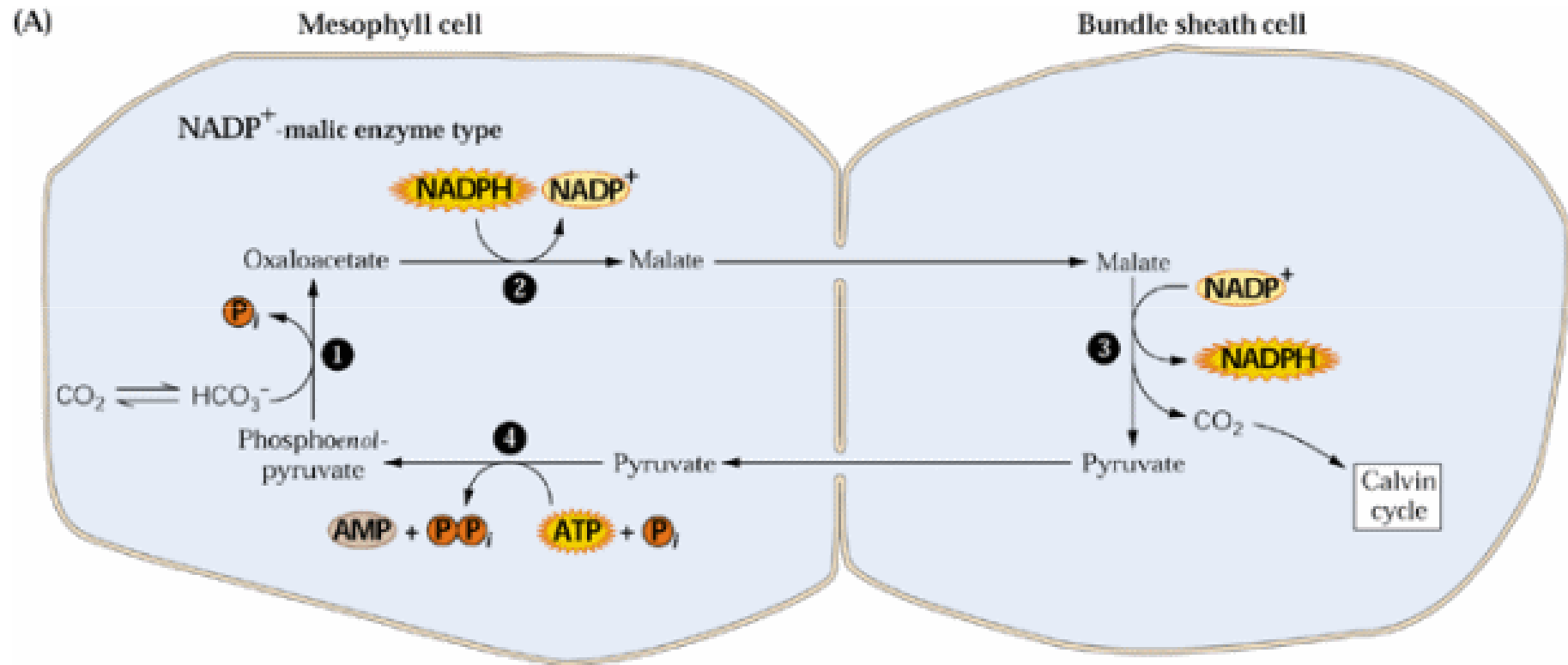
esistono tre varianti del ciclo C4

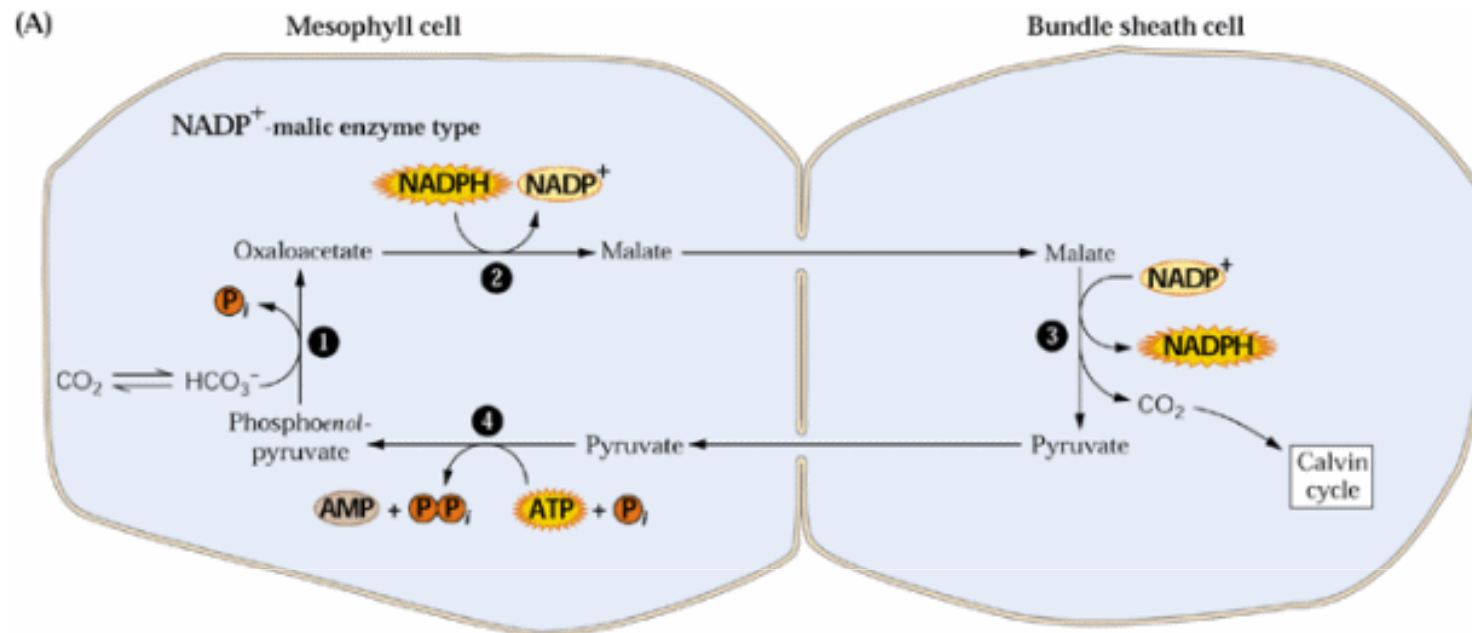
a seconda dell'acido C4 trasportato nelle cellule
della guaina del fascio

a seconda della modalità di decarbossilazione

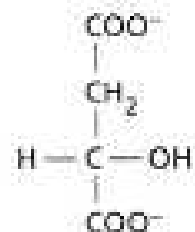
I enzima malico NADP⁺ dipendente

mais, canna da zucchero

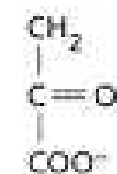
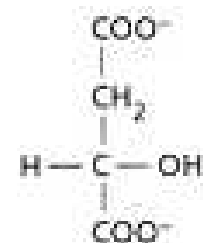


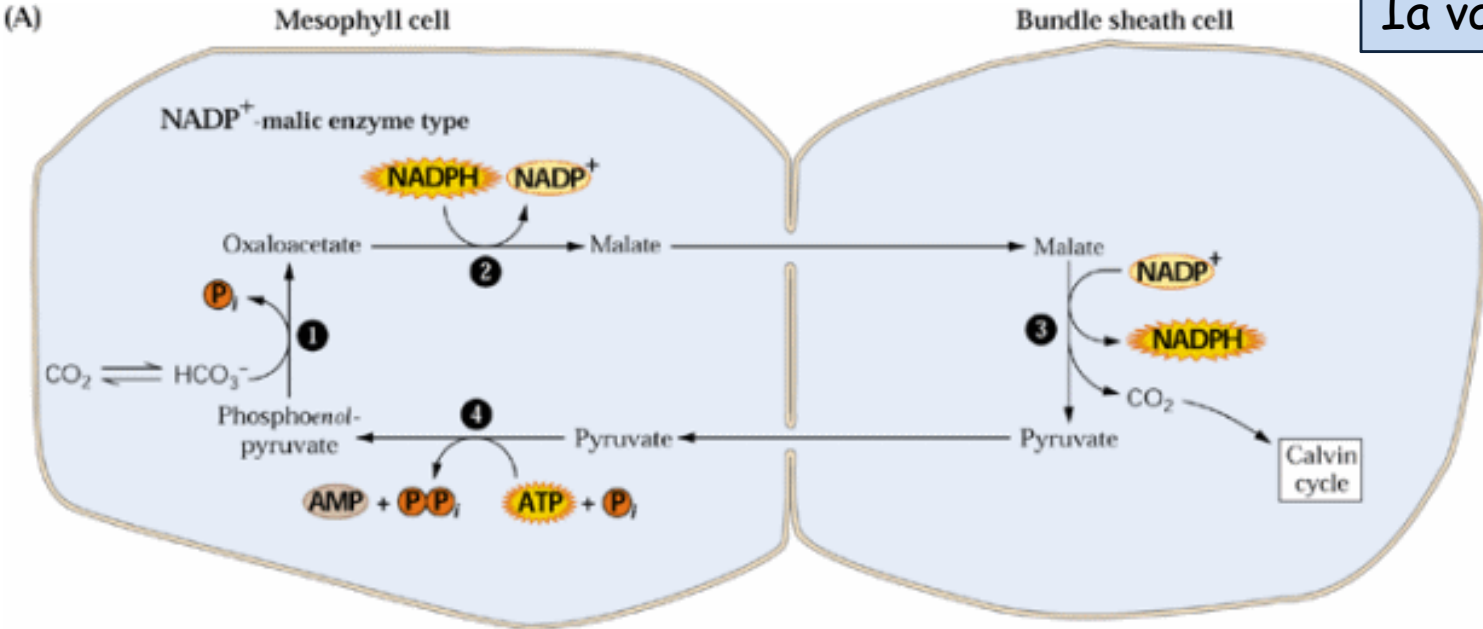


NADP:malate dehydrogenase

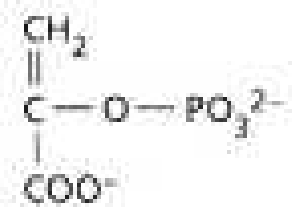


NAD(P) malic enzyme





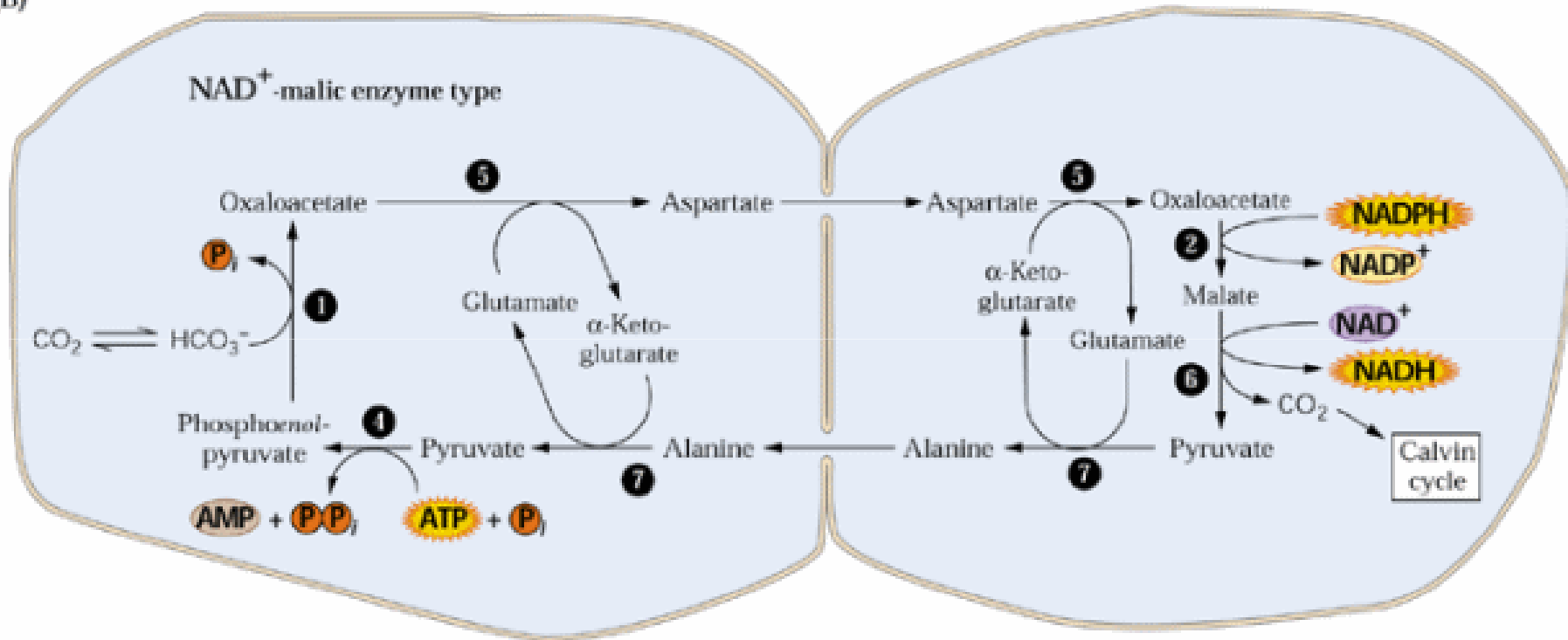
Pyruvate-orthophosphate dikinase



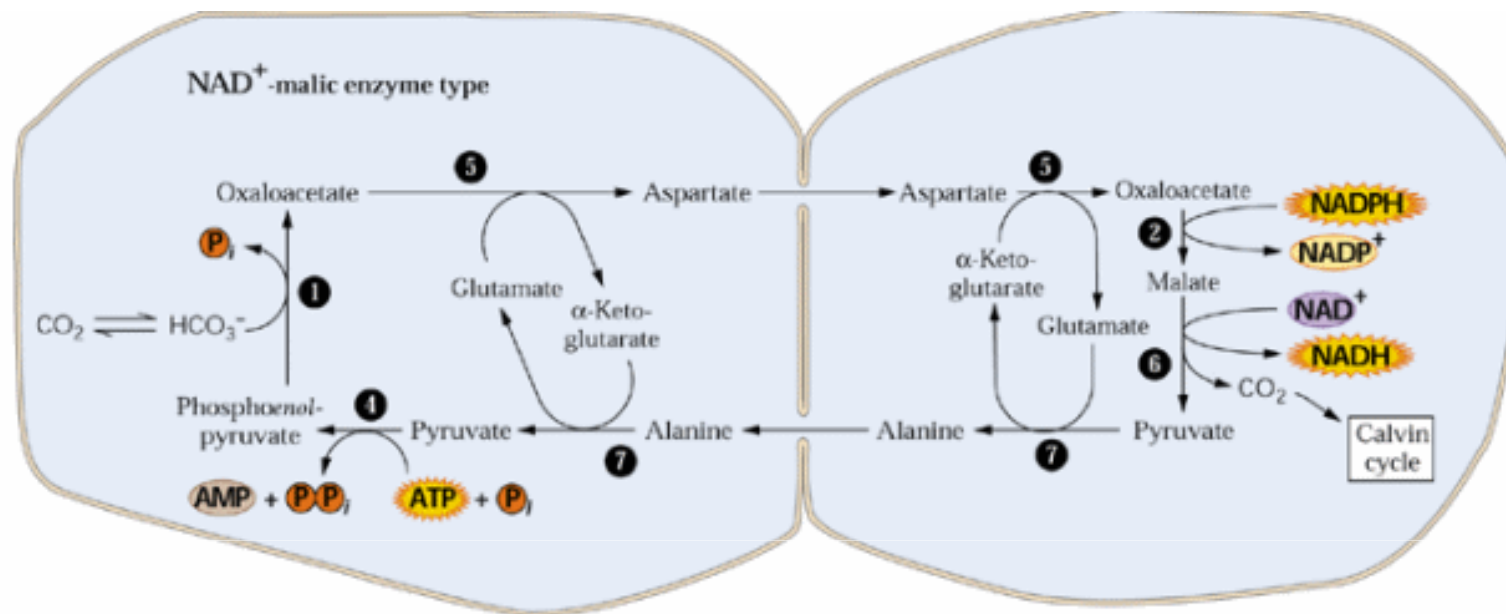
II enzima malico NAD⁺ dipendente

panico

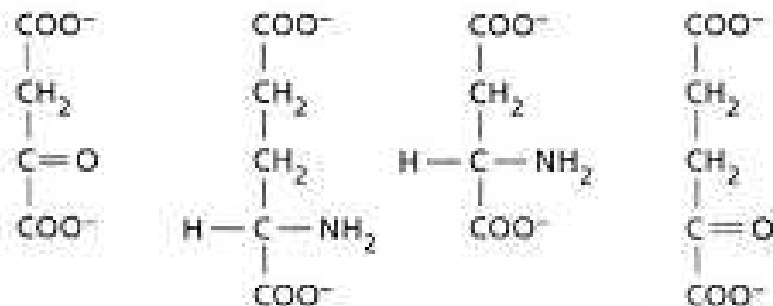
(B)



II variante



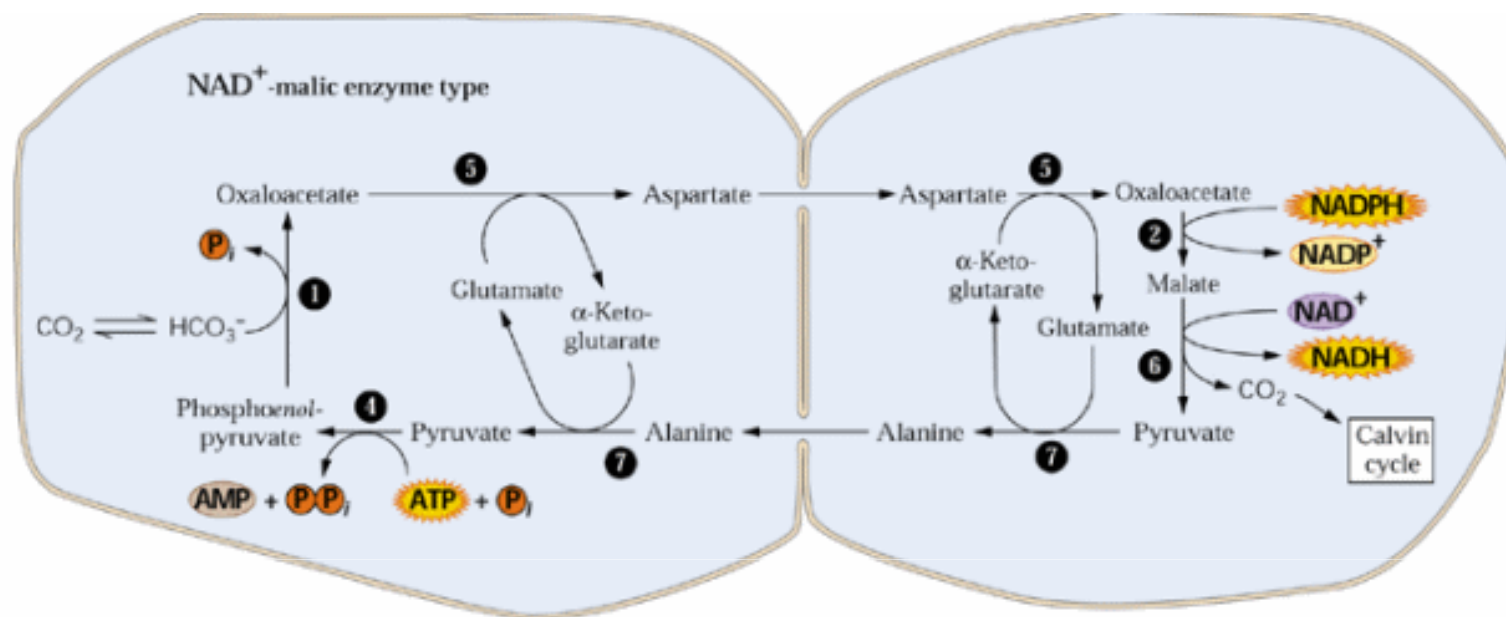
. Aspartate aminotransferase



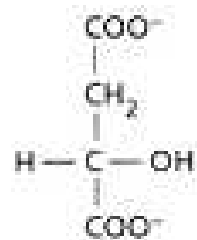
NADP:malate dehydrogenase



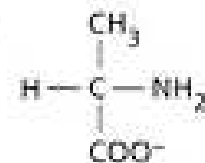
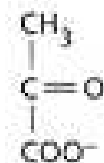
II variante



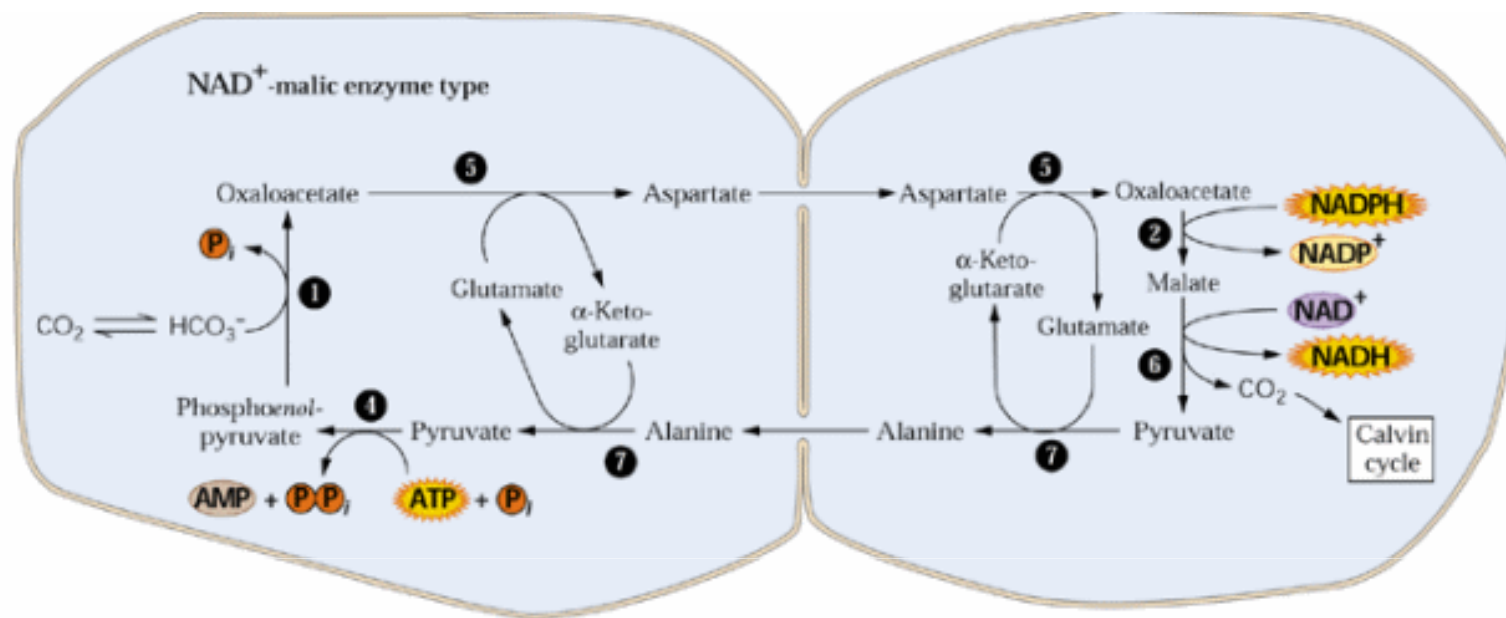
NAD(P) malic enzyme



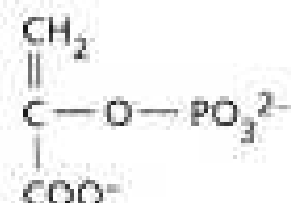
Alanine aminotransferase



II variante



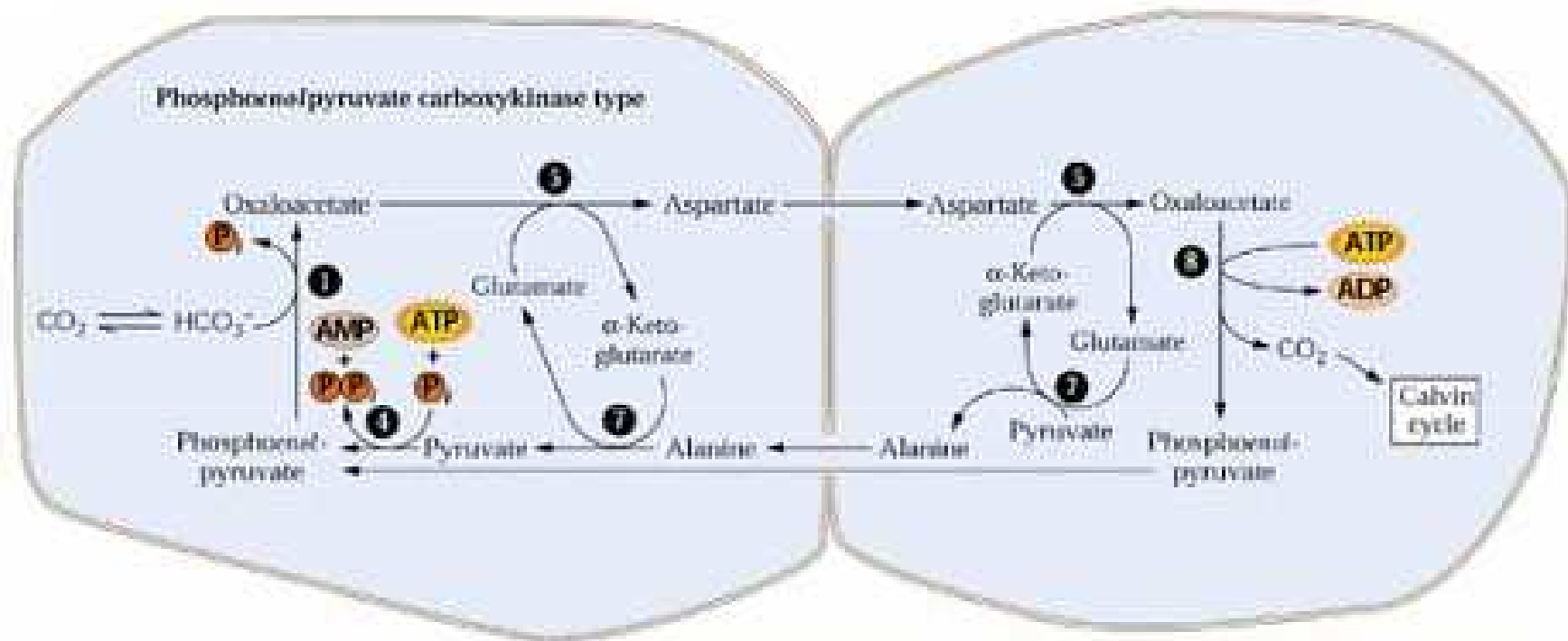
Pyruvate-orthophosphate dikinase



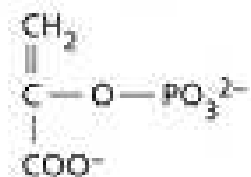
III

fosfoenolpiruvato carbossichinasi

miglio

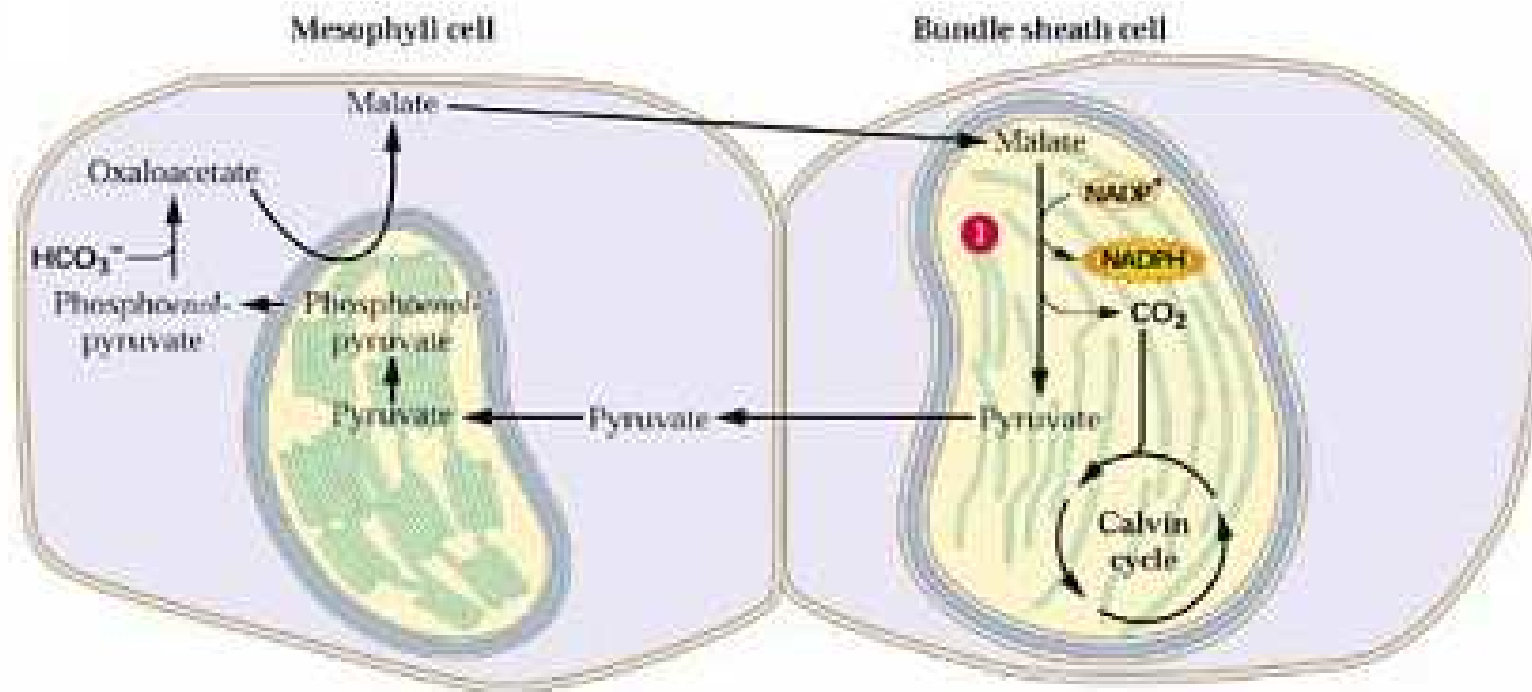


Phosphoenolpyruvate carboxykinase



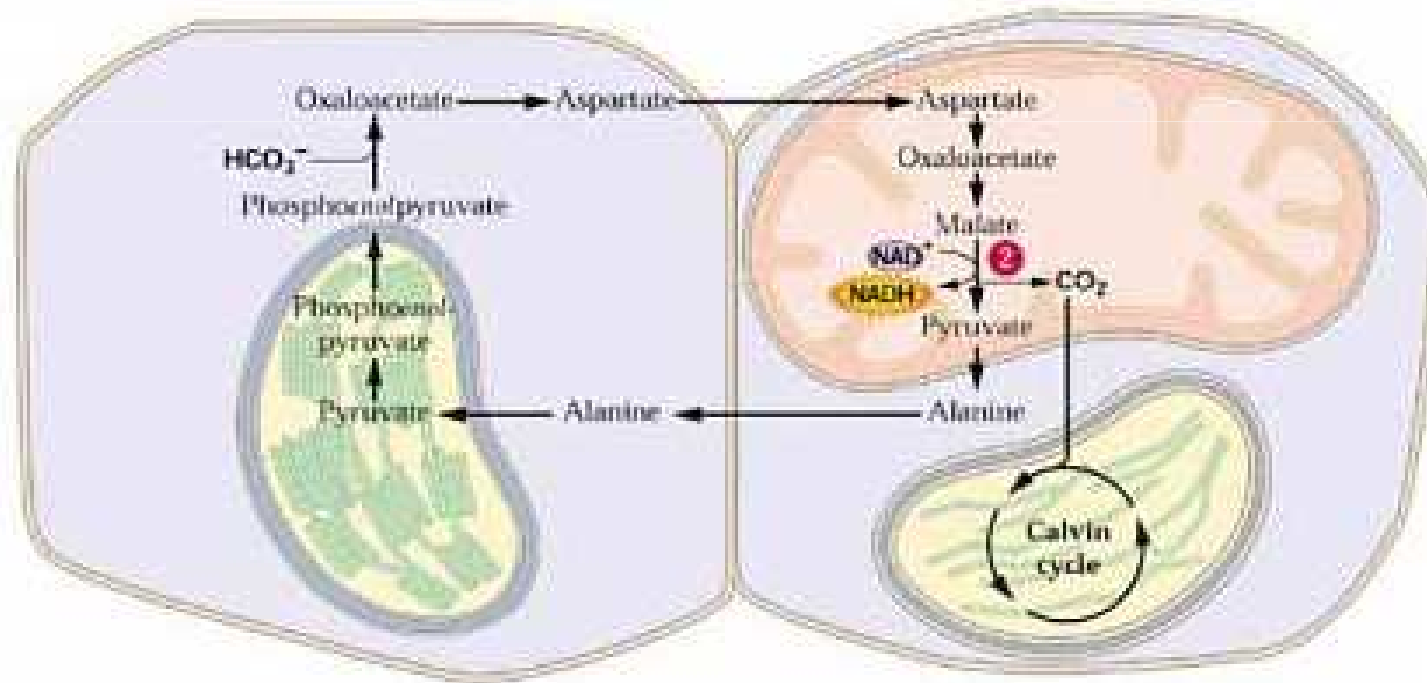
nelle tre varianti le reazioni avvengono in
compartimenti differenti

I variante



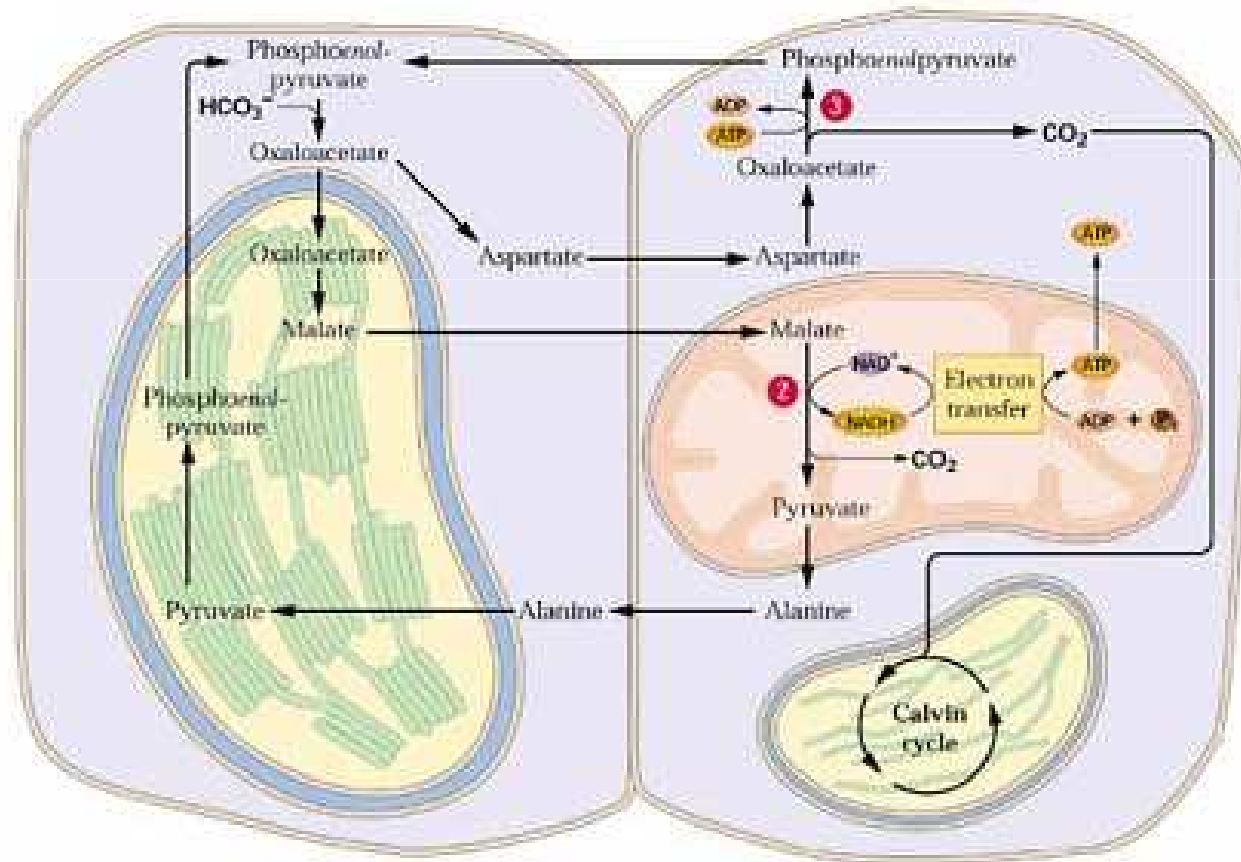
nelle tre varianti le reazioni avvengono in
compartimenti differenti

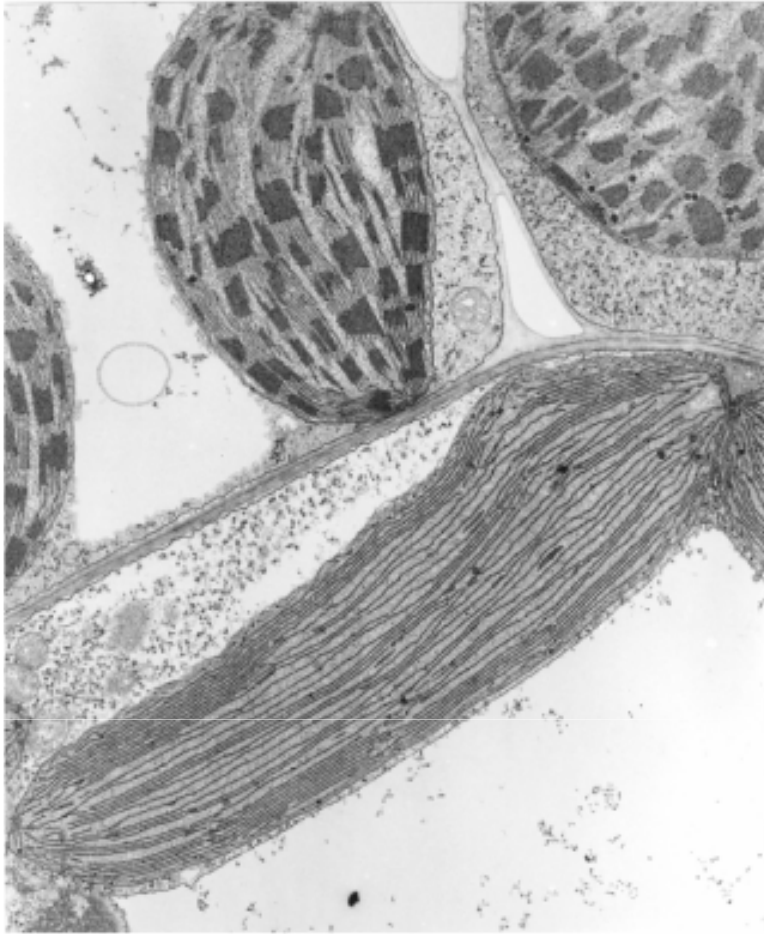
II variante



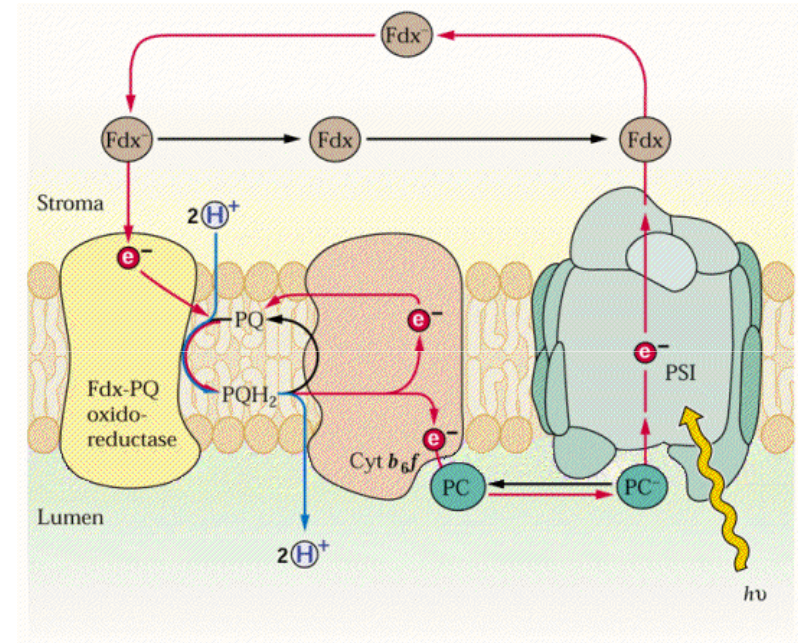
nelle tre varianti le reazioni avvengono in
compartimenti differenti

III variante





ATP



NADPH → decarbossilazione malato
 → flusso 3-PGA-trioso fosfati

REGOLAZIONE CICLO C4

necessaria coordinazione tra attività cellule mesofillo e guaina del fascio

regolazione luce/buio

PEP carbossilasi

malato deidrogenasi

piruvato-ortofosfato dichinasi

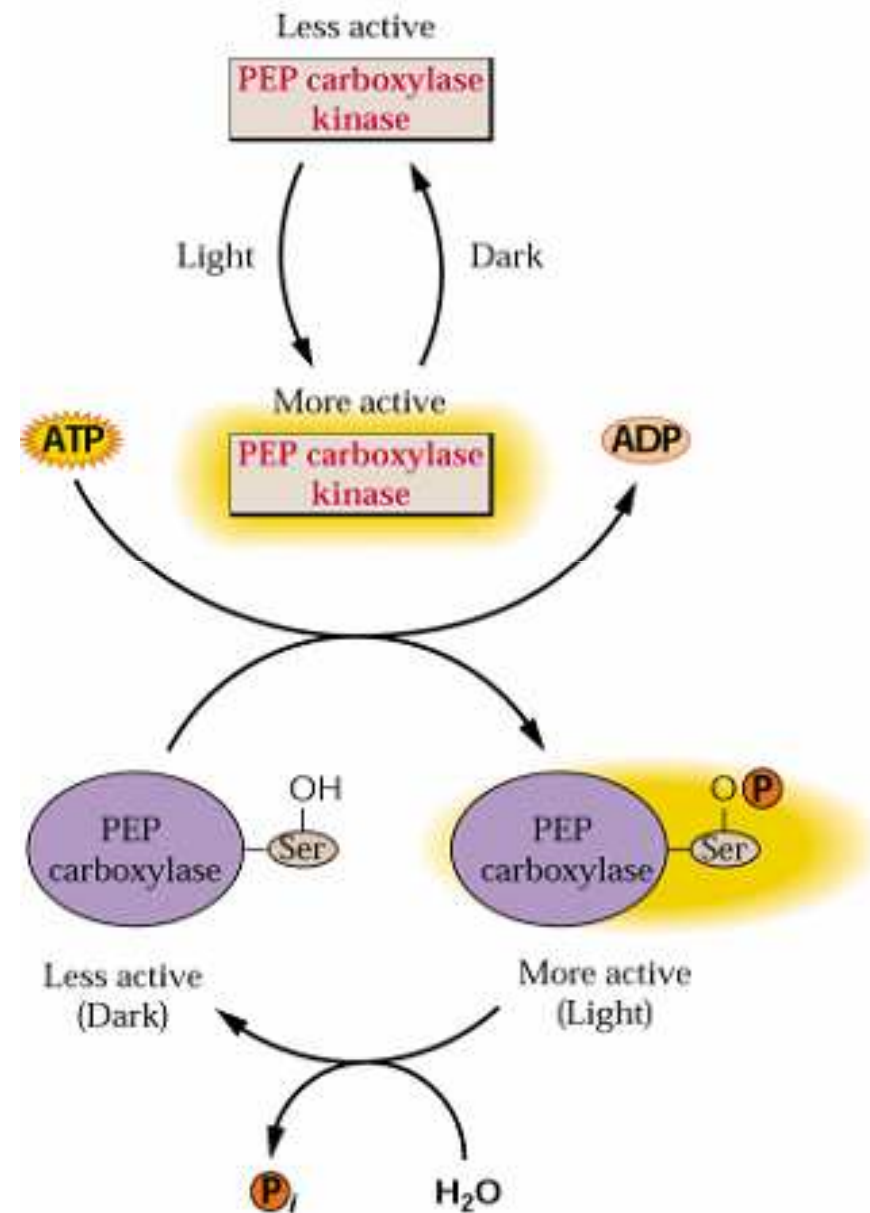
PEP carbossilasi

buio

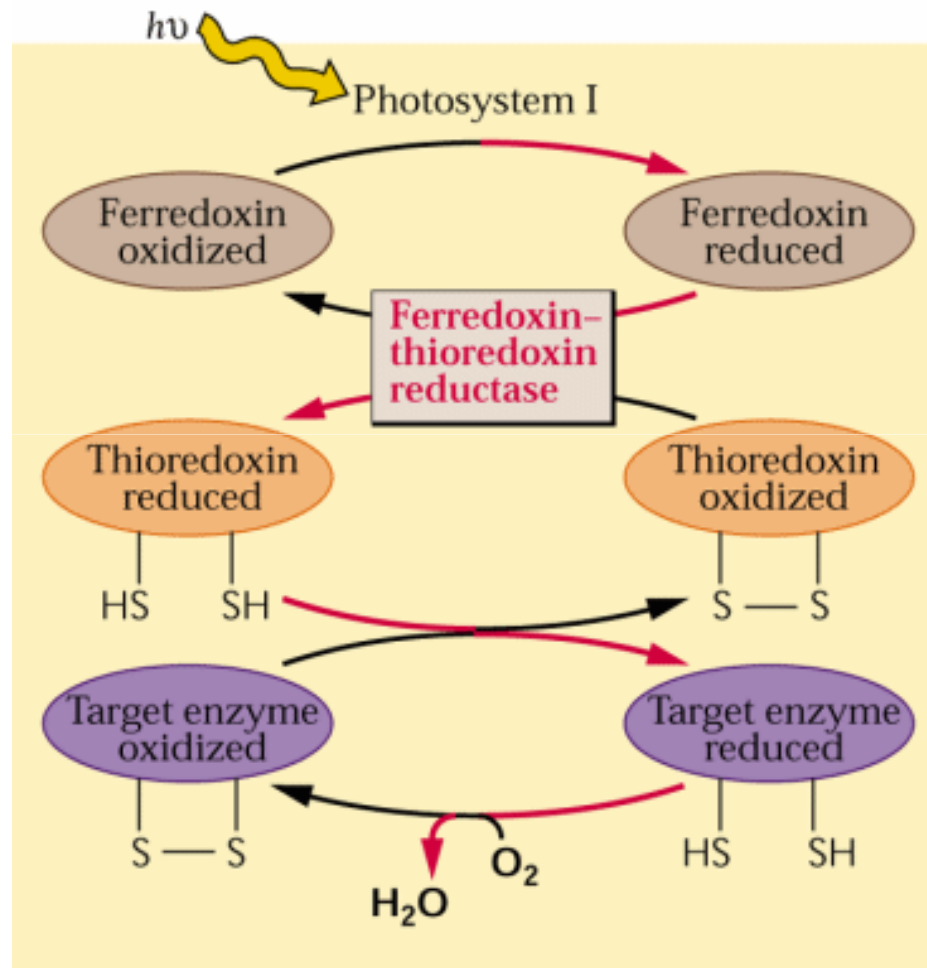
bassa affinità per il PEP
sensibile all'inibizione del malato

luce

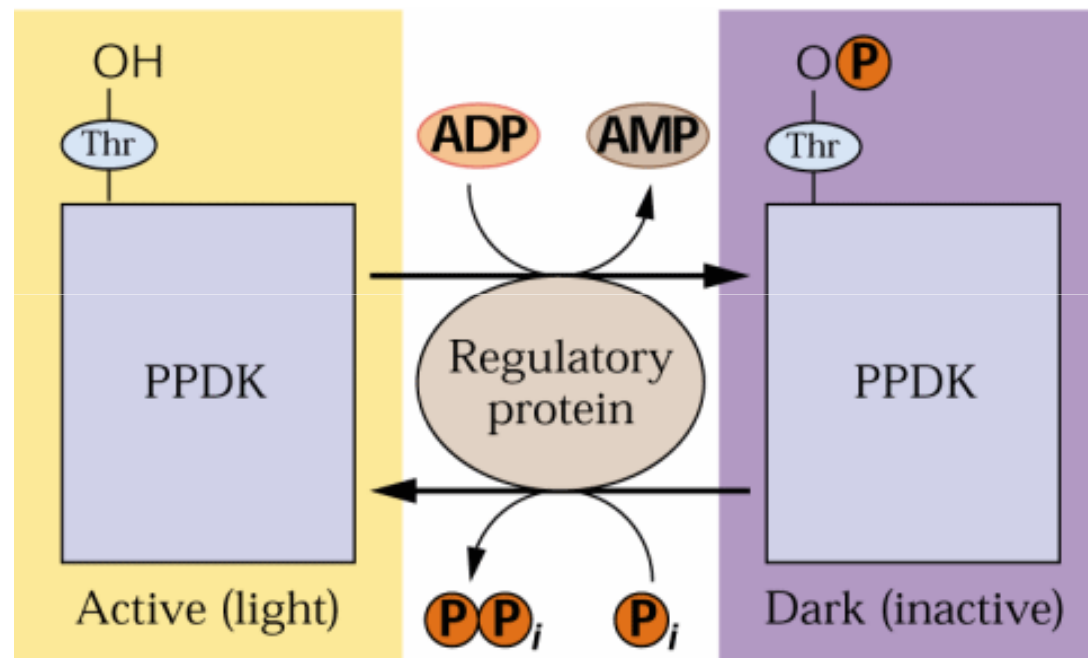
alta affinità per il PEP
insensibile al malato



Malato deidrogenasi



Piruvato-ortofosfato dichinasi



Fosforilazione ADP-dipendente
Defosforilazione P_i dipendente

TABLE 8.4
Energetics of the C₄ photosynthetic carbon cycle

Phosphoenolpyruvate + H ₂ O + NADPH + CO ₂ (mesophyll)	→	malate + NADP ⁺ + P _i (mesophyll)
Malate + NADP ⁺	→	pyruvate + NADPH + CO ₂ (bundle sheath)
Pyruvate + P _i + ATP	→	phosphoenolpyruvate + AMP + PP _i (mesophyll)
PP _i + H ₂ O	→	2 P _i (mesophyll)
AMP + ATP	→	2ADP
Net: CO ₂ (mesophyll) + ATP + 2 H ₂ O → CO ₂ (bundle sheath) + 2ADP + 2 P _i		
Cost of concentrating CO ₂ within the bundle sheath cell = 2 ATP per CO ₂		

Note: As shown in reaction 1 of Table 8.3, the H₂O and CO₂ shown in the first line of this table actually react with phosphoenolpyruvate as HCO₃⁻.

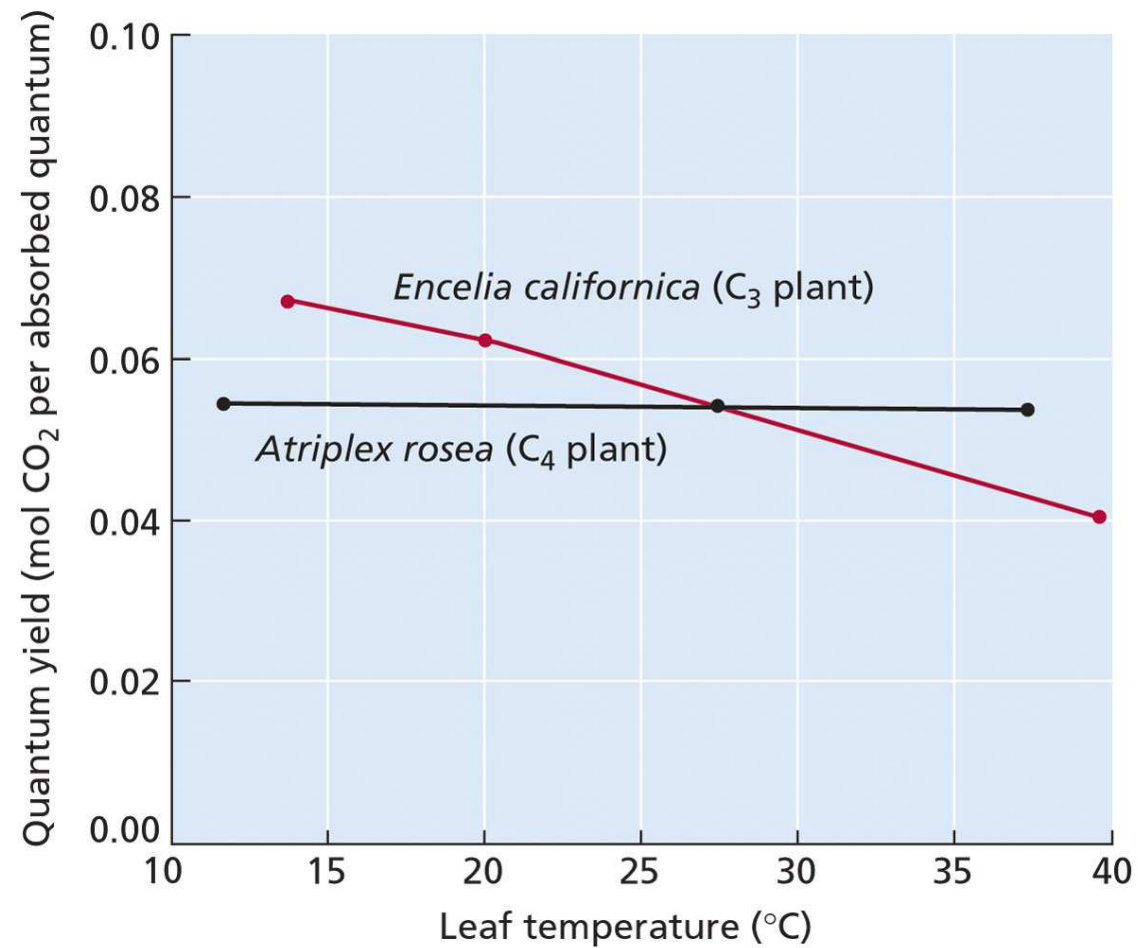
P_i and PP_i stand for inorganic phosphate and pyrophosphate, respectively.

PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Table 8.4 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

C₄ 2 ATP per CO₂ trasportata
Calvin 3 ATP + 2 NADPH per CO₂ fissata
totale 5 ATP + 2 NADPH per CO₂ fissata

**C₄ → concentrazione CO₂ contro
 gradiente chimico**

a basse temperature il ciclo
C4 non è redditizio



PEP carbossilasi

no attività
ossigenasica

altissima affinità
per l' HCO_3^-



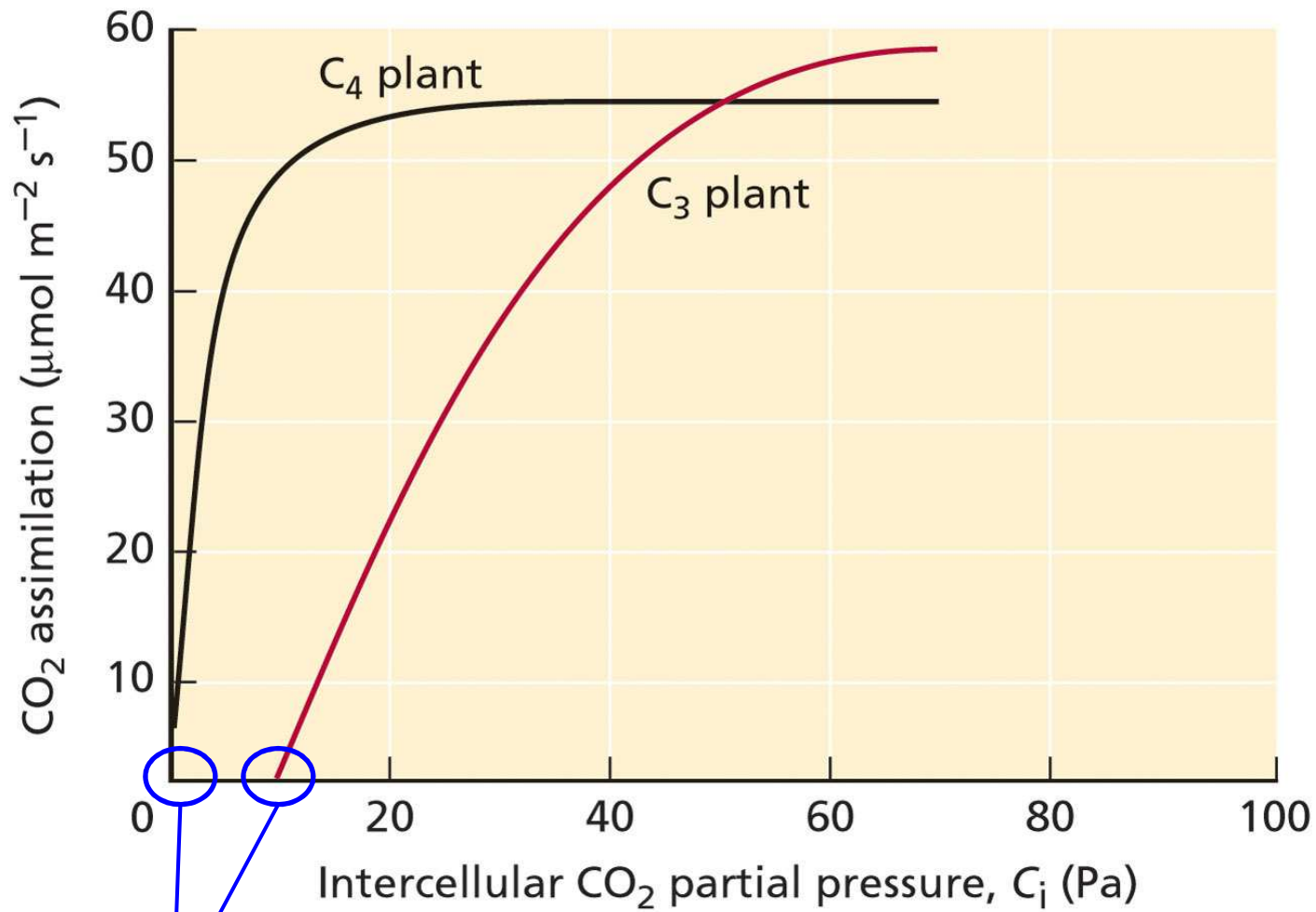
Il metabolismo C4 è caratterizzato
da un basso punto di
compensazione della CO_2



Alta velocità di fotosintesi anche
con basse conduttanze stomatiche

PUNTO DI COMPENSAZIONE

pCO_2 alla quale l'organizzazione
fotosintetica bilancia l'emissione
di CO_2



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 9.20 (Part 2) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

Punto di compensazione
della CO₂

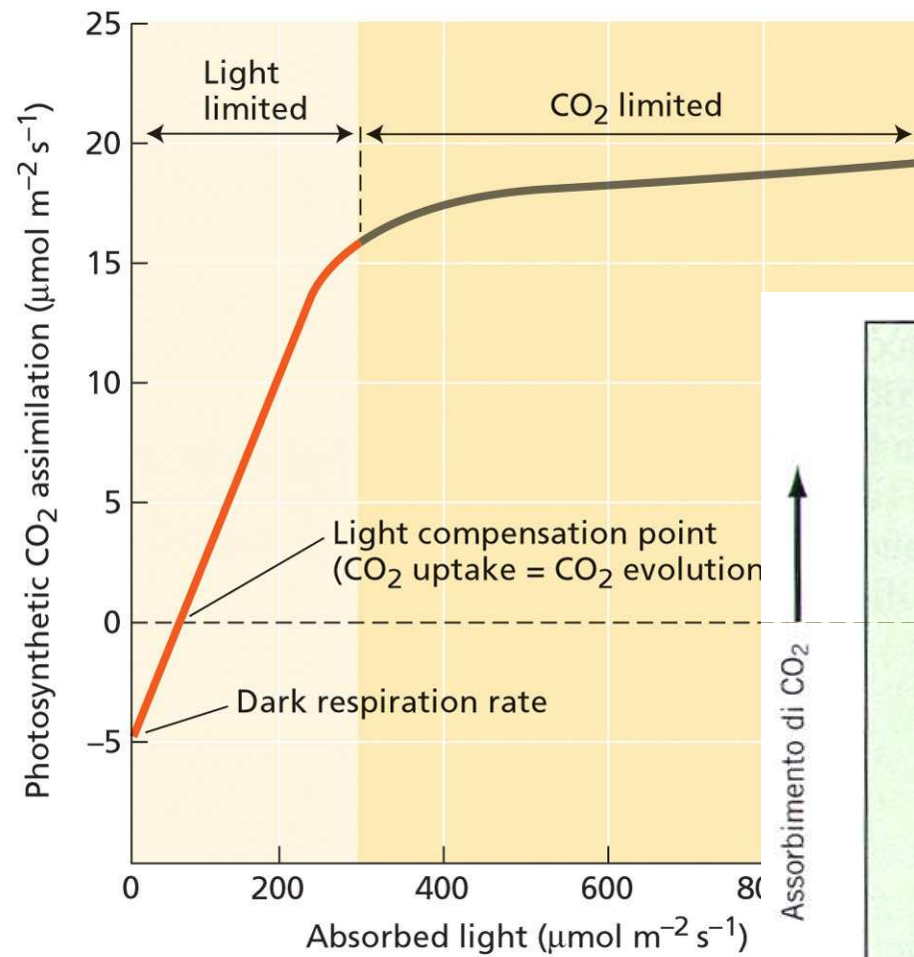
Le piante C4 possono “permettersi” di tenere gli stomi più chiusi

C3

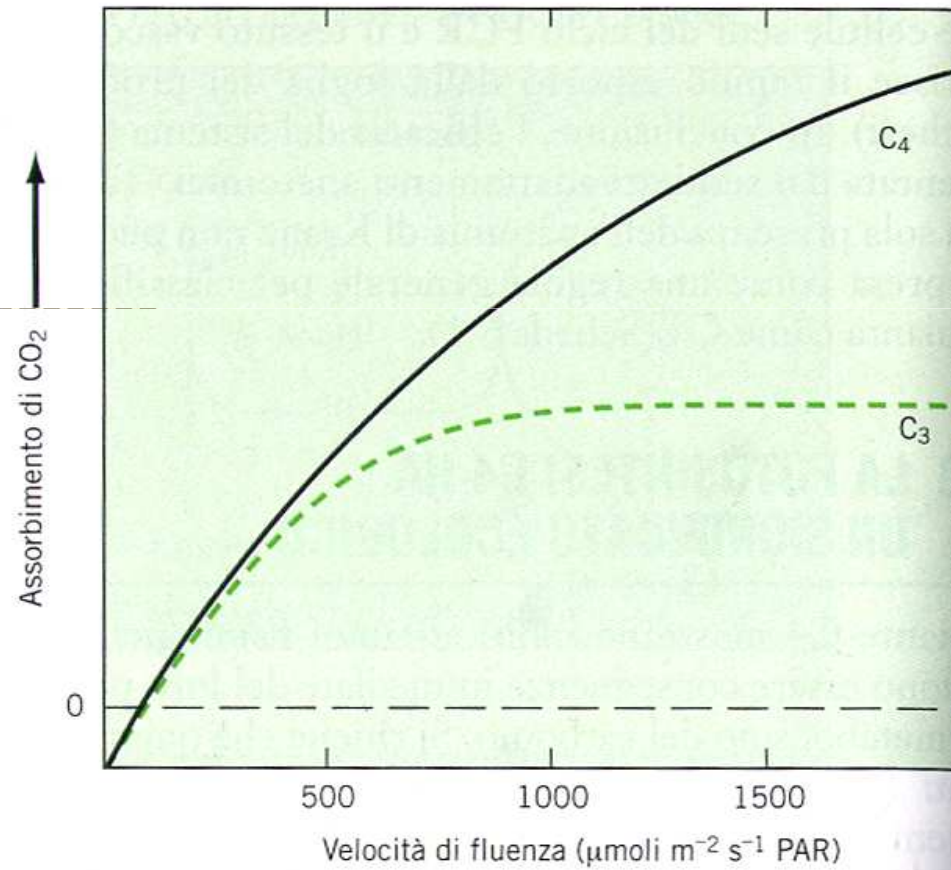
500 g H₂O / g CO₂ fissata

C4

400 g H₂O / g CO₂ fissata



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 9.8 © 2



PIANTE C4

3% delle angiosperme



30% produttività



canna da zucchero



mais



sorgo

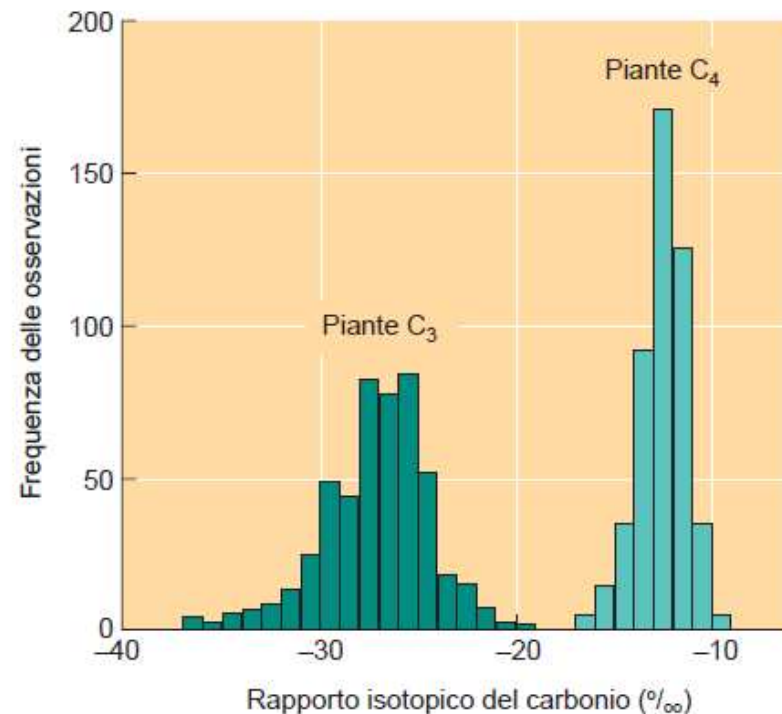
Le piante C3 e le piante C4 hanno un diverso rapporto isotopico del C

Nell'atmosfera: $^{12}\text{CO}_2 \rightarrow 98,9 \%$
 $^{13}\text{CO}_2 \rightarrow 1,1 \%$

$$\text{Rapporto isotopico del C: } \delta^{13}\text{C}\text{‰} = \left(\frac{R_{\text{campione}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000 \quad R = \frac{^{13}\text{CO}_2}{^{12}\text{CO}_2}$$

$^{13}\text{CO}_2$ diffonde meno bene della $^{12}\text{CO}_2 \rightarrow$ nelle piante rapporto isotopico negativo

Le piante C3 hanno un $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ più negativo delle piante C4
La PEP carbossilasi ha una capacità discriminante tra $^{13}\text{CO}_2$ e $^{12}\text{CO}_2$ minore

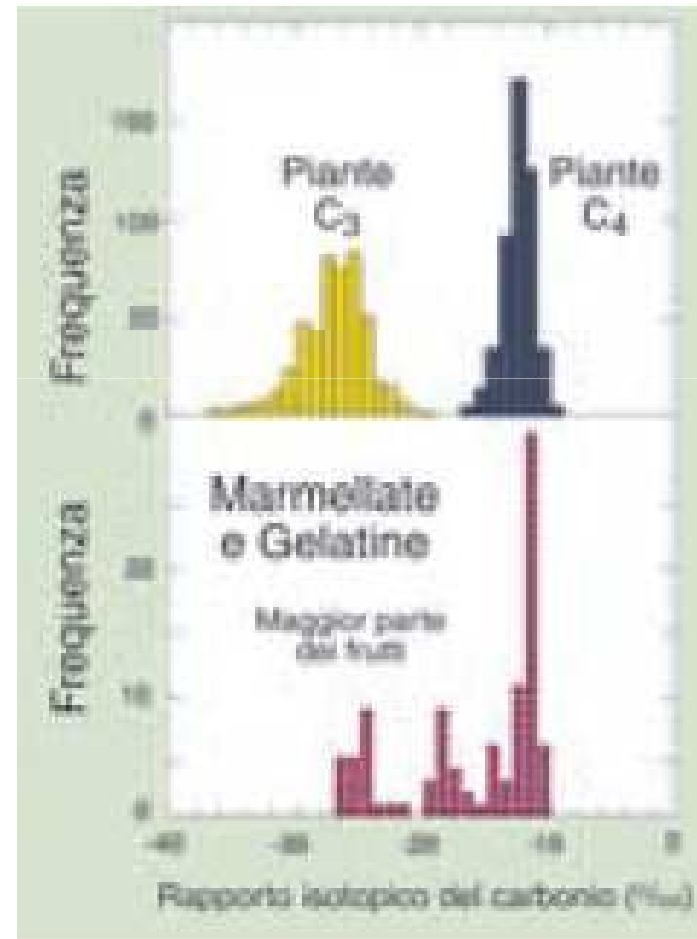


Il rapporto isotopico del C può essere usato per valutare l'eventuale adulterazione degli alimenti

Es. aggiunta zucchero nel miele o nelle marmellate



La maggior parte dei frutti sono C3



METABOLISMO ACIDO DELLE CRASSULACEE (CAM)



Bryophyllum calycinum

METABOLISMO ACIDO DELLE CRASSULACEE (CAM)



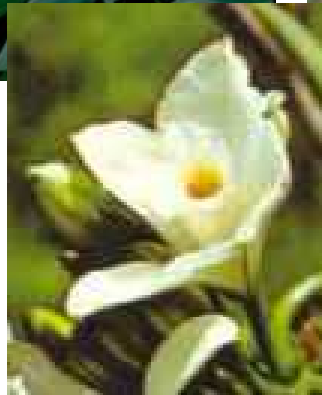
agave



ananas



cactacee



vaniglia



orchidea

le piante CAM limitano la perdita di H_2O

C3

500 g H_2O / g CO_2 fissata

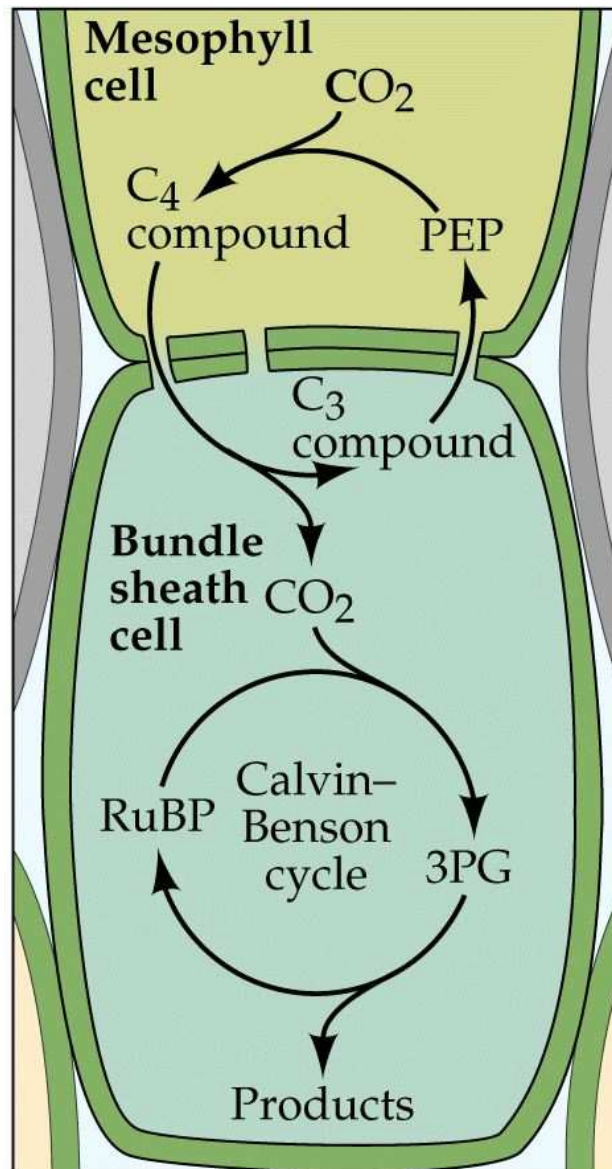
C4

400 g H_2O / g CO_2 fissata

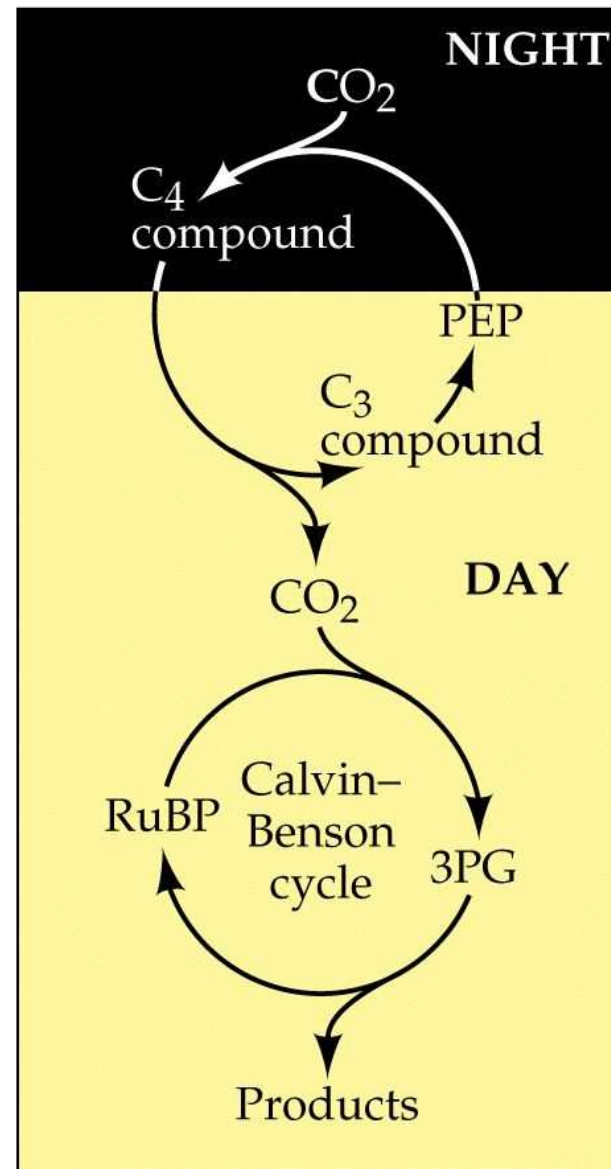
CAM

100 g H_2O / g CO_2 fissata

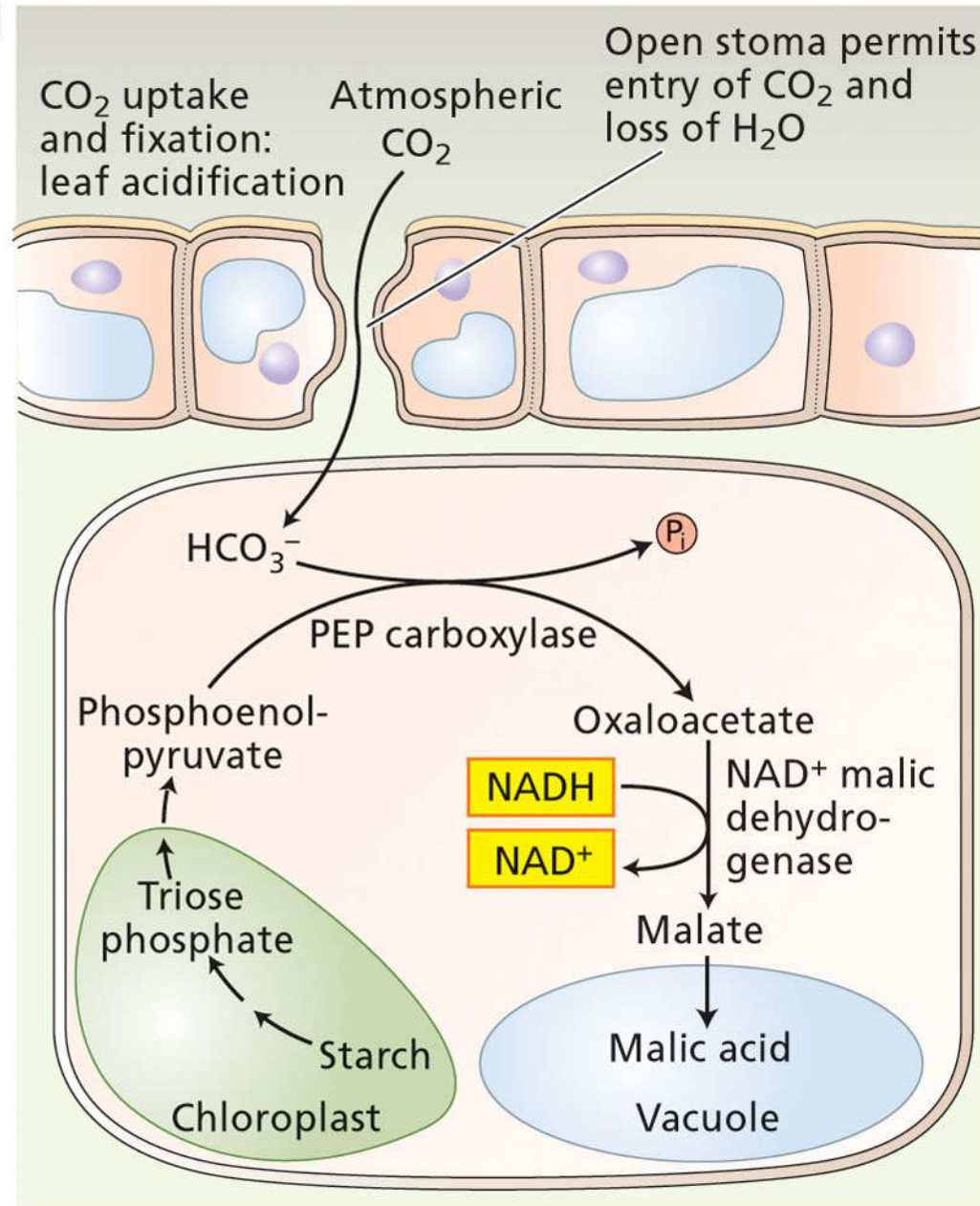
C4



CAM

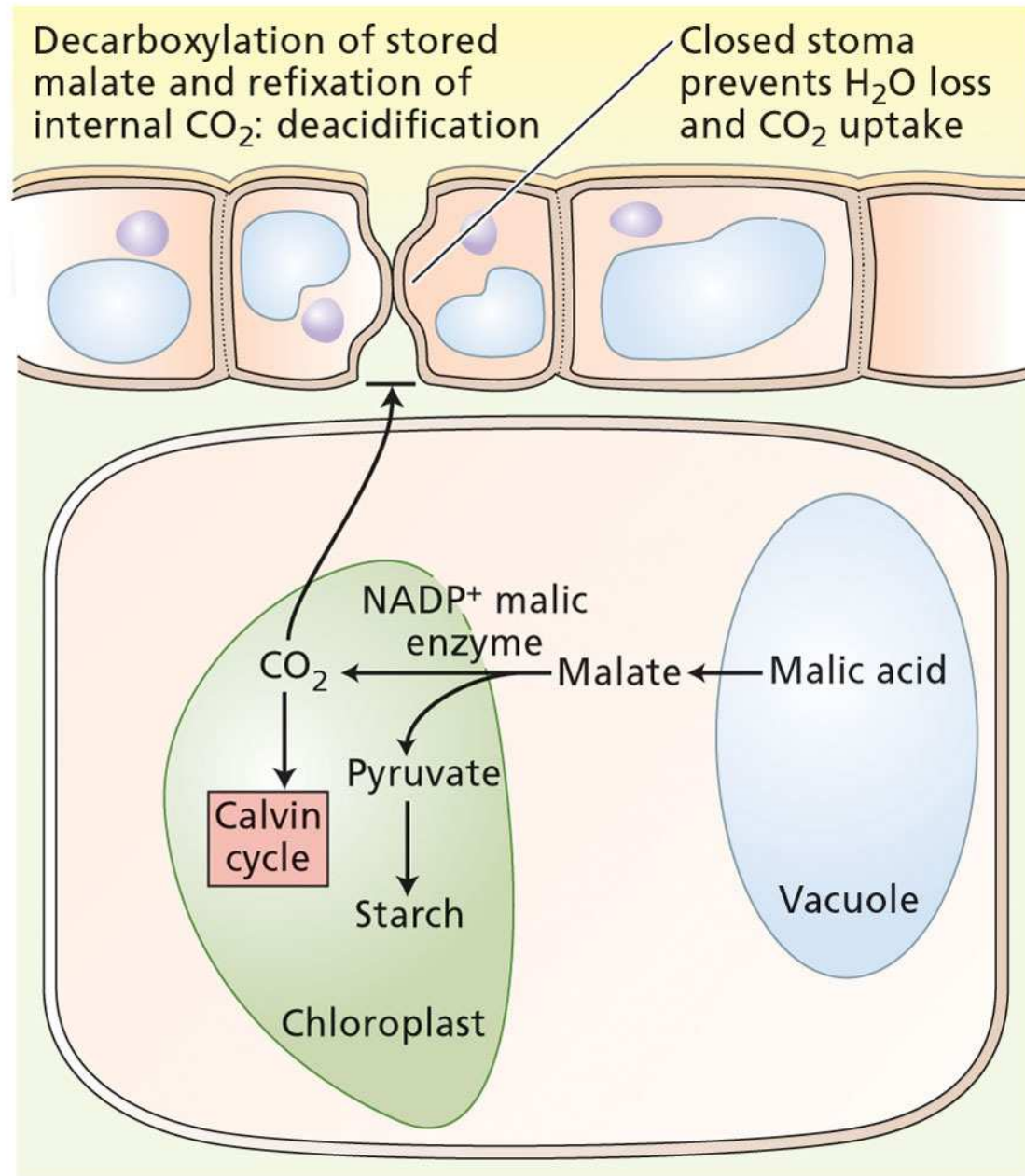


BUIO
STOMI APERTI



**[acido malico]
= 0.2 - 0.3 M**

LUCE
STOMI CHIUSI



Regolazione PEP carbossilasi piante CAM

