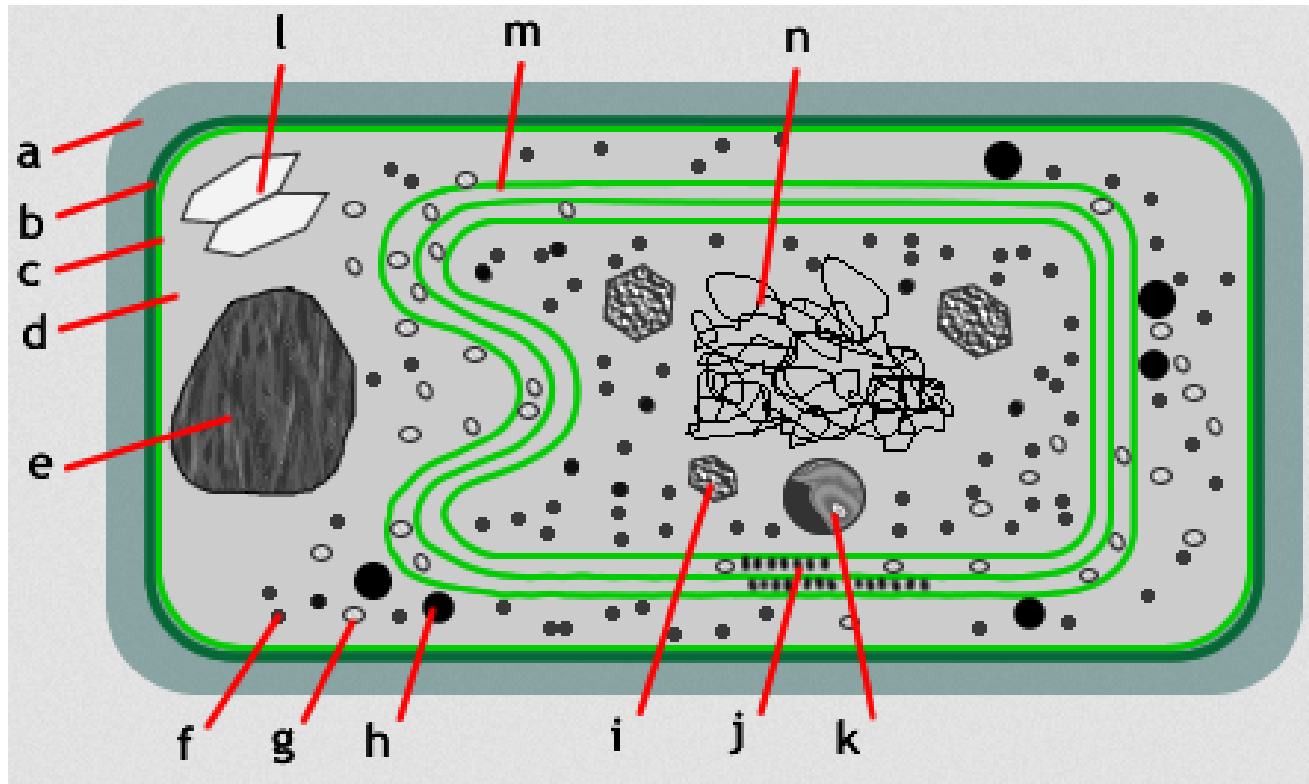


# Quali strutture possiamo trovare all'interno del citoplasma della cellula procariotica?

Granuli di riserva, organuli citoplasmatici, membrane, ribosomi , nucleotide .....



**e**, granuli di cianoficina, **g**, granuli di glicogeno; **i**, carbossisomi; **k**, granuli di polifosfati; **l**, vescicole gassose; **m**, membrane tilacoidi

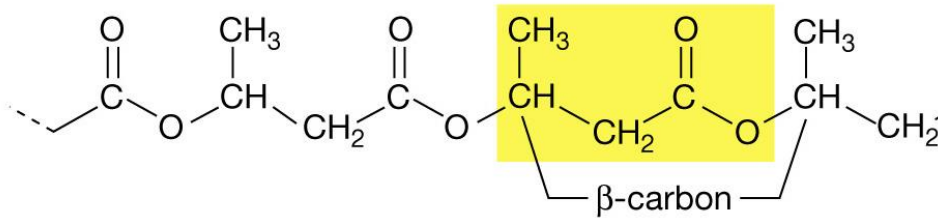
## GRANULI DI RISERVA

I procarioti accumulano nel citoplasma un' ampia varietà di materia organica ed inorganica come nutrienti di riserva. Quasi tutte le sostanze sono presenti come **GRANULI** o **INCLUSIONI** e sono conservate sotto forma di polimeri (per mantenere più bassa la pressione osmotica intracellulare). La maggior parte delle inclusioni sono circondate da una sottile **membrana NON UNITARIA** costituita da un monostrato di lipidi

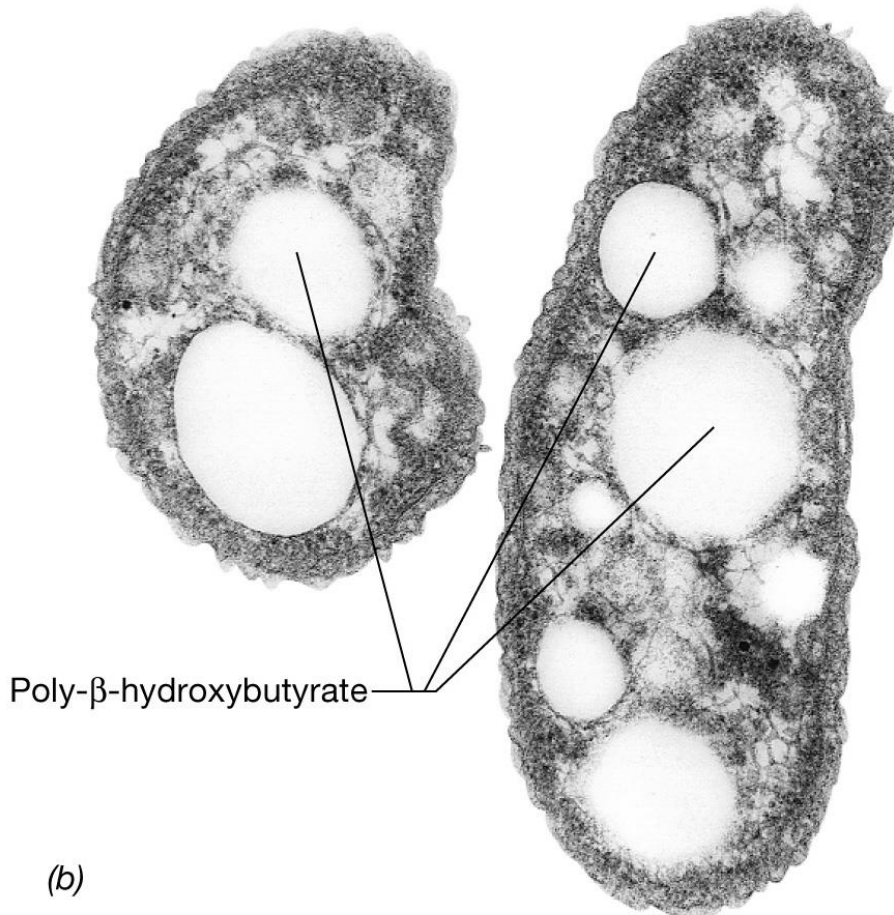
I principali composti organici accumulati sono

- **GLICOGENO**
- **AMIDO**
- **POLIALCANOATI**
- **POLIFOSFATI**
- **CIANOFICINA**

# Poli $\beta$ idrossialcanoati



(a)



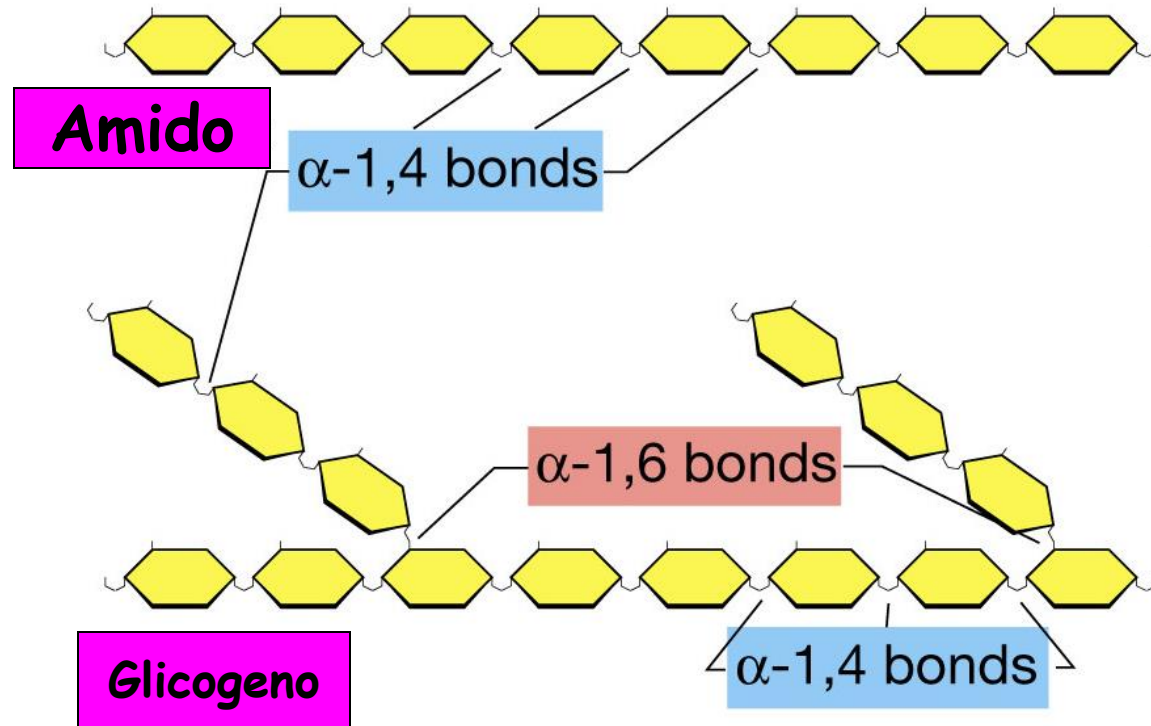
(b)

Granuli di poli  $\beta$  idrossibutirrato , un composto lipidico costituito da unità ripetute di acido poli idrossibutirrico legate da un legame estere e sintetizzato dall'Acetil CoenzimaA .

La lunghezza dei polimeri può variare con un numero di atomi di Carbonio tra 4 e 18

Prodotti sia dai Batteri che dagli Archea

**GLICOGENO** (presente anche in cellule animali ) e l'**AMIDO** (presente anche nelle alghe e cellule vegetali) possono formare piccoli grani o grandi strutture sferoidali.



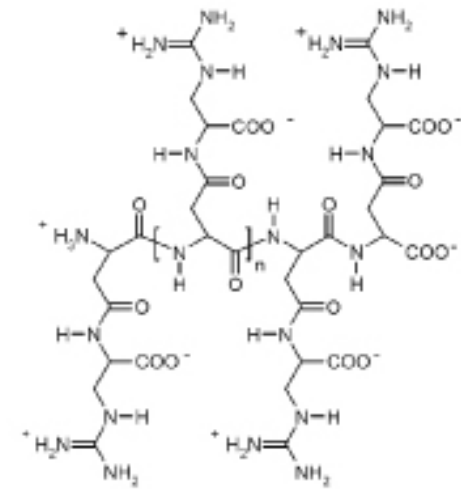
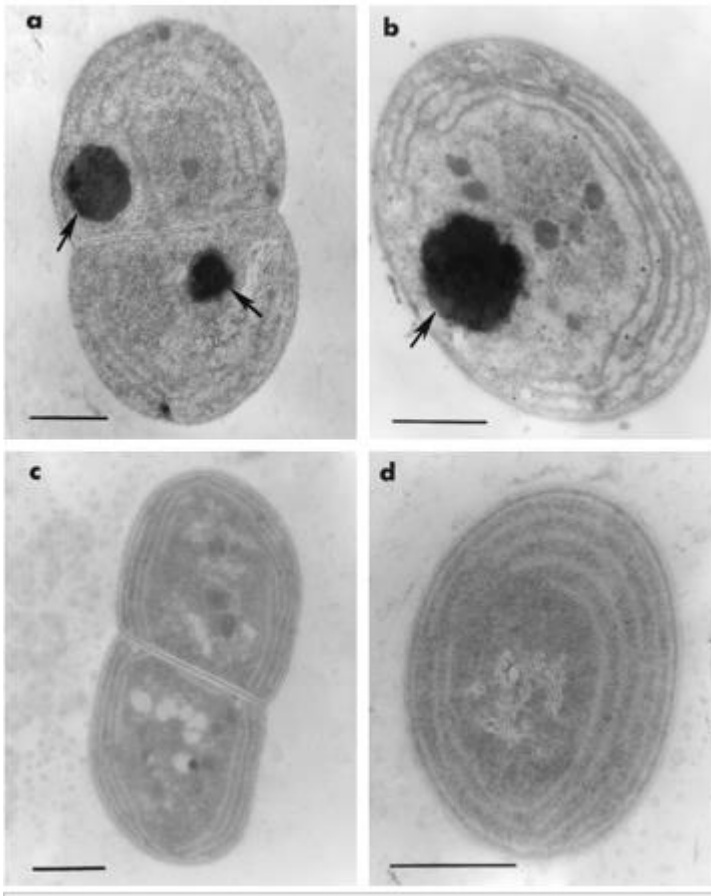
Costituiscono come gli polidrossialcanoati una fonte di riserva di carbonio e di energia e vengono prodotti quando i batteri si trovano in periodi di limitata disponibilità di azoto con carbonio organico in eccesso

Cianoficina presente unicamente nei cianobatteri .

È il solo granulo di riserva di azoto : in molti ambienti l'Azoto risulta spesso un elemento limitante :

- può essere usata come fonte di energia durante i processi di disgregazione
- granuli di cianoficina sono formati da un copolimero di acido aspartico con ciascun residuo di acido aspartico contenente un gruppo laterale di **arginina**.
- L'arginina deidrogenasi determina sintesi di ATP:





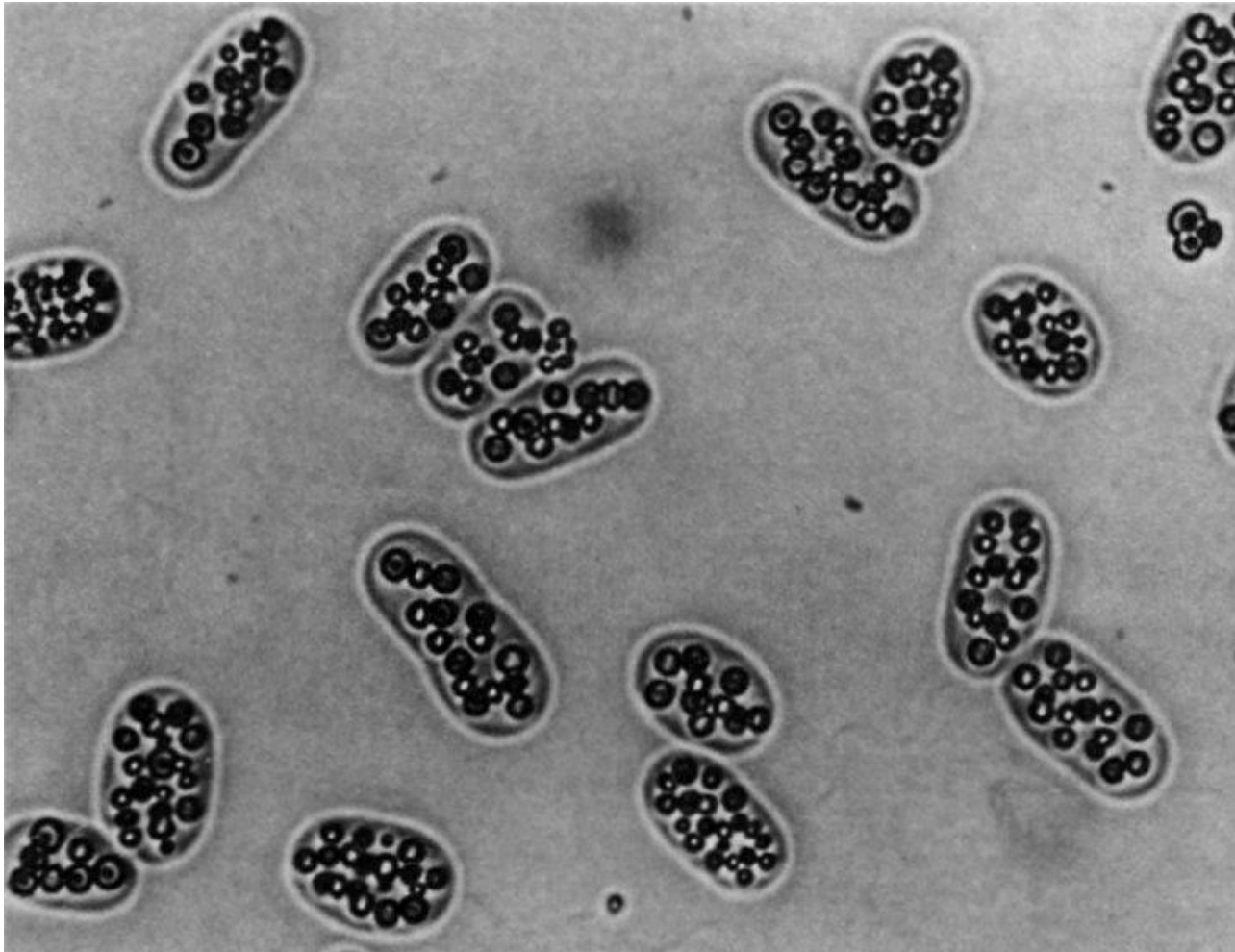
**Fig. 1. Chemical structure of cyanophycin ( $n = 90-400$ ).**

La cianoficina è costituita da uno scheletro di acido aspartico con residui di arginina legati a ciascun acido aspartico tramite gruppo aminico

Foto al Microscopio elettronico di granuli di cianoficina presenti nel cianobatterio *Synechococcus* (a,b). I granuli sono assenti nello stesso ceppo durante fase di crescita esponenziale (c,d). I granuli hanno margini irregolari e non sono legati alle membrane.

## Globuli solfurei

Alcuni batteri sono in grado di ossidare composti solfurei come idrogeno solforato o il tiosolfato in processi biosintetici o di produzione di energia .



All'interno della cellula si accumula zolfo elementare sotto forma di **GRANULI**.

In assenza di **ZOLFO** i granuli scompaiono in quanto lo **ZOLFO** si ossida e viene utilizzato dalla cellula

# MICROCOMPARTIMENTI CELLULARI O ORGANULI



# Carbossisomi.

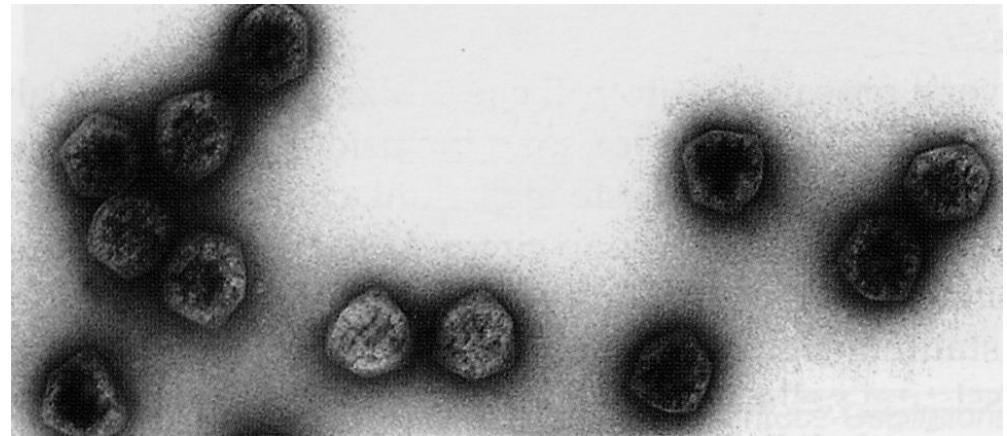
- Inclusioni poliedriche presenti nei microrganismi che utilizzano il Ciclo di Calvin per fissare la  $CO_2$ .
- Sono costituite da molecole di **RIBULOSIO DIFOSFATO Carbossilasi** (RubisCO) in forma cristallina
- Aumentano la quantità di RubisCO<sub>2</sub> per una più efficiente fissazione di  $CO_2$
- Enzima è in forma insolubile quindi si concentra senza aumentare l'osmolarità
- Contengono anche l'enzima anidrasi carbonica che aumenta la fissazione del carbonio elevando la concentrazione di  $CO_2$



## I carbossisomi :

hanno un diametro di 100 nm  
e sono circondati da una  
sottile membrana

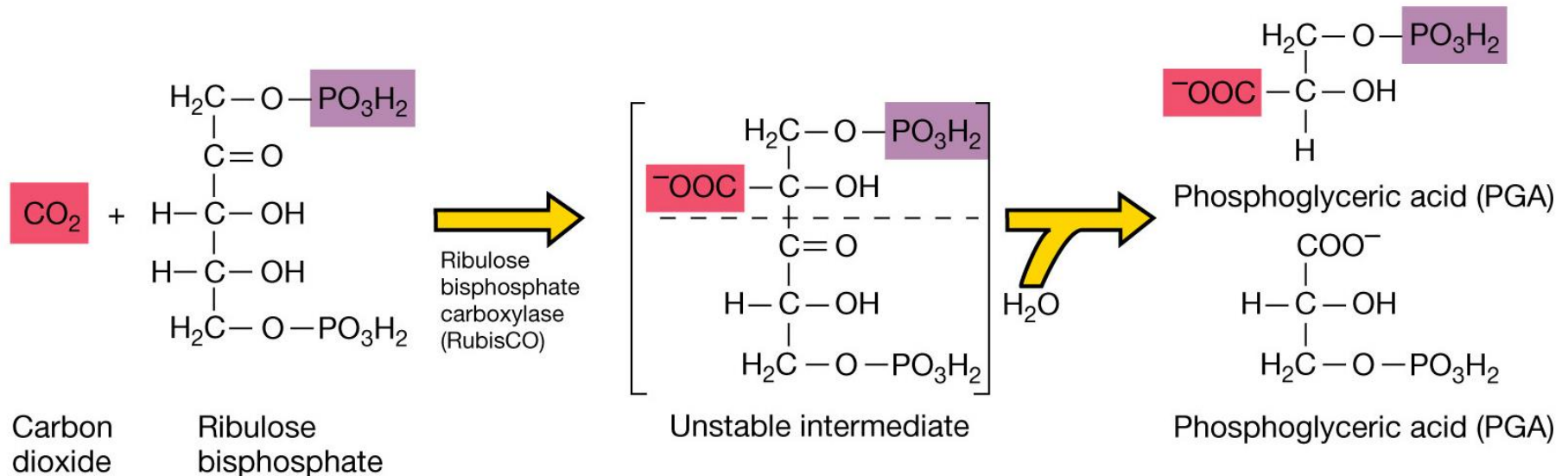
Sono presenti nei solfobatteri obbligati, nei batteri nitrificanti, nei cianobatteri. Non sono presenti negli autotrofi facoltativi e quindi potrebbero rappresentare un adattamento evolutivo alla vita strettamente autotrofa

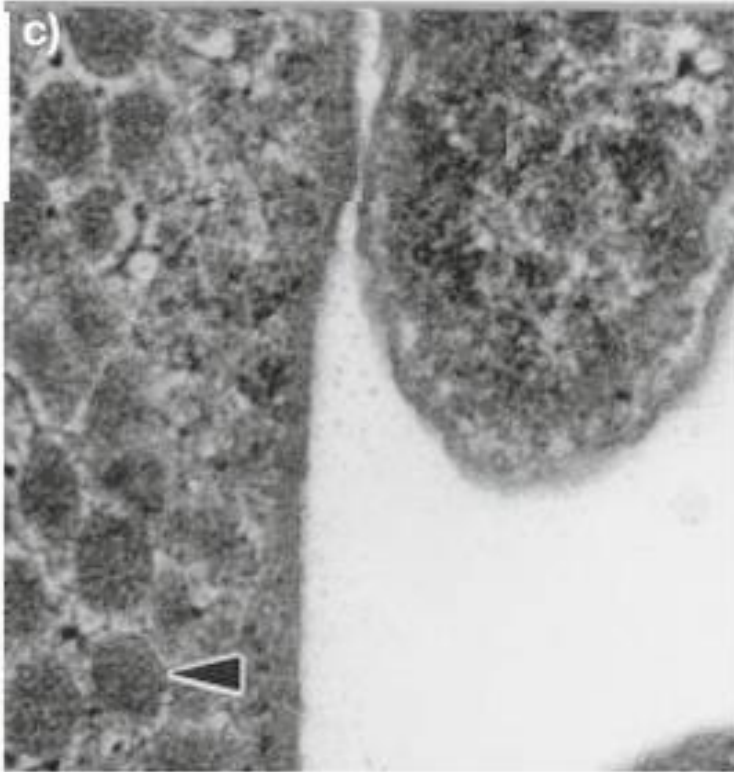


# Fissazione autotrofa di CO<sub>2</sub> il Ciclo di Calvin

Per la prima tappa della riduzione di CO<sub>2</sub> nel ciclo di Calvin è necessaria la **RIBULOSIO DIFOSFATO CARBOSSILASI (RubisCO)**, un enzima estremamente diffuso nei Batteri negli Archea e nelle Alghe. Molto abbondante nei cloroplasti (50% prot.tot.)

La **RIBULOSIO DIFOSFATO CARBOSSILASI** catalizza la formazione di 12 molecole di Acido 3-fosfoglicerico a partire da 6 di CO<sub>2</sub> e 6 di ribulosio difosfato





## Enterosomi

Enterosomi sono stati identificati in batteri enterici come *Salmonella*.

Non contengono RuBisCO ma enzimi indispensabili per il metabolismo di alcuni substrati come propandiolo e l'etanolamina e vengono prodotti quando questi substrati sono presenti.

Il propandiolo è un metabolita del fucosio uno zucchero presente nella parete intestinale dei mammiferi.

La capacità di metabolizzare il propandiolo costituisce un fattore di virulenza

Perchè potrebbe essere utile compartimentalizzare in un organulo questo enzima?

- Garantire una maggiore efficienza dell'enzima
- Contrastare la diffusione nel citoplasma di intermedi tossici

# CLOROSOMI sistema di membrane cellulari per la fotosintesi

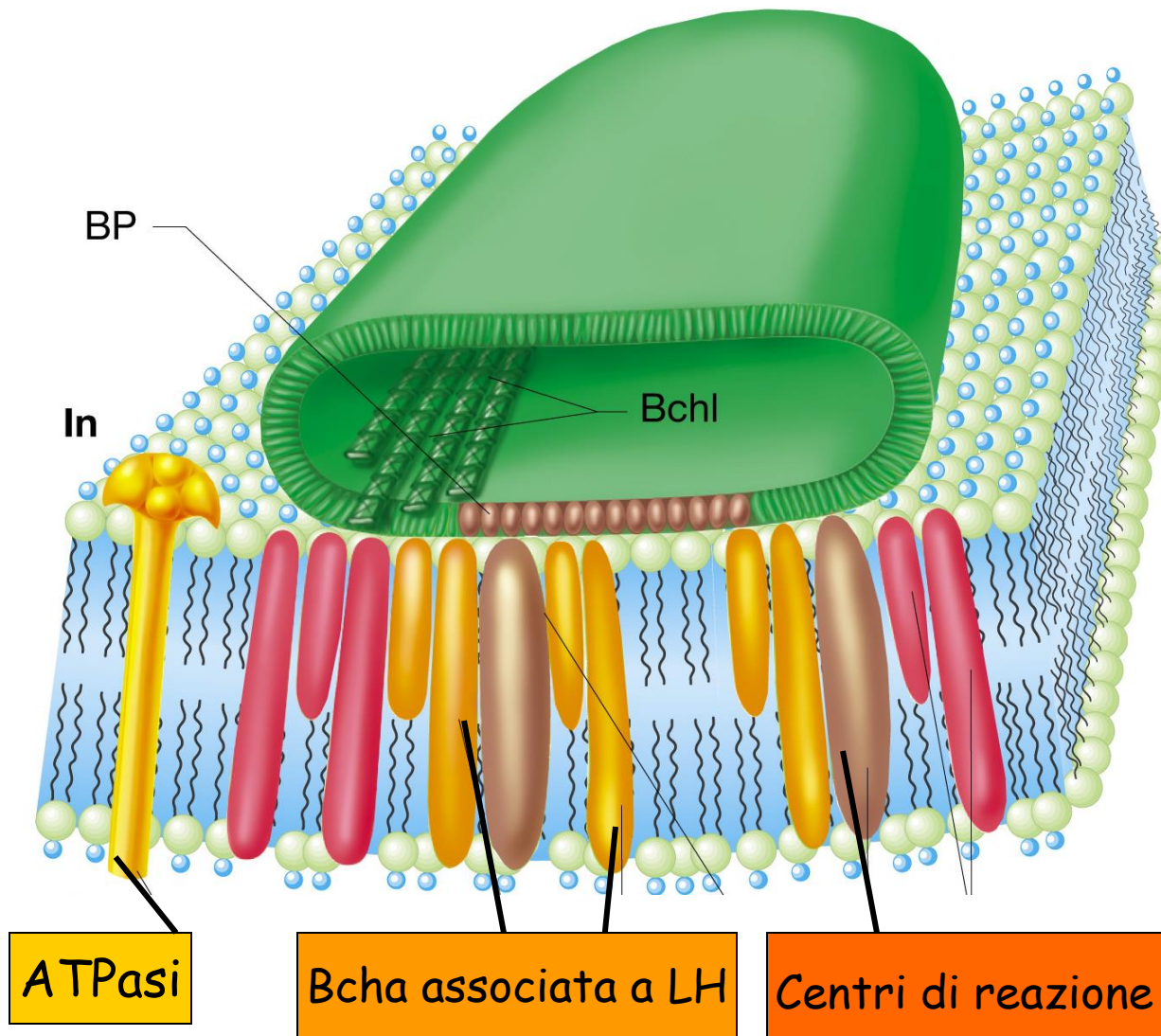


Il clorosoma ha una struttura a forma di sigaro e si ritrova in prossimità della M.I., contiene i pigmenti ed è il centro di fotoreazione.

Presente nei Batteri verdi sulfurei (Chlorobi) e nei batteri verdi filamentosi (Chloroflexi)



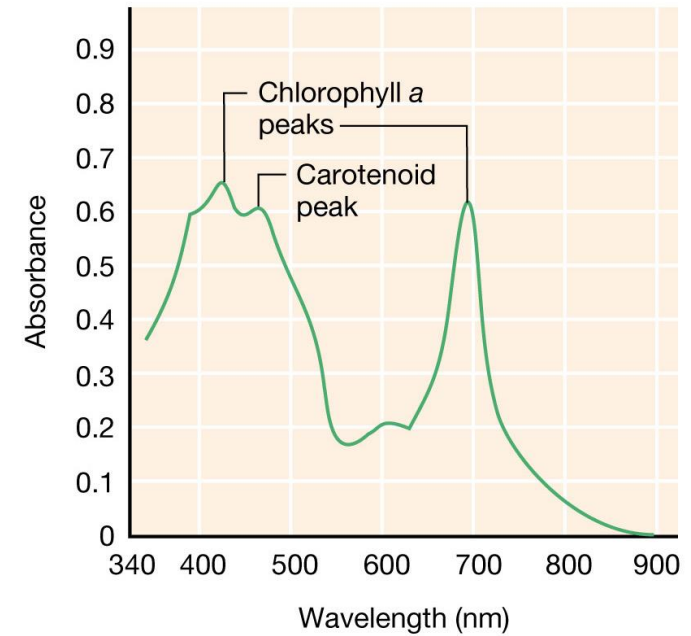
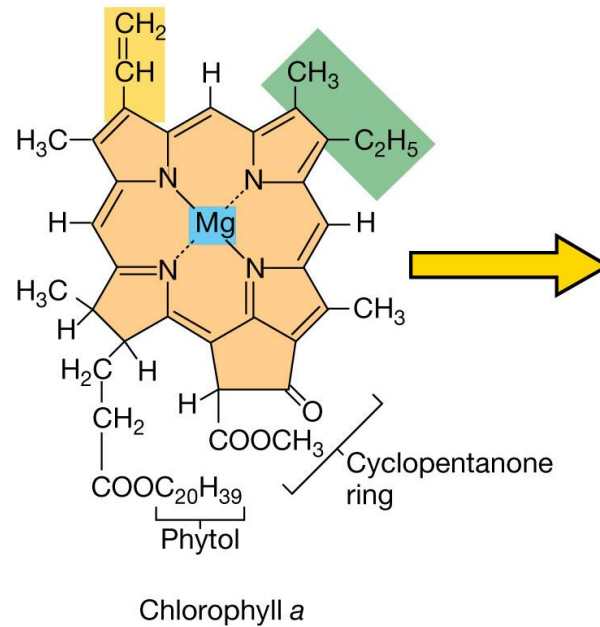
# Organizzazione strutturale del clorosoma



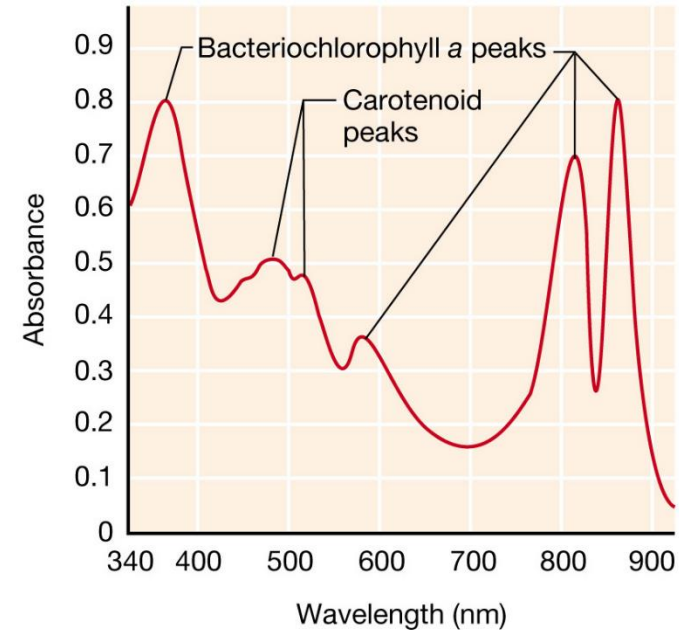
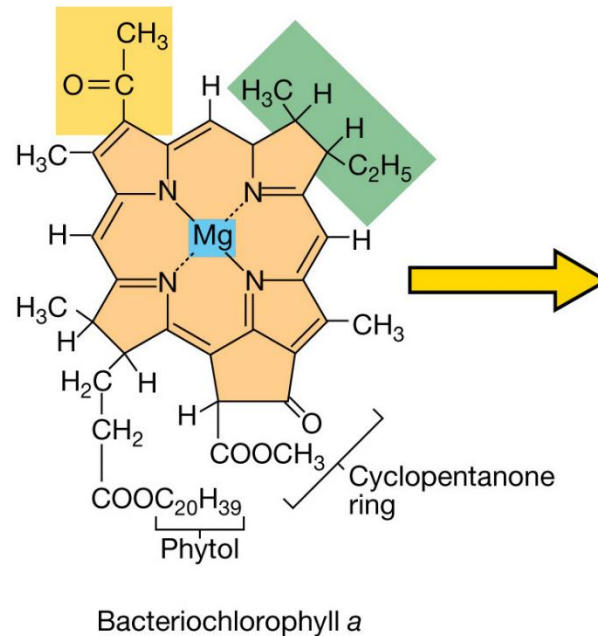
Le molecole di batterioclorofilla(c,d,e) nel clorosoma non sono associate a proteine ed hanno il compito di raccogliere la luce e di convogliarne l'energia nei centri di reazione localizzati nella M.I. Il trasferimento avviene attraverso molecole di batterioclorofilla associate alla membrane. Questa organizzazione è altamente efficiente nell'assorbimento di luce a bassa intensità

all'interno dei clorosomi sono impacchettate le molecole di clorofilla c,d,e che fungono da antenna trasferendo l'energia al centro di reazione (RC) localizzato nella membrana citoplasmatica e circondato da altre molecole di batteriocorofilla a (chl<sub>a</sub>) che hanno un ruolo di antenne accessorie. Il clorosoma è connesso alla membrana tramite altre proteine che formano la struttura paracristallina denominata base plate

La clorofilla a è la principale clorofilla delle piante superiori di molte alghe e cianobatteri.

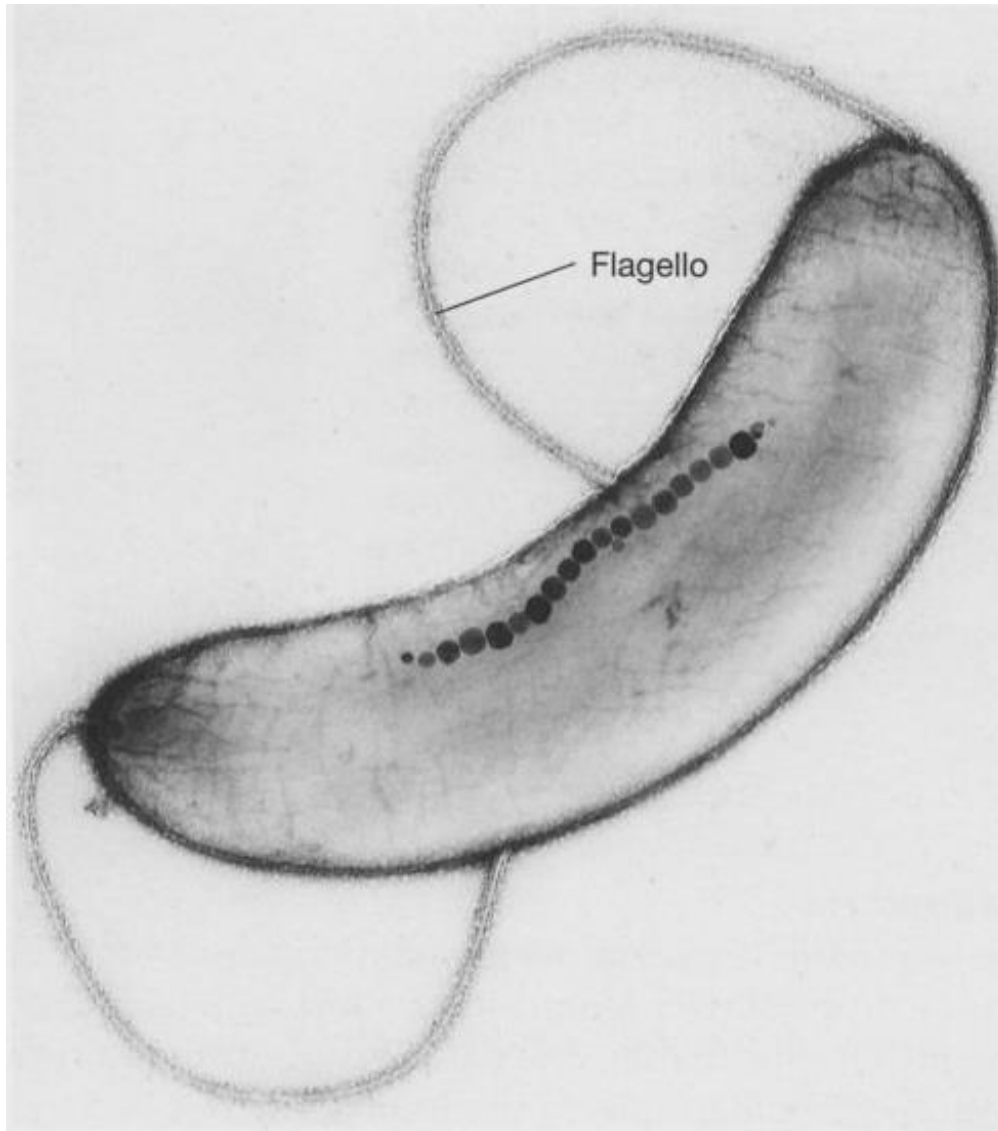


Le batterioclorofille sono presenti nei batteri anossigenici. Le batterioclorofille hanno in genere un massimo di assorbimento intorno a 800-925 nm invece di 680 (clorofilla a).





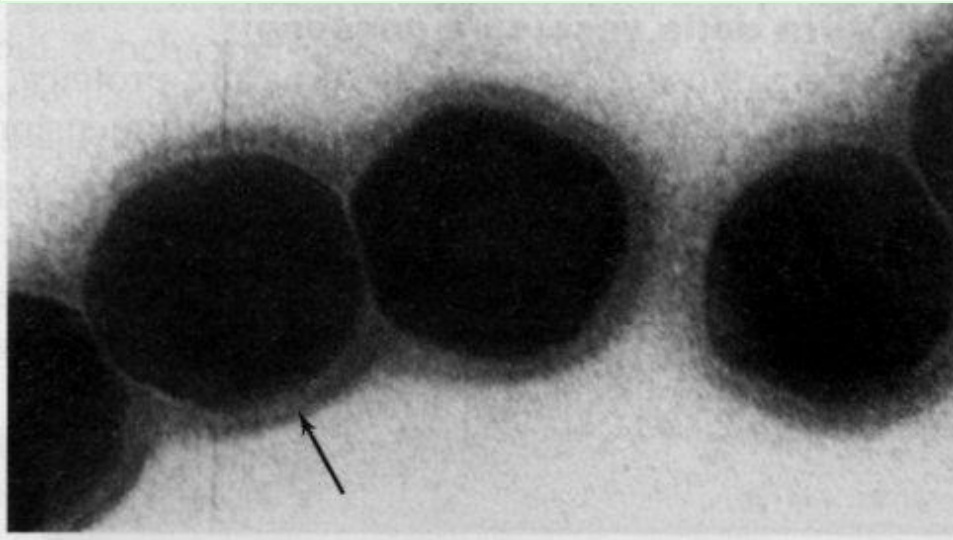
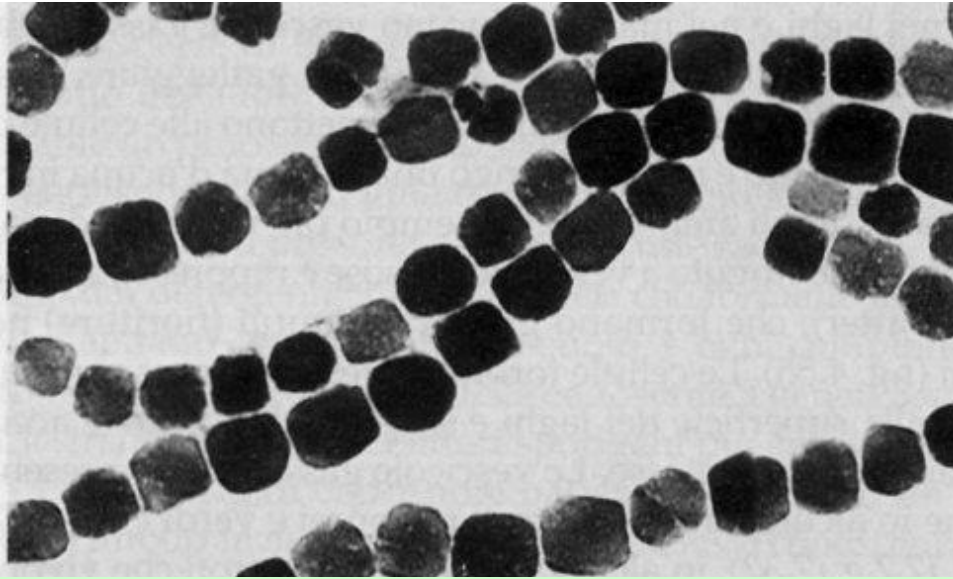
# I MAGNETOSOMI particelle di MAGNETITE avvolte da un involucro membranoso



I cristalli di magnetite creano nella cellula un dipolo magnetico rendendo il batterio capace di rispondere a fenomeni magnetotattici.

Molti batteri magnetotattici crescono a basse concentrazioni di  $O_2$  e sembra che la funzione sia quella di guidare i batteri che si muovono tramite flagello verso sedimenti in cui la concentrazione di  $O_2$  è più bassa.

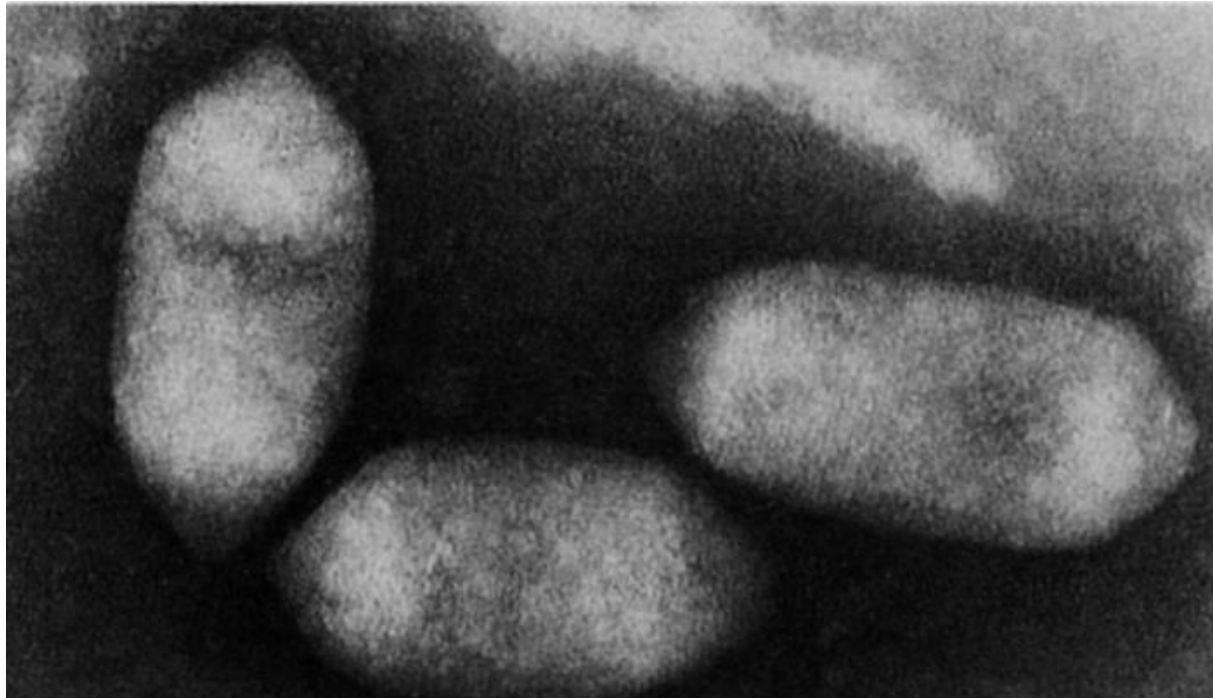
**Magnetosomi isolati da Magnetospirillum. Ogni particella è di circa 50nm**



Sono circondati da una membrana costituita da fosfolipidi , proteine e glicoproteine che costituisce un monostrato fosfolipidico. Le proteine svolgono un ruolo nel precipitare il  $\text{Fe}^{3+}$  ( trasportato da agenti chelanti ) a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( magnetite). La morfologia dei magnetosomi è specie specifica

# Le vescicole gassose

- conferiscono alle cellule la capacità di galleggiare :
- sono presenti nei cianobatteri ed in altri batteri acquatici ( batteri fototrofi purpurei e verdi) e in alcuni Archea.
- Sono strutture di natura proteica a forma di capsidi vuote ma rigide.
- Hanno una lunghezza compresa tra 300 -1000nm e uno spessore da 45 a 120nm.



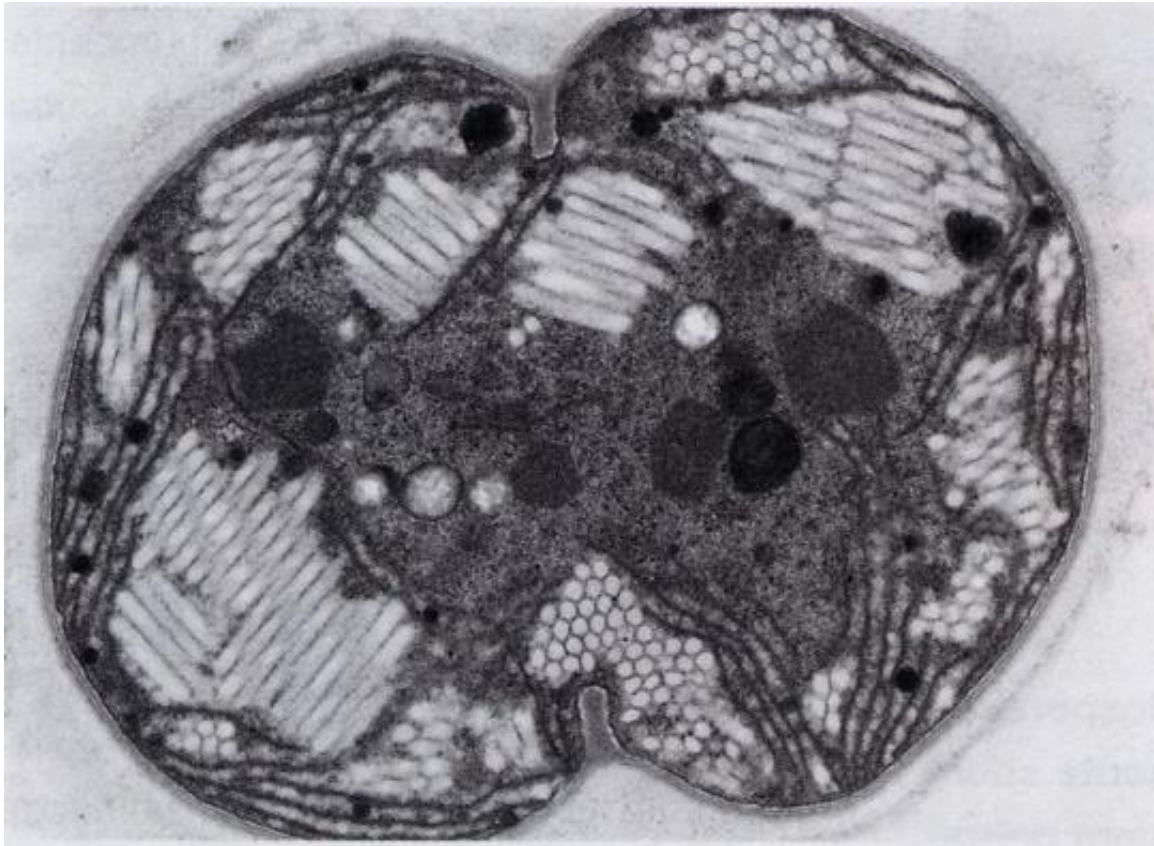
## Vescicole gassose

- sono presenti in numero variabile (da 3-4 a 3-400)
- sono raggruppate a costituire strutture visibili al microscopio a contrasto di fase come strutture più chiare
- la membrana costituita solo da proteine (spessore di 2nm) è impermeabile all' $H_2O$  e ai soluti e permeabile ai gas
- le proteine sono GvpA (molto abbondante) e GvpC



Vescicole gassose sono strutture riempite di **GAS**, sistemate in fasci e circondate dai costituenti del citoplasma.

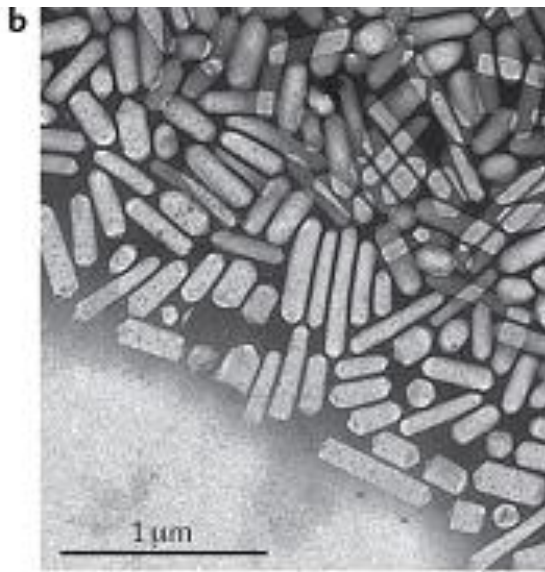
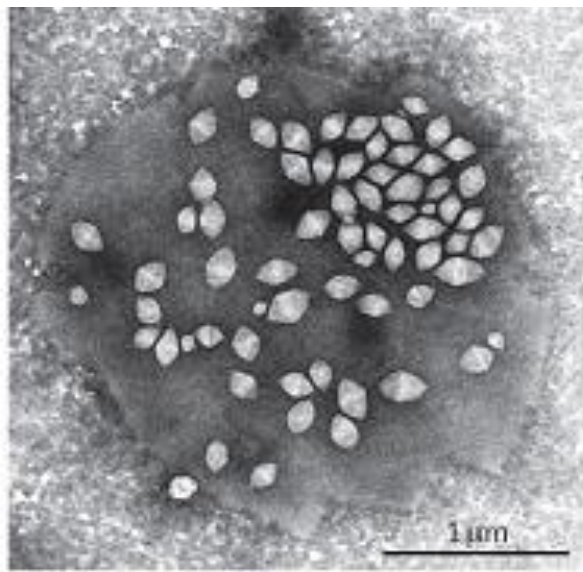
Membrana delle vescicole gassose è **permeabile ai gas**, la composizione e la pressione dei gas all'interno la vescicola è la stessa di quella che si ritrova nell'ambiente dove vive il microrganismo



La vescicola presenta una densità pari al **5-20%** della cellula che favorisce la capacità di galleggiamento .

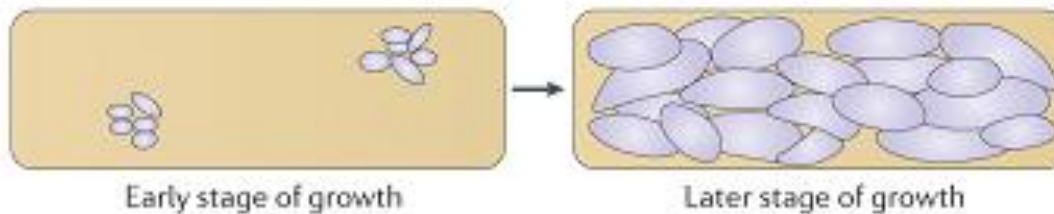
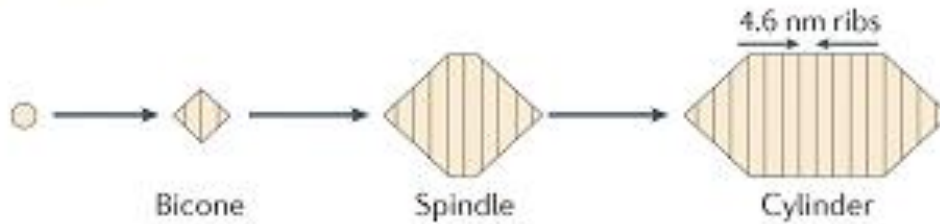
I batteri si possono così posizionare lungo una colonna d' $H_2O$  nelle regioni di luce più idonee per la fotosintesi





Electron micrograph of a lysed *Halobacterium salinarum* cell containing spindle-shaped gas vesicles.

**b** | Isolated cylinder-shaped gas vesicles of *Hbt. salinarum*.



Morphogenesis of gas vesicles, starting from aggregated proteins that form a bicone, which grows to become a spindle- or cylinder-shaped gas vesicle. The 4.6 nm-wide ribs formed by gas vesicle protein A (*GvpA*) run nearly perpendicular to the long axis of the gas vesicle. **d** | Groups of small gas vesicles are produced in cells during the early stages of gas vesicle formation, and later on cells are filled with large gas vesicles.

# GvpA

- piccola proteina, idrofobica a struttura a  $\beta$  foglietto molto rigida
- costituisce la struttura dell'involucro esterno ( 97% delle proteine)
- monomeri allineati a nastri paralleli

# GvpC

- presente in quantità minore, struttura ad  $\alpha$  elica
- rafforza l'involucro proteico, con legami crociati

