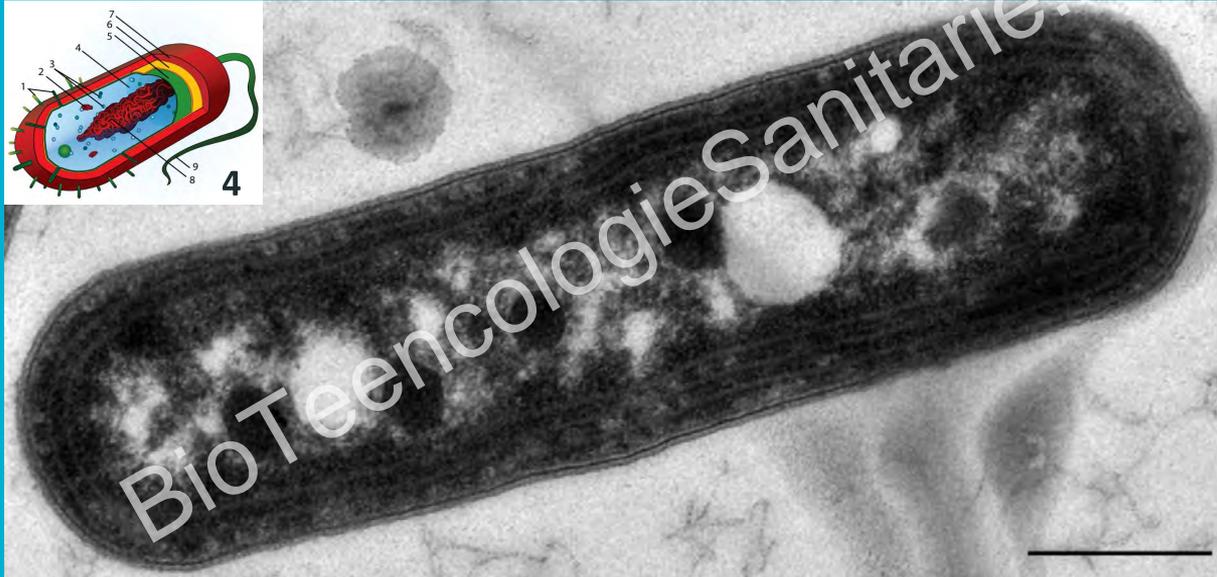


# CELLULA PROCARIOTE



LA CELLULA DEGLI EUBATTERI E DEGLI ARCHEOBATTERI

# CELLULA PROCARIOTE

## INDICE

In copertina oltre al disegno della cellula procariote:

Fotografia al M.E. di [Synechococcus elongatus PCC 7942](#) con i carbossisomi (segmento di riferimento 500 nm) - \_By Raul Gonzalez and Cheryl Kerfeld - <http://www.kerfeldlab.org/images.html>, CC BY-SA 3.0, <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=49723177>

1. [Definizione](#)
2. [Cellula procariote vs cellula eucariote](#)
3. [Struttura della cellula procariote](#) e relative differenze tra eubatteri e archeobatteri
4. [Photo credits](#)

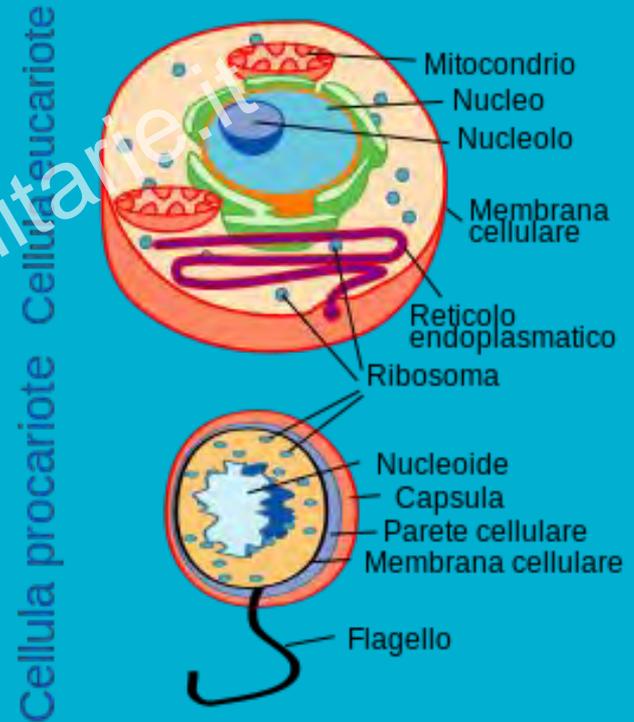
# DEFINIZIONE

BioTeencoloriaSanitarie.it

# DEFINIZIONE

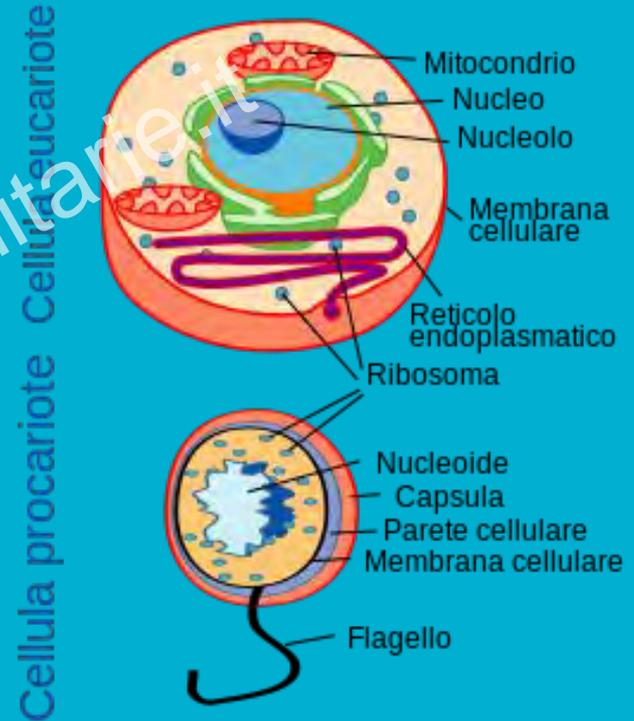
La **cellula** (dal latino piccola cella) è l'unità fondamentale degli esseri viventi ma gli esseri viventi non sono tutti uguali.

Se ci rifacciamo alla classificazione di **Chatton (1925)** nei due imperi, procarioti ed eucarioti, e guardiamo l'immagine di lato possiamo già farci un'idea di queste differenze.



# DEFINIZIONE

Evidentemente Chatton suddivise gli esseri viventi in procarioti ed eucarioti perché erano molto marcate le differenze tra le cellule che li costituiscono. I procarioti sono formati da cellule più piccole e molto semplici. Gli eucarioti da cellule più grandi e più complesse.



# DEFINIZIONE

---

Ai procarioti fu poi dato da **Copeland** il nome di Monera (1934 - classificazione in 4 regni) che ritroviamo anche nella proposta di **Whittaker** (1969 - classificazione basata su 5 regni). Mentre **Woese** dopo soli 8 anni li suddivise in eubatteri e archeobatteri. Gli strumenti utilizzati per esplorare il mondo microscopico consentivano ricerche sempre più raffinate e di pari passo si succedevano tentativi di classificare il mondo dei viventi in modo adeguato.

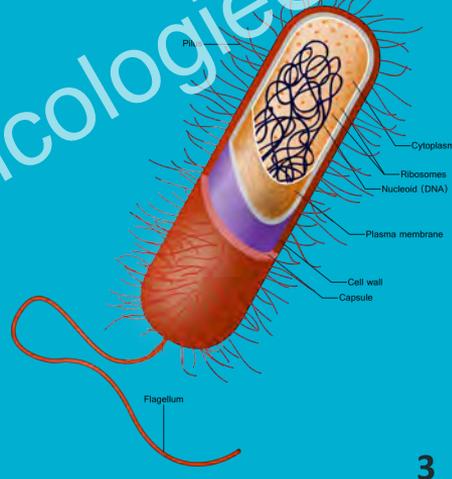
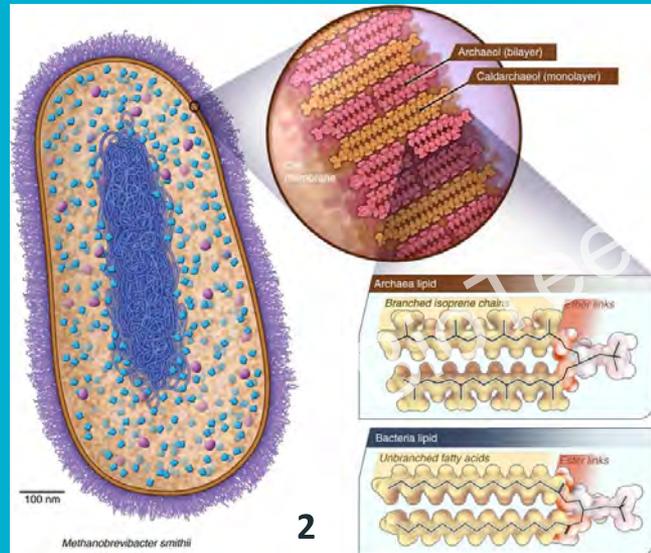
# DEFINIZIONE

---

Negli ultimi decenni la possibilità di sequenziare il DNA e altre tecnologie di ricerca sofisticate hanno consentito di aumentare il numero dei regni legati alla struttura eucariote con l'identificazione di organismi prima di incerta collocazione mentre sono rimasti invariati i procarioti. Ma se i procarioti sono sempre suddivisi tra archeobatteri ed eubatteri è anche vero che la conoscenza sulla loro cellula si è approfondita sempre di più. **Oggi siamo quindi in grado di descrivere almeno due cellule a struttura procariote e non più solo una.**

# DEFINIZIONE

Le due cellule sono simili solo ad una prima ricognizione perché la loro struttura molecolare nasconde delle sorprese.



A sinistra: cellula sezionata longitudinalmente di *Methanobrevibacter smithii* con accanto il modello molecolare della membrana e della parete cellulare.

A destra: cellula di batterio gram-positivo che ne rivela parzialmente l'interno.

**CELLULA PROCARIOTE**  
**vs**  
**CELLULA EUCARIOTE**

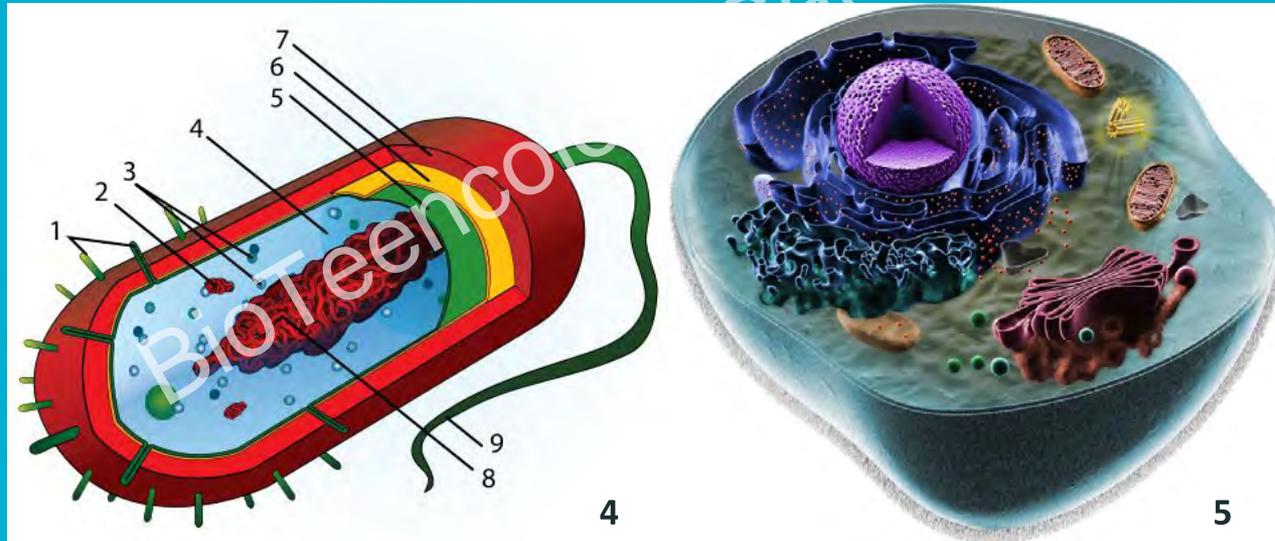
BioTechCollegesSanitarie.it

**Cominciamo ad esplorare le  
differenze tra i due tipi di cellula.**

BioTecnologieSanitarie.it

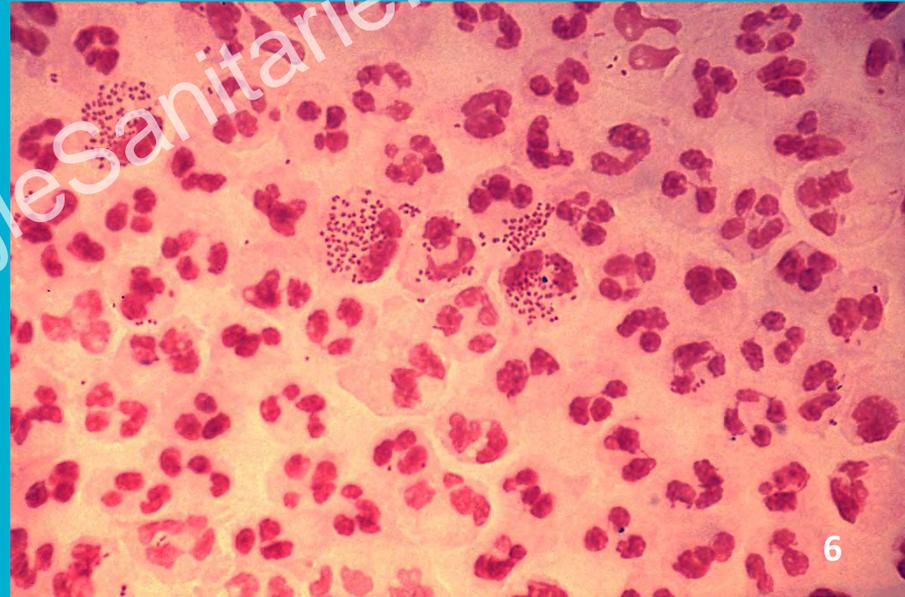
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Prima però confrontiamo la cellula procariote (a sinistra) con la cellula eucariote animale (a destra).



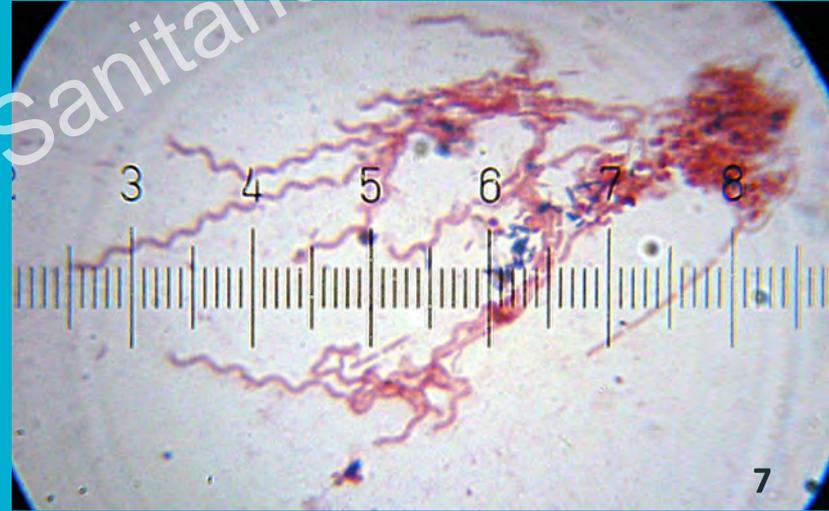
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Per un momento abbandoniamo le immagini che ci accompagneranno in questo confronto per occuparci delle dimensioni relative. Di lato potete vedere una foto di pus colorato con il metodo Gram in cui si notano fagociti che stanno inglobando diversi esemplari di *Neisseria gonorrhoeae*.



# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Le cellule procariote hanno dimensioni medie di pochi micrometri anche se ci sono delle eccezioni. Per esempio alcuni archeobatteri raggiungono i 30  $\mu\text{m}$  e delle spirochete arrivano a 700  $\mu\text{m}$  di lunghezza e quindi sono visibili ad occhio nudo.



Spirochete

# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

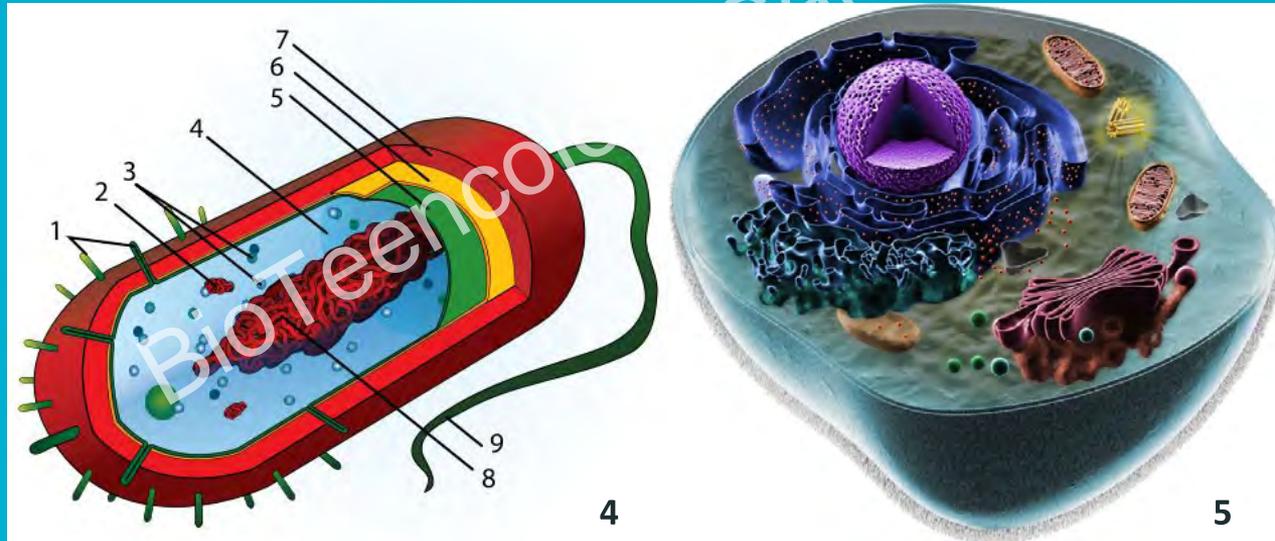
Le cellule eucariote sono più grandi (circa 10 volte di più) e possono raggiungere a loro volta dimensioni ragguardevoli. La cellula umana visibile ad occhio nudo è la cellula uovo femminile o ancora di più il tuorlo dell'uovo di uccello.



**Uovo di struzzo**

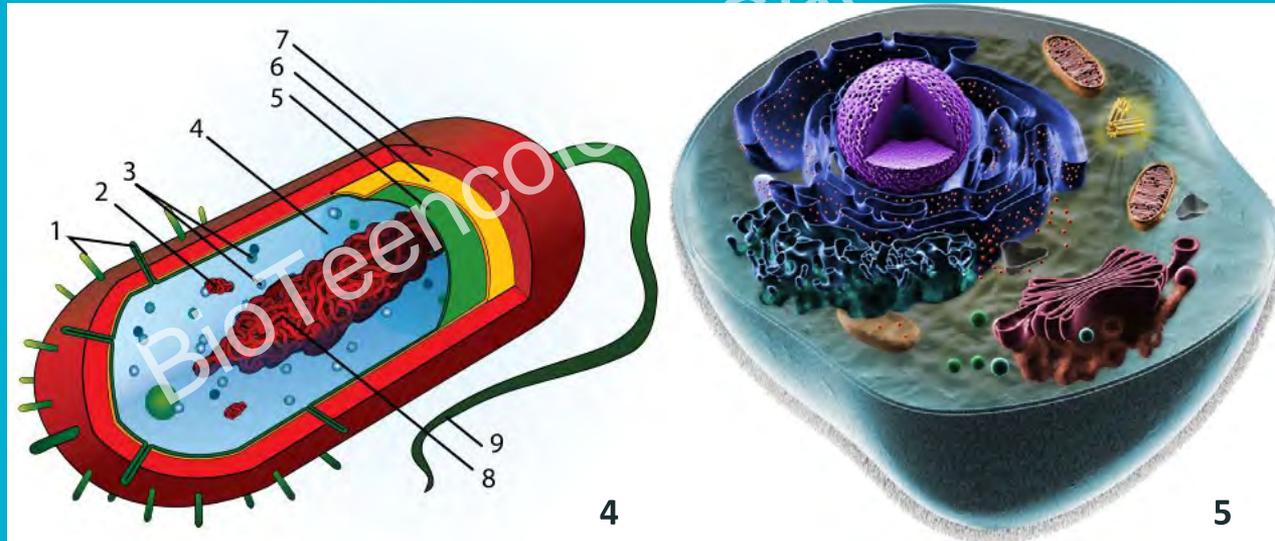
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Torniamo alle nostre due cellule e proseguiamo il confronto cominciando dalla parte interna. La procariote è più semplice.



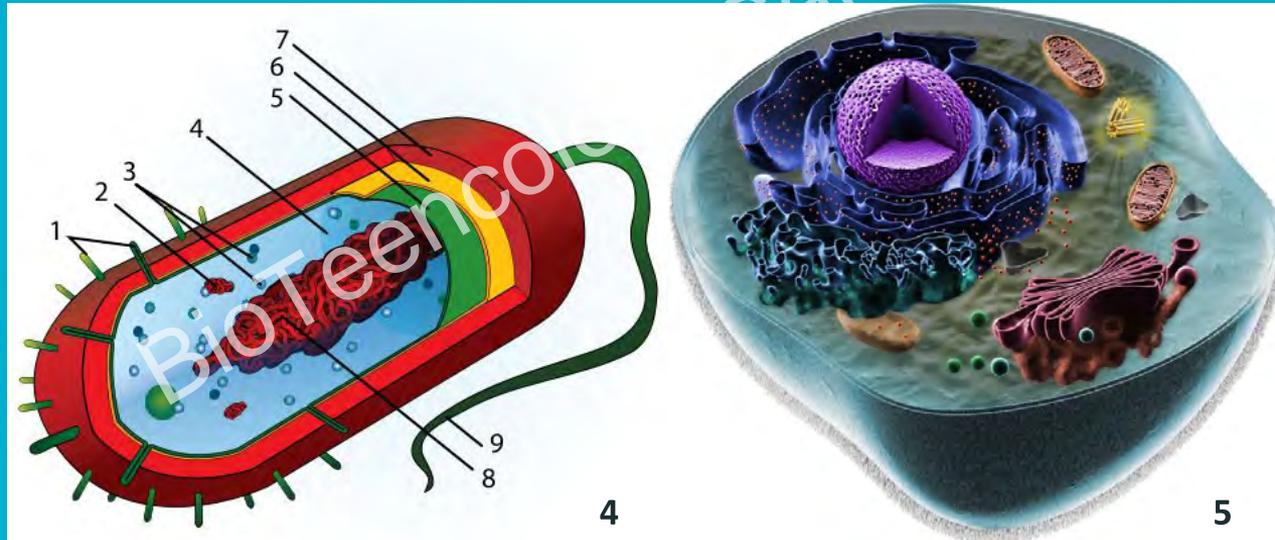
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Sicuramente in comune entrambe le cellule hanno il **citoplasma** (4), una soluzione colloidale in cui sono immerse molecole e organelli.



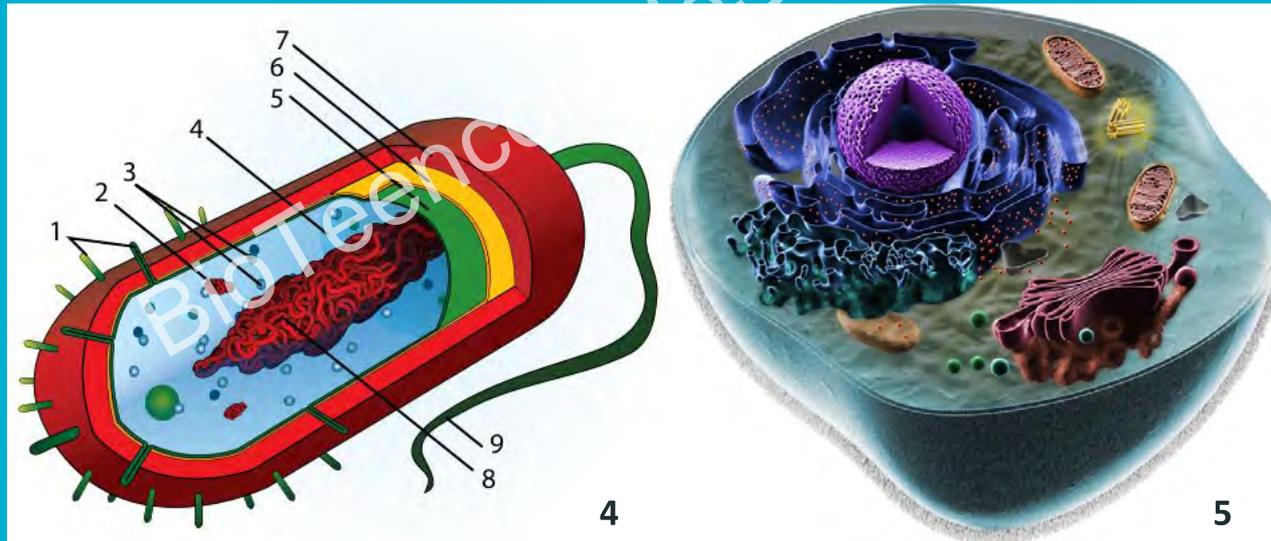
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Ma gli organelli nella cellula procariote sono ridotti al minimo.  
Si vedono i **ribosomi** (3), sede della sintesi proteica.



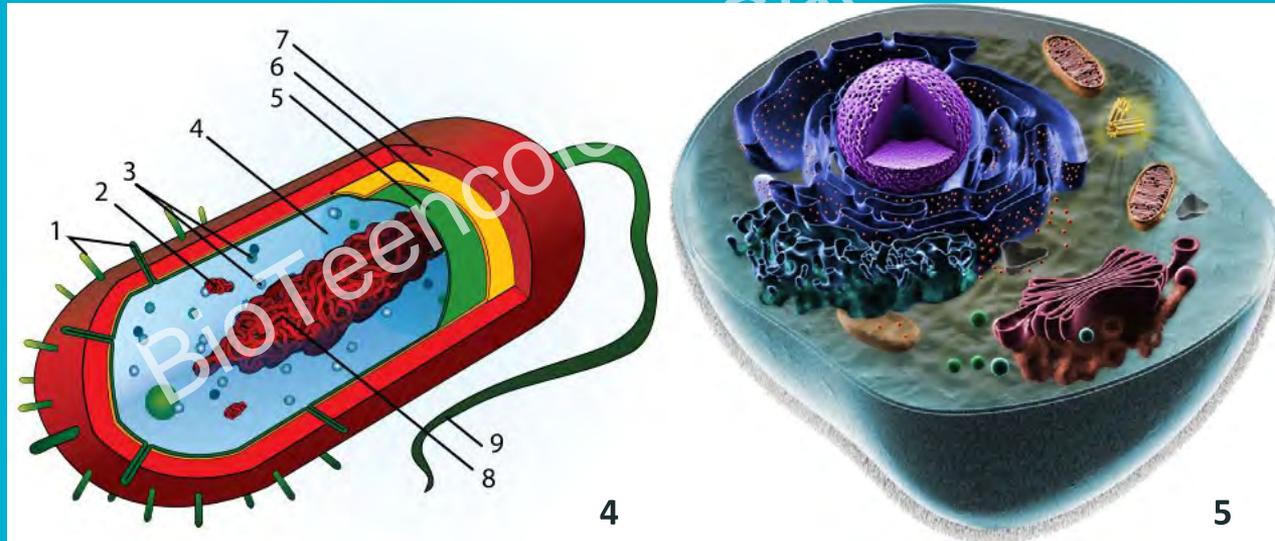
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Ben evidente è il **DNA** aggrovigliato su se stesso, di forma circolare, a volte lungo circa 1000 volte la cellula che lo contiene. Occupa il **nucleoide** (8), vale a dire un'area specifica del citoplasma.



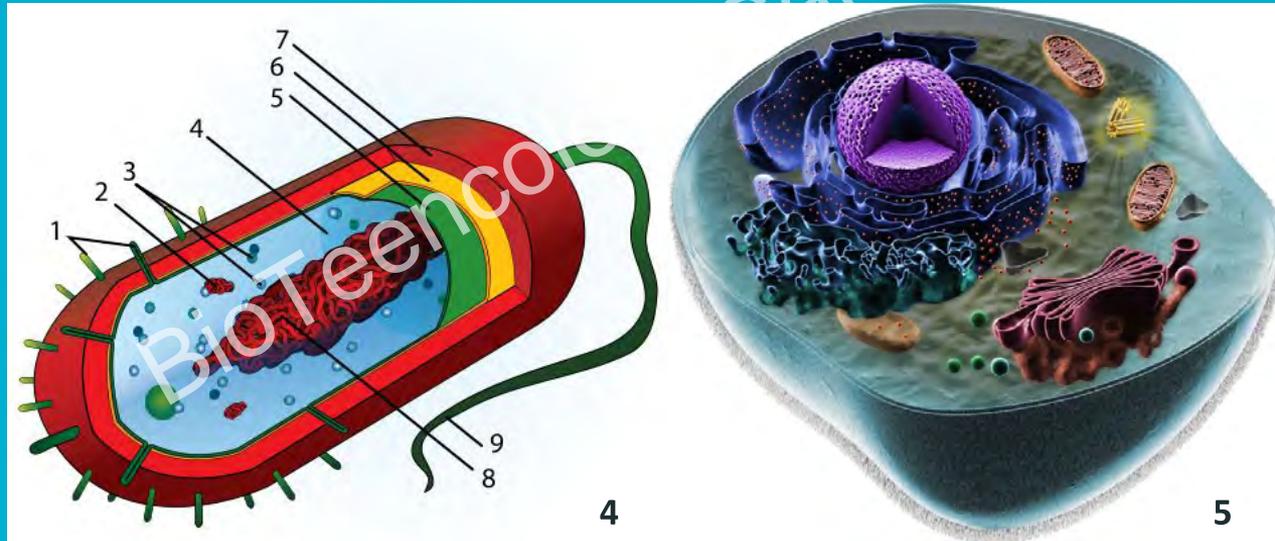
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Non esiste nella cellula procariote un nucleo ben delimitato dal resto del citoplasma che è invece tipico della cellula eucariote.



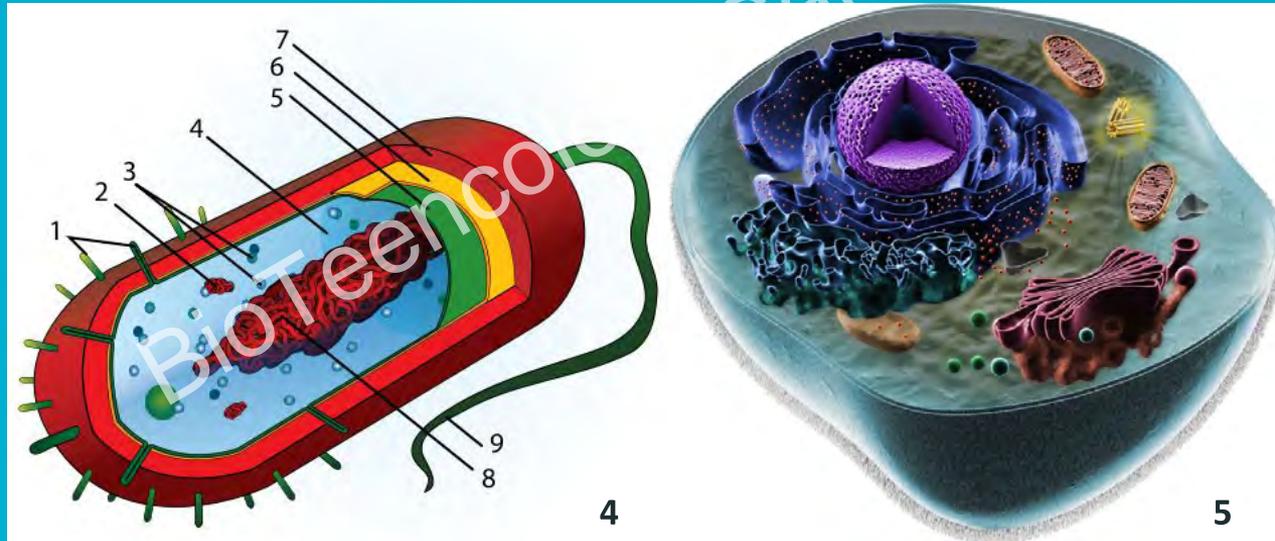
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

In più il DNA nella cellula procariote non si limita spesso a quella sola molecola circolare. Può essere presente anche come **plasmidi**



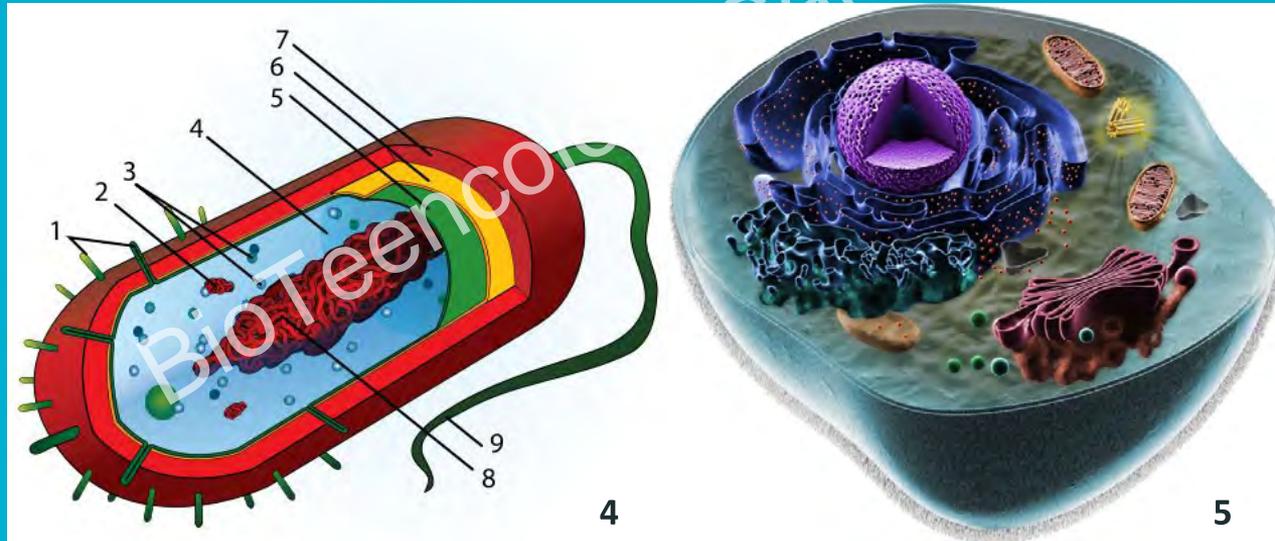
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

I **plasmidi** (2) sono piccole molecole circolari di DNA che contengono ad esempio le informazioni per la resistenza agli antibiotici.



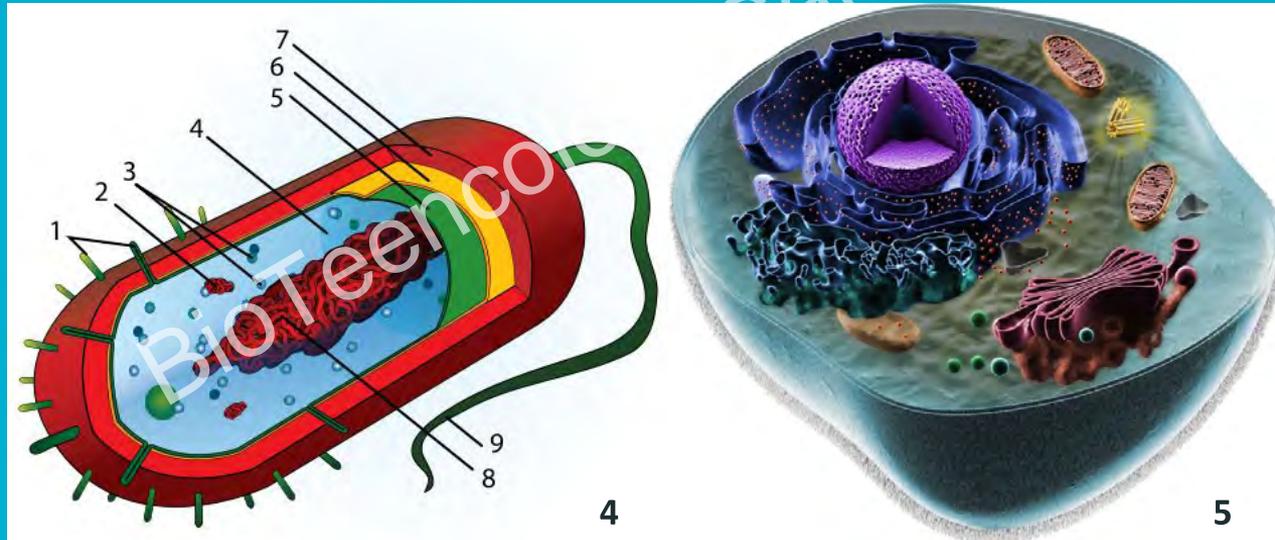
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

I **plasmidi** sono da ricordare molto bene anche per il loro ruolo fondamentale nella tecnologia del DNA ricombinante.



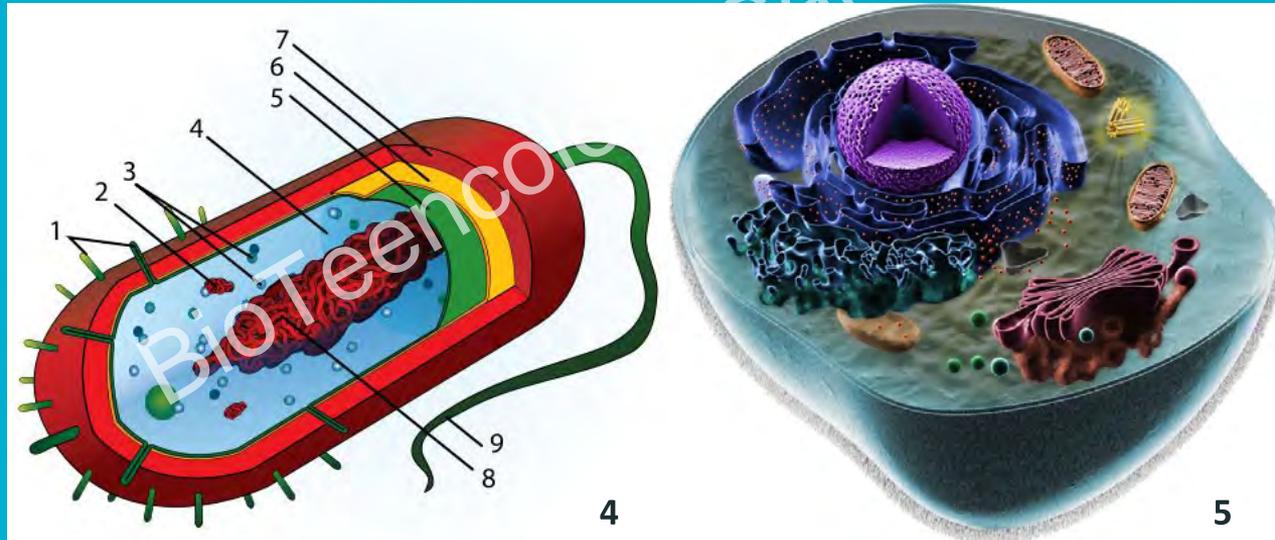
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

Andiamo avanti nella scoperta della cellula. Una struttura comune è la membrana citoplasmatica (5).



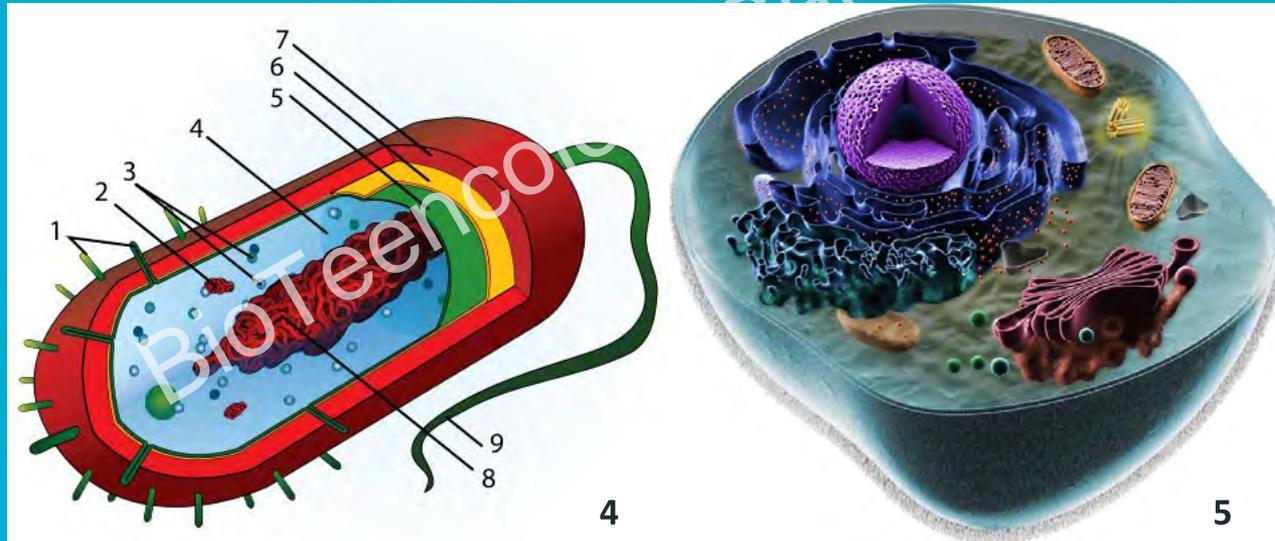
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

All'esterno troviamo la parete cellulare (6) e la capsula (7), non presenti nella cellula eucariote.



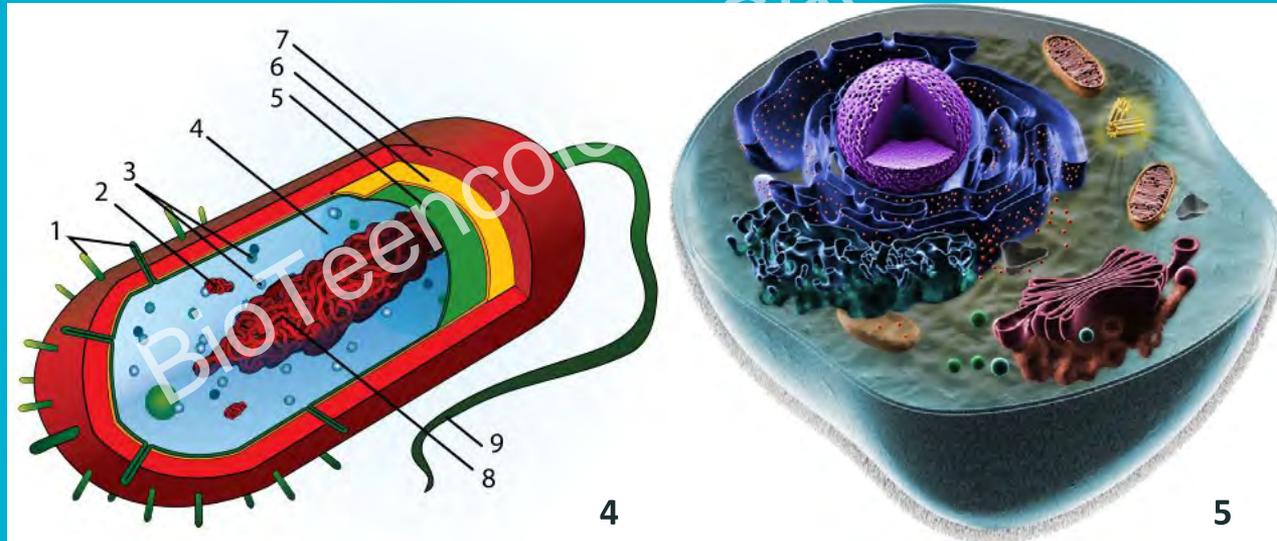
# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

La cellula procariote ha poi strutture superficiali adibite alla locomozione, flagelli (9) e pili (1), o allo scambio di materiale genetico.



# CELL. PROCARIOTE Vs CELL. EUCARIOTE

<https://www.youtube.com/watch?v=RQ-SMCmWB1s>



# STRUTTURA DELLA CELLULA PROCARIOTE

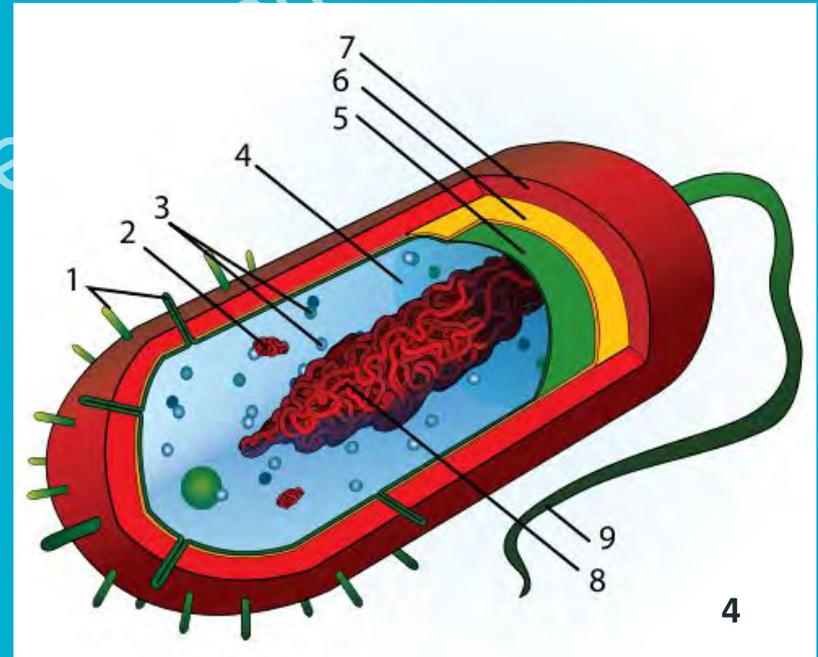
BioTeencolorieSanitarie.it

**Analizziamo la struttura della  
cellula procariote ed  
evidenziamo le differenze tra  
eubatteri e archeobatteri.**

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

A questo punto ricapitoliamo la struttura della cell. procariote

1. Pili
2. Plasmidi
3. Ribosomi
4. Citoplasma
5. Membrana cellulare
6. Parete cellulare
7. Capsula
8. Nucleoide
9. Flagello



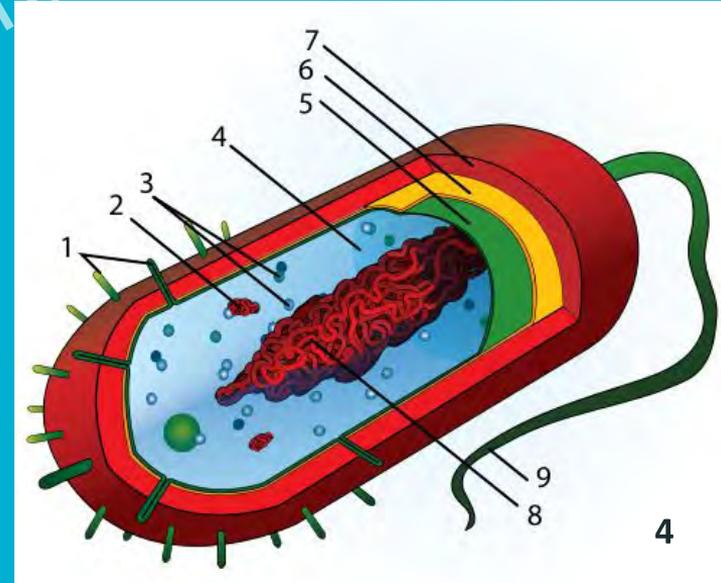
# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

E adesso esaminiamo ogni singolo elemento con le dovute differenze tra Archeobatteri ed Eubatteri.

## Pili (1)

Sono appendici filiformi non sempre presenti, formate prevalentemente da proteine dette piline.

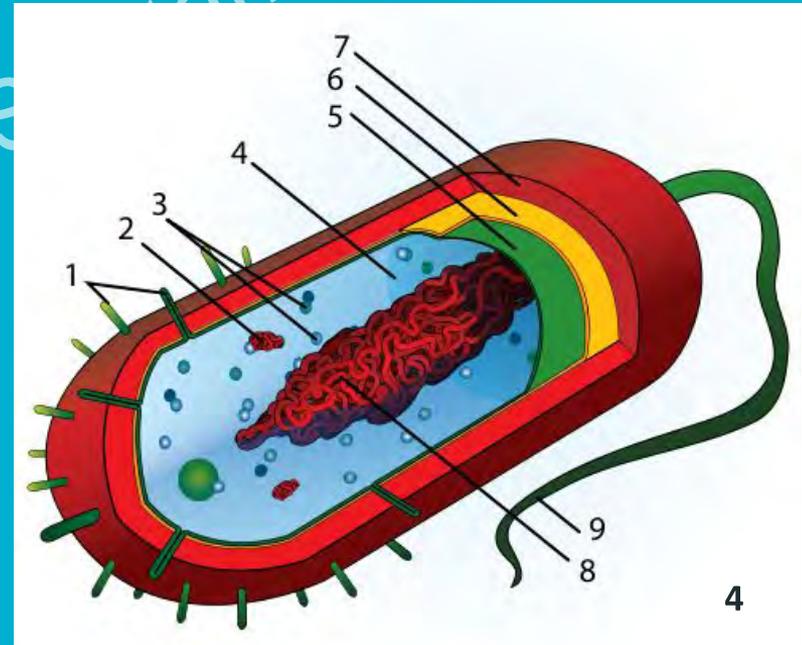
Sono state studiate per lo più nel regno degli Eubatteri e a loro ci riferiamo in mancanza di notizie certe.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Pili

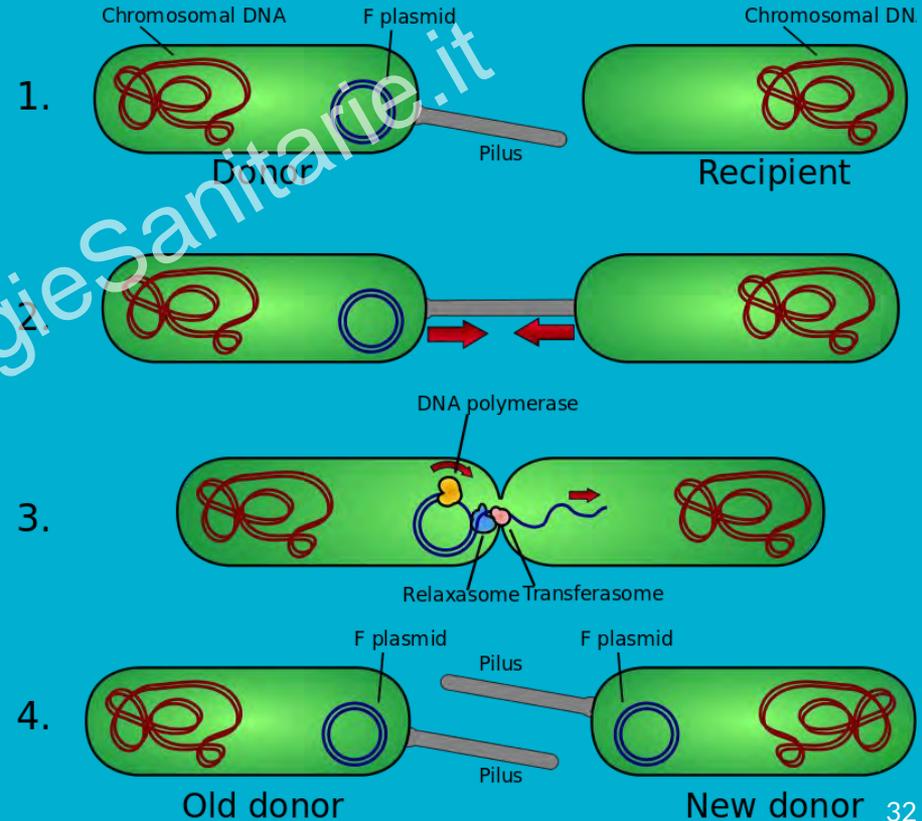
I pili hanno struttura antigenica. Essendo fragili sono rimpiazzati continuamente e a questo punto la risposta eventuale dell'ospite non è più efficace come si può facilmente dedurre.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Pili

I pili sono coinvolti nel processo di trasferimento del DNA da un batterio all'altro (coniugazione batterica), di cui potete vedere il meccanismo nell'immagine 9. Ce ne occuperemo meglio nella sezione specifica.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Pili

Inoltre alcuni di loro possono originare un tipico movimento a scatti. Infatti la loro estremità distale si attacca ad un altro batterio o ad una superficie e quando l'intero pilo si contrae spinge il batterio in avanti.

L'effetto è quello di un rampino.

Questo tipo di movimento non ha nulla a che fare con il movimento impresso dal flagello.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Pili

I pili sono anche coinvolti nei fenomeni di adesione. In questo caso alcuni studiosi preferiscono chiamarli fimbrie perché possono essere più corte dei classici pili. Per molti altri però i termini pili e fimbrie sono intercambiabili.

L'adesione si verifica al substrato o sulla superficie delle cellule dell'ospite grazie alla presenza all'estremità distale di molecole di adesina, proteine che risultano complementari ad analoghe strutture presenti sulle cellule ospiti.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Pili

Da quanto detto risulta chiaro che batteri sprovvisti di fimbrie non hanno capacità infettiva.

Di lato si possono vedere, in una immagine al microscopio elettronico, le numerose fimbrie di *Escherichia coli*.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## **Pili**

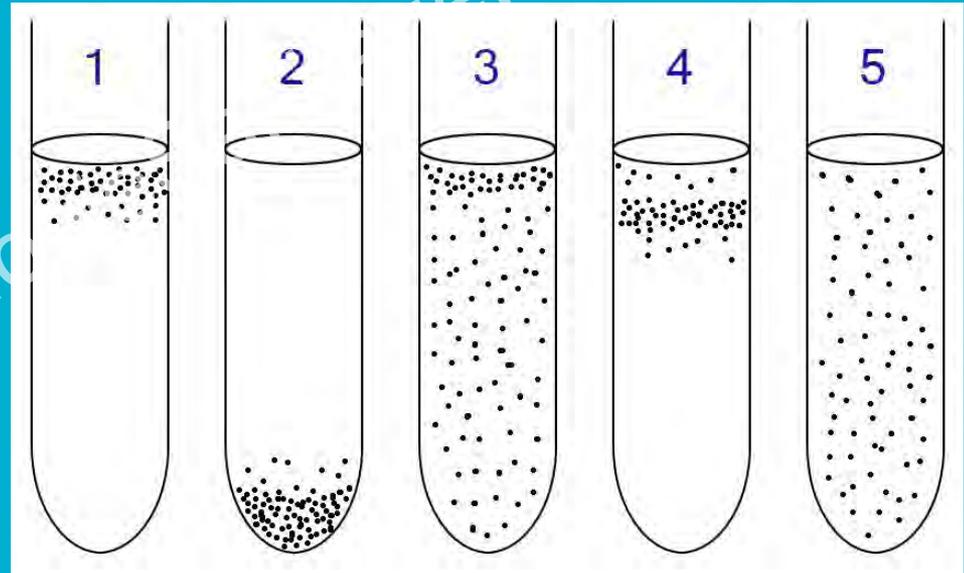
Fimbrie o pili sono anche coinvolti nell'inizio della formazione di un biofilm.

Un altro aspetto interessante legato alla capacità di adesione dei batteri grazie alla presenza di pili o fimbrie si può notare quando si mette in coltura in un brodo al tioglicolato un ceppo di batteri aerobi, cioè che necessitano della presenza di ossigeno per vivere. L'effetto lo potete notare nel disegno della diapositiva successiva.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Pili

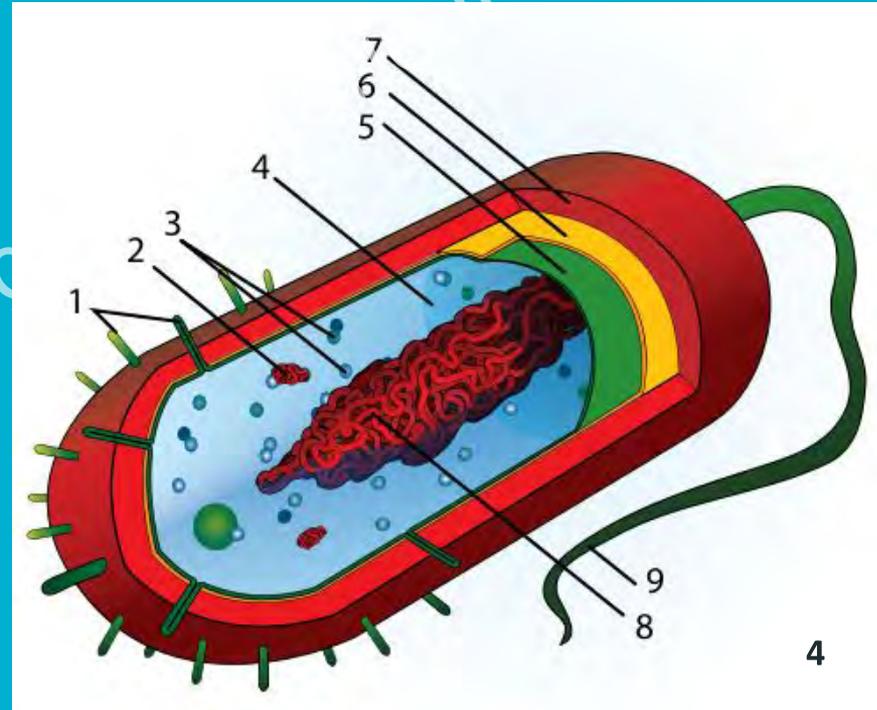
I batteri aerobi (1) si posizionano verso la superficie dove trovano la maggiore concentrazione di ossigeno grazie alla loro capacità adesiva e formano così una sorta di pellicola.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello (9)

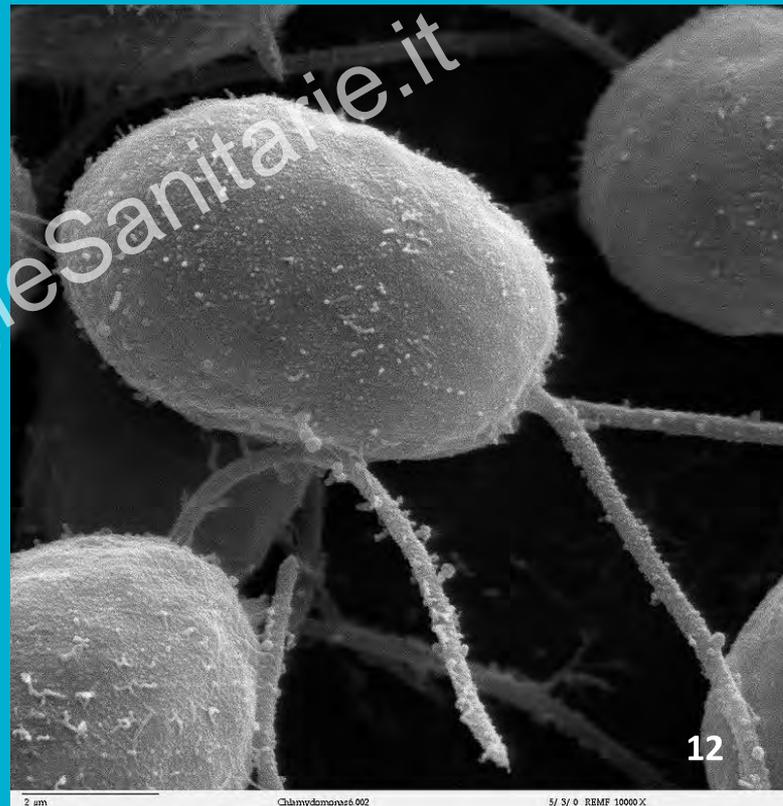
Il flagello non è presente in tutte le cellule procariote ed ha essenzialmente un ruolo nella locomozione. La sua struttura e il suo funzionamento sono diversi rispetto alle cellule eucariote che lo hanno.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

Qui di fianco si possono vedere delle cellule flagellate di *Pseudomonas* fotografate al microscopio ad un ingrandimento 10.000x. Ma non sempre il flagello è unico come si può notare nella diapositiva successiva.

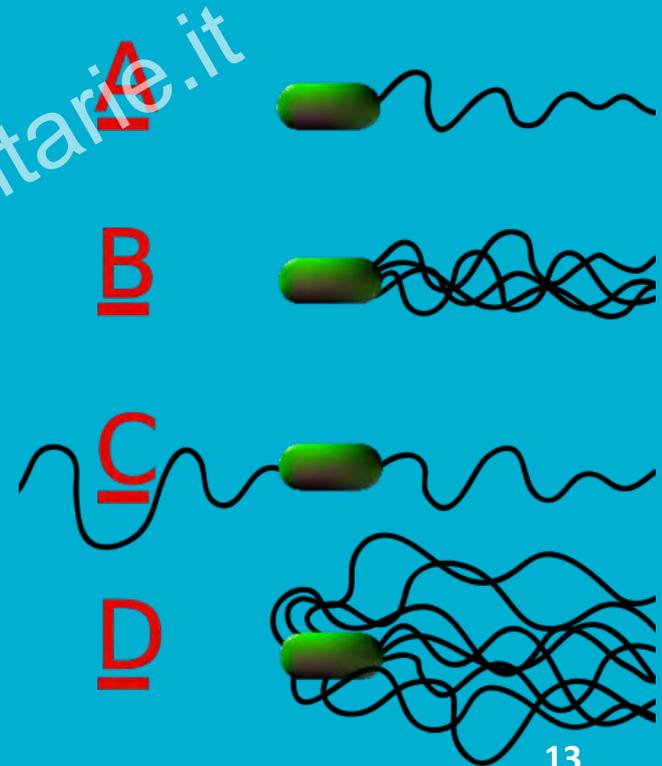


# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

A seconda del numero e della posizione dei flagelli si possono avere batteri:

- A monotrichi (Vibrio cholerae)
- B lofotrichi
- C anfitrichi
- D peritrichi (Escherichia coli)



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

Prima di addentrarci nella struttura del flagello dei procarioti ci sono subito da sottolineare le notevoli differenze tra il regno degli archeobatteri e quello degli eubatteri.

Infatti negli Archea non si parla di flagello ma di archaellum secondo la proposta di Ken Jarrell and Sonja-Verena Albers (1 - sitografia). Questa è la prima di una lunga serie di diversità legate a struttura e funzione tra i due regni.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Flagello

I due studiosi nel 2012 hanno proposto questo termine sulla base di precise osservazioni.

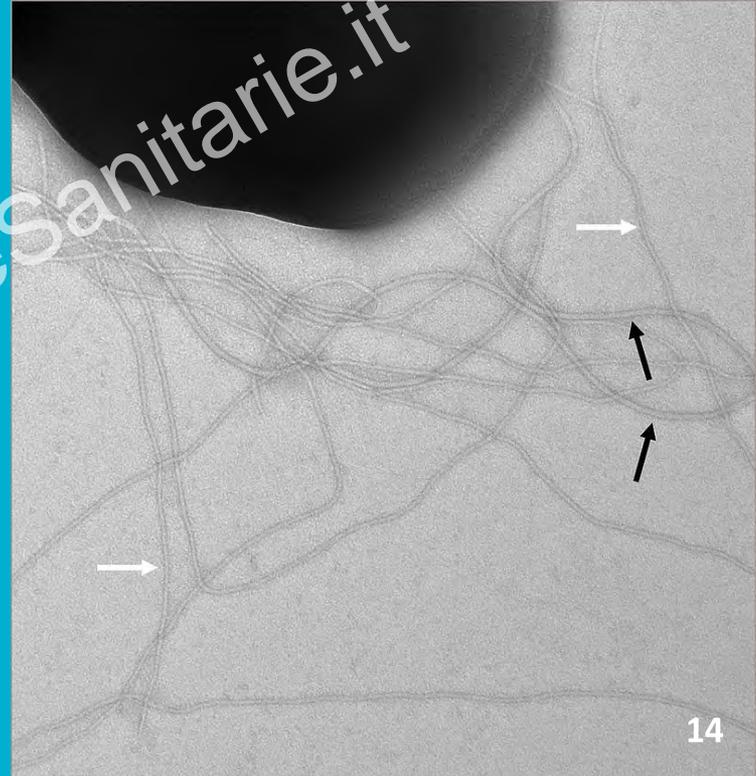
Molti archeobatteri posseggono una appendice che imprime un movimento rotatorio analogamente ai batteri.

Ma strutturalmente questa appendice assomiglia di più ai pili di cui abbiamo parlato a proposito del movimento a scatti (pili di tipo IV) e non al flagello batterico.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

Di lato potete vedere l'immagine al microscopio elettronico di *Sulfolobus acidocaldarius* (archeobatterio) che presenta sia l'archaellum (frecche nere) che i pili (frecche bianche)



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Flagello

L'archaellum ha un'unica struttura che manca di un canale centrale.

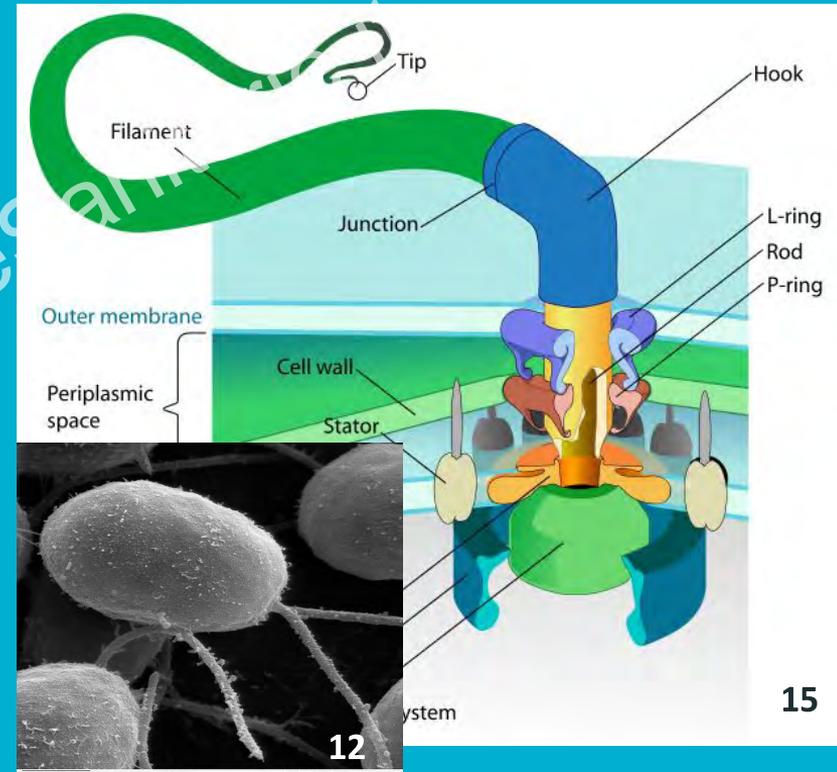
Inoltre mentre nei batteri ci sono spesso più filamenti ciascuno con movimento indipendente, negli archeobatteri si nota un fascio di filamenti che si muovono tutti insieme come un unico gruppo.

Diversa è anche la proteina che lo forma.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

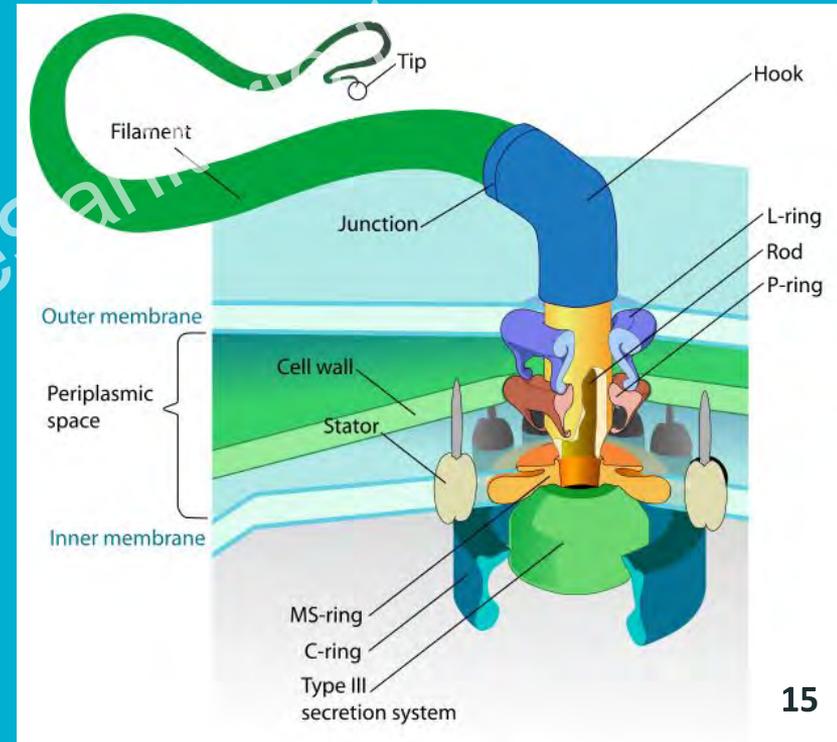
Per capire meglio il tutto è bene ora esaminare la struttura del flagello degli eubatteri. Il disegno rappresenta il tipico flagello studiato nei generi *Escherichia* e *Salmonella* e accanto viene riproposta la foto del batterio *Pseudomonas*.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

Il flagello ruota come un'elica quando il batterio si muove. Il movimento rotatorio non è casuale. Infatti quando è antiorario determina il moto e, in caso contrario, quando è orario determina l'arresto.

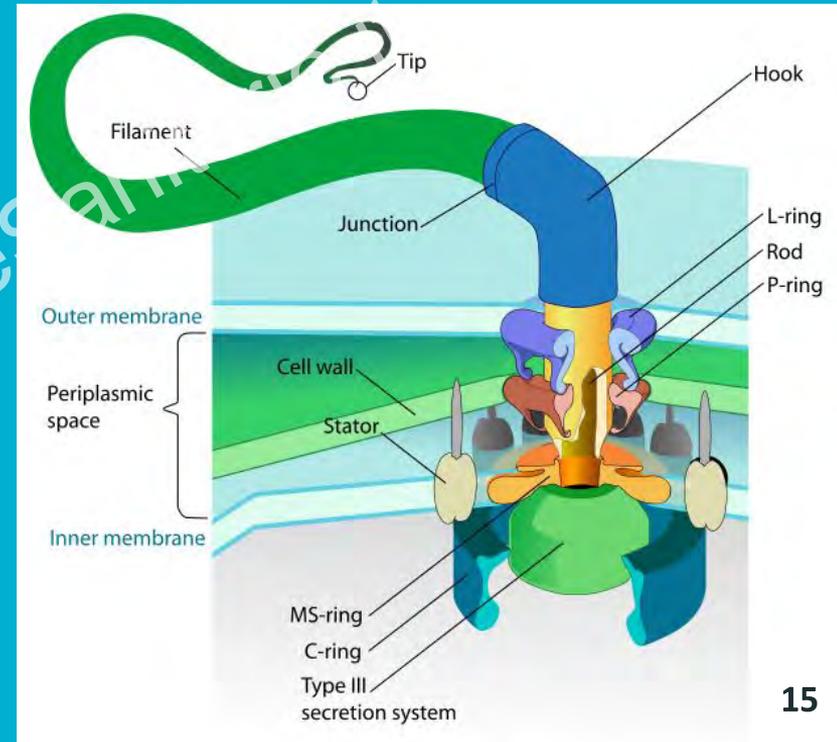


# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

Nel flagello si distinguono:

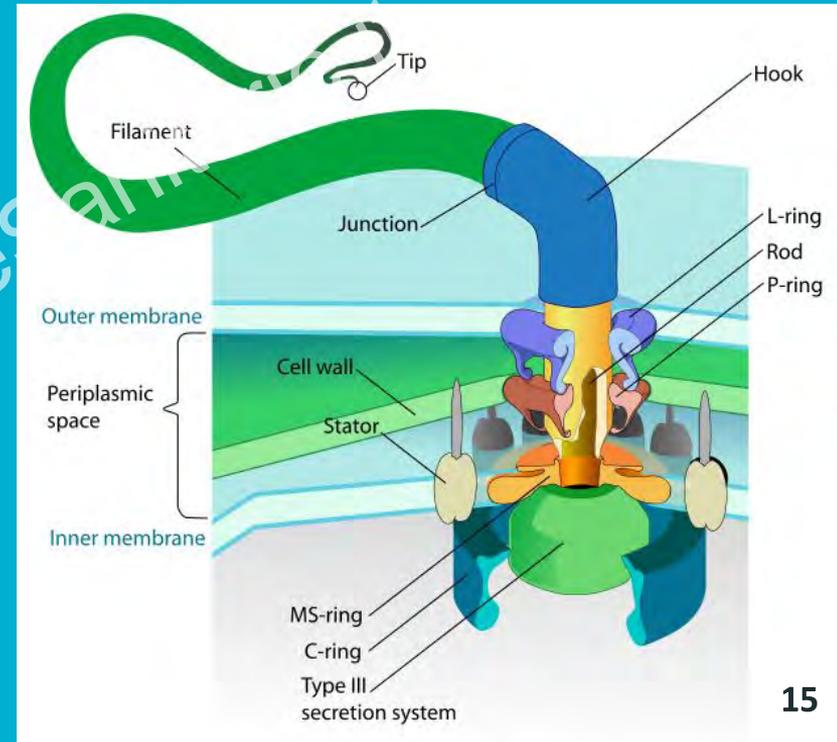
- il filamento
- il gancio o uncino
- il corpo basale



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

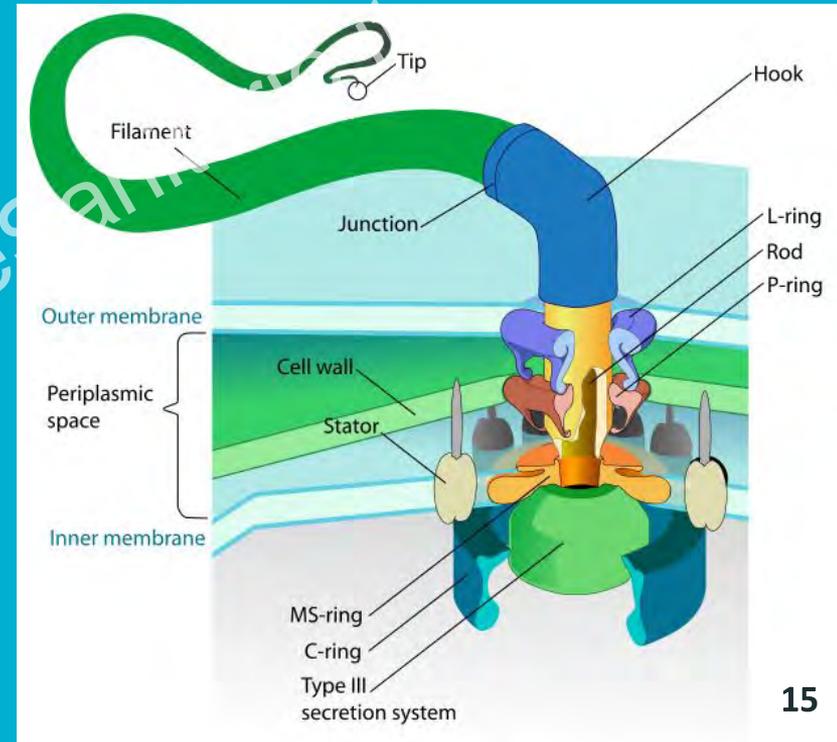
Filamento: formato da numerose unità della proteina flagellina, si estende dalla membrana esterna verso il mezzo circostante.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

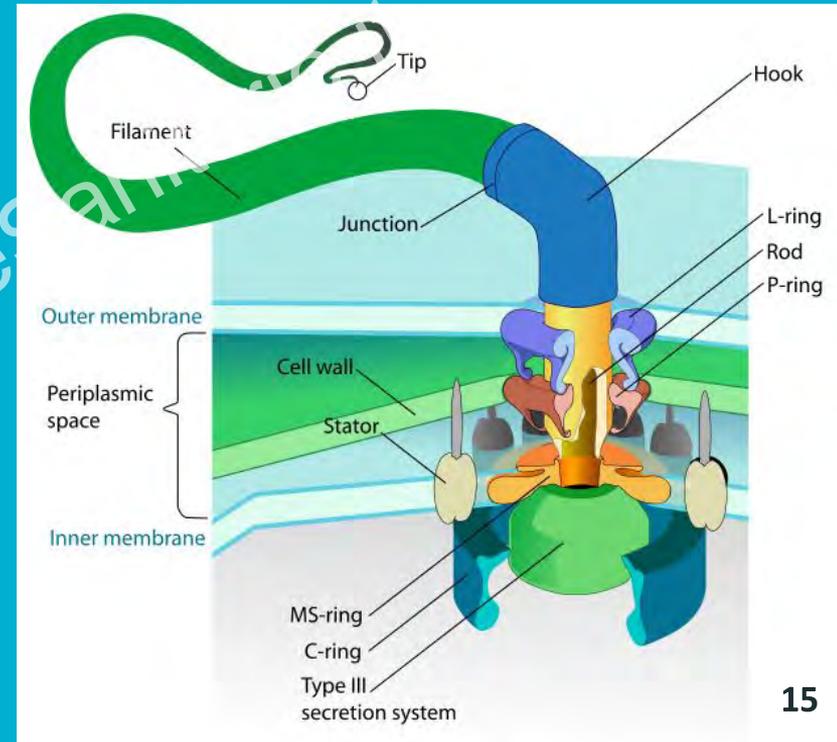
Gancio o uncino: unisce il filamento al corpo basale ed ha una tipica forma arcuata che ricorda un uncino. La sua forma consente il moto circolare.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Flagello

Corpo basale: la sua struttura è molto diversa nei batteri gram positivi e gram negativi. La parte comune è l'anello M5, inserito nella membrana cellulare.

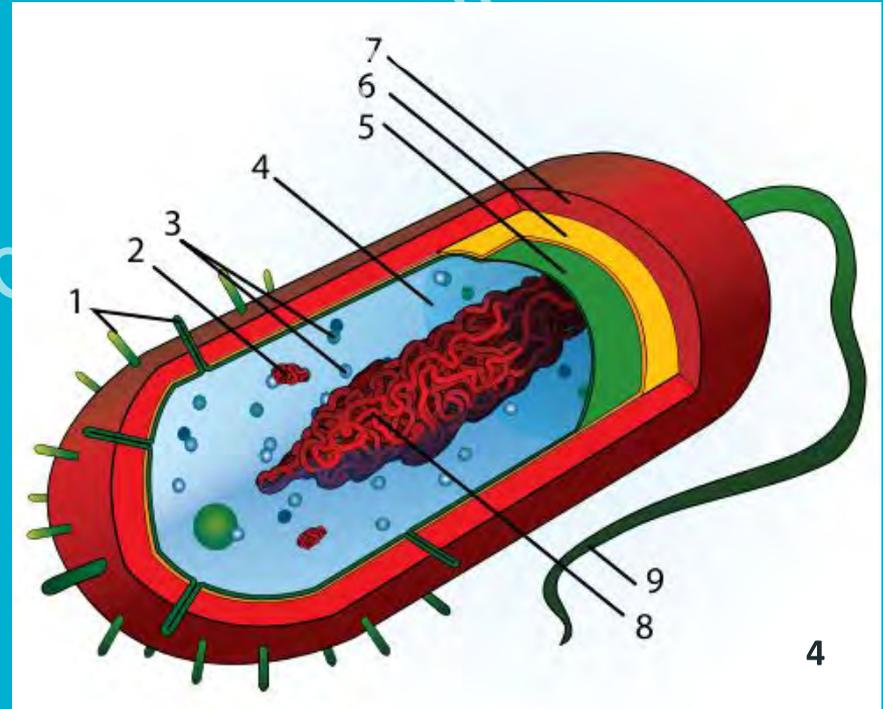


# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Capsula (7)

La capsula è il rivestimento più esterno e non è presente in tutti i batteri. In genere si suddivide in:

- strato S
- capsula propriamente detta
- strato mucoso



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Capsula

Il termine capsula in realtà non sarebbe del tutto corretto vista la natura prevalentemente saccaridica dei suoi componenti. Sarebbe più appropriato glicocalice. In ogni modo lo strato S è formato da proteine e glicoproteine che avrebbero un ruolo di filtro impedendo la penetrazione di grosse molecole come gli enzimi litici, particolarmente dannosi per la cellula batterica.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Capsula

La capsula propriamente detta ha una struttura prevalentemente saccaridica e la presenza di zuccheri è fondamentale contro l'essiccamento. Infatti questi zuccheri sono molecole idrofile che tendono a trattenere e ad assorbire acqua.

L'altra funzione fondamentale è l'adesione tra cellula-cellula e cellula-substrato.

E infine c'è da ricordare la virulenza.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Capsula

Per quanto riguarda la virulenza della capsula propriamente detta questa è legata ovviamente agli zuccheri che la costituiscono e che sono quindi dei veri e propri antigeni. La capsula però nello stesso tempo si oppone alla fagocitosi. Non si tratta di una contraddizione in quanto la fagocitosi (mediata da macrofagi e neutrofili) fa parte dei meccanismi di difesa aspecifici mentre l'antigene suscita una risposta immunitaria specifica stimolando la produzione di anticorpi.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Capsula

Lo strato mucoso è la porzione più esterna che spesso non ha un limite ben definito con l'ambiente circostante. Può essere formato da proteine o da polisaccaridi o da entrambi. Riduce l'attrito cellula-cellula o cellula-superficie.



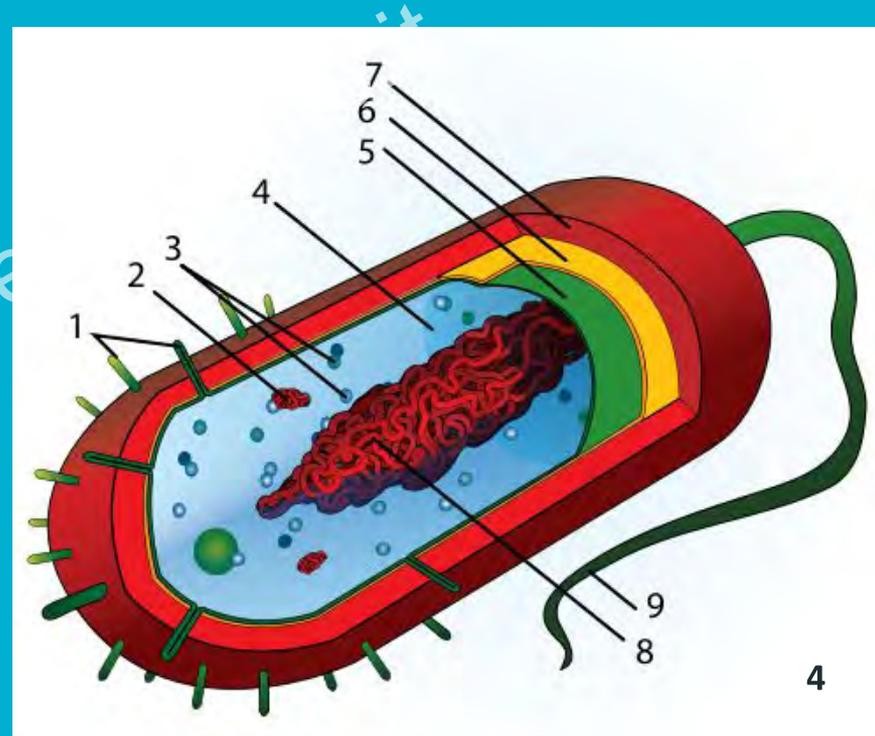
Capsula evidenziata all'esterno dei batteri tramite colorazione negativa

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare (6)

La maggior parte dei batteri presenta, al di sotto della capsula quando presente, un rivestimento più o meno rigido detto parete cellulare.

Ci sono profonde differenze tra eubatteri ed archeobatteri.

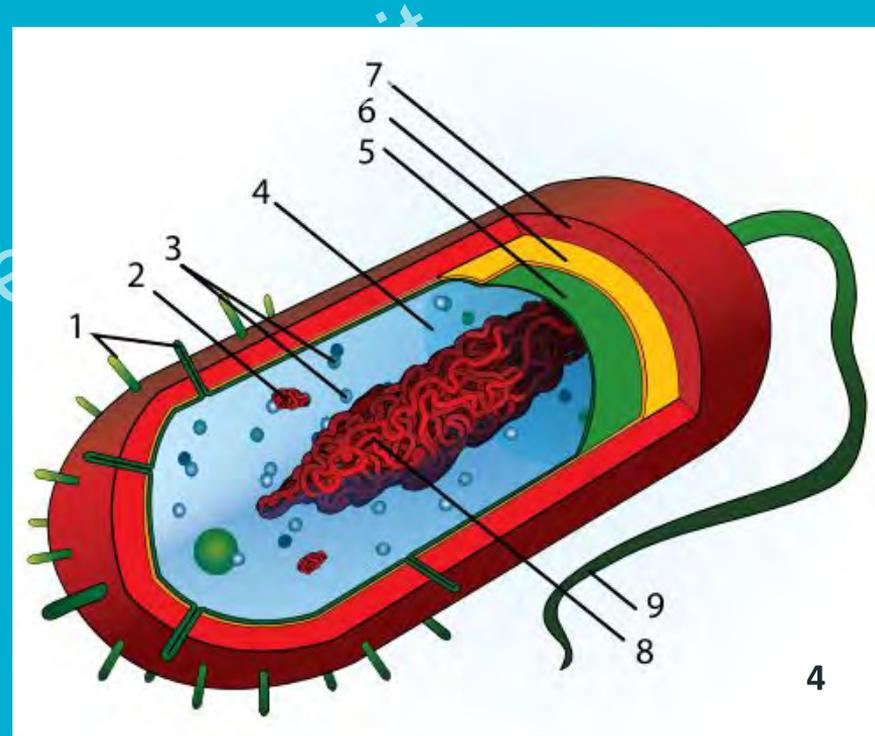


# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

Per capirle bene vale la pena esaminare prima gli eubatteri. In base al tipo di parete cellulare che presentano vengono suddivisi in:

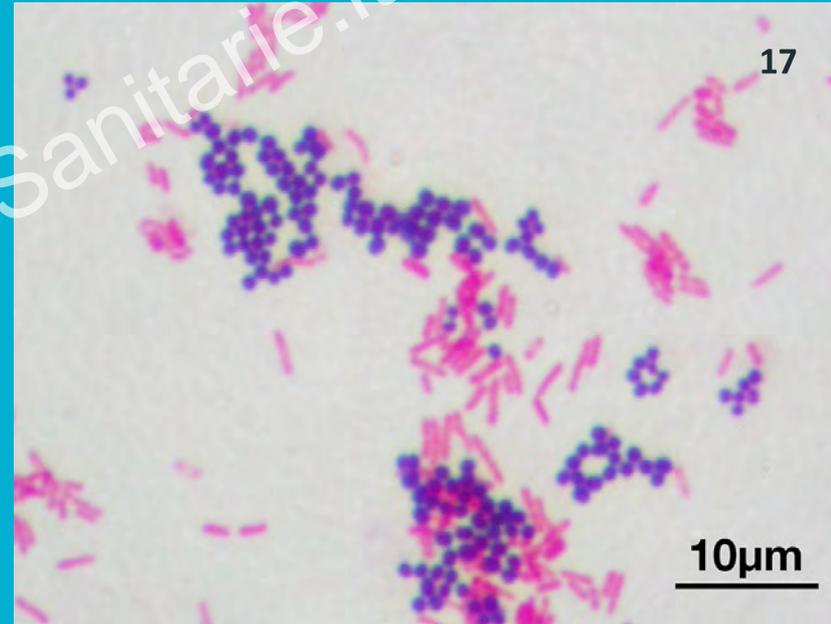
- Gram-positivi
- Gram-negativi



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

Questa classificazione dipende dal diverso comportamento che gli eubatteri hanno verso la colorazione Gram che, a sua volta, è strettamente legata alla struttura molecolare della parete. Nella fotografia accanto sono evidenziate le due classi di batteri.



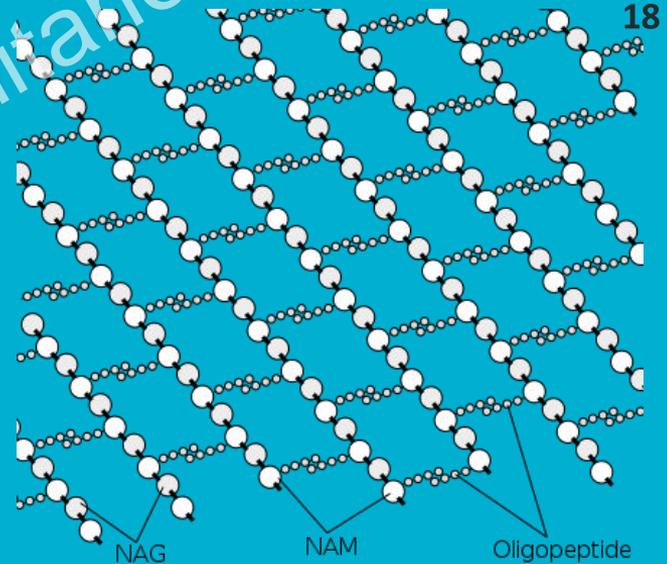
Colorazione Gram che evidenzia esemplari di *Staphylococcus aureus* (Gram-positivi blu) ed *Escherichia coli* (Gram-negativi rossi)

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

Ci conviene quindi esaminare la struttura molecolare della parete cellulare e il polimero che la forma cioè il peptidoglicano o mureina.

La molecola che conferisce rigidità alla parete cellulare è formata da zuccheri e aminoacidi uniti nella struttura reticolare schematizzata di lato.



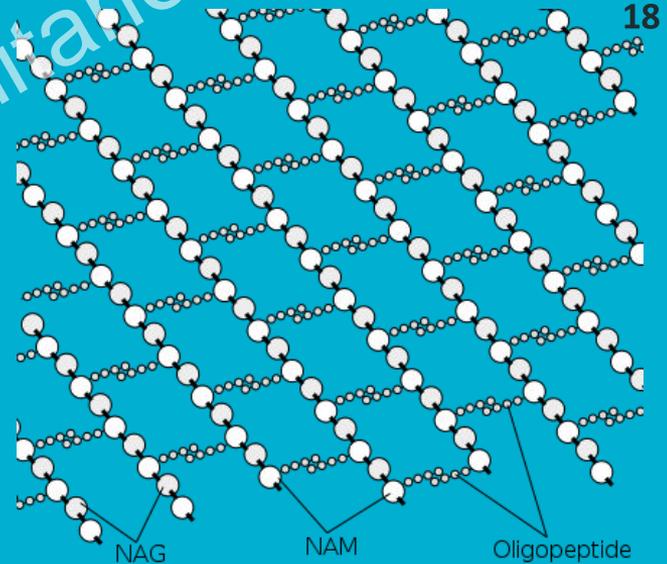
Peptidoglicano

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

Gli zuccheri sono l'acido N-acetilmuramico e la N-acetilglucosammina che sono conosciuti rispettivamente con la sigla NAM e NAG. Tali zuccheri si alternano a formare filamenti.

All'acido N-acetilmuramico si lega un peptide formato da 3 a 5 aminoacidi.

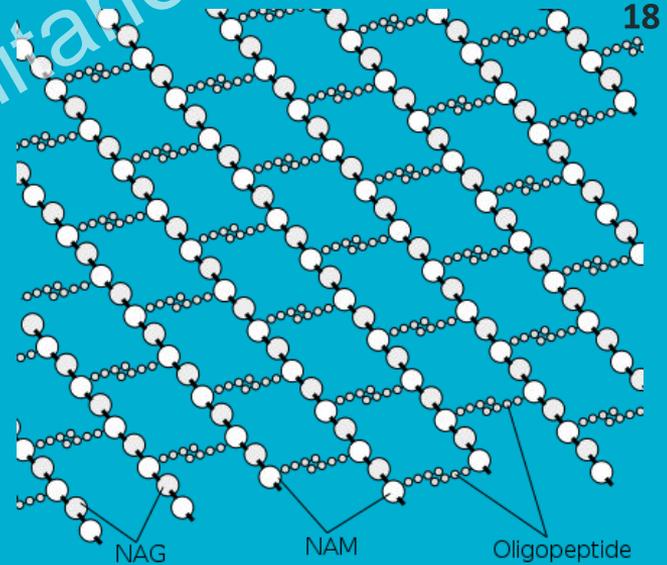


Peptidoglicano

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

A sua volta la catena peptidica si lega ad un'altra struttura peptidica unita ad un altro filamento di zuccheri alternati. Si viene così a formare una struttura reticolare che conferisce rigidità alla parete ma non interviene nella forma del batterio che invece si attribuisce ad una particolare proteina.

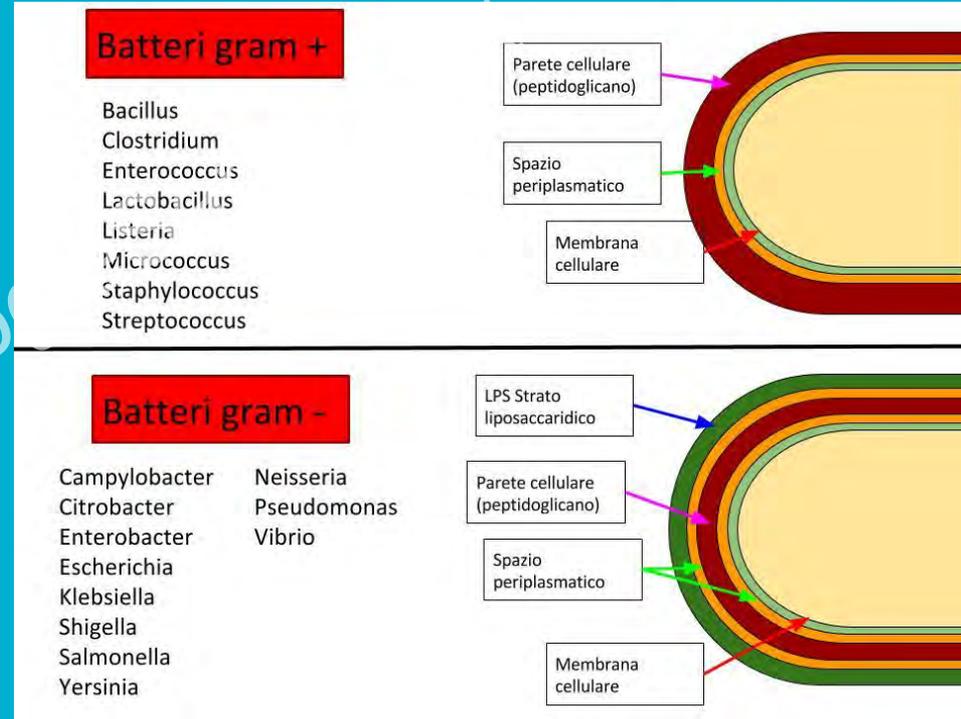


Peptidoglicano

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

Nei batteri Gram positivi lo strato di peptidoglicano è piuttosto spesso (20 - 80 nm) mentre nei batteri Gram-negativi raggiunge solo i 7 - 8 nm. Nell'immagine accanto le proporzioni non sono rispettate.

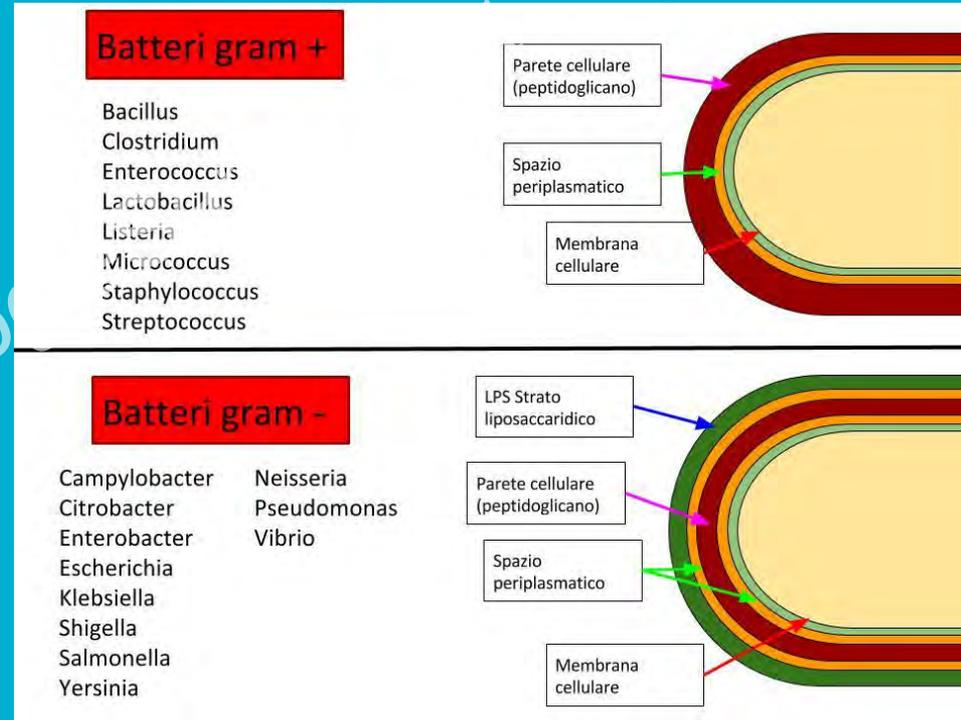


# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

19

## Parete cellulare

Le differenze tra i Gram-positivi e negativi sono ben evidenziate nello schema di lato e spiegano il differente comportamento che le due classi di batteri hanno verso la colorazione Gram. Vediamola nel dettaglio.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

1. Mettere una goccia di acqua sul vetrino portaoggetti.
2. Sterilizzare l'ansa (oppure usare un'ansa usa e getta come nella foto) e con essa prelevare una piccolissima quantità da una colonia cresciuta su una piastra Petri.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Parete cellulare

3. Trasferire il prelievo sulla goccia stendendolo accuratamente e delicatamente.

L'esperienza insegna quale quantità di acqua sia ottimale per portare a termine la colorazione senza avere liquido in eccesso.

4. Far asciugare l'eventuale eccesso di acqua a temperatura ambiente.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Parete cellulare

5. Fissare il preparato sul vetrino passandolo sul bunsen velocemente e tenendolo alto sulla fiamma.

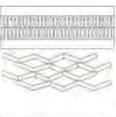
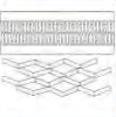
Questo passaggio serve ad “incollare” cioè a bloccare il campione e uccidere i batteri in modo che possano incorporare i coloranti. Infatti i coloranti non penetrano nelle cellule ancora vive.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

6. Appoggiare il vetrino sulla vaschetta per colorazioni.

7. Ricoprire il preparato con crystal-violetto che colora le componenti acide (cioè il DNA) e lasciar agire per un minuto.

Gram Staining Procedure		Gram Positive Cell Wall		Gram Negative Cell Wall	
Process of test	Appearance of Cells	Effect of Step	Effect on Cell Wall	Effect of Step	Effect on Cell Wall
Step 1: Begin with heat fixed cells		Step 1: Cell wall remains clear.		Step 1: Cell wall remains clear.	
Step 2: Flood slide with crystal violet dye for 1 min.		Step 2: Peptidoglycan cell wall is flooded with crystal violet and appears purple.		Step 2: Cell wall is stained purple from the crystal violet dye.	
Step 3: Add iodine solution for 1 min.		Step 3: A crystal violet-iodine complex is formed within the peptidoglycan cell wall trapping the purple stain.		Step 3: A crystal violet-iodine complex is formed but does not adhere to the cell wall due to the thin layer of peptidoglycan.	
Step 4: Wash slide with alcohol for 20sec.		Step 4: The crystal violet-iodine complex is trapped with the peptidoglycan cell wall and doesn't wash out.		Step 4: The crystal violet-iodine structure is washed out of the thin peptidoglycan layer.	
Step 5: Counter stain with safranin.		Step 5: As the peptidoglycan cell wall remains stained purple the red safranin has no effect.		Step 5: The red safranin stains the washed gram negative cells.	

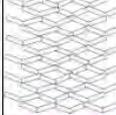
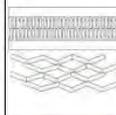
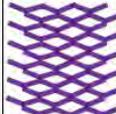
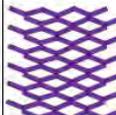
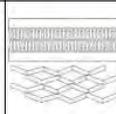
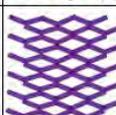
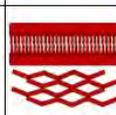
Fasi della colorazione Gram e confronto fra le due classi di batteri

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

8. Versare l'eccesso di colorante e sciacquare con acqua.

9. Ricoprire con il liquido di Lugol che funge da mordenzante. Far agire per un minuto. Versare l'eccesso di Lugol lavando con etanolo e decolorare per 30 e 60 secondi, fino a che il preparato non rilascia più il colore.

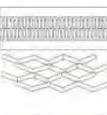
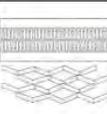
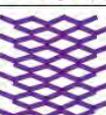
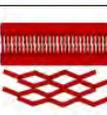
Gram Staining Procedure		Gram Positive Cell Wall		Gram Negative Cell Wall	
Process of test	Appearance of Cells	Effect of Step	Effect on Cell Wall	Effect of Step	Effect on Cell Wall
<b>Step 1:</b> Begin with heat fixed cells		<b>Step 1:</b> Cell wall remains clear.		<b>Step 1:</b> Cell wall remains clear.	
<b>Step 2:</b> Flood slide with crystal violet dye for 1 min.		<b>Step 2:</b> Peptidoglycan cell wall is flooded with crystal violet and appears purple.		<b>Step 2:</b> Cell wall is stained purple from the crystal violet dye.	
<b>Step 3:</b> Add iodine solution for 1 min.		<b>Step 3:</b> A crystal violet-iodine complex is formed within the peptidoglycan cell wall trapping the purple stain.		<b>Step 3:</b> A crystal violet-iodine complex is formed but does not adhere to the cell wall due to the thin layer of peptidoglycan.	
<b>Step 4:</b> Wash slide with alcohol for 20sec.		<b>Step 4:</b> The crystal violet-iodine complex is trapped with the peptidoglycan cell wall and doesn't wash out.		<b>Step 4:</b> The crystal violet-iodine structure is washed out of the thin peptidoglycan layer.	
<b>Step 5:</b> Counter stain with safranin.		<b>Step 5:</b> As the peptidoglycan cell wall remains stained purple the red safranin has no effect.		<b>Step 5:</b> The red safranin stains the washed gram negative cells.	

Fasi della colorazione Gram e confronto fra le due classi di batteri

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

10. Usare a questo punto la safranina che si lascia agire per un minuto. Questo colora le componenti acide rimaste libere dei Gram- e li colora in rosso, mentre non può legarsi ai componenti molecolari dei Gram+, impegnati nel legame con il cristal-violetto.

Gram Staining Procedure		Gram Positive Cell Wall		Gram Negative Cell Wall	
Process of test	Appearance of Cells	Effect of Step	Effect on Cell Wall	Effect of Step	Effect on Cell Wall
Step 1: Begin with heat fixed cells		Step 1: Cell wall remains clear.		Step 1: Cell wall remains clear.	
Step 2: Flood slide with crystal violet dye for 1 min.		Step 2: Peptidoglycan cell wall is flooded with crystal violet and appears purple.		Step 2: Cell wall is stained purple from the crystal violet dye.	
Step 3: Add iodine solution for 1 min.		Step 3: A crystal violet-iodine complex is formed within the peptidoglycan cell wall trapping the purple stain.		Step 3: A crystal violet-iodine complex is formed but does not adhere to the cell wall due to the thin layer of peptidoglycan.	
Step 4: Wash slide with alcohol for 20sec.		Step 4: The crystal violet-iodine complex is trapped with the peptidoglycan cell wall and doesn't wash out.		Step 4: The crystal violet-iodine structure is washed out of the thin peptidoglycan layer.	
Step 5: Counter stain with safranin.		Step 5: As the peptidoglycan cell wall remains stained purple the red safranin has no effect.		Step 5: The red safranin stains the washed gram negative cells.	

Fasi della colorazione Gram e confronto fra le due classi di batteri

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

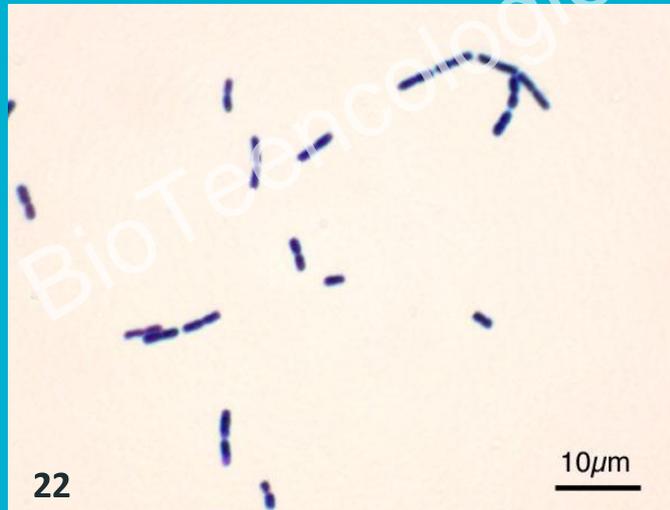
## Parete cellulare

11. Sciacquare con acqua, sgocciolare il vetrino e lasciarlo asciugare all'aria o passandolo sul bunsen.

Di lato ciò che si vede al microscopio dopo la colorazione.

A sinistra: *Bacillus cereus* (Gram+)

A destra : *Escherichia coli* (Gram-)



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Parete cellulare

Qual è la spiegazione? Tutto dipende dalla struttura della parete cellulare e dalla decolorazione eseguita con etanolo che, mentre disidrata i Gram+ dotati di una spessa parete di peptidoglicano, ha un effetto diverso sui Gram- il cui strato più esterno è di natura lipopolisaccaridica e viene solvatato dall'etanolo. Quindi i Gram+ rimangono colorati di blu mentre i Gram- possono assorbire la safranina.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Parete cellulare

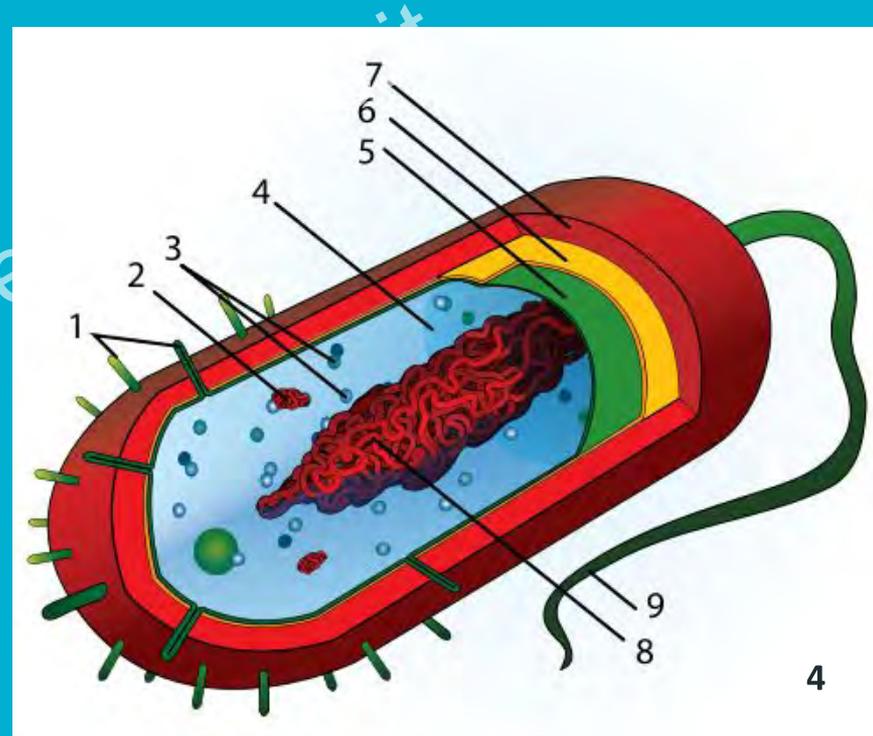
Una volta capita la struttura della parete cellulare degli eubatteri viene spontaneo chiedersi quali sono le differenze negli archeobatteri. In questo caso la parete cellulare è formata da lipidi, proteine e pseudopeptidoglicano. Le differenze biochimiche sono legate alla necessità di sopravvivere in condizioni estreme.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Membrana cellulare (5)

Come tutte le cellule anche i batteri posseggono una membrana cellulare che ha la stessa struttura delle cellule eucariote seppure con qualche differenza.

Andiamole a vedere queste differenze.



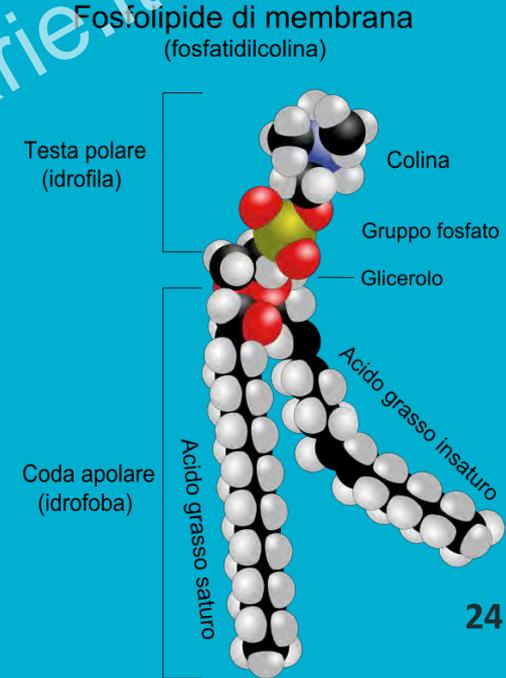
# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Membrana cellulare

Prima di tutto l'impalcatura è un doppio strato di fosfolipidi

Un fosfolipide è una molecola formata da due acidi grassi (code apolari idrofobe) e un gruppo fosfato (testa polare) idrofila.

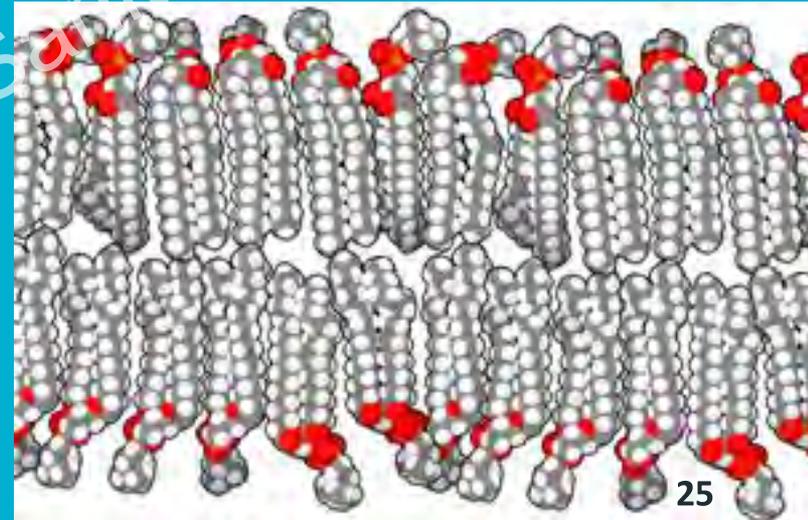
I due acidi grassi sono legati ad una molecola di glicerolo.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Membrana cellulare

I fosfolipidi sono disposti in doppio strato in modo che le code di acidi grassi, idrofobiche, siano situate all'interno mentre le fasce esterne idrofiliche, costituite da fosfati, possono stare a contatto con l'acqua.

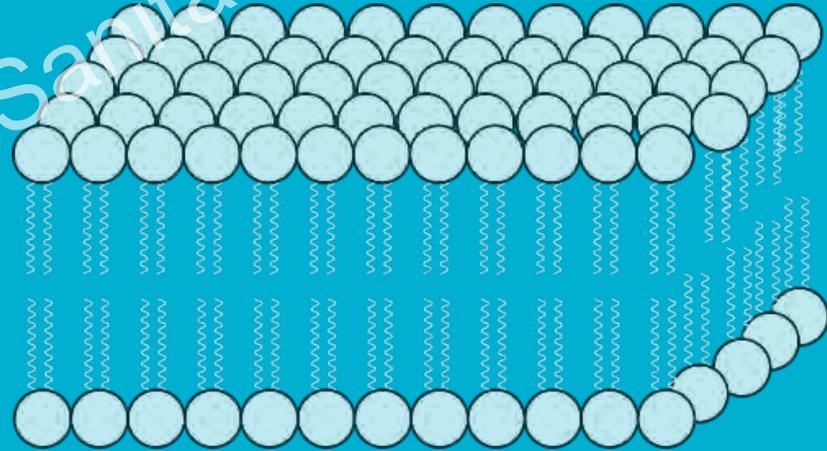


Doppio strato di fosfolipidi tipico degli eucarioti per la presenza di fosfatidilcolina

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Membrana cellulare

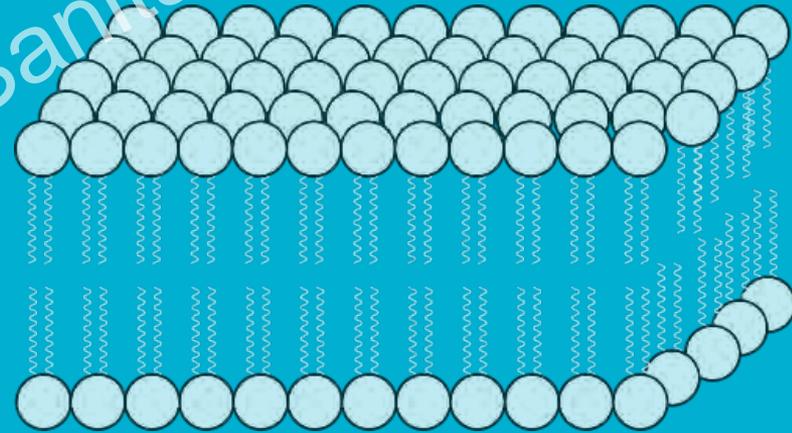
Infatti da una parte le teste idrofile dei fosfati segnano il confine con l'ambiente esterno mentre dall'altra parte sono a contatto con il citosol acquoso all'interno della cellula batterica.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Membrana cellulare

Questo modello prende il nome di mosaico fluido (Singer e Nicholson 1972) perché i fosfolipidi si trovano in uno stato di liquido-cristallino in cui sono immerse numerose proteine. Sono queste proteine a svolgere la maggior parte delle funzioni della membrana cellulare.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

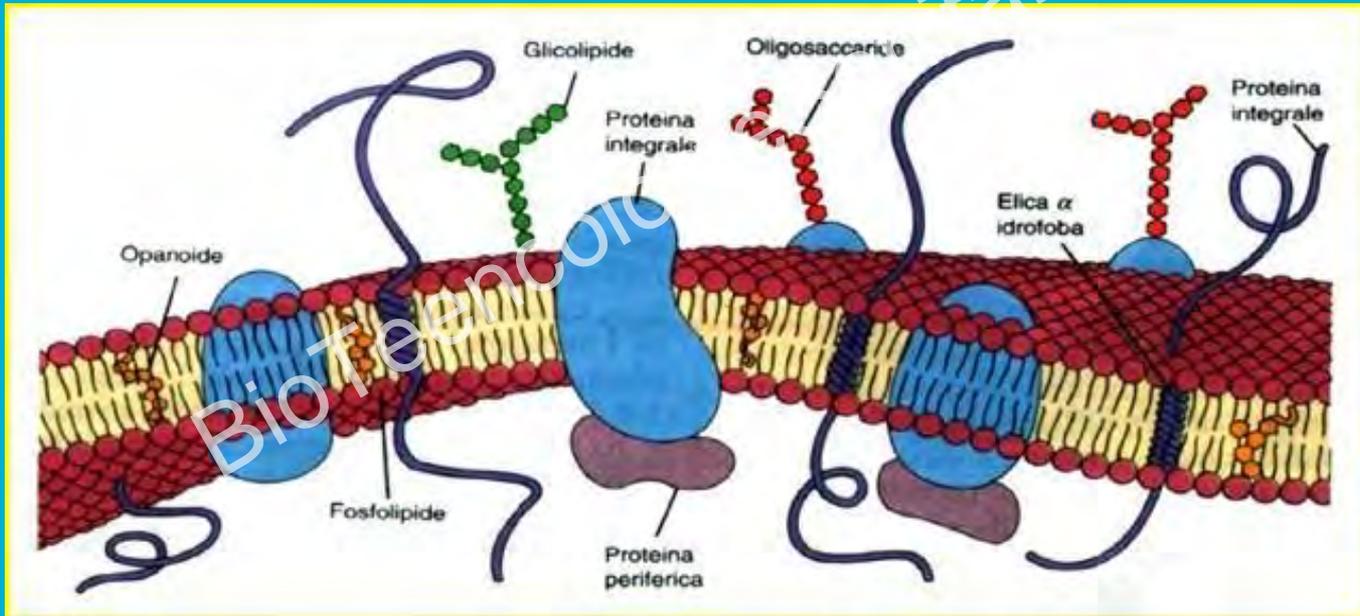
## Membrana cellulare

Tra queste proteine il 70-80% è costituito da proteine intrinseche o interne difficilmente separabili dalla struttura e da proteine estrinseche o esterne più facilmente rimovibili dalla struttura (20-30%).

Inoltre sono presenti altre molecole: gli opanoidi. Agli opanoidi si attribuisce una funzione simile a quella del colesterolo presente nella membrana cellulare degli eucarioti, cioè la regolazione della fluidità.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Membrana cellulare



Schema della struttura della membrana cellulare di un batterio

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Membrana cellulare

La funzione della membrana cellulare è quella di controllare gli scambi tra molecole verso l'interno e l'esterno anche in relazione alla quantità.

Svolge un ruolo importante nella divisione cellulare.

È sede di numerosi enzimi e di importanti fasi del metabolismo batterico.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

## Membrana cellulare

Inoltre la cellula batterica riesce ad adattarsi a variazioni dell'ambiente in cui vive, per esempio modificazioni della temperatura, modulando le proporzioni dei suoi acidi grassi. Ciò le consente di regolare la fluidità della membrana.

Al contrario delle cellule eucariote i batteri presentano una maggiore variabilità di acidi grassi. D'altra parte i batteri sono presenti sulla Terra da più di tre miliardi di anni e qualche struttura biomolecolare più vantaggiosa rispetto agli altri esseri viventi la devono avere.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Membrana cellulare

Per concludere l'argomento vediamo quali sono le differenze tra eubatteri ed archeobatteri.

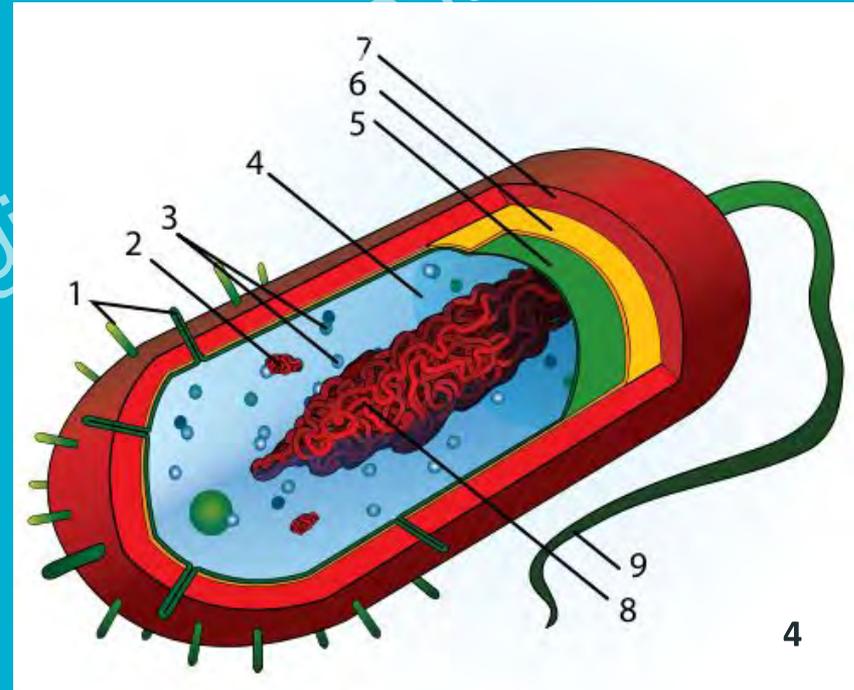
Negli archei gli acidi grassi sono sostituiti dagli isoprenoidi. Gli isoprenoidi sono lipidi costituiti da unità ripetute di 5 atomi di carbonio (isoprene), che formano lunghe catene sature.

I più frequenti isoprenoidi negli archeobatteri sono il fitanolo ( $C_{20}$ ) e il bifitanolo ( $C_{40}$ ).

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Citoplasma (4)

Il citoplasma è contenuto all'interno della membrana cellulare ed è una matrice costituita dalle sostanze chimiche vitali: acqua, ioni inorganici e molecole organiche più o meno complesse.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Citoplasma

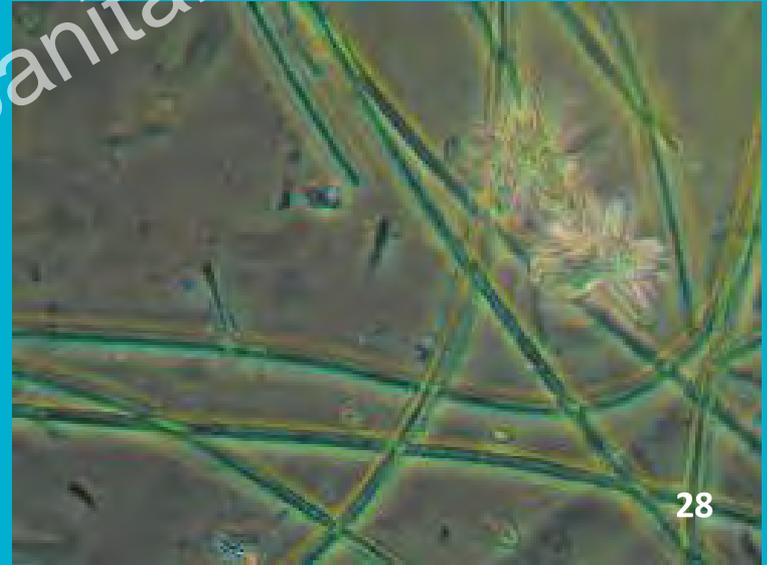
Il citoplasma può contenere inclusioni che hanno il significato generico di accumuli di sostanze di riserva (glicogeno, polisaccaridi ... ma possono essere anche lipidi).

In altri casi si utilizzano termini specifici per le inclusioni. Per esempio si può parlare di clorosomi; è il caso dei batteri verdi in cui la disposizione delle molecole di clorofilla (anche più di 100.000 nel clorosoma) li rende efficienti nell'utilizzare la luce. In realtà si tratta di batterioclorofille peraltro molto simili alla clorofilla di piante, alghe ...

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

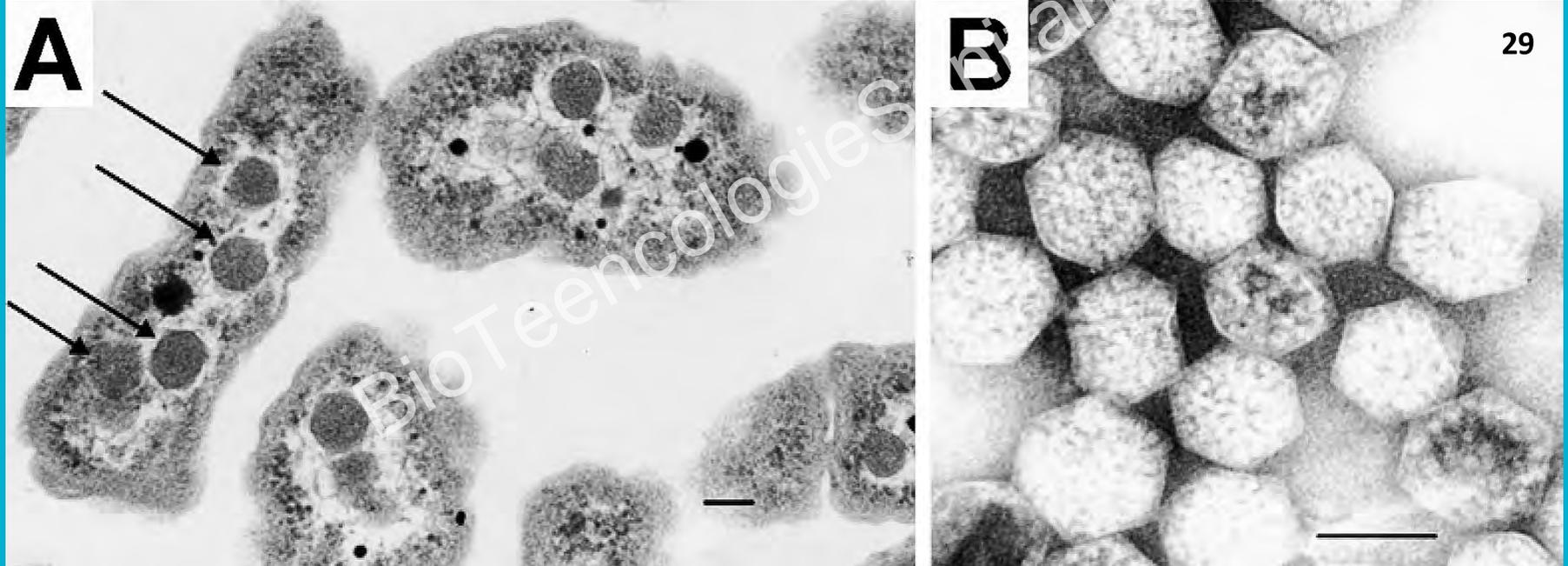
## Citoplasma

La foto accanto mostra dei Chlorobi, che possono essere sferici o filamentosi, i cui clorosomi sono congiunti alla membrana cellulare con cui formano dei complessi antenna. Vivono in ambienti con un livello di luce estremamente basso.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

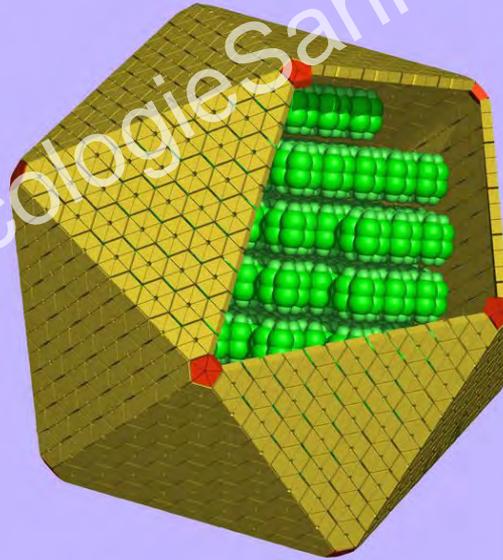
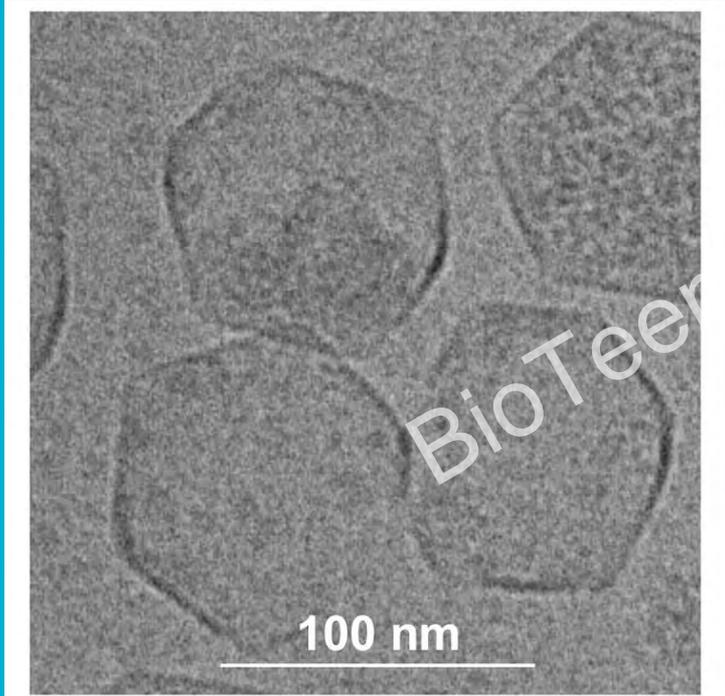
**Citoplasma** La foto evidenzia un altro tipo d inclusioni: i carbossisomi



A sinistra carbossisomi (indicati da frecce) all'interno di cellule batteriche e a destra carbossisomi isolati

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

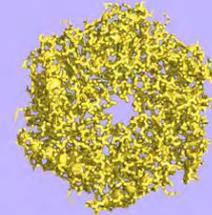
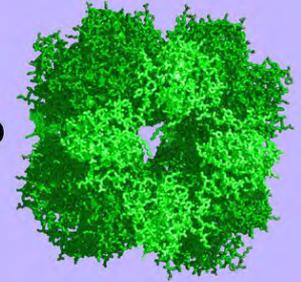
**Citoplasma** Altri carbossisomi con il loro modello accanto



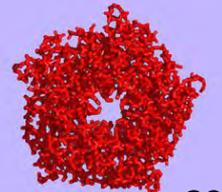
The carboxysome

Enzymes and shell proteins

RuBisCO



hexamers



pentamers

30

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

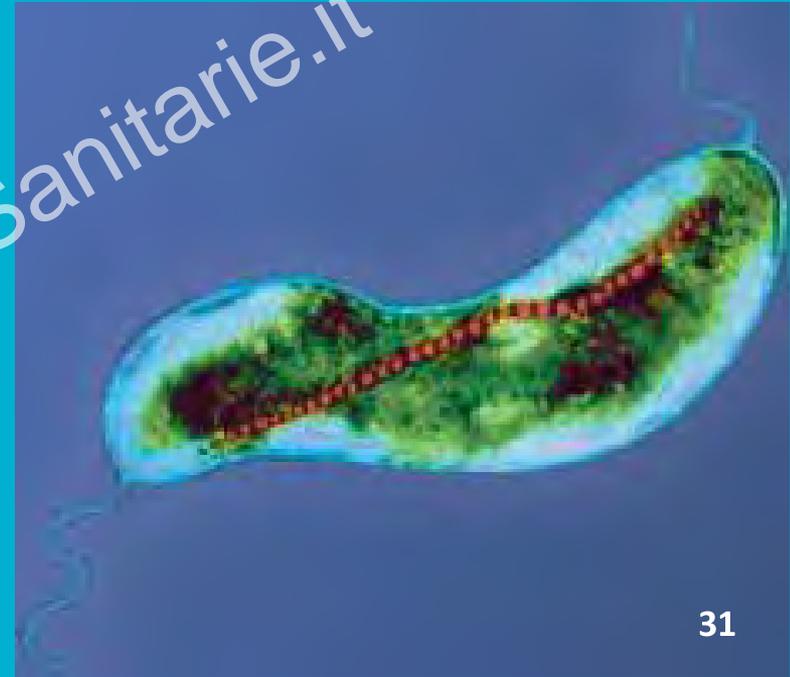
## Citoplasma

Ma cosa sono i carbossisomi? Sono inclusioni formate da gusci proteici poliedrici di 80 - 140 nm di diametro pieni di RuBisCO, l'enzima che partecipa alla fissazione del carbonio. Si sarebbero evoluti con il progressivo aumento di ossigeno nell'atmosfera primordiale. Infatti l'ossigeno compete con l'anidride carbonica nella reazione che coinvolge il RuBisCO. I carbossisomi quindi servirebbero a concentrare la  $\text{CO}_2$  per sopperire all'inefficienza del RuBisCO dovuta alla contemporanea presenza di  $\text{O}_2$ .

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Citoplasma

Altro tipo di inclusioni sono i magnetosomi, accumuli di magnetite. Il batterio della foto accanto ne mostra una catena. Questo tipo di batteri si dispone secondo le linee del campo magnetico terrestre.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

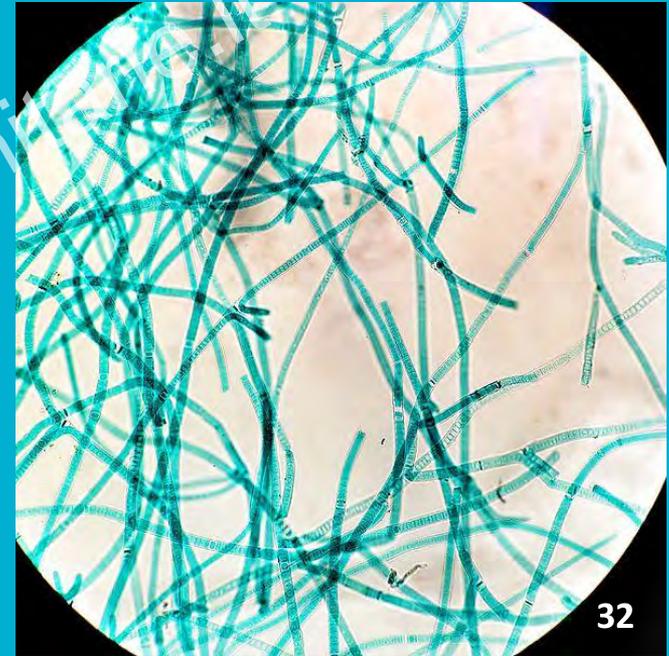
## Citoplasma

Sembra che i magnetosomi siano coinvolti nel proteggere la cellula dall'accumulo di perossido di idrogeno. I microbiologi industriali sono impegnati a testare metodi colturali giusti in modo da poter ricavare da batteri magnetotattici la quantità di magnetite (ossido di ferro) giusta per ottenere nastri magnetici su cui registrare suoni e dati.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Citoplasma

Altro tipo di inclusioni sono i vacuoli gassosi (vescicole proteiche tubulari vuote) che consentono la galleggiabilità ai batteri presenti in ambienti acquosi come i cianobatteri. La foto al microscopio di lato mostra cianobatteri filamentosi (genere *Tolypothrix*).



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Citoplasma

I vacuoli gassosi, consentendo la galleggiabilità, concorrono al posizionamento ottimale dei batteri in relazione a luce, temperatura e disponibilità di sostanze nutritive.

Altro interessante tipo di inclusione sono i granuli solforici. Cioè granuli di zolfo che sono riserve energetiche. Tipico il caso di Thiobacillus.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Citoplasma

Per finire ricordiamo le granulazioni metacromatiche (o granuli di volutina) il cui esempio più eclatante è rappresentato dai corinebatteri che si presentano con estremità ricche di granulazioni di polifosfati che, alla colorazione al blu di metilene, si tingono di rosso-viola. Nella slide successiva potete vedere una foto al microscopio di *Corynebacterium diphtheriae* con questa caratteristica.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE



33

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Citoplasma

La metacromasia è un fenomeno interessante. Si verifica quando, colorando con coloranti basici come il blu di toluidina, invece di tingersi del classico blu-violetto il preparato appare rosso o rosso-violetto. Si verifica quando il colorante si lega a molecole polianioniche.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

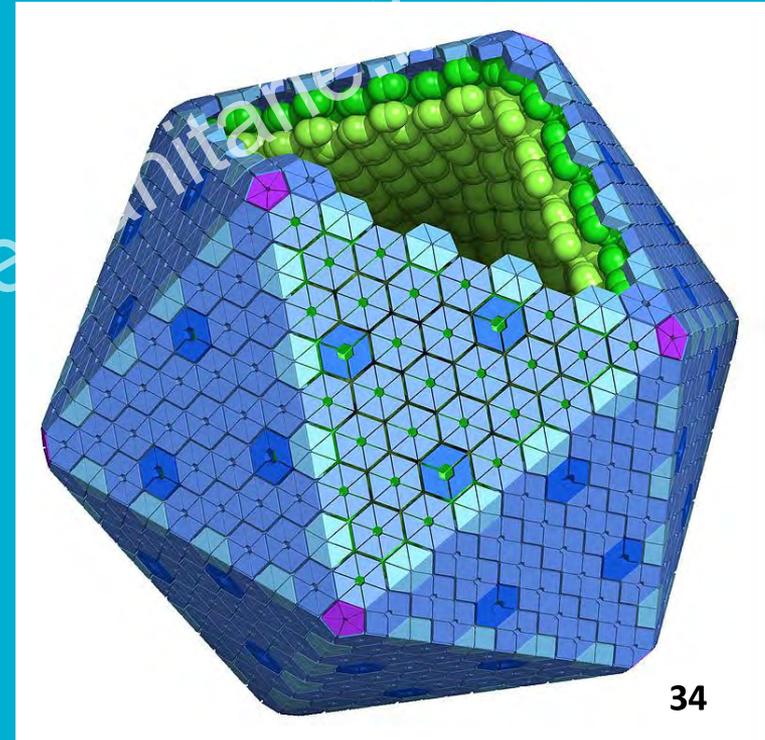
## Citoplasma

Concludendo questa parte relativa alle inclusioni citoplasmatiche si può dire che non è vero che non esistono organuli nei batteri. Abbiamo scoperto per esempio l'esistenza di microcompartimenti batterici (BMC) da identificare con i carbossisomi. Ne esistono anche altri che richiedono studi superiori ma tutti sono caratterizzati da gusci proteici che funzionano come membrane selettive.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Citoplasma

Accanto potete vedere il modello di un carbossisoma che già conosciamo ma che evidenzia come sia formato da tre tipi di proteine diverse (identificate da 3 sfumature di blu).

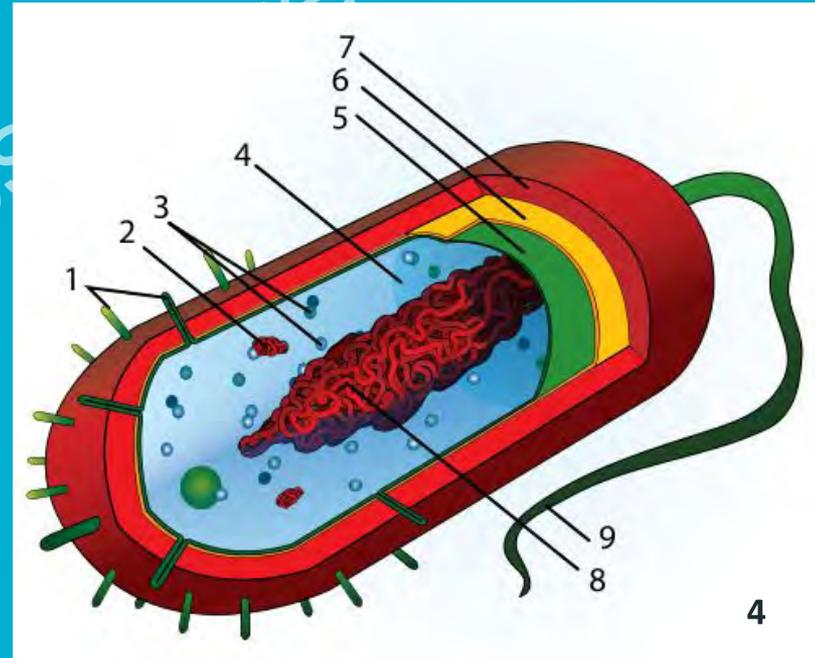


34

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Ribosomi (3)

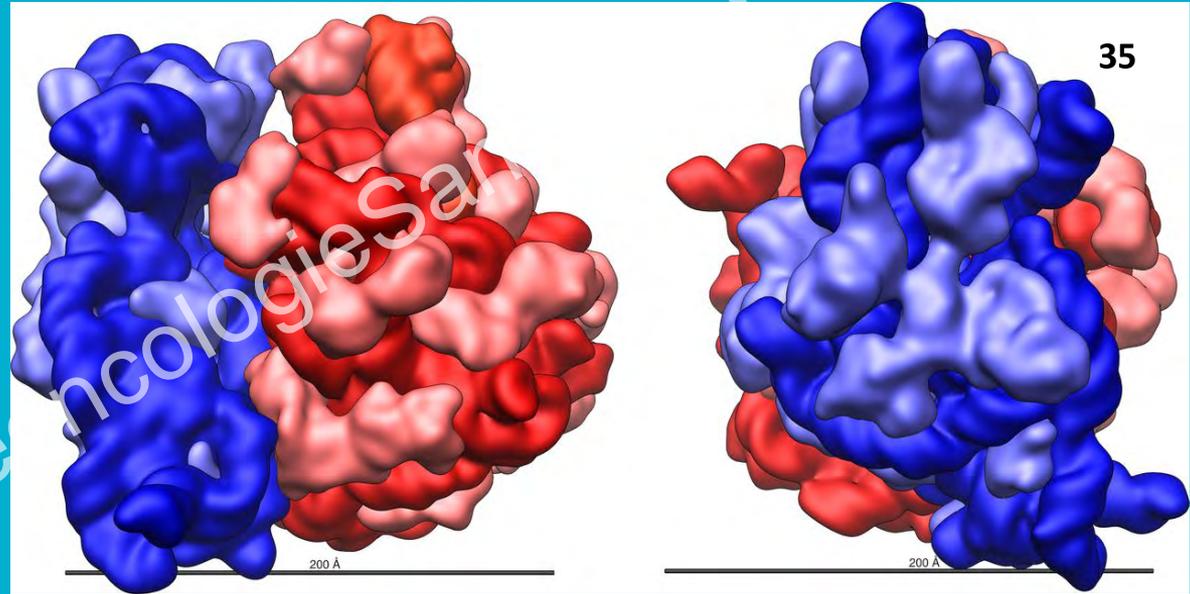
Nel citoplasma sono presenti anche i ribosomi, sede della sintesi proteica, ma con evidenti differenze rispetto alla cellula eucariote.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Ribosomi

I ribosomi sono formati da 3 molecole di RNA ribosomiale e da proteine che danno vita a due subunità visibili qui accanto.



Ribosoma 70S di *Escherichia coli* visto da due prospettive diverse. In blu la subunità più piccola e in rosso la più grande. L'unità di riferimento è pari a 200 Å cioè 20 nm

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Ribosomi

I ribosomi delle cellule procariote sono molto diversi da quelli delle cellule eucariote.

I ribosomi delle cellule procariote, infatti, hanno un coefficiente di sedimentazione di 70 S (svedberg).

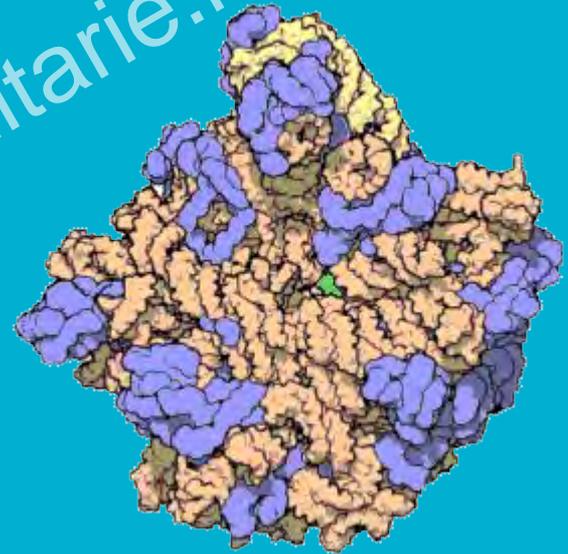
Il coefficiente di sedimentazione è un numero adimensionale che rappresenta il rapporto tra la velocità di sedimentazione di un corpo ideale (una sfera) e quello del corpo in esame. In alcuni casi è espresso dall'unità di misura svedberg (S), non appartenente al Sistema Internazionale.

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Ribosomi

Le due subunità ribosomiche della cellula procariote hanno questa struttura.

	Subunità grande	Subunità piccola
Coefficiente di sedimentazione	50 S	30 S
Proteine	34	21
RNA	2 RNA (23 S e 5 S)	1 RNA (16 S)



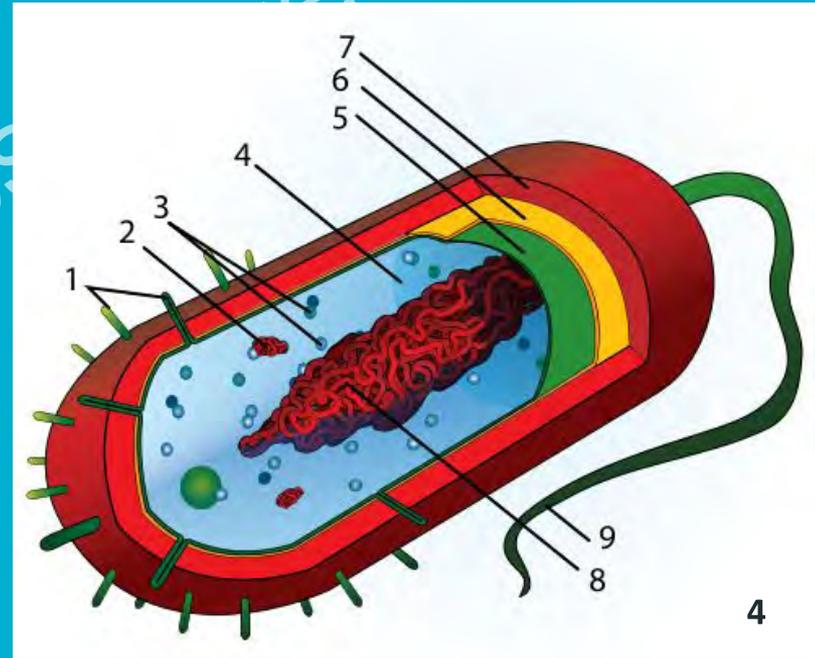
**36**  
 Subunità grande dell'archeobatterio *Haloarcula marismortui*. In blu le proteine, in giallo e rosa i 2 RNA

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Nucleoide (8)

La molecola del DNA, superavvolta su se stessa (può arrivare a 1,7 mm), occupa un'area all'interno del citoplasma che prende il nome di nucleoide.

Il DNA è generalmente circolare ed è formato da 3 a 5 milioni di paia di basi azotate.

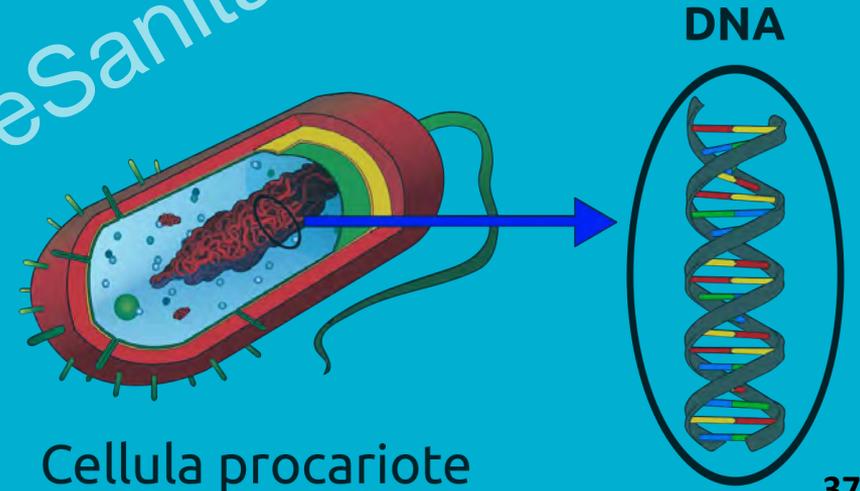


# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Nucleoide

Il DNA contiene l'informazione genetica di ogni essere vivente, batteri compresi.

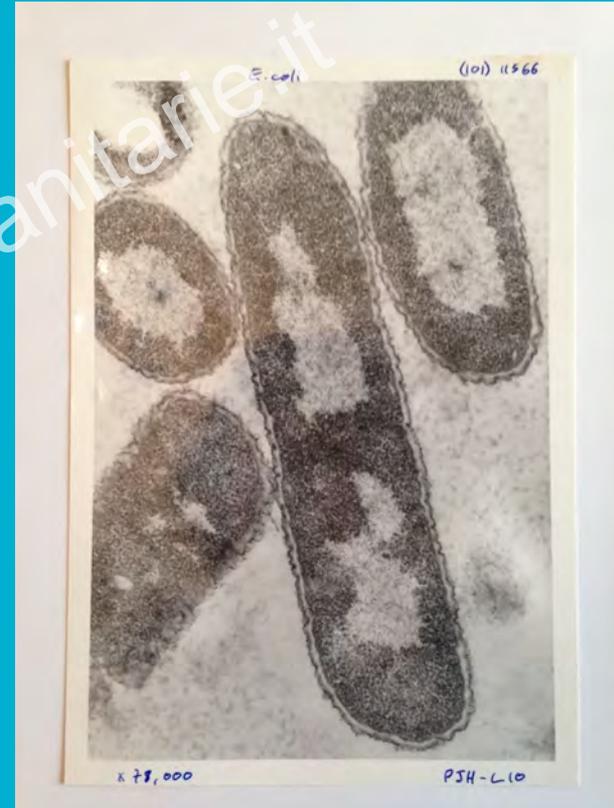
La sua unità fondamentale è il gene. Ogni gene corrisponde ad una proteina e mediamente è formato da 1000 nucleotidi.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Nucleoide

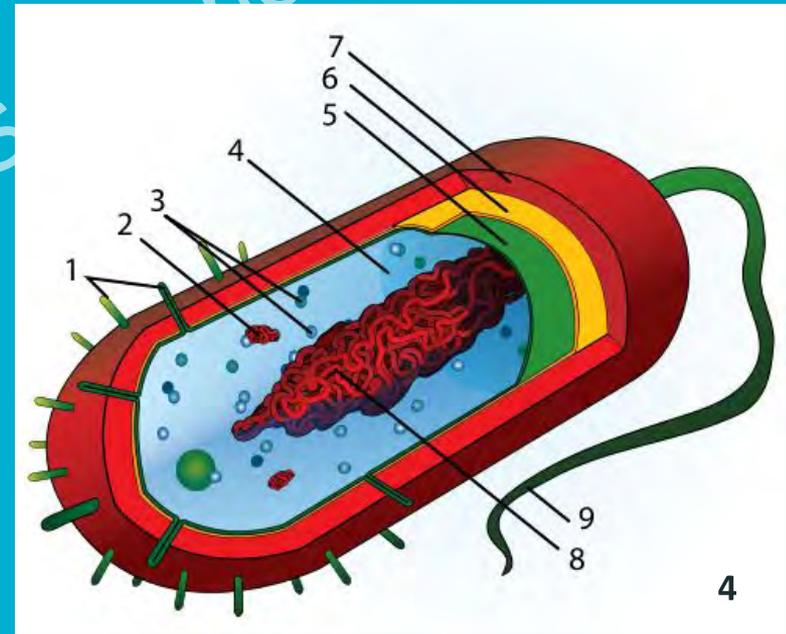
Un batterio come *Escherichia coli* (di lato, fotografato al microscopio elettronico) ha un DNA di 4.300.000 paia di basi azotate, corrispondente a 4300 geni circa.



# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Plasmidi (3)

Nelle cellule procarioti il DNA strutturato in un unico cromosoma può non essere solo. Infatti possono essere presenti uno o più plasmidi, vale a dire altre molecole di DNA decisamente più piccole ma sempre circolari e superavvolte.



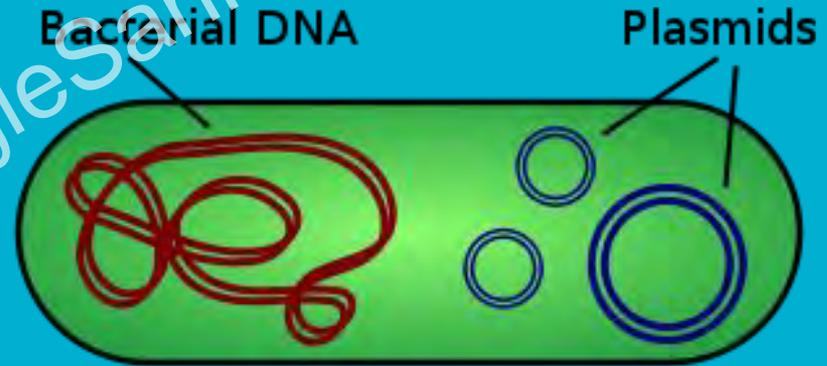
# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Plasmidi

I plasmidi non sono indispensabili.

La stessa specie di batteri può avere individui con e senza plasmidi.

I plasmidi si possono moltiplicare autonomamente.

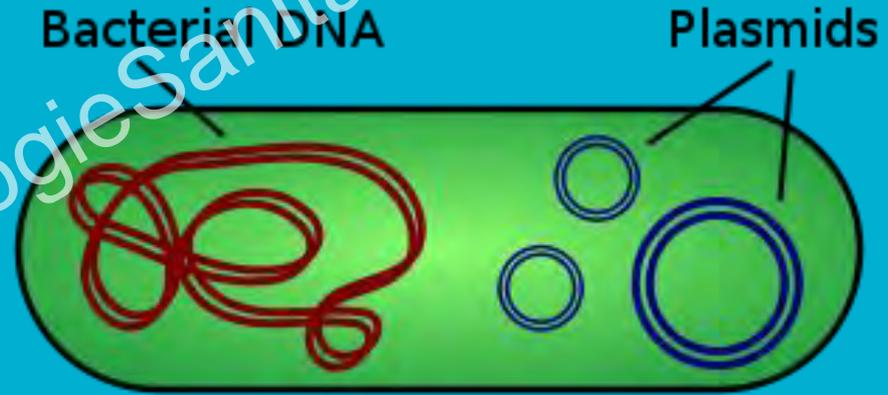


39

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

## Plasmidi

E allora a che cosa servono i plasmidi? Trasferiscono geni per la resistenza agli antibiotici, per la produzione di tossine e di fattori di virulenza.



39

# STRUTTURA DELLA CELL. PROCARIOTE

---

Concludiamo la spiegazione della cellula procariote con due video divertenti in inglese .

<https://www.youtube.com/watch?v=qCn92mbWxd4>

<https://www.youtube.com/watch?v=9BhQXAgmUEo>

# PHOTO CREDITS

---

- 1** Di Gia.cossa > Mortadelo2005 > SciencePrimer (National Center for Biotechnology Information) - own edit (and Italian translation) of Image:Celltypes.svg, SVG version of Image:Celltypes.png, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3761433>
- 2** By K. Gottlieb, V. Wachter, J. Sliman and M. Pimentel - Review article: inhibition of methanogenic archaea by statins as a targeted management strategy for constipation and related disorders - DOI: 10.1111/apt.13469, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=45172438>
- 3** By This vector image is completely made by Ali Zifan - Own work; used information from Biology 10e Textbook (chapter 4, Pg: 63) by: Peter Raven, Kenneth Mason, Jonathan Losos, Susan Singer · McGraw-Hill Education., CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44194140>
- 4** By Average\_prokaryote\_cell-nl.svg: \*Average\_prokaryote\_cell-en.svg: Mariana Ruiz Villarreal LadyofHats derivative work: Woudloper (talk) derivative work: Labels translated from Dutch to Indonesian using Jarry1250's SVG Translate by Sentausa [Public domain], via Wikimedia Commons
- 5** By Zaldúa I., Equisoain J.J., Zabalza A., Gonzalez E.M., Marzo A., Public University of Navarre - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46386894>

# PHOTO CREDITS

---

- 6** By CDC/ Joe Millar - This media comes from the Centers for Disease Control and Prevention's Public Health Image Library (PHIL), with identification number #4085. Note: Not all PHIL images are public domain; be sure to check copyright status and credit authors and content providers. English | Slovenščina | +/- , Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=720357>
- 7** By Bob Blaylock - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11396107>
- 8** By メルビル - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42959721>
- 9** By Adenosine - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7831864>
- 10** Par (Image: Manu Forero) – Bacterial Fimbriae Designed to Stay with the Flow. Gross L, PLoS Biology Vol. 4/9/2006, e314. doi:10.1371/journal.pbio.0040314, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1479172>
- 11** By Pixie - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2144862>
- 12** Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=179295>
- 13** By Adenosine - Own work, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2759817>
- 14** By Ag.archaea - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20156552>

# PHOTO CREDITS

---

- 15** By LadyofHats - self-madeReferences: [1],[2], [3] (main 3), [4], [5] (propeller rotation), PMID 17142059 (bend)., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6219592>
- 16** Di Gohn17 - Opera propria, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3660008>
- 17** By Y tambe - Y tambe's file, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9999296>
- 18** By MouagipThis vector graphics image was created with Adobe Illustrator. - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=13309510>
- 19** Immagine di proprietà dello SA R&D
- 20** By Pacific Northwest National Laboratory, US Department of Energy - <http://picturethis.pnl.gov/picturet.nsf/by+id/DRAE-8DBTWP>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=41702156>
- 21** By Michigan State University. Microbiology 301-702 Summer 2016 - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49633844>
- 22** Di Y tambe - Y tambe's file, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=686297>

# PHOTO CREDITS

---

- 23** Di Y\_tambe - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49533>
- 24** Di Cell\_membrane\_detailed\_diagram\_4\_it.svg: \*Cell\_membrane\_detailed\_diagram\_4.svg: \*derivative work: Dhatfield (talk)Cell\_membrane\_detailed\_diagram\_3.svg: \*derivative work: Dhatfield (talk)Cell\_membrane\_detailed\_diagram.svg: LadyofHats Mariana RuizFile:Fosfolipido.jpg de Alejandro Porto.derivative work: Rupertsciamenna (talk) - Cell\_membrane\_detailed\_diagram\_4\_it.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17769039>
- 25** Di Bensaccount - [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Lipid\\_bilayer\\_section.gif](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Lipid_bilayer_section.gif), Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2929946>
- 26** By Jerome Walker - Own work, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=915557>
- 27**
- 28** Di Salah-ad-din - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24646794>

# PHOTO CREDITS

---

- 29** By Tsai Y, Sawaya MR, Cannon GC, Cai F, Williams EB, Heinhorst S, Kerfeld CA, Yeates TO - PLoS biology - Tsai Y, Sawaya MR, Cannon GC, et al (June 2007). "Structural analysis of CsoS1A and the protein shell of the Halothiobacillus neapolitanus carboxysome". PLoS Biol. 5 (6): e144. DOI:10.1371/journal.pbio.0050144. PMID 17518518. PMC: 1872035., CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4508748>
- 30** Di left: Courtesy of Mark J. Yeager and Kelly A. Dryden, University of Virginia; right: Todd O. Yeates - Todd O. Yeates, UCLA Chemistry and Biochemistry, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4506212>
- 31** By Various (<http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article23635>) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons
- 32** By Matthewjparker (Own work) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons
- 33** Di Photo Credit:Content Providers(s): - This media comes from the Centers for Disease Control and Prevention's Public Health Image Library (PHIL), with identification number #7323.Note: Not all PHIL images are public domain; be sure to check copyright status and credit authors and content providers.English | Slovenščina | +/-, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4236078>

# PHOTO CREDITS

---

- 34** By Toyteates - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25483134>
- 35** Di Vossman - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6865434>
- 36** Di David S. Goodsell, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2837739>
- 37** Di Average\_prokaryote\_cell-\_en.svg: Mariana Ruiz Villarreal, LadyofHatsDifference\_DNA\_RNA-EN.svg: \*Difference\_DNA\_RNA-DE.svg: Spunk (talk)translation: Spunk (talk)derivative work: Radio89 - Questo file deriva da:Average prokaryote cell- en.svg:Difference DNA RNA-EN.svg:, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20539360>
- 38** By Peter Highton - Estate of Peter Highton a molecular biologist working at University of Edinburgh 1968-1990, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50418353>
- 39** Di User:Spaully on English wikipedia - Opera propria, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2080850>

# SITOGRAFIA

---

1 Jarrell, K.F. & Albers, S.V. The archaellum: an old motility structure with a new name. Trends Microbiol 20, 307-12 (2012).

BioTeencologieSanitarie.it