

Capitolo 32

Origine ed evoluzione dei microrganismi: i procarioti

La Terra primordiale e l'origine della vita

32.1 La vita ebbe inizio su una Terra primordiale

- La storia biologica e quella geologica della Terra, che ha un'età di 4,6 miliardi di anni, sono interconnesse.
- All'incirca 3 miliardi di anni fa la Terra era ricca di vulcani che eruttavano polvere e gas nell'atmosfera e rocce fuse sul suolo.
- Le coste erano dominate da formazioni rocciose di colore verde chiaro che in realtà erano spessi agglomerati di batteri.

-
- L'atmosfera primordiale probabilmente conteneva H_2O , CO , CO_2 , N_2 , e forse anche CH_4 e NH_3 , mentre l'ossigeno era scarso o assente.
 - L'attività vulcanica e le radiazioni ultraviolette dovevano essere molto intense.



Figura 32.1A

Formazioni stratificate (**stromatoliti**) fossili risalenti a 2,5 miliardi di anni fa segnano il momento in cui i batteri fotosintetici cominciarono a produrre l'ossigeno che rese aerobica l'atmosfera.



Figura 32.1B

Lo schema mostra i principali eventi della storia della vita sulla Terra e fornisce una scala cronologica in cui collocare gli antichissimi fossili:

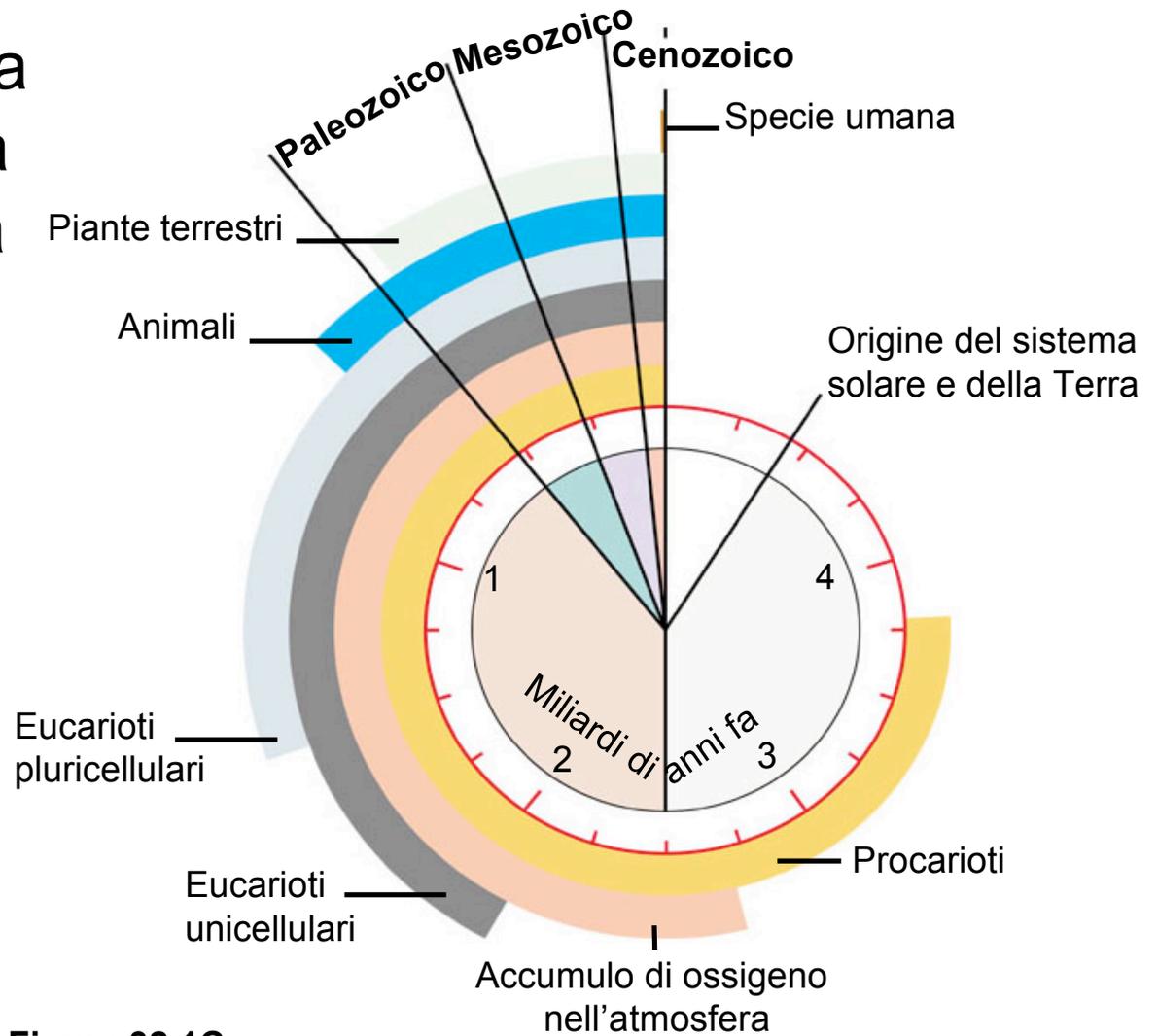


Figura 32.1C

32.2 Come ha avuto origine la vita?

- I più antichi procarioti fossili sono datati 3,5 miliardi di anni, ma la vita potrebbe essersi originata a partire da materia non vivente anche 3,9 miliardi di anni fa.
- Piccole molecole organiche si formarono per prime, probabilmente grazie a reazioni innescate dall'energia dei fulmini o ultravioletta.

32.3 Gli esperimenti per ricreare il «brodo primordiale»

Un'atmosfera iniziale priva di ossigeno

Nel 1953, Stanley Miller mise a punto una serie di esperimenti per riprodurre l'atmosfera primordiale della Terra. Miller partì dall'ipotesi di Oparin e Haldane, secondo la quale l'atmosfera primordiale era priva di ossigeno (riducente).

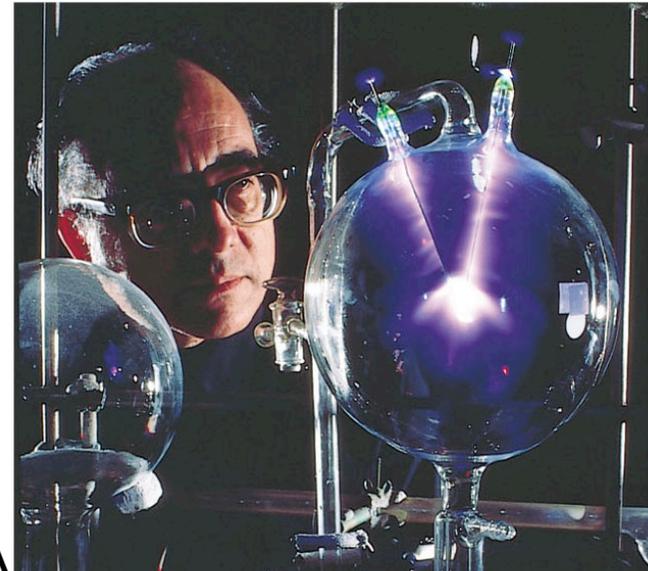


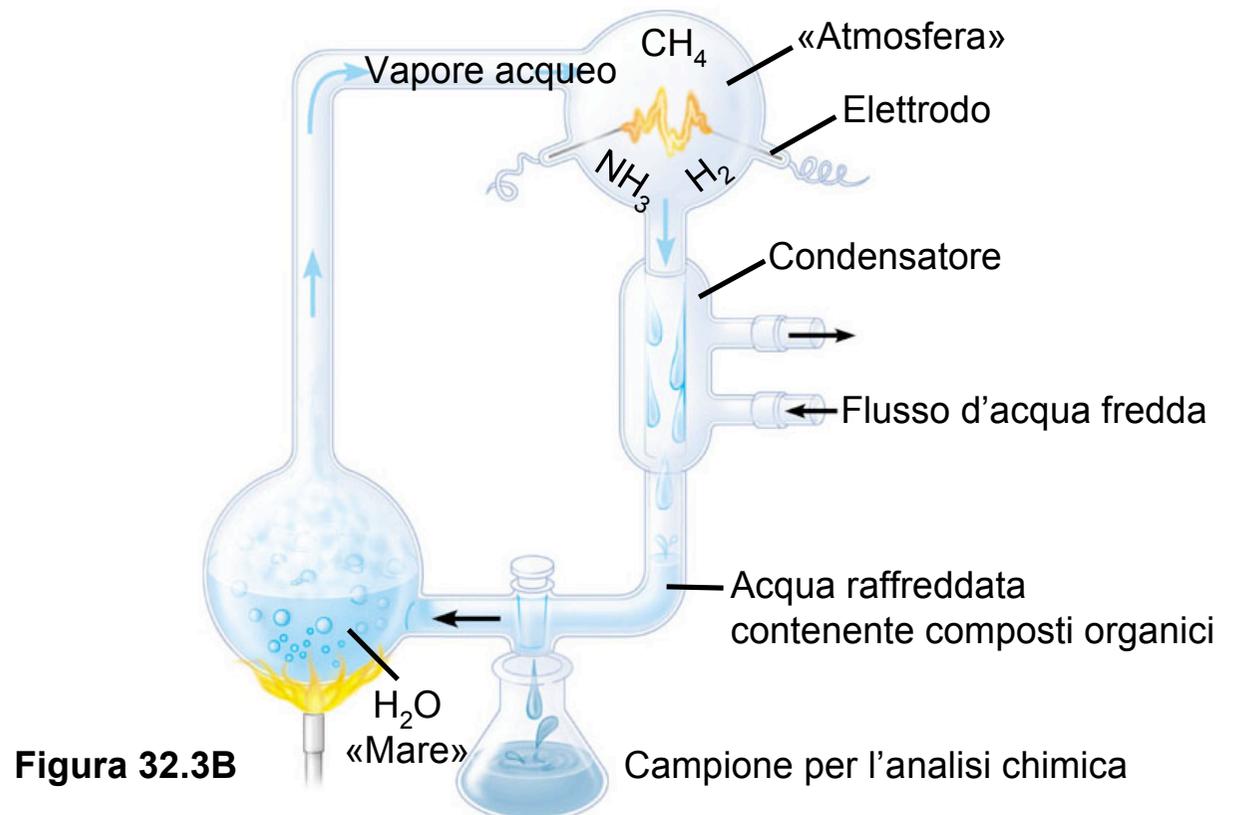
Figura 32.3A

Il «brodo primordiale» di Oparin

- Secondo l'ipotesi di Oparin, l'atmosfera primitiva conteneva metano, ammoniaca, idrogeno e acqua allo stato gassoso.
- Le reazioni chimiche tra queste sostanze avrebbero originato le prime molecole organiche.
- L'atmosfera riducente avrebbe favorito la formazioni di molecole complesse a partire da molecole più semplici.

L'esperimento di Miller e Urey

Simulazioni delle condizioni primordiali in laboratorio hanno prodotto amminoacidi, zuccheri, lipidi, basi azotate presenti nei nucleotidi del DNA e dell'RNA e perfino ATP.



Le ipotesi successive

- Oggi, la maggior parte degli scienziati ritiene che la composizione dell'atmosfera primordiale doveva essere diversa da quella presunta da Miller.
- Viene ritenuto più probabile che i gas presenti nell'atmosfera fossero soprattutto CO, CO₂, N₂ (prodotti da vulcani in eruzione), piuttosto che H₂, CH₄ e NH₃.
- Alcuni studiosi ritengono inoltre più probabile che la vita si sia originata a livello di vulcani sommersi o sorgenti sottomarine idrotermali.

32.4 I primi polimeri si formarono probabilmente su rocce calde o su argille

- La seconda tappa più importante a livello chimico deve essere stata la **polimerizzazione**, cioè la formazione di polimeri organici come gli acidi nucleici e le proteine, a partire dai rispettivi monomeri.
- Le molecole organiche formarono polimeri su rocce o su argille calde, dando origine a **polipeptidi e acidi nucleici**.

32.5 Il primo materiale genetico e i primi enzimi potrebbero essere stati costituiti da RNA

Un'ipotesi condivisa è che i primi geni fossero brevi filamenti di RNA che si autoduplicavano senza l'intervento di proteine, forse su superfici argillose.

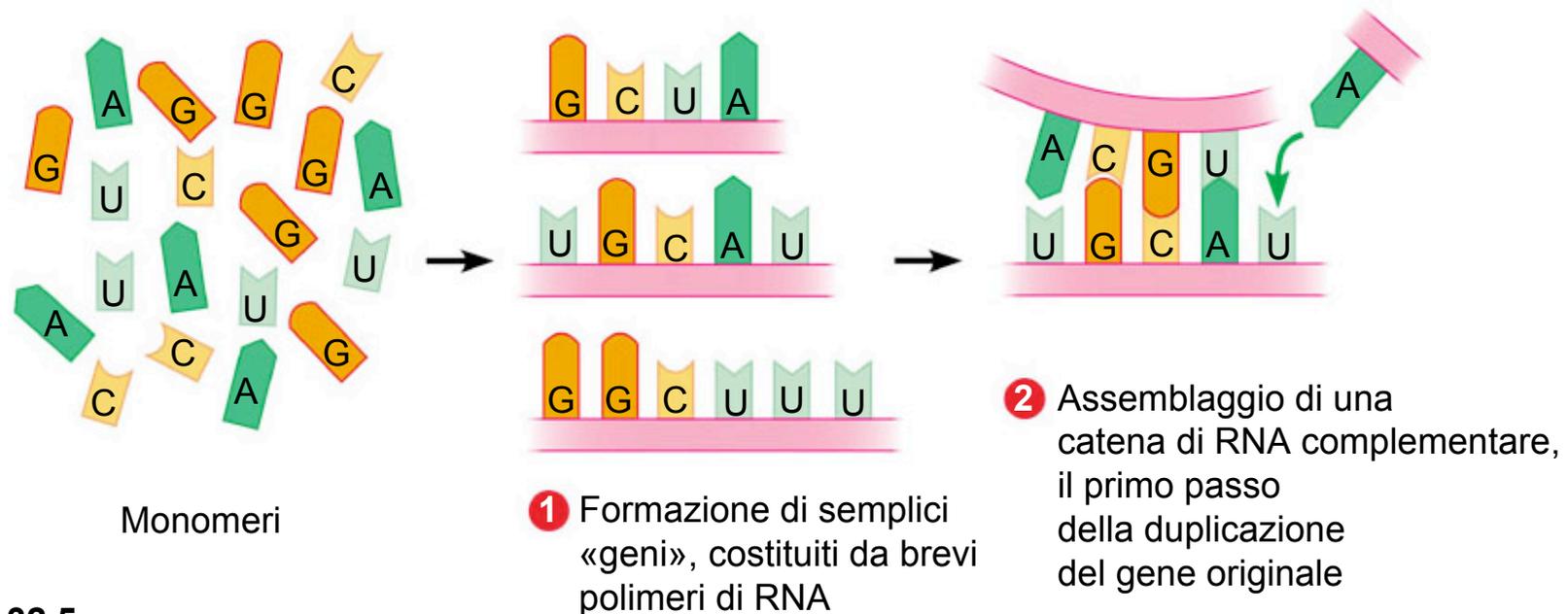
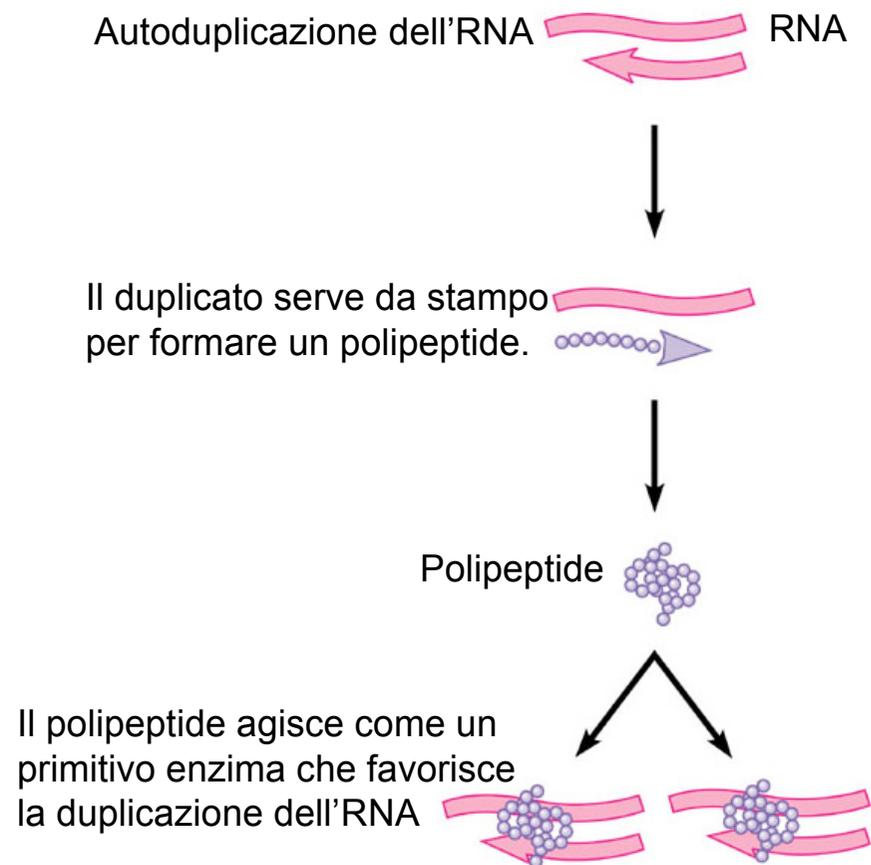


Figura 32.5

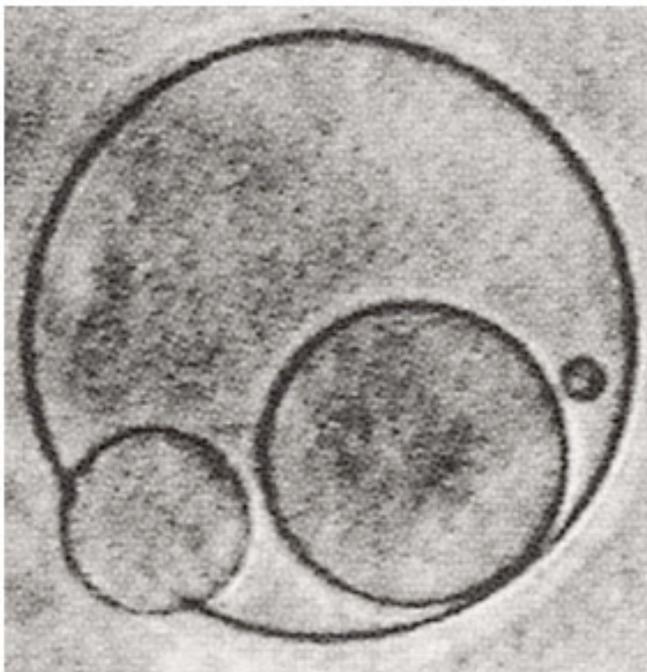
32.6 La comparsa delle prime cellule fu probabilmente preceduta da aggregati molecolari avvolti da membrane

La più antica forma di **cooperazione molecolare** può aver coinvolto un modello primitivo di traduzione, in cui semplici geni a RNA venivano tradotti in proteine senza l'intervento di altre strutture.

Figura 32.6A

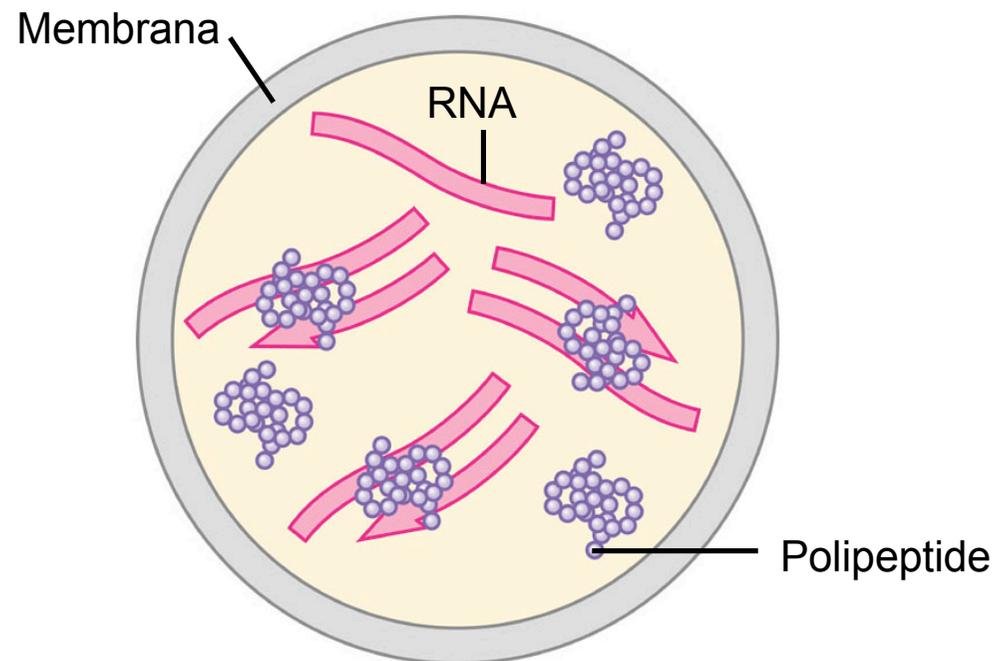


Semplici **membrane** potrebbero aver protetto questi aggregati molecolari formati da RNA e polipeptidi, su cui la selezione naturale avrebbe agito favorendo un grado via via maggiore di cooperazione molecolare che avrebbe poi dato origine alle prime cellule procariotiche.



LM650x

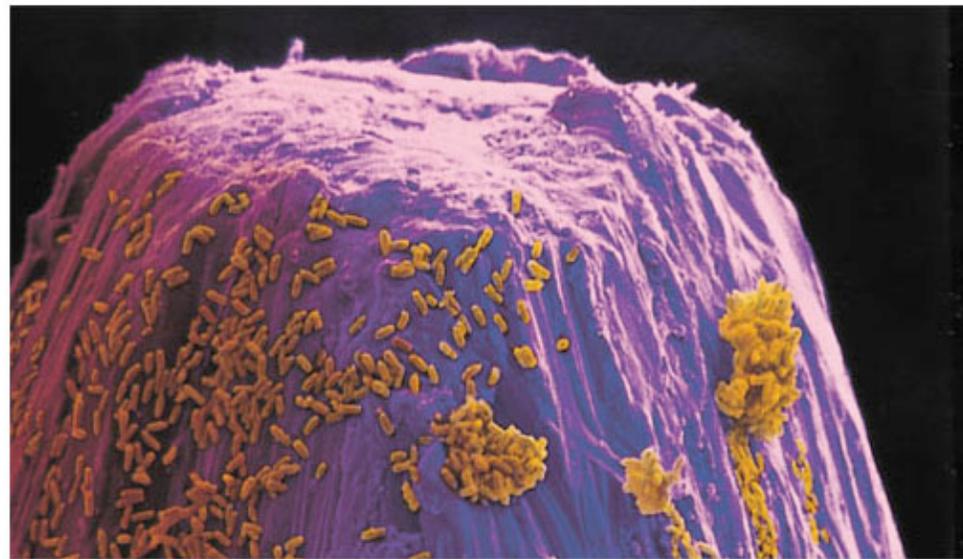
Figura 32.6B, C



La vita dei procarioti

32.7 I procarioti sono presenti sulla Terra da miliardi di anni

I **procarioti** rappresentano le più antiche forme di vita e anche oggi restano gli organismi più numerosi e maggiormente diffusi sulla Terra.



Colonizzata SEM 650 x

Figura 32.7

32.8 Archebatteri ed eubatteri rappresentano le due principali ramificazioni nell'evoluzione dei procarioti

Costituiti da cellule prive di nucleo e di organuli, al loro interno, i procarioti presentano differenze strutturali così importanti da essere classificati in due diversi domini:

- gli *Eubacteria* (eubatteri o semplicemente batteri)
- gli *Archaeobacteria* (archebatteri o archei).

32.9 I procarioti presentano una grande varietà di forme

I procarioti possono presentarsi con una grande varietà di forme:

- sferica (**cocchi**);
- a bastoncino (**bacilli**);
- ricurvi e a spirale (**vibrioni, spirilli, spirochete**).



Figure 32.9A–C

32.10 Caratteristiche strutturali specifiche permettono ai procarioti di vivere quasi ovunque

Tutti i procarioti (eubatteri e archei) presentano alcune caratteristiche strutturali che consentono loro di occupare una vastissima gamma di ambienti.

Le strutture esterne

Una delle strutture più importanti che caratterizzano la cellula procariotica è rappresentata dalla **parete cellulare**, spesso avvolta da una capsula.

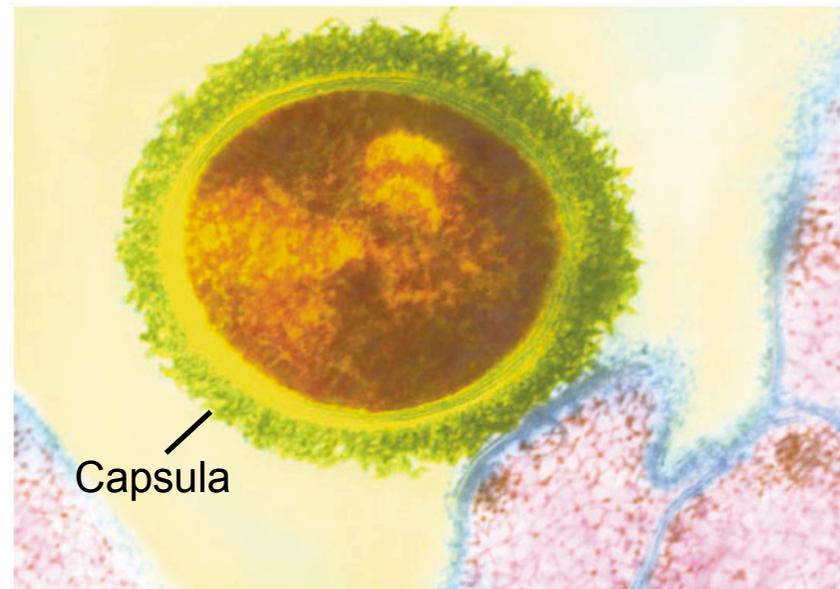
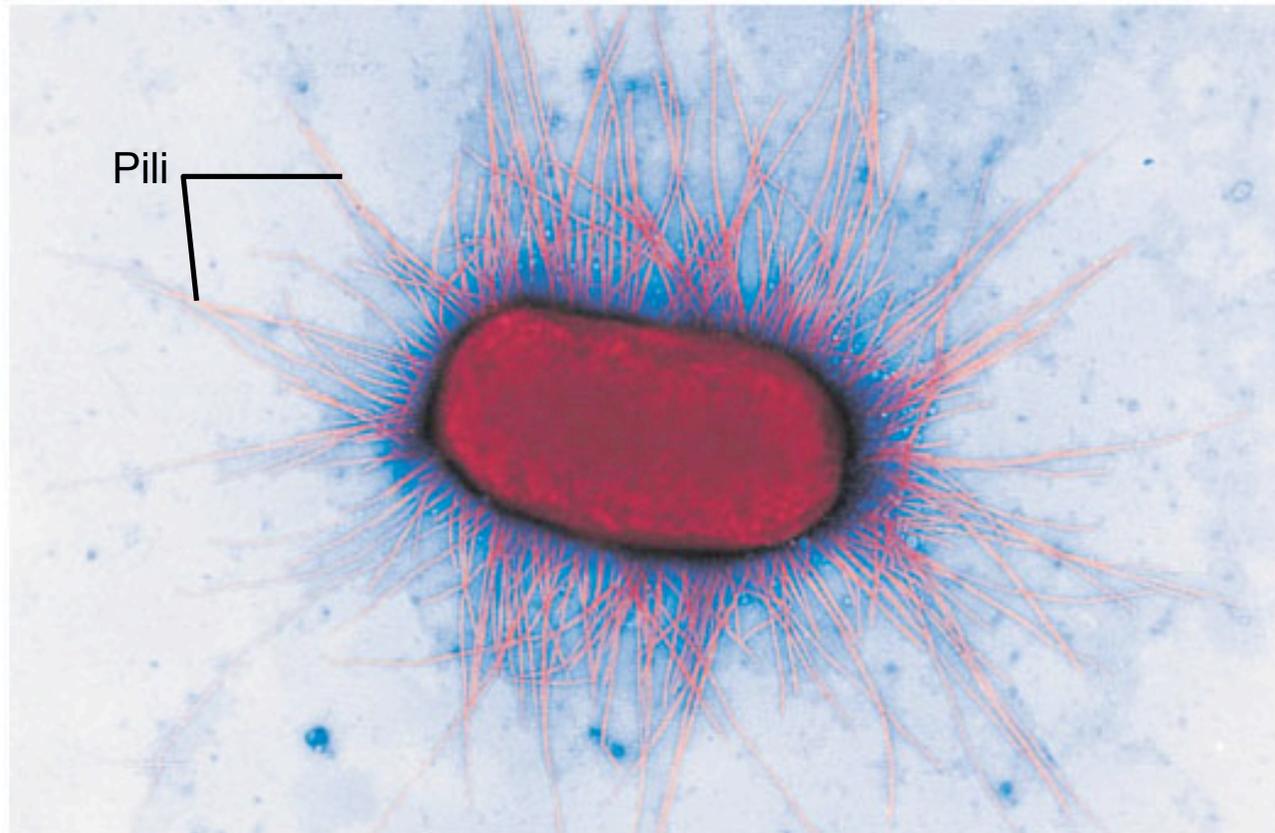


Figura 32.10A

I **pili** sono appendici corte e sottili che permettono ai procarioti di attaccarsi gli uni agli altri, oppure alle rocce presenti nelle acque correnti, o ancora alle pareti interne dell'intestino umano.



Colonizzata TEM 16 000 x

Figura 32.10B

La mobilità

Numerose specie di batteri e archei sono provvisti di flagelli che consentono loro il movimento.

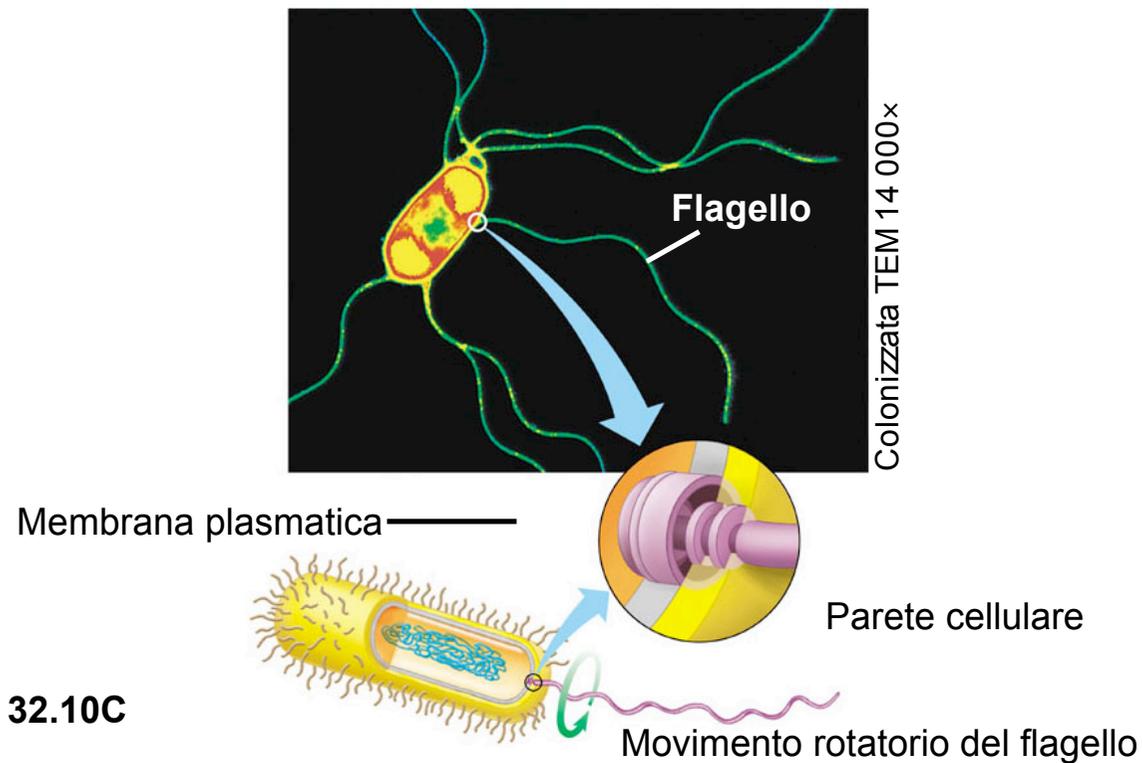


Figura 32.10C

La riproduzione e l'adattamento

- Uno dei motivi del grande successo dei procarioti è la loro capacità di riprodursi rapidamente quando si trovano in un ambiente favorevole.
- La maggior parte dei procarioti produce una nuova generazione nell'arco di 1-3 ore, ma esistono specie che, in condizioni ottimali, possono riprodursi ogni 20 minuti.

Alcuni eubatteri possono formare **endospore**, che permettono loro di sopravvivere a lungo in condizioni difficili, in uno stato di quiescenza.



Figura 32.10D

TEM 34 000 x

L'organizzazione interna

Molti procarioti sono provvisti di membrane specializzate per svolgere funzioni metaboliche.

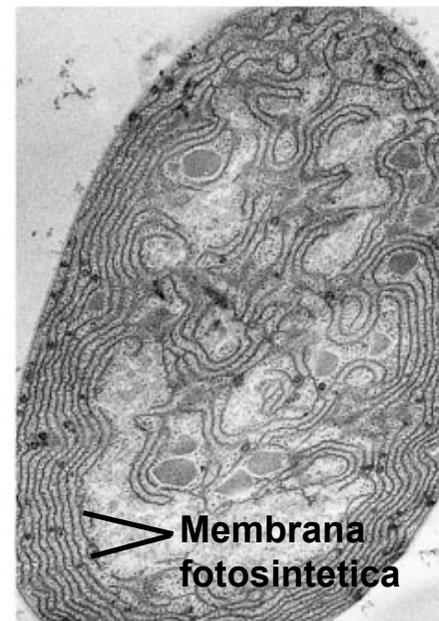
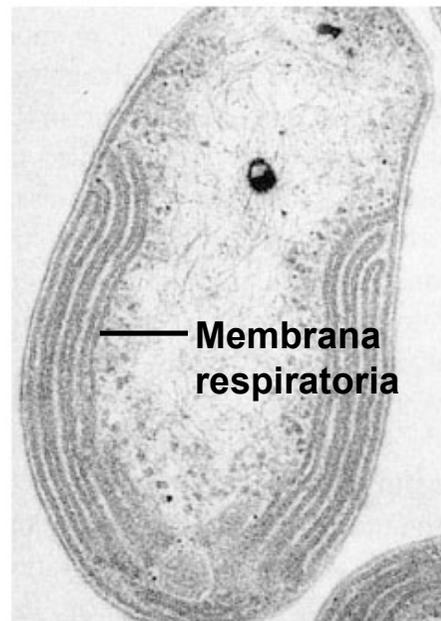


Figura 32.10E

32.11 I procarioti mostrano modalità nutritive molto diversificate

Nel loro complesso, i procarioti mostrano una varietà di modalità nutritive maggiore di tutti gli eucarioti messi insieme.

I tipi di modalità nutritive

- Molti procarioti sono **autotrofi**, cioè sono in grado di sintetizzare i propri composti organici a partire da fonti inorganiche.
- Gli autotrofi sono di due tipi:
 - i **fotoautotrofi** ricavano energia dalla luce del sole e prelevano gli atomi di carbonio dal diossido di carbonio (CO₂);
 - i **chemioautotrofi** ricavano energia dai prodotti inorganici invece che dalla luce solare.

I procarioti **eterotrofi** (la maggior parte) ricavano il carbonio dai composti organici e sono anch'essi di due tipi:

- i **fotoeterotrofi** ricavano energia dalla luce solare;
- i **chemioeterotrofi** ricavano sia il carbonio sia l'energia dai composti organici (sono talmente eterogenei che qualsiasi molecola organica può rappresentare un alimento).



Figura 32.11A

Classificazione degli organismi in base alle modalità nutritive:

Tipo di nutrizione	Fonte energetica	Fonte di carbonio
Fotoautotrofi (fotosintetizzatori)	Luce solare	CO ₂
Chemioautotrofi	Composti inorganici	CO ₂
Fotoeterotrofi	Luce solare	Composti organici
Chemioeterotrofi	Composti organici	Composti organici

Tabella 32.11

La cooperazione metabolica

In alcuni procarioti la cooperazione ha luogo in colonie chiamate **biofilm** che rivestono le superfici. Quando la colonia è abbastanza grande si attiva la produzione di proteine che determinano l'adesione delle cellule tra di loro e al substrato.

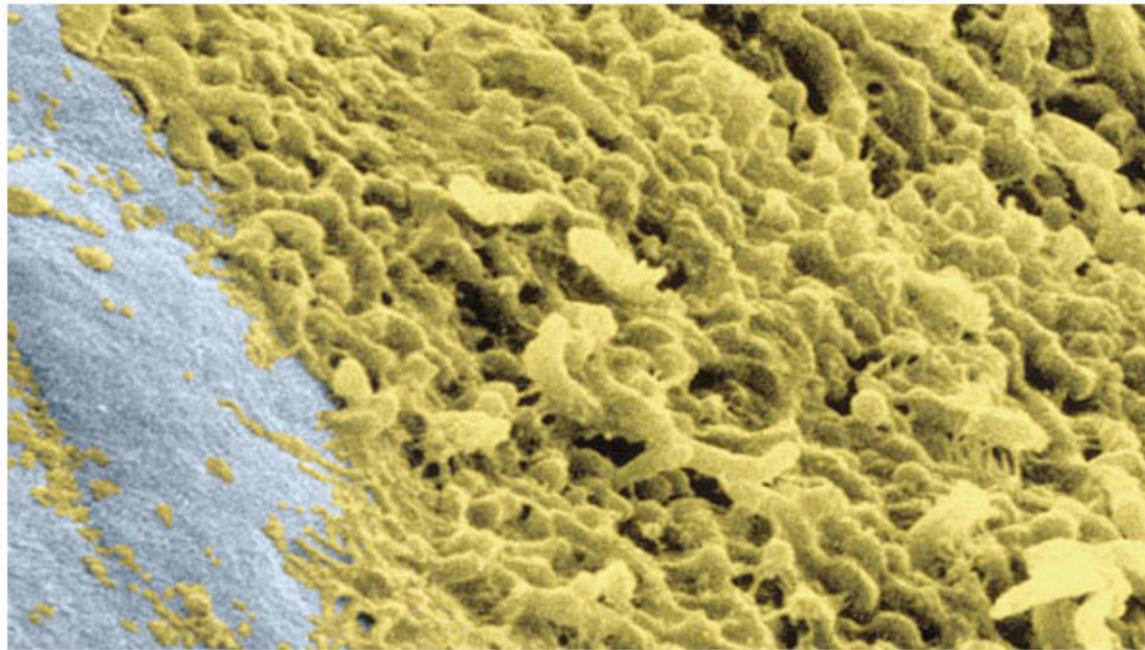


Figura 32.11B

Colorizzata SEM 13 000 x

32.12 Gli archeobatteri vivono in condizioni ambientali estreme e negli oceani

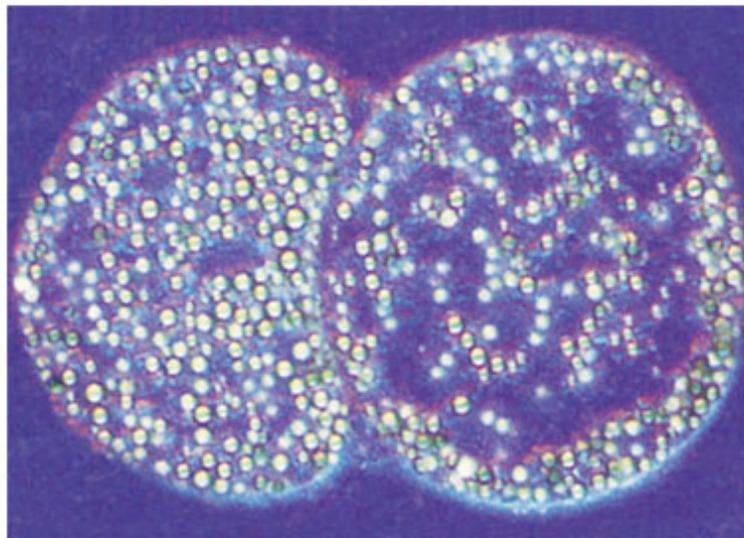
Gli **archei** o **archebatteri** sono comuni negli ambienti estremi, come fanghi non ossigenati, laghi salati, sorgenti calde, sorgenti marine idrotermali e il sistema digerente di certi animali. Sono numerosi e abbondanti anche nelle acque oceaniche.



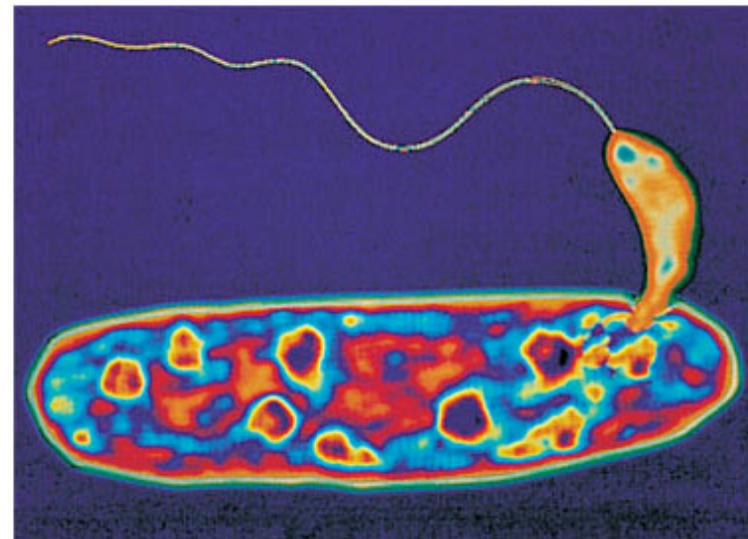
Figura 32.12A, B

32.13 Gli eubatteri comprendono diversi gruppi di procarioti

Il dominio *Eubacteria* si suddivide attualmente in nove gruppi, cinque dei quali sono considerati in realtà sotto gruppi di un unico clado di batteri Gram-negativi chiamati **proteobatteri**.



LM 13 000 x



Colonizzata TEM 5000 x

Figura 32.13A, B

-
- Oltre ai proteobatteri, un secondo gruppo di batteri è costituito dalle **clamidie**.
 - Il terzo gruppo di eubatteri è quello delle **spirochete**.

- Un quarto gruppo è rappresentato dai batteri **Gram-positivi**.
- I **cianobatteri**, infine, sono batteri fotosintetici che vivono solitari o formano colonie.

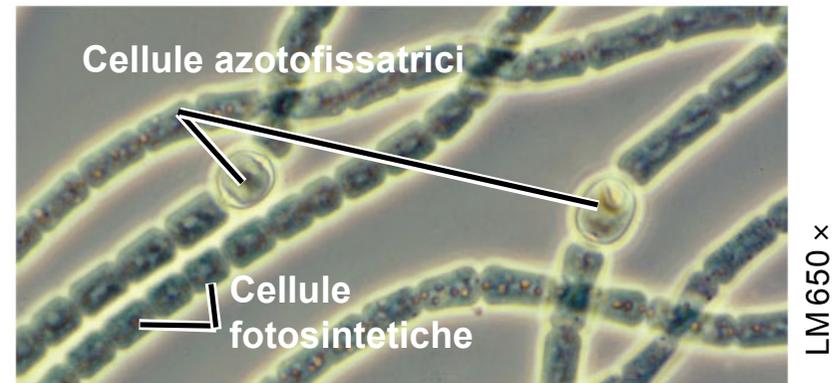


Figura 32.13C, D

COLLEGAMENTI

32.14 Alcuni batteri provocano malattie, cioè sono patogeni

I batteri **patogeni** provocano malattie a causa delle **esotossine** ed **endotossine** che producono.

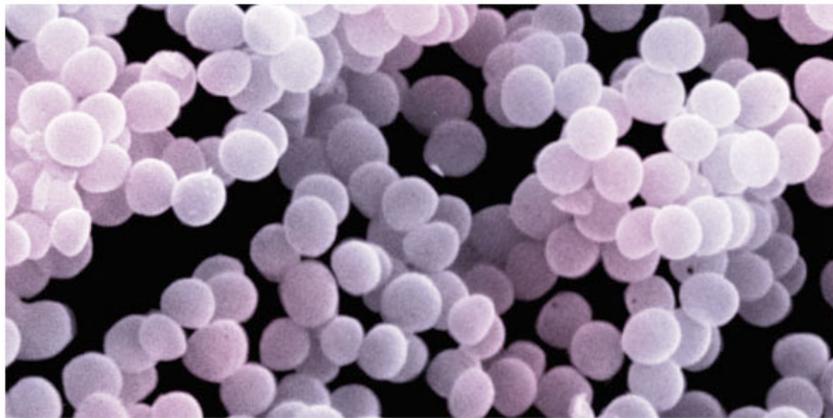


Figure 32.14A, B

COLLEGAMENTI

32.15 Il ruolo ecologico dei batteri e la loro utilità nel risanamento ambientale

Azotofissatori e decompositori

- I cianobatteri sono azotofissatori, convertono cioè l'azoto gassoso (N_2) dell'atmosfera in composti azotati.
- La decomposizione è un'altra funzione fondamentale di alcuni procarioti, che sono in grado di demolire materiali organici per renderli utilizzabili, sotto forma di sostanze inorganiche, da altri organismi.

La depurazione delle acque

Procarioti **decompositori** possono essere usati nella depurazione delle acque e dei liquami e nei disastri petroliferi o nella decontaminazione delle miniere di metallo in disuso.

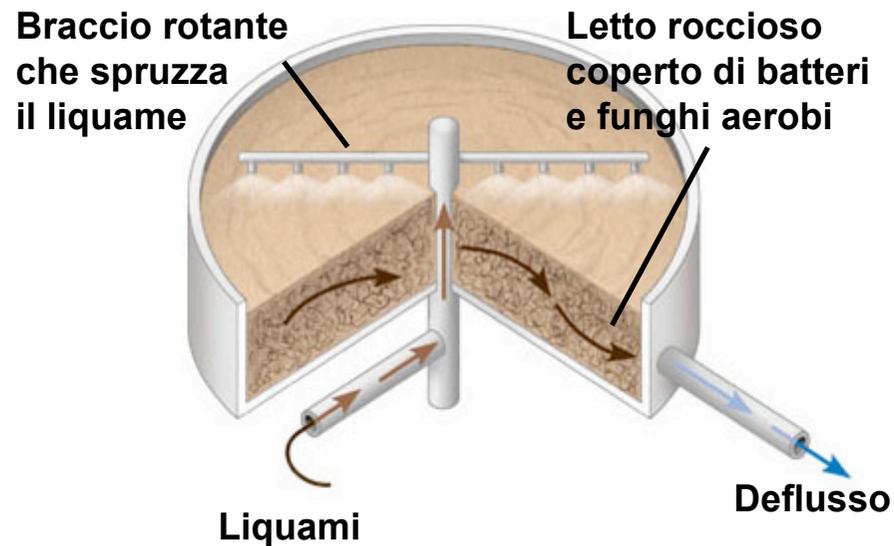


Figura 32.15A

Il biorisanamento

- Il **biorisanamento** è un campo di applicazione che prevede l'uso di organismi per risolvere alcuni problemi ambientali.
- I batteri possono essere utilizzati per ripulire spiagge inquinate dal petrolio, oppure l'acqua drenata dai siti minerari.